

**KAROL BRONISZ, AGNIESZKA BRONISZ, MICHAŁ ZASADA, SZYMON BIJAK,
RAFAŁ WOJTAN, ROBERT TOMUSIAK, ALBERT DUDEK,
KAZIMIERZ MICHALAK, LECH WRÓBLEWSKI**

Biomasa aparatu asymilacyjnego w drzewostanach sosnowych zachodniej Polski

Biomass of assimilation apparatus in Scots pine stands of western Poland

ABSTRACT

Bronisz K. i in. 2009. Biomasa aparatu asymilacyjnego w drzewostanach sosnowych zachodniej Polski. Sylwan 153 (11): 758-767.

The paper presents empirical formulae for determination of dry and wet biomass of assimilation apparatus in Scots pine stands of western Poland. Analyzed equations were verified using relative percentage error. Influence of site conditions and different elements on accuracy of analyzed equations were also investigated.

KEY WORDS

biomass, assimilation apparatus, empirical formulae, Scots pine

ADDRESSES

Karol Bronisz – e-mail: Karol.Bronisz@wl.sggw.pl

Agnieszka Bronisz, Michał Zasada, Szymon Bijak, Rafał Wojtan, Robert Tomusiak, Albert Dudek,
Kazimierz Michalak, Lech Wróblewski

Samodzielny Zakład Dendrometrii i Nauki o Produkcyjności Lasu; Wydział Leśny SGGW;
ul. Nowoursynowska 159; 02-776 Warszawa

Wstęp

Obserwowane zmiany klimatu Ziemi spowodowały zwiększenie zainteresowania tematyką możliwości ich ograniczenia zarówno w Polsce, jak i na świecie. Podpisany w 1997 roku przez ponad 150 krajów „Protokół Kyoto” wśród wielu działań ograniczających koncentrację dwutlenku węgla w atmosferze wymienia także gospodarkę leśną. Analizowanie oraz monitorowanie węgla wiązanego lub uwalnianego w wyniku gospodarowania ekosystemami leśnymi oraz prognozowanie zmian jego zasobów staje się bardzo ważnym zadaniem. Badania nad biomasą i akumulacją węgla prowadzone są w licznych ośrodkach naukowych na całym świecie. Duża liczba prac pochodzi ze Stanów Zjednoczonych. Dotyczą one głównie lasów Ameryki Północnej [Birdsey 1992; Brown i in. 1999; Ares, Brauer 2005] i lasów tropikalnych [Detwiler, Hall 1988; Cost i in. 1990; Cole, Ewel 2006; Basuki i in. 2009]. Z badań prowadzonych w innych krajach warto wymienić te wykonane w Kanadzie [Zabek, Prescott 2006], Belgii [Ciao, Ceulemans 2004], Francji [Vallet i in. 2006] czy w Chinach [Min, Guang-Sheng 2005].

Wiele prac na temat biomasy dotyczy aparatu asymilacyjnego drzew, ponieważ akumulacja węgla w ekosystemach leśnych w dużej mierze zależy od jego wielkości. Wielkość ta warunkuje zdolność drzew do pochłaniania energii słonecznej oraz asymilacji węgla podczas fotosyntezy

* Wyniki prezentowane w niniejszej pracy są częścią tematu badawczego „Oszacowanie akumulacji węgla przez sosnowe kompleksy leśne w zachodniej Polsce i określenie wpływu różnych alternatyw gospodarowania na dynamikę wiązania węgla” finansowanego przez Ministerstwo Szkolnictwa Wyższego i Nauki (grant nr P06L 011 29).

[Grace i in. 1987]. Ponadto drzewa podczas swego życia wiele razy wymieniają garnitur liści i igieł [Lehtonen 2005]. Ze względu na to, iż ten element ulega stosunkowo łatwemu rozkładowi, należy na niego zwracać szczególną uwagę przy określeniu pełnego bilansu węgla [de los Santos-Posadas, Borders 2002].

Pionierem badań nad biomasa aparatu asymilacyjnego był Burger [1929, 1945, 1953], który prowadził w Szwajcarii badania dotyczące kilku gatunków drzew: sosny wejmutki (*Pinus strobus* L.), świerka pospolitego (*Picea abies* L.) oraz modrzewia europejskiego (*Larix decidua* L.). Innymi ważnymi badaniami dotyczącymi biomasy igieł sosny były doświadczenia prowadzone w Finlandii [Vanninen i in. 1996], na podstawie których dowiedziono m.in., że biomasa całego drzewa jest liniowo skorelowana z wiekiem oraz zauważono, że wraz z wiekiem zmniejsza się udział igieł w ogólnej biomacie drzewa (z 20% do 1%). Zaobserwowano również silną zależność między przestrzenią zajmowaną przez korony drzew i biomasa igieł. W wyniku innych fińskich badań [Helmisaari i in. 2002] określono zależność biomasy igieł i innych elementów od wieku drzew. Studia nad biomasa całych drzew oraz aparatu asymilacyjnego, prowadzone były na Uralu i Kazachstanie [Hoffman, Usoltsev 2002] oraz w Niemczech [Heinsdorf, Krauß 1990], gdzie opracowano tablice do określania suchej biomasy sosny pospolitej.

