

**ARKADIUSZ BRUCHWALD, STANISŁAW MIŚCICKI, ELŻBIETA DMYTERKO,
KRZYSZTOF STEREŃCZAK**

Ocena dokładności obrębowej metody inwentaryzacji lasu opartej na losowaniu warstwowym*

Assessment of the accuracy of the forest district inventory method based on the stratified sampling

ABSTRACT

Bruchwald A., Miścicki S., Dmyterko E., Stereńczak K. 2017. Ocena dokładności obrębowej metody inwentaryzacji lasu opartej na losowaniu warstwowym. Sylwan 161 (11): 909-916.

The aim of the research was to assess the accuracy of the stratified sampling method used to estimate the standing volume of a forest district and to compare it with the accuracy of simple random sampling methods. The paper presents the variability of the variables affecting the accuracy of the stratified sampling method. We attempted to find the ways to increase this accuracy. The research was based on the empirical material collected on approximately 42,000 sample plots with a size of 50-500 m², and with an average of 737 plots per forest district. The standard deviation of the merchantable volume of trees on sample plots ranged from 87 to 213 m³/ha, with an average of 128 m³/ha. The coefficient of variation ranged from 5.3 to 28.5% (the average 40.8%). Using a simple random sampling method, the standard error of the volume ranged from 3.3 to 10.0 m³/ha (the average 4.8 m³/ha) and the relative error – from 1.01 to 3.41% (the average 1.55%). The absolute error of the stratified sampling method under which strata are formed on the basis of the main tree species and its age ranged from 2.9 to 7.4 m³/ha, the average 4.2 m³/ha, and the relative error ranged from 0.65 to 1.95%, 1.02% on average (tab.). The accuracy of the stratified sampling method was by 15% higher than that of the simple random sampling method. We found that the relationship between the volume of a sample plot and the main tree species and its age measured by the correlation coefficient was 0.453 on average. For the relationship between volume and age of stands this coefficient was on average 0.422, while between volume and main tree species – only 0.118. Stand age – as an auxiliary variable in formation of strata – proved to be of moderate usefulness resulting from a small difference in the standing volume of stands in older age classes. Main tree species turned out to be of slight usefulness in formation of strata, therefore it seems reasonable to find some other auxiliary variables to replace it.

KEY WORDS

auxiliary variable, dominant tree species, sample allocation, stratum

ADDRESSES

Arkadiusz Bruchwald ⁽¹⁾ – e-mail: A.Bruchwald@ibles.waw.pl

Stanisław Miścicki ⁽²⁾ – e-mail: stanislaw_miscicki@sggw.pl

Elżbieta Dmyterko ⁽¹⁾ – e-mail: E.Dmyterko@ibles.waw.pl

Krzysztof Stereńczak ⁽¹⁾ – e-mail: K.Stereńczak@ibles.waw.pl

*Publikacja powstała w ramach projektu REMBIOFOR „Teledetekcyjne określanie biomasy drzewnej i zasobów węgla w lasach” współfinansowanego ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu „Środowisko naturalne, rolnictwo i leśnictwo” BIOSTRATEG na podstawie umowy nr BIOSTRATEG1/267755/4/NCBR/2015.

⁽¹⁾ Zakład Zarządzania Zasobami Leśnymi, Instytut Badawczy Leśnictwa; Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn

⁽²⁾ Katedra Urządzania Lasu i Ekonomiki Leśnictwa, SGGW w Warszawie; ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

Wstęp

Pomiar z użyciem metody reprezentacyjnej z warstwowym losowaniem prób został teoretycznie opracowany przez Neymana [1934]. Stosunkowo szybko włączono go do koncepcji inwentaryzacji lasu, ponieważ w podręcznikach Spurra [1952] oraz Loetscha i Hallera [1964] omówiono przykłady jego zastosowania, jak i uzyskane efekty. Oprócz klasycznej postaci metody wprowadzono jej odmiany, np. z tworzeniem warstw na podstawie zdjęć lotniczych i z jedną naziemną próbą (powierzchnią próbną) przydzielaną do każdej z warstw. Takie rozwiązanie zastosowano w wielkoobszarowej inwentaryzacji lasów Laponii [Poso, Kujala 1978].

