

LESZEK BUJOCZEK, MAŁGORZATA BUJOCZEK, JAN BANAŚ, STANISŁAW ZIĘBA

Inwentaryzacja martwego drewna statystyczną metodą reprezentacyjną z zastosowaniem warstw gatunkowo-wiekowych

Inventory of deadwood by the means of a statistical representative sampling method using species-age layers

ABSTRACT

Bujoczek L., Bujoczek M., Banaś J., Zięba S. 2017. Inwentaryzacja martwego drewna statystyczną metodą reprezentacyjną z zastosowaniem warstw gatunkowo-wiekowych. Sylwan 161 (2): 114-123.

According to the current forest management manual, deadwood volume should be evaluated on 10% of sampling plots, located in different species-age layers, which are used for determining stand volume in a given forest unit. Sampling plot size differs depending on tree stand age and ranges from 0.005 to 0.05 ha. The results are reported for the entire forest district and by forest site type. The objective of the study was to analyze the accuracy of deadwood volume estimations in the light of the guidelines stipulated in the forest management manual and to find the ways to improve the obtained results. Deadwood volume was measured on 2752 sample plots used to determine stand volume and the mean value calculated on that basis was 5.4 m³/ha. Subsequently, 30 random draws of sampling plots were performed. Estimates based on randomly selected pools consisting of 10% of sampling plots ranged from 3.5 to 8.6 m³/ha. Subsequently, another 10% of sampling plots were randomly drawn and added to the previous ones. The results for 20% of sampling plots were 4.5-7.0 m³/ha, for 30% – 4.3-6.4 m³/ha, for 40% – 4.6-6.4 m³/ha and for 50% – 4.7-6.0 m³/ha. In the next step, 225 sampling plots located in reserves and special zones around the nests of protected species were discarded. The mean volume of deadwood computed for the managed forest areas alone (2527 sample plots) was 4.7 m³/ha. The random drawing procedure was repeated to give the following results: 3.6-6.8 m³/ha for 10% of sampling plots; 3.8-5.8 m³/ha for 20%; 3.9-5.3 m³/ha for 30%; 4.2-5.3 m³/ha for 40%; and 4.2-5.1 m³/ha for 50% of sampling plots. The categorization of the randomly selected sampling plots by forest site type in most cases yielded results significantly differed from the values computed based on all sampling plots. It was found that estimates based on 10% of sampling plots may diverge considerably from true values due to the uneven distribution of deadwood. In particular, managed and unmanaged forest areas should not be combined due to the high differences in the volume of deadwood between them. If a relatively low number of sampling plots is used, it seems advisable to report results only for the forest division as a whole, without a breakdown into site types. Satisfactory estimates for the different forest sites types would require much more work. The use of a greater number of sampling plots than specified in the forest management manual seems to be a fundamental prerequisite for improving the accuracy of deadwood volume estimates.

KEY WORDS

coarse woody debris, snags, measurements, accuracy

ADDRESSES

Leszek Bujoczek ⁽¹⁾ – e-mail: leszek.bujoczek@ur.krakow.pl
 Małgorzata Bujoczek ⁽²⁾ – e-mail: malgorzata.bujoczek@ur.krakow.pl
 Jan Banaś ⁽¹⁾ – e-mail: rlbanas@cyf-kr.edu.pl
 Stanisław Zięba ⁽¹⁾ – e-mail: rzieba@cyf-kr.edu.pl

⁽¹⁾ Zakład Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie; al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

⁽²⁾ Zakład Bioróżnorodności Leśnej, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie; al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

Wstęp

Określenie miąższości zasobów drzewnych obrębu prowadzi się statystyczną metodą reprezentacyjną, z zastosowaniem warstw gatunkowo-wiekowych oraz losowego rozdziału prób pomiarowych [Instrukcja... 2012]. Powierzchnia warstwy nie powinna być jednak mniejsza niż 30 ha, a mniejsze powierzchnie należy włączyć do warstwy podobnego gatunku panującego. Liczbę prób określa się dla całego obrębu, następnie dokonuje się ich alokacji, czyli przydzielenia do poszczególnych warstw. Pomiarami obejmuje się drzewostany w wieku od 21 lat wzwyż, w których średnia wysokość gatunku panującego wynosi minimum 7 m. Instrukcja wprowadza na tych powierzchniach także pomiary dodatkowe w celu określenia miąższości martwego drewna. Przeprowadza się je w każdej warstwie gatunkowo-wiekowej na co dziesiątej powierzchni próbnej. Obliczenia i zestawienia martwego drewna wykonuje się dla całego nadleśnictwa według wybranych grup typów siedliskowych lasu. Miąższość drewna martwego określa się z podziałem na drewno: martwych drzew stojących i złomów, drzew ściętych, wyrwconych lub stanowiące fragmenty drzew martwych. W miąższości martwego drewna nie uwzględnia się pniaków.

