

SZYMON BIJAK, MICHAŁ ZASADA

## Oszacowanie biomasy korzeni w drzewostanach sosnowych Borów Lubuskich\*

Assessment of the belowground biomass in Scots pine stands of Bory Lubuskie

### ABSTRACT

Bijak Sz., Zasada M. 2007. Oszacowanie biomasy korzeni w drzewostanach sosnowych Borów Lubuskich. Sylwan 12: 21-29.

Paper presents the results of assessment of root biomass in Scots pines from the Bory Lubuskie forests. For an absence of original formulae for that region, allometric equations and root to shoot ratios taken from literature were applied. Average belowground biomass in the analysed stands amounted between 30,062 and 39,819 t/ha depending on the applied method. In general the older the stand as well as the more moist and fertile the habitat were, the higher values of the roots biomass were obtained.

### KEY WORDS

belowground biomass, allometric equations, root to shoot ratio, Scots pine, Bory Lubuskie

### ADDRESSES

Szymon Bijak – Samodzielny Zakład Dendrometrii i Nauki o Produkcyjności Lasu; Wydział Leśny SGGW; ul. Nowoursynowska 159; 02-776 Warszawa; e-mail: Szymon.Bijak@wl.sggw.pl

Michał Zasada – Samodzielny Zakład Dendrometrii i Nauki o Produkcyjności Lasu; Wydział Leśny SGGW; ul. Nowoursynowska 159; 02-776 Warszawa

### Wstęp

Zwiększone zainteresowanie możliwościami regulacji ilości węgla zakumulowanego w ekosystemach lądowych i wodnych spowodowane zostało wzrastającą zawartością dwutlenku węgla w atmosferze Ziemi i obawami przed przewidywanymi zmianami klimatu wynikającymi ze zmiany zawartości tego gazu. Wyrazem tego są postanowienia Ramowej Konwencji ds. Zmian Klimatu Narodów Zjednoczonych (UNFCCC) i wdrażanie Protokołu Kyoto [Brown 2002]. Obszary leśne uznawane są za jedną z bardziej znaczących możliwości kontroli obecności dwutlenku węgla w atmosferze. Gospodarka leśna zaś, przez regulowanie wielkości obszarów zalesionych i intensywności gospodarowania ekosystemami leśnymi, w znaczący sposób wpływa na kompensowanie wzrostu emisji tego gazu spowodowanego rozwojem gospodarczym jako źródło zarówno emisji, jak i akumulacji węgla. W związku z tym, niezwykle ważne staje się monitorowanie węgla związanego lub uwalnianego w rezultacie użytkowania lasów oraz prognozowanie jego zmian w zależności od różnych scenariuszy.

Znajomość biomasy podziemnej części roślin jest ważnym składnikiem wiedzy o lądowych formach akumulacji węgla, tym bardziej, że uważa się, iż korzenie odpowiadają za produkcję blisko połowy tego pierwiastka, który krąży w lasach [Waisel i in. 1991; Vogt i in. 1996]. Pozna-

\* Prezentowane w niniejszej pracy wyniki są częścią tematu badawczego „Oszacowanie akumulacji węgla przez sosnowe kompleksy leśne w zachodniej Polsce i określenie wpływu różnych alternatyw gospodarowania na dynamikę wiązania węgla” finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego (grant nr P06L 011 29)

nie dystrybucji biomasy w obrębie drzewa ma podstawowe znaczenie dla zrozumienia prawideł rządzących procesami odpowiedzialnymi za magazynowanie węgla w ekosystemach leśnych [Cairns i in. 1997]. Jednakże o ile w przypadku nadziemnej części drzew pomiar i wyznaczenie biomasy nie nastręcza trudności, to w przypadku korzeni wiedza na ten temat nadal jest ograniczona. Spowodowane to jest znaczną czaso- i pracochłonnością badań [Vogt i in. 1998; Gifford 2000; Snowdon i in. 2000], a także brakiem jednolitego podejścia do definicji korzeni. Przegląd literatury dostarcza kilku wartości, które rozgraniczają różne frakcje korzeni. Najczęściej przyjmowany jest podział na drobne (fine roots) i grube (coarse roots) korzenie. Wartością progową jest średnica 2 mm [Gifford 2000; Retzlaff i in. 2001; Mund i in. 2002; Snowdon i in. 2002]. Dalszy podział grubych korzeni na kolejne frakcje następuje także na podstawie średnicy, ale wartości graniczne wahają się od 5 do 300 mm. Niekiedy dodatkowo wyróżnia się, jako oddzielną część, górną partię korzeni, tzw. root crown [Snowdon i in. 2002]. Różni autorzy dość dowolnie uwzględniają poszczególne frakcje przy wyznaczaniu biomasy korzeni. Najczęściej pomijane są korzenie drobne, które albo nie są w ogóle wliczane do biomasy tej części drzewa [Mund i in. 2002], albo przypisywane są do gleby [Noordwijk 1994]. Takie zróżnicowanie utrudnia zastosowanie jednolitych metod w ocenie biomasy podziemnych części drzewa.

