

Zasoby martwego drewna w lasach miejskich Warszawy

Resources of dead wood in the municipal forests in Warsaw

Konrad Skwarek, Szymon Bijak*

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Leśny,
Samodzielna Pracownia Dendrometrii i Nauki o Produkcyjności Lasu, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

*Tel. + 48 22 5938093, e-mail: szymon.bijak@wl.sggw.pl

Abstract. Dead wood plays an important role for the biodiversity of forest ecosystems and influences their proper development. This study assessed the amount of coarse woody debris in municipal forests in Warsaw (central Poland). Based on the forest site type, dominant tree species and age class, we stratified all complexes of the Warsaw urban forests in order to allocate 55 sample plots. For these plots, we determined the volume of dead wood including standing dead trees, coarse woody debris and broken branches as well as uprooted trees. We calculated the amount of dead wood in the distinguished site-species-age layers and for individual complexes. The volume of dead matter in municipal forests in Warsaw amounted to 38 761 m³, i.e. 13.7 m³/ha. The obtained results correspond to the current regulations concerning the amount of dead organic matter to be left in forests. Only in the Las Bielański complex (northern Warsaw) volume of dead wood is comparable to the level observed in Polish national parks or nature reserves, which is still far lower than the values found for natural forests. In general, municipal forests in Warsaw stand out positively in terms of dead wood quantity and a high degree of variation in the forms and dimensions of dead wood.

Keywords: dead wood, sanitary condition, urban forests, Warszawa

1. Wstęp

Martwe drewno to obumarłe tkanki drzew, które z czasem ulegają procesowi rozkładu. W środowisku leśnym występuje ono w postaci stojących, połamanych lub powalonych drzew, a także leżących na ziemi gałęzi i kawałków kory oraz korzeni, karp i pniaków (Harmon et al. 1986; Caza 1993; Stevens 1997; Lofroth 1998). Martwe drewno pojawia się w lesie zarówno w wyniku konkurencji między drzewami, jak i jako efekt zaburzeń wywołanych przez czynniki biotyczne (choroby grzybowe, gradacje owadów, uszkodzenia przez zwierzyne) lub abiotyczne (np. wiatr, ogień, śnieg) (Harmon et al. 1986; Stevens 1997). Rozkładające się drewno jest siedliskiem życia dla wielu gatunków organizmów leśnych od bakterii po drobne ssaki (Gutowski et al. 2004). Obumarła materia organiczna modyfikuje warunki siedliskowe i wpływa na kondycję gatunków oraz różnorodność biologiczną ekosystemów (Solon 2002). Oddziałuje także na obieg pierwiastków i materii oraz przepływ energii w ekosystemie leśnym. Według Bunnella i in. (2002) około 60% gatunków leśnych jest w pewnym stopniu powiązane i/lub korzysta z zasobów martwego drewna.

Do niedawna panowała opinia uznająca martwy materiał drzewny jako miejsce rozwoju szkodników leśnych, stratę ekonomiczną czy wynik zaniedbań i niegospodarności leśników (Wolski 2000). Obecnie obecność martwego drewna jest bardzo istotnym kryterium naturalności oraz różnorodności ekosystemów leśnych i czynnikiem, który warunkuje ich prawidłowy rozwój (Sokołowski 1999; Rykowski 2005). Obserwuje się zatem dążenie do utrzymywania wysokich i zróżnicowanych zasobów martwego drewna w lesie oraz do świadomego kształtowania jego ilości i struktury. Kwestia ta zawarta jest także w dokumentach regulujących leśnictwo i gospodarkę leśną w Polsce. Zapisy „Instrukcji ochrony lasu” (2011) pozostawiają gospodarkę martwą materią w lesie do decyzji nadleśniczego, który decyduje o jej pozostawieniu, uwzględniając uwarunkowania przyrodnicze, ekonomiczne i społeczne. Według „Zasad hodowli lasu” (2003) drzewa martwe, o ile nie stanowią zagrożenia dla ludzi, uznaje się za pożyteczne i pozostawia się w lesie. Istniejące systemy certyfikacji również zalecają pozostawianie martwych drzew stojących i leżących.

Badania, mające na celu rozpoznanie i scharakteryzowanie zasobów obumarłej materii organicznej oraz określenie

Wpłynęło: 15.01.2015 r., zrecenzowano: 9.04.2015 r., zaakceptowano: 18.05.2015 r.

jej roli w ekosystemach leśnych, prowadzi się w różnych miejscach na świecie. W lasach Stanów Zjednoczonych (Harmon et al. 1986) oraz Kanady (Tyrell, Crow 1994; Lofroth 1998) określono zasoby martwego drewna zarówno w lasach gospodarczych, jak i w tych, które można uznać jako pierwotne/naturalne. Dudley i Vallauri (2004) podali średnie zasoby martwej materii organicznej dla wybranych państw europejskich. Podobne szacunki znajdują się w raportach Europejskiej Komisji Gospodarczej (<http://w3.unece.org>) oraz Travagliniego i Chiriciego (2006). W Polsce najczęściej badań martwego drewna prowadzono w Puszczy Białowieskiej (Faliński 1978; Bobiec 2002; Bobiec et al. 2000; Gutowski et al. 2004). Tematykę tę podejmowano także w Tatrach (Zielonka, Niklasson 2001), na Górnym Śląsku (Maślak, Orczewska 2010) i w łódzkim rezerwacie Polesie Konstantynowskie (Pawicka, Woziwoda 2011). Zrealizowano także badania odnoszące się do zasobów martwego drewna w leśnych kompleksach promocyjnych (Solon, Wolski 2002; Wolski 2000, 2001, 2002a, b, 2003) oraz jego roli w ekosystemach leśnych naszego kraju (Bobiec, Stachura-Skierczyńska 2007; Czerepko 2008).

Celem pracy było oszacowanie zasobów martwego drewna znajdujących się w lasach miejskich Warszawy, a także ich porównane z wartościami charakteryzującymi lasy w innych miastach Europy oraz postulowanymi dla lasów naturalnych, chronionych i gospodarczych w Polsce.

2. Materiał i metody

2.1. Teren badań

Warszawa wyróżnia się wśród europejskich stolic znacznym udziałem lasów w powierzchni miasta. W jej obecnych granicach administracyjnych znajduje się 27 kompleksów leśnych o łącznej powierzchni blisko 8 tys. ha, co stanowi 15% powierzchni całego miasta. Kompleksy te są zlokalizowane głównie na obrzeżach stolicy i tworzą tzw. „zielony pierścień leśny”. Około 40% tych terenów znajduje się w zarządzie jednostki organizacyjnej m.st. Warszawy pod nazwą Lasy Miejskie Warszawa. Zasób ten stanowi 15 kompleksów podzielonych na 4 obwody leśne: Bielany-Młociny (838 ha), Bemowo-Koło (556 ha), Kabaty (903 ha) i Las Sobieskiego (1353 ha). W dalszej części pracy całość tych terenów będzie określana terminem „lasy miejskie”.

W strukturze siedlisk lasów zarządzanych przez Lasy Miejskie Warszawa przeważają żyzne siedliska lasów i lasów mieszanych, które zajmują odpowiednio prawie 34% i 24% łącznej powierzchni lasów miejskich. Siedlisk borów mieszanych i borów jest nieco mniej – odpowiednio 18,5 i 20%. Najmniejszą powierzchnię zajmują wilgotne siedliska olsów i łęgów (łącznie ok. 3,5%). Głównym gatunkiem lasotwórczym budującym warszawskie drzewostany jest sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris*), która występuje na niemal 56% powierzchni lasów miejskich. Dąb (*Quercus* sp.) jest gatunkiem dominującym w drzewostanach zajmujących 24% powierzchni. Znacznie mniejszy obszar (odpowiednio 8 i 6%)

zajmują drzewostany z panującą brzozą (*Betula* sp.) i olszą (*Alnus glutinosa*). Blisko 2% powierzchni lasów miejskich Warszawy (głównie Las na Kole) stanowią drzewostany, w których gatunkiem panującym jest introdukowana robinia akacja (*Robinia pseudoacacia*). W strukturze wiekowej przeważają drzewostany w trzeciej klasie wieku (40-60 lat), które zajmują niemal połowę całkowitej powierzchni lasów miejskich. Znacznie mniej liczne są drzewostany w drugiej oraz czwartej klasie wieku (po ok. 15% powierzchni każda). Stosunkowo dużo jest drzewostanów starych i bardzo starych (wiek ponad 140 lat). Ich udział w łącznej powierzchni wszystkich badanych kompleksów leśnych wynosi 9%.

2.2. Prace terenowe

Do wytypowania drzewostanów, w których wykonano pomiary terenowe, posłużyła otrzymana z Zarządu Lasów Miejskich Warszawa baza danych, zawierająca informacje o wszystkich wydzieleniach lasów miejskich. Dane te zostały wykorzystane do wyznaczenia liczby powierzchni próbnych, na których przeprowadzono pomiary terenowe, i ich alokacji. Z otrzymanej bazy wyodrębniono informacje o typie siedliskowym lasu, gatunku panującym i klasie wieku w poszczególnych drzewostanach, co stało się podstawą do wyznaczenia warstw siedliskowo-gatunkowych i określenia zajmowanych przez nie powierzchni oraz udziału w powierzchni całkowitej lasów miejskich. W przypadku gatunków najczęściej występujących (sosna i dąb) uwzględniano dodatkowo klasy wieku. Dla pozostałych gatunków głównych nie stosowano podziału na klasy wieku ze względu na małą powierzchnię wyznaczonych w ten sposób warstw (tab. 1).

Pomiary terenowe wykonano na powierzchniach próbnych i transektach badawczych według metodyki prezentowanej w pracach van Wagnera (1968) czy Wolskiego (2002a, b). Pojedynczą powierzchnią próbną stanowił kwadrat o boku 50 m oraz transekt długości 100 m, który przebiegał po dwóch bokach kwadratu stykających się w jego rogu. Wybór boków na każdej powierzchni próbnej był losowy. Do założenia powierzchni w terenie wykorzystano 50-metrowe taśmy miernicze.

Powierzchnie próbne zostały rozdzielone w taki sposób, aby zachować reprezentację struktury wyznaczonej podczas stratyfikacji siedliskowo-gatunkowo-wiekowej (tab. 1). Ponadto przyjęto warunek, że na każdy kompleks leśny powinna przypadać przynajmniej jedna powierzchnia próbna. Wyjątkiem od tej reguły był kompleks Wydma Żerańska (6,6 ha), w którym poszczególne wydzielenia są mniejsze aniżeli założona wielkość powierzchni próbnej (0,25 ha). Podobna sytuacja miała miejsce z gatunkami iglastymi innymi niż sosna, które także zajmowały niewielkie stanowiska. Z powodu braku danych dla kompleksu leśnego Dąbrówka zrezygnowano z lokalizacji tam powierzchni próbnych, które zastąpiono dodatkową powierzchnią wyznaczoną na terenie kompleksu Białoleka Dworska. W wyniku przyjętego rozdziału każdej powierzchni próbnej odpowiada średnio ok. 55 ha drzewostanów danej warstwy siedliskowo-gatunkowo-wiekowej.