O dokładności stosowanych metod inwentaryzacji zapasu decyduje wiele czynników. Dwa z nich mają kluczowe znaczenie, tj. zmienność badanej cechy oraz liczebność próby. W metodach opartych na losowaniu warstwowym ważnym zadaniem jest również poszukiwanie efektywnej cechy pomocniczej, tj. zmniejszającej wariancję wewnątrzwarstwową, a zwiększającej międzywarstwową. Analizując metodę obrębową, wykazano, że dla określania zapasu obrębu jedną z takich cech jest wiek drzewostanów [Bruchwald i in. 2003]. Uwzględnianie gatunku głównego w podziale na warstwy ma natomiast głównie znaczenie praktyczne, gdyż prowadzący gospodarkę zainteresowani są także gatunkową strukturą obrębu.

Dotychczasowe badania nad ilością martwego drewna brały pod uwagę obie wymienione cechy drzewostanów. W przypadku wieku często stwierdza się większe ilości martwego drewna w młodszych i starszych drzewostanach, a mniejsze w średnich klasach wieku. Zależności te jednak nie zawsze są potwierdzane [Sturtevant i in. 1997; Czerepko 2008; Holzwarth i in. 2013]. Wynika to z lokalnych uwarunkowań, wymiarów zamierających drzew, przyczyn i skali ich zamierania oraz stosowania odmiennych zabiegów gospodarczych na różnych etapach rozwoju lasu. Wskazuje się także na rolę różnych pozostałości drzewnych po wykonanych cięciach, które mogą mieć znaczną miąższość [Lombardi i in. 2008; Moroni, Ryan 2010]. Analizując drugą cechę, tj. skład gatunkowy, również nie wyciągnięto jednoznacznych wniosków. W drzewostanach gospodarczych badanych pod względem występowania martwego drewna nie stwierdzono wyraźnego wpływu składu gatunkowego drzewostanu [Banaś i in. 2014]. Większą miąższością martwego drewna odznaczały się jedynie drzewostany z gatunkami okresowo podatnymi na zwiększone zamieranie. Zjawiska takie mogą występować jednak lokalnie i czasowo, aż do ustąpienia przy-

czyn zaburzeń. Inne wyniki przytaczane są z lasów miejskich, ze wskazaniem na znaczne różnice w miąższości martwego drewna w lasach o odmiennych składach gatunkowych [Skwarek, Bijak 2015].

Wybór właściwej metody inwentaryzacji lasu zależy zarówno od czynników ekonomicznych, jak i wymaganego zakresu informacji o lesie. Pomiary martwego drewna są pracochłonne, dlatego dla podania podstawowych informacji ważne jest dostosowanie rozmiaru prac do potrzeb. Określenie liczby powierzchni próbnych i ich alokacja powinny dawać oczekiwaną dokładność. Zbyt mała dokładność uzyskiwanych wyników może wprowadzać w błąd, generując przy tym koszty związane z wykonaniem inwentaryzacji.

Celem pracy była analiza dokładności szacowania zasobów martwego drewna w świetle obecnych zapisów instrukcji i wskazanie możliwości poprawy uzyskiwanych wyników.

Material i metody

Do przeprowadzenia analiz wykorzystano dane z inwentaryzacji zasobów drzewnych w Nadleśnictwie Strzelce Opolskie. Liczbę powierzchni próbnych oraz ich alokację określono zgodnie z Instrukcją Urządzenia Lasu (IUL) [2012]. Pomiary martwego drewna wykonano nie na 10% powierzchni (jak wskazuje IUL), ale na wszystkich powierzchniach kołowych. W sumie w 3 obrębach nadleśnictwa założono 2752 powierzchnie próbne, z czego 225 zlokalizowanych było w gospodarstwach specjalnych, tj. w rezerwatach i wydzieleniach wokół gniazd gatunków strefowych. W zależności od wieku gatunku panującego w drzewostanie i zasad określania wielkości próby w warstwie zarówno wielkość powierzchni próbnych, jak i ich liczba różniły się. Powierzchni o polu 0,005 ha było 118; 0,01 ha – 164; 0,02 ha – 530; 0,03 ha – 475; 0,04 ha – 571, a 0,05 ha – 894. Inwentaryzowano wszystkie całe drzewa i złomy o pierśnicy powyżej 7 cm, pod warunkiem, że pochodziły z powierzchni próbnej. Drzewom ściętym, wyrwconym, częściom martwych strzał, kłód i wierchołków oraz gałęziom mierzono średnicę w połowie długości, jeżeli w grubszym końcu była ona większa niż 10 cm. Nie uwzględniano części złomów i leżaniny o grubości poniżej 7 cm, jak również nie mierzono pniaków. Do określenia miąższości drzew stojących, złomów i różnych fragmentów leżaniny wykorzystano tablice Czuraja [1990] oraz wzór środkowego przekroju Hubera. Dla każdej powierzchni próbnej obliczono miąższość martwego drewna, przeliczając ją na 0,05 ha, oraz przypisano typ siedliskowy lasu (TSL). Następnie określono miąższość martwego drewna w nadleśnictwie oraz w poszczególnych TSL. Na potrzeby pracy wyniki uzyskane z wszystkich powierzchni próbnych przyjęto jako rzeczywistą miąższość martwego drewna i do niej porównywano kolejne wyniki uzyskane z obliczeń bazujących na mniej licznych próbach.