Köhl i in. [2006] podali cztery powody popularności metody losowania warstwowego w inwentaryzacji lasu. Wiąże się ona z możliwością: (1) oszacowania wartości średniej mierzonej cechy nie tylko dla całej badanej populacji, ale i dla poszczególnych warstw, (2) zróżnicowania oczekiwanej (i uzyskiwanej) dokładności dla poszczególnych warstw, (3) zróżnicowania kosztów pomiarów i/lub zestawu cech mierzonych w warstwach oraz (4) stosowania różnych sposobów losowania prób i przeprowadzenia pomiarów w warstwach.

W Polsce, po pierwszych próbach stosowania losowania warstwowego [Rosa 1975, 1978], zostało ono wykorzystane dla potrzeb sporządzenia eksperymentalnego planu urządzenia lasu [Rosa i in. 1981]. Zastosowanie złożonych i ostrych kryteriów tworzenia warstw prowadziło do ich zróżnicowania pod względem powierzchni, co było główną wadą metody. W innych badaniach dostrzegano problem pojawiania się warstw złożonych tylko z jednego drzewostanu [Stępień, Borecki 1986; Stępień, Wieczorek 1990; Borecki, Stępień 1994].

Losowanie warstwowe, jako jedną z alternatywnych metod inwentaryzacji miąższości, próbowano wprowadzić do polskiego urządzania lasu w ramach Instrukcji urządzania lasu [1994]. Zapewne z powodu zaproponowanych ostrych kryteriów tworzenia warstw – w następstwie czego było ich wiele – ten sposób losowania nie znalazł wówczas uznania i nie był szerzej wykorzystywany. Po okresie prób [Bruchwald 2000a, b; Bruchwald, Zajączkowski 2002a, b; Bruchwald i in. 2003] w kolejnej Instrukcji urządzania lasu [2003] przygotowano koncepcję powszechnego stosowania losowania warstwowego w pracach urządzeniowych. Jej wyróżnikami są:

- obręb jako obiekt pomiaru, obejmujący zwykle dużą część drzewostanów nadleśnictwa,
- warstwa stanowiąca grupę drzewostanów o tym samym gatunku głównym i zbliżonym wieku,
- wykorzystanie wcześniej przeprowadzonych pomiarów geodezyjnych do ustalania powierzchni warstw,
- ustalanie wielkości próby według wzoru, którego zmiennymi są powierzchnia obrębu i drzewostanów o zróżnicowanej strukturze gatunkowej, pionowej i wiekowej,
- wykorzystanie programu komputerowego do alokacji prób w warstwach, z wykorzystaniem map numerycznych nadleśnictwa,
- położone w warstwach powierzchnie próbne o zróżnicowanej wielkości, powiązanej z wiekiem drzewostanów warstwy,
- zmierzone pierśnice wszystkich drzew na powierzchni próbnej i wysokości niektórych drzew wybieranych zgodnie z ustalonym schematem,

- zastosowanie stałych krzywych wysokości do określenia wysokości każdego pomierzonego drzewa na powierzchniach próbnych,
- zastosowanie wzorów empirycznych do określania liczby kształtu i miąższości poszczególnych drzew,
- wykorzystanie wielkości powierzchni próbnych i powierzchni warstw do określenia miąższości drzew, powierzchni próbnych, warstw i obrębu.

Celem pracy była ocena dokładności metody losowania warstwowego zastosowana do określania miąższości obrębu i jej porównanie z dokładnością uzyskaną dla metody losowania prostego.

Materiał i metody

Badania oparto na materiale empirycznym zebrany przez służby urządzania lasu w 57 obrębach położonych w 32 nadleśnictwach na około 42 tys. powierzchni próbnych. W niektórych nadleśnictwach ograniczono pomiary do jednego obrębu, w innych uwzględniono wszystkie obręby nadleśnictwa (2-3). Większość obrębów (53) zinwentaryzowano w 2015 roku, a nieliczne – w 2014. Liczba powierzchni próbnych zmierzonych w obrębie wahała się od 325 do 1177 i średnio wynosiła 737. Obliczona na podstawie tych powierzchni miąższość obrębu kształtowała się od 228 do 379 m³/ha i średnio wynosiła 315 m³/ha.