Tabela 1. Udział wyznaczonych warstw siedliskowo-gatunkowo-wiekowych w całkowitej powierzchni lasów miejskich Warszawy oraz liczba powierzchni próbnych do nich alokowanych

Table 1. Share of distinguished habitat-age-species classes in total area of municipal forests in Warszawa and number of sample plots allocated to them

Warstwa Layer	Udział w powierzchni [%] Share in total area [%]						Liczba powierzchni próbnych Number of sample plots						
	B	BM	LM	L	O	razem total	B	BM	LM	L	O	razem total	razem total [%]
So _{I+II}	4,0	1,0	4,0	0,7	-	9,7	2	1	2	-	-	5	9,1
So _{III}	11,6	7,0	4,9	3,7	-	27,2	6	4	3	2	-	15	27,3
So _{IV}	2,4	3,2	0,2	3,2	-	9,1	2	2	-	2	-	6	10,9
So _V	-	0,2	1,8	2,3	-	4,4	-	-	1	1	-	2	3,6
So _{VI+}	0,1	0,5	2,7	2,7	-	6,1	-	-	1	2	-	3	5,5
Db _{I+II}	0,1	0,1	1,1	2,1	0,1	3,5	-	-	1	1	-	2	3,6
Db _{III}	1,1	1,6	2,3	5,3	-	10,3	1	-	1	3	-	5	9,1
Db _{IV}	0,0	0,8	2,6	0,2	-	3,7	-	-	2	-	-	2	3,6
Db _V	-	0,2	0,9	5,7	-	6,9	-	-	1	3	-	4	7,3
Brz	0,5	2,7	2,5	2,3	-	8,0	-	2	2	1	-	5	9,1
Ol	-	0,3	0,4	2,9	2,7	6,2	-	-	-	2	1	3	5,5
Ak	0,3	0,8	0,0	0,7	-	1,8	-	1	-	-	-	1	1,8
Lsc	-	0,1	0,3	1,9	0,5	2,8	-	-	-	1	1	2	3,6
Igl	-	-	0,2	0,2	0,0	0,4	-	-	-	-	-	0	0,0
Razem Total	20,3	18,6	23,8	34,0	3,4	100,0	11	10	14	18	2	55	100,0

Siedliska: B – borowe (Bs, Bśw), BM – borów mieszanych (BMśw, BMw), LM – lasów mieszanych (LMśw, LMw), L – lasowe (Lśw, Lw), O – olsowe i łęgowe (Ol, OIj, LI); gatunek główny: So – *Pinus sylvestris*, Db – *Quercus* sp., Brz – *Betula* sp., Ol – *Alnus glutinosa*, Ak – *Robinia pseudoacacia*, Lsc – pozostałe liściaste, Igl – pozostałe iglaste; I, II, ... – kolejne 20-letnie klasy wieku

Site types: B – oligotrophic, BM – meso-oligotrophic, LM – meso-eutrophic, L – eutrophic, O – water-dependent; dominant species: So – *Pinus sylvestris*, Db – *Quercus* sp., Brz – *Betula* sp., Ol – *Alnus glutinosa*, Ak – *Robinia pseudoacacia*, Lsc – other deciduous, Igl – other coniferous; I, II, ... – consecutive age classes of 20 years

W pracy zastosowano podział martwej materii organicznej na: stojące w całości lub połamane martwe drzewa lub pnie, pniaki oraz gruby i drobny martwy materiał leżący (leżanina). Za granicę pomiędzy poszczególnymi kategoriami leżaniny przyjęto grubość równą 2,5 cm (Harmon et al. 1986). Na całej powierzchni próbnej inwentaryzacji i pomiarowi podlegały martwe drzewa stojące całe, martwe drzewa stojące złamane oraz pniaki, a na transekcje – leżanina gruba i drobna. Dla drzew martwych stojących określano gatunek oraz mierzono za pomocą średnicomierza pierśnicę, a wysokościomierzem Vertex III – wysokość. W celu oszacowania miąższości leżaniny dokonano pomiaru tylko kawałków leżących na ściółce (zagłębione w niej pomijano) o średnicy $\geq 2,5$ cm. Mniejsze elementy zliczano posztucznie. Długość kawałka określano wzdłuż jego osi morfologicznej, a pomiaru grubości dokonywano w miejscu przecięcia z transektem (odcinek prostopadły do osi morfologicznej kawałka, punkt środkowy to przecięcie osi morfologicznej z transektem). Pomiar grubości na każdym przecięciu transektu przez kawałek drewna następował indywidualnie, co oznacza, że linia sieczna przecięła

wielokrotnie ten sam kawałek, ponieważ każde przecięcie liczono jako osobną wartość (Wolski 2002b). Długość określano za pomocą dalmierza laserowego wbudowanego w wysokościomierz Vertex III. Dla każdego kawałka określano gatunek i stopień rozkładu według 5-stopniowej skali Maser a i in. (1979). Dodatkowo na powierzchni próbnej zliczano wszystkie pniaki, określając ich gatunek i stopień rozkładu.

2.3. Prace kameralne

Miąższość martwego drewna została obliczona dla każdej powierzchni próbnej oddzielnie. Miąższość martwych drzew stojących całych obliczano, wykorzystując wykonane pomiary i dostępne w literaturze wzory empiryczne do wyznaczania liczb kształtu dla danego gatunku. Dla sosny wykorzystano równania opracowane przez Bruchwalda i Rymer-Dudzińską (1996), dębu – Bruchwalda i in. (1996) i dla brzozy – Tomusiaka (2003). Dla grabu i klonu przyjęto wzór na liczbę kształtu dla buka (Dudzińska 2003), a dla robinii akacjowej, olszy i wierzy – wzór dla olszy (Dudzińska, Bruchwald

2003). Miąższość podszytu martwego stojącego całego oraz drzew martwych stojących złamanych obliczano jako objętość walca o wymiarach odpowiadających zmierzonym parametrom, tj. pierśnicy i wysokości. Dla leżaniny zastosowano wzór van Wagnera (1968):

$$V_l = \frac{\pi^2}{8 \cdot L} \cdot \sum d^2$$

gdzie:

d – grubość kawałka leżaniny [cm],

L – długość transektu [m].

Całkowitą miąższość martwego drewna (suma miąższości drzew martwych stojących całych i złamanych, podszytu oraz leżaniny grubej) na powierzchni próbnej przeliczano na miąższość na hektarze [m^3/ha]. Wyniki uśredniano, gdy w danej warstwie siedliskowo-gatunkowo-wiekowej została założona więcej niż jedna powierzchnia próbna. Wyznaczenia miąższości martwego drewna w poszczególnych drzewostanach dokonano na podstawie przeliczenia miąższości martwego drewna uzyskanej na jednostkę powierzchni w danej warstwie siedliskowo-gatunkowo-wiekowej na powierzchnię poszczególnych wydzieleni. Zasoby martwego drewna w analizowanych kompleksach leśnych obliczono, sumując miąższość tego elementu w wydzieleniach wchodzących w skład danego kompleksu. Dodatkowo wyliczono zasoby martwej

materii drzewnej w poszczególnych warstwach siedliskowych, wiekowych i gatunkowych.

3. Wyniki

Zasoby martwego drewna w kompleksach leśnych Lasów Miejskich Warszawa oszacowano łącznie na $38\,761\text{ m}^3$ (tab. 2). Zdecydowanie najwięcej martwej materii organicznej było w Lesie Kabackim ($16\,463\text{ m}^3$), natomiast najmniej stwierdzono w małych kompleksach: Wydma Żerańska (71 m^3) i Las Matki Mojej (95 m^3). Wielkość kompleksu leśnego nie zawsze przekładała się na zasoby martwego drewna. W stosunkowo niewielkich kompleksach Las Młociny czy Olszynka Grochowska stwierdzono większe zasoby niż w rozległej Białołęce Dworskiej (tab. 2). Przeciętna zasobność martwego drewna w warszawskich lasach miejskich wahała się od $3,66\text{ m}^3/\text{ha}$ w Białołęce Dworskiej do $33,50\text{ m}^3/\text{ha}$ w Lesie Bielany, średnio wynosiła $13,7\text{ m}^3/\text{ha}$ (tab. 2).

Najbardziej zasobne w martwe drewno były drzewostany na siedliskach lasowych, gdzie zinwentaryzowano prawie 24 tysiące m^3 martwej materii drzewnej. Najuboższe pod tym względem były siedliska olsowe i borowe (odpowiednio 1250 i 2200 m^3). Średnia ilość martwego drewna na jednostce powierzchni największa była na siedliskach lasowych

Tabela 2. Charakterystyka poszczególnych kompleksów Lasów Miejskich Warszawa pod względem powierzchni i miąższości martwego drewna

Table 2. Characteristics of the individual complexes of municipal forests in Warsaw in terms of area and resources of coarse woody debris

Kompleks leśny Forest complex	Powierzchnia Area		Miąższość martwego drewna Coarse woody debris volume		Średnia miąższość martwego drewna Average volume of dead wood [m^3/ha]
	[ha]	[%]	[m^3]	[%]	
Las Bemowo	445,70	15,8	5998,11	15,5	13,46
Białołęka Dworska	241,59	8,5	884,55	2,3	3,66
Las Bielański	142,21	5,0	4763,85	12,3	33,50
Las Bródno	128,34	4,5	2038,57	5,3	15,88
Dąbrówka	25,93	0,9	130,35	0,3	5,03
Henryków	18,64	0,7	106,55	0,3	5,72
Las Kabacki	867,00	30,7	16462,9	42,5	18,99
Lasek na Kole	45,78	1,6	617,50	1,6	13,49
Las Lindego	20,27	0,7	180,74	0,5	8,92
Las Młociny	83,38	2,9	1303,62	3,4	15,63
Las Matki Mojej	14,01	0,5	95,10	0,2	6,79
Las Nowa Warszawa	166,51	5,9	726,40	1,9	4,36
Olszynka Grochowska	61,09	2,2	1001,09	2,6	16,39
Las Sobieskiego	560,37	19,8	4380,41	11,3	7,82
Wydma Żerańska	6,61	0,2	71,05	0,2	10,75
Razem Total	2827,43	100,0	38760,80	100,0	13,71

