

STANISŁAW ORZEŁ

Zwartość suchej masy w nadziemnej biomacie krzewów występujących w warstwie podszytu drzewostanów Puszczy Niepołomickiej*

Dry matter content in the aboveground biomass of shrubs growing in the understorey of the Niepołomice Forest stands

ABSTRACT

Orzeł S. 2016. Zwartość suchej masy w nadziemnej biomacie krzewów występujących w warstwie podszytu drzewostanów Puszczy Niepołomickiej. Sylwan 160 (1): 21-30.

The aim of this paper was to determine the dry mass content in the fresh mass of leaves, trunks or branches and in the total woody aboveground biomass of shrubs forming the undergrowth of the stands in the Niepołomice Forest (southern Poland). The variability of the dry mass content in the analysed components was determined. For the prevailing species also its correlation with the individual's height and time at which samples were taken was investigated. The material comprised 744 samples, including 532 wood and 212 leaf samples, taken from the most common five shrub species: *Corylus avellana*, *Frangula alnus*, *Padus avium*, *Padus serotina* and *Sorbus aucuparia*. The shrubs were from 1 to 33 years old, and their height ranged from 0.3 to 9.9 m. It was shown that the dry mass content in leaves is significantly dependent on the shrub species, and in the case of *F. alnus*, *P. avium* and *S. aucuparia* on the height as well. The highest dry mass content was found in the leaves of *C. avellana* (39.3%), whereas the lowest – in *F. alnus* (25.5%). In case of *F. alnus*, the dry mass content depends on the time of sampling. The leaves collected in June had a significantly lower dry mass content than the ones sampled in subsequent months of the growing season. The dry mass content in the wood significantly depends on the shrub species and the analysed component, however the species-component interaction does not occur (tab. 4). The dry mass content in the trunk wood ranges from 50.3 (*P. serotina* and *S. aucuparia*) to 53.0% (*P. avium*) and exceeds that of the branch by from 1.0 (*S. aucuparia*) to 4.0% (*P. avium*). In the wood samples of *F. alnus* and *S. aucuparia*, taken between June and September, the dry mass content averaged at 47.3 and 48.7%, respectively, and was lower than in the samples taken between October and April, for which the respective means were 49.5 and 49.0%. In the case of *F. alnus*, the observed difference in the mean dry mass content is statistically significant at 0.05 level. The determined values of dry mass content in the fresh mass of individual components of the analysed shrubs can be used to find their dry mass as a basis for the calculation of the amount of accumulated carbon.

KEY WORDS

understorey, biomass component, dry matter content, Niepołomice Forest

ADDRESSES

Stanisław Orzeł – e-mail: rlorzel@cyf-kr.edu.pl

Zakład Biometrii i Produkcyjności Lasu, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie; al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

*Badania zrealizowano w ramach projektu N N309 716040 „Uwarunkowania występowania podszytu i jego nadziemnej biomasy na przykładzie drzewostanów Puszczy Niepołomickiej” (2011-2014) finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki.

Wstęp

Podpisując Protokół z Kioto [2005], Polska zobowiązała się do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych. Sposobem na to może być stosowanie na szerszą skalę ekologicznych, odnawialnych źródeł energii. Biomasa, wykorzystywana m.in. w produkcji biopaliw [Johansson 1999a, b; Sethi i in. 1999; Suresh i in. 2001; Bieranowski 2005] oraz energetyce [Bal, Piechocki 2005b; Wrzosek, Gworek 2010], zaliczana jest do podstawowych źródeł czystej energii [Johansson 1999a; Bal, Piechocki 2005a; Lewandowski 2007]. Istotnym jej źródłem jest las. Nic więc dziwnego, że zwłaszcza w ostatnich latach obserwuje się również w Polsce intensyfikację badań nad określeniem biomasy leśnej. Prace dotyczą zarówno udziału wyróżnionych komponentów w biomacie drzew [Orzeł 2009; Ochał i in. 2013], związku pomiędzy biomasą wyróżnionych komponentów i cechami drzew [Socha, Wężyk 2004, 2007; Bijak, Zasada 2007; Turski i in. 2008; Zasada i in. 2008; Bronisz i in. 2009; Ochał i in. 2014], jak i udziału poszczególnych warstw roślinności drzewiastej w całkowitej biomacie drzewostanów o różnym składzie gatunkowym [Orzeł i in. 2005a, b; 2006a, b]. Zmienność komponentów biomasy wyjaśnia zazwyczaj pierśnica i/lub wysokość drzew [Socha, Wężyk 2004, 2007; Bijak, Zasada 2007; Turski i in. 2008; Zasada i in. 2008; Bronisz i in. 2009; Orzeł 2009].

