

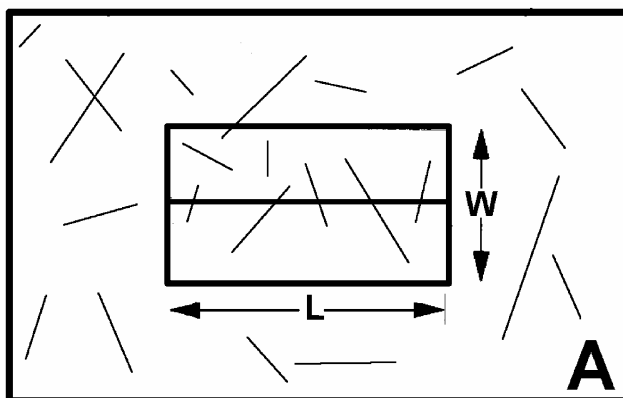
OPIS METODY LINII SIECZNYCH BROWNA

Prezentacja podstaw teoretycznych

Założenia teoretyczne metody bazują na stosunku zmiennej (y_{ij}) opisującej kawałek leżaniny j do prawdopodobieństwa (P_{ij}) jego przecięcia przez linię sieczną i :

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

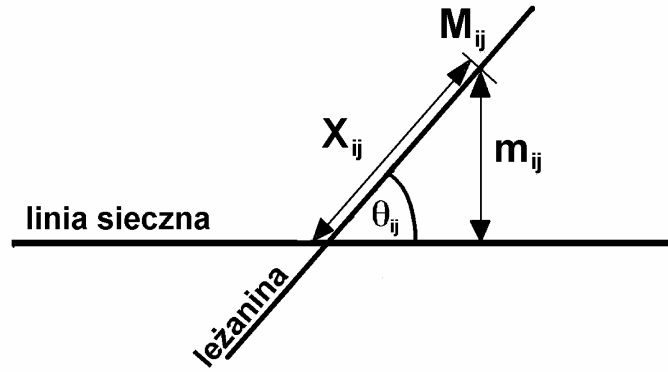
Aby określić prawdopodobieństwo przecięcia kawałka martwego drewna o długości l_{ij} przez linię i należy wyznaczyć hipotetyczną powierzchnię badawczą A wraz z zawartym w niej prostokątem o bokach L i W , gdzie L jest zarazem maksymalną długością linii siecznej i (oś symetrii prostokąta LW), a W ma wartość większą od najdłuższego kawałka leżaniny (ryc. 1).



Rycina 1. Hipotetyczny obraz populacji (powierzchnia A) i próby (prostokąt LW) (według Marshall *et al.* 2000, zmodyfikowane).

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 *et al.* 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 (m_{ij}) łączącego punkt M_{ij} z linią sieczną pod kątem prostym (ryc. 2).



Rycina 2. Zmienne opisujące położenie kawałka leżaniny nad linią sieczną (według Marshall *et al.* 2000, zmodyfikowane).

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:

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

Powierzchnia pod krzywą (3), gdzie $0 < \theta_{ij} < \pi/2$, wynosi w rzeczywistości $l_{ij}/2$, co zostało matematycznie dowiedzione przez Marshalla, Davisa i LeMaya (2000). 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, Sexton 1996), 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). Przy założeniu, że powierzchnia A wynosi 1 ha (10 000 m^2), otrzymujemy ostatecznie:

$$y_i = \frac{\pi^2}{8 \times L} \times \sum_{j=1}^{m_i} d_{ij}^2 \quad (7)$$

W przypadku najdrobniejszego materiału, który klasyfikuje się do odpowiedniej klasy wielkości (0,0-0,6 cm) jedynie za pomocą średnicomierza sortującego, należy przyjąć, że

$$\sum_{j=1}^{m_i} d_{ij}^2 = m \times d_{sr}^2 \quad (8)$$

gdzie: m — liczba kawałków leżaniny, d_{sr} — średnica reprezentatywna dla danej klasy wielkości. Aby określić tę reprezentatywną średnicę należy podzielić klasę 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 opisywanego przedziału. Tak wyliczona średnia różni się od tej obliczonej według wartości szczegółowych, co wynika z różnic między wartościami środkowymi klas, a średnimi jednostek.

Powyższe rozważania dotyczyły obliczeń prowadzonych na próbie. 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. Jednymi z najczęściej wykorzystywanych estymatorów jest średnia arytmetyczna z próby i odchylenie standardowe (Zasępa 1972).

