

## Szacowanie nadziemnej biomasy drzewnej lasów w Polsce na potrzeby sprawozdawczości EKG/FAO i UNFCCC

Estimating above-ground woody biomass of forests in Poland  
for UNECE/FAO and UNFCCC reporting

**Marek Jabłoński\***, **Piotr Budniak**

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

\* Tel. +48 22 7150660, e-mail: M.Jablonski@ibles.waw.pl

**Abstract.** The United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol have committed member states to reduce greenhouse gas emissions by, among others, promoting the increase of carbon sequestration by carbon sinks (including woody biomass in forests). In order to achieve these objectives, an international reporting system was designed.

The stock of woody biomass depends on several environmental and managerial factors, which determine species composition and age structure of a forest as well as characteristics of individual trees. Estimating above ground woody biomass, especially on a nation-wide level, is generally based on the application of conversion factors to known characteristics such as the volume of the growing stock. The application of default conversion factors, as proposed by international guidelines, however, is questionable, since inventory systems for and definitions of growing stock differ from country to country.

In this paper, the methods used in Poland to estimate woody biomass for the FAO and the UNFCCC reporting, were presented and analysed. We also analysed the influence of some stand and tree characteristics, such as tree species composition and content of bark and its density, on the stock of woody biomass. We conclude that issues not addressed in the IPCC guidelines, such as big differences in wood and bark density, especially for pine, need to be taken into consideration when making estimations. Moreover, the results of this paper show that biomass conversion and expansion factors (BCEF) proposed by IPCC are not adequate for Polish conditions.

**Key words:** woody biomass, wood and bark density, BEF, BCEF, IPCC guidelines, carbon sequestration

### 1. Wprowadzenie

Począwszy od 1946 roku Organizacja Narodów Zjednoczonych do Spraw Wyżywienia i Rolnictwa (FAO) wspólnie z Europejską Komisją Gospodarcą ONZ (EKG) prowadzą ocenę stanu lasów na świecie. Bezpośrednio po drugiej wojnie światowej podstawowym obszarem zainteresowania opinii publicznej był problem dostępności surowca drzewnego. W odpowiedzi na zmieniające się postrzeganie roli i znaczenia lasów (Bengtsson et al. 2000; Farrell et al. 2000) stopniowo

rozszerzał się zakres tematyczny informacji zbieranych przez FAO (FAO 2010).

Zaniepokojenie światowej opinii publicznej stanem środowiska naturalnego, w szczególności wpływem antropogenicznych zanieczyszczeń atmosfery ziemskiej na zmianę klimatu Ziemi i wynikające z tego następstwa, legło u podstaw przyjęcia w 1992 roku ramowej konwencji narodów zjednoczonych w sprawie zmian klimatu (ang. – United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC). W dokumencie wykonawczym do konwencji, to znaczy protokole z Kioto (Kyoto

Protocol 1998), strony UNFCCC zobowiązały się zmniejszyć ogólną emisję sześciu gazów cieplarnianych oraz ustaliły główne zasady osiągnięcia tego celu. Jednym ze sposobów zmniejszenia emisji, obok redukcji emisji przemysłowych, są działania sprzyjające zwiększaniu sekwestracji węgla poprzez działania w zakresie użytkowania ziemi, zmian użytkowania ziemi i leśnictwa (ang. – land use, land use change and forestry, LULUCF) (Michalak, Jabłoński 2007).

Raportowanie emisji i pochłaniania gazów cieplarnianych z działań w ramach artykułu 3.3 (zalesienia, wylesienia) i 3.4 protokołu z Kioto (m.in. gospodarka leśna), zgodnie z decyzją podjętą podczas konferencji państw stron konwencji i protokołu (COP/MOP), w pierwszym okresie zobowiązań, tj. w latach 2008–2012, powinno się odbywać z zastosowaniem wytycznych dobrych praktyk opracowanych w 2003 r. przez Międzyrządowy Panel do Spraw Zmian Klimatu (Decision 17/CMP.1 2006). Wytyczne IPCC (Penman et al. 2003) określają m.in. sposoby wyznaczania tzw. kategorii kluczowych – pul węgla wymaganych do raportowania w ramach sześciu głównych kategorii użytkowania gruntów. Ponadto wytyczne te zawierają ogólne założenia raportowania oraz wskaźniki domyślne, do stosowania w sytuacji braku szczegółowych modeli i wskaźników krajowych.

Dane dotyczące wielkości biomasy drzewnej i zasobów węgla w lasach publikowane są w opracowaniach FAO oraz Europejskiej Komisji Gospodarczej ONZ (EKG) (UNECE/FAO 2000, FAO 2006, FAO 2010). Stan i zmiany zasobów węgla stanowią również jeden ze wskaźników trwałości i zrównoważonej gospodarki leśnej podlegającej ocenie w ramach Ministerialnego Procesu Ochrony Lasów Europy (MCPFE/UNECE/FAO 2003; MCPFE/UNECE/FAO 2007; Forest Europe/UNECE/FAO 2011). Za przygotowanie danych dotyczących wielkości biomasy drzewnej w Polsce na potrzeby wymienionych opracowań odpowiadał Instytut Badawczy Leśnictwa.

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie rozwiązań stosowanych w Polsce do szacowania wielkości nadziemnej biomasy drzewnej w kontekście potrzeb sprawozdawczości międzynarodowej, w szczególności ocena wskaźników domyślnych zaproponowanych przez IPCC. Analiza dotychczasowych rozwiązań, dostępności danych i prowadzonych w ostatnich latach badań pozwoli ponadto na wskazanie kierunków działań przyszłych – badań niezbędnych do udoskonalenia procesu sprawozdawczości.

## 2. Ogólne założenia dotyczące szacowania biomasy drzewnej

Szacowanie biomasy drzew w lasach w zależności od dostępnych danych wejściowych może odbywać się za pomocą jednego z dwóch sposobów (Somogyi et al. 2007; Zasada et al. 2008). Pierwszy polega na wykorzystaniu funkcyjnej zależności pomiędzy wielkością biomasy a takimi parametrami drzewa jak pierśnica czy wysokość. Natomiast w przypadku posiadania zagregowanych danych inwentaryzacyjnych (np. miąższości grubizny), zastosowanie znajdują współczynniki przeliczeniowe, umożliwiające oszacowanie biomasy tej części drzew lub całych osobników, która nie podlega procedurom inwentaryzacyjnym (Brown et al. 1999), oraz przeliczenie miąższości ( $m^3$ ) na masę (tony).

Zagadnienie szacowania biomasy drzewnej, szczególnie w ostatnich dekadach, było przedmiotem wielu badań naukowych. Przykładowo w pracy Zianisa i in. (2005) wymieniono ponad sześćset wzorów empirycznych do szacowania biomasy całych drzew lub ich poszczególnych komponentów. W przypadku Polski cytowani autorzy (Zianis et al. 2005) wyszczególniają 17 równań dla sosny, które w większości pochodzą z pracy Oleksyna i in. (1999) dotyczącej 12-letnich upraw proweniencyjnych. Muukkonen i in. (2006) w uzupełnieniu do wcześniejszego opracowania (Zianis et al. 2005), wymieniają 188 algorytmów do szacowania biomasy europejskich gatunków drzew, z czego dwa równania dotyczą szacowania biomasy igliwia sosny w Polsce. Istnienie dużej zależności pomiędzy wielkością biomasy a takimi zmiennymi jak gatunek i wiek drzewa, warunki siedliskowe czy sposób zagospodarowania (Zianis et al. 2005) powoduje, że szacowanie biomasy drzewnej w ujęciu ponadlokalnym wymaga szczególnej uwagi. Ponadto Somogyi i in. (2007) zwracają uwagę na problem rozbieżności definicyjnych oraz możliwości stosowania równań przeliczeniowych opracowywanych na podstawie mało licznych materiałów empirycznych. O ile w konkretnych warunkach parametrem najsilniej skorelowanym z biomasą drzewa jest na przykład pierśnica, a jego wysokość i wymiary korony mają mniejsze znaczenie (Cienciala et al. 2008), to w innym przypadku właśnie wysokość drzew jest wskazywana jako parametr najmocniej skorelowany z biomasą, zwłaszcza w ujęciu wielkopowierzchniowym (Fang et al. 2006).

