

Jacek WOLSKI

Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN

Zakład Geokologii

00-818 Warszawa, Twarda 51/55

e-mail: j.wolski@twarda.pan.pl

METODA POMIARÓW LEŻĄCEGO MARTWEGO DREWNA W LESIE – ZAŁOŻENIA TEORETYCZNE I PRZEBIEG PRAC TERENOWYCH

MEASUREMENTS OF DOWNED DEAD WOOD IN THE FOREST – THEORETICAL ASSUMPTIONS AND COURSE OF FIELD WORK

Abstract. *Line intersect method used for downed woody debris volume and weight measurements in the forest ecosystems was created mostly for inventory and forest fires control purposes. It was later commonly used also in the ecological studies. In the article the method's field procedures were described, to encountered location of the central sampling points and intersect lines, diameter and length measurements of woody debris (grouped into size classes), determination of decomposition degree and identification of dominating species. Theoretical assumptions of the method were also presented, where calculation of sample variables and population parameters estimation was in main concern. Results of measurements performed in the "Źródłiskowa Buczyna" reserve (Forest Promotion Area – Lasy Puszczy Bukowej i Goleniowskiej) were then used to verify this assumptions. Additionally, some discrepancies among scientists were discussed and own modification to the field work course and calculations methodology were proposed.*

Key words: woody debris, line intersect method, woody detritus volume.

1. WPROWADZENIE

Funkcje ekologiczne leżącego martwego drewna w ekosystemach leśnych i tempo jego rozkładu, a także rola materiału zalegającego w korytach rzek i strumieni, są od wielu lat tematem licznych interdyscyplinarnych studiów w Stanach Zjednoczonych i Kanadzie (HARMON i in. 1986; CAZA 1993). Na mniejszą skalę prowadzi się je także w Wielkiej Brytanii, Francji, Niemczech czy krajach skandynawskich (SAMUELSSON i in. 1994; LASSETTRE 1999).

W Polsce, gdzie do niedawna leżące martwe drewno postrzegano głównie w kategoriach strat ekonomicznych, zwiększonego zagrożenia pożarowego oraz jako wylęgarnię szkodników wtórnych i chorób (PIOTROWSKI i WOŁK 1975), zajmowano się przede wszystkim fitopatologią leśną, sukcesją saprofitów (TRACZ 1980) i pomiarami tempa rozkładu. Niewiele jest opracowań dotyczących funkcji biocenotycznych leżaniny – należą do nich badania prowadzone w Białowieskiej Stacji Geobotanicznej Uniwersytetu Warszawskiego (FALIŃSKI 1976, 1978; Masalska 1997), nieliczne prace w czasopismach leśnych (PIOTROWSKI i WOŁK 1975), botanicznych (HOLEKSA 1998), przyrodniczych (WESOŁOWSKI 1993; BUCHHOLZ, OSOWSKA 1995; HOLEKSA, CIAPAŁA 1997) oraz wydawnictwach popularnonaukowych (ORCZEWSKA, SZWEDO 1996; BORUSIEWICZ 1997). Brak jest natomiast studiów prowadzonych w różnych typach drzewostanów, a także prac metodycznych traktujących o sposobach pomiaru zasobów leżaniny różnych sortymentów.

Niniejszy artykuł^{*} ma na celu zaprezentowanie, mało znanej w Polsce, amerykańskiej metody pomiarów leżącego martwego drewna. Główny nacisk położono na przebieg pomiarów terenowych, obliczenia zmiennych z próby i estymację parametrów z populacji oraz przedstawienie wybranych problemów metodycznych. Duże rozbieżności dotyczące schematów losowania próby i jej minimalnej liczebności (wielkości) wymagają osobnej analizy, dlatego w niniejszym artykule problemy te jedynie zasygnalizowano.

2. KLASYFIKACJA MARTWEGO DREWNA

W pomiarach zasobów zalegającej na dnie lasu materii drzewnej bierze się pod uwagę powalone pnie, pniaki, gałęzie, wierzchołki drzew, korzenie (w postaci karp i osobno) oraz fragmenty oderwane, np. wskutek uderzenia pioruna. Inwentaryzuje się zarówno materiał świeży, jak i prawie całkowicie zbutwiały – wyjątkiem są

* Artykuł powstał w ramach realizacji II etapu zadania „Martwe drewno i jego funkcje ekologiczne w lasach zagospodarowanych i rezerwatach wybranych Leśnych Kompleksów Promocyjnych”, zatwierdzonego przez Departament Leśnictwa, Ochrony Przyrody i Krajobrazu Ministerstwa Środowiska w październiku 2001 r. (część projektu badawczego „Podstawy trwałej i zrównoważonej gospodarki leśnej w Leśnych Kompleksach Promocyjnych” – koordynator prof. dr hab. K. Rykowski).

szczątki, które uległy rozkładowi uniemożliwiającemu ich pomierzenie i stały się częścią poziomą organicznego gleby. Nie mają znaczenia czynniki (tzn. ich geneza, charakter ani następstwo), które doprowadziły do biologicznej śmierci materii drzewnej. Pomiarom poddaje się więc złomy i wywroty, osobniki chore i osłabione, porażone piorunem, ścięte przez człowieka czy w końcu takie, które powaliła fizjologiczna starość.

Pomiary nie powinny natomiast obejmować leżących osobno fragmentów kory, szyszek, żadnych części roślin runa i materiału przemieszczonego celowo, np. w wyniku prac leśnych.

Duże rozbieżności dotyczą natomiast granicy (w kontekście pomiarów, a nie podziału na sortymenty) między materiałem grubym i drobnicą. Przykładowo, jako materiał gruby (*coarse woody debris*) autorzy przyjmują kawałki o średnicy: >0,64 cm – REED, MROZ (1997), >2 cm – CAZA (1993), >2,5 cm – HARMON i in. (1986), >7,1 cm – Planar Intercept Fuel (1992), >7,5 cm – BROWN (1974), Vegetation Resources Inventory (2000), >8 cm – Biodiversity Guidebook (1995), >10 cm – HARMON, SEXTON (1996), LOFROTH (1998) i MARSHALL i in. (2000), >15 cm – SOLLINS (1982) i DAVIS (1998) lub >20 cm – HARMON (1992). W wielu opracowaniach drobniejszy materiał (*fine fuel, fine woody detritus*) nie jest w ogóle uwzględniany lub jego rola jest silnie deprecjonowana.

Wydaje się, że specyfika mikrosiedlisk, inny charakter obiegu składników odżywczych i warunków świetlno-wilgotnościowych, zróżnicowanie tempa rozkładu czy kolejności zasiedlania przez organizmy zwierzęce i roślinne, wskazują wyraźnie na potrzebę wydzielenia dwóch osobnych kategorii martwego drewna – posusz stojący i leżaninę. Klasyfikacja stojącego posuszu wzbudza jednak liczne dyskusje. Część opracowań uwzględnia stojące martwe drzewa (HARMON i in. 1986; CAZA 1993; DAVIS 1998; Concepts in Ecosystem Management 1998), podczas gdy inne je wyłączają (BROWN 1974; Planar Intercept Fuel 1992; Biodiversity Guidebook 1995; STEVENS 1997; Field Manual 1998; LOFROTH 1998; MARSHALL i in. 2000; Vegetation Resources Inventory 2000).

