

STANISŁAW ORZEŁ

Skład gatunkowy i biomasa nadziemna krzewów w podszybie drzewostanów Puszczy Niepołomickiej*

Species composition and aboveground biomass of shrubs in the understory of the Niepołomice Forest

ABSTRACT

Orzeł S. 2015. Skład gatunkowy i biomasa nadziemna krzewów w podszybie drzewostanów Puszczy Niepołomickiej. Sylwan 159 (10): 848-856.

The understory, a layer composed predominantly of shrubs that perform an important phytomeliorative function, has rarely been the subject of research on the productivity and biomass. The aim of this paper was to specify the occurrence of understory aged ≥ 10 years as well as its species composition and the share of individual species in the biomass in the Niepołomice Forest (S Poland). The analysed features were related to the age and site conditions of the stands. The research material consisted of dry biomass of shrubs growing within circular sample plots spaced 500 m apart from each other. Dead and live (damaged and undamaged) shrubs of $dbh < 7$ cm were cut at a ground level to determine their wet mass and samples were taken to determine the dry mass. The mass of live shrubs was calculated based on empirical formulas. 368 sample plots were set up in total. Shrubs (13 species) were observed on 76.1% of plots. Shrubs were the most common in the stands of II and IV age groups (87% of plots). No shrubs were observed on the plots with stands older than 160 years. The most common species was *Frangula alnus* (56.8% of the plots). Quite common ones included *Sorbus aucuparia* (27.7%) and *Padus avium* (12.8%). *Cornus sanguinea*, *Prunus spinosa*, *Salix caprea* and *Viburnum opulus* were observed on less than 1% of the sample plots. *Frangula alnus* and *Padus avium* were inventoried in as many as 8 forest site types. The largest amount of shrubs (10 species) were observed in moist broadleaved forest stands, while the fewest (2 species) in boggy mixed broadleaved and ash-alder swamp stands. Over 56% of the aboveground biomass were live shrubs of $dbh < 7$ cm (868.6 kg/ha), almost 29% (444.1 kg/ha) were shrubs of the $dbh \geq 7$ cm, and around 15% (227.6 kg/ha) of the biomass were dead shrubs. The total aboveground biomass of shrubs in the understory of the analysed stands equaled, on average, to 1,540 kg/ha. 94% of the biomass was the aboveground woody biomass including bark (1,448 kg/ha). The dry mass of leaves amounted to 92 kg/ha (6%). Due to high variability of the understory biomass, the estimation error of its average amount was almost 11.4% for total biomass and 13.5% for leaves.

KEY WORDS

Niepołomice Forest, understory, shrub biomass, forest site type

ADDRESSES

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

Zakład Biometrii i Produkcyności 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” finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki.

Wstęp

Wzrost stężenia dwutlenku węgla w atmosferze jest powszechnie uważany za podstawową przyczynę obserwowanych w ostatnich dekadach zmian klimatu. Dla zminimalizowania niekorzystnych jego skutków podejmowane są działania zmierzające do ograniczenia wielkości emisji gazów cieplarnianych. Temu służą między innymi zobowiązania do oceny wielkości emitowanego i pochłanianego dwutlenku węgla ponad 150 państw, które podpisały sporządzony w Kioto w 1997 roku protokół do konwencji w sprawie zmian klimatu [Protokół... 2005]. Gospodarka leśna, ze względu na przewagę akumulacji nad wielkością uwalnianego dwutlenku węgla w skali globalnej, wymieniana jest jako istotne narzędzie sterowania wielkością jego stężenia w atmosferze. Sporządzane bilanse dwutlenku węgla, z uwagi na możliwość „handlu uprawnieniami do wielkości emisji gazów cieplarnianych”, mogą, poza monitoringowym, mieć także konkretny wymiar ekonomiczny. Podejmowane także w Polsce badania biomasy ekosystemów leśnych [Orzeł i in. 2005a, b; Turski i in. 2008; Zasada i in. 2008, 2014; Bronisz i in. 2009; Orzeł 2009; Jagodziński i in. 2012, 2014; Ochał i in. 2013, 2014; Pietrzykowski, Daniels 2014; Woźniak i in. 2014; Gazda i in. 2015] mają więc, poza poznawczym, istotne znaczenie użytkowe. Ich wyniki stanowią obiektywne źródło informacji o wielkości akumulowanego węgla oraz mogą być wykorzystane do modelowania jej zmian [Kauppi i in. 1992; Grote 2002].