Mimo dużego znaczenia temat biomasy korzeni nie jest często podejmowany przez badaczy na świecie [Oleksyn i in. 1999; Mokany i in. 2006]. W Polsce zagadnienie to dotychczas było poruszane praktycznie jedynie w kontekście karpiny przemysłowej, jej wydajności i pozyskania [Andrzejowski 1967; Instrukcja technologiczna... 1957]. Opracowania zajmujące się ilością biomasy podziemnej części drzew stanowią rzadkość. Oleksyn i in. [1992a, b, 1999] analizowali to zagadnienie u sosny różnych europejskich proveniencji, a Jagodziński [2006] – u sosny sadzonej w różnych wariantach więźby. Zastosowanie wyników przedstawionych w tych pracach jest jednakże ograniczone w związku z faktem, iż badania te koncentrowały się na drzewach młodych (12 i 30 lat).

Celem niniejszej pracy jest oszacowanie na podstawie różnych wzorów zaczerpniętych z dostępnej literatury biomasy korzeni w drzewostanach sosnowych trzech grup wiekowych rosnących na siedliskach typowych dla tego gatunku.

## Materiał badawczy

Analizy przeprowadzone w tej pracy opierają się na danych empirycznych zebranych w 18 drzewostanach sosnowych położonych na terenie nadleśnictw Lubsko i Gubin (RDLP Zielona Góra). Badane drzewostany reprezentowały typowe dla sosny siedliska boru suchego (Bs), boru świeżego (Bśw) i boru mieszanego świeżego (BMśw). Ze względu na wiek wyróżniono grupy drzewostanów: młode (do 40 lat), średniowiekowe (od 41-80 lat) i stare (powyżej 81 lat). Dla każdej z dziewięciu możliwych kombinacji wieku i siedliska przeprowadzono pomiary w dwóch drzewostanach.

Poszczególne powierzchnie badawcze wyznaczono tak, aby na każdej z nich znalazło się około 200 drzew. Następnie pomierzono pierśnice wszystkich żywych drzew oraz wysokości 25 drzew, co wykorzystano do sporządzenia krzywej wysokości. Na każdej z powierzchni, proporcjonalnie do liczebności w stopniach pierśnic, wybrano po 5 drzew próbnych, które następnie ścięto. Po ścięciu przeprowadzono sekcyjny pomiar miąższości każdego z drzew w korze i bez kory stosując wzór środkowego przekroju o długości sekcji równej 1 metr. Bezpośrednio po ścięciu, za pomocą dynamometrów określono masę każdego drzewa z uwzględnieniem masy całej strzały w korze oraz korony z podziałem na masę uigłonych gałązek, masę tej części gałęzi żywych, które nie są pokryte igłami, oraz masę gałęzi suchych. Dodatkowo ze strzały pobrano wyrzynki oraz próbki wyżej wymienionych części korony i przekazano je do laboratorium

Instytutu Technologii Drewna w Poznaniu. Wyniki z prowadzonych tam prac pozwoliły na ustalenie gęstości oraz świeżej i suchej masy nadziemnej części drzew. Charakterystyka poszczególnych powierzchni badawczych przedstawiona jest w tabeli.

## Metodyka

Sposoby określenia biomasy korzeni można podzielić na bezpośrednie i pośrednie. Pierwszy rodzaj wykorzystuje do tego pomiary wprost na korzeniach wydobytych z gleby. Metoda ta jest czasochłonna, a jej realizacja wymaga znaczących nakładów finansowych. Sposoby pośrednie polegają na wykorzystaniu zależności między biomasa nadziemnej i podziemnej części drzewa. Relacje te przedstawiane są za pomocą równań allometrycznych oraz wskaźnika R/S (root to shoot ratio) i wymagają jedynie pomiarów na nadziemnej części drzewa. W niniejszej pracy zastosowano pośrednie metody ustalenia biomasy korzeni.