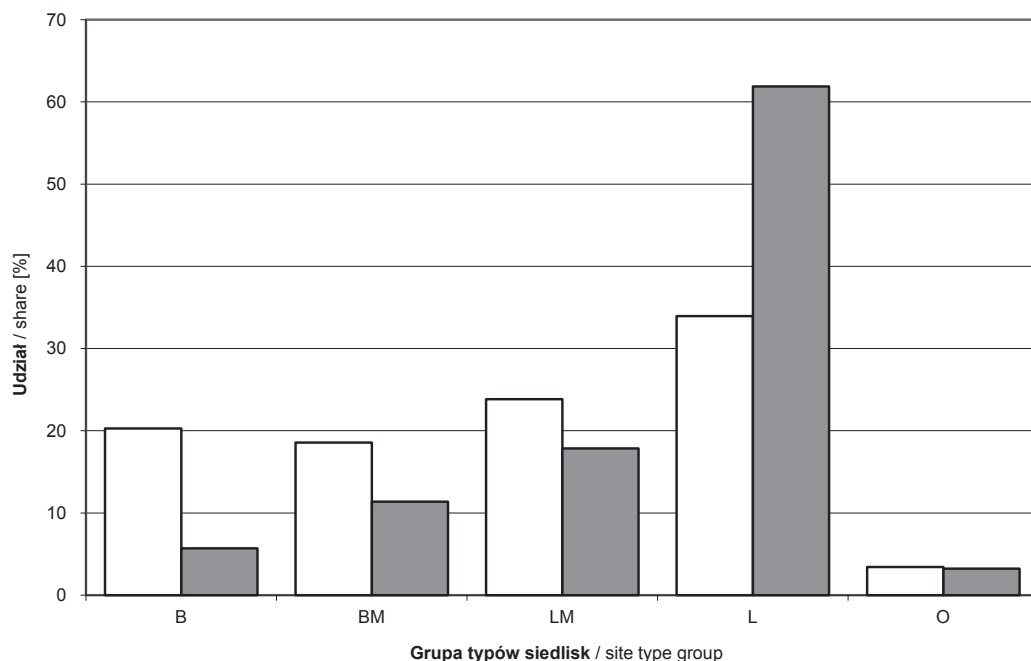
(25 m³/ha), a najmniejsza – na borowych (niecałe 4 m³/ha). O ile udział ilości obumarłego materiału drzewnego na siedliskach skrajnie wilgotnych w zasobach martwego drewna w lasach miejskich odpowiadał udziałowi tego typu siedlisk w ich powierzchni, to w przypadku drzewostanów rosnących na powierzchniach borowych był on prawie 4-krotnie mniejszy (ryc. 1). Jedynie w przypadku siedlisk lasowych znacznie przewyższał on udział powierzchni tego typu siedlisk w powierzchni lasów miejskich. Największa ilość martwego drewna zmagazynowana została w drzewostanach trzeciej klasy wieku (ok. 13,5 tysiąca m³), a najmniejsza – w pierwszej klasie wieku (prawie 400 m³). Zasobność martwego drewna w drzewostanach najstarszych wynosiła prawie 37 m³/ha, natomiast w najmłodszych – niecałe 9 m³/ha. Udział powierzchni zajmowanej przez poszczególne klasy wieku w powierzchni lasów miejskich był podobny do ich udziału w zasobach martwego drewna (ryc. 2). Największe różnice występowały w III (49% udział powierzchniowy, 35% udział w zasobach martwego drewna) i VII (odpowiednio 9 i 24%) klasie wieku. Najwięcej martwego drewna oszacowano w drzewostanach, gdzie gatunkiem panującym jest sosna (ponad 12,7 tysiąca m³) oraz dąb (nieco ponad 10 tysiąca m³). Szczególnie zasobne okazały się drzewostany brzożowe oraz innych gatunków liściastych (np. topola, grab, klon, wierzba, lipa). Przeciętna miąższość martwej materii organicznej wynosiła w nich do 38–39 m³/ha, podczas gdy w drzewostanach sosnowych – około 8 m³/ha. W stosunku do udziału w całkowitej powierzchni lasów miejskich sosna ma 1,5 razy mniejszy udział w zasobach nagromadzonej mar-

twej materii. W przypadku pozostałych gatunków proporcje te były zbliżone (ryc. 3).

4. Dyskusja

Świadome kształtowanie zasobów martwej materii drzewnej jest podstawą prawidłowo funkcjonującego ekosystemu leśnego, jego stabilności i zdrowotności oraz prowadzonej w nim gospodarki leśnej (Sokołowski 1999; Wolski 2002a; Rykowski 2005).

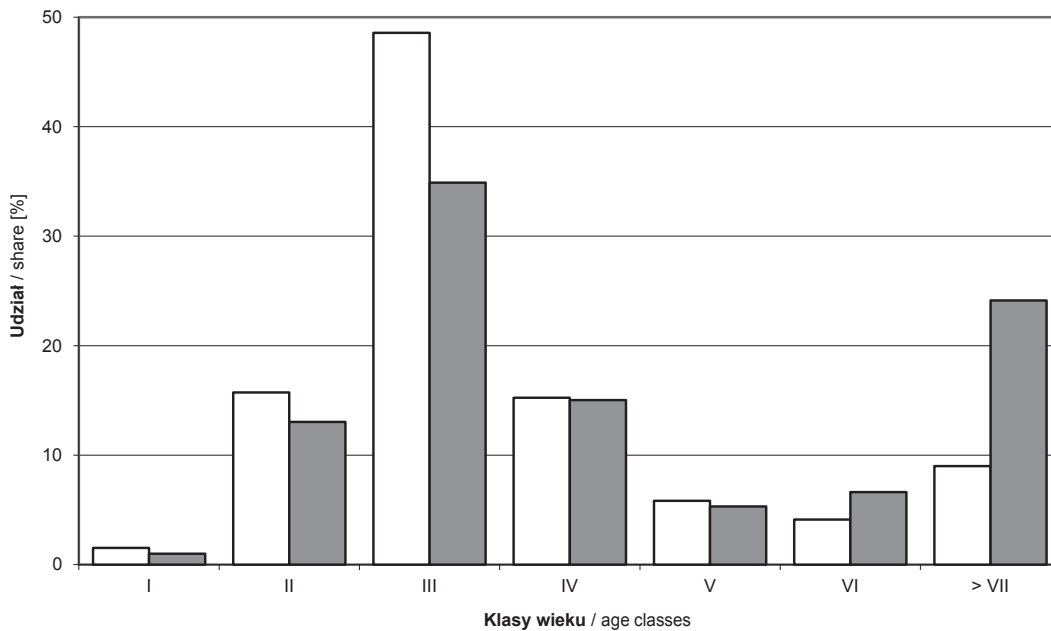
W najpospolitszych w Polsce drzewostanach sosnowych według Wolskiego (2002a) może występować ok. 3 m³ martwego drewna na hektar. Według Holeksy i Maciejewskiego (2006) ta wartość oscyluje między 2 a 5 m³/ha. Także wyniki wielkoobszarowej inwentaryzacji lasu (Neroj 2011) podają zbliżoną (5,2 m³/ha) zasobność martwego drewna dla Lasów Państwowych. Z kolei Czerepko (2008) podaje wartość jeszcze większą (9,6 m³/ha). W Stanach Zjednoczonych badania w 50-letnich drzewostanach sosnowych wykazały przeciętnie 30 m³ martwego drewna na hektar (Harmon et al. 1986). Zasoby martwej materii drzewnej w kompleksach leśnych, będących pod zarządem Lasów Miejskich Warszawa, kształtują się natomiast na poziomie blisko 14 m³/ha. Wartość ta jest zbliżona do raportowanej dla lasów gospodarczych w krajach zachodnioeuropejskich przez Europejską Komisję Gospodarczą (<http://w3.unece.org>). Jednakże, jak wynika z tego opracowania, lasy gospodarcze w Polsce mają jedną z najniższych średnich zasobności martwej materii drzewnej w Europie. Jest ona prawie



Rycina 1. Udział [%] poszczególnych grup siedlisk w całkowitej powierzchni (biały) i zasobach martwego drewna (szary) drzewostanów Lasów Miejskich Warszawa

Figure 1. Share [%] of site types groups in total area (white) and coarse woody debris volume (grey) of municipal forests in Warszawa

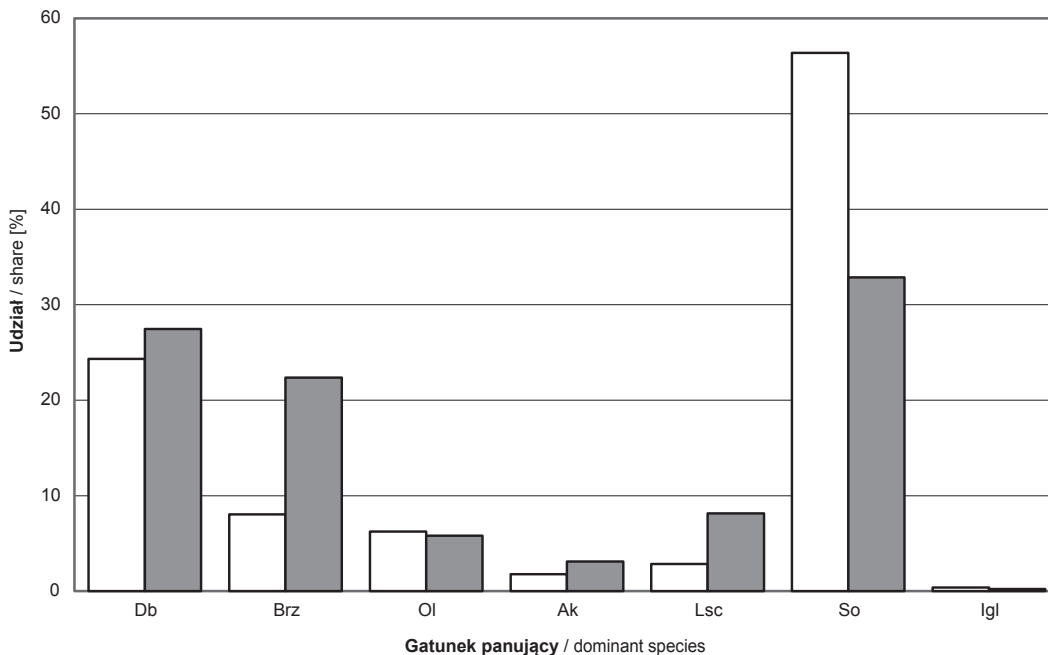
Określenia jak w tabeli 1/ Denotes as in table 1



Rycina 2. Udział [%] poszczególnych warstw klas wieku w całkowitej powierzchni (biały) i zasobach martwego drewna (szary) drzewostanów Lasów Miejskich Warszawa

Figure 2. Share [%] of age classes in total area (white) and coarse woody debris volume (grey) of municipal forests in Warszawa

Określenia jak w tabeli 1 / Denotes as in table 1



Rycina 3. Udział [%] poszczególnych gatunków w całkowitej powierzchni (biały) i zasobach martwego drewna (szary) drzewostanów Lasów Miejskich Warszawa

Figure 3. Share [%] of individual species in total area (white) and coarse woody debris volume (grey) of municipal forests in Warszawa

Określenia jak w tabeli 1 / Denotes as in table 1

trzykrotnie niższa niż uzyskana w Lasach Miejskich Warszawa. W lasach gospodarczych większości krajów europejskich (np. Austria, Szwajcaria, Niemcy, Słowenia) widać tendencję systematycznego wzrostu zasobności obumarłej

materii. Niektóre kraje od lat utrzymują zasobność martwego drewna na wysokim poziomie (Słowacja, Litwa, Rosja). Lasy Miejskie Warszawa mają średnią zasobność martwej materii drzewnej zbliżoną do lasów gospodarczych Estonii,

Niemiec, a zdecydowanie wyższą od wielu innych państw (np. Francja, Finlandia, Belgia).