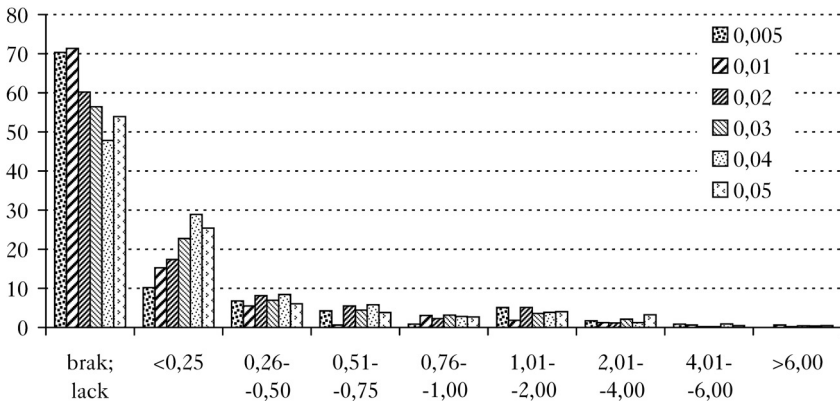
Dane uzyskane w tych samych warstwach gatunkowo-wiekowych zakładanych do celów inwentaryzacji zasobów drzewnych poszczególnych obrębów połączono. W poszczególnych tak utworzonych warstwach znajdowało się od 14 do 316 powierzchni próbnych. Zgodnie z IUL początkowo wylosowano z każdej warstwy 10% powierzchni próbnych, zaokrąglając ich liczbę do najbliższej wartości. Na podstawie takiej liczby powierzchni próbnych wykonano obliczenia miąższości martwego drewna w nadleśnictwie. Następnie zwiększano liczbę powierzchni próbnych, dołączając już do uprzednio wylosowanych kolejne 10%. Postępowanie powtarzano aż do uzyskania 50% powierzchni próbnych z początkowej ich liczby w każdej warstwie gatunkowo-wiekowej. Losowania i obliczenia wykonano dla nadleśnictwa w dwóch wariantach, tj. uwzględniając wszystkie powierzchnie próbne oraz z wykluczeniem powierzchni zlokalizowanych w gospodarstwie specjalnym. Dla TSL obliczenia wykonano tylko według drugiego wariantu. Wszystkie procedury losowania wykonywano 30-krotnie, uzyskując trzydzieści wartości średnich, które odnoszono do wartości obliczonych z wszystkich powierzchni próbnych.

W kolejnej analizie zrezygnowano z warstw gatunkowo-wiekowych, a jedynym kryterium był podział według TSL. Określano, na ilu powierzchniach próbnych należy prowadzić pomiary, aby wyniki dla poszczególnych TSL (nie uwzględniając gospodarstw specjalnych) nie różniły się więcej niż $\pm 20\%$ od wartości przyjętej za rzeczywistość. Liczba powierzchni próbnych wynosiła (w zależności od TSL) od 53 w lesie wilgotnym do 642 w borze mieszanym świeżym (pominięto bór wilgotny, w którym było 5 powierzchni próbnych). Założono losowanie początkowo 10% powierzchni w każdym TSL, jednak nie mniej niż 30 powierzchni próbnych. Jeśli wynik odbiegał więcej niż 20% od wartości rzeczywistej, dołosowywano kolejnych 5 powierzchni próbnych. Procedurę powtarzano aż do uzyskania założonego wyniku. Losowania dla każdego TSL również przeprowadzono 30-krotnie, każdorazowo od nowa.

W ostatniej analizie skupiono się na ocenie efektywności cech pomocniczych. Analizowano 3 cechy, tj. gatunek panujący w wydzieleniu, jego wiek oraz TSL, biorąc pod uwagę 2527 powierzchni. Dodatkowo dla TSL, aby uniknąć wpływu zmiennej ich wielkości, przeprowadzono 2 osobne analizy, dla powierzchni o polu 0,04 i 0,05 ha. Wariancję cechy głównej, czyli sumy miąższości martwego drewna występującego na powierzchniach próbnych, rozbito na dwie składowe: wariancję wewnątrzwarstwową (S_w^2) i wariancję międzywarstwową (S_b^2). Przy ocenie analizowanych cech kierowano się udziałem tych składowych, gdyż przy tworzeniu warstw dąży się do zwiększenia wariancji międzywarstwowej, zmniejszając jednocześnie wariancję wewnątrzwarstwową [Bruchwald i in. 2003].