BIOMASA NADZIEMNEJ CZĘŚCI DRZEWA. Wyniki pomiarów terenowych oraz analiz własności fizycznych drewna pozwoliły na opracowanie równania opisującego zależność suchej biomasy nadziemnej części drzewa (strzały wraz z koroną) od pierśnicy i wysokości drzewa. Do oszacowania parametrów funkcji wyrównującej tę zależność zastosowano ważoną metodę najmniejszych kwadratów, gdzie wagą była wartość „ $1/D^2$ ”. Zapewniło to zachowanie homoskedastyczności wariancji odchyleń resztowych. Ostatecznie uzyskano wzór o następującej postaci:

$$BND = 0,0005343 \cdot D^{1,9464087} \cdot H^{0,8008455} \quad [1]$$

gdzie:

$BND$  – biomasa nadziemnej części drzewa,

### Tabela.

Podstawowe charakterystyki powierzchni badawczych  
Basic characteristics of the sample plots

Powierzchnia badawcza	Wiek [lata]	Typ siedliskowy lasu	Dg [cm]	Hg [m]	A [ha]	n [szt.]	BND [t/ha]
GUJA009H	83	Bs	17,8	14,76	0,19	221	130,405
GUJA017A	48	Bs	11,1	10,66	0,08	215	90,150
GUJA017B	39	Bs	10,0	10,38	0,06	209	99,877
GUJA018B	93	Bs	17,6	13,63	0,20	239	123,145
GUJA027H	53	Bs	16,9	13,91	0,19	215	109,591
GUJA027I	26	Bs	9,3	8,49	0,08	208	52,473
LUBR046B	93	BMśw	27,2	22,99	0,36	217	218,191
LUBR047I	26	Bśw	10,9	11,35	0,06	200	116,943
LUBR048K	106	Bśw	23,1	17,37	0,30	206	144,940
LUBR059L	34	BMśw	12,1	13,74	0,08	219	136,510
LUBR059M	23	BMśw	9,6	11,40	0,06	239	141,428
LUBR061I	45	BMśw	12,2	13,57	0,10	218	110,005
LUBR061N	70	Bśw	19,6	19,04	0,24	220	151,723
LUBR074C	85	Bśw	22,0	19,96	0,24	204	182,421
LUBR100I	100	BMśw	27,2	21,52	0,48	239	183,126
LUBR100K	34	Bśw	11,9	14,11	0,07	239	169,770
LUBR109S	60	Bśw	16,5	17,11	0,15	197	141,375
LUBR241D	75	BMśw	20,9	18,02	0,25	184	131,008

Dg – przeciętna pierśnica; Hg – przeciętna wysokość; A – powierzchnia; n – liczebność; BND – biomasa nadziemnej części drzew  
Dg – quadratic mean diameter; Hg – average height; A – area; n – frequency; BND – aboveground biomass

$D$  – grubość drzewa w [cm] na wysokości 1,3 m,

$H$  – wysokość drzewa w [m].

RÓWNANIA ALLOMETRYCZNE. W celu wyznaczenia biomasy korzeni wykorzystano równania allometryczne zaczerpnięte z dostępnej literatury, której obszerne zestawienie przedstawili Zianis i in. [2005] oraz Muukkonen i Mäkipää [2006]. Zastosowane równania można podzielić na dwie grupy. Pierwsza przy wyznaczeniu biomasy korzeni opiera się na informacji o biomase nadziemnej części drzewa, druga zaś wykorzystuje zależności między podstawowymi parametrami dendrometrycznymi (grubość na wysokości 1,3 m i wysokość drzewa) a wyznaczaną cechą.

W grupie pierwszej zastosowaniu podlegały następujące wzory:

$$BPD = \exp^{-1,085+0,9256 \ln(BND)} \quad [2]$$

$$BPD = \exp^{-0,7777+0,8836 \ln(BND)} \quad [3]$$

$$BPD = \exp^{-1,3267+0,8877 \ln(BND)+0,1045 \ln(w)} \quad [4]$$

$$BPD = 0,489 \cdot BND^{0,89} \quad [5]$$

$$BPD = 0,155 \cdot BND^{1,0306} \quad [6]$$

gdzie:

$BPD$  – biomasa podziemnej części drzewa (korzeni),

$BND$  – biomasa nadziemnej części drzewa,

$w$  – wiek.