Dużo większą zasobność martwego drewna wykazują lasy o charakterze zbliżonym do naturalnego lub będące pod ochroną (Ciach 2011). W wyniku pomiarów prowadzonych podczas wielkoobszarowej inwentaryzacji stanu lasu oszacowano, że zasobność obumarłej materii organicznej w polskich parkach narodowych przekracza 35,8 m³/ha (Neroj 2011). Podobną miąższość tej materii stwierdzono podczas prezentowanych badań w kompleksie Las Bielański, gdzie występują żyzne siedliska ze starymi drzewostanami, głównie dębowymi, dostarczającymi wiele elementów o znaczących rozmiarach do zasobów martwej materii drzewnej. Nieco więcej (38,9 m³/ha) martwego drewna stwierdzono w miejskim rezerwacie „Polesie Konstantynowskie” w Łodzi (Pawicka, Woziwoda 2011). Według Maślak i Orczewskiej (2009) zasoby martwego drewna w wybranych obszarach chronionych na Górnym Śląsku kształtowały się na poziomie 42-166 m³/ha. Martwe drewno jest elementem występującym w olbrzymich ilościach w lasach naturalnych. Nilsson i in. (2002) szacują, że przed ekspansją człowieka, w lasach europejskich było go średnio 130-150 m³/ha. Natomiast Dudley i Vallauri (2004) podają wartości dochodzące prawie 275 m³/ha (Las Fontainebleau we Francji czy Ridge Hanger w Wielkiej Brytanii)

Zalecenia odnośnie ilości pozostawianej w lesie obumarłej materii organicznej zmieniały się w czasie. Niegdyś proponowano utrzymanie ich na poziomie 3 lub 5-10 m³/ha (Ammer 1991; Utschik 1991). W miarę postępu badań, postulowana docelowa zasobność martwego drewna w lesie rosła. Obecnie uważa się, że powinna mieścić się w zakresie 15-30 m³/ha (Colak 2002; Jankovský et al. 2004; Bütler, Schlaepfer 2004) albo 5-10% (Möller 1994; Jedicke 1995; Bütler, Schlaepfer 2004; Vandekerckhove et al. 2009) lub nawet 20% (Humphrey, Bailey 2012) całkowitej miąższości drzewostanu. Gutowski i in. (2004) sugerują, że w lasach gospodarczych ilość martwego drewna powinna stanowić nie mniej niż 5% miąższości dojrzałego drzewostanu i składać się przynajmniej z 5 grubych (średnica powyżej 40 cm), rozkładających się kłód lub martwych drzew stojących na hektarze lasu oraz jak największej liczby drzew dziuplastych. Należy jednak pamiętać, że te sugerowane wartości nie muszą odzwierciedlać rzeczywistych wymagań poszczególnych ekosystemów (Solon, Wolski 2002). Na tle tych wartości należy uznać, że lasy miejskie w Warszawie spełniają aktualne postulaty w zakresie ilości martwego drewna pozostawianego w lesie.

Wyniki oszacowania zasobów martwego drewna w ekosystemach leśnych są uzależnione od wielu czynników. Na występowanie martwej materii organicznej w lesie wpływają przede wszystkim strefa klimatyczna, potencjalny typ roślinności, typ użytkowania drzewostanu, cechy drzewostanu (wiek, skład gatunkowy, zwarcie) i siedliska (wilgotność podłoża) oraz status ochronny obszaru (Harmon et al. 1986; Wolski 2003; Bujoczek 2012). Nie bez znaczenia pozostaje także oddziaływanie człowieka tak w postaci prowadzonej gospodarki leśnej, jak i korzystania z pozaprodukcyjnych funkcji lasu (rekreacja

i turystyka). Niska zasobność martwego drewna, którą odnotowywano w rosnących na ubogich siedliskach drzewostanach z sosną zwyczajną jako gatunkiem panującym, wynika z ekologii tego gatunku. Sosna w ciągu życia nie gwarantuje dostarczenia dużej ilości martwych elementów. Dopiero osobniki wypadające z drzewostanu mogą istotnie zasilić zasób martwego drewna, a proces ten może być znacznie rozłożony w czasie. Z kolei wysoka zasobność martwej materii organicznej w drzewostanach liściastych (szczególnie brzoźowych i dębowych) związana jest z rozbudową ich koron, które dostarczają duże elementy. Brzoza z racji tego, że nie jest gatunkiem długowiecznym, zasila ekosystem w martwe drewno w krótszym czasie, czego efektem jest obserwowana kumulacja martwej materii w wydzieleniach z jej udziałem. Również faza rozwojowa drzewostanu determinuje rodzaj i wymiary dostarczanego martwego materiału. W drzewostanach młodszych będzie to materiał drobny, natomiast w starszych klasach wieku – większe wymiarowo gałęzie, konary, kłody. Dlatego też stare drzewostany są najbardziej zasobne w martwą materię organiczną. Ilość martwego drewna jest także zależna od antropopresji, co w przypadku lasów miejskich lub położonych koło miast najczęściej może przejawiać się w postaci nadmiernego oddziaływania ze strony ruchu turystyczno-rekreacyjnego. Bliskość i dostępność lasów miejskich w Warszawie powodują ogromne zainteresowanie nimi wśród mieszkańców stolicy (Gołos 2013). Leżące martwe drewno staje się łatwym do zdobycia materiałem wykorzystywanym jako opał do kominka lub paliwo do rozpalanych ognisk. Dodatkowo wywierana jest przez społeczeństwo presja na zarządcę terenu, by uprzątnął znajdujące się w lesie martwe drewno ze względów estetycznych.

5. Wnioski

- Przeciętna zasobność martwego drewna w Lasach Miejskich Warszawa wynosi blisko 14 m³/ha. Poziom ten odpowiada aktualnym postulatam i zaleceniom odnoszącym się do ilości martwej materii organicznej pozostawianej w lesie.
- Ilość martwego drewna w Lasach Miejskich Warszawa jest porównywalna z obserwowaną w lasach gospodarczych Europy Zachodniej i jest blisko dwu-/trzykrotnie większa niż w drzewostanach gospodarczych w Polsce.
- Wśród lasów miejskich w Warszawie jedynie Las Bielański ma zasobność obumarłej materii drzewnej na poziomie obserwowanym w polskich parkach narodowych. Nie ma natomiast kompleksu, który pod tym względem mógłby dorównywać lasom naturalnym.

Konflikt interesów

Autorzy deklarują brak potencjalnych konfliktów.

Podziękowania i źródła finansowania

Praca zrealizowana w ramach projektu pt. „Wykonanie badań dotyczących oceny stanu zdrowotnego i sanitarnego

lasów pod kątem głównych czynników wpływających na zachowanie trwałości ekosystemów leśnych oraz ocena populacji dzika w tym jego rozmieszczenia w celu zoptymalizowania prowadzonego odłowu” finansowanego przez Lasy Miejskie Warszawa.

Literatura

- Ammer U. 1991. Konsequenzen aus den Ergebnissen der Totholzforchung für die forstliche Praxis. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 110: 149–157. DOI: 10.1007/BF02741249.
- Bobiec A., van der Burgt H., Zuyderduyn C., Haga J., Meijer K., Vlaanderen B. 2000. Rich deciduous forests in Białowieża as a dynamic mosaic of developmental phases: premises for nature conservation and restoration management. *Forest Ecology and Management* 130: 159–175. DOI: 10.1016/S0378-1127(99)00181-4.
- Bobiec A. 2002. Living stands and dead wood in the Białowieża Forest: suggestions for restoration management. *Forest Ecology and Management* 165: 125–140. DOI: 10.1016/S0378-1127(01)00655-7.
- Bobiec A., Stachura-Skierczyńska K. 2007. Stare drzewa i martwe drewno w ekosystemach leśnych Polski – założenia, metodyka i wstępne wyniki projektu. *Studia i Materiały CEPL w Rogowie* 16: 370–379.
- Bruchwald A., Dudzińska M., Wirowski M. 1996. Model wzrostu dla drzewostanów dębu szypułkowego. *Sylvan* 139(10): 35–44.
- Bruchwald A., Rymer-Dudzińska T. 1996. Nowy wzór empiryczny do określania pierśnicowej liczby kształtu grubizny drzewa dla świerka. *Sylvan* 139 (12): 25–31.
- Bujoczek L. 2012. Dekompozycja obumarłych drzew w ekosystemach leśnych ze szczególnym uwzględnieniem świerka, buka i jodły. *Sylvan* 156 (3): 208–217.
- Bunnell F. L., Houde I., Johnston B., Wind E. 2002. How dead trees sustain live organisms in Western Forests. Proceedings of the Symposium on the Ecology and Management of Dead Wood in Western Forests. Reno, NV. General Technical Report PSW-GTR-181. Albany, CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture, 291–318. ISBN 9780774858731.
- Butler R., Schlaepfer R. 2004. Wie viel Totholz braucht der Wald? *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 155(2): 31–37. DOI: <http://dx.doi.org/10.3188/szf.2004.0031>.
- Caza C. L. 1993. Woody Debris in the Forests of British Columbia: A Review of the Literature and Current Research. LMR 78. ISBN 0-771 8-9307-8.
- Ciach M. 2011. Martwe i zamierające drzewa w ekosystemie leśnym – ilość, jakość i zróżnicowanie. *Studia i Materiały CEPL w Rogowie* 27: 186–199.
- Colak A. H. 2002. Dead wood and its role in nature conservation and forestry: a Turkish perspective. *Journal of Practical Ecology and Conservation* 5(1): 37–49.
- Czerepko J. (red.). 2008. Stan różnorodności biologicznej lasów w Polsce na podstawie powierzchni obserwacyjnych monitoringu. Synteza wyników uzyskanych w ramach realizacji projektu BioSoil Forest Biodiversity IBL, Sekocin Stary. ISBN 978-83-87647-75-9.
- Dudley N., Vallauri D. 2004. Deadwood – living forests. WWF Report, WWF.
- Dudzińska M. 2003. Wzory empiryczne do określania pierśnicowych liczb kształtu dla nizinnych drzewostanów bukowych. *Sylvan* 147(1): 35–40.
- Dudzińska M., Bruchwald A. 2003. Wzory empiryczne pierśnicowej liczby kształtu strzały w korze dla drzewostanów olszy czarnej (*Alnus glutinosa* L.). *Sylvan* 147(5): 36–41.
- Faliński J. B. 1978. Uprooted trees, their distribution and influence in the primeval forest biotope. *Vegetatio* 38: 175–183.
- Golos P. 2013. Rekreacyjna funkcja lasów miejskich i podmiejskich Warszawy. *Leśne Prace Badawcze* 74(1): 57–70. DOI: 10.2478/frp-2013-0007
- Gutowski J. M., Bobiec A., Pawlaczyk P., Zub K. 2004. Drugie życie drzewa. WWF Polska, Warszawa-Hajnówka.
- Harmon M. E., Franklin J. F., Swanson F. J., Sollins P., Gregory S. V., Lattin J. D., Anderson N. H., Cline S. P., Aumen N. G., Sedell J. R., Lienkaemper G. W., Cromack K., Cummins K. W. 1986. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. *Advances in Ecological Research* 15: 133–302.
- Holeksa J., Maciejewski Z. 2006. Martwe drzewa i ich rola w ekosystemie leśnym. Roztoczańskie spotkania 6: 61–74.
- Humphrey J., Bailey S. 2012. Managing deadwood in forests and woodlands. Forestry Commission Practice Guide. Forestry Commission, Edinburgh.
- Instrukcja ochrony lasu. 2011. CILP, Warszawa.
- Jankovský L., Lička D., Ježek K. 2004. Inventory of dead wood in the Kněhyně-Čertův mlýn National Nature Reserve, the Moravian-Silesian Beskids. *Journal of Forest Science* 50(4): 171–180.
- Jedicke E., 1995. Anregungen zu einer Neuauflage des Altholzinsel-Programms in Hessen. *Allgemeine Forstzeitung* 10: 522–524.
- Lofroth E. 1998. The dead wood cycle, w: Conservation biology principles for forested landscapes (red. J. Voller, S. Harrison). UBC Press, Vancouver, 185–214.
- Maser C., Anderson R. G., Cromack K. jr., Williams J. T., Martin R. E. 1979. Dead and down woody material, w: Wildlife habitats in management forests. The Blue Mountains of Oregon and Washington. (red. J. W. Thomas). USDA Forest Service Agriculture Handbook. Portland – Washington. 78–95.
- Maślak M., Orczewska A. 2010. Zasoby martwego drewna w zbiorowisku kwaśnej buczyny niżowej lesnych obszarów chronionych Górnego Śląska. *Studia i Materiały CEPL w Rogowie* 25: 369–376.
- Möller G. 1994. Alt- und Totholzlebensräume. Ökologie, Gefährdungssituation, Schutzmaßnahmen. *Beiträge Forstwirtschaft und Landschaftsökologie* 28(1): 7–15.
- Neroj B. 2011. Zasoby martwego drewna w lasach na podstawie wyników wielkoobszarowej inwentaryzacji stanu lasu. BULiGL.
- Nilsson S. G. M., Niklasson J., Hedin G., Aronsson J. M., Gutowski P., Linder H., Ljungberg G., Mikusinski-Ranius T. 2002. Densities of large living and dead trees in old-growth temperate and boreal forests. *Forest Ecology and Management* 161: 189–204. DOI:10.1016/S0378-1127(01)00480-7.
- Pawicka K., Woziwoda B. 2011. Bilans martwego drewna w rezerwacie „Polesie Konstantynowskie”. *Sylvan* 155(12): 851–858.
- Rykowski K. 2005. O gospodarce leśnej w leśnych kompleksach promocyjnych. Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Las. ISBN 83-87647-43-8.
- Sokołowski A. W. 1999. Charakterystyka oraz inwentaryzacja lasów o charakterze naturalnym na terenie Puszczy Białowieskiej. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, Ser. B* 36: 26–37.
- Solon J. 2002. Ekologiczna rola martwego drewna w ekosystemach leśnych – dyskusja wybranych zagadnień w świetle literatury, w: Podstawy trwałego i zrównoważonego zagospodarowania lasów w Leśnych Kompleksach Promocyjnych (A. Breyemeyer, M. Degórski, E. Roo-Zielińska, J. Solon, J. Wolski). IBL, Sękocin Las.