Jeśli chodzi o leżaninę autor proponuje następującą roboczą definicję: są to wszelkie kawałki obumarłej (w wyniku braku kontaktu korzeni z siedliskiem lub przerwania ciągłości miazgi) i nie przemieszczonej celowo materii drzewnej różnych sortymentów, zalegającej z powodów naturalnych lub antropogenicznych na dnie lasu, stanowiącej środowisko życiowe dla roślin i zwierząt oraz źródło składników pokarmowych biorących czynny udział w rozwoju gleby.

3. POMIAR ZASOBÓW MARTWEGO DREWNA – METODA LINII SIECZNEJ

W pomiarach zasobów martwego drewna stosuje się najczęściej metody liniowe (CAZA 1993). Autorami koncepcji metody linii siecznej (*line intersect method*) byli WARREN i OLSEN (1964) oraz VAN WAGNER (1968). Utworzono ją

głównie na potrzeby służby ochrony przeciwpożarowej i do celów inwentaryzacyjnych, a dopiero później znalazła ona szerokie zastosowanie w badaniach ekologicznych.

Głównym celem opisywanej metody jest obliczenie zasobów leżącego martwego drewna, a zwłaszcza jego miąższości, biomasy i liczebności. Szacunki te, jak wykazują wyniki badań prowadzonych od kilkadziesiąt lat w Stanach Zjednoczonych i Kanadzie, mogą być prowadzone w obiektach bardzo zróżnicowanych – zarówno pod względem powierzchni, jak i charakterystyki przyrodniczej, gospodarczej i administracyjnej (HARMON i in. 1986; CAZA 1993; DAVIS 1998). Głównym kryterium różnicującym jest minimalna liczebność próby (spełniająca postulat uzyskania określonej dokładności dodatkowo przy założeniu minimalnych kosztów), której ustalenie wymaga dysponowania informacjami o rozkładzie i zmienności cech.

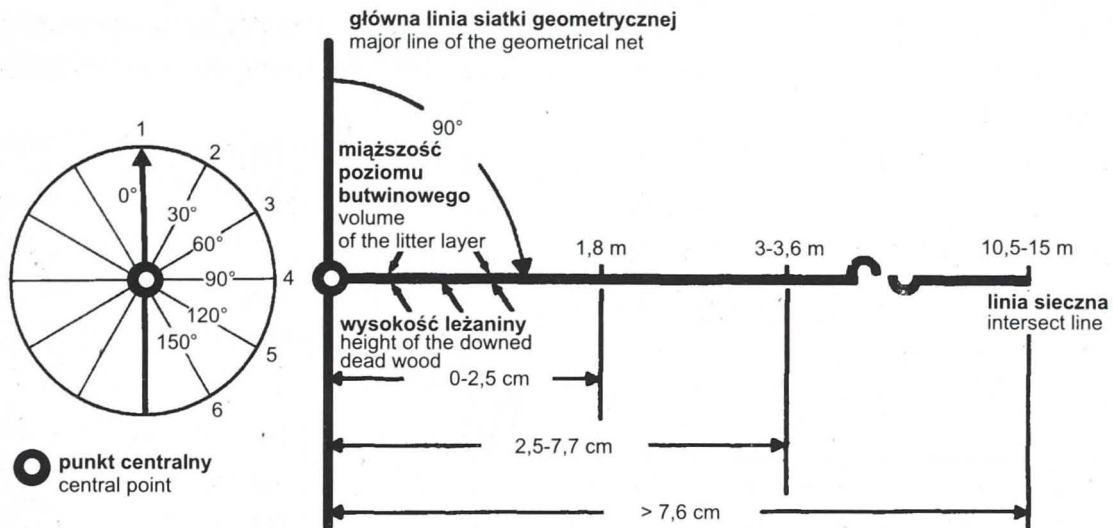
Jednostką statystyczną w tych badaniach jest powierzchnia próbna. Problematyczne jest jednoznaczne określenie jej wielkości, bowiem zależy ona od liczby, rozkładu i długości pomiarowych linii siecznych. Autor podczas pomiarów w czterech leśnych kompleksach promocyjnych zakładał na każdym stanowisku 20 linii siecznych o długości 10,5 m każda, co przy rozmieszczeniu proponowanym przez BROWNA (1974) dawało powierzchnię ok. 0,7 ha (WOLSKI 2000, 2001). Do głównych cech opisujących jednostkę statystyczną należą: zasób leżącego martwego drewna, charakterystyka jego zalegania na dnie lasu, stopień rozkładu i procentowy udział dominujących gatunków drzew.

Podstawowe procedury pomiarowe i obliczeniowe powyższych cech bazujące na metodzie linii siecznych, mimo różnych modyfikacji nie zmieniły się znacząco od ponad 30 lat. BROWN (1974) proponuje następujący schemat badania terenowego.

1. Wyznaczenie w terenie linii równoległych oddalonych od siebie o 5–10 jednostek, a następnie zlokalizowanie wzdłuż nich centralnych punktów pomiarowych w odległości 2–5 jednostek (istotne są proporcje, natomiast wielkość jednostek określa się indywidualnie). Punkty rozmieszcza się systematycznie (np. geometryczna siatka punktów) – wyjątkiem jest pierwszy, którego lokalizacja zazwyczaj określana jest intuicyjnie w terenie.

2. Wyznaczenie z pierwszego punktu centralnego kierunku linii siecznej przez wylosowanie za pomocą kostki do gry jednego z sześciu kątów pomiędzy 0° a 150° oraz oznaczenie jej przebiegu (ryc. 1). Losowy wybór umotywowany jest m.in. przypadkowym rozmieszczeniem leżaniny na dnie lasu.

3. Inwentaryzacja wszystkich kawałków martwego drewna „przeciętych” przez linię sieczną: o średnicy $>7,6$ cm na całej długości linii, o średnicy 2,5–7,6 cm na odcinku 0–3 m, o średnicy 0–2,5 cm na odcinku 0–1,8 m (ryc. 1). Drobnicę gałęziową i chrust cienki ($>7,6$ cm) zalicza się do odpowiednich klas wielkości za pomocą średnicomierza sortującego, natomiast materiał grubszy mierzy z dokładnością 0,1 cm. Konieczne jest rozpoznanie gatunku drzewa (pnie, grubizna) i oszacowanie udziału procentowego 2–3 gatunków dominujących w poszczególnych klasach wielkości (drobnica, chrust) w celu wyliczenia ciężaru właściwego, a w dalszej kolejności całkowitej biomasy leżaniny.