Wielkość powierzchni próbnych wahała się od 50 m² w warstwie drzewostanów najmłodszych (nieliczne powierzchnie) do 500 m² w warstwie drzewostanów najstarszych. Granice powierzchni próbnych o określonym promieniu ustalano z wykorzystaniem dalmierza ultradźwiękowego. Na powierzchniach próbnych pomierzono pierśnice drzew o wartości co najmniej 7,0 cm. Wyniki pomiarów zaokrąglone do 1 mm zapisywano wraz z nazwą gatunku drzewa na nośnikach elektronicznych. Pomiary wysokości wykonano dla dwóch drzew gatunku głównego i po jednym drzewie dla każdego z gatunków domieszkowych. Wykorzystano wysokościomierz HAGLOF VERTEX.

Zgodnie z teorią metody reprezentacyjnej przyjęto następujące ustalenia [Zasępa 1972; Bracha 1996]:

- populacją jest zbiór drzewostanów obrębu, których wiek gatunku głównego przekracza 20 lat, a więc z pominięciem drzewostanów I klasy wieku,
- jednostką statystyczną jest powierzchnia próbna,
- cechą będącą zmienną zależną (główną) jest przeliczona na 1 ha miąższość grubizny drzew określona dla powierzchni próbnej,
- cechami pomocniczymi (zmiennymi niezależnymi zastosowanymi do wyodrębnienia warstw) są gatunek główny i jego wiek.

Dla każdej warstwy obliczono wariancję, odchylenie standardowe i współczynnik zmienności cechy głównej, co pozwoliło obliczyć błąd absolutny miąższości (s) każdej warstwy z wzoru:

$$s = \frac{Od}{\sqrt{n}} \quad [1]$$

gdzie:

- Od – odchylenie standardowe dla warstwy,
- n – liczba powierzchni próbnych w warstwie.

Błąd miąższości obrębu z zastosowaniem losowania warstwowego obliczono wzorem:

$$Bw = \sqrt{\frac{\sum a_i^2 \cdot s_i^2}{\sum a_i^2}}, i=1, 2, \dots, k \quad [2]$$

gdzie:

Bw – błąd absolutny miąższości obrębu,

a_i – powierzchnia warstwy i ,

s_i^2 – wariancja miąższości warstwy i ,

k – liczba warstw.

Inną metodą inwentaryzacji lasu jest metoda oparta na losowaniu prostym. Losowaniem objęte są wszystkie miejsca obrębu, a w przypadku wykorzystania map numerycznych wylosowane współrzędne geograficzne tych miejsc. Błąd metody losowania prostego określa się wzorem 1, w którym odchylenie standardowe (Od) dotyczy zmienności sumarycznej miąższości drzew na powierzchniach próbnych całego obrębu, a liczba powierzchni próbnych (n) również całego obrębu. Metoda inwentaryzacji lasu oparta na losowaniu prostym nie jest stosowana w praktyce leśnictwa, jest jednak ważna w przypadku przeprowadzania analizy porównawczej różnych metod inwentaryzacji lasu.

Warunkiem większej dokładności metody losowania warstwowego w porównaniu z dokładnością metody losowania prostego jest wystąpienie związku między cechą główną i cechą lub cechami pomocniczymi, na podstawie których tworzone są warstwy. W stosowanej w praktyce metodzie losowania warstwowego jest to gatunek główny i wiek drzewostanu. Dla gatunku drzewa utworzono zmienną losową, przyporządkowując gatunkowi określoną wartość, według malejących możliwości produkcyjnych: topola lub osika – 1, dąb – 2, jodła – 3, świerk – 4, sosna – 5, modrzew – 6, dąb – 7, buk – 8, jesion – 9, jawor – 10, olsza – 11, brzoza – 12, lipa – 13, wierzba – 14, grab – 15, a pozostałe gatunki drzew – 16. Oceniono także dokładność metody inwentaryzacji lasu opartej na losowaniu warstwowym, w której warstwy były tworzone wyłącznie na podstawie wieku gatunku głównego drzewostanu. Każda z warstw wiekowych charakteryzowała się dostatecznie dużą liczbą powierzchni próbnych, największą w V i IIIb klasie (podklasie) wieku (tab.).