Badania dotyczące biomasy aparatu asymilacyjnego prowadzono również w Polsce. Ważne miejsce wśród nich zajmują badania prowadzone przez Lemke [1973, 1975, 1978, 1983]. Podstawą analiz w cytowanych badaniach były dane uzyskane z powierzchni próbnych założonych w litych drzewostanach sosnowych o różnym wieku na siedlisku Bśw i BMśw. W wyniku przeprowadzenia odpowiednich pomiarów otrzymano biomasa świeżych ulistnionych gałązek oraz biomasa świeżych igieł, które zestawiono w formie tablic służących do określania biomasy ulistnionych świeżych pędów oraz igieł [Lemke 1983].

Badania dotyczące biomasy prowadzono również w ramach projektu badawczego FOREMMS 5PR UE (Forest Environmental Monitoring and Management System Project) w lasach Puszczy Niepołomickiej, zrealizowanego przez Wydział Leśny w Krakowie [Socha, Wężyk 2004, 2007]. W ramach tego projektu założono 185 powierzchni badawczych, w tym 113 z sosną jako gatunkiem panującym, rozmieszczonych systematycznie w siatce kwadratów o boku 750 m. Na podstawie danych otrzymanych z powyższych powierzchni opracowano między innymi wzory empiryczne służące do określania suchej oraz świeżej biomasy nadziemnych części drzew [Socha, Wężyk 2004, 2007]. Warto także zwrócić uwagę na badania prowadzone przez Ebiś [2001]. Realizowane one były na powierzchni doświadczalnej (2500 m²) na siedlisku BMśw w Borach Niemodlińskich. Jednym z wyników tych badań było określenie suchej biomasy różnych elementów drzew (strzały, gałęzi oraz igliwia) w poszczególnych klasach grubości na analizowanej powierzchni badawczej.

Celem niniejszej pracy jest porównanie różnych sposobów określania suchej i świeżej biomasy aparatu asymilacyjnego w drzewostanach sosnowych.

Materiał i metodyka

Dane referencyjne składają się z informacji zebranych w 18 różnowiekowych drzewostanach sosnowych położonych na terenie nadleśnictw Lubsko i Gubin (Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych Zielona Góra). Drzewostany te rosły na typowych dla sosny siedliskach (Bs, Bśw, BMśw). Dla każdej kombinacji wieku i siedliska założono po dwie powierzchnie próbne zawierające co najmniej 200 drzew. Pomierzono na nich pierśnicę wszystkich drzew żywych z zaokrągleniem do 1 mm oraz wysokości 25 drzew do sporządzenia krzywej wysokości. Na każdej powierzchni ścięto po 5 drzew próbnych. Po ścięciu wykonano sekcyjny pomiar miąższości

każdego drzewa w korze i bez kory oraz za pomocą dynamometrów określono biomasę całej strzały w korze oraz korony z podziałem na gałązki uigłone, niepokryte igłami oraz suche. Poza tym z każdego drzewa próbnego pobrano wyrzynki, a z każdej powierzchni próbnej próbki kory i gałęzi, które poddano analizie w laboratorium Instytutu Technologii Drewna w Poznaniu. W wyniku tych zabiegów otrzymano gęstość oraz świeżą i suchą biomasę strzał w korze i bez kory, a także suchą biomasę koron drzew z podziałem na części składowe. Na podstawie otrzymanych w ten sposób danych dla każdego drzewa na powierzchniach próbnych określono suchą biomasę poszczególnych elementów na podstawie wzorów przedstawionych w pracy Zasady i in. [2008].

Opracowano wzory empiryczne służące do obliczania świeżej biomasy poszczególnych części drzew:

– świeża biomasa uigłonych gałązek

$$Mmu = 0,000331 \cdot D^{2,347504} \cdot H^{-0,521162} \quad [1]$$

gdzie:

D – pierśnica,

H – wysokość.