W badaniach biomasy ekosystemów leśnych warstwa podszytu nie zawsze jest uwzględniana. Do niedawna informacje o jej występowaniu pochodziły z prac urzędzeniowych, w ramach których podawano jedynie skład gatunkowy i szacunkowo określony stopień pokrycia drzewostanu przez tę warstwę. Zgodnie z Instrukcją... [2005] również warstwa krzewów podlega pomiarowi w ramach prowadzonej inwentaryzacji wielkoobszarowej, co dostarcza cennych informacji w skali całego kraju nie tylko o składzie gatunkowym podszytu, ale także o wysokości poszczególnych gatunków krzewów. Informacje te będą mogły stanowić podstawę określenia biomasy tej warstwy drzewostanu i jej udziału w ogólnym bilansie węgla, o ile opracowane zostaną rozwiązania modelowe (wzory, współczynniki przeliczeniowe) pozwalające na jej obliczenie na podstawie danych zebranych w ramach inwentaryzacji wielkoobszarowej.

Określenie biomasy dowolnego komponentu stanowi najtrudniejszy etap w ustalaniu ilości zmagazynowanego w nim węgla. Jego zawartość w biomacie różnych komponentów 7 gatunków krzewów najczęściej występujących w warstwie podszytu określili Jagodziński i in. [2012]. Wyniki tych badań, z uwagi na małą zmienność zawartości węgla, zwłaszcza w przypadku drewna pni (1,16-1,66%), kory (1,04-1,66%) i korzeni (1,25-3,70%), mogą mieć praktyczne zastosowanie do określania akumulacji węgla w warstwie krzewów. Można ją obliczyć, sumując iloczyny suchej biomasy poszczególnych komponentów krzewów występujących w podszytu i zawartego w nich węgla. Praktycznego znaczenia nabiera więc ustalenie zawartości suchej masy w świeżej masie poszczególnych komponentów krzewów.

Celem pracy było określenie zawartości suchej masy w wyróżnionych frakcjach nadziemnej świeżej masy krzewów tworzących warstwę podszytu drzewostanów Puszczy Niepołomickiej. Dla krzewów najliczniej występujących określono także związek zawartości suchej masy z wysokością rośliny i terminem pobrania próbek.

Materiał i metody

Materiał badawczy zebrano z terenu Puszczy Niepołomickiej. W drzewostanach w wieku powyżej 10 lat zakładano kołowe powierzchnie o obszarze od 0,01 do 0,10 ha (zależnie od wieku drzewostanu) rozmieszczone równomiernie co 500 m. Na każdej powierzchni, w odległości 5 m od jej środka, wyznaczono 4 stanowiska kołowe o promieniu 1,78 m (10 m²), usytuowane w kierun-

kach N, S, W i E. Rosnące na ich obszarze krzewy martwe oraz krzewy żywe o pierśnicy $d < 7$ cm ścięto przy powierzchni ziemi. Krzewy żywe podzielono na nieuszkodzone i uszkodzone (złamane, zgryzione itp.). Krzewy nieuszkodzone przyporządkowano w obrębie poszczególnych gatunków do 20-centymetrowych klas wysokości oraz określono ich liczbę, wiek i masę w stanie świeżym z dokładnością do 0,1 g (przy użyciu wagi elektronicznej Radwag WLC 12/30/C1/K). Dla większości nieuszkodzonych krzewów o wysokości powyżej 2 m i wyraźnie wykształconym pniu oddzielnie określono masę gałęzi lub ulistnionych gałęzi (w zależności od pory/miesiąca prowadzonych pomiarów) i oddzielnie masę pnia. Z tak posegregowanego materiału pobierano próbki. W przypadku krzewów o wysokości powyżej 2 m próbkę stanowiły wszystkie gałęzie i cały pień określonego gatunku lub też reprezentatywna część gałęzi pobrana z różnych partii korony oraz około 15-centymetrowej długości fragmenty pnia wycięte ze środka metrowych sekcji, na jakie pnie zostały podzielone. Krzewy o wysokości nieprzekraczającej 2 m pobierano do próby w całości. Pobrane próbki, po zważeniu w terenie, zaopatrzone w etykiety identyfikacyjne i zapakowane do foliowych worków w celu zabezpieczenia przed wyschnięciem w czasie transportu do laboratorium Zakładu Biometrii i Produkcyjności Lasu. Pomiaru terenowe prowadzono w dni bezdeszczowe od marca do listopada, z ponad 1,5-miesięczną przerwą od trzeciej dekady kwietnia do połowy czerwca. Próbki pobierano więc w różnych porach roku, co jest między innymi przyczyną znacznie mniejszej ich liczby w przypadku liści niż drewna. Każdego dnia bezpośrednio po powrocie z lasu (dla pomiarów wykonywanych w okresie od czerwca do września) od gałęzi oddzielano liście i owoce oraz określano masę w stanie świeżym poszczególnych frakcji: liści, owoców, gałęzi bez liści oraz krzewów pobranych w całości (o wysokości do 2 m) bez liści. Wszystkie pobrane próbki pozostawiano w temperaturze pokojowej przez okres od 2 do 4 tygodni, po czym doprowadzano do stanu bezwzględnie suchego w suszarce z wymuszonym obiegiem powietrza (Pol-Eko-Aparatura Sp.J. SLW 240 STD), w temperaturze 105°C. Masę próbek w stanie świeżym i suchym określano z dokładnością do 0,01 g przy użyciu wagi precyzyjnej Radwag PS 4500/C/2.