Ryc. 1. Kierunki linii siecznych i lokalizacja poszczególnych elementów pomiarowych

Fig. 1. Directions of intersect lines and location of sample elements

4. Pomiar długości kawałków leżaniny i określenie stopnia rozkładu – zazwyczaj dotyczy to materiału grubszego.

5. Dodatkowe pomiary:

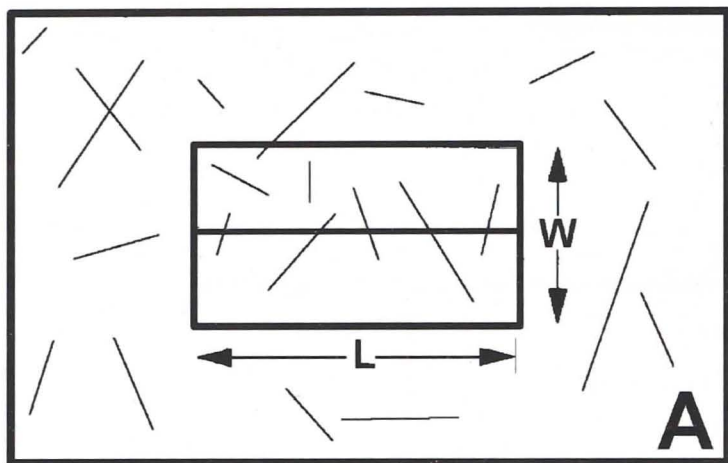
- spadku terenu,
- kąta nachylenia osi morfologicznej leżaniny do płaszczyzny poziomej,
- miąższości podpoziomu organicznego butwinowego (fermentacyjnego),
- wysokości najwyższej nad ziemią położonych kawałków leżaniny w celu scharakteryzowania pionowej struktury zalegania.

Powyższe kroki należy powtórzyć na kolejnych liniach siecznych. Procedura pomiarowa jest dosyć czasochłonna, natomiast możliwa do przeprowadzenia za pomocą prostych przyrządów (przymiary wstępowe, metalowe szpilki, busola z klinometrem, laska glebowa, średnicomierz sortujący). Szczegółowe zasady są wyczerpująco opisane w licznych artykułach i wytycznych dotyczących inwentaryzacji lasu (WARREN i OLSEN 1964; VAN WAGNER 1968; BROWN 1974; Planar Intercept Fuel 1992; Field Manual 1998; Vegetation Resources Inventory 2000; WOLSKI 2000, 2001).

Teoretyczne założenia metody linii siecznej, będące zarazem wstępem do dalszych rozważań, bazują na stosunku* zmiennej (y_{ij}) opisującej kawałek leżaniny j do prawdopodobieństwa (P_{ij}) jego przecięcia przez linię sieczną i :

$$y_i = \sum_{j=1}^{m_i} \frac{y_{ij}}{P_{ij}} \quad (1)$$

* Większość przedstawionych obliczeń bazuje na zależności (1), która nie jest określona w żadnych jednostkach. Aby nie zwiększać dodatkowo liczby prezentowanych w artykule parametrów, postanowiono w kolejnych wzorach używać konsekwentnie jednego (y_i), oznaczającego odpowiednio: objętość w m^3/ha (8), liczbę kawałków w sztukach/ha (10), średnią długość w m/ha (12) oraz powierzchnię w m^2/ha (14).



Ryc. 2. Hipotetyczny obraz populacji (powierzchnia A) i próby (prostokąt LW).

Fig. 2. Hypothetical image of population (A) and sample (rectangle LW)

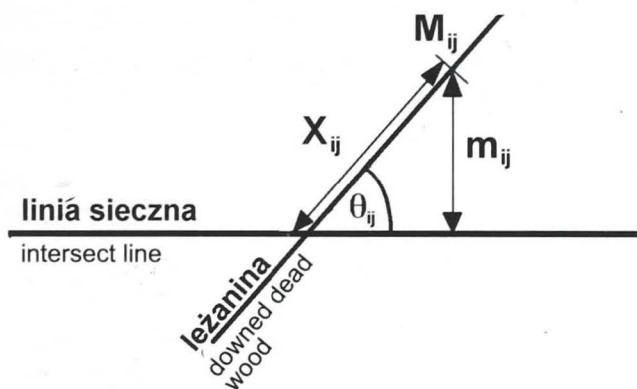
Aby określić prawdopodobieństwo przecięcia kawałka martwego drewna o długości l_{ij} przez linię i należy wyznaczyć hipotetyczną powierzchnię badawczą A wraz z zawartym w niej prostokątem o bokach L i W , gdzie L jest zarazem maksymalną długością linii siecznej i (oś symetrii prostokąta LW), a W ma wartość większą od najdłuższego kawałka leżaniny (ryc. 2). Prawdopodobieństwo owego przecięcia w punkcie M_{ij} jest iloczynem dwóch zdarzeń: (a) punkt M_{ij} musi znajdować się w prostokącie LW oraz (b) fakt przecięcia zapewnia o istnieniu tego punktu w prostokącie LW (MARSHALL i in. 2000).

Prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia (a) opisuje stosunek wielkości próby do wielkości populacji (LW/A). Zdarzenie (b) zależy natomiast od kąta nachylenia (θ_{ij}) osi morfologicznej kawałka do powierzchni terenu (od 0 do 90° , czyli $0-\pi/2$ radianów) oraz od długości odcinka łączącego punkt M_{ij} z linią sieczną pod kątem prostym (m_{ij}) (ryc. 3). Aby został spełniony podstawowy warunek dotyczący lokalizacji M_{ij} , to $0 \leq m_{ij} < W/2$. Założenia te opisuje mianownik, będący iloczynem maksymalnych wartości powyższych przedziałów:

$$\frac{?}{\frac{W}{2} \times \frac{\pi}{2}} \quad (2)$$

W sytuacji, gdy $\theta_{ij} = \pi/2$, to $0 < m_{ij} \leq l_{ij}/2$. Taki sam warunek musi spełniać odległość X_{ij} między punktem M_{ij} a powierzchnią ziemi, liczona wzdłuż osi morfologicznej kawałka leżaniny – $0 < X_{ij} \leq l_{ij}/2$. Jeśli któryś z powyższych warunków nie zostałby spełniony ($m_{ij} > W/2$, $m_{ij} > l_{ij}/2$, $X_{ij} > l_{ij}/2$), to w przypadku zmiany położenia kawałka wzniesionego nad linią sieczną, punkt M_{ij} może znaleźć się poza granicami prostokąta LW . Po podstawieniu wartości X_{ij} wyliczonej ze związku na długość przyprostokątnej ($m_{ij} = X_{ij} \times \sin \theta_{ij}$) otrzymujemy:

$$m_{ij} \leq \frac{l_{ij}}{2} \times \sin \theta_{ij} \quad (3)$$



Ryc. 3. Zmienne opisujące położenie kawałka leżaniny nad linią sieczną.