– świeża biomasa całego drzewa

$$Mmc = 0,001150 \cdot D^{1,796447} \cdot H^{0,962669} \quad [2]$$

– świeża biomasa żywych nieuigłonych gałęzi

$$Mmz = 0,000032 \cdot D^{2,522598} \quad [3]$$

Wzory te opracowano na podstawie danych uzyskanych z 18 powierzchni próbnych wykorzystując regresję nieliniową. W celu wybrania równań najlepiej odzwierciedlających zależność świeżej biomasy części drzew od pierśnicy i wysokości, w obliczeniach wykorzystano najczęściej stosowane w podobnych badaniach funkcje matematyczne. Następnie na podstawie współczynnika determinacji wybrano do dalszych obliczeń najodpowiedniejsze równania. Wyniki uzyskane na podstawie wyżej wymienionych wzorów empirycznych, a także wzorów dotyczących suchej biomasy drzew i ich komponentów [Zasada i in. 2008] potraktowano jako wartości referencyjne. Założenie to przyjęto ze względu na to, iż opracowanie tych wzorów oparto na dosyć szerokim materiale empirycznym. Poza tym jako zmienne niezależne w większości przypadków przyjęto pierśnicę i wysokość drzew, co pozwala na uzyskanie bardzo dobrych wyników [Socha, Wężyk 2004, 2007; Zasada i in. 2008]. Należy także zwrócić uwagę na fakt, iż wzory te opracowane zostały na typowych powierzchniach dla analizowanego obszaru (skład gatunkowy, typ siedliskowy lasu) i dlatego też można przyjąć, że otrzymane wyniki odzwierciedlają wartości rzeczywiste.

W dalszym etapie prac wybrano z dostępnej literatury wzory empiryczne, na podstawie których określa się zarówno suchą, jak i świeżą biomasę drzew i ich komponentów:

– świeża biomasa uigłonych gałązek [Socha, Wężyk 2007]

$$Mmu = 0,59320 \cdot D^{1,28942} \cdot e^{0,05608} \quad [4]$$

– sucha biomasa żywych nieuigłonych gałęzi [Socha, Wężyk 2004]

$$Msz = 0,127454 \cdot H^{-0,859646} \cdot (D^2)^{1,276049} \quad [5]$$

– sucha biomasa igieł [Socha, Wężyk 2004]

$$Msi = 0,231644 \cdot H^{-0,54952} \cdot D^{1,716144} \quad [6]$$

– sucha biomasa szyszek [Socha, Wężyk 2004]

$$M_{ssz} = 0,000253 \cdot (D^2)^{1,0361} \quad [7]$$

Do dalszych analiz wybrano również wzór, którego zadaniem jest przeliczanie świeżej biomasy odpowiednich komponentów drzew na ich suchą biomase:

– sucha biomasa żywych nieugiętych gałęzi [Wagenfur, Scheiber 1985 za Socha, Wężyk 2004]

$$M_{sz} = Mmz (g_d/g_w) \quad [8]$$

gdzie:

Mmz – świeża biomasa żywych nieugiętych gałęzi [kg],

g_d – gęstość drewna sosny w stanie suchym [490 kg/m³],

g_w – gęstość drewna sosny w stanie świeżym [820 kg/m³].

zaproponowano również wzór do obliczania suchej biomasy żywych nieugiętych gałęzek:

– sucha biomasa żywych nieugiętych gałęzi

$$M_{sz} = Mmz (Msc/Mmc) \quad [9]$$

gdzie:

Msc – sucha biomasa całego drzewa [kg],

Mmc – świeża biomasa całego drzewa [kg].

Autorzy mają świadomość, że stosowanie tego wzoru jest dosyć kłopotliwe, dlatego też należy go potraktować jako nieco inne podejście do przeliczania odpowiednich wartości biomasy. Celem opracowania tego wzoru było porównanie wyników otrzymywanych na podstawie wzoru [8] zaproponowanego przez Sochę i Wężyka [2004].

Tabela 1.

Świeża oraz sucha biomasa [t/ha] poszczególnych części drzew – dane referencyjne
 Wet and dry biomass [t/ha] of individual tree components – reference data

Nr. pow.	Mmu	Mmc	Mmz	Msd	Msk	Msu	Msz	Mss	Msu+Msz
1	18,3	198,6	18,2	93,3	13,1	8,2	10,5	2,6	18,7
2	16,2	139,4	12,6	61,5	10,9	7,5	7,4	1,8	15,0
3	18,0	156,1	13,5	69,2	12,1	8,4	7,5	2,0	15,9
4	19,2	184,8	18,3	84,0	13,1	8,6	12,0	2,6	20,6
5	16,5	166,7	15,6	76,9	11,5	7,4	9,4	2,2	16,8
6	11,8	80,4	7,9	33,3	7,3	5,6	5,4	1,2	10,9
7	20,4	335,0	27,3	176,8	16,6	8,8	12,7	3,7	21,5
8	19,2	183,0	15,4	83,2	13,3	8,9	8,1	2,3	17,0
9	18,5	217,6	20,8	104,5	13,4	8,1	12,9	2,9	21,0
10	18,2	218,8	16,3	106,4	13,6	8,3	6,9	2,4	15,2
11	21,0	245,9	17,5	118,8	15,7	9,7	7,0	2,6	16,7
12	14,8	178,4	13,5	86,7	11,1	6,7	5,9	2,0	12,7
13	17,1	206,5	18,3	100,0	12,6	7,6	10,0	2,6	17,6
14	20,4	242,2	22,7	116,5	14,9	9,0	13,7	3,1	22,7
15	20,5	236,0	24,2	112,4	14,7	8,9	16,5	3,3	25,4
16	22,0	263,9	19,8	128,3	16,5	10,0	8,5	2,9	18,5
17	17,6	187,8	16,9	87,9	12,5	7,9	9,6	2,4	17,5
18	16,2	179,5	17,2	84,7	11,6	7,2	10,6	2,4	17,8

Nr pow. – numer powierzchni; Msd – sucha biomasa drewna; Msk – sucha biomasa kory strzał; Msu – sucha biomasa ugiętych gałęzek; Mss – sucha biomasa suchych gałęzi; pozostałe objaśnienia w tekście

Nr pow. – study plot number; Msd – wood dry biomass; Msk – stem bark dry biomass; Msu – dry biomass of branches with needles; Mss – dry biomass of dead branches

Tabela 2.