W skali globalnej zasoby węgla w lasach szacowane są na 638 Gt [State... 2011]. Dla dokładnego określenia tych zasobów niezbędne jest poznanie udziału poszczególnych ich części składowych. O ile od dawna prowadzone są badania dotyczące biomasy warstwy drzew, pozwalające na przeliczenie jej na wielkość akumulowanego węgla, to udział podszytu w ogólnym jego bilansie w ekosystemach leśnych jest nadal bardzo słabo poznany [Houghton 2003; Woodbury i in. 2007]. W Polsce zagadnieniem tym w najszerszym zakresie zajmowano się na Wydziale Leśnym w Krakowie, gdzie w prowadzonych badaniach biomasy drzewostanów uwzględniano również najniższą warstwę roślinności drzewiastej [Rieger i in. 1984, 1988; Raimier i in. 1990; Orzeł, Wysocki 2003; Orzeł i in. 2005a, b]. Nie określono jednak w sposób bezpośredni suchej biomasy poszczególnych frakcji krzewów tworzących podszyt w badanych drzewostanach. Luka ta, dla lokalnych warunków wzrostu drzewostanów, zostanie częściowo wypełniona.

Celem pracy było określenie częstości występowania podszytu w drzewostanach Puszczy Niepołomickiej, jego składu gatunkowego oraz udziału krzewów poszczególnych gatunków w biomasy tej warstwy lasu. Częstość występowania podszytu (krzewów) podano na tle wieku i warunków siedliskowych, w jakich wznoszą się drzewostany.

Materiał i metody

Badania prowadzono w drzewostanach Nadleśnictwa Niepołomice w wieku powyżej 10 lat. Ogólny ich obszar, po odliczeniu powierzchni zajętej przez ostoję zwierząt i rezerwat, wynosi 9159,76 ha [Plan... 2012]. Na omawianym obszarze zakładano równomiernie rozmieszczone powierzchniowe kołowe, odległe od siebie o 500 m, których wielkość zależała od wieku drzewostanu i wynosiła od 0,01 do 0,10 ha. W tym celu na mapę Nadleśnictwa w skali 1 : 10 000 nałożono siatkę kwadratów o boku 2 cm, zorientowaną zgodnie z kierunkami geograficznymi. Przecięcia jej linii przyjęto za środki powierzchni kołowych. Środki te wyznaczono w terenie na podstawie domiarów geodezyjnych od stałych obiektów/punktów, takich jak: słupki graniczne, przecięcia linii oddziałowych, skrzyżowania dróg, przecięcia rowów z drogami i liniami oddziałowymi itp. Ogółem wyznaczono 368 powierzchni kołowych. Na każdej powierzchni dokonano pomiaru cech dendrometrycznych rosnących drzew i krzewów żywych o pierśnicy $d \geq 7$ cm, a w odległości

5 m od jej środka w kierunkach: N, S, W i E wyznaczono kołowe stanowiska o promieniu 1,78 m (10 m²). Znajdujące się na ich obszarze wszystkie krzewy martwe i krzewy żywe o pierśnicy $d < 7$ cm ścięto przy powierzchni ziemi. Krzewy żywe podzielono (oddzielnie dla każdego gatunku) na nieuszkodzone i uszkodzone (złamane, zgryzione itp.). W terenie, wagą elektroniczną RADWAG WLC 12/30/C1/K, określono masę analizowanych komponentów biomasy ściętych krzewów z dokładnością do 0,1 g oraz pobrano próbki z poszczególnych ich frakcji w celu określenia suchej masy.

Nadziemną biomasę poszczególnych krzewów żywych o pierśnicy < 7 cm stanowi suma suchej masy wyróżnionych frakcji (drewno pni z korą, drewno gałęzi z korą, liście), którą określono, mnożąc masę frakcji w stanie świeżym przez udział w niej suchej masy. Biomasa krzewów martwych obliczono, mnożąc ich masę określoną w terenie przez udział w niej suchej masy, zaś masę krzewów o pierśnicy $d \geq 7$ cm rosnących na obszarze wyznaczonych stanowisk określono wzorami empirycznymi opracowanymi na podstawie zebranego materiału pomiarowego, w których zmiennymi wyjaśniającymi są pierśnica i wysokość. Obliczenia wykonano przy użyciu programów pakietu STATISTICA, ver. 10 (StatSoft, Inc.).