Z 13 gatunków krzewów występujących na założonych powierzchniach w warstwie podszytu w drzewostanach Puszczy Niepołomickiej pobrano ogółem 879 próbek, w tym 631 próbek drewna z korą o ogólnej masie w stanie świeżym przekraczającej 139 kg oraz 248 próbek liści o masie powyżej 18,2 kg. W pracy uwzględniono 5 najliczniej występujących gatunków, tj.: leszczynę pospolitą (*Corylus avellana* L.), kruszynę pospolitą (*Frangula alnus* Mill.), czeremchę zwyczajną (*Padus avium* Mill.), czeremchę amerykańską (*Padus serotina* Ehrh.) i jarzab pospolity (*Sorbus aucuparia* L.). Ponadto w analizach pominięto próbki o zbyt małej masie, uwzględniając tylko te, których masa w stanie świeżym wynosiła nie mniej niż 10 g w przypadku liści oraz nie mniej niż 20 g dla próbek drewna z korą. Po tak przeprowadzonej selekcji materiał badawczy stanowiły 744 próbki, w tym 532 próbki drewna z korą o masie w stanie świeżym od 20,7 do 1944,0 g oraz 212 próbek liści o masie od 11,4 do 304,9 g (tab. 1).

Minimalna wysokość analizowanych krzewów (tab. 2) wynosiła od 0,30 m (*P. avium*) do 1,10 m (*C. avellana*), a maksymalna od 7,59 m (*S. aucuparia*) do 9,90 m (*P. serotina*). Minimalny wiek krzewów wynosił od 1 roku (*F. alnus* i *P. avium*) do 3 lat (*P. serotina*), a maksymalny od 15 lat (*C. avellana*) do 33 lat (*F. alnus*).

Próbki liści *S. aucuparia* pobierano w lipcu, *C. avellana*, *P. avium* i *P. serotina* w lipcu i wrześniu, zaś *F. alnus* od czerwca do końca września.

Znając masę próbek w stanie świeżym i suchym, obliczono procentowy udział suchej masy w masie świeżej poszczególnych komponentów krzewów oraz poddano go szczegółowej analizie statystycznej, wykonanej zgodnie z procedurami programów pakietu Statistica 10 (StatSoft,

Tabela 1.

Liczba prób (N) oraz średnia (M), minimum (min) i maksimum (max) świeżej masy próbek [g] dla analizowanych gatunków krzewów

Number of samples (N) and average (M), minimum (min) and maximum (max) fresh mass [g] for the analysed shrubs species

	<i>Corylus avellana</i>	<i>Frangula alnus</i>	<i>Padus avium</i>	<i>Padus serotina</i>	<i>Sorbus aucuparia</i>	Ogółem Total
Liście Leaves						
N	14	126	31	17	24	212
M	91,1	79,7	80,8	119,3	59,6	81,5
min-max	36,1-176,4	11,4-304,9	27,2-239,4	16,5-232,9	11,8-235,8	11,4-304,9
Całkowita nadziemna masa drewna Total aboveground wood mass						
N	5	181	31	18	51	286
M	205,6	165,6	249,3	121,4	112,4	163,1
min-max	99,2-317,9	20,9-547,5	30,4-619,3	20,7-447,0	27,1-337,3	20,7-619,3
Gałęzie Branches						
N	9	63	18	13	20	123
M	171,6	206,4	310,9	259,8	186,1	221,5
min-max	38,4-407,9	32,7-594,2	61,8-942,0	104,6-497,4	40,4-321,2	32,7-942,0
Pień Trunk						
N	9	63	18	13	20	123
M	306,8	346,2	423,0	446,3	469,5	385,2
min-max	60,2-829,1	55,3-1944,0	50,3-1351,4	90,2-1620,1	94,9-1482,5	50,3-1944,0

Inc.). Metodą analizy wariancji przeprowadzono testowanie hipotez o jednakowej zawartości suchej masy w świeżej masie liści oraz braku istotnej różnicy między udziałem suchej masy w masie świeżej drewna z korą gałęzi, pni i całkowitej zdrewniałej biomasy nadziemnej analizowanych gatunków krzewów. Określono także interakcję gatunek krzewu × analizowany komponent i sprawdzono wpływ pory pobierania próbek na zawartość w nich suchej masy.