Wzory [2]-[4] zaczerpnięto z Cairns i in. [1997], a wzór [5] z Mokany i in. [2006]. Dodatkowo z danych wykorzystanych przez Li i in. [2003] wybrano wartości biomasy nadziemnej i podziemnej części drzewostanów sosnowych z Białorusi i Ukrainy, jako reprezentujących warunki klimatyczne i sposób gospodarki najbardziej zbliżone do polskich. Na ich podstawie opracowano równanie opisujące zależność między biomasą korzeni i drzewa. Spośród kilku analizowanych wariantów wybrano wzór, który charakteryzował się najniższą wartością średniego błędu kwadratowego (RMSE) oraz nieistotnie różną od zera wartością średniego błędu prognozy (ME), co oznacza, że model ten nie jest obciążony błędem systematycznym – równanie [6].

W grupie równań opartych o grubość na piersznicy oraz wysokość zastosowano następujące wzory:

$$BPD = 0,01288 \cdot D^{2,74} \quad [7]$$

$$BPD = 0,04261 \cdot D^{2,2419} \quad [8]$$

$$BPD = 0,0423 \cdot H^{0,7665} \cdot D^{1,533} \quad [9]$$

$$BPD = 0,05595 \cdot D^{2,10019503} \quad [10]$$

gdzie:

$BPD$  – biomasa podziemnej części drzewa (korzeni),

$D$  – grubość drzewa w [cm] na wysokości 1,3 m,

$H$  – wysokość drzewa w [m].

Wzór [7] pochodzi z pracy Drexhage i Collin [2002], a równanie [10] – Broadmeadow i Matthews [2004]. Formuły [8] i [9] oryginalnie opracowane przez Santantonio [1977] zaczerpnięto z publikacji Zianis i in. [2005]. Wszystkie wykorzystane wzory przed użyciem doprowadzono do przedstawionych powyżej postaci funkcji potęgowej.

**WSKAŹNIK R/S.** Wyznaczenie biomasy korzeni na podstawie wskaźnika R/S polega na obliczeniu iloczynu biomasy nadziemnej części drzewa przez określoną wartość wskaźnika. Międzynarodowy Zespół do spraw Zmian Klimatu (IPCC) proponuje dla lasów iglastych strefy umiarkowanej przyjmować wartość wskaźnika R/S równą 0,2 [1996]. Cairns i in. [1997] sugerują 0,26, natomiast Kröner [1994] - 0,24. Li i in. [2003] zaproponował równanie allometryczne, które de facto można uznać za funkcyjny zapis wskaźnika R/S o wartości równej 0,222. Ponadto z danych wykorzystanych w tej publikacji, podobnie jak w przypadku wyżej przedstawionego równania allometrycznego [6], wybrano wartości biomasy nadziemnej i podziemnej części drzewostanów sosnowych z Białorusi oraz Ukrainy i na ich podstawie wyznaczono wartość wskaźnika R/S (0,19). Jako że zmienność wskaźnika R/S przełoży się bezpośrednio na zmienność biomasy korzeni wyznaczonej na jego podstawie, wyżej wymienione wartości uśredniono, uzyskując średnią wartość wskaźnika R/S równą 0,2224, którą następnie wykorzystano do wyznaczenia przeciętnej biomasy korzeni.

**BIOMASA KORZENI.** Wykorzystując krzywą wysokości dla każdej powierzchni badawczej obliczono wysokości poszczególnych drzew. Na podstawie pomierzonych pierśnic i obliczonych w ten sposób wysokości wyznaczono wzorem [1] biomasę nadziemnej części 3951 drzew. Następnie, wykorzystując wzory [2]-[10] oraz wskaźnik R/S, obliczono biomasę korzeni każdego drzewa. Sumę biomasy podziemnej części poszczególnych drzew na danej powierzchni badawczej przeliczono następnie na hektar (gęstość biomasy) i stosowano w dalszych rozważaniach.