Fig. 3. Position parameters of woody debris lying over intersect line

Wielkość obszaru pod krzywą (3) przy założeniu, że $0 \leq \theta_{ij} \leq \pi/2$, odpowiada w rzeczywistości wartości $l_{ij}/2$, co zostało matematycznie dowiedzione przez MARSHALLA, DAVISA i LEMAYA (2000, s. 20–21). Tak więc ostatecznie prawdopodobieństwo P_{ij} jednoczesnego wystąpienia zdarzeń (a) i (b) wynosi:

$$P_{ij} = \frac{L \times W}{A} \times \frac{\frac{l_{ij}}{2}}{\frac{W}{2} \times \frac{\pi}{2}} = \frac{2 \times L \times l_{ij}}{A \times \pi} \quad (4)$$

Dotychczasowe rozważania nie dają jeszcze odpowiedzi na pytanie, w jaki sposób należy liczyć rzeczywiste zasoby leżaniny. Kluczem do dalszych dociekań jest wzór (1), który przybiera postać:

$$y_i = \sum_{j=1}^{m_i} \frac{v_{ij}}{P_{ij}} \quad (5)$$

gdzie wartość zmiennej v_{ij} jest objętością (w m^3) kawałka martwego drewna j przeciętego przez linię i . Obliczenia objętości (miąższości) bazują na wzorze środkowego przekroju Hubera (HARMON i SEXTON 1996; BRUCHWALD 1999), będącym iloczynem długości kawałka leżaniny l_{ij} (w metrach) i powierzchni jego przekroju poprzecznego $g_{ij/2}$ (w cm^2), wyliczonej na podstawie średnicy $d_{ij/2}$ (w centymetrach). Oryginalna formuła Hubera nakazuje wykonanie pomiaru tej średnicy w połowie długości kawałka leżaniny, jednakże specyfika omawianej metody wymusiła pewną modyfikację – pod uwagę bierze się miejsce rzeczywistego przecięcia materiału przez linię sieczną ($d_{ij/2} = d_{ij}$). Wzór przybiera postać:

$$v_{ij} = g_{ij/2} \times l_{ij} = \frac{\pi}{10000} \times \left(\frac{d_{ij/2}}{2} \right)^2 \times l_{ij} = \frac{\pi}{40000} \times d_{ij/2}^2 \times l_{ij} = \frac{\pi \times d_{ij}^2 \times l_{ij}}{40000} \quad (6)$$

gdzie współczynnik 10 000 służy zamianie jednostek z cm^2 na m^2 . Całkowity zasób leżącego martwego drewna y_i (w m^3/ha) na powierzchni A można wyliczyć podstawiając znane już wartości do wzoru (5):

$$y_i = \frac{\left(\sum_{j=1}^{m_i} \frac{\pi \times d_{ij}^2 \times l_{ij}}{4 \times 10000} \right)}{\left(\frac{2 \times L \times l_{ij}}{A \times \pi} \right)} = \frac{\pi^2 \times A}{80000 \times L} \times \sum_{j=1}^{m_i} d_{ij}^2 \quad (7)$$

a przy założeniu, że powierzchnia A wynosi 1 ha ($10\,000 \text{ m}^2$), otrzymujemy ostatecznie:

$$y_i = \frac{\pi^2}{8 \times L} \times \sum_{j=1}^{m_i} d_{ij}^2 \quad (8)$$

W przypadku drobnicy gałęziowej i chrustu cienkiego, które klasyfikuje się do odpowiednich klas wielkości za pomocą średnicomierza sortującego, należy przyjąć, że

$$\sum_{j=1}^{m_i} d_{ij}^2 = m \times d_{sr}^2 \quad (9)$$

gdzie: m – liczba kawałków leżaniny, d_{sr} – średnica reprezentatywna dla każdej z klas wielkości. Aby określić tę reprezentatywną średnicę, należy podzielić poszczególne klasy na mniejsze przedziały, a następnie w terenie oszacować częstość wystąpienia w nich mierzonych średnic (VAN WAGNER 1982). Gorszym, ale znacznie prostszym rozwiązaniem, jest wybranie wartości środkowej każdego z przedziałów i wyliczenie przeciętnych wartości zmiennych ze wzoru na średnią arytmetyczną dla szeregu rozdzielczego. Tak wyliczona średnia różni się od tej obliczonej według wartości szczegółowych, co wynika z różnic między wartościami środkowymi klas, a średnimi jednostek.

Na bazie wzoru (1) można wyliczyć także inne zmienne charakteryzujące zasoby martwego drewna ($A = 1 \text{ ha}$).

1. Liczba kawałków leżaniny (sztuki/ha)

Wartość zmiennej y_{ij} ze wzoru (1) równy jest jedności, a sam wzór przyjmuje postać:

$$y_i = \frac{10000 \times \pi}{2 \times L} \times \sum_{j=1}^{m_i} \frac{1}{l_{ij}} \quad (10)$$

Jeśli wymagana jest kalkulacja w poszczególnych przedziałach wielkości, należy przeprowadzić wyliczenia osobno dla każdej z nich, modyfikując jednocześnie długości linii siecznych L .

2. Średnia długość kawałka leżaniny (m/ha)

Średnią długość kawałka leżaniny na powierzchni 1 ha określa stosunek długości wszystkich fragmentów do ich liczby. Liczbę tę można wyliczyć za pomocą wzoru (10), natomiast sumaryczną długość otrzymujemy przez podstawienie do wzoru (1) wartości l_{ij} w miejsce zmiennej y_{ij} :

$$\sum_{j=1}^{m_i} \frac{l_{ij}}{P_{ij}} = \sum_{j=1}^{m_i} \frac{l_{ij}}{\left(\frac{2 \times L \times l_{ij}}{10000 \times \pi} \right)} = \frac{10000 \times \pi}{2 \times L} \quad (11)$$

Ostatecznie wzór na średnią długość kawałka leżaniny będzie wyglądał następująco:

$$y_i = \frac{\left(\frac{10000 \times \pi}{2 \times L} \right)}{\left(\frac{10000 \times \pi}{2 \times L} \times \sum_{j=1}^{m_i} \frac{1}{l_{ij}} \right)} = \frac{m_i}{\sum_{j=1}^{m_i} \frac{1}{l_{ij}}} \quad (12)$$

gdzie m_i jest liczbą wszystkich fragmentów martwego drewna leżących na linii siecznej i .

3. Powierzchnia zajęta przez leżące martwe drewno (m²/ha)

W takiej sytuacji zmienna y_{ij} opisuje jednostkową powierzchnię każdego z kawałków (w m²), a właściwie jej rzut na płaszczyznę:

$$y_{ij} = \frac{d_{ij}}{100} \times l_{ij} \quad (13)$$

Wykorzystując ponownie wzór (1) otrzymujemy:

$$y_i = \frac{\sum_{j=1}^{m_i} \frac{\frac{d_{ij}}{100} \times l_{ij}}{2 \times L \times l_{ij}}}{10000 \times \pi} = \frac{50 \times \pi}{L} \times \sum_{j=1}^{m_i} d_{ij} \quad (14)$$

Przed podjęciem pomiarów konkretnych cech opisujących jednostkę statystyczną wskazane jest postawienie żądania co do ich dokładności. Jeśli znane jest odchylenie standardowe populacji, można wyznaczyć minimalną liczebność próby (w naszym przypadku liczbę linii na przyjętej jednostce powierzchni), która zapewni, że maksymalny błąd szacunku poszukiwanego parametru z populacji nie przekroczy z góry przyjętej wartości, będącej połową długości przedziału ufności. W przypadku obliczania zasobów martwego drewna lepsze wydaje się określanie wielkości maksymalnego błędu w procentach (błąd procentowy) niż w jednostkach wagowych czy objętościowych. Niestety zazwyczaj przed podjęciem badań odchylenie standardowe populacji nie jest znane, a więc do liczebności próby należy dochodzić drogą kolejnych przybliżeń. Problem wyznaczania minimalnej liczebności próby potrzebnej do oszacowania zadanego parametru z populacji z żadaną z góry precyzją szczegółowo analizuje BRUCHWALD (1997).

