

## **BIOMASA I ROCZNA PRODUKCJA DRZEWOSTANÓW MIESZANYCH PUSZCZY NIEPOŁOMICKIEJ\***

Stanisław Orzeł, Jarosław Socha, Marcin Forgiel, Wojciech Ochał  
Akademia Rolnicza w Krakowie

**Streszczenie.** W pracy wykazano, że drzewostanów mieszanych występujących w Puszczy Niepołomickiej nie można zaliczyć do wysoko produkcyjnych. Średnia ich biomasa wynosi bowiem  $158,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , przyjmując wartości od  $40,1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  w I klasie wieku do  $347,2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  w III klasie wieku. Udział poszczególnych komponentów biomasy (podszyt, drewno drzew, aparat asymilacyjny) zmienia się z wiekiem i zależy od gatunku głównego tworzącego drzewostan. Biomasa podszytu wynosząca średnio  $2,4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , ma znaczący udział jedynie w drzewostanach II (3,41%) i III (1,79%) klasy wieku. Udział drewna w całkowitej biomacie wynosi średnio 84,4% (od 81,9% w II do 86,4% w drzewostanach IV i starszych klas wieku), zaś aparatu asymilacyjnego 2,2%. Roczna produkcja biomasy warstwy drzew osiąga średnio  $8,3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Największy przyrost (średnio  $9,2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ ) stwierdzono w drzewostanach III, zaś najmniejszy (średnio  $4,7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ ) w drzewostanach I klasy wieku. W rocznej produkcji biomasy znaczący udział (od 19,2% w I do 44,9% w V klasie wieku) stanowi aparat asymilacyjny.

**Słowa kluczowe:** biomasa, przyrost biomasy, drzewostany mieszane, Puszcza Niepołomicka

### **WSTĘP**

Stosowanie na szeroką skalę ekologicznych, odnawialnych źródeł energii, to jeden ze sposobów zmniejszania zanieczyszczeń środowiska. Biomasa zaliczana jest do podstawowych źródeł czystej energii [Vanninen i in. 1996, Johansson 1999 a, Biedrzycka 2004, Stucley i in. 2004]. Wykorzystuje się ją między innymi w produkcji biopaliw [Johansson 1999 a] oraz energii elektrycznej i ciepłej [Biedrzycka 2004]. Zaakceptowana uchwałą Sejmu RP z dnia 23 sierpnia 2001 roku „Strategia rozwoju energetyki odnawialnej w Polsce” przewiduje do 2010 roku osiągnięcie 7,5-

---

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

procentowego, a do 2020 aż 14-procentowego udziału energii ze źródeł odnawialnych [Jabłoński i Różański 2003]. Osiągnięcie tego poziomu będzie możliwe wtedy, gdy w produkcji energii elektrycznej udział biomasy będzie coraz większy [Biedrzycka 2004].

Badania nad biomasą stanowią źródło informacji o bilansie węgla w ekosystemach leśnych i są wykorzystywane do modelowania jego zmian [Grote 2002, Kauppi i in. 1992]. W lasach strefy umiarkowanej i borealnej określanie zasobów węgla i jego zmian odbywa się na podstawie danych z inwentaryzacji lasów [Kauppi i in. 1992], dostarczających informacji między innymi o ich zasobach. Dane o zapasie drzewostanów występujących w określonym regionie lub całym państwie mogą być podstawą do badań nad biomasą oraz bilansem węgla. Wymaga to jednak stosowania odpowiednich przeliczników do zamiany wyrażonej w metrach sześciennych miąższości na suchą masę. Zdaniem Fanga i Wanga [2001] istniejące metody określania zawartości węgla na obszarach leśnych są zbyt mało precyzyjne aby na ich podstawie można było dokładnie ustalić jego bilans na poziomie ekosystemów a nawet państw.

Celem badań jest określenie wielkości, struktury oraz bieżącego przyrostu suchej masy nadziemnej części roślinności drzewiastej drzewostanów mieszanych Puszczy Niepołomickiej.

Produkcyjność drzewostanów mieszanych (polikultur) jest na ogół słabiej poznana niż monokultur. Do wyjątków w literaturze polskiej należą badania Bruchwalda [Bruchwald i in. 1985] przeprowadzone w 105 drzewostanach świerkowo-sosnowych północno-wschodniej Polski. Wyniki tych badań stanowią interesujące źródło informacji na temat większych możliwości produkcyjnych tego typu drzewostanów w porównaniu z drzewostanami jednogatunkowymi. Również badania dotyczące upraw plantacyjnych wskazują na istotnie większą produkcję biomasy w polikulturach niż w monokulturach [Auclair 1983, Shailaja i in. 1994].

## MATERIAŁ I METODY

Drzewostany, w których główne gatunki lasotwórcze (sosna, dąb i olsza) stanowią więcej niż 50% ich miąższości zajmują ponad 8 400 ha, tj. ponad 83% powierzchni leśnej zalesionej Puszczy Niepołomickiej. Powierzchnia pozostałych drzewostanów wynosi ponad 1600 ha (16%). W ramach realizacji projektu nr 3 P06L 013 22 założono w nich 398 powierzchni kołowych. Wyniki pomiarów drzew oraz podszytu rosnącego na 61 powierzchniach stanowią materiał badawczy niniejszego opracowania. W badaniach uwzględniono bowiem tylko te, na których sosna, dąb lub olsza stanowiły nie więcej niż 50% a pozostałe gatunki lasotwórcze – nie więcej niż 80% miąższości.

Sposób wyznaczania środków powierzchni kołowych, kryteria ustalania ich wielkości oraz zakres i metodykę prac pomiarowych szczegółowo opisano we wcześniejszych pracach autorów [Orzeł i in. 2005 a, b, c].

Całkowitą biomasę nadziemnej części roślinności drzewiastej analizowanych drzewostanów (BD) określono jako sumę biomasy warstwy drzew (Bd) powiększoną o biomasę warstwy podszytu (Bp). Na biomasę warstwy drzew składa się biomasę drewna (Bdr), kory (Bk) oraz aparatu asymilacyjnego (Bl). Biomasę drewna podzielono na biomasę drewna strzały (Bs) oraz biomasę drewna gałęzi (Bg).

Biomasę drewna i kory drzew określono przeliczając ich miąższość w stanie świeżym, określoną metodami dendrometrycznymi, na jednostki wagowe w stanie suchym.

Biomasę podszytu określono natomiast według metodyki opisanej również w pracy autorów [Orzeł i in. 2005 a].