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

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (9)$$

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:

$$S_y^- = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i\right)^2}{n}}{n \times (n-1)}} \quad (10)$$

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:

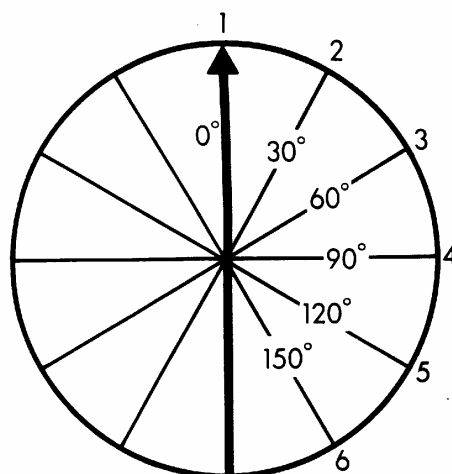
$$\mu_y \in \left\langle \bar{y} - t_{n-1, \alpha/2} \times S_y^-; \bar{y} + t_{n-1, \alpha/2} \times S_y^- \right\rangle \text{ z } P = 1 - \alpha \quad (11)$$

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.

Przebieg prac terenowych

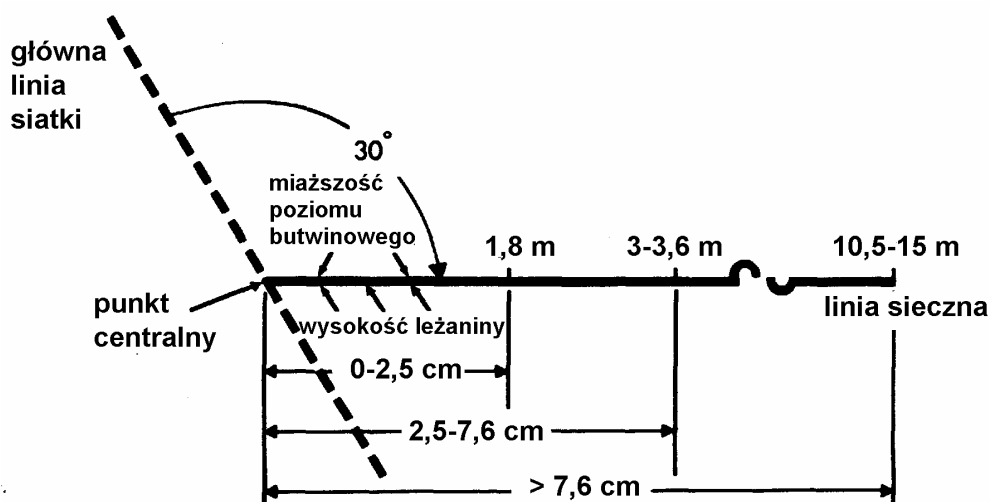
Poniżej przedstawiono zastosowaną w terenie procedurę pomiarów według wytycznych Browna (1974).

1. Wyznaczenie centralnych punktów pomiarowych: wytyczenie w terenie transektów równoległych oddalonych od siebie o 5–10 jednostek (przyjęto 30 m), a następnie zlokalizowanie wzdłuż nich punktów w odległości 2–5 jednostek (przyjęto 10,5 m). Przy wybieraniu odległości kierowano się potrzebą wyeliminowania możliwości nałożenia się linii siecznych.
2. Wyznaczenie z pierwszego oznaczonego punktu centralnego kierunku linii siecznej: za pomocą kostki do gry należy wylosować jeden z sześciu kątów pomiędzy 0° (kierunek głównej linii siatki, 1 oczko), a 150° (6 oczek) — ryc. 3.



Rycina 3. Dopuszczalne kierunki linii siecznych wychodzących z punktu centralnego

- Oznaczenie taśmą mierniczą przebiegu linii siecznej (o długości 10,5 m licząc od punktu centralnego) zgodnie z kierunkiem wylosowanym w pkt. 2.
- Pomiar nachylenia terenu.
- Inwentaryzacja wszystkich kawałków leżącego martwego drewna: o średnicy > 7,6 cm na całej długości linii siecznej (dokładny pomiar średnicy), 2,5–7,6 cm na odcinku 0–3 m, 0–0,6 cm i 0,6–2,5 cm na odcinku 0–1,8 m (ryc. 4). Drobnicę gałęziową i chrust cienki (< 7,6 cm) zalicza się do odpowiednich klas wielkości. W miarę możliwości należy zidentyfikować gatunki tworzące materię drzewną (w praktyce procent gatunków dominujących).