Na podstawie literatury nie można niestety udzielić ostatecznej odpowiedzi na pytanie, ile i jak długie powinny być linie sieczne na danej jednostce powierzchni. Rozbieżności między badaczami są znaczne: jeden trójkąt równoboczny lub trzy niezależne linie (3×30 m) na 1 ha (PARMINTER 1998b), jeden trójkąt równoboczny (3×30 m) na 20 ha (MCRAE, ALEXANDER, STOCKS 1979), 304 m na 20 ha (BROWN i SEE 1981), 960 m na 20 ha (Vegetation Resources Inventory 2000). BROWN (1974), DE VRIES (1973) oraz PICKFORD i HAZARD (1978) proponują pewną elastyczność w podejmowaniu decyzji i uzależnienie jej od sytuacji w terenie oraz założonych celów badań – na powierzchniach z dominacją drobnicy gałęziowej i chrustu linie mogą być krótsze niż przy pomiarach grubizny i pni.

Znając wyniki z próby można podjąć się wnioskowania o wartościach parametrów zmiennej losowej w populacji generalnej. Podstawowym problemem jest wybór takiej statystyki określonej na podstawie próby, która da najlepsze oszacowanie parametru populacji. Podstawowymi właściwościami dobrego estymatora są: nieobciążoność (wartość oczekiwana statystyki z próby jest równa prawdziwej wartości parametru populacji generalnej) i efektywność (rozkład z próby charakteryzuje się najmniejszym możliwym rozrzutem). Jednymi z najczęściej wykorzystywanych estymatorów jest średnia arytmetyczna z próby i odchylenie standardowe (ZASĘPA 1972; BRUCHWALD 1997).

Do obliczenia odchylenia standardowego stosuje się sumę kwadratów odchyleń średniej, której częścią składową jest średnia arytmetyczna określona wzorem:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (15)$$

Z sumą kwadratów związana jest wartość $k = n-1$ zwana stopniami swobody (n liczb może zmieniać się wokół swojej średniej na $n-1$ sposobów). W ten sposób

otrzymujemy nieobciążony i najefektywniejszy estymator odchylenia standardowego populacji:

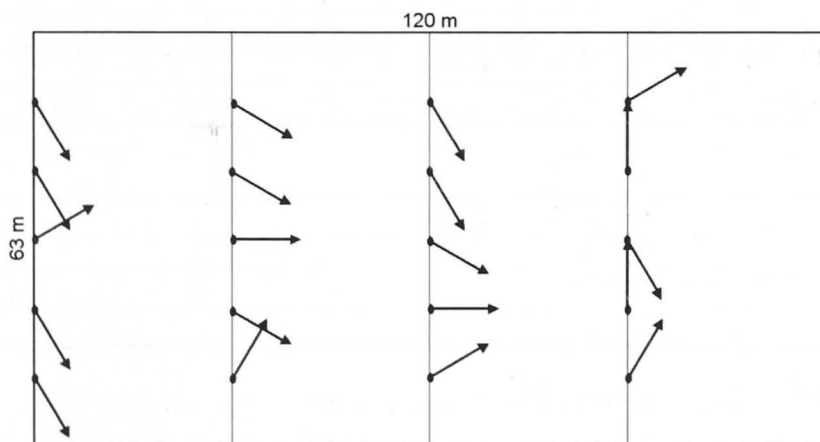
$$S_{\bar{y}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i\right)^2}{n}}{n \times (n-1)}} \quad (16)$$

Oprócz opisanej powyżej estymacji punktowej często wykorzystuje się także estymację przedziałową, w której szacowany parametr populacji powinien mieścić się w granicznych wartościach przedziału ufności z przyjętym poziomem ufności równym $1-\alpha$. Oto przedział ufności dla średniej z populacji μ_y , której estymatorem jest średnia arytmetyczna z próby:

$$\mu_y \in \left\langle \bar{y} - t_{n-1, \alpha/2} \times S_{\bar{y}}; \bar{y} + t_{n-1, \alpha/2} \times S_{\bar{y}} \right\rangle \text{ z } P = 1 - \alpha \quad (17)$$

gdzie $t_{n-1, \alpha/2}$ jest wartością krytyczną przy rozkładzie t Studenta z liczbą stopni swobody $k = n-1$, a średnia z próby ma rozkład normalny. Jest to przedział losowy o końcach zależnych od danych z próby, czyli zmienną losową jest długość przedziału oraz jego granice, natomiast parametr z populacji jest wielkością stałą. Rozkład t – podobnie jak rozkład normalny – jest symetryczny, natomiast jego kształt zmienia się w zależności od wielkości próby, czyli pośrednio zależy od liczby stopni swobody.

Dla lepszego zobrazowania opisywanej metody przedstawiono rozkład linii siecznych (ryc. 4) oraz wyliczenia miąższości leżącego martwego drewna na stanowisku założonym w rezerwacie „Źródłiskowa Buczyna” w Leśnym Kompleksie Promocyjnym Lasy Puszczy Bukowej i Goleniowskiej (WOLSKI 2001). W tabeli 1 (formularz polowy opracowany przez autora) zamieszczono dane źródłowe. Tabela 2 zawiera wartości obliczone według wzorów opisywanych w artykule: miąższość z poszczególnych linii siecznych (8), średnią miąższość z próby (15),



Ryc. 4. Kierunki i rozkład linii siecznych na stanowisku „Źródłiskowa Buczyna” w LKP Lasy Puszczy Bukowej i Goleniowskiej

Fig. 4. Directions and distribution of intersect lines on measurement site „Źródłiskowa Buczyna” in the Forest Promotion Area Lasy Puszczy Bukowej i Goleniowskiej

Formularz polowy (opracowany przez autora)
Field work data form (authors work)