Złożoność zagadnienia powoduje, że również badania empiryczne prowadzone dotychczas w Polsce nie miały kompleksowego charakteru. Prace badawcze dotyczące zależności pomiędzy wymiarami liniowymi sosny (pierśnicą, wysokością) a jej biomasą nadziemną prowadzili ostatnio m.in. Socha i Wężyk (2004) oraz Zasada i in. (2008). Autorzy badań realizowanych w

Puszczy Niepołomickiej (Socha i Wężyk 2004) oraz Lasach Lubuskich (Zasada et al. 2008) w odrębnych pracach zamieścili wyniki dotyczące biomasy igliwia (Socha i Wężyk 2007; Bronisz et al. 2009). Opracowanie równań na biomase igliwia sosny było również przedmiotem badań Jelonka i in. (2011). Pietrzykowski i Socha (2011) analizowali wielkość biomasy sosny na gruntach zrehabilitowanych. Z kolei szacowaniem biomasy podziemnej brzozy i sosny na gruntach porolnych zajmowali się Jagodziński i Kałucka (2011) oraz Bijak i in. (2013). Warto również zwrócić uwagę na prace Orła i in. (2005, 2006a, 2006b). Wymienieni autorzy za pomocą równań empirycznych opracowanych przez innych naukowców (w tym zagranicznych), podjęli się oszacowania biomasy nadziemnej całych drzewostanów, od warstwy podszytu do głównego piętra.

W przypadku raportów przygotowywanych dotychczas przez Polskę na potrzeby sprawozdawczości międzynarodowej do FAO i UNFCCC, informacją wyjściową, dostępną w statystykach krajowych była miąższość grubizny drzew według gatunków panujących i klas wieku. Do określenia biomasy nadziemnej posłużono się współczynnikami przeliczeniowymi.

Oszacowanie całkowitej biomasy nadziemnej może się odbywać za pomocą dwóch wskaźników – ekspansji i gęstości lub jednego, który pozwala na bezpośrednie przeliczenie miąższości użytkowej (na przykład grubizny) na tony suchej masy (Lehtonen et al. 2004). W wytycznych IPCC (Penman et al. 2003) wprowadzono dwa odrębne zestawy wskaźników do obliczania wielkości biomasy, tj. wskaźniki ekspansji (ang. – biomass expansion factors, BEFs) oraz wskaźniki gęstości drewna (ang. – wood density, WD). Wskaźnik ekspansji to stosunek całkowitej miąższości nadziemnej drzewostanu do miąższości drewna użytkowego (podlegającego inwentaryzacji). W opracowanych w 2006 r. kolejnych wytycznych IPCC (Eggleston et al. 2006) do szacowania nadziemnej biomasy drzewnej na podstawie miąższości drewna użytkowego zaproponowano zestaw wskaźników o nazwie BCEF (ang. – biomass conversion and expansion factors). Jak podkreślają Eggleston i in. (2006), z metodycznego punktu widzenia wskaźniki BCEF odpowiadają iloczynowi wskaźników gęstości (WD) i ekspansji (BEF). W wielu pracach naukowych (np. Brown et al. 1997; Brown i Schroeder 1999; Lehtonen et al. 2004; Wojtan et al. 2011) współczynniki do bezpośredniego przeliczenia miąższości drewna użytkowego na całkowitą biomase drzew opisywane są pod pojęciem BEF. W niniejszej pracy, ze względu na występujące w ocenach FAO (2004a, 2008) odwołania do wytycznych IPCC (Penman et al. 2003; Eggleston et al. 2006), przyjęto sposób definiowania wskaźników z wymienionych wytycznych. Jednocześnie wydaje się, że rozdzielenie procesów szacowania zasobów drzewnych

oraz przeliczenia ich na tony (suchej masy) ułatwi ocenę wskaźników.

### 3. Metody szacowania nadziemnej biomasy drzewnej dla Polski

#### 3.1. Ocena zasobów leśnych EKG/FAO dla roku 2000 (TBFRA-2000)

Zgodnie z przyjętą przez EKG/FAO definicją biomasy drzewnej, raportowaniu na potrzeby oceny zasobów drzewnych lasów strefy borealnej i umiarkowanej (ang. – temperate and boreal forest resources assessment, TBFRA-2000) powinna podlegać biomasa zdrewniałych części drzew (drewno, kora, gałęzie, pniaki, korzenie), z wyłączeniem listowia, mierzonych od pierśnicy 0 cm (UNECE/FAO 2000). Tak zdefiniowana biomasa była m.in. pochodną zapasu na pniu, który wg definicji EKG/FAO obejmował zdrewniałą część drzew również mierzonych od pierśnicy 0 cm, z wliczeniem wierzchołków i grubszych gałęzi.

W Polsce określenie zapasu na pniu na potrzeby oceny TBFRA-2000 wymagało uzupełnienia wartości dostępnych w polskich statystykach (grubizny) o miąższość gałęzi, wierzchołków i całych drzew nie uwzględnianych w procedurach inwentaryzacyjnych (obliczeniowych), tj. o średnicy lub pierśnicy poniżej 7 cm w korze. Do tego celu wykorzystano tablice zasobności i przyrostu drzewostanów zestawione przez Szymkiewicza (1971). Na podstawie danych dotyczących struktury gatunkowej, wiekowej i bonitacyjnej zasobów drzewnych w Państwowym Gospodarstwie Leśnym Lasy Państwowe (PGLLP) obliczono przeciętną bonitację poszczególnych gatunków w układzie klas wieku. Dla danego gatunku, klasy wieku i klasy bonitacji określono następnie wskaźnik ekspansji, tj. iloczyn zasobności ogółem i zasobności grubizny według tablic Szymkiewicza (1971). W przypadku drzewostanów I klasy wieku (do 20 lat włącznie), nieuwzględnionych w tablicach zasobności, przyjęto wielkość zasobów na podstawie szacunków wykonanych przez Łonkiewicza (1992). Wskaźniki ekspansji (BEF) określone przy użyciu tablic Szymkiewicza (1971) w przypadku sosny wynosiły od 1,67 dla drzewostanów w wieku 21–40 lat do 1,10 dla drzewostanów ponad 140 letnich. Uogólniony wskaźnik dla gatunków iglastych łącznie wynosił 1,265, a dla gatunków liściastych – 1,170. Z wykorzystaniem wymienionych wskaźników obliczono zasoby drzewne lasów w Polsce, przyjmując za punkt wyjścia miąższość grubizny, publikowaną przez Główny Urząd Statystyczny.

Należy zauważyć, że tablice zestawione przez Szymkiewicza nie uwzględniają miąższości drzew i krzewów wchodzących w skład niższych warstw drzewostanów.

Oszacowanie wielkości tych zasobów w ramach oceny TBFRA-2000 nie było możliwe.

Wielkość biomasy drzewnej na potrzeby oceny TBFRA-2000 została określona jako iloczyn zapasu na pniu i wskaźników gęstości. Dla gatunków iglastych przyjęto wskaźnik gęstości wynoszący 0,4, dla liściastych – 0,57. Posłużono się wskaźnikami stosowanymi w ocenie EKG/FAO dla roku 1990 (Łonkiewicz 1992). Wskaźniki te odnosiły się do zasobów drzewnych w korze i uwzględniały różną gęstość drewna i kory. Zagadnienie zmienności wskaźników gęstości drewna i kory będzie przedmiotem analiz w dalszej części pracy.

### 3.2. Ocena zasobów leśnych FAO dla roku 2005 (FRA 2005)

Punktem wyjścia do szacowania biomasy drzewnej dla FRA 2005 (ang. – Forest Resources Assessment), podobnie jak i we wcześniejszej ocenie FAO, była miąższość zasobów drzewnych. Należy jednak zauważyć, że w przypadku oceny FRA 2005 nastąpiła zmiana definicji zasobów drzewnych na pniu względem definicji stosowanej dla TBFRA-2000. Każdy kraj miał możliwość raportowania zasobów według zadeklarowanej przez siebie minimalnej średnicy drzew na wysokości piersnicy oraz w cieńszym końcu (FAO 2004b). W przypadku Polski jako wartość minimalną przyjęto stosowaną w praktyce gospodarczej średnicę 7 cm w korze – raportowaniu do FRA 2005 podlegała tylko miąższość grubizny (Michalak et al. 2005).

Wytyczne FAO (2004a), przygotowane na potrzeby FRA 2005, zalecały określanie biomasy drzewnej przede wszystkim z wykorzystaniem krajowych wskaźników ekspansji i gęstości drewna. W sytuacji braku wskaźników krajowych należało stosować współczynniki

**Tabela 1. Wskaźniki umownej gęstości drewna [g/cm<sup>3</sup>]**  
Table 1. Basic wood densities [grams dry matter / cm<sup>3</sup> fresh volume]

| Rodzaj drzewa<br>Tree genus | Wytyczne IPCC<br>IPCC Guidelines<br>(Penman et al.<br>2003) | Krajowy raport<br>inwentyzacyjny<br>Poland's National<br>Inventory Report<br>(KOBiZE 2013) |
|-----------------------------|---|--|
| Sosna / Pine                | 0,42  | 0,43   |
| Świerk / Spruce             | 0,40  | 0,38   |
| Jodła / Fir                 | 0,40  | 0,36   |
| Buk / Beech                 | 0,58  | 0,57   |
| Dąb / Oak                   | 0,58  | 0,57   |
| Grab / Hornbeam             | 0,63  | 0,63   |
| Brzoza / Birch              | 0,51  | 0,52   |
| Olsza / Alder               | 0,45  | 0,43   |
| Topola / Populus            | 0,35  | 0,35   |
| Osika / Aspen               | 0,35  | 0,36   |

regionalne. Jeżeli powyższe nie było możliwe, należało ostatecznie korzystać ze zbioru ogólnych wskaźników zagregowanych przez IPCC (Penman et al. 2003).