Biomasa poszczególnych elementów drzew
Biomass of different tree components

Nr. pow.	Msz	Msi	Mssz	Msz+Msi+Mssz	Mmu	Msz(8)	Msz(9)	Mmut	Msut(8)	Msut(9)
1	23,1	8,5	6,3	31,7	29,5	10,9	11,7	10,1	6,1	6,5
2	20,8	10,1	2,9	31,0	35,6	7,5	8,1	14,8	8,8	9,5
3	22,8	12,0	2,9	34,9	43,4	8,0	8,6	24,0	14,3	15,2
4	24,8	8,9	6,4	33,8	29,7	10,9	11,9	10,2	6,1	6,6
5	20,9	7,9	5,1	28,9	27,2	9,3	10,0	16,9	10,1	10,9
6	15,6	8,3	1,6	23,9	27,7	4,7	5,2	14,5	8,7	9,5
7	24,2	7,2	13,8	31,5	26,4	16,3	17,8	20,1	12,0	13,1
8	24,0	12,0	3,6	36,1	44,2	9,2	9,8	26,2	15,7	16,6
9	23,3	7,2	9,3	30,6	24,2	12,4	13,6	15,2	9,1	9,9
10	21,6	10,7	4,1	32,5	41,9	9,7	10,3	26,8	16,0	16,8
11	24,9	14,1	3,8	39,1	57,0	10,4	10,9	31,2	18,6	19,4
12	17,7	8,6	3,6	26,5	33,6	8,0	8,5	15,4	9,2	9,7
13	21,2	7,4	7,0	28,8	26,3	10,9	11,8	19,0	11,3	12,2
14	25,7	8,2	9,8	34,0	28,0	13,5	14,8	16,1	9,6	10,5
15	26,3	7,3	12,2	33,7	23,5	14,4	16,0	17,9	10,7	11,8
16	26,2	13,0	5,0	39,3	50,9	11,8	12,4	32,3	19,3	20,3
17	22,1	8,6	5,5	30,8	30,0	10,1	10,8	18,4	11,0	11,8
18	20,6	6,8	6,9	27,5	22,9	10,2	11,2	17,5	10,5	11,4

Msz – sucha biomasa żywych nieuigłonych gałęzi (wzór [5]); Msi – sucha biomasa igieł (wzór [6]); Mssz – sucha masa szyszek (wzór [7]); Mmu – świeża biomasa uigłonych gałązek (wzór [4]); Msz(8) – sucha biomasa żywych nieuigłonych gałęzi (wzór [8]); Msz(9) – sucha biomasa żywych nieuigłonych gałęzi (wzór [9]); Mmut – świeża masa uigłonych gałązek na podstawie tablic; Msut(8) – sucha biomasa uigłonych gałązek na podstawie tablic (przeliczenie wzorem [8]); Msut(9) – sucha biomasa uigłonych gałązek na podstawie tablic (przeliczenie wzorem [9])

Msz – dry biomass of branches without needles (eq. [5]); Msi – needles dry biomass (eq. [6]); Mssz – cones dry biomass (eq. [7]); Mmu – wet biomass of branches with needles (eq. [4]); Msz(8) – dry biomass of branches without needles (eq. [8]); Msz(9) – dry biomass of branches without needles (eq. [9]); Mmut – wet biomass of branches with needles according to Lemke's tables; Msut(8) – dry biomass of branches with needles according to Lemke's tables (recalculated with eq. [8]); Msut(9) – dry biomass of branches with needles according to Lemke's tables (recalculated with eq. [9])

Kolejnym etapem przeprowadzonych analiz było określenie świeżej biomasy uigłonych gałązek na podstawie tablic opracowanych przez Lemke [1983]. W dalszej części badań porównano wartości zarówno suchej, jak i świeżej biomasy poszczególnych elementów drzew z wynikami otrzymanymi na podstawie wzorów wybranych z literatury i oceniono ich dokładność przy pomocy błędu procentowego wtórnego.