Nazwa stanowiska: Lasy Puszczy Bukowej i Goleniowskiej															Nadl														
Klasy przekrojów (cm):															0-2,5					2,5-7,6					>7,6				
Długość linii próbkowania (m):															1,8					3					10,5				
Nr punktu	Kąt linii (°)	Sztuki 0-0,6 cm	Średnica (cm)/długość (cm)																										
			0,6-2,5 cm										2,5-7																
1	150	24	1,0	70	0,7	24	0,9	70							2,6	100	2,8	120	4,1										
2	150	16	2,4	52	1,4	20	0,8	28	1,2	26	1,0	14				3,5	115	6,0	210	4,4									
3	60	6													6,0	90	3,5	143	6,0										
4	150	3	2,0	17	2,1	12	1,5	16	2,1	44	1,0	40	0,7	14	4,8	255	3,6	25	3,0										
			1,0	21	1,8	12																							
5	150	16	0,8	14	0,7	35	1,0	10																					
6	30	10	1,8	26	1,3	43	1,3	35	0,9	16	2,0	15			3,0	36													
7	120	14	2,4	13	1,4	10																							
8	90	20	1,0	21	1,8	110	0,8	8	2,0	13	0,7	20	1,0	7	3,7	38													
			0,8	15	0,8	29																							
9	120	25	0,8	38	0,9	8	0,7	7							4,4	380													
10	120	7	0,8	20	2,1	7	0,8	22	1,4	26	1,2	23	2,0	22															
			0,8	37	0,9	20	1,1	10	1,1	17																			
11	60	15	1,1		0,6		0,8		1,3		0,9		0,6																
			1,3		0,8		0,7		0,6		1,4		0,7																
12	90	14	2,2		2,5		2,2								3,9		5,2		6,1										
13	120	5	0,6												3,1		2,8												
14	150	11	0,8		0,9		1,1		2		1,9		0,7																
			1,6		0,8																								
15	150	12	0,9		1		0,8								3,4														
16	30	9	0,6		0,9		1,1		1		1,3		1,3		3,7		2,6												
			1,1																										
17	0	11	1,8		2,2										6														
18	150	29	1,2		0,9		0,6								2,8		3,9												
19	0	31	0,6		1,1		1,4		0,9		0,7		0,8																
			1,2		1,2		0,8		0,7		1,1		0,9																
20	60	12	1																										
			0,9		2,3		1,7									4,1		5,7		3									
Łącznie (sztuki)		290	102										31																
Gatunki dominujące:																													
1. <i>Fagus sylvatica</i>																													
2. <i>Quercus robur</i>																													
3.																													

Tabela 2
Table 2

Mięszczość leżącego martwego drewna na stanowisku „Źródłiskowa Buczyna” w LKP Lasy Puszczy Bukowej i Goleniowskiej
Volume of downed woody debris on measurement site „Źródłiskowa Buczyna” in the Forest Promotion Area Lasy Puszczy Bukowej i Goleniowskiej

LKP Lasy Puszczy Bukowej i Goleniowskiej Forest Promotion Area Lasy Puszczy Bukowej i Goleniowskiej			
Linie sieczne Intersect lines	mięszczość leżaniny (m ³ /ha) downed dead wood volume		
	0–2,5 cm	2,5–7,6 cm	7,6 cm
y ₁	3,05	31,67	0
y ₂	8,37	42,56	39,28
y ₃	0,37	34,61	381,11
y ₄	14,41	18,48	293,25
y ₅	2,44	0	0
y ₆	8,43	3,69	7,5
y ₇	6,14	0	0
y ₈	9,20	5,62	0
y ₉	2,87	7,95	0
y ₁₀	12,03	0	0
y ₁₁	8,24	0	0
y ₁₂	11,76	40,23	71,93
y ₁₃	0,55	7,17	32,17
y ₁₄	10,23	0	11,73
y ₁₅	2,41	4,74	0
y ₁₆	6,01	8,4	42,34
y ₁₇	6,20	14,78	408,32
y ₁₈	3,57	9,47	16,94
y ₁₉	10,46	0	0
y ₂₀	6,89	28,15	30,02
$\bar{y}$ (m ³ /ha)	6,68	12,88	66,73
$S_{\bar{y}}$	0,9	3,25	29,01
$\mu \in \langle \dots; \dots \rangle = 0,95$	4,80; 8,56	6,08; 19,68	6,01; 127,45
$\sum \bar{y}$ (m ³ /ha)	86,29		

odchylenie standardowe z populacji (16), przedział ufności* (17) i sumaryczną mięszczość leżącego martwego drewna (m³/ha). Celem uproszczenia przykładu całkowicie pominięto niektóre parametry (szczegóły w rozdziale Wnioski – pkt. 4, 5). Dla klasy wielkości 0,0–0,6 cm przyjęto $d_{sr} = 0,3$ cm.

* Przy założonym poziomie ufności 95% dla testu dwustronnego wartość $t_{n-1,a/2}$ odczytana z tablicy wartości krytycznych dla rozkładu t Studenta przy 19 stopniach swobody wynosi 2,093.

4. WYBRANE PROBLEMY METODYCZNE

Pierwotne koncepcje metody linii siecznych przedstawiały uproszczony model rzeczywistości – m.in. zakładały, że wszystkie kawałki martwego drewna leżą poziomo na ziemi, a nachylenie terenu wynosi 0° . Dodatkowe współczynniki korygujące zostały opracowane przez BROWNA (1971, 1974), który zaproponował także zmianę nazwy metody na *planar intersect method*, bowiem linia była w rzeczywistości rodzajem płaszczyzny siecznej, prostopadłej do powierzchni ziemi.

Współczynnik korygujący kąt nachylenia λ_{ij} osi morfologicznej leżaniny do płaszczyzny poziomej można wyliczyć ze wzoru $1/\cos \lambda_{ij}$. Przy nachyleniu 10° współczynnik wynosi jednakże zaledwie 1,01, a dopiero przy 25° osiąga wartość 1,1. Także wielkość błędu pomiarowego ($1 - \cos \lambda_{ij}$) przy małych nachyleniach wskazuje na to, że często takie korekty nie są potrzebne, bowiem dopiero powyżej 25° błąd przekracza 10%.

BROWN (1974) wprowadził także korektę nachylenia terenu, stosowaną w celu obliczenia rzeczywistej (zredukowanej) długości linii siecznej, czyli jej rzutu na płaszczyznę poziomą:

$$c = \sqrt{1 + \left(\frac{\text{nachylenie}(\%)^2}{100} \right)} \quad (18)$$

gdzie nachylenie 100% odpowiada 45° .

MCRAE, ALEXANDER i STOCKS (1979) oraz PARMINTER (1998a) twierdzą, że korektę należy uwzględniać tylko wtedy, kiedy jej wartość przekroczy 10%, co następuje przy nachyleniu powyżej 20° .

Większość powyższych rozważań dotyczy kawałków o kolistym przekroju poprzecznym. Fragmenty o przekroju owalnym, półowalnym i zupełnie bezkształtne trzeba natomiast klasyfikować osobno ze względu na inny sposób pomiarów. Zmierzyć należy długość rzeczywistego odcinka, na którym linia sieczna przecina martwe drewno (szerokość leżaniny, W_{ij}) oraz średnią miąższość (wysokość, H_{ij}) materiału w tym miejscu. Otrzymane wyniki powinno się traktować jak boki prostokąta i zapisywać jako osobne wartości (Field Manual 1998; MARSHALL i in. 2000):

$$v_{ij} = \frac{W_{ij} \times H_{ij}}{L} \times 10000 \quad (19)$$

gdzie oba wymiary prostokąta liczone są w metrach, a współczynnik liczbowy 10 000 m^2/ha służy do otrzymania odpowiednich jednostek wynikowych (m^3/ha). Podobnie do zagadnienia podchodzą REED i MROZ (1997), proponując jednak stosowanie wzoru (8) i zmodyfikowanie jedynie wartości średnicy:

$$d^2 = \frac{W_{ij}^2 \times H_{ij}^2}{2} \quad (20)$$

Jednym z ważniejszych problemów podczas pomiarów terenowych jest określenie klas rozkładu leżącego martwego drewna. W ostatnich kilkudziesięciu latach powstało kilka klasyfikacji znacznie różniących się poziomem złożoności i zastosowań. Jedną z pierwszych – zgodną z potrzebami amerykańskich służb ochrony przeciwpożarowej – zaprezentował BROWN (1974). Był to bardzo uproszczony podział na drewno świeże oraz zbutwiałe. Obecnie najczęściej wykorzystywaną w badaniach naukowych jest skala pięciostopniowa, bazująca na strukturze drewna, stanie kory, obecności drobnych gałęzi i korzeni przerastających, kształcie przekroju poprzecznego, formie zalegania drewna na ziemi i jego kolorze. W niektórych opracowaniach rozbudowuje się ją o indykatory biologiczne: pokrycie mchami, porostami, grzybami, występowanie bezkręgowców lub białej i brunatnej zgnilizny oraz stopnie degradacji bieli i rozkładu twardzieli (HARMON i SEXTON 1996; ORCZEWSKA i SZWEDO 1996).