Mięszczość strzał pomierzonych drzew, biomasę ich gałęzi i aparatu asymilacyjnego obliczono wzorami empirycznymi opracowanymi dla poszczególnych gatunków [Børset 1954, Braastad 1966, Dik 1984, Cerny 1990, Johanson 1999 b, Bruchwald i in. 2000, Socha i Węzyk 2004]. Kształtowanie się wielkości całkowitej biomasy oraz jej komponentów w stosunku do miąższości strzał opisano za pomocą wskaźnika akumulacji biomasy (biomass expansion factor – BEF) [Lehtonen i in. 2004]:

$$BEF_i = \frac{W_i}{V} \quad (1)$$

gdzie:

$W_i$  – biomasa komponentu  $i$ ,

$V$  – miąższczość strzały.

Dla każdego drzewa obliczono także miąższczość sprzed 5 lat, co pozwoliło w kolejnych etapach prac obliczeniowych ustalić przyrost suchej masy. W przyroście biomasy drzewostanów uwzględniono tylko przyrost warstwy drzew.

W prowadzonych analizach warstwę drzew podzielono na dwa piętra. Do górnego (drzewostan główny) zaliczono drzewa, których wysokość była większa od 2/3 średniej wysokości 5 najwyższych drzew na powierzchni. Pozostałe drzewa zaliczono do piętra dolnego.

Określenie korelacyjnego związku pomiędzy biomasą i jej przyrostem a cechami analizowanych drzewostanów pozwoliło na opracowanie modelowych zależności.

## WYNIKI

### Charakterystyka drzewostanów

Wiek gatunków głównych zawierał się w szerokim przedziale 16-156 lat, a ich udział w miąższości drzew występujących na powierzchniach wynosił 37-77% (tab. 1). Duże zróżnicowanie cech taksacyjnych analizowanych drzewostanów określonego gatunku głównego wynika nie tylko z różnic wieku, warunków siedliskowych, ale również z tego, że podane skrajne wartości określono na podstawie pojedynczych, losowo wybranych powierzchni badawczych. Z tego też względu wartości te mają raczej znaczenie informacyjne, a ich wielkości maksymalne mogą wskazywać na możliwości produkcyjne drzewostanów o określonym składzie gatunkowym występujących w warunkach Puszczy Niepołomickiej.

### Całkowita biomasa

W całkowitej biomasie wynoszącej średnio 158,5 t·ha<sup>-1</sup> udział biomasy warstwy drzew stanowi aż 98,7% (tab. 2). Biomasa tej warstwy wyraźnie rośnie z wiekiem drzewostanu. Prawidłowość taka występuje w przedziale od I do V klasy wieku (rys. 1). Wynosząca średnio 2,04 t·ha<sup>-1</sup> biomasa warstwy podszytu nie ma, poza nielicznymi przypadkami, istotnego wpływu na wielkość biomasy nadziemnej części roślinności

Tabela 1. Charakterystyka powierzchni badawczych

Table 1. Characteristics of study sites

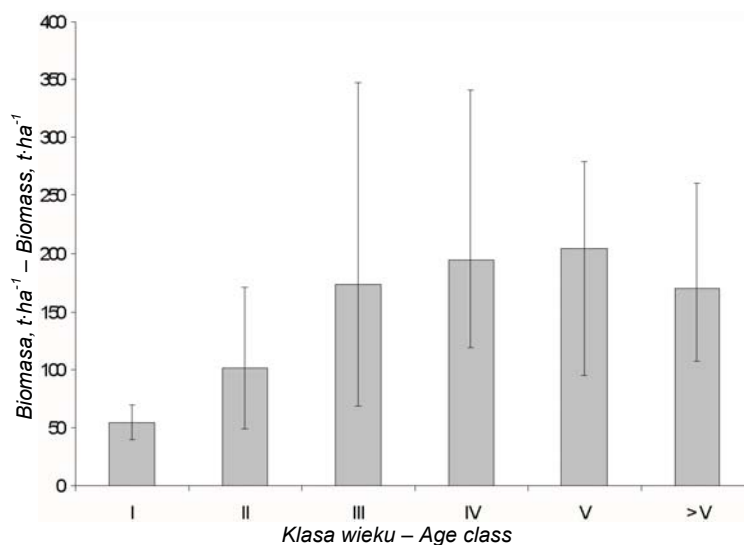
Gatunek główny Main species	Liczba powierzc- hni próbnych Number of sample plots	Wiek gatunku głównego Age of main species			Liczba drzew, szt ha <sup>-1</sup> Number of trees, trees per ha <sup>-1</sup>			Średnia piersznica Mean dbh cm			Średnia wysokość Mean height m			Zasobność Volume m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>			Udział gat. głównego Percentage of main species %		
		średnia mean	min. min.	maks. max.	średnia mean	min. min.	maks. max.	średnia mean	min. min.	maks. max.	średnia mean	min. min.	maks. max.	średnia mean	min. min.	maks. max.	średnia mean	min. min.	maks. max.
		So Pine	12	68	26	141	671	200	1520	23,8	14,6	40,3	17,7	13,5	23,9	238	181	398	47,6
Brz Birch	10	48	19	71	659	350	1080	20,2	12,1	28,3	16,5	10,2	20,3	204	71	358	56,6	37,3	77,1
Md Larch	10	37	21	56	756	400	1160	19,9	14,2	27,8	17,4	11,9	23,9	253	119	451	57,0	45,5	66,3
Db Oak	7	64	21	111	598	300	960	22,4	19,4	27,4	17,5	13,6	20,0	284	82	567	43,7	37,7	49,3
Gb Hornbeam	7	81	56	121	414	240	800	27,8	18,6	38,2	21,1	15,8	26,0	279	183	363	49,5	37,0	61,1
Lp Linden	4	81	46	156	500	190	875	24,3	20,9	29,1	18,4	15,9	21,6	267	211	304	45,3	38,0	65,9
Js Ash	3	38	36	41	1085	575	1400	17,4	13,6	22,8	16,8	14,3	19,1	213	175	238	54,1	47,6	58,5
Ol Alder	3	73	56	81	627	330	925	27,0	20,5	32,8	20,2	19,0	21,5	389	349	461	44,4	39,1	47,1
Bk Beech	1	36			400			17,0			12,6			68			70,4		
Czm Cherry	1	16			600			15,7			13,3			118			52,0		
Dbcz Red oak	1	76			467			26,9			18,4			477			76,2		
Św Spruce	1	26			1300			12,6			10,3			98			64,4		
Tp Poplar	1	36			760			17,5			16,7			198			50,1		
Ogółem Total	61	58	16	156	655	190	1520	22,3	12,1	40,3	17,7	10,2	26,0	249	68	567	51,6	37,0	77,1

Tabela 2. Biomasa nadziemnej części roślinności drzewiastej drzewostanów mieszanych Puszczy Niepołomickiej  
 Table 2. Biomass of the overground part of woody vegetation of mixed stands of the Niepołomice Forest