Wyniki

Za wyjątkiem siedlisk borowych, na obszarze Puszczy Niepołomickiej występują wszystkie nizinne typy siedliskowe lasów. Dominują siedliska wilgotne (BMw, LMw i Lw), zajmujące 69,0% powierzchni leśnej zalesionej, w tym najwięcej bór mieszany wilgotny (BMw) – aż 31,8% (tab. 1).

Na ogólną liczbę 368 powierzchni założonych w drzewostanach w wieku powyżej 10 lat podszyt (krzewy) stwierdzono na 280, tj. 76,1% (tab. 1). Podszyt występował na wszystkich (BMb, LMb i Olj) lub prawie wszystkich (Ol) powierzchniach założonych w drzewostanach wzrastających na siedliskach o bardzo dużej wilgotności. Najrzadziej, bo na 53% założonych

Tabela 1.

Udział (S [%]) siedliskowych typów lasu (TSL) w powierzchni leśnej Puszczy Niepołomickiej, liczba (N) założonych powierzchni próbnych, w tym liczba (n) i udział (%n) powierzchni z podszytem oraz sucha masa krzewów (DM [kg/ha])

Share (S [%]) of the forest site types (TSL) in area of the Niepołomice Forest, the number of established sample plots (N) including number (n) and share (%n) of plots with understory and the aboveground dry shrub biomass (DM [kg/ha])

TSL	S	N	n	%n	DM
BMśw	9,8	41	33	80,5	2723
BMw	31,8	113	95	84,0	1164
BMb	1,8	7	7	100,0	2598
LMśw	10,5	36	21	58,3	1672
LMw	19,0	70	58	82,9	1805
LMb	1,4	4	4	100,0	761
Lśw	3,4	14	11	78,6	395
Lw	18,2	66	35	53,0	1120
Ol	3,7	15	14	93,3	2418
Olj	0,4	2	2	100,0	79
Razem Total	100,0	368	280	76,1	1540

BMb – boggy mixed coniferous forest, BMśw – fresh mixed coniferous forest, BMw – moist mixed coniferous forest, LMb – boggy mixed broadleaved forest, LMśw – fresh mixed broadleaved forest, LMw – moist mixed broadleaved forest, Lśw – fresh broadleaved forest, Lw – moist broadleaved forest, Ol – alder forest, Olj – alder-ash forest

powierzchni, stwierdzono go w drzewostanach o złożonym składzie gatunkowym, z dominującym udziałem dębu, występujących w warunkach lasu wilgotnego (Lw).

Najczęściej występującym krzewem w podszyciu drzewostanów Puszczy Niepołomickiej jest *Frangula alnus* (tab. 2 i 4), którą stwierdzono na 209 powierzchniach (56,8% założonych powierzchni). *Sorbus aucuparia* wykazano na 102 (27,7%), a *Padus avium* na 47 powierzchniach (12,8%). Sporadycznie, bo na 1-3 powierzchniach (mniej niż 1% założonych powierzchni), stwierdzono występowanie: *Cornus sanguinea*, *Prunus spinosa*, *Salix caprea* oraz *Viburnum opulus*. Najczęściej stwierdzane gatunki krzewów: *Frangula alnus*, *Sorbus aucuparia*, *Padus avium* oraz *Euonymus europaea* występowały w szerokim zakresie zarówno troficzności (od borów mieszanych po ols), jak i wilgotności (od siedlisk świeżych po bagienne) (tab. 2). *Frangula alnus* i *Padus avium* inwentaryzowano aż na ośmiu typach siedliskowych lasu. Najwięcej, bo aż 10 gatunków krzewów, występowało w warunkach lasu wilgotnego (Lw), po 8 w warunkach lasu mieszanego świeżego (LMśw) i olsu (Ol), a tylko 2 w warunkach lasu mieszanego bagicznego (LMb) i olsu jesionowego (OIJ) (tab. 2).

Krzewy najczęściej występowały w drzewostanach II i IV klasy wieku, gdzie stwierdzono je na blisko 87% powierzchni w nich założonych (tab. 3). Nie stwierdzono krzewów w drzewostanach w wieku powyżej 160 lat (>VIII klasy wieku) – są to drzewostany o złożonym składzie gatunkowym z dominującym udziałem dębu w warstwie górnej.