Wyniki

ZAWARTOŚĆ SUCHEJ MASY W PRÓBKACH LIŚCI. Liście *C. avellana* zawierają najwięcej (średnio 39,3%), zaś liście *F. alnus* najmniej (25,5%) suchej masy (tab. 3). Zawartość suchej masy w liściach pozostałych trzech gatunków krzewów wynosi od 34,4% (*S. aucuparia*) do 35,2% (*P. serotina*). Wykazane różnice w zawartości suchej masy w liściach analizowanych gatunków krzewów są istotne na poziomie $\alpha=0,05$. Zawartość suchej masy w liściach *C. avellana* jest istotnie większa, zaś w liściach *F. alnus* istotnie mniejsza niż w liściach pozostałych gatunków. Brak jest natomiast na przyjętym poziomie istotności statystycznych różnic w średniej zawartości suchej masy w liściach *P. avium*, *P. serotina* i *S. aucuparia* (ryc. 1). Zmienność zawartości suchej masy w liściach, opisana współczynnikiem zmienności, wynosi od 6,1% (*C. avellana*) do 13,0% (*S. aucuparia*).

Próbki liści pobierane były w różnych miesiącach okresu wegetacyjnego. W przypadku *C. avellana*, *P. avium* i *P. serotina* wykazano (przy $\alpha=0,05$) brak wpływu terminu ich pobierania (lipiec i wrzesień) na zawartość suchej masy. Termin pobierania próbek miał natomiast istotny wpływ na zawartość suchej masy w liściach *F. alnus*. Wynosząca średnio 23,6% (ryc. 2) zawartość suchej masy w liściach pobranych w czerwcu jest istotnie mniejsza (przy $\alpha=0,05$) niż w liściach

Tabela 2.

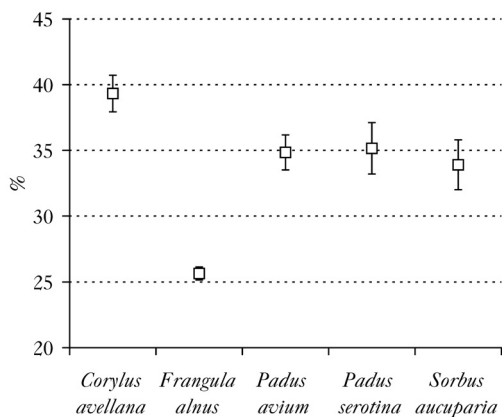
Liczba prób (N) oraz średnia (M), minimum (min) i maksimum (max) wysokości i wieku analizowanych krzewów
 Number of samples (N) and average (M), minimum (min) and maximum (max) height and age of the analysed shrubs

	Wysokość Height [m]			Wiek [lata] Age [years]		
	N	M	max	N	M	max
<i>Corylus avellana</i>	14	4,03	8,00	14	6,7	15
<i>Frangula alnus</i>	244	2,24	8,10	241	6,5	33
<i>Padus avium</i>	49	2,98	9,30	47	7,0	20
<i>Padus serotina</i>	31	2,55	9,90	31	7,3	24
<i>Sorbus aucuparia</i>	71	2,17	7,59	70	6,1	24

Tabela 3.

Liczba prób (N), średnia (M) \pm błąd standardowy (SE) oraz współczynniki zmienności (CV [%]) zawartości suchej masy [%] dla analizowanych gatunków krzewów
 Number of samples (N), average (M) \pm standard error (SE) and coefficient of variation (CV [%]) of dry mass content [%] of the analysed shrubs species

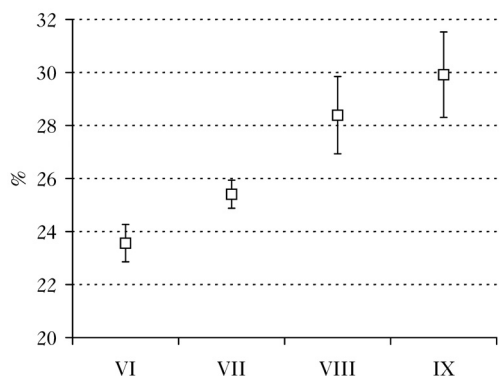
	Całkowita nadziemna masa drewna Total aboveground wood mass			Gałęzie Branches			Pień Trunk		
	N	M \pm SE	CV	N	M \pm SE	CV	n	M \pm SE	CV
<i>Corylus avellana</i>	5	51,2 \pm 1,63	7,1	9	49,8 \pm 1,51	9,1	9	52,3 \pm 0,98	5,6
<i>Frangula alnus</i>	181	47,7 \pm 0,34	9,6	63	47,6 \pm 0,53	8,9	63	50,5 \pm 0,48	7,5
<i>Padus avium</i>	31	47,0 \pm 0,80	9,5	18	49,0 \pm 0,90	7,8	18	53,0 \pm 0,77	6,2
<i>Padus serotina</i>	18	50,6 \pm 0,72	6,0	13	48,6 \pm 0,88	6,6	13	50,3 \pm 0,98	7,1
<i>Sorbus aucuparia</i>	51	48,1 \pm 0,55	8,1	20	49,3 \pm 0,71	6,5	20	50,3 \pm 0,69	6,2



Ryc. 1.