- Solon J., Wolski J. 2002. Propozycje gospodarowania zapasem martwego drewna w Leśnych Kompleksach Promocyjnych, w: Podstawy trwałego i zrównoważonego zagospodarowania lasów w Leśnych Kompleksach Promocyjnych (A. Breymeyer, M. Degórski, E. Roo-Zielińska, J. Solon, J. Wolski). IBL, Sękocin Las.
- Stevens V. 1997. The ecological role of coarse woody debris: an overview of the ecological importance of CWD in British Columbia forests. Res. Br., B.C. Min. For., Victoria, B.C. Work. Pap. 30.
- Tomusiak R. 2003. A model percentage shares of fifteen sections in stem volume for birch stands. Paper collection of International Scientific Conference of PhD Students "YOUTH SEEKS PROGRESS 2003 14-15 November 2003. Lithuanian University of Agriculture.
- Travaglini D., Chirici G. 2006. Forest BIOTA Project. Forest Biodiversity Test-phase Assessments: Deadwood assessment. Work report. Accademia Italiana di Scienze Forestali.
- Tyrell L., Crow T. 1994. Structural characteristics of old-growth hemlock-hardwood forests in relation to age. *Ecology* 75: 370–386. DOI: 10.2307/1939541.
- Utschick H. 1991. Beziehungen zwischen Totholzreichtum und Vogelwelt in Wirtschaftswäldern. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 110: 135–148. DOI: 10.1007/BF02741248.
- van Wagner C. E. 1968. The line intersect method in forest fuel sampling. *Forest Science* 14(1): 20–26.
- Vandekerkhove K., de Keersmaeker L., Menke N., Meyer P., Verschelde P. 2009. When nature takes over from man: Dead wood accumulation in previously managed oak and beech woodlands in North-western and Central Europe. *Forest Ecology and Management* 258: 425–435. DOI:10.1016/j.foreco.2009.01.055.
- Wolski J. 2000. Ocena zapasu martwego drewna metodą Browna, w: Podstawy trwałego i zrównoważonego zagospodarowania lasów w Leśnych Kompleksach Promocyjnych (A. Breymeyer, M. Degórski, E. Roo-Zielińska, J. Solon, J. Wolski). IBL, Sękocin Stary.
- Wolski J. 2001. Pomiary zasobów leżącego martwego drewna w lasach czterech wybranych Leśnych Kompleksów Promocyjnych, w: Podstawy trwałego i zrównoważonego zagospodarowania lasów w Leśnych Kompleksach Promocyjnych (A. Breymeyer, M. Degórski, E. Roo-Zielińska, J. Solon, J. Wolski) IBL, Sękocin Stary.
- Wolski J. 2002a. Metoda pomiarów leżącego martwego drewna w lesie – założenia teoretyczne i przebieg prac terenowych, *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, Ser. A 2* (932): 27–45.
- Wolski J. 2002b. Ocena zapasu leżącego martwego drewna, w: Podstawy trwałego i zrównoważonego zagospodarowania lasów w Leśnych Kompleksach Promocyjnych (A. Breymeyer, M. Degórski, E. Roo-Zielińska, J. Solon, J. Wolski) IBL, Sękocin Stary.
- Wolski J. 2003. Martwe drewno w lesie: ocena zapasu i propozycje postępowania. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, Ser. A, 2* (953): 23–45.
- Zasady Hodowli Lasu. 2003. CILP, Warszawa.
- Zielonka T., Niklasson M. 2001. Dynamics of dead wood and regeneration pattern in natural spruce forest in the Tatra Mountains, Poland. *Ecological Bulletins* 49: 159–163.

Wkład autorów

K.S. – pomiary terenowe, opracowanie tekstu; Sz.B. – koncepcja pracy, pomiary terenowe, korekta.

Resources of dead wood in the municipal forests in Warsaw

Konrad Skwarek, Szymon Bijak*

Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Faculty of Forestry, Laboratory of Dendrometry and Forest Productivity,
ul. Nowoursynowska 159, 02–776 Warszawa, Poland

*Tel. + 48 22 5938093, e-mail: szymon.bijak@wl.sggw.pl

Abstract. Dead wood plays an important role for the biodiversity of forest ecosystems and influences their proper development. This study assessed the amount of coarse woody debris in municipal forests in Warsaw (central Poland). Based on the forest site type, dominant tree species and age class, we stratified all complexes of the Warsaw urban forests in order to allocate 55 sample plots. For these plots, we determined the volume of dead wood including standing dead trees, coarse woody debris and broken branches as well as uprooted trees. We calculated the amount of dead wood in the distinguished site-species-age layers and for individual complexes. The volume of dead matter in municipal forests in Warsaw amounted to 38,761 m³, i.e. 13.7 m³/ha. The obtained results correspond to the current regulations concerning the amount of dead organic matter to be left in forests. Only in the Las Bielański complex (northern Warsaw) volume of dead wood is comparable to the level observed in Polish national parks or nature reserves, which is still far lower than the values found for natural forests. In general, municipal forests in Warsaw stand out positively in terms of dead wood quantity and a high degree of variation in the forms and dimensions of dead wood.

Keywords: dead wood, sanitary condition, urban forests, Warszawa

1. Introduction

Dead wood contains lifeless tree tissues that are gradually decomposing. In the forest environment, dead wood comprises snags (whole or broken standing dead trees), fallen dead trees, uprooted trees, lying branches, bark fragments, and stumps (Harmon et al. 1986; Caza 1993; Stevens 1997; Lofroth 1998). In forests, dead wood emerges for several reasons, either as a result of the competition between trees or because of the disturbances caused by biotic (fungal diseases, insect outbreaks, animal damage) and abiotic factors (e.g., wind, fire, snow) (Harmon et al. 1986; Stevens 1997). Decaying wood forms habitats for many forest organisms, from bacteria to small forest mammals (Gutowski et al. 2004). Dead organic matter alters site environment and shapes the condition of species as well as ecosystem biodiversity (Solon 2002). It also affects nutrient cycles and other natural processes in forest ecosystems, including the energy flow. According to Bunnella et al. (2002), approximately 60% of forest species are in some way associated with dead wood and/or benefit from its resources.

Some time ago, it was believed that residual dead wood material in the forest was a symbol of ample habitats for all kinds of pests and a result of mismanagement that caused economic losses (Wolski 2000). At present, dead wood has been recognized as an indispensable part of properly functioning forest ecosystems; it is an important indicator of forest naturalness and ecosystem diversity (Sokołowski 1999; Rykowski 2005). Consequently, efforts have been undertaken toward retaining large and diverse reserves of dead wood in forests and shaping its amount and structure. In Poland, this issue has been referred to in political regulations on forest management. Among others, according to the entries in the ‘Instrukcja ochrony lasu’ (2011), the forest district manager is responsible for dead wood management based on economic, ecological, and social aspects of sustainable forest management in a given area. Also, consistent with the ‘Zasady Hodowli Lasu’ (2003), dead trees (if not hazardous) are treated as beneficial and retained in managed forests. What is more, forest certification systems recommend retention of snags and coarse woody debris throughout forested areas.

Received: 15.01.2015, reviewed: 09.04.2015, accepted after revision: 18.05.2015.

Numerous studies on the detection and evaluation of dead organic matter and determination of its role in forest ecosystems have been conducted worldwide. In the forests of the United States (Harmon et al. 1986) and Canada (Tyrell, Crow 1994; Lofroth 1998), the amount of dead wood was determined to retain them both in managed forests and in those considered as primeval/natural. Dudley and Vallauri (2004) reported data on average amounts of dead organic matter in chosen European countries. Similar estimates were published in relevant reports of the Economic Commission for Europe (<http://w3.unece.org>) and by Travaglini and Chiricic (2006). In Poland, the majority of studies on dead wood have been carried out in the Białowieża Primeval Forest (Faliński 1978; Bobiec 2002; Bobiec et al. 2000; Gutowski et al. 2004). Other studies were conducted in the forests of the Tatra Mts. (Zielonka, Niklasson 2001), in the Upper Silesia region (Maślak, Orczewska 2010), and in the Polesie Konstantynowskie Reserve in Łódź (central Poland) (Pawicka, Wozniwoda 2011). Research concerning dead wood amounts was also conducted in forest-promotional complexes (Solon, Wolski 2002; Wolski 2000, 2001, 2002a, b, 2003), whereas Bobiec and Stachura-Skierczyńska (2007) as well as Czerepko (2008) reported the results on the role of dead wood in Poland's forest ecosystems.

The aim of the present study was to evaluate the amount of dead wood retained in the urban forests in Warsaw, Poland. The results were compared with the values obtained in other European cities and those recommended for natural, protected and managed forests in Poland.

2. Materials and methods

2.1. Study area

Among Europe's capital cities, Warsaw stands out as one with a significant proportion of forested area within the city limits. At present, there are 27 forest complexes with the total area of almost 8 thousand ha, which is 15% of the whole city area. Forest complexes are mainly situated on the edges of the metropolis, and form the so called 'green forest ring'. Approximately 40% of Warsaw's forested area is managed by the administration unit called the Las Miejskie Warszawa (Warsaw Municipal Forests). These comprise 15 forest complexes divided into four districts, i.e., Bielany-Młociny (838 ha), Bemowo-Koło (556 ha), Kabaty (903 ha), and Las Sobieskiego (1353 ha). In the present study, these are referred to as 'the urban forests'.

In forest ecosystems under management of the Warsaw Municipal Forests, prolific sites of deciduous and mixed forests are present, which cover almost 34% and 24%, respectively, of the total area of the urban forests. Mixed coniferous or coniferous forest sites constitute 18.5% and 20%, respec-

tively. Wet alder and riparian woodlands comprise relatively the smallest area (3.5%). In Warsaw's forest stands, the dominant forest-forming species is Scots pine (*Pinus sylvestris*), which occurs on almost 56% of the area of the urban forests. Oak (*Quercus* sp.) dominates in the stands covering 24% of the area described. The stands with dominant birch (*Betula* sp.) and alder (*Alnus glutinosa*) cover smaller areas (8% and 6%, respectively) and stands with dominant black locust (introduced *Robinia pseudoacacia*) – nearly 2% (mostly the forest complex Las na Kole). In general, forest stands in the third class of age (40–60 years) are prevalent, and these occur on almost half of the total area of the urban forests. Other stands are in the second and fourth classes of age (each approximately 15% of the total area). Old or very old (more than 140 years) stands are relatively extensive, and cover 9% of the total area of all the forest complexes studied.