Do określenia wielkości biomasy drzewnej dla Polski posłużono się wskaźnikami domyślnymi BEF i WD z wytycznych IPCC. Zaproponowany w wytycznych IPCC (Penman et al. 2003) wskaźnik ekspansji (BEF) dla gatunków iglastych strefy umiarkowanej wynosił 1,3, a dla gatunków liściastych – 1,4. Wskaźniki gęstości drewna dla wybranych rodzajów drzew z wytycznych IPCC zawiera tabela 1.

Przyjęcie domyślnych wskaźników do szacowania biomasy wynikało z dwóch przesłanek. Po pierwsze krajowe wskaźniki ekspansji określone na potrzeby oceny TBFRA-2000 zdezaktualizowały się wobec zmiany struktury wiekowej i gatunkowej lasów w Polsce. Dodatkowo sama wielkość zasobów drzewnych na pniu była wynikiem szacunków eksperckich wobec zaprzestania przez GUS w 1998 roku publikowania informacji o miąższości lasów w Polsce.

### 3.3. Ocena zasobów leśnych FAO dla roku 2010 (FRA 2010)

W przypadku FRA 2010 zachowano definicję zasobów drzewnych na pniu z poprzedniej oceny (FAO 2007). W polskim sprawozdaniu do FRA 2010 wykazano miąższość grubizny. Wytyczne przygotowane przez FAO (2008) wskazywały na możliwość stosowania dwóch zestawów wskaźników domyślnych opracowanych przez IPCC dla potrzeb szacowania biomasy nadziemnej. Możliwe było posługiwanie się, podobnie jak przy ocenie FRA 2005, wskaźnikami ekspansji i gęstości drewna (BEF i WD) lub wskaźnikami BCEF. W efekcie uzgodnień przeprowadzonych z przedstawicielami Europejskiej Komisji Gospodarczej ONZ, tj. jednostki weryfikującej dane krajowe dla regionu Europy, dla potrzeb oceny biomasy nadziemnej lasów w Polsce przyjęto proponowane przez IPCC wskaźniki BCEF. Wielkości wskaźników BCEF są zróżnicowane w zależności od strefy klimatycznej, gatunku drzewa (lub typu lasu) i przeciętnej zasobności drzewostanów. Średnie wielkości wskaźników BCEF dla lasów strefy umiarkowanej (Eggleston et al. 2006) zamieszczono w tabeli 2. Wyboru wskaźników dla Polski dokonano na podstawie przeciętnej zasobności lasów, wynoszącej ponad 200 m<sup>3</sup>/ha. Zachowanie spójności z danymi raportowanymi dla wcześniejszych lat sprawozdawczych (1990, 2000, 2005) wymagało ich przeliczenia przy użyciu nowych wskaźników. Rozwiązanie metodyczne przyjęte dla FRA 2010 zastosowano również na potrzeby raportu opracowanego w ramach Ministerialnego Procesu Ochrony Lasów Europy (Forest Europe/UNECE/FAO 2011).



**Tabela 2. Wskaźniki domyślne BCEF (wartości średnie) do określania biomasy nadziemnej lasów strefy umiarkowanej wg wytycznych IPCC z 2006 r.**

Table 2. Default BCEF factors (average values) for expansion merchantable growing stock volume to above-ground biomass for temperate forests (after IPCC Guidelines 2006)

| Typ lasu<br>Forest type                      | Zasobność [m <sup>3</sup> /ha]<br>Growing stock [m <sup>3</sup> /ha] |       |        |         |      |
|--|--|-------|--------|---------|------|
|  | ≤20  | 21–40 | 41–100 | 101–200 | >200 |
| <b>Liściaste</b><br>Broad-leaved             | 3,0  | 1,7   | 1,4    | 1,05    | 0,8  |
| <b>Sosna</b><br>Pine                         | 1,8  | 1,0   | 0,75   | 0,7     | 0,7  |
| <b>Pozostałe iglaste</b><br>Other coniferous | 3,0  | 1,4   | 1,0    | 0,75    | 0,7  |

### 3.4. Raportowanie na potrzeby UNFCCC i protokołu z Kioto

W ramach konwencji klimatycznej i protokołu z Kioto raportowaniu podlegają emisje i pochłanianie dwutlenku węgla m.in. z obszarów leśnych. Szacowanie zmian wielkości biomasy drzewnej jest etapem pośrednim tego raportowania. Jednostką odpowiedzialną za przygotowanie raportów (zgłoszeń) dotyczących pochłaniania i emisji dwutlenku węgla przez lasy w Polsce jest Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE).

Z informacji zamieszczonych w ostatnim krajowym zgłoszeniu do UNFCCC (KOBiZE 2013) wynika, że określanie zmian wielkości biomasy nadziemnej odbywało się zgodnie z wytycznymi IPCC (Penman et al. 2003). Zastosowane w raporcie KOBiZE (2013) wskaźniki gęstości drewna dla wybranych rodzajów drzew zawiera tabela 1. Wskaźniki te posłużyły KOBiZE (2013) do określenia tzw. przeciętnego wskaźnika gęstości drewna, który wynosił 0,446 g/cm<sup>3</sup>. Do jego obliczenia wykorzystano informacje o strukturze miąższociowej według gatunków panujących w lasach zarządzanych przez PGLLP (BULiGL 2012). Wskaźniki dotyczące przyrostu miąższoci grubizny w PGLLP powiększono poprzez zastosowanie wskaźników BEF z wytycznych IPCC (Penman et al. 2003), wynoszących 1,3 i 1,4 odpowiednio dla gatunków iglastych i liściastych (KOBiZE 2013).

## 4. Analiza stosowanych wskaźników i rozwiązań metodycznych

### 4.1. Wskaźniki gęstości drewna

Gęstość drewna zależy od szeregu czynników, z których do najważniejszych należą gatunek drzewa oraz wilgotność drewna (Krzysik 1974). Duże znaczenie ma także wiek i czynniki środowiskowe (Splawa-Neyman 1994), udział drewna późnego (Tomczak, Jelonek 2012), oraz zabiegi gospodarcze (Splawa-Neyman et al. 1995). Równie istotne jest położenie geograficzne, gdyż gęstość drewna tego samego gatunku jest różna w poszczególnych regionach Polski (Witkowska, Lachowicz 2013).

Gęstość drewna, czyli stosunek masy do objętości (wrażany w g/cm<sup>3</sup> lub kg/m<sup>3</sup>), uwzględnia porowatość drewna oraz zawartą w drewnie wodę (Krzysik 1974). Wraz ze wzrostem gęstości drewna spada jego wilgotność (Gieffing, Jabłoński 1989; Hylińska-Raczkowska 1996). W przypadku chemicznego przerobu drewna, gdy o wydajności materiałowej decyduje nie objętość, ale zawartość substancji drzewnej w jednostce objętości, znajdują zastosowanie tzw. wskaźniki gęstości umownej drewna, tzn. stosunek masy drewna w stanie suchym i objętości w stanie maksymalnego spęcznienia (Krzysik 1974). Ze stanem maksymalnego spęcznienia utożsamia się objętość drzew rosnących w drzewostanie i stan tuż po ich ścięciu (Witkowska, Lachowicz 2013). Dlatego też do szacowania wielkości biomasy drzewnej w lasach wykorzystywane są wskaźniki umownej gęstości drewna.

Posługiwanie się wskaźnikami gęstości drewna w stanie suchym w odniesieniu do zasobów na pniu prowadzi do przeszacowania wielkości biomasy. Ich ewentualne wykorzystanie jest możliwe tylko w sytuacji zastosowania dodatkowego wskaźnika, charakteryzującego zmiany miąższoci w wyniku wysychania drewna, tj. całkowitego skurczu objętościowego. Takie podejście przyjęto w ostatnim krajowym raporcie na potrzeby konwencji klimatycznej (KOBiZE 2013). Mimo, że w raporcie KOBiZE brak jest jednoznacznych zapisów, to wielkości wskaźników oraz spis literatury sugerują, że prawdopodobnym ich źródłem jest publikacja Krzysika (1974).

Należy zauważyć, że wskaźniki gęstości drewna wymienione w raporcie KOBiZE (2013) różnią się nieznacznie od wskaźników proponowanych w wytycznych IPCC dla gatunków drzew lasów strefy borealnej i umiarkowanej (Penman 2003; tab. 1). Źródłem wskaźników proponowanych przez IPCC jest praca Dietza (1975). Z kolei Krzysik (1974) nie precyzuje źródła wskaźników zamieszczonych w swoim opracowaniu. Jednakże identyczne wielkości wskaźników gęstości

drewna w stanie suchym opublikował w 1951 roku Kollmann (za Trendelenburg, Mayer-Wegelin 1955).