Zdecydowanie najwyższą biomasę krzewów, blisko 2,3 t/ha, stwierdzono w drzewostanach IV klasy wieku (tab. 3). Są to głównie lite drzewostany sosnowe lub ze znaczącą przewagą sosny w składzie gatunkowym. Ponad 54% całkowitej biomasy warstwy krzewów występujących w drzewostanach Puszczy Niepołomickiej stanowią krzewy nieuszkodzone o pierśnicy $d < 7$ cm (832,3 kg/ha), stwierdzone na 271 powierzchniach (tab. 4). Udział uszkodzonych krzewów żywych o pierśnicy $d < 7$ cm w biomacie warstwy krzewów wynosi około 2,4% i w 95% stanowi go *Frangula alnus*, która w ponad 79% decyduje również o wielkości biomasy krzewów martwych, stwierdzonych na 179 powierzchniach. Znacząca część biomasy krzewów (444,1 kg/ha – 29%) zmagazynowana jest w krzewach żywych o pierśnicy $d \geq 7$ cm, głównie w *Padus serotina* (171,0 kg/ha – 38,5%) i *Sorbus aucuparia* (123,9 kg/ha – 27,9%) (tab. 4). Całkowita sucha masa nadziemna

Tabela 2.

Liczba powierzchni z danym gatunkiem krzewów na poszczególnych typach siedliskowych lasu
Number of plots with given shrub species in particular forest site types

Gatunek Species	BMśw	BMw	BMb	LMśw	LMw	LMb	Lśw	Lw	Ol	OIJ	Razem Total
<i>Cornus sanguinea</i>							1	2			3
<i>Corylus avellana</i>				4	4			1	1		10
<i>Crataegus monogyna</i>	1	1					5	16	1	1	26
<i>Euonymus europaea</i>	1			1			4	12	1		19
<i>Frangula alnus</i>	30	91	7	14	56	3		3	5		209
<i>Padus avium</i>	4	3		8	7	1	1	11	12		47
<i>Padus serotina</i>	8	19	1	5							33
<i>Prunus spinosa</i>						1		2			3
<i>Ribes spicatum</i>				2	1		1	4	4	1	13
<i>Salix caprea</i>		1									1
<i>Sambucus nigra</i>		1		1			5	13			20
<i>Sorbus aucuparia</i>	22	43	7	4	24			1	1		102
<i>Viburnum opulus</i>									1		1

Oznaczenia jak w tabeli 1; denptes as in table 1

Tabela 3.

Liczba (N) założonych powierzchni próbnych, w tym liczba (n) i udział (%n) powierzchni z podszytem oraz sucha masa krzewów (DM [kg/ha]) w zależności od klasy wieku drzewostanu

Number of sample plots (N) including number (n) and share (%n) of plots with understory and the above-ground dry shrub biomass (DM [kg/ha]) with regard to the stand age class

Klasa wieku Age class	N	n	%n	DM
Ib	24	19	79,2	1662
II	45	39	86,7	1321
III	81	63	77,7	1610
IV	97	84	86,6	2271
V	60	38	63,3	948
VI	42	26	61,9	1031
VII	9	7	77,7	1706
VIII	5	4	80,0	271
>VIII	5	0	0,0	0
Ogółem Total	368	280	76,1	1540

Tabela 4.

Liczba powierzchni (n) z danym gatunkiem krzewu i jego sucha biomasa (DM [kg/ha]) w zależności od rodzaju krzewów

Number of plots (n) with particular species and its dry biomass (DM [kg/ha]) with regard to shrub type