Wyniki

Odchylenie standardowe miąższości grubizny drzew na powierzchniach próbnych wynosiło w poszczególnych obrębach od 87 do 213 m³/ha, średnio 128 m³/ha. Miary te i wartości średnie pozwoliły na określenie współczynnika zmienności miąższości, który wahał się od 28,5 do 65,3% – średnio wynosił 40,8%.

Stosując metodę losowania prostego, przyjmując taką liczbę powierzchni próbnych jak w poszczególnych obrębach, uzyskano absolutny błąd standardowy miąższości – wahający się od 3,3 do 10,0 m³/ha, średnio wynoszący 4,8 m³/ha. Odpowiada to błędowi procentowemu od 1,01 do 3,41%, średnio 1,56%. Metoda losowania warstwowego, w której warstwy utworzono na podstawie gatunku głównego i jego wieku, była dokładniejsza od metody losowania prostego. Błąd absolutny tej metody wahał się od 2,9 do 7,4 m³/ha, średnio wynosił 4,2 m³/ha, a błąd procentowy od 0,65 do 1,95%, średnio 1,02% (tab.). Metoda losowania warstwowego była więc o około 15% dokładniejsza od metody losowania prostego.

Mierzona współczynnikiem korelacji moc związku między miąższością grubizny drzew na powierzchni próbnej a gatunkiem drzewa i jego wiekiem wahała się dla poszczególnych obrębów od 0,287 do 0,631, średnio wynosiła 0,453. Był to związek dość słaby, w nielicznych przypadkach średniej mocy. Słabszy okazał się związek między miąższością drzew na powierzchniach próbnych i wiekiem drzewostanu – współczynnik korelacji wahał się od 0,195 do 0,592, średnia wyniosła 0,422. Najczęściej nieistotnym związkiem charakteryzowało się powiązanie miąższości drzew z gatunkiem głównym drzewostanu. Jego wartości wynosiły od 0,006 do 0,343, średnia 0,118.

Tabela.

Średnia liczba prób w warstwie (N), średnia i odchylenie standardowe (odpowiednio M_V i SD_V [m^3/ha]), współczynnik zmienności (CV_V [%]) miąższości warstwy oraz absolutny (α [m^3/ha]) i procentowy wtórny (p [%]) błąd oszacowania miąższości danej klasy wieku (KLW) w metodzie określania miąższości opartej na losowaniu warstwowym

Average number of samples per stratum (N), mean and standard deviation (M_V and SD_V [m^3/ha], respectively), and coefficient of variation (CV_V [%]) volume of the strata as well as absolute (α [m^3/ha]) and relative (p [%]) error of the volume estimation for a given age class (KLW) in the volume estimation method based on stratified stratified sampling

KLW	N	M_V	SD_V	CV_V	α	p
IIa	28	135	71	55,0	14,5	4,6
IIb	40	195	90	47,3	15,4	4,9
IIIa	67	257	98	38,4	12,9	4,1
IIIb	108	291	110	37,8	11,7	3,8
IVa	94	313	109	35,2	11,9	3,9
IVb	74	323	113	35,4	13,7	4,4
V	180	352	112	32,1	8,8	2,8
VI	94	372	121	32,8	13,7	4,4
VII...	51	388	151	39,0	27,7	9,0
Razem Total	737	315	113	35,7	4,24	1,02

Współczynnik determinacji, wskazujący na część zmienności wynikającą z powiązania cech, dla zależności między miąższością drzew na powierzchniach próbnych i gatunkiem panującym wynosił średnio dla obrębów 2,8%, a więc był bardzo mały. Powiązanie miąższości drzew z wiekiem drzewostanu wyjaśniło 17,8% zmienności cechy głównej, a przy uwzględnieniu dodatkowo gatunku głównego 20,6% zmienności miąższości drzew na powierzchniach próbnych.

Metodą losowania warstwowego uzyskano dla warstw wiekowych średnio dla obrębów błędy miąższości drzew wahające się od 9,0 do 2,8% (tab.). Najmniejszy błąd otrzymano dla drzewostanów V klasy wieku, co wynikało z dużej liczby prób założonych w tej klasie. Duży błąd dla drzewostanów w wieku powyżej 120 lat powstał z powodu wysokiej zmienności miąższości powierzchni próbnych i stosunkowo małej liczby powierzchni próbnych w tej klasie wieku. W poszczególnych obrębach błędy miąższości drzew dla niektórych warstw wiekowych przekraczały 10%.