Średnia (kwadrat) i 95-procentowy przedział ufności (wąsy) zawartość suchej masy [%] w świeżej masie liści krzewów

Mean (square) and 95% confidence interval (whiskers) of dry mass content [%] in wet mass of leaves for analysed shrub species



Ryc. 2.

Wpływ terminu pobierania prób na zawartość suchej masy [%] w świeżej masie liści *Frangula alnus*

Effect of sampling time on dry mass content [%] in fresh mass of leaves for *Frangula alnus*

pozyskanych w lipcu (25,4%), zaś w nich istotnie mniejsza niż w liściach pobranych w sierpniu (28,5%) i we wrześniu (29,9%). Natomiast brak jest różnicy w zawartości suchej masy w liściach pobranych w sierpniu i wrześniu.

Zawartość suchej masy w liściach *P. avium*, *S. aucuparia* i *F. alnus* (L_{sm} %) rośnie wraz z wiekiem krzewów i ich wysokością. Współczynnik korelacji Pearsona, oceniający moc tej zależności z wiekiem, wynosi odpowiednio: 0,3303, 0,4679 oraz 0,4969 i dla *S. aucuparia* oraz *F. alnus* jest statystycznie istotny. Związek z wysokością (h [m]) jest w każdym przypadku silniejszy (współczynnik korelacji wynosi odpowiednio: 0,4528, 0,5839 i 0,5246) i statystycznie istotny na poziomie $\alpha=0,05$. Opisujące go funkcje pierwszego stopnia przyjmują następującą postać:

$$Padus\ avium: L_{sm}\% = 32,3023 + 0,8334 \cdot h$$

$$Sorbus\ aucuparia: L_{sm}\% = 31,5993 + 1,1003 \cdot h$$

$$Frangula\ alnus: L_{sm}\% = 23,6417 + 0,7266 \cdot h$$

ZAWARTOŚĆ SUCHEJ MASY W ANALIZOWANYCH PRÓBKACH DREWNA Z KORĄ. Zawartość suchej masy w drewnie pni jest dla każdego analizowanego gatunku krzewu większa niż w drewnie gałęzi (tab. 3). Najmniejszą średnią jej różnicę stwierdzono w przypadku *S. aucuparia* (1,0%), zaś największą dla *P. avium* (4,0%). Z tabeli 3 wynika, że zawartość suchej masy w sumarycznej zdrewniałej biomase nadziemnej *P. avium* i *S. aucuparia* jest mniejsza, zaś w przypadku *P. serotina* nieznacznie większa niż w drewnie pni i gałęzi.

Zawartość suchej masy w świeżej masie drewna z korą istotnie zależy (tab. 4) zarówno od gatunku krzewu ($p=0,0217$), jak i analizowanego komponentu ($p=0,0001$). Nie zachodzi nato-

Tabela 4.

Wpływ gatunku i komponentu na zawartość suchej masy u badanych krzewów
Effect of species (Gatunek) and component (Komponent) on dry mass content for analysed shrub species

	DF	SS	F	P
Gatunek	4	48,4	2,89	0,0217
Komponent	2	151,7	9,08	0,0001
Gatunek × Komponent	8	31,0	1,85	0,0652

miast interakcja gatunek krzewu × komponent ($p=0,0652$). Z przeprowadzonych szczegółowych analiz zawartości suchej masy w komponentach poszczególnych gatunków krzewów wynika, że na poziomie $\alpha=0,05$ brak jest w przypadku *C. avellana* oraz *P. serotina* podstaw do odrzucenia hipotezy o równości średniej zawartości suchej masy w analizowanych komponentach (test analizy wariancji). Zawartość suchej masy w drewnie pni *S. aucuparia*, *P. avium* i *F. alnus* jest dla $\alpha=0,05$ istotnie większa niż w całkowitej zdrewniałej biomacie nadziemnej tych gatunków, a w przypadku *P. avium* i *F. alnus* także istotnie większa od zawartości suchej masy w świeżej masie ich gałęzi. Brak natomiast różnic na przyjętym poziomie istotności pomiędzy zawartością suchej masy w drewnie gałęzi i całkowitej zdrewniałej biomacie nadziemnej analizowanych krzewów.

Dla dwóch najczęściej występujących gatunków krzewów (*F. alnus* i *S. aucuparia*) określono udział suchej masy oddzielnie dla próbek pobranych od czerwca do września (okres wegetacyjny – OW) i dla próbek pobranych od października do kwietnia (okres spoczynku wegetacyjnego – OSW), uzyskując następujące średnie zawartości suchej masy – *F. alnus*: OW – 47,3%, OSW – 49,5%; *S. aucuparia*: OW – 48,7%, OSW – 49,0%. Dla *F. alnus* różnica pomiędzy średnimi jest statystycznie istotna na poziomie $\alpha=0,05$ (test U Manna-Whitneya).