Wyniki

Martwe drewno zostało stwierdzone na 1210 powierzchniach próbnych, tj. na 44% z ogólnej liczby 2752 powierzchni objętych inwentaryzacją. Nie występowało ono na około 70% powierzchni o wielkości 0,005-0,01 ha, natomiast w przypadku powierzchni największych, czyli o wielkości 0,04-0,05 m², nie zostało stwierdzone na około połowie z nich (ryc. 1). Po przeliczeniu miąższości z każdej powierzchni na jednolitą wielkość 0,05 ha oszacowano, że wartość średnia miąższości martwego drewna wynosi 0,27 m³/0,05 ha, a zatem średnio jest to 5,49 m³/ha. Na 20% powierzchni ilość martwego drewna była powyżej średniej. Losując trzydziestokrotnie po 10% powierzchni z każdej warstwy gatunkowo-wiekowej i obliczając średnią miąższość martwego drewna dla całego



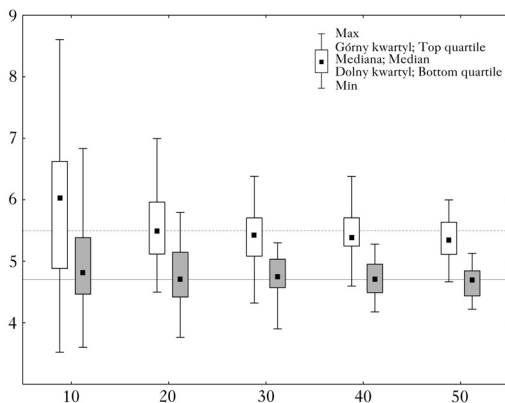
Ryc. 1.

Udział [%] powierzchni próbnych o określonym areale [ha] w zależności od miąższości martwego drewna [m³/ha]

Fraction [%] of sampling plots of a given area [ha] in relation to the deadwood volume [m³/ha]

nadleśnictwa, uzyskiwano od 3,5 do 8,6 m³/ha. Wyniki 19 losowań (63%) nie różniły się więcej niż 20% od wartości obliczonej z 2752 powierzchni próbnych. Przy losowaniu 50% powierzchni zakres uzyskanych średnich miąższości dla nadleśnictwa mieścił się w przedziale 4,7-6,0 m³/ha, a maksymalna różniąca wynosiła 15% w porównaniu z wynikiem z wszystkich powierzchni. W pozostałych losowaniach, tj. dla 20, 30 i 40% powierzchni próbnych, udział średnich miąższości nieróżniący się więcej niż 20% od wyniku z wszystkich powierzchni wynosił odpowiednio 87, 97 i 100% (ryc. 2).

Następnie odrzucono z analiz 225 powierzchni gospodarstwa specjalnego. Analizując średnią miąższość w zależności od wielkości powierzchni próbnej, stwierdzono od 0,21 m³/0,05 ha dla powierzchni o polu 100-200 m² do 0,27 m³/0,05 ha (400 m²) (ryc. 3). Znacznie większe wartości średnich błędów dla mniejszych powierzchni wynikały głównie ze znacznie mniejszej liczebności próby. Miąższość martwego drewna obliczona na podstawie 2527 powierzchni wynosiła 4,7 m³/ha. Przy losowaniu 10% powierzchni 73% wyliczonych średnich miąższości martwego drewna dla nadleśnictwa nie różniło się więcej niż $\pm 20\%$ od wielkości obliczonej z wszystkich powierzchni. Zakres średnich wynosił 3,6-6,8 m³/ha. Przy losowaniu 20% powierzchni jedna średnia różniła się ponad 20% od wyniku z wszystkich powierzchni. Pozostałe średnie, jak też wszystkie wyniki dla 30, 40 i 50% wylosowanych powierzchni, różniły się mniej niż 20% (ryc. 2). Na podstawie tych samych losowań przedstawiono wyniki w poszczególnych TSL (tab.). Zakres wartości średnich maleje z każdym zwiększaniem liczby powierzchni próbnych. Jednak nawet dla 50% powierzchni wylosowanych w Bśw i Lw zaledwie 30% średnich nie różniło mniej niż 20% od

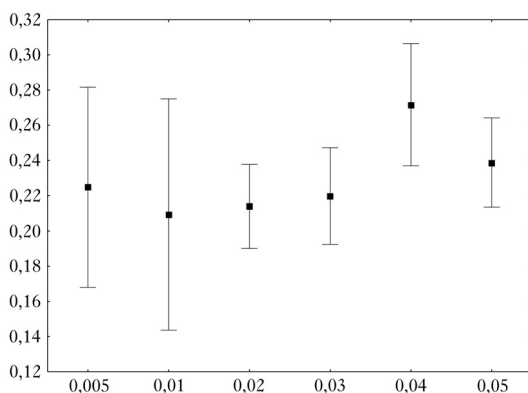


Ryc. 2.

Miąższość martwego drewna [m³/ha] uzyskana w zależności od procentu powierzchni próbnych wylosowanych z każdej warstwy gatunkowo-wiekowej [%] – 30 losowań

Deadwood volume [m³/ha] obtained for given share of sampling plots drawn from each species-age layer [%] – 30 random draws

białe – wszystkie gospodarstwa, szare – z wyłączeniem gospodarstw specjalnych, linia przerywana – średnia na podstawie wszystkich gospodarstw (2752 powierzchni próbnych), linia ciągła – średnia z wyłączeniem gospodarstw specjalnych (2527 powierzchni próbnych)
white – all forest areas combined, grey – managed forest areas only, dashed line – mean for all forest areas combined (2752 sampling plots), solid line – mean for managed forests only (2527 sampling plots)



Ryc. 3.