## Wyniki

**RÓWNANIA ALLOMETRYCZNE.** Analiza średnich wartości biomasy korzeni pojedynczej sosny wyznaczonych za pomocą wzorów [2]-[10] wykazała, że różnice między większością wyników są istotnie na poziomie istotności  $\alpha=0,05$ . Jedynie wyniki uzyskiwane wzorem [2] nie różniły się istotnie od rezultatów zastosowania równań [3], [8] i [9]. Również nie zaobserwowano istotnej różnicy między średnią biomasą wyznaczoną wzorami [3] i [9] oraz [6] i [10]. Współczynnik zmienności przeciętnej biomasy korzeni 3951 sosen z Borów Lubuskich obliczonej na podstawie poszczególnych wzorów wynosił 15,91%. Zauważono, że w porównaniu z innymi wzorami, równania [6] i [10] dają zdecydowanie niższe wartości oszacowania biomasy podziemnej części drzew. Różnice te były istotne statystycznie na poziomie istotności 0,05. Po wyłączeniu tych dwóch formuł, analizowany współczynnik zmienności zmalał do 11,86%. Podobną prawidłowość zaobserwowano porównując średni współczynnik zmienności wyników uzyskanych poszczególnymi wzorami dla pojedynczych drzew. Jedynie u 24 drzew (0,67% analizowanego materiału) wyłączenie wzorów [6] i [10] spowodowało wzrost zmienności uzyskanych wyników. Również analiza gęstości biomasy korzeni (tj. biomasy zakumulowanej na jednostce powierzchni) na poszczególnych powierzchniach badawczych wykazała spadek zmienności uzyskiwanych wyników po nieuwzględnieniu wzorów [6] i [10]. W związku z tym wzory te zostały pominięte w dalszych rozważaniach.

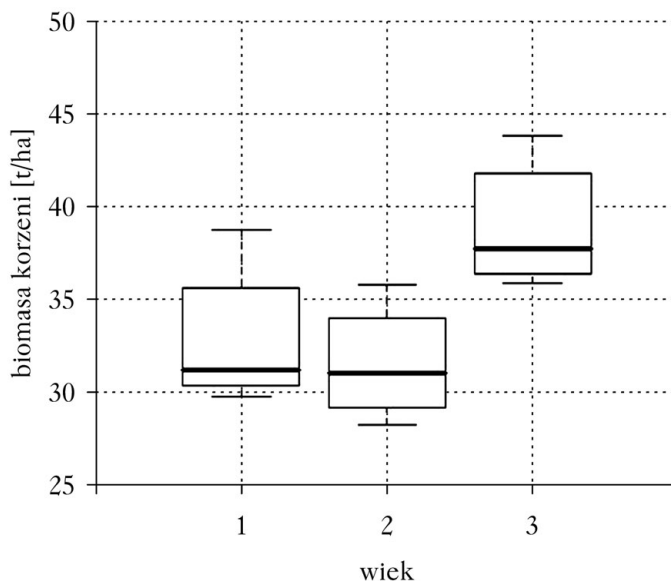
Średnia biomasa korzeni w drzewostanach sosnowych Borów Lubuskich wahała się, w zależności od użytej metody wyliczenia, od 31,440 (równanie [8]) do 39,819 t/ha (równanie [7]).

Wzory oparte na biomase nadziemnej części drzew ([2]-[5]) dawały przeciętnie mniejszą biomasę korzeni niż wzory oparte na wysokości ([7]-[9]), odpowiednio 34,983 i 35,151 t/ha.

Największą przeciętną biomasą korzeni charakteryzowały się drzewostany najstarsze (39,935 t/ha). Wyniki uzyskane poszczególnymi wzorami dla tej grupy wahały się od 35,868 t/ha (równanie [9]) do 52,971 t/ha (równanie [7]). Przeciętne wyniki dla drzewostanów młodych i średniowiekowych były zbliżone – odpowiednio 32,288 i 31,069 t/ha. W przypadku drzewostanów młodych najmniejszy wynik dał wzór [3] – 29,775 t/ha, a największy zaś [9] – 35,693 t/ha. Natomiast dla drzewostanów średniowiekowych najmniejsze oszacowanie biomasy korzeni uzyskano wzorem [8] – 28,212 t/ha, największe zaś ponownie równaniem [5] – 35,816 t/ha (ryc. 1.).

Przeciętna biomasa korzeni sosen rosnących na siedliskach Bśw i BMśw (odpowiednio 37,855 i 38,188 t/ha) nie różni się istotnie od siebie, jest natomiast istotnie większa, niż na siedlisku Bs (27,249 t/ha). Najmniejsze wyniki oszacowania biomasy korzeni dla najsuchszych siedlisk uzyskano wzorem [2] – 24,937 t/ha, największe zaś [7] – 31,332 t/ha. Dla siedlisk Bśw i BMśw najmniejsze wyniki uzyskano równaniem [8] – odpowiednio 33,668 i 33,822 t/ha. Natomiast największe wyniki dały wzór [5] – 43,621 t/ha (Bśw) i [7] – 44,757 t/ha (BMśw) (ryc. 2.).