Dyskusja

Do trudności związanych ze stosowaniem metody pomiaru obiektu opartej na losowaniu warstwowym zalicza się konieczność dokładnego poznania rozmiarów warstw (najczęściej ich powierzchni), niejednoznaczność tworzenia warstw (gdy w inwentaryzacji mierzy się wiele nieskorelowanych ze sobą cech) oraz ograniczenie się do proporcjonalnego wyboru alokacji prób, gdy są one powtarzane dla potrzeb inwentaryzacji permanentnej [Köhl i in. 2006]. Jednak za najczęstszy problem można uznać dobór cech pomocniczych tak, aby zmienność wewnątrzwarstwowa cechy głównej była jak najmniejsza, a jednocześnie liczba warstw nie zwiększała się. To zmniejszenie zmienności przyczynia się do redukcji liczby prób koniecznej do uzyskania założonej dokładności pomiarów na poziomie całej badanej populacji, a w związku z tym do redukcji kosztów pomiarów.

Według Cochra [1977] najlepsze byłoby ustalenie warstw na podstawie wartości cechy zależnej, co jest często niemożliwe ze względów praktycznych. Pośrednim rozwiązaniem może

być wykorzystanie oszacowania miąższości w płatach lasu na podstawie opracowań teledetekcyjnych [Kilpeläinen, Tokola 1999]. Przy ustalaniu liczby cech pomocniczych wykorzystywanych do tworzenia warstw spotykamy się z problemem, że jedna cecha nie wystarcza, ponieważ trudno znaleźć cechę silnie związaną z miąższością. W przypadku stosowania trzech (lub więcej) cech pomocniczych tworzy się dużo warstw, a przez to może powstać konieczność pomiaru dużej liczby prób, nieuzasadniona potrzebami praktycznymi.

W niniejszych badaniach w podziale populacji na warstwy uwzględniono dwie cechy – wiek (grupę wiekową) i gatunek panujący drzewostanu. Są one stosowane w inwentaryzacji dla potrzeb urządzania lasu w Polsce. Wyniki pokazały, że – w odniesieniu do dokładności oszacowania miąższości obrębu leśnego – metoda losowania warstwowego była przeciętnie o 15% bardziej efektywna niż losowania prostego. Oznacza to, że dla uzyskania takiej samej wartości błędu standardowego można było w metodzie losowania warstwowego zmierzyć w obrębie leśnym przeciętnie o 32% mniej powierzchni próbnych. Wiek drzewostanu – jako cecha pomocnicza przy tworzeniu warstw – okazał się średnio przydatny. Przyczynę tego można objaśnić, wykorzystując dane dotyczące przeciętnej miąższości w klasach wieku w badanych obrębach. Drzewostany w wieku powyżej 40-50 lat były zbliżone pod względem miąższości, a drzewostany młodsze znacząco się różniły. Za mało przydatną uznano cechę „gatunek panujący”. Jej uwzględnienie tylko w niewielkim stopniu powodowało zwiększenie dokładności oszacowania miąższości obrębu leśnego. Z tego powodu powinno się zrezygnować z tej cechy, a zamiast niej zastosować – po odpowiednich badaniach – inną. Przykładowo propozycję wykorzystania informacji o typie siedliskowym lasu podali Zasada [2007] i Drozd [2016].