Dyskusja

Zawartość suchej masy w świeżej masie komponentów nadziemnej biomasy roślinności drzewiastej nie jest częstym przedmiotem badań. Johansson [2000] przy sposobności badań biomasy olszy czarnej i olszy szarej wyrosłych na gruntach porolnych podaje m.in. zawartość suchej masy, wynoszącą dla olszy czarnej średnio $58 \pm 3\%$, $53 \pm 4\%$ i $42 \pm 3\%$ świeżej masy pnia, gałęzi i liści, zaś dla olszy szarej odpowiednio: $56 \pm 1\%$, $54 \pm 1\%$ i $46 \pm 5\%$. Dane te potwierdzają stwierdzoną w niniejszej pracy wyższą zawartość suchej masy w drewnie pni analizowanych gatunków krzewów w porównaniu z drewnem gałęzi. Jest ona w analizowanych komponentach krzewów o kilka procent niższa niż w pniach i gałęziach olszy czarnej i olszy szarej [Johansson 2000]. Również zawartość suchej masy w liściach analizowanych krzewów, wynosząca od 25,5% (*F. alnus*) do 39,3% (*C. avellana*), jest znacznie niższa w porównaniu z wielkościami uzyskanymi przez Johanssona. Nieróżniącą się istotnie zawartość suchej masy w liściach *P. avium* (34,8%), *P. serotina* (35,2%) i *S. aucuparia* (34,4%) nie odbiega zasadniczo od wyników pracy Simola [1977, za Johansson 2000], który wykazał 67% zawartość wody w liściach olszy szarej.

Zawartość wody wyrażona w procentach suchej masy igliwia zależy od jego rocznika (wieku) i jest tym większa, im jest ono młodsze [Chrosciewicz 1986] oraz wykazuje zmiany sezonowe. Najmniejsza zawartość wody w igliwiu starszym niż tegoroczne występuje na ogół na przełomie maja i czerwca, po czym stopniowo wzrasta, osiągając maksimum pod koniec lata [Van Wagner 1967; Chrosciewicz 1986]. W igliwiu młodym (tegorocznym), znajdującym się w początkowym stadium rozwoju, zawartość wody kilkakrotnie przewyższa jego suchą masę, po czym gwałtownie obniża się i późnym latem stanowi około 130-150% suchej masy igliwia [Kozłowski, Clausen 1965; Van Wagner 1967; Chrosciewicz 1986; Keyes 2006a, b]. Clausen i Kozłowski [1967]

główną przyczynę stwierdzonych sezonowych zmian zawartości wody w igliwiu upatrują we wzrastającej w okresie wegetacyjnym zawartości węglowodanów. Z dużą dozą prawdopodobieństwa można przyjąć, że jest to także główna przyczyna wykazanego istotnego wpływu terminu pobierania liści kruszyny na zawartość w nich suchej masy. Ten rezultat badań jest w pełni zgodny ze stwierdzonymi przez Agee i in. [2002] spadkowymi tendencjami zawartości wody w liściach krzewów w okresie od czerwca do września.

Sternberg i Shoshany [2001] wykazali istotny wpływ wysokości położenia analizowanych 20-centymetrowych segmentów gałęzi krzewów i drzew śródziemnomorskich na relacje pomiędzy zawartością wody w liściach i drewnie. Stwierdzili ponadto wyższą względną zawartość wody w aparacie asymilacyjnym w strefie z rocznym opadem 250 mm niż w strefie średnich opadów na poziomie 450 mm.

Z wyjątkiem *P. serotina* analizowane gatunki krzewów występowały w drzewostanach Puszczy Niepołomickiej wzrastających w szerokim zakresie zarówno troficzności, jak i wilgotności siedliska [Orzeł 2015]. *F. alnus*, *P. avium* i *S. aucuparia* stwierdzano w drzewostanach od typu siedliskowego bór mieszany świeży po siedlisko olsu, zaś *C. avellana* od typu siedliskowego las mieszany świeży po siedlisko olsu. Ponadto, w zależności od fazy rozwojowej (wieku), analizowane gatunki krzewów są mniej lub bardziej tolerancyjne pod względem wymagań świetlnych i mogą występować zarówno w miejscach nasłonecznionych, jak i ocienionych [Jaworski 2011]. Od warunków świetlnych istotnie zależy grubość blaszki liściowej, liczba komórek górnej i dolnej skórki, stężenie chlorofilu, liczba szparek oraz długość tkanek przewodzących w liściu [Kopcewicz i in. 2012]. Liście wystawione na intensywne działanie światła wytwarzają dwie do trzech warstw mięksiszu palisadowego (zawierającego dużą liczbę chloroplastów), silnie zredukowanego w liściach rosnących w warunkach zacielenia. Istotnie zależna od warunków świetlnych budowa liści może być prawdopodobną przyczyną wykazanego dodatniego związku pomiędzy wysokością i zawartością suchej masy w liściach *F. alnus*, *P. avium* i *S. aucuparia*.