2.2. Field works

A database on all forest areas in Warsaw provided by the Warsaw Municipal Forests was used to select the stands for further analyzes. Information obtained allowed for designation of sampling plots, consistent with the forest site type, dominant species, and age classes in a given stand. Based on the data analyzed, forest site-species layers were determined, including their areas and contributions in the total urban forest area. The most prevalent tree species (Scots pine and oak) were analyzed with reference to the age class as well. Due to relatively small areas occupied by other tree species, the age class was not considered in the prepared forest site-species layers (Table 1).

Field measurements were performed on the sampling plots and study transects accordingly to the methodology described by Wagner (1968) and Wolski (2002 a, b). Each study plot comprised 50 × 50 m square and 100 m long transect that led along two adjoining sides (randomly selected) of the plot. The plots were established with 50 m long measuring tapes.

The sampling plots represented the determined forest site-species-age layers (Table 1). Within each forest complex examined, at least one sampling plot was established. The one exception was the Wydma Żerańska complex (6.6 ha), where forest stand compartments are smaller than the assumed sampling plot (0.25 ha). Analogous approach was applied for the coniferous tree species other than Scots pine that occur on small areas. No sampling area was established in the Dąbrówka forest complex due to the lack of data for this area. Instead, an additional sampling plot was established within the Białoleka Dworska forest complex. As a result of the experiment design, ca. 55 ha of forest stands represented a given forest site-species-age layer.

Dead wood material observed in this study was divided into the following categories: snags (standing or broken

Table 1. Share of distinguished habitat–age–species classes in total area of urban forests in Warszawa and number of sample plots allocated to them

Layer	Share in total area [%]						Number of sample plots						
	B	BM	LM	L	O	total	B	BM	LM	L	O	total	total [%]
So _{I+II}	4.0	1.0	4.0	0.7	-	9.7	2	1	2	-	-	5	9.1
So _{III}	11.6	7.0	4.9	3.7	-	27.2	6	4	3	2	-	15	27.3
So _{IV}	2.4	3.2	0.2	3.2	-	9.1	2	2	-	2	-	6	10.9
So _V	-	0.2	1.8	2.3	-	4.4	-	-	1	1	-	2	3.6
So _{VI+}	0.1	0.5	2.7	2.7	-	6.1	-	-	1	2	-	3	5.5
Db _{I+II}	0.1	0.1	1.1	2.1	0.1	3.5	-	-	1	1	-	2	3.6
Db _{III}	1.1	1.6	2.3	5.3	-	10.3	1	-	1	3	-	5	9.1
Db _{IV}	0.0	0.8	2.6	0.2	-	3.7	-	-	2	-	-	2	3.6
Db _V	-	0.2	0.9	5.7	-	6.9	-	-	1	3	-	4	7.3
Brz	0.5	2.7	2.5	2.3	-	8.0	-	2	2	1	-	5	9.1
OI	-	0.3	0.4	2.9	2.7	6.2	-	-	-	2	1	3	5.5
Ak	0.3	0.8	0.0	0.7	-	1.8	-	1	-	-	-	1	1.8
Lsc	-	0.1	0.3	1.9	0.5	2.8	-	-	-	1	1	2	3.6
Igl	-	-	0.2	0.2	0.0	0.4	-	-	-	-	-	0	0.0
Total	20.3	18.6	23.8	34.0	3.4	100.0	11	10	14	18	2	55	100.0

Site types: B – oligotrophic. BM – meso-oligotrophic. LM – meso-eutrophic. L – eutrophic. O – water-dependent; dominant species: So – *Pinus sylvestris*. Db – *Quercus* sp.. Brz – *Betula* sp.. OI – *Alnus glutinosa*. Ak – *Robinia pseudoacacia*. Lsc – other deciduous. Igl – other coniferous; I. II. ... – consecutive age classes of 20 years

dead trees, stumps) and woody debris. The latter was divided into coarse woody debris (above 2.5 cm diameter) and fine woody debris (below 2.5 cm diameter) (Harmon et al. 1986). On every sampling plot, dead wood inventory concerned snags, whereas woody debris were examined on the transect. Dead standing trees were examined with regard to their species, breast height diameter (measured with ca-liper), and height (measured with Vertex III hypsometer). Coarse woody debris volume was assessed based on wood fragments with the diameter ≥ 2.5 cm, lying on the ground (those recessed in the litter were neglected). Smaller wood elements were only counted. The length of a wood piece was measured along its morphological axis, while the diameter was measured perpendicularly to the morphological axis at the point where the axis of an individual piece crossed the transect line. Diameter measurements were carried out individually for every wood piece on its intersection with the transect, which means that one piece of wood could be measured for some time if it intersected with the transect line more than once (Wolski 2002b). The length was measured with use of Vertex III hypsometer. For each wood piece, the tree species was determined as well as wood decay degree was assessed in accordance to the 5-point scale (Masera et al., 1979).

Additionally, on each sampling plot, all the stumps were counted and examined with regard to the species and wood decay degree.

2.3. Calculations

The volume of dead wood was calculated separately for each sampling plot. The volume of standing dead trees was calculated based on the obtained measurements and relevant form-factor formulas available in literature. Scots pine volume was calculated based on form factors elaborated by Bruchwald and Rymer-Dudzińska (1996), that of oak based on Bruchwald et al. (1996) and birch following Tomusiak (2003). The volume of dead wood of beech, hornbeam, and maple was calculated based the form factors presented for beech by Dudzińska (2003). The formula elaborated for alder by Dudzińska and Bruchwald (2003) was used for calculations concerning black locust, willow, and alder. The volume of broken standing dead trees and that of standing dead underbrush was calculated as the volume of a cylinder with dimensions identical as the parameters measured (i.e., given tree breast height diameter and height). Coarse woody debris volume was calculated following the formula by van Wagner (1968):

$$V_i = \frac{\pi^2}{8 \cdot L} \cdot \sum d^2$$

where:

d = wood piece diameter [cm],

L = transect length [m].

The total volume of dead wood (altogether dead standing trees and dead broken trees, underbrush, and coarse woody debris) on the sampling plot was converted to dead wood volume per 1 ha [m³/ha]. The mean values were calculated when more than one sampling plot was established within a given forest site–species–age layer. The volume of dead wood per given stand was calculated based on the conversion of dead wood volume per area unit in a given forest site–species–age layer into given stand area. Dead wood resources in the analyzed forest complexes were calculated by summing up the volume obtained for all the stands in a given forest complex. At the same time, we calculated dead wood amounts in the forest site, species, and age class layers:

3. Results

The total amount of the dead wood in the forest complexes under the administration of the Warsaw Municipal Forests was estimated to be 38,761 m³ (Table 2). Unquestion-

nably, the largest amounts of deadwood were observed in the forest complex of Las Kabacki (16,463 m³), and the lowest in small complexes such as Wydma Żerańska (71 m³) and Las Matki Mojej (95 m³). The size of forest complexes was not always reflected in the amount of dead wood observed. In relatively small forest complexes, such as Las Młociny and Olszynka Grochowska, we found larger deadwood resources than in the considerably large forest complex Białoleka Dworska (Table 2). The amount of dead wood in Warsaw urban forests ranged from 3.66 m³/ha in the Białoleka Dworska forest complex to 33.50 m³/ha in the Las Bielany, and on the average it was 13.7 m³/ha (Table 2).

Dead wood abundance was the highest (in total 24,000 m³ registered) in the stands growing on deciduous forest sites, while the lowest in alder and coniferous sites (1,250 m³ and 2,200 m³, respectively). The average amount of dead wood/area unit was the largest on deciduous sites (25 m³/ha), and the smallest on coniferous sites (less than 4 m³/ha). The share of the dead wood volume on wet forest site types is similar to the fraction of the area covered by this type of forests in the total area of urban forests, while for the coniferous forest sites, it is fourfold lower (Fig. 1). Only in case of deciduous forest sites, the share of the dead wood on the given forest site type is larger than its fraction in the total area of urban forests. The highest dead wood amounts were amassed in the stands in the

Table 2. Characteristics of the individual complexes of urban forests in Warsaw in terms of area and resources of coarse woody debris

Forest complex	Area		Coarse woody debris volume		Average volume of dead wood [m ³ /ha]
	[ha]	[%]	[m ³]	[%]	
Las Bemowo	445.70	15.8	5998.11	15.5	13.46
Białoleka Dworska	241.59	8.5	884.55	2.3	3.66
Las Bielański	142.21	5.0	4763.85	12.3	33.50
Las Bródno	128.34	4.5	2038.57	5.3	15.88
Dąbrówka	25.93	0.9	130.35	0.3	5.03
Henryków	18.64	0.7	106.55	0.3	5.72
Las Kabacki	867.00	30.7	16462.9	42.5	18.99
Lasek na Kole	45.78	1.6	617.50	1.6	13.49
Las Lindego	20.27	0.7	180.74	0.5	8.92
Las Młociny	83.38	2.9	1303.62	3.4	15.63
Las Matki Mojej	14.01	0.5	95.10	0.2	6.79
Las Nowa Warszawa	166.51	5.9	726.40	1.9	4.36
Olszynka Grochowska	61.09	2.2	1001.09	2.6	16.39
Las Sobieskiego	560.37	19.8	4380.41	11.3	7.82
Wydma Żerańska	6.61	0.2	71.05	0.2	10.75
Total	2827.43	100.0	38760.80	100.0	13.71

third age class (approximately 13,5000 m³), and the lowest in the first age class (approximately 400 m³). Dead wood abundance in the oldest stands was almost 37 m³/ha, and in the youngest about 9 m³/ha. Dead wood contribution in the total dead wood volume of the whole urban forests was proportional to the share of the area occupied by these stands in the urban forests (Fig. 2). The biggest differences were observed between the third age class stands (49% share of the area and 35% contribution to dead wood) and seventh age class stands (9% and 24%, respectively). The highest amounts of dead wood were observed in the stands with dominant Scots pine (more than 12,700 m³) or oak (slightly more than 10,000 m³). Dead wood was more than ever abundant in birch and other deciduous stands (e.g., poplar, hornbeam, maple, willow, lime). In all these, average dead wood volume was 38–39 m³/ha, whereas in Scots pine stands, it was approximately 8 m³/ha. Taking into consideration area shares in the total area of the urban forests analyzed, the contribution of Scots pine dead wood to the total dead wood abundance was 1.5 times lower. The contribution of dead wood of other forest tree species was proportional to their area shares in the urban forests (Fig. 3).

4. Discussion

Responsible management of the dead wood abundance is essential for sustainable management of properly functioning, healthy, and stable forest ecosystems (Sokołowski 1999; Wolski 2002a; Rykowski 2005).