Średnia (\pm błąd standardowy) miąższość martwego drewna [m³/0,05 ha] w zależności od wielkości powierzchni próbnych [ha]

Mean (\pm standard error) deadwood volume [m³/0,05 ha] as a function of sampling plot size [ha]

Tabela.

Mięszość martwego drewna [m^3/ha] obliczona na podstawie pomiarów na wszystkich powierzchniach próbnych (V) oraz na powierzchniach wylosowanych w 30 oddzielnych losowaniach, obejmujących określony procent powierzchni (10-50%) z warstw gatunkowo-wiekowych (V_{30} ; minimum-maksimum) i udział wyników nieróżniących się więcej niż 20% od uzyskanego na podstawie wszystkich powierzchni próbnych (P_{V20} [%]) dla poszczególnych typów siedliskowych lasu

Deadwood volume [m^3/ha] calculated based on measurements of all sampling plots (V) and based on a pool of sampling plots randomly selected during 30 independent draws that cover given share (10-50%) of species-age layers (V_{30} ; minimum-maximum) as well as fraction of results which were within 20% from the value obtained based on all sampling plots (P_{V20} [%]) in different type forest sites

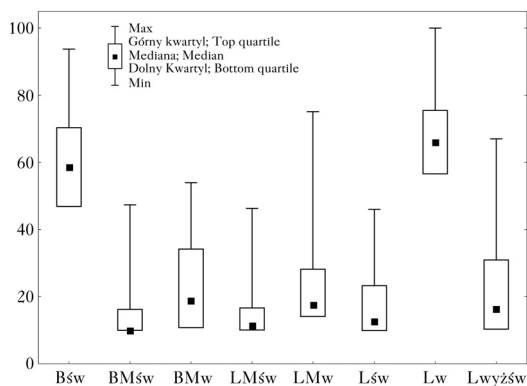
		Bśw	BMśw	BMw	LMśw	LMw	Lśw	Lw	Lwyżśw
N		64	642	278	607	213	374	53	291
V		0,6	3,4	5,6	3,4	7,9	5,1	9,5	6,7
10%	V_{30}	0,0-3,2	1,7-5,4	2,2-9,9	2,2-5,5	2,9-21,4	1,5-14,1	0,1-17,7	3,3-12,6
	P_{V20}	10	50	30	40	30	30	30	47
20%	V_{30}	0,0-1,8	2,4-4,7	2,5-9,3	2,3-5,3	2,9-12,4	3,6-7,9	0,7-24,9	3,3-14,4
	P_{V20}	33	73	50	60	27	53	17	60
30%	V_{30}	0,1-1,9	2,7-4,2	3,4-7,8	2,6-5,0	5,1-13,3	3,4-6,9	1,3-19,2	3,9-11,1
	P_{V20}	30	83	73	80	57	67	27	63
40%	V_{30}	0,2-1,5	2,7-4,2	3,5-6,9	2,6-4,5	5,2-12,1	3,5-6,5	2,3-15,8	4,1-9,4
	P_{V20}	33	90	87	90	73	77	17	67
50%	V_{30}	0,3-1,1	2,8-4,2	3,5-6,5	2,6-4,1	6,0-10,5	4,0-6,6	3,4-15,5	4,8-8,8
	P_{V20}	30	97	90	97	77	83	30	77

N – liczba powierzchni próbnych w danym TSL; N – number of sampling plots in a given forest site type, Bśw – mesic dystrophic, BMśw – mesic oligotrophic, BMw – moist oligotrophic, LMśw – mesic mesotrophic, Lśw – mesic eutrophic, LMw – moist mesotrophic, Lw – moist eutrophic, Lwyżśw – upland mesic eutrophic

wartości obliczanej z wszystkich powierzchni. Należy jednak zwrócić uwagę, że są to wartości względne, odnoszone do różnych średnich. Dodatkowo na Bśw i Lw zlokalizowane było najmniej powierzchni próbnych, odpowiednio 64 i 53. Należy również zauważyć, że losowanie założonej liczby powierzchni wykonywano w warstwach gatunkowo-wiekowych. Z tego powodu liczba powierzchni w poszczególnych TSL zależała od losowania i na ogół odbiegała od 10, 20% itd. powierzchni próbnych zlokalizowanych w danym TSL.

W kolejnej analizie za warstwy przyjęto drzewostany należące do poszczególnych TSL. Losując 10% powierzchni próbnych, jednak nie mniej niż 30 powierzchni w poszczególnych TSL, wyniki nieróżniące się więcej niż 20% od średniej liczonej z wszystkich powierzchni uzyskano w każdym z TSL przynajmniej w co czwartym losowaniu (ryc. 4). Najlepszy wynik uzyskano w przypadku BMśw: minimalna liczba powierzchni próbnych dawała w 16 na 30 losowań zadowalający wynik. Na TSL o dużej liczbie powierzchni próbnych (poza Bśw i Lw) 75% zadowalających wyników uzyskano, losując od 16 do 33% powierzchni próbnych. Wartości maksymalne na wykresie wskazują jednak, że w pojedynczych losowaniach liczba powierzchni konieczna do uzyskania zakładanego wyniku sięgała od 46 do 75%. Na siedliskach Lw i Bśw, gdzie początkowa liczba powierzchni próbnych była najmniejsza, osiągnięcie wymaganego wyniku w skrajnych przypadkach wymagało uwzględnienia wszystkich lub niemal wszystkich powierzchni próbnych.