Gatunek Species	Żywe Live				d \geq 7 cm		Martwe Dead		Razem Total	
	nieuszkodzone undamaged		uszkodzone damaged		n	DM	n	DM	n	DM
	n	DM	n	DM						
<i>Cornus sanguinea</i>	3	21,9			1	10,6			3	32,5
<i>Corylus avellana</i>	10	29,4			1	6,1	2	8,7	10	44,2
<i>Crataegus monogyna</i>	26	53,8			1	21,1	2	13,3	26	88,2
<i>Euonymus europaea</i>	19	2,4	1	0,1			1	0,1	19	2,6
<i>Frangula alnus</i>	199	422,8	62	34,5	4	22,4	159	180,3	209	660,0
<i>Padus avium</i>	44	168,9	3	1,4	8	89,0	14	14,9	47	274,2
<i>Padus serotina</i>	30	57,4	1	0,03	7	171,0	4	4,8	33	233,2
<i>Prunus spinosa</i>	3	4,9							3	4,9
<i>Ribes spicatum</i>	13	0,9							13	0,9
<i>Salix caprea</i>	1	1,8							1	1,8
<i>Sambucus nigra</i>	20	5,3					1	0,2	20	5,5
<i>Sorbus aucuparia</i>	97	60,6	4	0,2	7	123,9	8	5,3	102	190,0
<i>Viburnum opulus</i>	1	2,2							1	2,2
Razem Total	271	832,3	70	36,3	27	444,1	179	227,6	280	1540,3

krzewów tworzących podszyt drzewostanów Puszczy Niepołomickiej starszych od 10 lat wynosi ponad 14 108 ton (tab. 5). Zasadniczą jej część, bo ponad 13 264 tony (94%) stanowi drewno wraz z korą (1448 kg/ha). Sucha masa liści określona została na ponad 844 tony, tj. średnio nieco ponad 92 kg/ha. Duża zmienność biomasy podszytu sprawia, że błąd oszacowania jej średniej wielkości wynosi prawie 11,4%, zaś błąd oszacowania biomasy liści przekracza 13,5%.

Tabela 5.

Sucha masa (DM [ton]) krzewów poszczególnych gatunków i jej udział (%) w biomase podszytu w drzewostanach Puszczy Niepołomickiej w wieku >10 lat oraz średni błąd oszacowania biomasy podszytu (SE [%])
Aboveground dry biomass (DM [ton]) of shrubs aged >10 in the Niepołomice Forest, its share (%) in total biomass of the understory as well as mean error of biomass estimation (SE [%])

Gatunek Species	Drewno z korą Timber including bark		Liście Leaves		Razem Total	
	DM	%	DM	%	DM	%
<i>Cornus sanguinea</i>	281,07	2,1	16,88	2,0	297,95	2,1
<i>Corylus avellana</i>	379,18	2,9	26,29	3,1	405,47	2,9
<i>Crataegus monogyna</i>	774,16	5,8	34,08	4,0	808,24	5,7
<i>Euonymus europaea</i>	22,14	0,2	1,03	0,1	23,17	0,2
<i>Frangula alnus</i>	5 752,95	43,4	293,49	34,7	6 046,44	42,8
<i>Padus avium</i>	2 331,23	17,6	181,15	21,5	2 512,38	17,8
<i>Padus serotina</i>	1 953,49	14,7	181,58	21,5	2 135,07	15,1
<i>Prunus spinosa</i>	41,25	0,3	3,27	0,4	44,52	0,3
<i>Ribes spicatum</i>	7,40	0,1	0,77	0,1	8,17	0,1
<i>Salix caprea</i>	16,14	0,1	0,60	0,1	16,74	0,1
<i>Sambucus nigra</i>	46,71	0,4	3,81	0,5	50,52	0,4
<i>Sorbus aucuparia</i>	1 638,12	12,3	101,34	12,0	1 739,46	12,3
<i>Viburnum opulus</i>	20,24	0,2	0,37	0,1	20,61	0,2
Razem Total	13 264,09	100,0	844,06	100,0	14 108,15	100,0
DM [kg/ha]	1 448		92		1 540	
SE	11,26		13,52		11,37	

Dyskusja

Badania biomasy ekosystemów leśnych mają już długą historię. Znaczny wzrost zainteresowania nimi obserwuje się od połowy XX wieku. Za pionierów tych badań powszechnie uważani są Burger i Boysen-Jensen [Pardé 1980]. Podejmowano je nie tylko w skali lokalnej, ale zwłaszcza w ramach problemów międzynarodowych [Pardé 1980; Vyskot 1980; Cannell 1982], z głównymi ośrodkami w Belgii, Japonii i USA [Pardé 1980]. Na dynamikę tych badań wskazuje przeglądowa praca Cannella [1982], w której autor cytuje wyniki badań biomasy i jej produkcji dla różnych gatunków drzew (600 publikacji), oparte na materiale zebranym w 1200 drzewostanach w 46 państwach reprezentujących wszystkie kontynenty.