According to Wolski (2002a), in Scots pine stands (the most common in Poland), about 3 m³ of dead wood is present, while Holecxa and Maciejewski (2006) report 2 to 5 m³/ha of dead wood. The results of the large-scale forest inventory (Neroj 2011) indicate a comparable value (5.2 m³/ha) for dead wood abundance in forests managed by the State Forests-National Forest Holding. On the other hand, Czerepko (2008) reports a higher value (9.6 m³/ha). The results of a study carried out on 50-year-old pine stands in the United States showed on average 30 m³ of dead wood per hectare (Harmon et al. 1986). Dead wood abundance in forest complexes managed by the Warsaw Municipal Forests is nearly 14 m³/ha. This value is similar to that reported by the Economic Commission for Europe (ECE) with reference to the managed forests in the western part of Europe. The ECE report points out that Polish managed forests retain one of the lowest average amounts of dead wood. However, the amount observed in the urban forests in Warsaw was almost three times higher. In the majority of European countries (e.g., Austria, Switzerland, Germany, and Slovenia), a trend of increase in increase dead wood abundance in the managed forests is observed. Some of the countries (Slovakia, Lithuania, and Russia) have retained substantial amounts of dead wood in their forests. The urban forests in Warsaw indicate medium dead wood abundance, similar to that in Estonia and Germany, and it is definitely higher than that in many other countries (e.g., France, Finland, and Belgium).

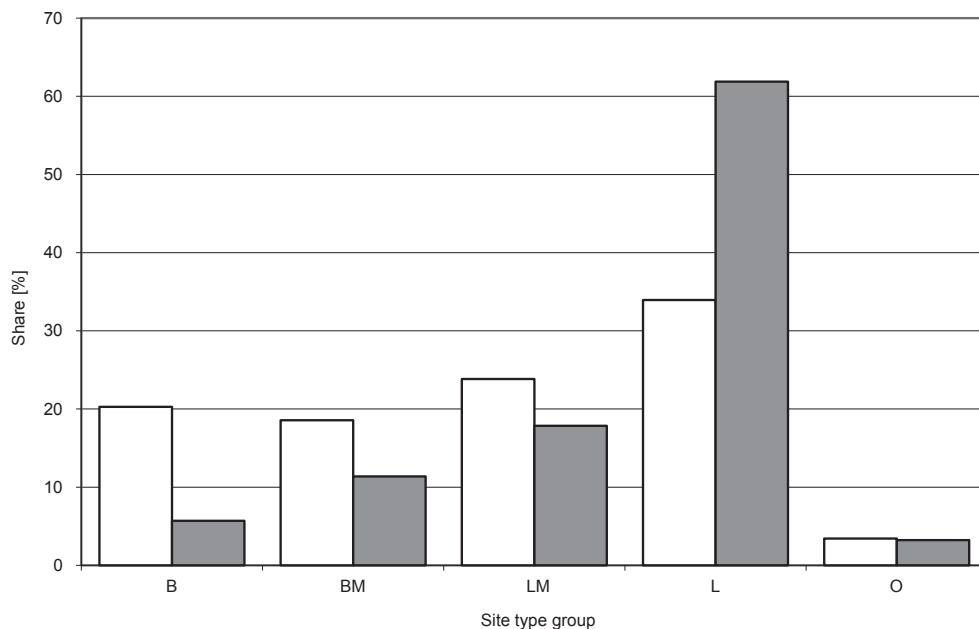


Figure 1. Share [%] of site types groups in total area (white) and coarse woody debris volume (grey) of urban forests in Warszawa

Denotes as in Table 1

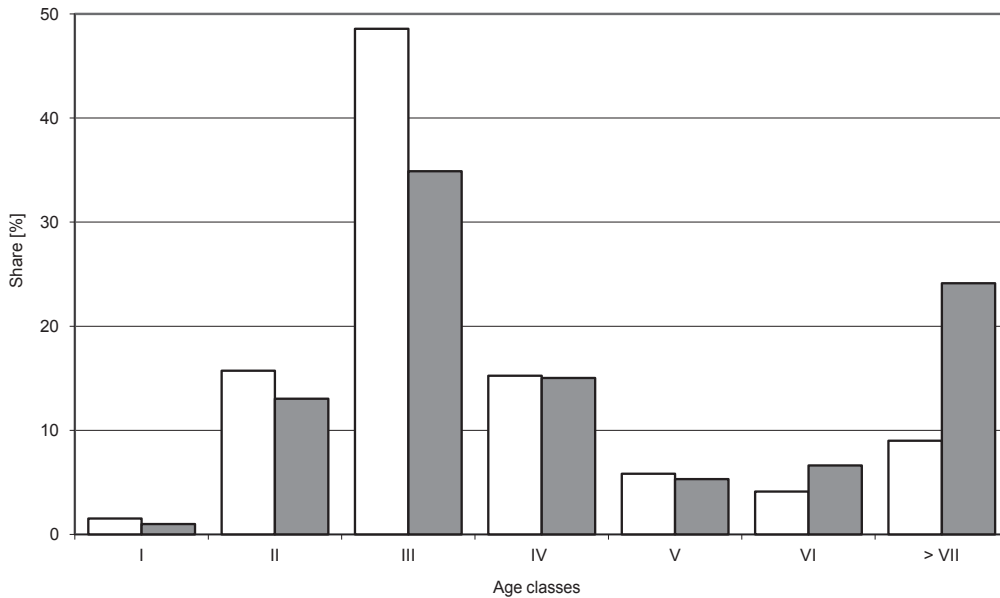


Figure 2. Share [%] of age classes in total area (white) and coarse woody debris volume (grey) of urban forests in Warszawa
Denotes as in Table 1

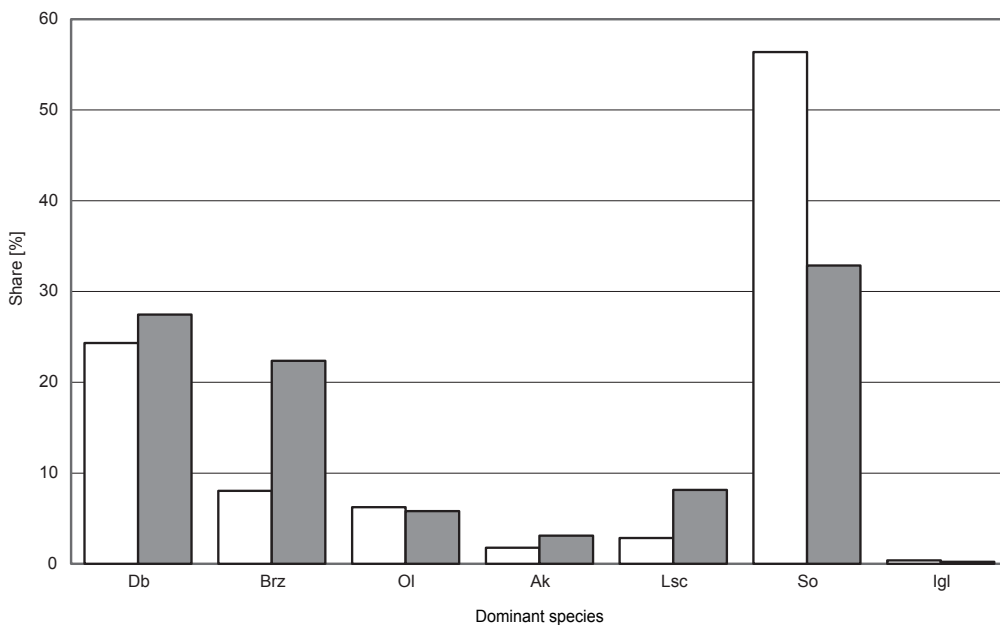


Figure 3. Share [%] of individual species in total area (white) and coarse woody debris volume (grey) of urban forests in Warszawa
Denotes as in Table 1

Higher amounts of dead wood occur in Polish forests with natural character and in those under the protection (Ciach 2011). The results of the measurements carried out in a frame of the large-scale forest inventory showed that dead wood abundance in national parks in Poland exceeded $35.8 \text{ m}^3/\text{ha}$ (Neroj 2011). Similar dead wood volume was observed in

the present study—in the urban forest complex Las Bielański, with old forest stands (mainly oak) on fertile sites and abundance of sizeable dead wood pieces. Slightly more ($38.9 \text{ m}^3/\text{ha}$) dead wood was observed in the urban reserve Polesie Konstantynowskie in the city of Łódź (Pawicka, Woźniowa 2011). According to Maślak and Orczewska (2009), the amo-

unt of dead wood observed in protected areas in the Upper Silesia region, ranged from 42 to 166 m³/ha. Ample dead wood amounts are observed in natural forests. Nilsson et al. (2002) estimate that before anthropogenic expansion, in European forests, on average 130–150 m³/ha of dead wood can be observed. Furthermore, Dudley and Vallauri (2004) report the values up to 275 m³/ha (Fontainebleau Forest in France or Hanger Wood in the United Kingdom).

The recommendations on dead wood amounts to retain in the forests have changed with time. The advocated amount used to be 3 m³/ha or 5–10 m³/ha (Ammer 1991; Utschik 1991). The recommended dead wood amounts increased with the progress of research. Now it is believed that the amount of dead wood retained in forest should range from 15 to 30 m³/ha (Colak 2002; Jankovský et al. 2004; Bütler, Schlaepfer 2004). Some authors recommend the amount comprising 5–10% (Möller 1994; Jedicke 1995; Bütler, Schlaepfer 2004; Vandekerckhove et al. 2009) or even 20% (Humphrey, Bailey 2012) of the total stand volume. Gutowski et al. (2004) suggest that in managed forests, dead wood amounts should constitute not less than 5% of the volume of a mature stand. These should comprise at least five thick (with diameter above 40 cm) decaying trees or logs per forest ha and as many as possible hallow trees. However, one should keep in mind that the proposed values do not necessarily reflect the requirements of given ecosystems (Solon, Wolski 2002). In view of the abovementioned values, the urban forests in Warsaw meet current recommendations on dead wood amounts to be retained in forests.

The results of the assessment of dead wood amounts in forest ecosystem depend on many factors. Dead matter abundance in forest is reliant upon the climatic zone, potential vegetation type, stand utilization, stand features (age, species composition, density), site conditions (substrate wetness) as well as conservation status of a given area (Harmon et al. 1986; Wolski 2003; Bujoczek 2012). Human activity, either forest management or tourism and recreation, plays a considerable role in dead wood retention. In the present study, low amounts of dead wood observed in the stands with dominant Scots pine—growing on infertile sites is a result of pine ecology. During its lifetime, Scots pine does not produce too many dead elements. Only already dead specimens can contribute to the dead wood amounts, but this process is often long term. On the other hand, high dead wood abundance in deciduous stands (especially birch and oak) is associated with the development of tree crowns, which provide large elements. Since birch is not a long-life species, it supplies ecosystem with dead wood on short-term basis, and as a result accumulation of dead matter is frequently observed in the stands with birch. Also, stand growth stage has a decisive influence on dead wood category and size. In younger stands, fine woody debris are seen, whereas

in those older, bigger tree branches and logs occur. That is why high dead wood amounts are observed in the old stands. Dead wood abundance observed in the urban forests examined in this study could be affected by anthropogenic factors such as tourism and recreation. The urban forests in Warsaw are subject to excessive tourist traffic being very popular recreation area for Warsaw public community (Gołos 2013). Lying dead wood could be used up in fireplaces as it is easily available material. Moreover, there is a social pressure toward the forest management to remove such wood from the forests for aesthetical reasons.

5. Conclusions

1. Average amount of deadwood in the urban forests of Warsaw is approximately 14 m³/ha. This level meets current recommendations on the quantity of dead wood retained forest.
2. Dead wood resources in the urban forests in Warsaw is comparable with that reported for managed forests in western Europe, and two to three times higher than in managed forests in Poland.
3. In Warszawa, only the Las Bielański forest complex shows dead wood abundance similar to the one observed in Polish national parks. None of the analyzed forest complexes showed dead wood resources analogous to that observed in natural forests.

Conflict of interest

The authors declare no interest conflict.