Wyniki

W tabeli 1 przedstawiono świeżą oraz suchą biomasa drzew i ich komponentów określoną wzorami [1]-[3] oraz równaniami zaczerpniętymi z pracy Zasady i in. [2008]. Przedstawione wartości potraktowano w dalszej analizie jako dane referencyjne. Określono również biomasa poszczególnych elementów drzew wzorami [4]-[9] oraz tablicami Lemke [1983] (tab. 2). Wzory [5], [6] i [7] potraktowano jako całość, ponieważ w sumie stanowią one o biomacie koron drzew i dzięki temu możliwe było ich porównanie z pozostałymi danymi (sucha biomasa uigłonych pędów i sucha biomasa żywych bezlistnych gałęzi). Podczas obliczeń przeprowadzono również analizę wzorów [8] i [9] w porównaniu z danymi uzyskanymi na podstawie tablic opracowanych przez Lemke [1983]. W tym wypadku zamiast świeżej masy żywych nieuigłonych gałęzi wykorzystano świeżą masę uigłonych gałązek określoną na podstawie tablic.

Wyniki uzyskane na podstawie wzorów [4]-[9] oraz tablic poddano porównaniu i ocenie, wykorzystując błąd procentowy wtórny. Analizowane wzory oceniano w dwojaki sposób: na pod-

stawie wszystkich powierzchni próbnych oraz w rozbiu na poszczególne typy siedliskowe lasu (tab. 3). Jednym z kryteriów porównania wzorów służących do określania biomasy drzew i ich komponentów była średnia arytmetyczna błędu procentowego wtórnego. Wartości tego parametru dla wzorów określających suchą biomasę koron drzew w różnych wariantach przedstawiono na rycinie 1. Z kolei rycina 2 prezentuje średnią arytmetyczną błędu procentowego wtórnego wyników otrzymanych na podstawie wzoru [4] oraz tablic Lemke (świeża biomasa uigłonych gałązek) we wszystkich wariantach siedliskowych.

Dyskusja

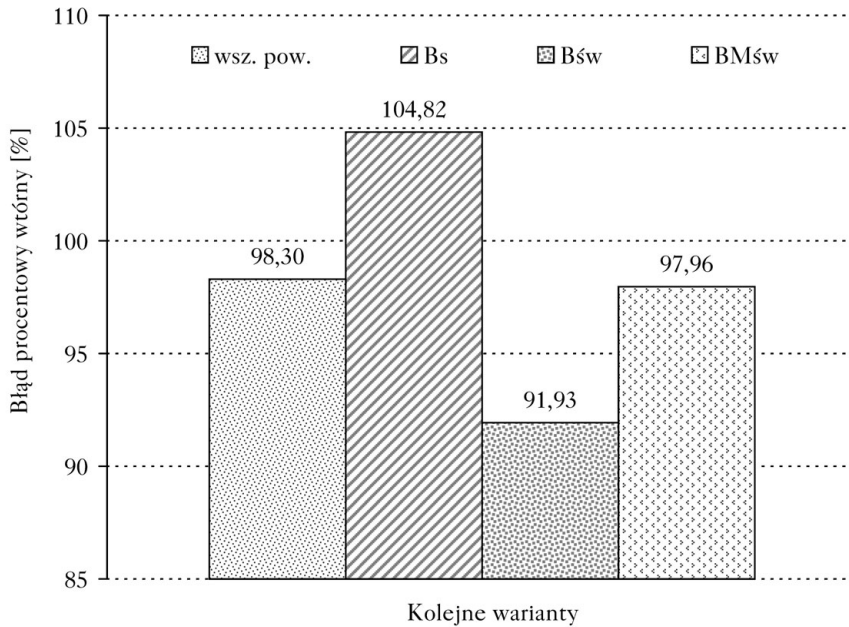
W niniejszym opracowaniu podjęto próbę oceny równań służących do określania biomasy drzew i ich komponentów opracowanych na podstawie badań realizowanych na obszarze Polski. Jako

Tabela 3.

Ocena dokładności analizowanych wzorów
Accuracy verification of the analyzed formulae

Numer wzoru	Błąd procentowy wtórny			
	min.	max.	średnia	odch. std.
Wszystkie powierzchnie				
4	-21,32	580,02	106,51	74,79
5+6+7	0,45	326,79	98,30	45,37
8	-34,62	103,14	19,68	25,07
9	-23,55	111,97	27,49	24,60
tab.	-99,97	104,15	7,22	31,31
8t	-99,97	694,14	56,01	92,60
9t	-99,96	738,37	65,33	95,26
Powierzchnie na borze świeżym				
4	-12,01	370,63	95,68	65,01
5+6+7	10,05	237,70	91,93	40,25
8	-27,85	72,38	20,69	20,95
9	-17,49	77,84	28,32	20,27
tab.	-99,97	50,73	10,13	29,96
8t	-99,96	340,54	53,55	86,13
9t	-99,95	353,88	62,48	88,55
Powierzchnie na borze suchym				
4	2,70	412,12	113,63	63,06
5+6+7	23,39	272,32	104,82	38,86
8	-28,18	103,14	5,04	15,04
9	-18,25	111,97	12,51	14,25
tab.	-99,97	51,28	-5,68	33,95
8t	-99,97	353,18	31,48	73,08
9t	-99,96	367,23	40,71	76,87
Powierzchnie na borze mieszanym świeżym				
4	-21,32	580,02	109,75	90,73
5+6+7	0,45	326,79	97,96	53,93
8	-34,62	79,41	32,69	28,49
9	-23,55	92,27	40,94	27,77
tab.	-64,81	104,15	15,96	25,96
8t	-61,39	694,14	79,87	106,66
9t	-54,85	738,37	89,62	108,91