Gatunek główny Main species	Liczba powierzchni próbnych Number of sample plots	Biomasa – Biomass t·ha <sup>-1</sup>											
		warstwa drzew tree layer						warstwa podszytu underbrush layer			całkowita biomasa total biomass		
		I piętro story I			II piętro story II			średnia mean	min. min.	maks. max	średnia mean	min. min.	maks. max
		średnia mean	min. min.	maks. max	średnia mean	min. min.	maks. max						
So Pine	12	132,0	91,0	257,2	11,2	0,0	23,2	1,90	0,00	7,86	145,1	100,3	260,9
Bzr Birch	10	112,0	31,2	192,2	9,2	0,0	39,6	3,37	0,00	8,39	124,6	40,1	231,7
Md Larch	10	135,1	65,8	253,5	10,2	0,0	23,2	2,28	0,00	9,18	147,6	71,2	279,9
Db Oak	7	169,9	57,5	333,1	12,0	3,9	25,4	0,90	0,00	4,16	182,8	68,2	347,2
Gb Hornbeam	7	200,9	142,5	278,6	12,1	0,5	27,2	0,98	0,00	6,36	214,0	169,5	279,2
Lp Linden	4	161,1	120,6	191,3	9,2	8,1	10,5	0,74	0,00	2,85	171,0	132,8	200,1
Js Ash	3	132,8	100,8	155,9	8,2	5,5	12,5	6,15	1,24	9,31	147,1	121,3	170,7
Ol Alder	3	191,5	157,1	217,8	29,0	26,1	32,1	0,01	0,00	0,03	220,5	189,2	246,7
Inne* Other*	5	117,6	46,5	328,3	8,5	2,4	22,4	2,15	0,00	5,69	128,3	48,9	340,9
Ogółem Total	61	145,2	31,2	333,1	11,3	0,0	39,6	2,04	0,00	9,31	158,5	40,1	347,2

\*Pojedyncze powierzchnie z przewagą: buka zwyczajnego, czerechy zwyczajnej, dębu czerwonego, świerka pospolitego i topoli.

\*Single plots with domination of common beech, bird cherry, red oak, Norway spruce, and poplar.



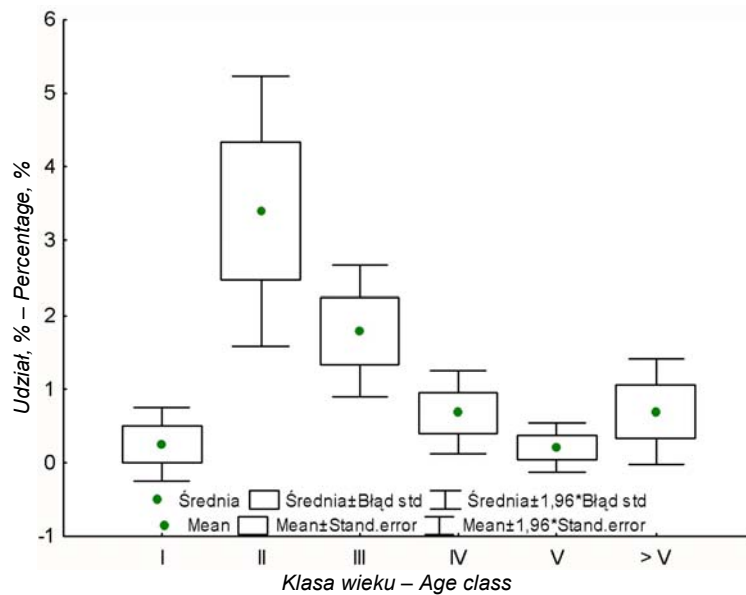
Rys. 1. Średnia oraz minimalna i maksymalna wielkość całkowitej nadziemnej biomasy gatunków drzewiastych w klasach wieku

Fig. 1. Mean, minimum, and maximum total overground biomass of trees in individual age classes

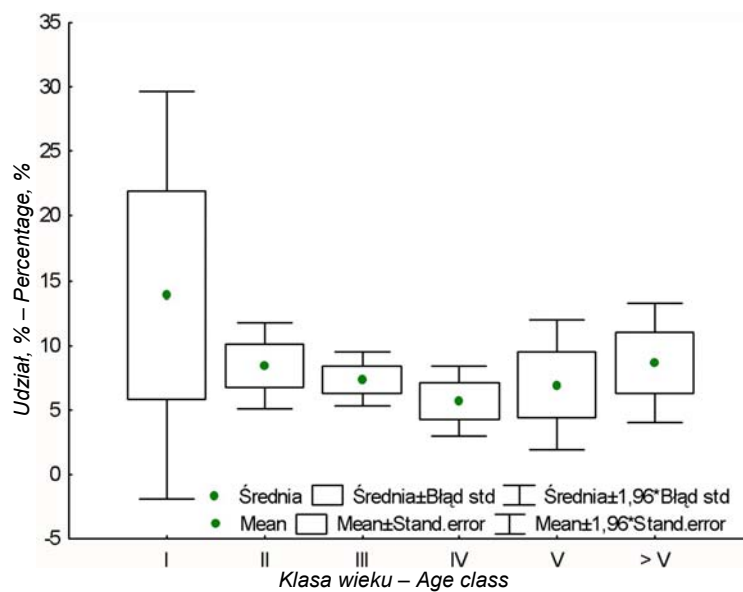
drzewiastej analizowanych drzewostanów mieszanych. Jedynie bowiem w II i III klasie wieku udział suchej masy tej warstwy wynosi odpowiednio 3,41% oraz 1,79%. W drzewostanach I oraz IV i starszych klas wieku jej średni udział w całkowitej biomase nie przekracza 1% (rys. 2). W ogólnej biomase warstwy drzew wraz z wiekiem drzewostanów zmienia się również udział piętra drugiego. Wynosząca około 13,8% biomasa tej warstwy drzew w I klasie wieku zmniejsza się do około 5,7% w klasie IV, by w drzewostanach starszych znowu stanowić bardziej znaczącą jej część (rys. 3).

Sucha masa drewna, kory i aparatu asymilacyjnego drzew osiąga różne wielkości w wyróżnionych grupach składu gatunkowego (tab. 3). Procentowy udział tych elementów w całkowitej biomase warstwy drzew ulega natomiast tylko nieznacznym wahaniom wraz z wiekiem drzewostanu (rys. 4). Drewno stanowi od około 81 do 86% całkowitej biomasy warstwy drzew, a jego udział z wiekiem nieznacznie rośnie. W drzewostanach do IV klasy wieku włącznie kora stanowi około 14% ich biomasy. Jej nieznaczny spadek do około 11% stwierdzono w drzewostanach starszych klas wieku. W drzewostanach do 80 roku udział drewna gałęzi utrzymuje się na podobnym poziomie, bo dla wyróżnionych klas wieku wynosi 18-19%. Nieznaczny wzrost udziału tego sortymentu w ogólnej biomase drewna występuje w V i VI klasie wieku, gdzie stanowi średnio 21,8% oraz 23,9%.