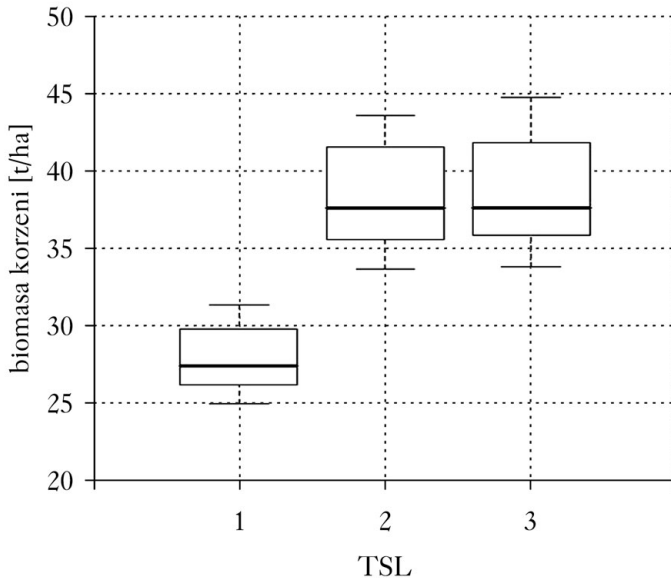
WSKAŹNIK R/S. Przeciętna biomasa korzeni w drzewostanach sosnowych Borów Lubuskich liczona na podstawie wskaźnika R/S wyniosła 30,062 t/ha. W przypadku drzewostanów młodych i średniowiekowych wartości biomasy korzeni były zbliżone (odpowiednio 26,577 i 27,201 t/ha) i były zdecydowanie niższe niż w drzewostanach najstarszych (36,408 t/ha). W ujęciu siedliskowym biomasa podziemnej części drzew charakteryzowała się większymi wartościami wraz ze wzrostem wilgotności i żyzności siedliska. Na borze suchym wynosiła ona 22,449 t/ha, a na borze świeżym 33,626 t/ha, co niewiele się różni od BMśw (34,111 t/ha).



Ryc. 1.

Średnia biomasa korzeni w drzewostanach sosnowych Borów Lubuskich oszacowana równaniami [2]-[10] w trzech grupach wiekowych; 1 – drzewostany młode (<40 lat); 2 – drzewostany średniowiekowe (41-80 lat); 3 – drzewostany stare (>81 lat)

Average belowground biomass in Scots pine stands from Bory Lubuskie forests determined with formulae [2]-[10] for three age groups; 1 – young (<40 years); 2 – middle-aged (41-80 years); 3 – old (>81 years) stands



Ryc. 2.

Średnia biomasa korzeni w drzewostanach sosnowych Borów Lubuskich oszacowana równaniami [2]-[10] w trzech typach siedliskowych lasu; 1 – bór suchy; 2 – bór świeży; 3 – bór mieszany świeży

Average belowground biomass in Scots pine stands from Bory Lubuskie forests determined with formulae [2]-[10] for three forest site types; 1 – dry coniferous forest; 2 – fresh coniferous forest; 3 – fresh mixed coniferous forest

## Dyskusja

Zastosowane do określenia biomasy korzeni formuły dały istotnie różne wyniki. Przyczyn tego należy upatrywać w pochodzeniu tych wzorów. Parametry równań były wyznaczane na materiale empirycznym zebrany w warunkach środowiskowych odmiennych niż polskie. Należy też pamiętać, że kosztowność i pracochłonność badań systemów korzeniowych skutkuje tym, iż wzory są opracowywane na niezbyt dużej liczbie drzew próbnych, co z kolei w znaczącym stopniu ogranicza możliwości szerszego zastosowania tych formuł [Snowdon i in. 2000]. Duża zmienność wyników zastosowania poszczególnych metod (współczynnik zmienności wahał się od 84 do 116%) oraz, dodatkowo, brak możliwości odniesienia uzyskanych rezultatów do wyników z terenu Polski stanowiły zasadniczą trudność w ocenie ich przydatności do szacowania biomasy podziemnej części drzew w drzewostanach sosnowych Borów Lubuskich. Wartości biomasy podziemnej części drzew wyliczane przy pomocy wskaźnika R/S były niższe niż uzyskane z zastosowania równań allometrycznych. Zaobserwowane zależności znajdują potwierdzenie w pracach Cairns'a i in. [1997] i Mokany'ego i in. [2006], jednakże wielkość różnic podawana przez tych autorów była blisko 2-krotnie większa niż uzyskanych w tej pracy. Powyższe obserwacje nie pozwalają na rekomendację którejkolwiek z analizowanych metod jako najlepszej do wyznaczania biomasy korzeni. Konieczne jest przeprowadzenie stosownych badań umożliwiających opracowanie równań allometrycznych bądź wskaźnika R/S, które będzie można stosować dla terenów Polski.