W realizowanych do tej pory badaniach warstwa krzewów była rzadko uwzględniana. Pewien wyjątek stanowią podane przez Ovingtona [1968] wyniki badań nad udziałem różnych składników fitomasy w ogólnej masie 50-letnich drzewostanów I klasy bonitacji z panującą sosną, świerkiem, daglezią i dębem oraz w lesie tropikalnym. Biomasa występującego w nich podszytu wynosiła odpowiednio: 4,2, 2,4, 2,7, 2,5 oraz 4,1 t/ha. Masa podszytu (i runa) jest wyraźnie uwarunkowana przez skład gatunkowy i zwarcie drzewostanu, a jej udział zauważalnie wzrasta (w tych samych warunkach siedliskowych) z wiekiem i rozluźnieniem zwarcia drzewostanu. Wpływ składu gatunkowego drzewostanu na wielkość biomasy podszytu potwierdzają także rezultaty badań Ostroma [1983]. W analizowanych przez niego drzewostanach sucha masa podszytu wynosiła od 2,2 t/ha w drzewostanach żywotnika zachodniego (*Thuja occidentalis*) do 5,7 t/ha w drzewostanach modrzewia amerykańskiego (*Larix laricina*).

Do niedawna informacje o warstwie podszytu były w Polsce bardzo ogólne, a ich źródło stanowiły prace urzędzeniowe prowadzone dla każdego nadleśnictwa w cyklu 10-letnim. W ramach

tych prac w każdym drzewostanie określano m.in. skład gatunkowy podszytu i stopień pokrycia powierzchni drzewostanu, nie wykonując w tej warstwie żadnych dodatkowych pomiarów. Pomiaru podszytu prowadzone są obecnie w ramach wielkoobszarowej inwentaryzacji stanu lasu. Opracowana w 2005 roku przez Instytut Badawczy Leśnictwa instrukcja była odpowiedzią na potrzebę inwentaryzacji stanu lasu wynikającą zarówno z zapisów ustawy o lasach, jak i ustawy o Inspekcji Ochrony Środowiska. Wykonanie wielkoobszarowej inwentaryzacji stanu lasu, będącej źródłem wiarygodnych informacji o lasach, jest także warunkiem uczestnictwa Polski, proporcjonalnie do wielkości posiadanych zasobów, w międzynarodowych procesach dotyczących lasów i leśnictwa. Zgodnie z Instrukcją... [2014] na zakładanych powierzchniach kołowych pomiarowi podlega także warstwa krzewów. Dla krzewów o wysokości do 50 cm określany jest ich gatunek i stopień pokrycia powierzchni, zaś krzewy wyższe, dla których określany jest gatunek, ich liczba i średnia wysokość z dokładnością do 1 dm, przydziela się do jednej z dwóch grup. Do pierwszej zaliczane są osobniki o wysokości powyżej 50 cm i pierśnicy $d < 30$ mm, a do drugiej o pierśnicy $30 \leq d < 70$ mm.

W Polsce pomiary w ramach I cyklu inwentaryzacji wielkoobszarowej zakończono w 2009 roku. Istnieją więc cenne informacje, dotyczące całego kraju, nie tylko o gatunkach tworzących podszyt, ale także o ich liczbie i wysokości. Informacje te będą mogły stanowić podstawę określenia biomasy tej warstwy 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. Taką próbę podjęto dla drzewostanów Puszczy Niepołomickiej. Opracowano m.in. empiryczne formuły obliczania nadziemnej biomasy krzewów na podstawie ich wysokości. Zastosowanie opracowanych wzorów w szerszym zakresie, ze względu na lokalne pochodzenie materiału służącego do ich opracowania, wymagać będzie weryfikacji uzyskiwanych wyników na niezależnym materiale pomiarowym, uwzględniającym różne warunki wzrostu drzewostanów.

Škéma [2011] oraz Škéma i in. [2015], wykorzystując dane z wielkoobszarowej inwentaryzacji, oszacowali biomasę krzewów lasów Litwy na około 1,6 mln ton, stosując wzór o ogólnej postaci:

$$M = N \cdot a \cdot H^b$$

gdzie:

N – liczba krzewów,

a i b – współczynniki określone dla poszczególnych frakcji (liście, gałęzie, pnie); dla biomasy całych krzewów współczynniki te wynoszą $a=0,0030$ i $b=3,8844$.