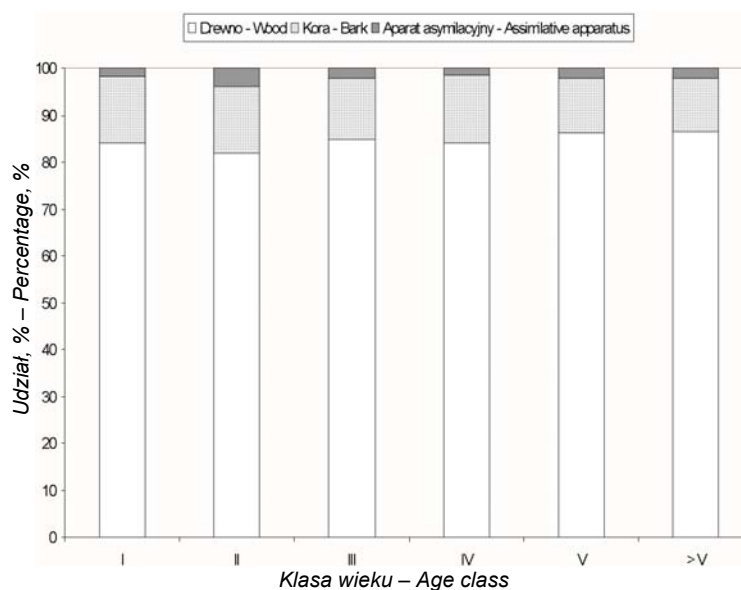
Stosunkowo największe wahania wraz z wiekiem drzewostanu wykazuje biomasa aparatu asymilacyjnego. Średni ciężar jego suchej masy wynoszący 3,39 t·ha<sup>-1</sup> (tab. 3) stanowi około 2,1% biomasy analizowanych drzewostanów, a w poszczególnych klasach wieku 1,5-3,7% biomasy warstwy drzew (rys. 4). To duże zróżnicowanie udziału biomasy aparatu asymilacyjnego w biomase drzewostanów zaliczonych do poszczególnych klas wieku wynika prawdopodobnie z różnego ich składu gatunkowego.



Rys. 2. Udział podszytu w biomacie drzewostanów poszczególnych klas wieku  
 Fig. 2. Percentage of underbrush in biomass of stands of individual age classes



Rys. 3. Udział drzewostanu podrzędnego w nadziemnej biomacie warstwy drzew w poszczególnych klasach wieku  
 Fig. 3. Percentage of understory in overground biomass of the tree layer in individual age classes



Rys. 4. Udział drewna, kory i aparatu asymilacyjnego w nadziemnej biomacie warstwy drzew w poszczególnych klasach wieku  
 Fig. 4. Percentage of wood, bark, and assimilative apparatus in overground biomass of the tree layer in individual age classes

Tabela 3. Biomasa drewna, kory i aparatu asymilacyjnego warstwy drzew w wyróżnionych grupach składu gatunkowego  
 Table 3. Biomass of wood, bark, and the assimilative apparatus of the tree layer in distinguished groups of species composition

Gatunek główny Main species	Liczba powierzchni próbnych Number of sample plots	Biomasa – Biomass t·ha <sup>-1</sup>								
		drewno wood			kora bark			aparat asymilacyjny assimilative		
		średnia mean	min. min.	maks. max	średnia mean	min. min.	maks. max	średnia mean	min. min.	maks. max
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
So Pine	12	120,0	81,5	230,7	18,8	12,2	25,3	4,35	2,74	6,63
Brz Birch	10	99,3	32,1	192,1	19,6	7,1	35,8	2,33	0,75	3,82
Md Larch	10	126,2	57,8	237,8	15,8	9,3	28,2	3,37	2,36	4,75
Db Oak	7	155,3	55,6	301,9	23,3	6,6	40,0	3,28	1,76	4,72
Gb Hornbeam	7	185,4	140,3	244,3	23,5	12,5	34,8	4,11	3,41	5,07

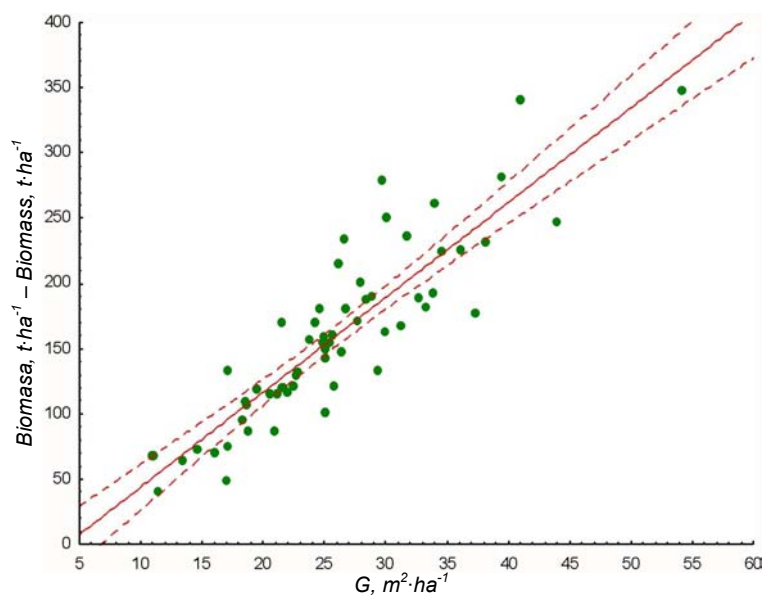


1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Lp Linden	4	142,5	115,7	163,9	25,4	12,8	33,2	2,37	1,33	3,71
Js Ash	3	117,4	92,6	130,4	20,1	15,7	27,3	3,35	3,05	3,66
OI Alder	3	186,5	159,3	211,5	29,6	26,2	33,0	4,42	3,63	5,61
Inne Other	5	109,9	39,6	303,1	13,7	4,5	30,9	2,58	1,04	4,13
Ogółem Total	61	133,0	32,1	303,1	20,1	4,5	40,0	3,39	0,75	6,63