Wariancja cechy głównej, czyli sumy mięszości martwego drewna występującego na powierzchniach próbnych dla analizowanych cech pomocniczych, tj. wieku, gatunku panującego i TSL, charakteryzowała się niewielkim udziałem wariancji międzywarstwowej (Sb^2). Udział wariancji wewnątrzwarstwowej (Sw^2) był we wszystkich przypadkach bardzo wysoki: 95-98%. Dotyczyło to także dwóch analiz przeprowadzonych dla warstw tworzonych na podstawie TSL, przy uwzględnianiu tylko powierzchni próbnych o tym samym polu (0,04 i 0,05 ha).



Ryc. 4.

Procent wylosowanych powierzchni próbnych, przy których średnia miąższość martwego drewna nie różniła się więcej niż 20% od wartości rzeczywistej – 30 losowań dla każdego TSL

Percentage of randomly selected sampling sites for which the calculated mean deadwood volume did not differ from the true value more than 20% – 30 random draws for each type of site

Denotes as in table

Dyskusja

Błędne lub niewystarczające informacje o inwentaryzowanym obiekcie mogą przełożyć się na niewłaściwe decyzje gospodarcze. Określenie liczby powierzchni próbnych koniecznych do osiągnięcia założonej dokładności wyników było więc wielokrotnie podejmowane w odniesieniu do zasobności drzewostanu, przyrostu miąższości czy liczby drzew [Banaś 2004, 2005, 2006]. Badano przy tym zarówno pojedyncze drzewostany, jak i warstwy, a oceniając dokładność oszacowania cechy, bazowano głównie na wartości błędu średniego i współczynnikach zmienności. Jednak rozkład wartości tych zmiennych na powierzchniach próbnych na ogół znacznie różni się od przedstawionego dla zinwentaryzowanego martwego drewna. Dlatego w niniejszej pracy zaproponowano odmienną analizę wyników. Praca zawiera pewne uproszczenia, pozwala jednak wskazać zasadnicze problemy, które występują przy inwentaryzacji martwego drewna.

Ocena zasobów martwego drewna jest trudna ze względu na nierównomierność jego przestrzennego występowania. Na większości powierzchni nie stwierdzono martwego drewna lub stwierdzono je w niewielkiej ilości, co wpływa na uzyskiwane średnie wartości miąższości. Na początkowym etapie losowań obliczana średnia miąższość była w większości przypadków bliska zera. Wylosowanie choć jednej powierzchni z bardzo dużą miąższością martwego drewna znacząco zmieniało średnią. Z kolei wylosowanie kilku takich prób znacznie zawiążyło średnie wartości. Zmniejszenie zróżnicowania wartości na powierzchniach próbnych można by uzyskać między innymi poprzez zwiększenie promienia tych powierzchni. Obniżyłoby to liczbę powierzchni bez martwego drewna, gdyż ich udział był największy wśród powierzchni o wielkości 0,005-0,01 ha. Jednocześnie zwiększenie promienia zmniejszy część bardzo wysokich wartości miąższości uzyskiwanych na powierzchniach próbnych. Dodatkowo zasadne jest włączenie do pomiarów pniaków, stanowiących na części powierzchni jedyne martwe drewno, istotne dla niektórych organizmów saproksylicznych [Hilszczański 2008].

Jednym z zasadniczych problemów inwentaryzacji jest sposób tworzenia warstw. Udział wariacji wewnątrzwarstwowej we wszystkich analizowanych przypadkach był bardzo wysoki, co wskazuje na brak efektywności badanych cech. Duża przypadkowość rozmieszczenia martwego drewna, zależna od czynników losowych, sprawia, że określenie takiej cechy w przypadku siedlisk o zbliżonych możliwościach produkcyjnych będzie bardzo trudne. Wprowadzenie wytycznych dla gospodarowania martwym drewnem może zmienić jego rozmieszczenie przestrzenne, a tym samym warunki, w których projektuje się inwentaryzację. Obecnie jednak, mimo niepotwierdzenia przydatności wymienionych cech do warstwowania, należy zwrócić uwagę na uzy-