Różnice pomiędzy wskaźnikami wykorzystanymi w polskim raporcie do konwencji klimatycznej oraz wymienionymi w wytycznych IPCC są niewielkie. Przeciętny wskaźnik gęstości (dla wszystkich gatunków łącznie) określony na podstawie wskaźników z wytycznych IPCC jest prawie identyczny z zastosowanym w raporcie polskim ( $0,446 \text{ g/cm}^3$ ) i wynosi  $0,444 \text{ g/cm}^3$ . W przypadku poszczególnych gatunków, różnice gęstości rzędu  $0,01 \text{ g/cm}^3$  mogą wynikać z zaokrąglania wskaźników gęstości umownej do dwóch miejsc po przecinku.

W przypadku posługiwania się wskaźnikami gęstości drewna do szacowania wielkości biomasy wskaźniki te powinny odpowiadać wartościom przeciętnym dla danego gatunku w kraju. Podobnie jak w przypadku wskaźników BEF, określenie przeciętnych dla kraju wartości gęstości drewna, nawet dla jednego gatunku, ze względu na jej dużą zmienność, stanowi duże wyzwanie. Problem dobrze ilustrują między innymi wyniki pracy Witkowskiej i Lachowicza (2013), według których umowna gęstość drewna strzały sosny wynosi  $0,417 \text{ g/cm}^3$ , czyli jest prawie identyczna ze wskaźnikiem opracowanym przez Dietza (1975). Witkowska i Lachowicz (2013) stwierdzili zarazem, że umowna gęstość drewna sosny na siedlisku boru świeżego wynosi średnio  $0,419 \text{ g/cm}^3$ , na siedlisku boru mieszanego świeżego –  $0,415 \text{ g/cm}^3$ , a na siedlisku lasu mieszanego świeżego –  $0,409 \text{ g/cm}^3$ . Wymienione wartości średnie są efektem uwzględnienia materiału badawczego pochodzącego z czterech lokalizacji w Polsce. Średnia umowna gęstość drewna na siedlisku boru mieszanego świeżego wynosiła  $0,432 \text{ g/cm}^3$  w Lasach Zielonogórskich,  $0,411 \text{ g/cm}^3$  w Borach Tucholskich, a tylko  $0,402 \text{ g/cm}^3$  w Puszczy Knyszyńskiej. Określenie wartości przeciętnej dla kraju wymagałoby więc określenia średniej ważonej, wynikającej m.in. z miąższości danego gatunku według typów siedliskowych lasu i położenia geograficznego, a także struktury wiekowej. Należy zauważyć, że badania Witkowskiej i Lachowicza (2013) przeprowadzone aż na 400 drzewach próbnych nie uwzględniały jednak pełnego zakresu wieku drzew.

Obserwowane, szczególnie u sosny, zmniejszanie się gęstości drewna w kierunku od nasady pnia do wierzchołka drzewa (Trendelenburg, Mayer-Wegelin 1955; Pazdrowski 1992; Pikk i Kask 2004; Witkowska i Lachowicz 2012) wymaga również odpowiedniego ujęcia w obliczeniach. Gęstość drewna powinna być określona na podstawie pomiarów wykonanych na różnych wysokościach i przy zastosowaniu średniej ważonej poszczególnych sekcji (Helińska-Raczkowska i Fabisiak 1992). Przywoływane wielkości z pracy Witkowskiej i Lachowicza (2013) pochodzą z pomiarów na trzech wysokościach na pniu, jednak są to średnie arytmetyczne.

Gęstość drewna zależy również od stanowiska biosocjalnego drzewa, a relacje te dodatkowo mogą zmieniać się z wiekiem (Pazdrowski i Splawa-Neyman 1993). Z badań cytowanych autorów wynika, że w przypadku sosny drzewa górujące i panujące charakteryzujące się wyższą gęstością drewna w porównaniu do drzew opanowanych. Pazdrowski i Splawa-Neyman (1993) analizowali jednak gęstość drewna w stanie suchym i tylko na wysokości pierśnicy. Najwyższą gęstość drewna drzew górujących (w ponad 100-letnich drzewostanach sosny) stwierdzili również Jelonek i in. (2009), ale tylko dla obszarów porolnych. Natomiast w przypadku obszarów pokrytych roślinnością leśną co najmniej od trzech pokoleń, autorzy ci (Jelonek et al. 2009) zaobserwowali, że drzewa przechodzące do niższych klas biosocjalnych charakteryzują się wyższą gęstością. Również Helińska-Raczkowska i Fabisiak (1992) stwierdziły, że drzewa charakteryzujące się szybkim wzrostem (tzw. rozpieracze) cechują się niską średnią gęstością. Dla sosen w wieku 23 lat uzyskały umowną gęstość drewna w zakresie  $0,321\text{--}0,360 \text{ g/cm}^3$ .

W kontekście szacowania zmian biomasy drzewnej na potrzeby konwencji klimatycznej i protokołu z Kioto warto zwrócić uwagę na badania prowadzone przez Tomczaka i Jelonka (2013) w drzewostanach sosnowych w wieku 88–102 lata. Z analiz wykonywanych na zdecydowanie obszerniejszym materiale empirycznym niż we wcześniejszej pracy (Jelonek et al. 2009) wynika, że u sosny na gruncie porolnym drewno na wysokości pierśnicy charakteryzuje się istotnie niższą gęstością umowną ( $0,435 \text{ g/cm}^3$ ) niż u drzew na obszarach leśnych od co najmniej kilku pokoleń ( $0,478 \text{ g/cm}^3$ ). Jest to między innymi efekt szybszego przyrostu na grubość sosen na gruntach porolnych (Tomczak et al. 2009). Poprzez analogię do badań Splawy-Neymana i in. (1995) można spodziewać się, że drzewostany powstałe w wyniku sukcesji naturalnej, o mniejszym niż w odnowieniach sztucznych zagęszczeniu drzew, będą charakteryzować się większym udziałem drewna młodocianego, co przekłada się na niższą gęstość drewna (Tomczak i Jelonek 2012).

Precyzyjne szacowanie biomasy drzewnej dla kraju wymaga uwzględnienia różnic gęstości drewna w obrębie poszczególnych gatunków i pomiędzy nimi (tab. 1). W sytuacji określania przeciętnej gęstości łącznie dla wszystkich gatunków, tak jak odbywa się to w raportach przygotowywanych przez Polskę w ramach konwencji klimatycznej (KOBIZE 2013), uzyskany wskaźnik gęstości będzie zależał od udziału poszczególnych gatunków w miąższości ogółem. KOBIZE (2013) do określenia przeciętnej gęstości drewna wykorzystało udział według gatunków panujących w lasach PGLLP

**Tabela 3. Struktura gatunkowa zasobów drzewnych w Polsce**

Table 3. Species composition of forests in Poland

| Rodzaj drzewa<br>Tree genus | Miąższość grubizny wg gatunków panujących w PGL LP (BULiGL 2012)<br>Merchantable volume of growing stock by dominant species in State Forests' stands (BULiGL 2012) |      | Miąższość grubizny wg gatunków rzeczywistych w Polsce (BULiGL 2013)<br>Merchantable volume of growing stock by species in Poland (BULiGL 2013) |      |
|-----------------------------|---|------|--|------|
|                             | 1×10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>  | %    | 1×10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>   | %    |
| Sosna /Pine                 | 1250,8  | 69,7 | 1407,2 <sup>1)</sup>   | 58,5 |
| Świerk /Spruce              | 104,9   | 5,8  | 168,8  | 7,0  |
| Jodła / Fir                 | 51,9  | 2,9  | 89,5   | 3,7  |
| Buk / Beech                 | 105,7   | 5,9  | 165,2  | 6,9  |
| Dąb / Oak                   | 123,5   | 6,9  | 256,8 <sup>2)</sup>  | 10,7 |
| Grab / Hornbeam             | 4,7   | 0,3  | 29,1   | 1,2  |
| Brzoza / Birch              | 75,3  | 4,2  | 149,3  | 6,2  |
| Olsza / Alder               | 71,1  | 4,0  | 112,5  | 4,7  |
| Topoła / Populus            | 1,4   | 0,1  | 3,3  | 0,1  |
| Osika / Aspen               | 4,1   | 0,2  | 23,1   | 1,0  |

<sup>1)</sup> i pozostałe niewymienione w tabeli gatunki iglaste / and other coniferous species not listed in the table

<sup>2)</sup> i pozostałe liściaste / and other broad-leaved species

(tab. 3), określony przez BULiGL (2012). Według danych wielkoobszarowej inwentaryzacji stanu lasu (BULiGL 2013) struktura zasobów drzewnych polskich lasów według gatunków rzeczywistych odbiega od układu według gatunków panujących w lasach PGLLP. Przede wszystkim zwraca uwagę niższy (o ponad 10%) udział sosny (tab. 3). Z kolei wyższy udział dębu to w dużej mierze efekt wyróżniania drzew z niższych warstw drzewostanów. Ogólny wskaźnik gęstości dla wszystkich gatunków określony na podstawie rzeczywistego udziału gatunków z inwentaryzacji wielkoobszarowej (BULiGL 2013) wynosi 0,455 g/cm<sup>3</sup>. Różnica względem wskaźnika stosowanego w polskim zgłoszeniu w ramach konwencji klimatycznej (0,446 g/cm<sup>3</sup>) przekłada się na dwuprocentową różnicę wielkości biomasy drzewnej.