### Związek biomasy z cechami drzewostanu

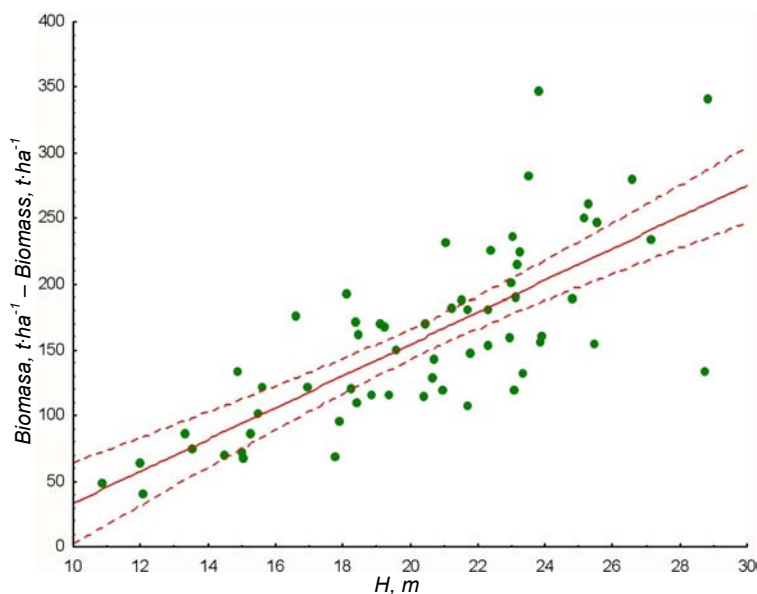
Z przeprowadzonych analiz wynika, że całkowita biomasa analizowanych drzewostanów (BD) w największym stopniu jest związana z ich pierśnicowym polem przekroju ( $G_{zk}$ ). Współczynnik korelacji dla tej zależności (rys. 5) wynosi 0,897 i jest istotny statystycznie nawet na poziomie 0,0001.

Statystycznie silny istotny związek stwierdzono również dla zależności biomasy od średniej wysokości drzewostanu głównego (rys. 6). Wyrażający go współczynnik korelacji wynosi w tym wypadku 0,751.



Rys. 5. Zależność całkowitej biomasy drzewostanów mieszanych od powierzchni pierśnicowego przekroju drzew

Fig. 5. Relationship between total biomass of mixed stands and basal area of trees



Rys. 6. Zależność całkowitej biomasy od średniej wysokości drzewostanu głównego  
 Fig. 6. Relationship between total biomass and mean height of overstory

Duże wartości współczynników korelacji pomiędzy biomasa drzewostanów (BD) a ich pierśnicowym polem przekroju ( $G_{zk}$ ) oraz średnią wysokością drzewostanu głównego ( $H_g$ ) wskazują na możliwość określenia jej wielkości na podstawie równania, w którym cechy te będą zmiennymi wyjaśniającymi. Dla analizowanego materiału równanie to ma następującą postać:

$$BD = 0,505152 \cdot G_{zk}^{0,886309} \cdot H_g^{0,944911} \quad (2)$$

Współczynnik korelacji wielokrotnej dla tej zależności wynosi 0,9572, a skorygowany współczynnik determinacji, określający udział wariancji wyjaśnionej, jest równy 0,9163, co oznacza, że powyższe równanie wyjaśnia około 92% zmienności biomasy analizowanych drzewostanów mieszanych Puszczy Niepołomickiej. Dla poszczególnych drzewostanów błąd procentowy określania biomasy powyższym równaniem przyjmuje wartości od -25,28% do +23,17%. Jego średnia wielkość wynosi -1,46%, a odchylenie standardowe 11,2%.

#### Wskaźnik akumulacji biomasy (BEF<sub>i</sub>)

Wskaźnik akumulacji biomasy (tab. 4), określony dla poszczególnych powierzchni dla całkowitej nadziemnej jej wielkości, wynosi 0,4992-0,9274 (średnio 0,6303). Oznacza to, że w analizowanych drzewostanach mieszanych Puszczy Niepołomickiej na każdy metr sześcienny miąższości strzał (pni) przypada 499,2-927,4 kg suchej masy nadziemnej części drzew (średnio 603,3 kg). Wielkość omawianego wskaźnika zależy zarówno od

składu gatunkowego drzewostanów, jak i ich wieku. Zróżnicowanie to dotyczy nie tylko biomasy całych drzew, ale także drewna a zwłaszcza aparatu asymilacyjnego. Z danych zamieszczonych w tabeli 4 wynika, że na jeden metr sześcienny drewna pni biomasa aparatu asymilacyjnego wynosi 5,0-40,3 kg (średnio 16,2 kg).

Tabela 4. Wielkości wskaźników akumulacji biomasy drzew ( $BEF_d$ ), drewna ( $BEF_{dr}$ ) i aparatu asymilacyjnego ( $BEF_i$ ) w analizowanych drzewostanach mieszanych

Table 4. Biomass accumulation indexes for trees ( $BEF_d$ ), wood ( $BEF_{dr}$ ), and the assimilative apparatus ( $BEF_i$ ), in mixed stands analysed

Gatunek główny Main species	Liczba powierzchni ni Number of plots	$BEF_d$			$BEF_{dr}$			$BEF_i$		
		średnia mean	min. min.	maks. max	średnia mean	min. min.	maks. max	średnia mean	min. min.	maks. max
So Pine	12	0,5963	0,5191	0,6554	0,4972	0,4186	0,5797	0,0193	0,0122	0,0378
Md Larch	10	0,5828	0,5105	0,6123	0,4962	0,4512	0,5274	0,0206	0,0135	0,0305
Brz Birch	10	0,5961	0,5593	0,6556	0,4833	0,4546	0,5370	0,0128	0,0059	0,0245
Gb Hornbeam	7	0,7717	0,7311	0,9274	0,6730	0,6255	0,8313	0,0156	0,0107	0,0277
Db Oak	7	0,6572	0,6044	0,7847	0,5603	0,4928	0,6820	0,0140	0,0068	0,0215
Lp Linden	4	0,6362	0,5946	0,6773	0,5348	0,4890	0,5634	0,0087	0,0050	0,0131
Js Ash	3	0,6591	0,6469	0,6769	0,5488	0,5286	0,5708	0,0160	0,0135	0,0191
Oł Alder	3	0,5700	0,5353	0,6332	0,4814	0,4560	0,5292	0,0113	0,0104	0,0122
Dbcz Red oak	1	0,7086*			0,6353*			0,0086*		
Czm Cherry	1	0,5897*			0,5191*			0,0088*		
Św Spruce	1	0,4992*			0,4040*			0,0403*		
Bk Beech	1	0,9064*			0,8058*			0,0345*		
Tp Poplar	1	0,5682*			0,4583*			0,0073*		
Ogółem Total	61	0,6303	0,4992	0,9274	0,5319	0,4040	0,8313	0,0162	0,0050	0,0403

\*Wartości określone dla pojedynczych powierzchni.

\*Values calculated for single plots.