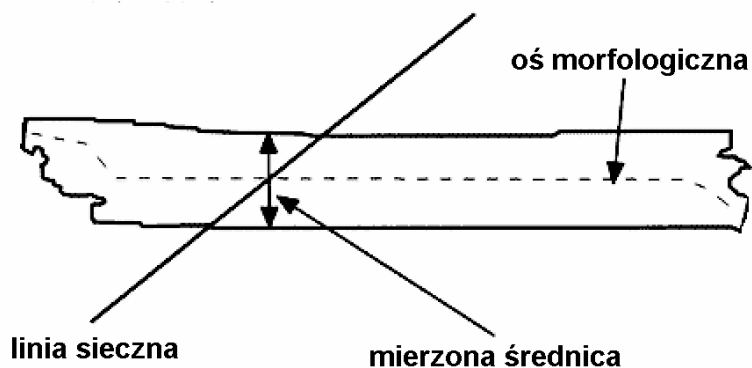


Rycina 4. Lokalizacja poszczególnych elementów pomiarowych

- Sporządzenie dodatkowych opisów grubizny i kłód: pomiar długości i określenie stopnia rozkładu.
- Wykonanie pomiarów miąższości poziomego butwinowego (w odległości 30 cm od punktu centralnego oraz 1,5 m od pierwszego pomiaru) i wysokości najwyżej nad ziemią położonych kawałków leżaniny (w obrębie trzech następujących po sobie odcinków 30-centymetrowych, licząc od punktu centralnego). Punkty muszą leżeć dokładnie na linii siecznej.

Zasady pomiarów poszczególnych kawałków leżaniny są szczegółowo opisane w oficjalnych wytycznych dotyczących inwentaryzacji lasu (*Field Manual for Describing Terrestrial Ecosystems* 1998, *Vegetation Resources Inventory* 2000), tak więc poniżej przedstawiono tylko najważniejsze.

- Mierzona średnica jest odcinkiem prostopadłym do osi morfologicznej kawałka, a środek odcinka jest miejscem przecięcia osi z linią sieczną (ryc. 5); przy pomiarach należy uważać na zjawisko paralaksy.
- Uwzględnia się tylko materiał leżący na i w ściółce — fragmenty zagłębione w poziom organiczny gleby są pomijane.
- Jeśli linia sieczna przetnie dwa i więcej razy ten sam kawałek należy policzyć każde przecięcie jako osobną wartość.
- Nie liczy się kawałków, których oś morfologiczna pokrywa się dokładnie z linią sieczną (bardzo rzadkie przypadki w praktyce).



Rycina 5.

Podczas prac terenowych wykorzystywano stalowe i płócienne taśmy miernicze, metalowe szpilki, busolę z klizimetrem, laskę glebową oraz średnicomierz sortujący (własnego pomysłu). Początki i końce głównych linii siatki (transektów) zostały trwale oznaczone w terenie. Wszystkie wyniki wpisywano do formularza (Załącznik 1).

Najważniejsze modyfikacje metodyki badań terenowych

- a) Wykonano pomiary długości wszystkich kawałków leżaniny o średnicy przekrojów poprzecznych powyżej 0,6 cm (0,6-2,5; 2,5-7,6; pow. 7,6 cm). Średnice zmierzono suwmiarką. Brown zaleca uwzględnianie długości i szczegółowe pomiary przekrojów jedynie kawałków grubszych niż 7,6 cm.
- b) Zmieniono klasyfikację rozkładu martwego drewna. Brown (1974) zaprezentował bardzo uproszczony — zgodny z potrzebami amerykańskich służb ochrony przeciwpożarowej — podział na drewno świeże oraz zbutwiałe. Postanowiono zastosować znacznie dokładniejszą skalę pięciostopniową (tab. 1) — jedną z najczęściej wykorzystywanych w badaniach naukowych na świecie (Harmon, Sexton 1996).