#### 4.2. Udział i gęstość kory

Udział kory, w zależności od gatunku drzewa i jego wieku, może wynosić od kilku do ponad dwudziestu procent. W związku z małym znaczeniem gospodarczym kory, traktowanej jako odpad przemysłowy (Krzysik 1974), jej właściwości fizyczne, zwłaszcza w Polsce, były przedmiotem badań w dużo mniejszym zakresie niż właściwości drewna. Wskaźniki (umownej) gęstości kory wybranych gatunków drzew określone przez Dietza (1975) zamieszczono w tabeli 4. Wobec tego, że gęstość kory jest niższa niż gęstość drewna, szczególnie głównych gatunków w lasach Polski, tj. sosny, dębu i świerka, obliczanie biomasy drzewnej powinno być wykonywane oddzielnie dla kory i drewna.

**Tabela 4. Umowna gęstości kory (Dietz 1975)**

Table 4. The bark density (after Dietz 1975)

| Rodzaj drzewa<br>Tree genus | Gęstość kory<br>The bark density |
|-----------------------------|----------------------------------|
|                             | g/cm <sup>3</sup>                |
| Sosna /Pine                 | 0,30                             |
| Świerk / Spruce             | 0,34                             |
| Jodła / Fir                 | 0,46                             |
| Buk / Beech                 | 0,58                             |
| Dąb / Oak                   | 0,42                             |
| Grab / Hornbeam             | 0,53                             |
| Brzoza / Birch              | 0,56                             |
| Olsza /Alder                | 0,43                             |
| Topoła / Populus            | 0,41                             |
| Osika / Aspen               | 0,43                             |

Takie podejście zastosowano przy obliczaniu średniowych wskaźników gęstości przyjętych w Polsce dla potrzeb oceny TBFA-2000.

W celu określenia etatu użytkowania netto (bez kory) w Lasach Państwowych przyjmuje się współczynnik redukcji względem miąższości brutto (w korze) wynoszący 0,8 (Instrukcja 2012). Jest to duże uproszczenie, polegające na uśrednieniu wskaźników udziałów kory dla poszczególnych gatunków i klas wieku. Prawdopodobnie omawiany współczynnik redukcji obejmuje również tzw. straty na wyróbce.

Przeciętny wskaźnik gęstości zasobów drzewnych w Polsce, określony na podstawie wskaźników gęstości drewna i kory z badań Dietza (1975), przy 20% udziale kory, wynosi 0,437 g/cm<sup>3</sup> (tab. 5). Wielkość biomasy drzewnej określona z uwzględnieniem gęstości kory, przy założeniu 20% jej udziału, jest mniejsza o 4%

**Tabela 5. Biomasa grubizny drzew lasów w Polsce i przeciętny wskaźnik gęstości zasobów drzewnych**Table 5. Woody biomass and average density of merchantable components of growing stock volume ( $\geq 7$  cm over bark) of forests in Poland

| Rodzaj drzewa<br>Tree genus   | Miąższość grubizny w Polsce (BULiGL 2013)<br>Merchantable volume of growing stock in Poland (BULiGL 2013) | Biomasa określona na podstawie wskaźników umownej gęstości drewna (Dietz 1975)<br>Woody biomass based on the density of wood (Dietz 1975) | Biomasa określona z wykorzystaniem wskaźników umownej gęstości drewna i kory (Dietz 1975)<br>Woody biomass based on the density of wood and bark (Dietz 1975) |  |
|---|---|---|---|--|
|   |   |   | udział kory – 20%<br>share of bark – 20%  | udział kory – 15%<br>share of bark – 15% |
|   | $1 \times 10^6 \text{ m}^3$   | $1 \times 10^6 \text{ t}$   | $1 \times 10^6 \text{ t}$   | $1 \times 10^6 \text{ t}$                |
| Sosna / Pine  | 1407,2  | 591,0   | 557,3   | 565,7                                    |
| Świerk / Spruce   | 168,8   | 67,5  | 65,5  | 66,0                                     |
| Jodla / Fir   | 89,5  | 35,8  | 36,9  | 36,6                                     |
| Buk / Beech   | 165,2   | 95,8  | 95,8  | 95,8                                     |
| Dąb / Oak   | 256,8   | 149,0   | 140,7   | 142,8                                    |
| Grab / Hornbeam   | 29,1  | 18,4  | 17,8  | 17,9                                     |
| Brzoza / Birch  | 149,3   | 76,1  | 77,6  | 77,2                                     |
| Olsza / Alder   | 112,5   | 50,6  | 50,2  | 50,3                                     |
| Topola / Populus  | 3,3   | 1,2   | 1,2   | 1,2                                      |
| Osika / Aspen   | 23,1  | 8,3   | 8,6   | 8,6                                      |
| Ogółem / Total  | 2 405,0   | 1 093,8   | 1 051,6   | 1 062,2                                  |
| Wskaźnik gęstości [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ]<br>Average density factor [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ] |   | 0,455   | 0,437   | 0,442                                    |

względem wielkości określonej tylko na podstawie wskaźnika gęstości drewna.

W przypadku zastosowania rzeczywistych wskaźników udziału kory dla poszczególnych gatunków można oczekiwać bardziej precyzyjnych wyników. Do gatunków o najmniejszym udziale kory należy buk. Z badań przeprowadzonych przez Dudzińską (2004) wynika, że udział miąższości kory buka w drzewostanach karpaczkich (w wieku 30–130 lat) zawiera się w przedziale od 4% w drzewostanach najstarszych do 15% w najmłodszych i średnio wynosi 7%. Mniejszy udział kory buka nie wpływa na dokładność obliczania biomasy, ponieważ gatunek ten według Dietza (1975), charakteryzuje się identyczną gęstością umowną drewna i kory. Gatunkami o dużych różnicach gęstości drewna i kory są natomiast sosna i dąb. Według Bruchwalda (1998) u dębu średni udział kory wynosi około 19%, czyli jest zbliżony do ogólnego wskaźnika stosowanego w PGLLP. Stosując z kolei opracowane przez Rymer-Dudzińską (1997) wzory empiryczne dla obliczania udziału miąższości kory sosny, uzależniające tę cechę od średniej wysokości drzewostanu, uzyskuje się udział kory mniejszy niż przyjęty w praktyce gospodarczej. W drzewostanach o wysokości 10 m udział miąższości kory sosny wynosi 19%, ale w drzewostanach o wysokości 20 i 30 m – odpowiednio 15 i 12%.

Wielkość biomasy drzewnej określona przy 15% udziale kory będzie mniejsza o 3% od wielkości określonej tylko na podstawie wskaźnika gęstości drewna (tab. 5).

### 4.3. Wskaźniki ekspansji (BEF)

Wskaźnik ekspansji BEF dla gatunków iglastych przyjęty na potrzeby oceny TBFRA-2000, wynoszący 1,265, był prawie identyczny ze wskaźnikiem proponowanym przez Trampler (1982) dla tej grupy gatunków (1,264). Zbieżność wskaźników wskazuje na podobny schemat postępowania, tj. zastosowanie tablic zasobności i przyrostu drzewostanów (Szymkiewicz 1971) do określenia udziału drobnicy (części drzew o grubości poniżej 7 cm). Dla gatunków liściastych Trampler (1982) przyjął wskaźnik ekspansji 1,208, a więc nieco wyższy od wskaźnika określonego tylko przy użyciu tablic zasobności przy okazji oceny TBFRA-2000 – 1,170.

Wskaźniki ekspansji przyjęte na potrzeby oceny TBFRA-2000 nie uwzględniają biomasy igieł i liści, ujmowanej we wskaźnikach domyślnych IPCC (Penman et al. 2003). Orzeł i in. (2006a) określili udział igliwia w biomasy drzewostanów sosnowych Puszczy Niepołomickiej w wysokości 3,2% całkowitej biomasy nadziemnej. Z obliczeń wykonanych przez Orła i in. (2006a) wynika dodatkowo, że udział podszytu w biomasy ogółem analizowanych drzewostanów sosnowych wynosił 1,3%. Według Wojtana i in. (2011) udział uigłonych gałęzi sosny stanowi prawie 5% biomasy drzewnej. Wskaźnik ekspansji dla gatunków iglastych przyjęty w ocenie TBFRA-2000, po uwzględnieniu biomasy igieł (i ewentualnie podszytów) jest więc zbliżony do wskaźnika domyślnego IPCC, wynoszącego 1,3.