### Bieżący roczny przyrost biomasy warstwy drzew

Drzewostany z przewagą modrzewia i jesionu należą do grupy o wyraźnie większej produktywności od pozostałych drzewostanów mieszanych (tab. 5). Całkowity średnioroczny przyrost ich biomasy jest bowiem większy od  $10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Tak duże wartości stwierdzone w tych drzewostanach wynikają zapewne nie tylko z korzystnych warunków ich wzrostu w warunkach Puszczy Niepołomickiej, ale również młodego wieku (tab. 1). Przyrost biomasy pozostałych drzewostanów osiągnął wartości z przedziału  $3,55\text{-}13,11 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ . Jego średnia wielkość dla wszystkich analizowanych drzewostanów wynosi  $8,30 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ , z czego na przyrost drewna wraz z korą przypada  $5,55 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ . Pozostała część średniego przyrostu, tj.  $2,75 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$  stanowi przyrost aparatu asymilacyjnego. W grupie drzew gatunków liściastych oraz modrzewia biomasa liści (igliwia) jest jednocześnie rocznym przyrostem aparatu asymilacyjnego, a w grupie sosny i świerka stanowi odpowiednią jej część [Lemke 1992, Assmann 1968]. Udział

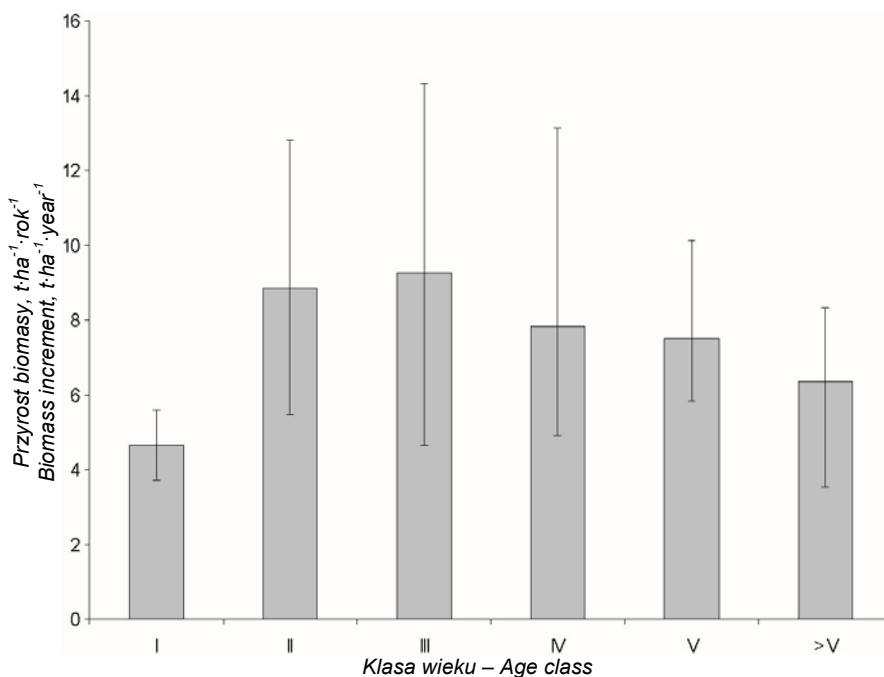
Tabela 5. Przyrost biomasy warstwy drzew analizowanych drzewostanów  
Table 5. Biomass increment in the tree layer of analysed stands

Gatunek główny Main species	Liczba powierzchni próbnych Number of plots	Przyrost biomasy, $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ Biomass increment, $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$											
		drewno z korą I piętro wood with bark story I			drewno z korą II piętro wood with bark story II			aparat asymilacyjny assimilative apparatus			przyrost sumaryczny total increment		
		średni a mean	min. min.	maks. max.	średni a mean	min. min.	maks. max.	średni a mean	min. min.	maks. max.	średni a mean	min. min.	maks. max.
So Pine	12	4,63	2,09	8,10	0,43	0,00	1,04	2,65	1,31	4,18	7,71	4,59	12,06
Brz Birch	10	3,99	2,24	6,19	0,47	0,00	1,40	1,56	0,75	3,66	6,02	3,71	9,19
Md Larch	10	6,86	5,30	9,06	0,51	0,00	1,34	3,26	2,36	4,75	10,62	8,90	14,29
Db Oak	7	5,03	3,16	7,06	0,45	0,17	0,87	2,73	1,75	3,62	8,20	5,26	10,79
Gb Hornbeam	7	5,03	2,42	7,62	0,41	0,04	1,10	4,07	3,41	4,79	9,51	7,20	12,37
Lp Linden	4	4,80	1,70	7,52	0,38	0,17	0,63	2,31	1,21	3,71	7,49	3,55	11,65
Js Ash	3	6,55	5,17	8,78	0,49	0,34	0,73	3,35	3,05	3,66	10,39	9,14	12,77
Ol Alder	3	4,21	2,58	6,80	0,84	0,68	1,12	3,57	2,66	4,06	8,63	5,97	11,48
Inne Other	5	4,82	3,28	8,62	0,46	0,26	1,01	2,01	1,04	4,13	7,28	5,49	13,11
Ogółem Total	61	5,08	1,70	9,06	0,47	0,00	1,40	2,75	0,75	4,79	8,30	3,55	14,29

aparatu asymilacyjnego w produkcji biomasy wynosi średnio 33,1%, osiągając najmniejszą wielkość (25,9%) w drzewostanach z przewagą brzozy, zaś największą (42,8%) z przewagą grabu. Przyrost drewna z korą stanowi więc 57,2-74,1% rocznej produkcji biomasy analizowanych drzewostanów. Zasadnicza jej część odkładana jest przez drzewa zaliczone do warstwy górnej. Udział przyrostu drzew piętra drugiego wynosi bowiem średnio 5,7% ogólnej rocznej produkcji, osiągając dla poszczególnych grup drzewostanów, wyróżnionych ze względu na gatunek główny, od 4,3% (przewaga grabu) do 9,7% (przewaga olszy) średniorocznego przyrostu biomasy (tab. 5).

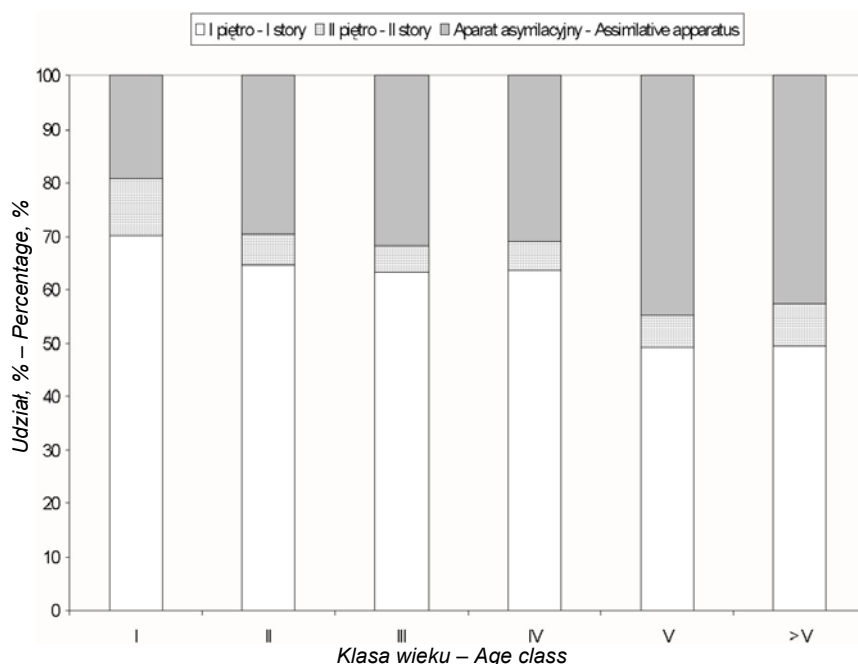
Największą produktywnością charakteryzują się drzewostany III klasy wieku. Roczny przyrost ich biomasy wynosi  $9,25 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  i jest ponad dwukrotnie większy niż drzewostanów I i o około 1,5 raza większy niż drzewostanów VI klasy wieku (rys. 7).