skiwane średnie wartości miąższości w warstwach, głównie w zależności od TSL. Porównanie ilości martwego drewna na poszczególnych TSL wykazało duże różnice [Bujoczek i in. 2016]. Podobne zależności przedstawiono w pracy Skwarka i Bijaka [2015]. Wybór grupowania według TSL można uzasadnić także praktycznie, gdyż populacje saproksylicznych organizmów występują często w określonych warunkach siedliskowych. Nie zawsze potwierdzany brak zależności pomiędzy ilością martwego drewna a gatunkiem panującym i jego wiekiem w wydzieleniu daje podstawy do stosowania w praktyce, a użytych w pracy Skwarka i Bijaka [2015], warstw siedliskowo-gatunkowo-wiekowych. Uzasadniają to również badania Drozda [2016], wskazujące na potrzebę wprowadzenia takiego podejścia w inwentaryzacji zasobów drzewnych obrębu. Niewątpliwie należy jednak rozdzielić w sporządzanych zestawieniach obszary, które na ogół posiadają zdecydowanie więcej martwego drewna – w niniejszej pracy są to gospodarstwa specjalne. Należy też pamiętać, że ilość martwego drewna zależy głównie od prowadzącego gospodarstwo na danym terenie, co w poszczególnych przypadkach może mieć decydujące znaczenie.

Określenie efektywności cech do warstwowania przy inwentaryzacji martwego drewna wymaga więc dalszych badań. Należy jednak wziąć pod uwagę, że przedstawiony w pracy udział wariancji wewnątrzwarstwowej może ulec obniżeniu przy zaprojektowaniu badań opierających się na większych powierzchniach próbnych niż 0,005-0,05 ha. Różnice w miąższości martwego drewna pomiędzy poszczególnymi powierzchniami próbnymi w warstwach mogą się zmniejszać, co pozwoli lepiej poznać efektywność cech pomocniczych. Przy bardzo nierównomiernym rozmieszczeniu drewna w lesie, stosując niewielkie powierzchnie próbne, uzyskujemy na nich bardzo często wartości dalece odbiegające od średniej.

Odpowiednia liczba powierzchni wydaje się obecnie najistotniejszym elementem prowadzenia inwentaryzacji martwego drewna. Dla zmniejszenia pracochłonności można rozważyć wprowadzenie innych sposobów pomiarów. Szczególnie chodzi tu o pomiar leżaniny, który jest znacznie bardziej czasochłonny niż drewna stojącego. Prace w Świętokrzyskim Parku Narodowym dały porównywalne wyniki przy stosowaniu dwóch niezależnych metod: pomiarów na powierzchniach kołowych i metodą linii siecznych [Figarski i in. 2014]. Potwierdzają to w swoich badaniach Ritter i Saborowski [2014], wskazując jednocześnie na znaczne różnice w czasochłonności tych metod, w niektórych przypadkach kilkukrotne na korzyść metody linii siecznych. Trzy- lub czterokrotne zwiększenie liczby powierzchni próbnych poprawiłoby więc dokładność wyników, niekoniecznie zwiększając ilość czasu poświęcanego na pomiary, w porównaniu z pracami wykonywanymi zgodnie z obowiązującą IUL.

Wyniki badań wskazują, że uzasadniona jest alokacja nieproporcjonalnie do udziału poszczególnych TSL w powierzchni siedlisk nadleśnictwa. Należy zwiększać liczbę prób na siedliskach o największej miąższości martwego drewna, czyli żyznych i wilgotnych, w szczególności, jeżeli ich udział jest niewielki. Przy obecnym sposobie losowania, na siedliskach w niewielkim stopniu reprezentowanych w nadleśnictwie, wyniki opierają się na małej liczbie powierzchni próbnych i mogą znacznie odbiegać od rzeczywistości. Z części powierzchni próbnych, zlokalizowanych w TSL najbardziej rozpowszechnionych, można zrezygnować. W przypadku inwentaryzacji martwego drewna również lokowanie większej liczby powierzchni próbnych w drzewostanach starszych klas wieku nie jest zasadne. Ma to obecnie miejsce przy ocenie zapasu w obrębie [Jabłoński 2010]. Priorytety tych pomiarów są inne. Przykładem są wydzielenia o wieku gatunku panującego poniżej 21 lat. W inwentaryzacji martwego drewna nie powinny być pomijane, gdyż występują tam często pniaki i pozostałości zrębowe o znacznej miąższości. W przypadku martwego drewna także stosowanie zmiennej wielkości powierzchni próbnej w zależności od wieku drzewostanu nie jest uzasadnione.

Wnioski

- ✦ Alokacja powierzchni do inwentaryzacji martwego drewna powinna uwzględniać TSL. W ramach każdego TSL alokacja może natomiast być wykonana proporcjonalnie do udziałów poszczególnych warstw gatunkowo-wiekowych. Nie jest obecnie uzasadniona większa liczba powierzchni próbnych w drzewostanach starszych, a znacznie mniejsza w młodszych. Pomiarami powinno się objąć także wydzielienia, w których wiek gatunku panującego jest niższy niż 21 lat.
- ✦ Za zasadne należy uznać ujednoczenie wielkości powierzchni próbnych i włączenie do inwentaryzacji pomiaru pniaków.
- ✦ Przy zastosowaniu 10% powierzchni próbnych wyniki mogą w pojedynczych przypadkach odbiegać znacznie od rzeczywistych. Zasadniczym problemem bowiem jest nierównomierne przestrzenne rozmieszczenie martwego drewna.
- ✦ Nie należy łączyć w zestawieniach gospodarstw specjalnych z pozostałymi, ze względu na duże różnice w miąższości martwego drewna pomiędzy tymi obszarami.
- ✦ Przy stosowaniu niewielkiej liczby powierzchni próbnych uzasadnione jest ograniczenie zestawień martwego drewna do podawanych dla całego nadleśnictwa. Osiągnięcie zadowalających wyników dla TSL w nadleśnictwie wymaga już znacznie większego nakładu pracy. Sugerowane 3-4-krotne zwiększenie liczby powierzchni próbnych nie musi jednak przy zmianie metody pomiarów leżaniny oznaczać wydłużenia czasu poświęcanego na inwentaryzację martwego drewna.
- ✦ Zwiększenie liczebności próby w stosunku do obowiązującej w IUL wydaje się podstawowym warunkiem poprawy dokładności szacowania zasobów martwego drewna.