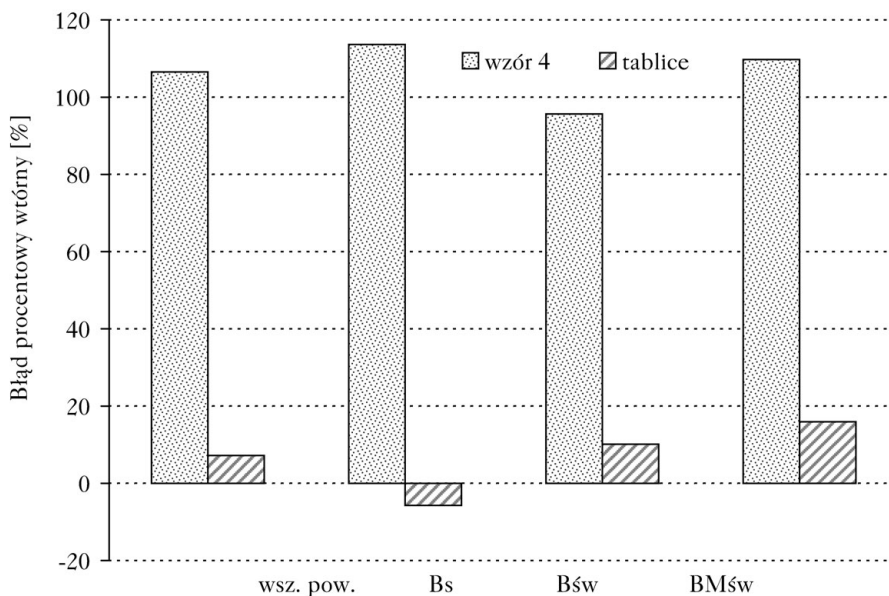
8t – wartości błędów dla wzoru [8] na podstawie danych z tablic; 9t – wartości błędów dla wzoru [9] na podstawie danych z tablic
8t – percentage error for eq. [8] basing on the data from Lemke's tables; 9t – percentage error for eq. [9] basing on the data from Lemke's tables



Ryc. 1.

Średnia arytmetyczna błędów procentowych wtórnych dla wzorów określających suchą biomasę koron drzew

Mean of relative percentage error of formulae for determination of crown dry biomass



Ryc. 2.

Średnia arytmetyczna błędów procentowych wtórnych dla wzorów określających świeżą biomasę uigłonych gałązek

Mean relative percentage error of formulae for determination of wet biomass of branches with needles

podstawę do porównań wybrano dane oraz wzory empiryczne będące rezultatem realizacji projektu badawczego prowadzonego w zachodniej Polsce [Zasada i in. 2008]. Poza tym do dalszych analiz zaproponowano zastosowanie dodatkowych równań (wzory [1]-[3] oraz [9]).

Biorąc pod uwagę określanie suchej biomasy drzew i ich komponentów, ocenie poddano suchą biomasę koron drzew, która składa się z suchej biomasy: żywych nieuigłonych gałęzi (wzór [5]), igieł (wzór [6]) oraz szyszek (wzór [7]) (ryc. 1). Otrzymane wyniki pozwalają stwierdzić, że sucha biomasa określona na podstawie tych wzorów empirycznych obarczona jest bardzo dużym błędem, wyraźnie większymi niż podają autorzy [Socha, Wężyk 2004]. Należy jednak dodać, iż zauważa się wyraźny wpływ typu siedliskowego lasu na otrzymane wyniki. Na siedlisku Bśw wzory te są najdokładniejsze. Ważne jest też, że powierzchnie na siedlisku BMśw charakteryzowały się niskim wiekiem, co również mogło mieć wpływ na dokładność otrzymanych wyników.

W przypadku określania świeżej biomasy uigłonych gałązek wzięto pod uwagę dwa sposoby jej obliczania: wzór [4] [Socha, Wężyk 2007] oraz tablice Lemke [1983] (ryc. 2). Lepsze wyniki dla analizowanego materiału empirycznego uzyskuje się stosując tablice. Należy wspomnieć, że zostały one oparte na materiale empirycznym zebranym na typowych dla sosny siedliskach boru świeżego oraz boru mieszanego świeżego [Lemke 1983]. Obszar, w którym pobierano dane referencyjne, również charakteryzował się podobnymi warunkami siedliskowymi [Zasada i in. 2008]. Z kolei wzór [4] [Socha, Wężyk 2004] opracowany został na podstawie danych uzyskanych z pomiarów na powierzchniach położonych w Puszczy Niepołomickiej [Socha, Wężyk 2004, 2007]. Obszar ten charakteryzuje się dużym zróżnicowaniem typów siedliskowych. W północnej części dominują siedliska żyzne, głównie lasowe, natomiast na w południowej partii występują siedliska boru mieszanego o różnych wariantach uwilgotnienia [Orzeł i in. 2006a]. Sosna w tym rejonie występuje nawet na siedliskach olsowych, co ma znaczący wpływ na charakterystykę rosnących tam drzewostanów [Orzeł i in. 2005, 2006b]. Dlatego też można się pokusić o stwierdzenie, że jedną z przyczyn tak wyraźnych różnic w otrzymanych wynikach dotyczących świeżej biomasy uigłonych gałązek jest wpływ typu siedliskowego lasu oraz pochodzenia danych.