Innym problemem, rzadko poruszonym w literaturze, są liczne autorskie modyfikacje pierwotnej metody linii siecznych. W praktyce wyróżnia się kilka (kilkanaście?) jej odmian – wszystkie bazują na tym samym fundamencie teoretycznym, różnią się natomiast założeniami dotyczącymi rozkładu, długości i liczby linii siecznych na powierzchni. Oprócz opisywanej w niniejszym artykule terenowej metodyki Browna stosuje się jeszcze inne osnowy pomiarowe: w kształcie litery L (CAZA 1993; Field Manual 1998), trójkąta równobocznego (DELISLE i in. 1988) i promienistą z trzema liniami tworzącymi między sobą kąty 120° (DAVIS 1998). W opinii MARSHALL'A, DAVIS'A i LEMAYA'A (2000) największe znaczenie ma całkowita długość linii, a nie ich długości jednostkowe. Potwierdza to wnioski z wcześniejszych badań (DE VRIES 1973; PICKFORD, HAZARD 1978), że przy jednakowej długości linii siecznych relatywnie niewielkie znaczenie ma ich rozkład (mogą być oddzielnymi odcinkami lub fragmentami jednego transektu).

5. WNIOSKI

Na podstawie szczegółowych studiów literaturowych i wyników testowania metody w czterech leśnych kompleksach promocyjnych można wyciągnąć kilka wstępnych wniosków.

1. Największymi problemami są: wielkość jednostki statystycznej, minimalna liczebność próby i schemat losowania. Zagadnienia te zostały w tym artykule jedynie zasygnalizowane. Zróżnicowanie podejść różnych autorów jest olbrzymie, tak więc problemy te bez wątpienia wymagają rozstrzygnięć metodycznych, uwzględniających nie tylko ich prawidłowość statystyczną, ale także praktyczną możliwość realizacji.

2. Pełne wykorzystanie wyników badań (np. do wieloaspektowej analizy funkcji ekologicznych leżaniny) jest możliwe tylko w sytuacji, gdy pomiary będą

uwzględniały cały leżący materiał. Ograniczenie się jedynie do kawałków o średnicy powyżej 7,6 czy 10 cm będzie dawało obraz mocno zafałszowany (w większości lasów w naszym kraju zostanie wykazany całkowity brak martwego drewna, także w miejscach zalegania dużych ilości chrustu i drobnicy). Ponadto postuluje się pomiary długości wszystkich kawałków o średnicy przekroju poprzecznego powyżej 0,6 cm. Autor zdaje sobie sprawę z czasochłonności takiego podejścia, ale tylko ono daje gwarancję wysokiej porównywalności wyników uzyskanych w różnych obiektach leśnych oraz możliwość dodatkowych obliczeń (m.in. biomasy, liczebności, średniej długości).

3. Proponowana w artykule pięciostopniowa klasyfikacja rozkładu martwego drewna wydaje się być najbardziej optymalną. Bardzo uproszczony podział proponowany przez BROWNA (1974) jest obecnie zupełnie nieprzydatny, klasyfikacja trójstopniowa nie oddaje pełnego spektrum zróżnicowania (DAVIS 1998), natomiast bardziej rozbudowane podziały są trudne do zastosowania w terenie (ORCZEWSKA i SZWEDO 1996).

4. W sytuacji, gdy głównym celem inwentaryzacji jest określenie zasobów leżaniny, nie trzeba wykonywać pomiarów wysokości zalegania kawałków martwego drewna ani miąższości podpoziomu organicznego butwinowego.

5. Przed rozpoczęciem inwentaryzacji należy przyjrzeć się ukształtowaniu (spadkowi) powierzchni próbnej oraz sposobowi zalegania poszczególnych kawałków (nachyleniu osi morfologicznej do płaszczyzny poziomej). W wielu sytuacjach odpowiednie pomiary są zbędne.

6. Przedstawiona metodyka ma wiele elementów wspólnych z algorytmem postępowania podczas budowy wielkoobszarowych metod pomiaru lasu (BRUCHWALD 1999). Główne różnice w założeniach dotyczą wyboru schematu losowania oraz ustalenia minimalnej próby spełniającej postawiony postulat uzyskania określonej dokładności (wymaga to dysponowania informacjami o rozkładach i zmienności cech, które uzyskać można ze wstępnych badań przeprowadzonych na małej próbie losowej). Podobieństwa te potwierdzają tezę, że odpowiednio modyfikowana metoda linii siecznych może być stosowana w bardzo różnych obiektach leśnych.

Obecnie wielu leśników przyznaje, że dbanie o stan sanitarny lasu nie musi być tożsame z deprecjonowaniem pozytywnego wpływu martwego drewna ani jego roli w rozlicznych procesach ekologicznych. Ponadto, w świetle coraz powszechniej uznawanej „ekologizacji leśnictwa”, wysoce wskazane jest opracowanie szczegółowych wytycznych, które mogłyby stać się podstawą monitorowania stanu zasobów martwego drewna w lasach w ramach inwentaryzacji wielkopowierzchniowej lasów.