Zaobserwowane ogólne prawidłowości w zmianach biomasy korzeni wraz ze zmianami cech drzewostanu (wiek, przeciętna pierśnica i wysokość) znajdują potwierdzenie w dostępnych

w literaturze rezultatach badań. Zwiększenie się biomasy podziemnej części drzew wraz ze wzrostem wieku drzewostanów obserwowane było też przez Mund'a i in. [2002] u świerka, a Snowdon'a i in. [2000] wykazali tę prawidłowość również dla różnych gatunków drzew z Australii. W polskich warunkach Jagodziński [2006] obserwował wzrost biomasy korzeni wraz z wiekiem niezależnie od początkowej i końcowej więzby sadzenia, lecz okres badawczy wynosił zaledwie 2 lata.

Znając biomasaę korzeni jesteśmy w stanie oszacować ilość węgla jaka zostanie zakumulowana w podziemnej części drzewostanu, co może stanowić o znaczeniu i roli, jaką korzenie odgrywają w tym procesie. Przyjmując zalecany przez IPCC [1996] przelicznik wynoszący 50% suchej biomasy można określić możliwości akumulacyjne drzewostanów sosnowych Borów Lubuskich w tym zakresie na od około 15,5 do blisko 20 ton węgla na hektarze. Odniesienie tych wartości do powierzchni zajętej przez sosnę (ponad 4,85 mln ha – Leśnictwo [2005]) pozwala oszacować ilość węgla, którą mogą zakumulować w korzeniach drzewostany sosnowe całej Polski, a stanowi ona, w zależności od wejściowej metody wyznaczania biomasy korzeni, od 36 do 46% rocznego limitu emisji CO<sub>2</sub> przyznanego Polsce przez Komisję Europejską

## Wnioski

W pracy przeanalizowano dziewięć wzorów służących do określania biomasy podziemnej części drzew. W zależności od zastosowanej metody wyniki oszacowania biomasy korzeni drzewostanów sosnowych Borów Lubuskich wahały się od 31,440 do 39,819 t/ha, co odpowiada od około 15,5 do blisko 20 ton węgla magazynowanego na hektarze. Uzyskane rezultaty potwierdziły wcześniejsze przypuszczenie, że im starszy drzewostan i im żyzniejsze siedlisko, tym większa biomasa podziemnej części drzew. Jednakże brak oryginalnych rozwiązań dla terenu Polski pozwolił jedynie na ogólne oszacowanie ilości węgla możliwej do zakumulowania w systemach korzeniowych sosnowych kompleksów Borów Lubuskich. Istota problemu wiązania węgla oraz fakt, iż analizowane metody dawały zróżnicowane i istotnie odmienne od siebie wyniki, sugeruje konieczność podjęcia badań nad opracowaniem stosownych równań, które umożliwią dokładniejsze określenie biomasy korzeni w warunkach naszego kraju.

## Literatura

- Andrzejewski L. 1967. Karpina przemysłowa. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa.
- Broadmeadow M., Matthews R. 2004. Survey methods for Kyoto Protocol monitoring and verification of UK forest carbon stocks. UK Emissions by Sources and Removals by Sinks due to Land Use, Use Change and Forestry Activities, Report. CEH, Edinburgh (June 2004).
- Brown S. 2002. Measuring carbon in forests: current status and future challenge, *Environmental Pollution* 116: 363-372.
- Brown S., Schroeder P. 1999. Spatial distribution of biomass of the eastern USA, *Forest Ecology and Management* 123: 81-90.
- Cairns M., Brown S., Helmer E., Baumgardner M. 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests, *Oecologia* 111: 1-11
- Davis M., Allen R., Clinton P. 2003. Carbon storage along a stand development sequence in a New Zealand Nothofagus forest, *Forest Ecology and Management* 177: 313-321.
- Drexhage M., Colin F. 2002. Estimating root system biomass from breast-height diameters, *Forestry* 74: 491-497.
- Gifford R. 2000. Carbon Content of Woody Roots (revision 1), NCAS tech. rep. no. 7, Australian Greenhouse Office.
- Instrukcja technologiczna pozyskiwania karpiny. 1957. Warszawa.
- IPCC. 1996. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual
- Jackson R., Candell J., Ehleringer J., Mooney H., Sala O., Schulze E. 1996. A global analysis of root distributions for terrestrial biomes, *Oecologia* 108: 389-411.
- Jagodziński A. M. 2006. Ekologiczne konsekwencje hodowli sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w różnym zagęszczeniu, praca doktorska, Instytut Dendrologii PAN, Kórnik.
- Kröner C. 1994. Biomass fractionation in plants: a reconsideration of definitions based on plant functions W: Roy J., Garnier E. [red.]. A whole plant perspective on carbon-nitrogen interactions, SPB Academic, Haga. 173-185.