Przeanalizowano również wzory służące do przeliczania świeżej biomasy poszczególnych części drzew na ich suchą biomasę: wzór [8] [Wagenfur, Scheiber 1985 za Socha, Wężyk 2004] oraz zaproponowany przez autorów niniejszego opracowania wzór [9]. Równania te zastosowane były dla danych referencyjnych oraz danych uzyskanych na podstawie tablic Lemke [1983]. W przypadku danych referencyjnych obliczono suchą biomasę żywych nieuigłonych gałęzi, natomiast w przypadku tablic, po odpowiednim zmodyfikowaniu wzorów [8] i [9] (zamiast świeżej masy żywych nieuigłonych gałęzi wykorzystano świeżą masę uigłonych gałęzi), obliczono suchą biomasę uigłonych gałęzi. Lepszy okazał się wzór [9], jednak trzeba zwrócić uwagę na fakt, iż jest on bardziej kłopotliwy w zastosowaniu niż wzór [8]. Podobnie jest w przypadku danych tablicowych, jednak tutaj wzory te cechują się wyraźnie mniejszą dokładnością, gdyż dodatkowe przeliczanie wyników otrzymanych za pomocą tablic generuje większe błędy w otrzymanych wynikach.

Wnioski

- ✦ W celu precyzyjnego określania biomasy drzew i ich komponentów należy brać pod uwagę wiele różnych czynników, takich jak: typ siedliskowy lasu, wiek drzew czy położenie obiektu badań.
- ✦ Należy prowadzić dalsze badania nad wpływem takich parametrów jak: typ siedliskowy lasu, wiek drzew, pierśnica czy wysokość drzew na wielkość suchej oraz świeżej biomasy drzew.

- ✚ Przeliczanie świeżej biomasy na suchą sprawia, że otrzymane wyniki obarczone są dosyć dużym błędem.
- ✚ Wskazane są dalsze badania służące opracowaniu wzorów, które w dokładny sposób pozwolą na przeliczanie świeżej biomasy poszczególnych elementów na trudniejszą pod względem pomiarowym suchą biomasę.
- ✚ Istnieje potrzeba opracowania wzorów empirycznych opartych na zróżnicowanym materiale empirycznym, możliwych do zastosowania na obszarze całego kraju.