Sucha masa poszczególnych komponentów biomasy tworzących warstwę podszytu może być bezpośrednio przeliczona na masę zakumulowanego w nich węgla. Odpowiednie przeliczniki dla najczęściej występujących w podszycie krzewów (dereń świdy, leszczyny pospolitej, kruszyny pospolitej, czeremchy zwyczajnej, czeremchy amerykańskiej, bzu czarnego i jarzębu pospolitego) określili Jagodziński i in. [2012]. Z rezultatów cytowanej pracy wynika, że nie ma istotnej różnicy pomiędzy średnią zawartością węgla w drewnie i korze pni. Dla drewna wynosi ona średnio od 48,16% (czeremcha amerykańska) do 49,18% (bez czarna), zaś dla kory pni od 48,05% (czeremcha amerykańska) do 49,29% (jarzab pospolity). Średnia różnica zawartości węgla w suchej masie drewna i kory pni badanych gatunków wynosi jedynie od 0,08% (dereń świda) do 0,63% (jarzab pospolity). Oznacza to, że dla oszacowania wielkości akumulowanego węgla w drewnie pni krzewów w pełni uzasadnione jest określanie suchej masy drewna z korą.

Wnioski

- ✦ Zawartość suchej masy w świeżej masie liści istotnie zależy od gatunku krzewu, a w przypadku *F. alnus*, *P. avium* i *S. aucuparia* także od ich wysokości.
- ✦ Wykazanie większej zawartości suchej masy w świeżej masie liści *F. alnus* pozyskanych w późniejszych miesiącach okresu wegetacyjnego niż na jego początku może mieć istotne znaczenie dla planowania badań biomasy aparatu asymilacyjnego i zakumulowanego w nim węgla.
- ✦ Niejednakowa zawartość suchej masy w świeżej masie drewna pni, gałęzi i całkowitej zdrewniałej biomasy nadziemnej wskazuje na konieczność uwzględnienia tego faktu przy określaniu całkowitej nadziemnej biomasy warstwy krzewów.

- ✦ Prowadzenie dalszych badań nad zawartością suchej masy w poszczególnych frakcjach krzewów jest niezbędne dla dokładnego określenia biomasy warstwy podszytu oraz weryfikacji uzyskanych wyników.
- ✦ Określona w pracy zawartość suchej masy w świeżej masie poszczególnych komponentów analizowanych krzewów może posłużyć, do czasu przeprowadzenia szerszych badań, do ustalania ich suchej masy, stanowiącej podstawę obliczania ilości zakumulowanego w nich węgla.