Sucha masa krzewów martwych i żywych krzewów o pierśnicy $d < 7$ cm występujących w drzewostanach Puszczy Niepołomickiej, wynosząca średnio 1,096 t/ha, jest o około 18,5% niższa od wielkości 1,344 t/ha określonej przez autora [Orzeł i in. 2005a] w ramach wcześniej realizowanych badań (2002-2004). Przyczyny stwierdzonych różnic należy upatrywać między innymi w odmiennym sposobie obliczania suchej masy krzewów. W przywołanych badaniach określono ją bowiem przez przemnożenie ich masy w stanie świeżym przez iloraz gęstości drewna w stanie suchym i świeżym [Orzeł i in. 2005a]. Biomasa krzewów występujących w drzewostanach Puszczy Niepołomickiej jest znacznie wyższa od wynoszącej średnio około 0,860 t/ha w drzewostanach zlewni potoku Saspówka w Ojcowskim Parku Narodowym [Rieger i in. 1988]. Najniższą wielkość biomasy krzewów, wynoszącą 0,333 t/ha, podają Raimer i in. [1990] w pracy stanowiącej rezultat badań biomasy prowadzonych w kompleksie leśnym Ratanica na Pogórze Wielickim, w drzewostanach o zróżnicowanym składzie gatunkowym i budowie pionowej.

Wnioski

- ✦ Krzewy tworzące warstwę podszytu występują na 76% założonych powierzchni próbnych, co oznacza, że na blisko $\frac{1}{4}$ powierzchni drzewostanów Puszczy Niepołomickiej brak jest niższej warstwy roślinności drzewiastej.
- ✦ Z 13 gatunków krzewów stwierdzonych w warstwie podszytu ponad 88% biomasy tworzą: *Frangula alnus*, *Sorbus aucuparia*, *Padus avium* i *Padus serotina*. Największy w niej udział, o wartości niemal 43%, ma *F. alnus* występująca na blisko 57% założonych powierzchni.
- ✦ Łączny udział *Euonymus europea*, *Prunus spinosa*, *Ribes spicatum*, *Salix caprea*, *Sambucus nigra* oraz *Viburnum opulus* stanowi mniej niż 1,2% biomasy krzewów występujących w podszycie drzewostanów Puszczy Niepołomickiej.
- ✦ Uzyskane rezultaty mogą stanowić empiryczną bazę danych do określenia retencji węgla przez poszczególne gatunki krzewów tworzących warstwę podszytu drzewostanów Puszczy Niepołomickiej.