PIŚMIENICTWO

- Biodiversity Guidebook, Forest Practices Code of British Columbia Act and Regulations 1995: B.C. Ministry of Forests, Ministry of Environment, Lands and Parks Victoria.*
- BORUSIEWICZ B. 1997: Stare drzewa i ich ochrona. *Las Pol.*, 6: 14–15.
- BROWN J. K. 1974: Handbook for inventorying downed woody material. Gen. Tech. Rep. INT-16. Ogden: USDA For. Serv., Intermountain For. Range Exp. Stn.; ss. 24.
- BRUCHWALD A. 1997: Statystyka matematyczna dla leśników. Wydawnictwo SGGW, Warszawa; ss. 255.
- BRUCHWALD A. 1999: Dendrometria. Wydawnictwo SGGW, Warszawa; ss. 271.
- BUCHHOLZ L., OSSOWSKA M. 1995: Entomofauna martwego drewna – jej biocenotyczne znaczenie w środowisku leśnym oraz możliwości i problemy ochrony. *Przegl. Przyr.*, 6, 3–4: 93–105.
- CAZA C. L. 1993: Woody Debris in the Forests of British Columbia: A Review of the Literature and Current Research. Land Management Rep., 78: 1–99.
- Concepts in Ecosystem Management – Coarse Woody Debris 1998: Olympic Learning Center, Olympic National Forest, Quilcene.
- DAVIS R. J. 1998: Inventory Results on Coarse Woody Debris (Preliminary Findings). Little River Adaptive Management Area. U. S. Fish and Wildl. Serv./Bur. of Land Manage./U. S. For. Serv.*
- DELISLE G. P., WOODWARD P. M., TITUS S. J., JOHNSON A. F. 1988: Sample size and variability of fuel weight estimates in natural stands of lodgepole pine. *Can. J. For. Res.*, 18: 649–652.
- DE VRIES P. G. 1973: A general theory on line intersect sampling with application to logging residue inventory. Mededelingen Landbouw Hogeschool, 73–11, Wageningen.
- FALIŃSKI J. B. 1976: Wykroty drzew jako czynnik różnicowania i przeobrażenia biotopu puszczy w świetle badań na stałych powierzchniach. *Phytocoenosis*, 5, 2: 85–108.
- FALIŃSKI J. B. 1978: Uprooted trees, their distribution and influence in the primeval forest biotope. *Vegetation*, 38, 3: 175–183.
- Field Manual for Describing Terrestrial Ecosystems 1998. Land Manage. Handb., Victoria: 25.
- HARMON M. E., FRANKLIN J. F., SWANSON F. J., SOLLINS P., GREGORY sincerely. 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. *Adv. Ecol. Res.*, 15: 133–302.
- HARMON M. E. 1992: Long-term experiments on log decomposition at the H.J. Andrews Experimental Forest. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-280. USDA For. Serv., Pacific Northwest For. Exp. Stn., Portland; ss. 28.
- HARMON M. E., SEXTON J. 1996: Guidelines for measurements of woody detritus in forest ecosystems. US LTER Publication, 20: 1–73.
- HILSZCZAŃSKI J. 1997: Martwe drzewa w lesie – na podstawie badań amerykańskich. *Głos Lasu*, 8: 15–18.
- HOLEKSA J., CIAPAŁA Sz. 1997: Proces degeneracji boru górnoregłowego w rezerwacie „Romanka w Beskidzie Żywieckim” jako efekt prowadzenia zabiegów z zakresu sanitarnej ochrony lasu i prac odnowieniowych. *Parki Nar. Rez. Przyr.*, 16, 2: 27–40.
- HOLEKSA J. 1998: Rozpad drzewostanu i odnowienie świerka a struktura i dynamika karpackiego boru górnoregłowego. *Monografie Botaniczne*, 82: 1–209.
- LASSETTRE N. S. 1999: Annotated Bibliography on the Ecology, Management and Physical Effects of Large Woody Debris (LWD) in Stream Ecosystems. Univ. of California, California Dep. of For., Berkley.*

* (maszynopis w Zakładzie Geologii IGiPZ PAN)

- LOFROTH E. 1998: The dead wood cycle [W:] Conservation biology principles for forested landscapes (J. Voller, S. Harrison eds). UBC Press, Vancouver, 185–215.
- MARSHALL P. L., DAVIS G., LE MAY V. M. 2000: Using Line Intersect Sampling for Coarse Woody Debris. For. Res. Tech. Rep. TR-003, Vancouver Forest Region Ministry of Forests, Nanaimo, B. C.; ss. 38.
- MASALSKA A. 1997: Zarastanie wykrotów świerkowych w zbiorowisku grądowym w Białowieskim Parku Narodowym (maszynopis w Białowieskiej Stacji Geobotanicznej UW).
- MCRAE D. J., ALEXANDER M. E., STOCKS B. J. 1979: Measurement and description of fuels and fire behavior on prescribed burns: a handbook. Information Rep. O-X-287. Great Lakes For. Res. Centre Sault Ste. Marie, Ontario, Can. For. Serv; ss. 56.
- ORCZEWSKA A., SZWEDO J. 1996: Biocenotyczne funkcje martwych drzew w środowiskach leśnych. *Aura*, 11: 5–9.
- PARMINTER J. 1998a: Correction factors for coarse woody debris sampling. Research Branch, B.C. Ministry of Forests, Victoria.*
- PARMINTER J. 1998b: Coarse woody debris sampling intensity considerations. Research Branch, B.C. Ministry of Forests, Victoria.*
- PICKFORD S. G., HAZARD J. W. 1978: Simulation studies on line intersect sampling of forest residue. *For. Sci.*, 24: 469–483.
- PIOTROWSKI W., WOLK K. 1975: O biocenotycznej roli martwych drzew w ekosystemach leśnych. *Sylvan*, 8: 31–35.
- Planar Intercept Fuel Inventory Field Guide 1992. USDA For. Serv., Pacific Northwest Res. Stn., Portland; ss. 28.
- REED D. D., MROZ G. D. 1997: Resource assessment in forested landscapes. John Wiley & Sons, New York.
- SAMUELSSON J., GUSTAFSSON L., INGELÖG T. 1994: Dying and dead trees: a review of their importance to biodiversity. Swedish Threatened Species Unit, Uppsala; ss. 109.
- SOLLINS P. 1982: Input and decay of coarse woody debris in coniferous stands in western Oregon and Washington. *Can. J. For. Res.*, 12: 18–28.
- STEVENS V. 1997: The ecological role of coarse woody debris: an overview of the ecological importance of CWD in British Columbia forests. B.C. Working Paper, 30: 1–26.
- TRACZ H. 1980: Znaczenie krocionogów (Diplopoda) w procesie rozkładu szczątków organicznych w środowisku leśnym. *Sylvan*, 2: 49–57.
- VAN WAGNER C. E. 1968: The line intercept method in forest fuel sampling. *For. Sci.*, 14: 20–26.
- VAN WAGNER 1982: Practical aspects of the line intersect method. Inf. Rep. PI-X-12. Petawawa Nat. For. Inst., Can. For. Serv.*
- Vegetation Resources Inventory. Ground Sampling Procedures. 2000. B.C. Ministry of Forests, Resources Inventory Committee, Victoria.*
- WARREN W. G., OLSEN P. F. 1964: A line transect technique for assessing logging waste. *For. Sci.*, 10: 267–276.
- WESOŁOWSKI T. 1993: Martwe drzewa i żywe ptaki. *Biuletyn OTOP*, 3: 13–14.
- WOLSKI J. 2000: Martwe drewno i jego funkcje ekologiczne w lasach zagospodarowanych i rezerwach wybranych LKP. Ocena zapasu martwego drewna metodą Browna [w:] Podstawy trwałego i zrównoważonego zagospodarowania lasów w Leśnych Kompleksach Promocyjnych. Sprawozdanie z I etapu (Aneks C). Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Las (maszynopis powielony).
- WOLSKI J. 2001: Martwe drewno i jego funkcje ekologiczne w lasach zagospodarowanych i rezerwach wybranych LKP. Pomiary zasobów leżącego martwego drewna w lasach czterech wybranych Leśnych Kompleksów Promocyjnych [W:] Podstawy trwałego i zrównoważonego zagospodarowania lasów w Leśnych Kompleksach Promocyjnych. Sprawozdanie z II etapu. Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Las (maszynopis powielony).
- ZASĘPA R. 1972: Metoda reprezentacyjna. PWE, Warszawa; ss. 368.