- Lakida P., Nilsson S., Shvidenko A. 1996. Forest Phytomas and Carbon in European Russia. Working Papers, International Institute for Applied System Analyses.
- Lamloom S., Savidge R. 2003. A reassessment of carbon content in wood: variation within and between 41 North American species. *Biomass and Bioenergy* 25: 381-388.
- Leśnictwo. 2006. Informacje i opracowania statystyczne. GUS, Warszawa.
- Li Z., Kurz W., Apps M., Beukema S. 2003. Belowground biomass dynamics in the Carbon Budget Model of the Canadian Forest Sector: recent improvement and implications for the estimation of NPP and NEP, *Canadian Journal of Forest Research* 33: 126-136.
- Mokany K., Raison R., Prokushkin A. 2006. Critical analysis of root:shoot ratios in terrestrial biomes. *Global Change Biology* 12: 84-96.
- Mund M., Kummert E., Hein., Baier G., Schulze E. 2002. Growth and carbon stocks of spruce forest chronosequence in central Europe. *Forest Ecology and Management* 171: 275-296.
- Oleksyn J., Reich P., Chalupka W., Tjoelker M. 1999. Differential above – and below-ground biomass accumulation of European *Pinus sylvestris* populations in a 12-year-old provenance experiment, *Scandinavian Journal of Forest Research* 14: 7-17.
- Oleksyn J., Tjoelker M. G., Reich P. B. 1992a. Growth and biomass partitioning of populations of European *Pinus sylvestris* L. under simulated 50° and 60° N day-lengths: evidence for photoperiodic ecotypes. *New Phytology* 120: 561-574.
- Oleksyn J., Tjoelker M. G., Reich P. B. 1992b. Wholeplant CO<sub>2</sub> exchange of seedlings of two *Pinus sylvestris* L. provenances grown under simulated photoperiodic conditions of 50° and 60° N. *Trees* 6: 225-231.
- Retzlaff W., Handest J., O'Malley D., McKeand S., Topa M. 2001. Whole-tree biomass and carbon allocation of juvenile trees of loblolly pine (*Pinus taeda*): influence of genetics and fertilization. *Canadian Journal of Forest Research* 31: 960-970.
- Ritson P., Sochacki S. 2003. Measurement and prediction of biomass and carbon content of *Pinus pinaster* in farm forestry plantations, south-western Australia. *Forest Ecology and Management* 175: 103-117.
- Snowdon P., Eamus D., Gibbons P., Khanna P., Keith H., Raison. J., Kirschbaum M. 2000. Synthesis of Allometrics, Review of Root Biomass and Design of Future Woody Biomass Sampling Strategies, NCAS tech. rep. no. 17, Australian Greenhouse Office.
- Snowdon P., Raison. J., Keith H., Ritson P., Grierson P., Adams M., Montagu K., Hiu-quan B., Burrows W., Eamus D. 2002. Protocol for sampling tree and stand biomass, NCAS tech. rep. no. 31, Australian Greenhouse Office.

## SUMMARY

### Assessment of the belowground biomass in Scots pine stands of Bory Lubuskie

Belowground parts of the plant play an important role in the process of carbon sequestration by the trees. Despite this great importance of the root biomass, there has been very limited research aiming to determine amount of carbon stored by roots in Polish forests. The objective of the study was to assess root biomass of Scots pines from the Bory Lubuskie forests.

Empirical material was collected in 18 Scots pine stands of different age and site conditions. For an absence of original formulae for Poland, 9 allometric equations and root to shoot ratio taken from literature were applied. Belowground biomass was calculated for each stand and formulae, and then compared in terms of age and habitat type.

Average belowground biomass in the analysed stands amounted between 30,062 and 39,819 t/ha depending on the applied method. The expected general pattern was confirmed. The older the stand as well as the more moist and fertile the habitat were, the higher values of the roots biomass were obtained.

However, great variability of applied methods influenced the results. Significant differences in the results suggest the necessity of the elaboration of particular equations devoted for that region.