Literatura

- Bronisz K., Bronisz A., Zasada M., Bijak S., Wojtan R., Tomusiak R. 2009. Biomasa aparatu asymilacyjnego w drzewostanach sosnowych zachodniej Polski. *Sylwan* 153 (11): 758-767.
- Cannell M. G. R. 1982. *World Forest Biomass and Primary Production Data*. Academic Press. London.
- Gazda A., Miścicki S., Chwistek K. 2015. Tree species diversity and above-ground biomass of natural temperate forest: montane versus lowland forest. *Dendrobiology* 73: 3-10.
- Grote R. 2002. Foliage Branch Biomass Estimation of Coniferous and Deciduous Tree Species. *Silva Fennica* 36 (4): 779-788.
- Houghton R. A. 2003. Why are estimates of the terrestrial carbon balance so different? *Global Change Biology* 9: 500-509.
- Instrukcja wykonania wielkoobszarowej inwentaryzacji lasu. 2014. IBL, Sękocin Stary.
- Jagodziński A. M., Jarosiewicz G., Karolewski P., Oleksyn J. 2012. Zawartość węgla w biomase pospolitych gatunków krzewów podszytia leśnego. *Sylwan* 156 (9): 650-662.
- Jagodziński A. M., Kałucka I., Horodecki P., Oleksyn J. 2014. Aboveground biomass allocation and accumulation in a chronosequence of young *Pinus sylvestris* stands growing on a lignite mine spoil heap. *Dendrobiology* 72: 139-150.
- Kauppi P. E., Mielikäinen K., Kuusela K. 1992. Biomass and carbon budget of European forests, 1971-1990. *Science* 256: 70-74.
- Ochał W., Grabezyński S., Orzel S., Wertz B., Socha J. 2013. Alokacja nadziemnej biomasy u sosen zajmujących różne pozycje sokojalne 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.
- Orzel S. 2009. Biomasa sześcioletnich sosen wyrosłych z mikoryzowanych i niemikoryzowanych sadzonek. *Sylwan* 153 (4): 274-280.
- Orzel S., Socha J., Forgiel M., Ochał W. 2005a. Struktura biomasy podszytu występującego w drzewostanach Puszczy Niepołomickiej. *Sylwan* 149 (4): 40-47.
- Orzel S., Socha J., Forgiel M., Ochał W. 2005b. Biomass of underbrush and conditions for its occurrence in stands of the Niepołomice Forest. *EJPAU, Forestry* 8 (1).
- Orzel S., Wysocki P. 2003. Struktura i przyrost biomasy wybranych drzewostanów sosnowych Nadleśnictwa Kłobuck. *Acta Scientiarum Polonorum Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria* 2 (2): 60-70.
- Ostrom A. J. 1983. Tree and shrub biomass estimates for Michigan. USDA, For. Serv. Res. Note NC-302.
- Ovington J. D. 1968. Some factors affecting nutrient distribution within ecosystems. W: Eckardt F. E. [red.]. *Functioning of terrestrial ecosystems at the primary production level*. UNESCO. Vaillant-Carmanne. S. A., Liege. 95-106.
- Pardé J. 1980. Forest Biomass. *Forestry Abstracts* 41: 343-362.
- Pietrzykowski M., Daniels W. L. 2014. Estimation of carbon sequestration by pine (*Pinus sylvestris* L.) ecosystems developed on reforested post mining sites in Poland on differing mine soil substrate. *Ecological Engineering* 73: 209-218.
- Plan Urządzenia Lasu na okres gospodarczy od 1 stycznia 2012 r. do 31 grudnia 2021 r. 2012. Nadleśnictwo Niepołomice.
- Protokół z Kioto do Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu. 2005. Dz. U. z dnia 17 października 2005 r. Nr 203, poz. 1684.

- Raimer J., Rutkowska L., Grabczyński S., Orzeł S., Rieger R. 1990. Ocena biomasy i produktywności drzewostanów kompleksu leśnego „Ratanica” na Pogórzu Wielickim. *Acta Agr. Silv., Silv.* 29: 89-103.
- Rieger R., Grabczyński S., Orzeł S., Raimer J. 1984. Growing Stock and Increment of Tree Stands. W: Grodziński W., Weiner J., Maycock P. F. [red.]. *Forest Ecosystems in Industrial Regions. Ecological Studies* 49. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York Tokyo. 70-78.
- Rieger R., Grabczyński S., Orzeł S., Raimer J., Rutkowska L., Wimmer M. 1988. Zapas i przyrost drzewostanów kompleksu leśnego zlewni potoku Sąspówka w OPN oraz ocena ich rocznej biomasy i produkcji. Dokumentacja w Zakładzie Biometrii i Produkcyjności Lasu UR w Krakowie.
- Škėma M. 2011. Quantitative and qualitative indices of underbrush biomass in Lithuanian forests. Summary of doctoral dissertation. Aleksandras Stulginskis University, Institute of Forestry, Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, Kaunas.
- Škėma M., Mikšys V., Aleinikovas M., Kulbokas G. 2015. Underbrush Biomass in Lithuanian Forests – Factors Affecting Quantities. *Baltic Forestry* 21 (1): 124-132.
- State of the World's Forests. 2011. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.
- Turski M., Beker C., Kazmierczak 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.
- Vyskot M. 1980. Bilance biomasy hlavních lesních dřevin. *Lesnictví* 26 (10): 849-882.
- Woodbury P. B., Smith J. E., Heath L. S. 2007. Carbon sequestration in the U.S. forest sector from 1990 to 2010. *Forest Ecology and Management* 241: 14-17.
- Woziwoda B., Parzych A., Kopeć D. 2014. Species diversity. Biomass accumulation and carbon sequestration in the understorey of post-agricultural Scots pine forests. *Silva Fennica* 48 (4): #1119.
- Zasada M., Bijak S., Bronisz A., Bronisz K., Gawęda T. 2014. Biomass dynamics in young silver birch stands on post-agricultural lands in Central Poland. *Drewno* 192: 29-39.
- 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.