Większe różnice występują pomiędzy wskaźnikami ekspansji dla gatunków liściastych. Wskaźnik domyślny IPCC wynosi bowiem 1,4, a wskaźnik oszacowany na podstawie tablic zasobności Szymkiewicza (1971) dla potrzeb oceny TBFRA-2000 zaledwie 1,17. Z badań prowadzonych przez Orła i in. (2005, 2006b) w drzewostanach olszowych i dębowych wynika, że biomasa aparatu asymilacyjnego stanowiła mniej niż 2% nadziemnej biomasy drzew ogółem. Autorzy ci oszacowali również udział biomasy warstwy podszytu na około 1% i nieco ponad 2% odpowiednio w drzewostanach dębowych i olszowych (Orzeł et al. 2005, 2006b).

Przeprowadzenie jednoznacznej weryfikacji wskaźników ekspansji stosowanych w sprawozdawczości międzynarodowej na podstawie badań dotyczących wielkości i alokacji biomasy drzewnej w polskich lasach nie jest jednak możliwe. Przykładowo, badania Sochy i Wężyka (2004) oraz Zasady i in. (2008) ukierunkowane były na poszukiwanie równań empirycznych do szacowania biomasy pojedynczych drzew (na podstawie ich pierśnicy i wysokości), a nie do ustalenia wskaźników ekspansji, uwzględniających m.in. niższe warstwy drzewostanów. Z kolei na podstawie badań Orła i in. (2005, 2006a, 2006b) możliwe jest opracowanie wskaźników ekspansji, jednak względem miąższości strzał, a nie miąższości grubizny określanej w ramach prac inwentaryzacyjnych. Dodatkowo warto zwrócić uwagę na problem posługiwania się algorytmami opracowanymi na różnym materiale empirycznym. Określony przez Orła i in. (2006a) udział kory sosny w miąższości strzał ogółem (11,5%), niższy niż wskazują badania Rymer-Dudzińskiej (1997), może wynikać z szacowania zasobów kory jako różnicy miąższości strzał w korze i bez kory, ze stosowania wzorów na pierśnicową liczbę kształtu grubizny drzewa w korze opracowanych dla kraju (Bruchwald 1996) i współczynników do szacowania miąższości strzał bez kory reprezentatywnych dla obiektu badań (Orzeł et al. 2006b).

Istotnym problemem w ocenie wskaźników ekspansji i wyborze metody ich określania jest ponadto kwestia definicyjna, związana z biomasa pniaków, tj. nadziemnej części pni pozostałych po ścięciu drzew i ich ujęcia w miąższości strzały lub grubizny drzewa. Zagadnienie to zostanie szerzej przybliżone w następnym rozdziale, niemniej należy zauważyć, że domyślne wskaźniki BEF dotyczą biomasy nadziemnej od poziomu gruntu (Penman et al. 2003).

#### 4.4. Wskaźniki konwersji i ekspansji (BCEF)

W opracowanych w 2006 r. kolejnych wytycznych IPCC (Eggleston et al. 2006) do szacowania nadziemnej biomasy drzewnej na podstawie miąższości grubizny zaproponowano nowy zestaw wskaźników o nazwie

BCEF (biomass conversion and expansion factors). Podstawę dla zróżnicowania wskaźników BCEF w zależności od zasobności drzewostanów stanowiła funkcyjna zależność pomiędzy biomasa drzewną a miąższością drzewostanów stwierdzona m.in. przez Brown i in. (1997) (tab. 2).

Wielkość nadziemnej biomasy drzewnej lasów w Polsce, określona na podstawie miąższości grubizny (tab. 5) za pomocą wskaźników BCEF dla drzewostanów o przeciętnej zasobności ponad 200 m<sup>3</sup>/ha (tab. 2) wynosi 1757 mln ton, tj. o 60% więcej niż biomasa grubizny (tab. 5) obliczona z zastosowaniem wskaźników gęstości z pracy Dietza (1975). Ponieważ z metodycznego punktu widzenia wskaźniki BCEF odpowiadają iloczynowi wskaźników gęstości i ekspansji (Eggleston et al. 2006), wymienioną różnicę (60% biomasy grubizny) należałoby interpretować jako biomasa drzewną nie podlegającą procedurom inwentaryzacyjnym. W przypadku gatunków iglastych ewentualny wskaźnik BEF, określony jako składowa wskaźnika BCEF z uwzględnieniem gęstości drewna podanej przez Dietza (1975), byłby jeszcze większy i wynosiłby 1,66.

Zaproponowane przez IPCC wskaźniki BCEF wydają się zbyt wysokie, co potwierdzają m.in. badania prowadzone przez Wojtana i in. (2011). Opracowany przez wymienionych autorów wskaźnik do szacowania biomasy nadziemnej sosny na podstawie miąższości strzały wynosi 0,547. Wojtan i in. (2011) obliczony przez siebie wskaźnik opisali jako BEF, lecz według podejścia przyjętego w wytycznych IPCC i w niniejszej pracy, odpowiada on wskaźnikowi BCEF. Wskaźnik ekspansji (BEF) określony na podstawie wskaźnika Wojtana i in. (2011) przy gęstości drewna 0,42 g/cm<sup>3</sup> (tab. 1) wynosi 1,30.

Źródłem wskaźnika BCEF przyjętego w wytycznych IPCC dla sosny strefy lasów umiarkowanych jest prawdopodobnie praca Brown i Schroedera (1999) dotycząca biomasy drzewostanów sosnowych w Stanach Zjednoczonych. W pracy wymienionych autorów wskaźnik BCEF dla drzewostanów sosnowych o miąższości (drewna użytkowego na pniu) powyżej 100 m<sup>3</sup>/ha wynosi 0,81. W cytowanej publikacji oryginalnie użyto pojęcia BEF, ale jego opis odpowiada wskaźnikowi BCEF według podejścia stosowanego w wytycznych IPCC i w niniejszej pracy. Zgodnie ze standardami przyjętymi w USA, miąższość drewna użytkowego na pniu określana jest bez kory, wskaźnik z publikacji Brown i Schroedera (1999) uwzględnia więc doszacowanie m.in. biomasy kory. Z raportu przygotowanego przez Stany Zjednoczone na potrzeby oceny FRA 2010 wynika, że do przeliczenia miąższości bez kory na miąższość w korze przyjmuje się udział kory wynoszący 14% (GFRA 2010). Oznacza to, że w sytuacji, gdy wskaźnik BCEF miałby być stosowany w odniesieniu do zasobów

w korze (tak jak w Polsce), powinien wynosić około 0,7, co odpowiada wielkości zamieszczonej w wytycznych IPCC z 2006 r. (tab. 2).

Badania Brown i Schroedera (1999) obejmowały pięć gatunków sosen, w tym *Pinus taeda*, *Pinus echinata* oraz *Pinus virginiana*, a wygenerowane współczynniki odnoszą się do drewna użytkowego, zdefiniowanego wg standardów amerykańskich. W Stanach Zjednoczonych do drewna użytkowego zalicza się miąższość drzew o minimalnej pierśnicy bez kory wynoszącej 12,7 cm (5 cali). Jednocześnie pierśnica drzew jest mierzona na wysokości 4,5 stopy (137 cm), tj. o 7 cm wyżej niż w Polsce. Miąższość drewna użytkowego dotyczy tylko strzały (bez miąższości gałęzi), mierzonej do minimalnej średnicy bez kory wynoszącej 10 cm w cieńszym końcu. Dodatkowo przyjmuje się stałą teoretyczną wysokość pniaka, wynoszącą 30 cm (Brown, Schroeder 1999; GFRA 2010).

Przyjęty w USA system pomiaru drewna użytkowego powoduje, że wskaźniki BCEF opracowane przez Brown i Schroedera (1999) obejmują również tę część zasobów drzewnych, która w Polsce wchodzi w skład grubizny (podlega inwentaryzacji). W Polsce do grubizny zalicza się bowiem miąższość strzał i gałęzi o minimalnej pierśnicy i grubości w cieńszym końcu wynoszącej 7 cm w korze (5 cm bez kory). Umowna wysokość pniaka wynosi 1/3 grubości drzewa na wysokości pierśnicy.