Literatura

- Agee J. K., Wright C. S., Williamson N., Huff M. H. 2002. Foliar moisture content of Pacific Northwest vegetation and its relation to wildland fire behavior. *Forest Ecology and Management* 167: 57-66.
- Bal R., Piechocki J. 2005a. Odnawialne źródła energii i możliwości ich praktycznego wykorzystania. W: *Praktyczne aspekty wykorzystania odnawialnych źródeł energii*. Białystok. 6-22.
- Bal R., Piechocki J. 2005b. Rola odnawialnych źródeł energii w zaspokajaniu lokalnych potrzeb energetycznych. W: *Praktyczne aspekty wykorzystania odnawialnych źródeł energii*. Białystok. 86-95.
- Bieranowski J. 2005. Biodiesel – ekologiczne źródło energii odnawialnej. W: *Praktyczne aspekty wykorzystania odnawialnych źródeł energii*. Białystok. 71-85.
- Bijak S., Zasada M. 2007. Oszacowanie biomasy korzeni w drzewostanach sosnowych Borów Lubuskich. *Sylwan* 151 (12): 21-29.
- 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.
- Chrosiewicz Z. 1986. Foliar moisture content variations in four coniferous tree species of central Alberta. *Can. J. For. Res.* 16: 157-162.
- Clausen J. J., Kozłowski T. T. 1967. Food sources for growth of *Pinus resinosa* shoots. *Adv. Front. Plant Sci.* 18: 23-32.
- Instrukcja wykonania wielkoobszarowej inwentaryzacji stanu lasu. 2005. Ministerstwo Środowiska, Warszawa.
- Jagodziński A. M., Jarosiewicz G., Karolewski P., Oleksyn J. 2012. Zawartość węgla w biomacie pospolitych gatunków krzewów podszycia leśnego. *Sylwan* 156 (9): 650-662.
- Jaworski A. 2011. Hodowla Lasu. Tom III. Charakterystyka hodowlana drzew i krzewów leśnych. PWRiL, Warszawa.
- Johansson T. 1999a. Biomass production of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) growing on abandoned farmland. *Silva Fennica* 33 (4): 261-280.
- Johansson T. 1999b. Dry matter amounts and increment in 21- to 91-year-old common alder and grey alder and some practical implications. *Can. J. For. Res.* 29: 1679-1690.
- Johansson T. 2000. Biomass equations for determining fractions of common and grey alders growing on abandoned farmland and some practical implications. *Biomass and Bioenergy* 18: 147-159.
- Keyes C. R. 2006a. Foliar Moisture Contents of North American Conifers. *USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-41*: 395-399.
- Keyes C. R. 2006b. Role of Foliar Moisture Content in the Silvicultural Management of Forest Fuels. *West. J. Appl. For.* 21 (4): 228-231.
- Kopcewicz J., Szmít-Jaworska A., Kannenberg K. 2012. Zarys struktury i fizjologii drzew leśnych. Wyd. WSZŚ w Tucholi i Wyd. Naukowe UMK w Toruniu.
- Kozłowski T. T., Clausen J. J. 1965. Changes in moisture contents and dry weights of buds and leaves of forest trees. *Bot. Gaz.* 126 (1): 20-26.
- Lewandowski W. M. 2007. Proekologiczne odnawialne źródła energii. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- Ochał W., Grabezyński S., Orzeł S., Wertz B., Socha J. 2013. Alokacja nadziemnej biomasy u sosen zajmujących różne pozycje biosocjalne w drzewostanie. *Sylwan* 157 (10): 737-746.
- Ochał W., Socha J., Grabezyński S. 2014. Dokładność wzorów empirycznych służących do określania biomasy nadziemnych komponentów drzew olszy czarnej (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.). *Sylwan* 158 (6): 431-442.
- Orzeł S. 2009. Biomasa sześcioletnich sosen wyrosłych z mikoryzowanych i niemikoryzowanych sadzonek. *Sylwan* 153 (4): 274-280.
- Orzeł S. 2015. Skład gatunkowy i biomasa nadziemna krzewów w podszytcie drzewostanów Puszczy Niepołomickiej. *Sylwan* 159 (10): 848-856.
- Orzeł S., Forgiel M., Ochał W., Socha J. 2005a. Biomass and annual production of common alder stands of the Niepołomice Forest. *EJPAU. Forestry* 8 (1).
- Orzeł S., Ochał W., Forgiel M., Socha J. 2006a. Biomasa i roczna produkcja drzewostanów dębowych Puszczy Niepołomickiej. *Sylwan* 150 (5): 30-43.
- Orzeł S., Socha J., Forgiel M., Ochał W. 2005b. Biomasa i roczna produkcja drzewostanów mieszanych Puszczy Niepołomickiej. *Acta Sci. Pol., Silv. Colendar. Rat. Ind. Lignar.* 4 (2): 63-79.
- Orzeł S., Socha J., Forgiel M., Ochał W. 2006b. Biomasa i roczna produkcja drzewostanów sosnowych Puszczy Niepołomickiej. *Sylwan* 150 (9): 16-32.

- Protokół z Kioto do Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu. 2005. Dz. U. Nr 203, poz. 1684.
- Sethi P., Chaundry S., Unnash S. 1999. Methanol production from biomass using the hynol process. W: Overend P., Chornet E. [red.]. Biomass – a growth opportunity in green energy and value-added products. Pergamon. 833-836.
- Socha J., Wężyk P. 2004. Empirical formulae to assess the biomass of the aboveground part of pine trees. EJPAAU, Forestry 7 (2).
- Socha J., Wężyk P. 2007. Allometric equations for estimating the foliage biomass of Scots pine. Eur. J. Forest. Res. 126: 263-270.
- Sternberg M., Shoshany M. 2001. Aboveground biomass allocation and water content relationships in Mediterranean trees and shrubs in two climatological regions in Israel. Plant Ecology 157: 171-179.
- Suresh B. Babu, Remick R. J. 2001. Biomass gasification for fuel cells. International Workshop on 'Bioenergy for Rural Area Development'. September 26-29, 2001, Warsaw. 17-31.
- Turski M., Beker C., Kaźmierczak K., Najgrakowski T. 2008. Allometric equations for estimating the mass and volume of fresh assimilational apparatus of standing Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) trees. Forest Ecology and Management 255 (7): 2678-2687.
- Van Wagner C. E. 1967. Seasonal variation in moisture content of eastern Canadian tree foliage and the possible effect on crown fires. Can. For. Branch. Dep. Publ. 1204.
- Wojtan R., Tomusiak R., Zasada M., Dudek A., Michalak K., Wróblewski L., Bijak S., Bronisz K. 2011. Współczynniki przeliczeniowe suchej masy drzew i ich części dla sosny (*Pinus sylvestris* L.) w zachodniej Polsce. Sylwan 155 (4): 236-243.
- Wrzosek J., Gworek B. 2010. Biomasa w energetyce odnawialnej. Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych 43: 104-116.
- Zasada M., Bronisz K., Bijak S., Wojtan R., Tomusiak R., Dudek A., Michalak K., Wróblewski L. 2008. Wzory empiryczne do określania suchej biomasy nadziemnej części drzew i ich komponentów. Sylwan 152 (3): 27-39.