Podany procentowy udział wymienionych części składowych produkcji biomasy ulega zmianie wraz z wiekiem drzewostanów (rys. 8). Z wiekiem coraz większy udział w przyroście ma aparat asymilacyjny, zmniejszeniu ulega natomiast udział przyrostu drewna drzew I piętra.



Rys. 7. Średnie oraz minimalne i maksymalne wartości bieżącego przyrostu biomasy w klasach wieku

Fig. 7. Mean, minimum, and maximum current increment of biomass in individual age classes



Rys. 8. Zmiana z wiekiem udziału drewna z I i II piętra oraz aparatu asymilacyjnego w ogólnym przyroście biomasy warstwy drzew

Fig. 8. Changes with age in percentage of wood of story I, wood of story II, and the assimilative apparatus in total biomass increment

## DYSKUSJA

Duże zróżnicowanie wieku i składu gatunkowego analizowanych drzewostanów to główne powody trudności interpretacyjnych uzyskanych rezultatów. Autorom nie są znane podobne badania, które dotyczyłyby tak dużej liczby gatunków o tak odmiennych wymaganiach zarówno w stosunku do żyzności i wilgotności gleby, jak i wymagań świetlnych i tempa wzrostu. To złożenie gatunkowe dotyczy w mniejszym lub większym stopniu wszystkich wyróżnionych grup gatunkowych.

Wynosząc średnio  $158,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  biomasę analizowanych drzewostanów należy uznać za wielkość na przeciętnym poziomie, biorąc pod uwagę możliwości produkcyjne siedlisk występujących w Puszczy Niepołomickiej [Nadleśnictwo Niepołomice 2000]. Taki wniosek wynika z prowadzonych wcześniej badań w drzewostanach o złożonym składzie gatunkowym w Ojcowskim Parku Narodowym [Rieger i in. 1988] oraz kompleksie leśnym Ratanica [Raimier i in. 1990]. Biomasa określona dla tych obiektów była wyższa i wynosiła odpowiednio  $184,4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  oraz  $174 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Różnice dotyczą zarówno biomasy warstwy drzew, jak i warstwy podszytu.

Wyniki uzyskane w badaniach cytowanych wyżej obiektów nie odbiegają zasadniczo od rezultatów osiągniętych przez Grote [Grote i in. 2003] w drzewostanie bukowo-dębowym, w którym górne piętro stanowił dąb bezszypułkowy w wieku 64 lat, zaś piętro dolne buk w wieku 35-40 lat. Biomasa tego drzewostanu wynosiła bowiem  $174,85 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

Znacznie mniej, średnio  $136,75 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , wynosiła biomasa drzewostanu bukowo-sosnowego w wieku: sosna 36 lat, buk 25 lat, co ze względu na wiek jest w pełni zrozumiałe. Podane powyżej wielkości nie należą do imponujących, jeśli porównać je z wynoszącą ponad  $314 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  suchą nadziemną masą 100-letniego drzewostanu dębowo-jesionowo-lipowego, jaki w swych badaniach uwzględnił Vyskot [1980].

Podobnie jak biomasa analizowanych drzewostanów mieszanych Puszczy Niepołomickiej, również ich roczna produkcja wynosząca średnio  $8,3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  jest niższa od określonej w drzewostanach Ojcowskiego Parku Narodowego ( $9,2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ ) i kompleksu Ratanica ( $9,1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ ). Wyraźnie mniejsza jej wielkość (około  $6,8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ ) określona w badanym przez Vyskota [1980] drzewostanie, może wynikać między innymi z jego wieku oraz zastosowanej odmiennej metodyki badań.

Dużym ułatwieniem w określaniu biomasy może być precyzyjne określenie wskaźnika BEF dla poszczególnych jej części składowych. Podobne propozycje można znaleźć w cytowanych wyżej pracach [Raimer i in. 1990, Rieger i in. 1988], w których obliczono wskaźnik WB „wyrażający stosunek masy grubizny piętra drzew do całkowitej biomasy nadziemnej części drzewostanu”. Do szybkiego obliczenia przyrostu biomasy wymienieni autorzy określili wskaźnik WP „wyrażający stosunek przyrostu masy grubizny piętra drzew do całkowitej rocznej produkcji nadziemnej części drzew i krzewów”.

## WNIOSKI

1. Drzewostanów mieszanych Puszczy Niepołomickiej nie można zaliczyć do grupy wysokoprodukcyjnych, jeśli w ocenie uwzględni się korzystne warunki ich wzrostu wynikające z żyzności i wilgotności zajmowanych siedlisk.

2. Udział poszczególnych części składowych (podszyt, drewno strzał drzew warstwy górnej i dolnej, gałęzie, aparat asymilacyjny) w ogólnej biomacie analizowanych drzewostanów mieszanych zmienia się nie tylko wraz z ich wiekiem, ale zależy także od gatunku głównego i jego udziału w budowie drzewostanu.

3. Aparat asymilacyjny stanowiący nieznaczny udział w suchej masie analizowanych drzewostanów jest zasadniczą, często na równi z przyrostem drewna, częścią składową rocznej produkcji ich biomasy.

4. Silna korelacja pomiędzy biomasa nadziemnej części roślinności drzewiastej drzewostanów mieszanych a ich pierśnicowym polem przekroju i przeciętną wysokością drzew piętra górnego wskazuje na możliwość jej szacowania na podstawie tych dwóch cech drzewostanu.

5. Powinny zostać przeprowadzone badania nad określeniem współczynników umożliwiających szybkie a zarazem dokładne określenie biomasy i produkcji poszczególnych gatunków drzew na podstawie cech łatwych do określenia.