Alokacja prób do poszczególnych warstw odbywała się w niniejszych badaniach na podstawie iloczynu wieku drzew i powierzchni warstwy. Wyniki badań Bruchwalda i in. [2003] wskazały, że przy takiej alokacji prób dokładność oszacowania miąższości obrębu leśnego była niewiele mniejsza niż przy zastosowaniu alokacji optymalnej Neymana. Ten rezultat nie został jednak potwierdzony w badaniach Zasady [2007], w których większą dokładnością odznaczały się alokacje proporcjonalna i optymalna Neymana. Praktyczną trudnością przy stosowaniu tej ostatniej alokacji jest konieczność posiadania wcześniejszej informacji o zmienności sumy miąższości drzew na powierzchniach próbnych w poszczególnych warstwach. Jednak przy powtarzanych inwentaryzacjach – a ma to miejsce w przypadku prac urzędniowych – można spodziewać się, że w danej warstwie zmienność badanej cechy będzie zbliżona do zmienności cechy z poprzednich pomiarów. Innym ograniczeniem w stosowaniu optymalnej alokacji Neymana może być potrzeba uzyskania odpowiedniej i wcześniej określonej dokładności oszacowania miąższości danych warstw. Z powodów praktycznych przyjmuje się, że im większe znaczenie danej warstwy w regulacji urzędniowej, tym większa powinna być dokładność oszacowania jej miąższości. Wynika stąd, że miąższość warstw wyższych klas wieku powinna być określona z większą dokładnością.

Wyniki niniejszych badań wskazały, że przeciętnie w warstwie współczynnik zmienności sumy miąższości drzew na powierzchniach próbnych wynosił 36%. Zbliżone wartości cechowały warstwy, których wiek drzewostanów był większy niż 40 lat. Znacząco większy był współczynnik zmienności badanej cechy w drzewostanach IIb, a zwłaszcza IIa podklasy wieku. Aby współczynnik zmienności sumy miąższości drzew na powierzchniach próbnych wyniósł około 36%, należałoby w warstwach drzewostanów w wieku 21-30 lat zakładać powierzchnie próbne wielkości 100-125 m² (zamiast 50 m²), a w drzewostanach w wieku 31-40 lat wielkości 175-200 m² (zamiast 100 m²). Powinny być one zatem dwa razy większe od stosowanych dotychczas. Zwiększenie wielkości powierzchni próbnych w drzewostanach tych klas wieku ma znaczenie ze względu na zredukowanie mikrozmierzalności sumy miąższości drzew na powierzchni prób-

nej, występującego w przypadku niewielkich prób [Bruchwald 1972]. Ograniczenie mikro zróżnicowania spowoduje znaczące zmniejszenie wartości współczynnika zmienności. W rezultacie, przy stosowaniu tej samej liczby powierzchni próbnych (wprawdzie większych), może to przyczynić się do zwiększenia dokładności pomiaru miąższości nie tylko najmłodszych drzewostanów, ale także całego obrębu leśnego.

Wnioski

- ✦ Stosowana w Polsce metoda inwentaryzacji miąższości drzewostanu oparta jest na losowaniu warstwowym, w którym warstwy tworzy się na podstawie wieku i gatunku głównego drzewostanu. Z miąższością drzewostanu niezbyt silnie powiązany jest jego wiek, natomiast gatunek główny bardzo słabo. Z tej ostatniej cechy można więc zrezygnować przy tworzeniu warstw, co motywuje do poszukiwania nowej cechy, wpływającej na zwiększenie dokładności metody.
- ✦ Rezygnacja z warstwy utworzonej na podstawie gatunku głównego stwarza potrzebę poszukiwania nowej metody określania struktury gatunkowej obiektu leśnego (obrębu lub nadleśnictwa). Wymaga to przeprowadzenia analizy porównawczej metod opartych na inwentaryzacji i taksacji lasu.
- ✦ Dokładność metody inwentaryzacji miąższości drzewostanu zależy nie tylko od doboru cech tworzących warstwy, ale również od sposobu ustalania liczebności próby dla poszczególnych warstw. Ważnym problemem jest zatem poznanie zmienności miąższości drzew na powierzchniach próbnych dla poszczególnych warstw i na podstawie takiej miary (np. wariancji) ustalenie liczebności próby.
- ✦ Dokładność metody inwentaryzacji miąższości drzewostanu zależy również od wielkości powierzchni próbnej. Unikając należy zwłaszcza powierzchni zbyt małych, ze względu na możliwość wystąpienia mikro zróżnicowania sumy miąższości drzew na powierzchniach próbnych, a więc zmniejszenia dokładności metody inwentaryzacji lasu.