Literatura

- Ares A., Brauer D. 2005. Aboveground biomass partitioning in loblolly pine silvopastoral stands: Spatial configuration and pruning effects. *For. Ecol. Manage.* 219: 176-184.
- Basuki T. M., Van Laake P. E., Skidmore A. K., Hussin Y. A. 2009. Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical lowland Dipterocarp forests. *For. Ecol. Manage.* 257: 1684-1694.
- Birdsey R. A. 1992. Carbon Storage and Accumulation in United States Forest Ecosystems, USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. WO-59.
- Brown S. L., Schroeder P., Kern J. S. 1999. Spatial distribution of biomass in forests of the eastern USA. *For. Ecol. Manage.* 123: 81-90.
- Burger H. 1929. Holz, Blattmenge und Zuwachs. I: Die Weymouthsföhre. *Mitt Schw Anst Forstl Versw* 15: 243-292.
- Burger H. 1945. Holz, Blattmenge und Zuwachs. VII: Die Larche. *Mitt Schw Anst Forstl Versw* 24: 7-103.
- Burger H. 1953. Holz, Blattmenge und Zuwachs. XIII: Fichten im gleichaltrigen Hochwald. *Mitt Schw Anst Forstl Versw.* 29: 38-103.
- Cole G. T., Ewel J. J. 2006. Allometric equations for four valuable tropical tree species. *For. Ecol. Manage.* 229: 351-360.
- Cost N. D., Howard J. O., Mead B., McWilliams W. H., Smith W. B., Van Hooser D. D., Wharton E. H. 1990. The Forest Biomass Resource of the United States. General Research Paper WO-57. USDA Forest Service.
- Chun-Wang Xiao, Ceulemans R. 2004. Allometric relationships for below- and aboveground biomass of young Scots pines. *For. Ecol. Manage.* 203: 177-186.
- de los Santos-Posadas H., Borders B. E. 2002. Empirical allometric models to estimate total needle biomass for loblolly pine. In: Proceedings of the 11th biennial southern silvicultural research conference. USDA-FS. General Technical Report SRS: 431-437.
- Detwiler R. P., Hall C. A. S. 1988. Tropical forests and the global carbon cycle. *Science.* 239: 42-47.
- Ebiś M. 2001. Struktura biomasy sosny zwyczajnej. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa-Wrocław.
- Grace J C., Jarvis P G., Norman J M. 1987. Modeling the interception of solar radiant energy in intensively managed stands. *N. Z. J. For. Sci.* 17: 119-203.
- Heinsdorf D., Krauß H-H. 1990. Schatztafeln für Trockenmasse und Nathurstoffspeicherung von Kiefernbeständen. *IFE-Ber Forsch Entwickl* 18: 77.
- Helmisari H. S., Makkonen K., Kellomaki S., Valtonen E., Malkonen E. 2002. Below- and aboveground biomass, production and nitrogen use in Scots pine stands in eastern Finland. *For. Ecol. Manage.* 165: 317-326.
- Hoffmann C. W., Usoltsev V. A. 2002. Tree-crown biomass estimation in forest species of the Ural and Kazakhstan. *For. Ecol. Manage.* 158: 59-69
- Lehtonen A. 2005. Estimating foliage biomass in Scots pine (*Pinus sylvestris*) and Norway spruce (*Picea abies*) plots. *Tree Physiol.* 25: 803-811.
- Lemke J. 1973. Charakterystyka ilościowa igliwia i ulistnionych gałązek w młodszych drzewostanach sosnowych. *Fol. For. Pol. Ser. A.* 21: 173-191.
- Lemke J. 1975. Szacowanie ciężaru świeżego igliwia sosny zwyczajnej. *Sylvan* 119 (6): 37-44.
- Lemke J. 1978. Charakterystyka ilościowa igliwia i ulistnionych gałązek w starszych drzewostanach sosnowych. *Fol. For. Pol. Ser. A.* 23: 53-66.
- Lemke J. 1983. Tabele do szacowania ciężaru igliwia i uiglonych gałązek sosny zwyczajnej. *Sylvan* 127 (2): 21-30.
- Min Z., Guang-Sheng Z. 2005. Estimation of biomass and net primary productivity of major-planted forests in China based on forest inventory data. *For. Ecol. Manage.* 207: 295-313.
- Orzeł S., Socha J., Forgiel M., Ochał W. 2005. Struktura biomasy podszytu występującego w drzewostanach Puszczy Niepołomickiej. *Sylvan* 149 (4): 40-47.
- Orzeł S., Ochał W., Forgiel M., Socha J. 2006a. Biomasa i roczna produkcja drzewostanów dębowych Puszczy Niepołomickiej. *Sylvan* 150 (5): 30-43.
- Orzeł S., Ochał W., Forgiel M., Socha J. 2006b. Nadziemna biomasa i roczna produkcja drzewostanów sosnowych Puszczy Niepołomickiej. *Sylvan* 150 (9): 16-32.
- Socha J., Wężyk P. 2004. Empirical formulae to assess the biomass of the aboveground part of pine trees. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Forestry, Volume 7, Issue 2.*

- Socha J., Wężyk P. 2007. Allometric equations for estimating the foliage biomass of Scots pine. *Eur. J. Forest. Res.* 126: 263-270.
- Wagenführ R., Scheiber Chr. 1985. *Holzatlas*, VEB Fachbuchverlag Leipzig 2. Auflage.
- Zabek L. M., Prescott C. E. 2006. Biomass equations and carbon content of aboveground leafless biomass of hybrid poplar in Coastal British Columbia. *For. Ecol. Manage.* 223: 291-302.
- Vallet P., Dhote J. F., Le Moguedec G., Ravart M., Pignard G. 2006. Development of total aboveground volume equations for seven important forest tree species in France. *For. Ecol. Manage.* 229: 98-110.
- Vanninen P., Ylitalo H., Sievanen R., Mäkelä A. 1996. Effects of age and site quality on the distribution of biomass in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Trees* 10: 231-238.
- Zasada M., Bronisz K., Bijak Sz., 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.

SUMMARY

Biomass of assimilation apparatus in Scots pine stands of western Poland

Technique of the biomass calculation of various tree components is very important issue nowadays. There are many research programs worldwide that aim to elaborate possibly the best methods for calculation of the wet and dry biomass of assimilation apparatus.

This paper presents examination of selected equations that were used to calculate dry and wet biomass of different parts of a tree crown. Those equations originate from three different research programs. The first one was realized in 18 Scots pine stands in Bory Lubulskie, the other represent research in the Zielonka Forest District and in Puszcza Niepołomska (Forest Environmental Monitoring and Management System Project). The empirical formulae elaborated within the previous project were used as a reference (tab. 1). In total, nine various methods used to biomass calculation were analyzed in terms of accuracy (tab. 2).

Presented results show noticeable differences in accuracy of analyzed equations (tab. 3; figs. 1 and 2). We tried to find out the reasons of different accuracy of the analyzed equations. Site type and stand age seem to be important in that case.