Acknowledgments

The study was conducted in a frame of the project ‘Studies on evaluation of health and sanitary status of forests with regard to main factors affecting forest ecosystem sustainability and evaluation of wild boar distribution for optimization of ongoing wild boar trapping’ financed by the Warsaw Municipal Forests.

References

- Ammer U. 1991. Konsequenzen aus den Ergebnissen der Totholzforchung für die forstliche Praxis. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 110: 149–157. DOI: 10.1007/BF02741249.
- Bobiec A, van der Burgt H., Zuyderduyn C., Haga J., Meijer K., Vlaanderen B. 2000. Rich deciduous forests in Białowieża as a dynamic mosaic of developmental phases: premises for nature conservation and restoration management. *Forest Ecology and Management* 130: 159–175. DOI: 10.1016/S0378-1127(99)00181-4.

- Bobiec A. 2002. Living stands and dead wood in the Białowieża Forest: suggestions for restoration management. *Forest Ecology and Management* 165: 125–140. DOI: 10.1016/S0378-1127(01)00655-7.
- Bobiec A., Stachura-Skierczyńska K. 2007. Stare drzewa i martwe drewno w ekosystemach leśnych Polski – założenia, metodyka i wstępne wyniki projektu. *Studia i Materiały CEPL w Rogowie* 16: 370–379.
- Bruchwald A., Dudzińska M., Wirowski M. 1996. Model wzrostu dla drzewostanów dębu szypułkowego. *Sylwan* 139(10): 35–44.
- Bruchwald A., Rymer-Dudzińska T. 1996. Nowy wzór empiryczny do określania pierścnicowej liczby kształtu grubizny drzewa dla świerka. *Sylwan* 139 (12): 25–31.
- Bujoczek L. 2012. Dekompozycja obumarłych drzew w ekosystemach leśnych ze szczególnym uwzględnieniem świerka, buka i jodły. *Sylwan* 156 (3): 208–217.
- Bunnell F. L., Houde I., Johnston B., Wind E. 2002. How dead trees sustain live organisms in Western Forests. Proceedings of the Symposium on the Ecology and Management of Dead Wood in Western Forests. Reno, NV. General Technical Report PSW-GTR-181. Albany, CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture, 291–318. ISBN 9780774858731.
- Butler R., Schlaepfer R. 2004. Wie viel Totholz braucht der Wald? *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 155(2): 31–37. DOI: <http://dx.doi.org/10.3188/szf.2004.0031>.
- Caza C. L. 1993. Woody Debris in the Forests of British Columbia: A Review of the Literature and Current Research. LMR 78. ISBN 0-771 8-9307-8.
- Ciach M. 2011. Martwe i zamierające drzewa w ekosystemie leśnym – ilość, jakość i zróżnicowanie. *Studia i Materiały CEPL w Rogowie* 27: 186–199.
- Colak A. H. 2002. Dead wood and its role in nature conservation and forestry: a Turkish perspective. *Journal of Practical Ecology and Conservation* 5(1): 37–49.
- Czerepko J. (ed.). 2008. Stan różnorodności biologicznej lasów w Polsce na podstawie powierzchni obserwacyjnych monitoringu. Synteza wyników uzyskanych w ramach realizacji projektu BioSoil Forest Biodiversity IBL, Sekocin Stary. ISBN 978-83-87647-75-9.
- Dudley N., Vallauri D. 2004. Deadwood – living forests. WWF Report, WWF.
- Dudzińska M. 2003. Wzory empiryczne do określania pierścnicowych liczb kształtu dla nizinnych drzewostanów bukowych. *Sylwan* 147(1): 35–40.
- Dudzińska M., Bruchwald A. 2003. Wzory empiryczne pierścnicowej liczby kształtu strzały w korze dla drzewostanów olszy czarnej (*Alnus glutinosa* L.). *Sylwan* 147(5): 36–41.
- Faliński J. B. 1978. Uprooted trees, their distribution and influence in the primeval forest biotope. *Vegetatio* 38: 175–183.
- Gołos P. 2013. Rekreacyjna funkcja lasów miejskich i podmiejskich Warszawy. *Leśne Prace Badawcze* 74(1): 57–70. DOI: 10.2478/frp-2013-0007
- Gutowski J. M., Bobiec A., Pawlaczyk P., Zub K. 2004. Drugie życie drzewa. WWF Polska, Warszawa-Hajnówka.
- Harmon M. E., Franklin J. F., Swanson F. J., Sollins P., Gregory S. V., Lattin J. D., Anderson N. H., Cline S. P., Aumen N. G., Sedell J. R., Lienkaemper G. W., Cromack K., Cummins K. W. 1986. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. *Advances in Ecological Research* 15: 133–302.
- Holeksa J., Maciejewski Z. 2006. Martwe drzewa i ich rola w ekosystemie leśnym. *Roztoczańskie spotkania* 6: 61–74.
- Humphrey J., Bailey S. 2012. Managing deadwood in forests and woodlands. Forestry Commission Practice Guide. Forestry Commission, Edinburgh.
- Instrukcja ochrony lasu. 2011. CILP, Warszawa.
- Jankovský L., Lička D., Ježek K. 2004. Inventory of dead wood in the Kněhyně-Čertův mlýn National Nature Reserve, the Moravian-Silesian Beskids. *Journal of Forest Science* 50(4): 171–180.
- Jedicke E., 1995. Anregungen zu einer Neuauflage des Altholzinsel-Programms in Hessen. *Allgemeine Forstzeitung* 10: 522–524.
- Lofroth E. 1998. The dead wood cycle, in: Conservation biology principles for forested landscapes (ed. J. Voller, S. Harrison). UBC Press, Vancouver, 185–214.
- Maser C., Anderson R. G., Cromack K. jr., Williams J. T., Martin R. E. 1979. Dead and down woody material, in: Wildlife habitats in management forests. The Blue Mountains of Oregon and Washington. (ed. J. W. Thomas). USDA Forest Service Agriculture Handbook. Portland – Washington. 78–95.
- Maślak M., Orczewska A. 2010. Zasoby martwego drewna w zbiorowisku kwaśnej buczyny niżowej leśnych obszarów chronionych Górnego Śląska. *Studia i Materiały CEPL w Rogowie* 25: 369–376.
- Möller G. 1994. Alt- und Totholzlebensräume. Ökologie, Gefährdungssituation, Schutzmaßnahmen. *Beiträge Forstwirtschaft und Landschaftsökologie* 28(1): 7–15.
- Neroj B. 2011. Zasoby martwego drewna w lasach na podstawie wyników wielkoobszarowej inwentaryzacji stanu lasu. BULiGL.
- Nilsson S. G. M., Niklasson J., Hedin G., Aronsson J. M., Gutowski P., Linder H., Ljungberg G., Mikusinski-Ranius T. 2002. Densities of large living and dead trees in old-growth temperate and boreal forests. *Forest Ecology and Management* 161: 189–204. DOI:10.1016/S0378-1127(01)00480-7.
- Pawicka K., Wozniwoda B. 2011. Bilans martwego drewna w rezerwacie „Polesie Konstantynowskie”. *Sylwan* 155(12): 851–858.
- Rykowski K. 2005. O gospodarce leśnej w leśnych kompleksach promocyjnych. Instytut Badawczy Leśnictwa, Sekocin Las. ISBN 83-87647-43-8.
- Sokołowski A. W. 1999. Charakterystyka oraz inwentaryzacja lasów o charakterze naturalnym na terenie Puszczy Białowiejskiej. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, Ser. B* 36: 26–37.
- Solon J. 2002. Ekologiczna rola martwego drewna w ekosystemach leśnych – dyskusja wybranych zagadnień w świetle literatury, in: Podstawy trwałego i zrównoważonego zagospodarowania lasów w Leśnych Kompleksach Promocyjnych (A. Brey Meyer, M. Degórski, E. Roo-Zielińska, J. Solon, J. Wolski). IBL, Sekocin Las.
- Solon J., Wolski J. 2002. Propozycje gospodarowania zapasem martwego drewna w Leśnych Kompleksach Promocyjnych, in: Podstawy trwałego i zrównoważonego zagospodarowania lasów w Leśnych Kompleksach Promocyjnych (A. Brey Meyer, M. Degórski, E. Roo-Zielińska, J. Solon, J. Wolski). IBL, Sekocin Las.
- Stevens V. 1997. The ecological role of coarse woody debris: an overview of the ecological importance of CWD in British Co-

- lumbia forests. Res. Br., B.C. Min. For., Victoria, B.C. Work. Pap. 30.
- Tomusiak R. 2003. A model percentage shares of fifteen sections in stem volume for birch stands. Paper collection of International Scientific Conference of PhD Students "YOUTH SEEKS PROGRESS 2003 14-15 November 2003. Lithuanian University of Agriculture.
- Travaglini D., Chirici G. 2006. Forest BIOTA Project. Forest Biodiversity Test-phase Assessments: Deadwood assessment. Work report. Accademia Italiana di Scienze Forestali.
- Tyrell L., Crow T. 1994. Structural characteristics of old-growth hemlock-hardwood forests in relation to age. *Ecology* 75: 370–386. DOI: 10.2307/1939541.
- Utschick H. 1991. Beziehungen zwischen Totholzreichtum und Vogelwelt in Wirtschaftswäldern. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 110: 135–148. DOI: 10.1007/BF02741248.
- van Wagner C. E. 1968. The line intersect method in forest fuel sampling. *Forest Science* 14(1): 20–26.
- Vandekerkhove K., de Keersmaeker L., Menke N., Meyer P., Verschelde P. 2009. When nature takes over from man: Dead wood accumulation in previously managed oak and beech woodlands in North-western and Central Europe. *Forest Ecology and Management* 258: 425–435. DOI:10.1016/j.foreco.2009.01.055.
- Wolski J. 2000. Ocena zapasu martwego drewna metodą Browna, in: Podstawy trwałego i zrównoważonego zagospodarowania lasów w Leśnych Kompleksach Promocyjnych (A. Breymeyer, M. Degórski, E. Roo-Zielińska, J. Solon, J. Wolski). IBL, Sękocin Stary.
- Wolski J. 2001. Pomiary zasobów leżącego martwego drewna w lasach czterech wybranych Leśnych Kompleksów Promocyjnych, in: Podstawy trwałego i zrównoważonego zagospodarowania lasów w Leśnych Kompleksach Promocyjnych (A. Breymeyer, M. Degórski, E. Roo-Zielińska, J. Solon, J. Wolski) IBL, Sękocin Stary.
- Wolski J. 2002a. Metoda pomiarów leżącego martwego drewna w lesie - założenia teoretyczne i przebieg prac terenowych, *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, Ser. A 2* (932): 27–45
- Wolski J. 2002b. Ocena zapasu leżącego martwego drewna, in: Podstawy trwałego i zrównoważonego zagospodarowania lasów w Leśnych Kompleksach Promocyjnych (A. Breymeyer, M. Degórski, E. Roo-Zielińska, J. Solon, J. Wolski) IBL, Sękocin Stary.
- Wolski J. 2003. Martwe drewno w lesie: ocena zapasu i propozycje postępowania. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, Ser. A, 2* (953): 23–45.
- Zasady Hodowli Lasu. 2003. CILP, Warszawa.
- Zielonka T., Niklasson M. 2001. Dynamics of dead wood and regeneration pattern in natural spruce forest in the Tatra Mountains, Poland. *Ecological Bulletins* 49: 159–163.

Author's contribution

- K.S. – field measurements, manuscript preparation; Sz. B. – study conception, field measurements, manuscript revision.