## PIŚMIENNICTWO

- Assmann E., 1968. Nauka o produktywności lasu. PWRiL Warszawa.  
Auclair D., 1983. Natural mixed forest and artificial monospecific forests. W: Disturbance and Ecosystems. Red. Mooney and Garden. Springer Verlag, New York.

- Biedrzycka A., 2004. Biblia „zielonych” producentów. Energia elektryczna i ciepła ze współspalania. *Energia Gigawat* 11, 33-36.
- Børset O., 1954. Kubering av osp på rot. *Medd. Nor. Skogforsoksves.* 12, 391-447.
- Braastad H., 1966. Volumtabeller for bjork. *Medd. Nor. Skogforsoksves.* 21(1), 23-78.
- Bruchwald A., Dudzińska T., Dudek A., Michalak K., Wróblewski L., 1985. Wstępne wyniki badań nad produktywnością drzewostanów świerkowo-sosnowych północno-wschodniej Polski. *Sylvan* 9, 1-12.
- Bruchwald A., Rymer-Dudzińska T., Dudek A., Michalak K., Wróblewski L., Zasada M., 2000. Wzory empiryczne do określania wysokości i pierśnicowej liczby kształtu grubizny drzewa. *Sylvan* 10, 5-13.
- Cerny M., 1990: Biomass of *Picea abies* (L.) Karst. in midwestern Bohemia. *Scan. J. For. Res.* 5, 83-95.
- Dik E.J., 1984. Estimating the wood volume of standing trees in forestry practice. Rijksinstituut voor onderzoek in de bos en landschapsbouw de Dorschkamp. Wageningen. *Uitvoerige Verslagen* 19(1), 1-114.
- Fang J.Y., Wang Z.M., 2001. Forest biomass estimation at regional and global levels, with special reference to China's forest biomass. *Ecol. Res.* 16, 587-592.
- Grote R., 2002. Foliage Branch Biomass Estimation of Coniferous and Deciduous Tree Species. *Silva Fenn.* 36(4), 779-788.
- Grote R., Schuck J., Block J., Pretzch H., 2003. Oberirdische holzige Biomasse in Kiefern-/Buchen- und Eichen-/Buchen-Mischbeständen. *Forstwiss. Centralbl.* 122, 287-301.
- Jabłoński K., Różański H., 2003. Prospects for fuel wood harvesting in Poland. *Acta Sci. Pol. Silv. Colendar. Rat. Ind. Lignar.* 2(1), 19-26.
- Johansson T., 1999 a. Biomass Production of Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) Growing on Abandoned Farmland. *Silva Fenn.* 33(4), 261-280.
- Johansson T., 1999 b. Dry matter and increment in 21- to 91-year-old common alder and grey alder and some practical implications. *Can. J. For. Res.* 11, 1690-1697.
- Kauppi P.E., Mielikäinen K., Kuusela K., 1992. Biomass and carbon budget of European forests, 1971-1990. *Science* 256, 70-74.
- Lehtonen A., Mäkipää R., Heikkinen J., Sievänen R., Liski J., 2004. Biomass expansion factors (BEF) for Scots pine, Norway spruce and birch according to stand age for boreal forests. *For. Ecol. Manage.* 188, 211-224.
- Lemke J., 1992. Szacowanie masy 1-, 2- i 3-letniego igliwia sosen różnych klas wieku. *Sylvan* 9, 89-98.
- Nadleśnictwo Niepołomice. 2000. W: Lasy i gospodarka leśna Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Krakowie. RDLP Kraków.
- Orzeł S., Socha J., Forgiel M., Ochał W., 2005 a. Struktura biomasy podszytu występującego w drzewostanach Puszczy Niepołomickiej. *Sylvan* 4, 40-47.
- Orzeł S., Socha J., Forgiel M., Ochał W., 2005 b. Biomass of underbrush and conditions for its occurrence in stands of the Niepołomice Forest. *EJPAU Ser. Forestry* 8, [www.ejpau.media.pl](http://www.ejpau.media.pl).
- Orzeł S., Forgiel M., Socha J., Ochał W., 2005 c. Biomass and annual production of common alder stands of the Niepołomice Forest. *EJPAU, Ser. Forestry* 8, [www.ejpau.media.pl](http://www.ejpau.media.pl).
- 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., 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 Saspówka w OPN oraz ocena ich biomasy i rocznej produkcji. Dokumentacja w Katedrze Dendrometrii AR w Krakowie.
- Shailaja R., Ravindranath N.H., Somashekar H.I., Jagadish K.S., 1994. Biomass generation in mixed tree plantations. *Energ. Suitain. Dev.* 1, 3, 51-55.
- Socha J., Wężyk P., 2004. Empirical Formulae to Assess the Biomass of the Above-Ground Part of Pine Trees. *EJPAU Forestry* 5, [www.ejpau.media.pl](http://www.ejpau.media.pl).



- Stucley C.R., Schuck S.M., Sims R.E.H., Larsen P.L., Turvey N.D., Marino B.E., 2004. Biomass energy production in Australia. Rural Industries Research and Development Corporation.
- Vanninen P., Ylitalo H., Sievänen R., Mäkaelä A., 1996. Effects of age and site quality on the distribution of biomass in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Trees* 10, 231-238.
- Vyskot M., 1980. Bilance biomasy hlavních lesních dřevin. *Lesnictví* 26 (10), 849-882.

## BIOMASS AND ANNUAL PRODUCTION OF MIXED STANDS OF THE NIEPOŁOMICE FOREST

**Abstract.** It was found that mixed stands of the Niepołomice Forest cannot be included among highly productive stands, since their mean biomass amounts to  $158.5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , ranging from  $40.1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  in age class I to  $347.2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  in age class III. The percentage of individual biomass components (underbrush, wood of trees, assimilative apparatus) changes with age, and depends on the main species forming the stand. Biomass of the underbrush is  $2.4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  on the average, and its percentage is significant only in stands of age classes II (3.41%) and III (1.79%). The percentage of wood in the total biomass is 84.4% on the average (from 81.9% in stands of age class II to 86.4% in stands of age class IV and older), while that of the assimilative apparatus is 2.2%. The annual production of the tree layer reaches  $8.3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  on the average. The greatest increment (mean  $9.2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$ ) is in stands of age class III, while the smallest one (mean  $4.7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$ ) in stands of age class I. Biomass of the assimilative apparatus is of a considerable importance (from 19.2% in stands of age class I to 44.9% in stands of age class V) in the total annual production of biomass.

**Key words:** biomass, biomass increment, mixed stands, Niepołomice Forest

*Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 10.06.2005 r.*

*Do cytowania – For citation: Orzeł S., Socha J., Forgiel M., Ochał W., 2005. Biomasa i roczna produkcja drzewostanów mieszanych Puszczy Niepołomickiej. Acta Sci. Pol., Silv. Colendar. Rat. Ind. Lignar. 4(2), 63-79.*