Literatura

- Borecki T., Stępień E. 1994. Badanie przydatności stratyfikacji w inwentaryzacji lasu. Sylwan 138 (7): 5-20.
- Bracha C. 1996. Teoretyczne podstawy metody reprezentacyjnej. PWN, Warszawa.
- Bruchwald A. 1972. Badanie dokładności określania pierścicowej powierzchni przekroju drzewostanu na podstawie powierzchni próbnych w drzewostanach sosnowych. Sylwan 116 (4): 55-72.
- Bruchwald A. 2000a. Wielkopowierzchniowa metoda określania miąższości obiektu leśnego oparta na losowaniu warstwowym. Sylwan 144 (3): 5-17.
- Bruchwald A. 2000b. Weryfikacja wielkopowierzchniowej metody określania miąższości obiektu leśnego opartej na losowaniu warstwowym. Sylwan 144 (6): 5-14.
- Bruchwald A., Wójcik R., Zajączkowski S. 2003. Analiza dokładności obrębowej metody inwentaryzacji lasu opartej na losowaniu warstwowym. Sylwan 147 (5): 13-20.
- Bruchwald A., Zajączkowski S. 2002a. Obrębowa metoda inwentaryzacji lasu oparta na losowaniu warstwowym. Sylwan 146 (10): 13-23.
- Bruchwald A., Zajączkowski S. 2002b. Analiza porównawcza różnych sposobów inwentaryzacji lasu. Sylwan 146 (11): 5-13.
- Cochran W. G. 1977. Sampling techniques. 3rd Ed. John Wiley & Sons, New York.
- Drozd M. 2016. Optymalizacja metod inwentaryzacji lasu z zastosowaniem stratyfikacji drzewostanów na przykładzie Kotliny Kłodzkiej. Praca doktorska. Wydział Leśny, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie.
- Instrukcja urządzania lasu. 1994. MOŚZNiL, DGLP, Warszawa.
- Instrukcja urządzania lasu. 2003. Państwowe Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe, Warszawa.
- Kilpeläinen P., Tokola T. 1999. Gain to be achieved from stand lineation in Landsat TM image-based estimates of stand volume. Forest Ecology and Management 124: 105-111.
- Köhl M., Magnussen S. S., Marchetti M. 2006. Sampling methods, remote sensing and GIS multisource forest inventory. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Loetsch F., Haller K. E. 1964. Forest inventory: statistics of forest inventory and information from aerial photographs. Volume 1. BLV Verlagsgesellschaft, München.

- Neyman J. 1934. On the two different aspects of the representative method: the method of stratified sampling and method of purposive selection. *Journal of the Royal Statistical Society* 97: 558-606.
- Poso S., Kujala M. 1978. A method for national forest inventory in northern Finland. *Communicationes Instituti Forestalis Fennicae* 93 (1).
- Rosa W. 1975. Ocena przydatności zmodyfikowanej statystycznej metody taksacji dla celów urządzania lasu na przykładzie wybranego obiektu leśnego. *Zesz. Nauk. SGGW-AR, Leśn.* 21: 9-30.
- Rosa W. 1978. Statystyczna taksacja małego obiektu leśnego przy różnym sposobie pobierania próby. *Zesz. Nauk. SGGW-AR, Leśn.* 26: 93-104.
- Rosa W., Stępień E., Zielony R. 1981. Zastosowanie statystycznej metody taksacji lasu dla potrzeb okresowego urządzania gospodarstwa leśnego w Leśnym Zakładzie Doświadczalnym w Rogowie. *Sylvan* 125 (7-9): 59-68.
- Spurr S. H. 1952. *Forest inventory*. The Ronald Press Company, New York, USA.
- Stępień E., Borecki T. 1986. Badanie przydatności stratyfikacji drzewostanów dla potrzeb okresowej inwentaryzacji lasu (na przykładzie obrębu Jedwabna, Nadl. Włocławek). *Sylvan* 130 (8): 29-39.
- Stępień E., Wieczorek K. 1990. Efekty zastosowania ponadobróbowej stratyfikacji drzewostanów dla potrzeb regulacji użytkowania rębego. *Sylvan* 134 (2): 23-32.
- Zasada M. 2007. Zastosowanie modeli wzrostu do prognozowania długookresowych zmian zasobów leśnych na podstawie danych z wielkoobszarowej inwentaryzacji lasu. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Zasępa R. 1972. *Metoda reprezentacyjna*. PWE, Warszawa.