Podziękowania

Serdecznie dziękujemy Pani Prof. Krystynie Przybylskiej za uwagi wniesione do tekstu oraz Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Katowicach za udostępnienie danych do niniejszej pracy.

Literatura

- Banaś J. 2004. Zmienność sumy miąższości drzew na powierzchniach próbnych w różnowiekowych lasach górskich. *Acta Scientiarum Polonorum. Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria* 3 (2): 5-11.
- Banaś J. 2005. Zastosowanie stratyfikacji w inwentaryzacji lasów różnowiekowych. *Sylvan* 149 (12): 30-36.
- Banaś J. 2006. Influence of number of control sample plots on the accuracy of statistical-mathematical system of inventory. *Acta Scientiarum Polonorum. Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria* 5 (1): 5-12.
- Banaś J., Bujoczek L., Zięba S., Drozd M. 2014. The effects of different types of management, functions, and characteristics of stands in Polish forests on the amount of coarse woody debris. *European Journal of Forest Research* 133: 1095-1107.
- Bruchwald A., Wójcik R., Zajączkowski S. 2003. Analiza dokładności obrębowej metody inwentaryzacji lasu opartej na losowaniu warstwowym. *Sylvan* 147 (5): 13-20.
- Bujoczek L., Zięba S., Banaś J. 2016. Ocena zasobów martwego drewna w lasach gospodarczych z uwzględnieniem typów siedliskowych lasu oraz bonitacji gatunku panującego. *Sylvan* 160 (4): 320-327.
- Czerepko J. 2008. Stan różnorodności biologicznej lasów w Polsce na podstawie powierzchni obserwacyjnych monitoringu. Synteza wyników uzyskanych w ramach realizacji projektu BioSoil Forest Biodiversity. IBL, Sękocin Stary.
- Czuraj M. 1990. Tablice miąższości kłód odziomkowych i drzew stojących. PWRiL, Warszawa.
- Drozd M. 2016. Optymalizacja metod inwentaryzacji lasu z zastosowaniem stratyfikacji drzewostanów na przykładzie Kotliny Kłodzkiej. Praca doktorska. Wydział Leśny, Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie.
- Figarski T., Buchholz L., Szczygielski M. 2014. Struktura zasobów drewna martwych drzew w Świętokrzyskim Parku Narodowym i jego znaczenie dla zachowania populacji wybranych gatunków chrząszczy saproksylobiontycznych. *Studia i Materiały CEPL* 41: 258-272.

- Hilszczański J. 2008. Kora zamarłych świerków jako miejsce zimowania owadzi drapieżników związanych z kambio- i ksylofagami. *Leś. Pr. Bad.* 69 (1): 15-19.
- Holzwarth F., Kahl A., Bauhus J., Wirth C. 2013. Many ways to die – partitioning tree mortality dynamics in a near-natural mixed deciduous forest. *Journal of Ecology* 101: 220-230.
- Instrukcja zarządzania lasu. 2012. Część I i II. CILP, Warszawa.
- Jabłoński M. 2010. Warstwowanie drzewostanów w statystycznej metodzie reprezentacyjnej pomiaru miąższości obrębu leśnego – praktyczna realizacja założeń. *Sylvan* 154 (6): 397-404.
- Lombardi F., Lasserre B., Tognetti R., Marchetti M. 2008. Deadwood in relation to stand management and forest type in Central Apennines (Molise, Italy). *Ecosystem* 11: 882-894.
- Moroni M. T., Ryan D. A. J. 2010. Deadwood abundance in recently harvested and old Nova Scotia hardwood forests. *Forestry* 83 (2): 219-227.
- Ritter T., Saborowski J. 2014. Efficient integration of a deadwood inventory into an existing forest inventory carried out as two-phase sampling for stratification. *Forestry* 87: 571-581.
- Skwarek K., Bijak S. 2015. Resources of dead wood in the municipal forests in Warsaw. *Forest Research Papers* 76 (4): 322-330.
- Sturtevant B. R., Bissonette J. A., Long J. N., Roberts D. W. 1997. Coarse woody debris as a function of age, stand structure, and disturbance in Boreal Newfoundland. *Ecological Applications* 7 (2): 702-712.