Tabela 1. Klasy rozkładu leżącego martwego drewna

Charakterystyka kłody	Klasa 1	Klasa 2	Klasa 3	Klasa 4	Klasa 5
Struktura drewna	nienaruszona, zwięzła	naruszona, częściowo miękka	duże, twarde fragmenty drewna	małe, bryłowate i miękkie fragmenty	drobne, miękkie kawałki
Kora	nienaruszona	brakujące fragmenty	pozostałości	brak	brak
Gałęzie < 3 cm	obecne	brak	brak	brak	brak
Kształt	okrągły	okrągły	okrągły	okrągło/owalny	owalny
Porcja drewna na ziemi	kłoda wsparta nad ziemią	kłoda uniesiona, osiadająca	kłoda osiadająca, tuż nad ziemią	cała kłoda na ziemi	kłoda na ziemi lub zagłębiona
Kolor drewna	naturalny	naturalny, wyblakły	naturalny do brązowego lub żółtego	wyblakły do żółtego lub szarego	wybielały
Korzenie inwazyjne	brak	brak	w bieli podkorowej	w twardzieli	w twardzieli

- c) Zrezygnowano z pomiarów wysokości najwyżej nad ziemią położonych kawałków leżaniny (charakterystyka pionowej struktury zalegania) oraz miąższości podpoziomu organicznego butwinowego (fermentacyjnego). Pomiary te są wprawdzie zalecane przez Browna (1974), jednakże nie mają związku z wyliczeniem zasobów martwego drewna.
- d) W wielu sytuacjach nie ma potrzeby przeprowadzania pomiarów spadku terenu i nachylenia osi morfologicznej kawałków leżaniny do płaszczyzny poziomej. Współczynnik korygujący nachylenie terenu, stosowany w celu obliczenia rzeczywistej (zredukowanej) długości linii siecznej, czyli jej rzutu na płaszczyznę poziomą, należy uwzględniać tylko wtedy, kiedy jego wartość przekroczy 10%, co następuje przy nachyleniu powyżej 20° (McRae *et al.* 1979, Parminter 1998). Wartość współczynnika korygującego kąt nachylenia osi morfologicznej leżaniny do płaszczyzny poziomej wynosi zaledwie 1,01 przy nachyleniu 10°, a dopiero przy 25° osiąga wartość 1,1. Także wielkość błędu pomiarowego przy małych nachyleniach wskazuje na to, że często takie korekty nie są potrzebne, bowiem dopiero powyżej 25° błąd przekracza 10%.

Wybrana literatura

- Brown J.K. 1974, *Handbook for inventorying downed woody material*, Gen. Tech. Rep. INT-16. Ogden: USDA For. Serv., Intermountain For. Range Exp. Stn.; 24 s.
- Field Manual for Describing Terrestrial Ecosystems 1998. Land Manage. Handb., 25.
- Harmon M.E., Sexton J. 1996, *Guidelines for measurements of woody detritus in forest ecosystems*, US LTER Publication, 20: 1–73.
- Marshall P.L., Davis G., Lemay V.M. 2000, *Using Line Intersect Sampling for Coarse Woody Debris*, For. Res. Tech. Rep., Vancouver Forest Region; 38 s.
- 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., Can. For. Serv.; 56 s.
- Parminter J. 1998, *Correction factors for coarse woody debris sampling*, Research Branch, B.C. Ministry of Forests, Victoria; 3 s.
- Planar Intercept Fuel Inventory Field Guide* 1992. USDA For. Serv., Pacific Northwest Res. Stn., Portland; 28 s.
- Van Wagner C.E. 1968, *The line intercept method in forest fuel sampling*, For. Sci., 14: 20–26.
- Van Wagner C.E. 1982, *Practical aspects of the line intersect method*, Inf. Rep. PI-X-12. Petawawa Nat. For. Inst., Can. For. Serv.; 11 s.
- 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.
- Zasepa R. 1972, *Metoda reprezentacyjna*, PWE, Warszawa; 368 s.
- Wolski J. 2000, *Ocena zapasu martwego drewna metodą Browna* [w:] *Podstawy trwałego i zrównoważonego zagospodarowania lasów w Leśnych Kompleksach Promocyjnych*. Aneks C, Sękocin Las (maszynopis).

nazwa stanowiska:		Nadśnięctwo:			Lesnictwo:					Oddział:											
klasy przekrojów (cm):		0-2,5		2,5-7,6		>7,6 (GPS N: GPS E:															
długość linii próbkowania (m):		1,8		3		10,5															
nr punktu	kąt linii (°)	szuki		średnica (cm)/długość (cm)					> 7,6 cm: średnica (cm)/długość (cm)												
		0-0,6 cm	0,6-2,5 cm	2,5-7,6 cm					I	II	III	IV	V								
1																					
2																					
3																					
4																					
5																					
6																					
7																					
8																					
9																					
10																					
11																					
12																					
13																					
14																					
15																					
16																					
17																					
18																					
19																					
20																					
gatunki dominujące:		procenty:															zbiorowisko:				
1.																	gleby:				
2.																					
3.																					

Załącznik 1. Formularz polowy