W odniesieniu do teoretycznej wysokości pniaka należy przypomnieć, że za pomocą wzorów empirycznych opracowanych przez Bruchwalda i in. (2000), stosowanych w praktyce gospodarczej PGLLP oraz na potrzeby przeliczania wyników z inwentaryzacji wielkoobszarowej (BULiGL 2013), oblicza się miąższość drzew bez miąższości teoretycznego pniaka. Przykładowo, obliczając miąższość grubizny drzewa o pierśnicy wynoszącej 30 cm przyjmuje się teoretyczną wysokość pniaka wynoszącą 10 cm. O ile w USA zasoby drzewne na pniu (drewna użytkowego) nie obejmują miąższości pniaków (o stałej wysokości wynoszącej 30 cm), to biomasa nadziemna określana jest jednak od poziomu gruntu (Brown, Schroeder 1999; GFRA 2010), co oznacza, że wskaźniki BCEF uwzględniają doszacowanie biomasy drewna użytkowego o biomasę pniaków.

Na znaczenie różnic w definiowaniu miąższości drzew (w korze lub bez kory, powyżej pnia lub powyżej gruntu, z gałęziami i wierzchołkiem lub bez nich) zwracali uwagę m.in. Konôpka i in. (2011). Wymienieni autorzy wyróżniają nadziemną i podziemną część pniaka, zaliczając część powyżej poziomu gruntu do biomasy nadziemnej. Podobnie Bijak i in. (2013) do biomasy podziemnej zaliczali tylko część pniaka poniżej poziomu gruntu (ang. – root crown). Socha i Wężyk (2004) oraz Zasada i in. (2008) nie precyzują jedno-

znacznie czy analizowane przez nich drzewa ścinano na wysokości gruntu. Z kolei, m.in. Lehtonen i in. (2004) oraz Repola (2009) zaliczali nadziemną część pniaków do biomasy podziemnej. Również Orzeł i in. (2006a), poprzez zastosowanie wzorów empirycznych opracowanych przez Bruchwalda i in. (2000), określali biomasę nadziemną powyżej teoretycznej wysokości pniaka. Z powyższego wynika, co podkreślali m.in. Somogyi i in. (2007) oraz Teobaldelli i in. (2009), że przyjmowane wskaźniki ekspansji muszą korespondować z danymi inwentaryzacyjnymi, względem których są stosowane i na podstawie których są określane.

## 5. Podsumowanie

Oszacowanie biomasy zasobów drzewnych (w lasach) na poziomie kraju wymaga posiadania informacji o ich wielkości (miąższości) i strukturze. Danych takich w odniesieniu do struktury zarówno gatunkowej, jak i wiekowej, dostarczają wyniki wielkoobszarowej inwentaryzacji stanu lasu.

Szacowanie biomasy w skali wielkopowierzchniowej wiąże się z zastosowaniem szeregu uproszczeń, wymuszonych m.in. brakiem wiedzy na temat relacji pomiędzy znanymi parametrami, takimi jak miąższość grubizny, a pozostałymi komponentami biomasy poszczególnych gatunków drzew. Dlatego też w procesie szacowania biomasy drzewnej na potrzeby sprawozdawczości do FAO (koordynowanej przez IBL) oraz UNFCCC (zadanie KOBiZE) posługiwano się domyślnymi wskaźnikami przeliczeniowymi, zaproponowanymi w międzynarodowych wytycznych.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że wskaźniki domyślne zamieszczone w wytycznych IPCC z 2006 r. (Eggleston et al. 2006) nie są właściwe dla polskich uwarunkowań, gdyż prowadzą do znaczącego przeszacowania biomasy drzewnej w porównaniu z wynikami uzyskanymi przy zastosowaniu dostępnych wskaźników lokalnych. Do czasu opracowania wiarygodnych rozwiązań krajowych, opartych na materiale reprezentatywnym dla całej Polski, wskazane jest stosowanie wskaźników ekspansji (BEF) zamieszczonych w wytycznych IPCC z 2003 roku (Penman et al. 2003). Jednakże, zwłaszcza wskaźnik BEF dla gatunków liściastych wydaje się zbyt wysoki i wymaga weryfikacji.

Teobaldelli i in. (2009) do mankamentów wskaźników domyślnych z wytycznych IPCC (Penman et al. 2003, Eggleston et al. 2006) zaliczają brak zdefiniowanej miąższości drewna użytkowego oraz nieuwzględnienie wpływu zmienności (struktury) drzewostanów i poszczególnych komponentów drzew na wielkość biomasy. Rozwiązaniem w tym zakresie mogłoby być określenie wskaźników BEF w postaci zależności funk-

cyjnej, na przykład od wieku czy miąższości drzewostanu (Lehtonen et al. 2004; Teobaldelli et al. 2009).

Również wskaźniki gęstości drewna charakteryzują się silną dodatnią korelacją z wiekiem (Witkowska i Lachowicz 2013). Poprawność wskaźników przeciętnych przyjmowanych dla danego gatunku będzie więc uwarunkowana zgodnością struktury wiekowej lasów ze strukturą próby, na podstawie której określono wskaźniki gęstości.

Ze względu na duże różnice gęstości drewna i kory, szczególnie u sosny, która jest podstawowym gatunkiem lasotwórczym w Polsce, obliczenia powinny być przeprowadzane oddzielnie dla obu tych komponentów. W rezultacie należy spodziewać się zmniejszenia wielkości biomasy drzewnej w stosunku do wielkości obecnie raportowanych. Należy jednocześnie zauważyć, że obowiązujące wskaźniki domyślne IPCC (Penman et al. 2003) nie uwzględniają różnej gęstości drewna i kory.

W przypadku obszarów porolnych, ze względu na niższą umowną gęstością drewna (Tomczak i Jelonek 2013), szacowanie zmian biomasy drzewnej w ramach art. 3.3. protokołu z Kioto nie powinno się odbywać przy wykorzystaniu przeciętnych wskaźników gęstości, właściwych dla pozostałych obszarów leśnych. Za koniecznością zróżnicowania wskaźników gęstości drewna na potrzeby oceny zmian zasobów węgla w biomacie drzewnej w ramach protokołu z Kioto przemawia dodatkowo niski wiek zalesień – raportowanie dotyczy działań od 1990 roku.

Możliwość szacowania biomasy drzewnej na poziomie kraju za pomocą wzorów empirycznych odwołujących się do wymiarów pojedynczych drzew była do niedawna ograniczona między innymi poprzez brak odpowiednich danych wejściowych. Rozpoczęcie w 2005 roku, w ramach wielkoobszarowej inwentaryzacji stanu lasu, pomiarów opartych na sieci stałych powierzchni próbnych i rejestracji wymiarów pojedynczych drzew usuwa to ograniczenie. Niemniej dotychczasowe próby opracowania wzorów empirycznych do szacowania biomasy nadziemnej drzew w Polsce dotyczą tylko jednego gatunku, tj. sosny zwyczajnej (Socha i Wężyk 2004; Zasada et al. 2008). Określanie wielkości biomasy drzewnej dla kraju za pomocą równań empirycznych wymaga dysponowania algorytmami dla wszystkich, czy też co najmniej dla głównych, gatunków drzew w Polsce.

## Podziękowanie

W publikacji przedstawiono między innymi wyniki badań prowadzonych w ramach projektu „Zmiany klimatyczne a ekosystemy leśne: zasoby węgla w lasach Polski oraz kierunki adaptacji gospodarki leśnej”, sfi-

nansowanego przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych.

## Literatura

- Bengtsson J., Nilsson S.G., Franc A., Menozzi P. 2000. Biodiversity, disturbances, ecosystem function and management of European forests. *Forest Ecology and Management*, 132: 39–50.
- Bijak S., Zasada M., Bronisz A., Bronisz K., Czajkowski M., Ludwisiak L. et al. 2013. Estimating coarse roots biomass in young silver birch stands on post-agricultural lands in central Poland. *Silva Fennica*, 47 (2): 1–14.
- Bronisz K., Bronisz A., Zasada M., Bijak S., Wojtan R., Tomusiak R. et al. 2009. Biomasa aparatu asymilacyjnego w drzewostanach sosnowych zachodniej Polski. *Sylvan*, 153 (11): 758–767.
- Brown S.L., Schroeder P.E. 1999. Spatial patterns of above-ground production and mortality of woody biomass for eastern U.S. forests. *Ecological Applications*, 9 (3): 968–980.
- Brown S., Schroeder P., Birdsey R. 1997. Aboveground biomass distribution of US eastern hardwood forests and the use of large trees as an indicator of forest development. *Forest Ecology and Management*, 96 (1–2): 37–47.
- Brown S.L., Schroeder P.E., Kern J. S. 1999. Spatial distribution of biomass in forests of the eastern USA. *Forest Ecology and Management*, 123 (1): 81–90.
- Bruchwald A. 1996. New Empirical Formulae for Determination of Volume of Scots Pine Stands. *Folia Forestalia Polonica Series A*, 38: 5–10.
- Bruchwald A. 1998. Ocena stosowanych w praktyce urządzania lasu współczynników przeliczających miąższość brutto na netto. w: Analiza dokładności określania zasobów drzewnych oraz jej skutków w obiegu informacji o lasach. Maszynopis w IBL, Sękocin Stary.
- Bruchwald A., Rymer-Dudzińska T., Dudek A., Michalak K., Wróblewski L., Zasada M. 2000. Wzory empiryczne do określania wysokości i pierśnicowej liczby kształtu grubizny drzewa. *Sylvan*, 144(10): 5–13.
- BULiGL 2012. Wyniki aktualizacji stanu powierzchni leśnej i zasobów drzewnych w Lasach Państwowych na dzień 1 stycznia 2012 r. Warszawa.
- BULiGL 2013. Wielkoobszarowa inwentaryzacja stanu lasów w Polsce. Wyniki za okres 2008–2012. Sękocin Stary.
- Cienciala E., Apltaufer J., Exnerova Z., Tatarinov F. 2008. Biomass functions applicable to oak trees grown in Central-European forestry. *Journal of Forest Science*, 54 (3): 109–120.
- Decision 17/CMP.1. 2006. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry activities under Article 3, paragraphs 3 and 4, of the Kyoto Protocol. Report of the conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Kyoto Protocol on its first session, held at Montreal from 28 November to 10 December 2005. FCCC/KP/CMP/2005/8/Add. 3: 10–11
- Dietz P. 1975. Dichte und Rindengehalt von Industrieholz. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 33: 135–141.



- Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (red). 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4. Agriculture, Forestry and other Land Use. IGES. Japan.
- Fang J., Brown S., Tang Y., Nabuurs G., Wang X., Shen H. 2006. Overestimated Biomass Carbon Pools of the Northern Mid- and High Latitude Forests. *Climatic Change*, 74: 355–368.
- FAO. 2004a. Guidelines for Country Reporting to FRA 2005. Working Paper 82. Rome.
- FAO. 2004b. Global Forest Resources Assessment Update 2005. Terms and Definitions. Working Paper 83/E. Rome.
- FAO. 2006. Global Forest Resources Assessment 2005. FAO Forestry Paper 147. Rome. ISBN 92-5-105481-9.
- FAO. 2007. Specification of National Reporting Tables for FRA 2010. Forest Resources Assessment Programme. Working Paper 135. Rome.
- FAO. 2008. Guidelines for Country Reporting to FRA 2010. Forest Resources Assessment Programme. Working Paper 143. Rome.
- FAO. 2010. Global Forest Resources Assessment 2010. FAO Forestry Paper 163. Rome. ISBN 978-92-5-106654-6.
- Farrell E.P., Führer E., Ryan D., Andersson F., Hüttl R., Piussi P. 2000. European forest ecosystems: building the future on the legacy of the past. *Forest Ecology and Management*, 132: 5–20.
- Forest Europe/UNECE/FAO 2011. State of Europe's Forests 2011. Status and Trends in Sustainable Forest Management in Europe. Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe. Forest Europe Liaison Unit Oslo. ISBN 978-82-92980-05-7.
- GFRA 2010. Global Forest Resources Assessment 2010. Country Report. United States of America. FRA2010/223 Rome.
- Gieffing D. F., Jabłoński K. 1989. Zależność między gęstością a wilgotnością drewna żywych sosen. *Sylwan*, 133 (1–2): 75–82.
- Helińska-Raczkowska L. 1996. Zmienność wilgotności i gęstości drewna w świeżo ściętych pniach brzozy. *Folia Forestalia Polonica*, 27: 23–30.
- Helińska-Raczkowska L., Fabisiak E. 1992. Zmienność gęstości drewna sosny z drzew należących do grupy tzw. rozpiercaczy. *Prace Komisji Technologii Drewna*, 13: 41–49.
- Instrukcja zarządzania lasu. 2012. Warszawa, CILP. ISBN 978-83-61633-69-3.
- Jagodziński A.M., Kałucka I. 2011. Fine root biomass and morphology in an age-sequence of post-agricultural *Pinus sylvestris* L. stands. *Dendrobiology*, 66: 71–84.
- Jelonek T., Pazdrowski W., Tomczak A. 2009. Właściwości drewna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) na gruntach porolnych w północnej Polsce. *Leśne Prace Badawcze*, 70 (3): 277–286.
- Jelonek T., Pazdrowski W., Walkowiak R., Arasimowicz-Jelonek M., Tomczak A. 2011. Allometric Models of Foliage Biomass in Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.). *Polish Journal of Environmental Studies*, 20 (2): 355–364.
- Krzysik F. 1974. Nauka o drewnie. Warszawa, PWN.
- KOBIZE. 2013. Poland's National Inventory Report 2013. Greenhouse Gas Inventory for 1988–2011. Submission under the UN Framework Convention on Climate Change and its Kyoto Protocol. Warszawa.
- Konópka B., Pajtík J., Šebeň V., Lukac M. 2011. Belowground biomass functions and expansion factors in high elevation Norway spruce. *Forestry*, 84 (1): 41–48.
- Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. 1998. Report of the Conference of the Parties on its third session, held at Kyoto from 1 to 11 December 1997. FCCC/CP/1997/7/Add.1: 7–30.
- Lethonen A., Mäkipää R., Heikkinen J., Sievänen R., Liski J. 2004. Biomass expansion factors (BEFs) for Scots pine, Norway spruce and birch according to stand age for boreal forests. *Forest Ecology and Management*, 188: 211–224.
- Lonkiewicz B. 1992. Poland. Notes and supplementary information, w: UNECE/FAO 1992. The Forest Resources of the Temperate Zones. The UN-ECE 1990 Forest Resource Assessment. Vol.1. General Forest Resource Information. New York, United Nations, s. 219–226. ISBN 92-1-116552-0.
- MCPFE/UNECE/FAO 2003. State of Europe's Forests 2003. The MCPFE report on sustainable forest management in Europe. United Nations Economic Commission for Europe, Geneva (Switzerland); FAO, Rome (Italy). ISBN 3-902073-09-8.
- MCPFE/UNECE/FAO 2007. State of Europe's Forests 2007. The MCPFE report on sustainable forest management in Europe. Liaison Unit Warsaw, UNECE and FAO. ISBN-10: 83-922396-8-7.
- Michalak R., Jabłoński M. 2007. Lasy w mechanizmach Protokołu z Kioto z uwzględnieniem roli polskiej gospodarki leśnej. *Postępy Techniki w Leśnictwie*, 98: 15–20.
- Michalak R., Zajączkowski G. Jabłoński M., 2005. Global Forest Resources Assessment. Country Report – Poland. FRA 20005/065. Rome. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/ai934E/ai934E00.pdf> [14.01.2014].
- Muukkonen P., Mäkipää R. 2006. Biomass Equations for European Trees: Addendum. *Silva Fennica*, 40 (4): 763–773.
- Oleksyn J., Reich P.B., Chalupka W., Tjoelker M.G. 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.
- Orzeł S., Forgiel M., Socha J., Ochał W. 2005. Biomass and Annual Production of Common Alder Stands of the Niepołomice Forest. *EJPAU* 8(1). [www.ejpau.media.pl/volume8/issue1/forestry/art-25.html](http://www.ejpau.media.pl/volume8/issue1/forestry/art-25.html) [16.12.2013].
- Orzeł S., Forgiel M., Ochał W., Socha J. 2006a. Nadziemna biomasa i roczna produkcja drzewostanów sosnowych Puszczy Niepołomickiej. *Sylwan*, 150(9): 16–32.
- Orzeł S., Ochał W., Forgiel M., Socha J. 2006b. Biomasa i roczna produkcja drzewostanów dębowych Puszczy Niepołomickiej. *Sylwan*, 150(5): 30–43.
- Pazdrowski W. 1992. Współzależność pomiędzy średnią gęstością umowną i wytrzymałością drewna kłód odziomkowych sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) a gęstością i wytrzymałością określaną na różnych wysokościach pnia. *Sylwan*, 136 (1), 31–40.
- Pazdrowski W., Splawa-Neyman S. 1993. Badania wybranych właściwości drewna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.)



- na tle klas biologicznych w drzewostanie. *Folia Forestalia Polonica*, 24: 133–145.
- Penman J., Gytarsky M., Hiraishi T., Krug T., Kruger D., Pipatti R. et al. (red). 2003. IPCC Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. IGES. Japan.
- Pietrzykowski M., Socha J. 2011. An estimation of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) ecosystem productivity on reclaimed post-mining sites in Poland (central Europe) using of allometric equations. *Ecological Engineering*, 37: 381–386.
- Pikk J., Kask R. 2004. Mechanical properties of juvenile wood of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) on myrtillus forest site type. *Baltic Forestry*, 10 (1): 72–78.
- Repola J. 2009. Biomass Equations for Scots Pine and Norway Spruce in Finland. *Silva Fennica*, 43 (4): 625–647.
- Socha J., Wężyk P. 2004. Empirical Formulae to Assess the Biomass of the Above-Ground Part of Pine Trees. *EJPAU, Forestry*, 7(2). [www.ejpau.media.pl/volume7/issue2/forestry/art-04.html](http://www.ejpau.media.pl/volume7/issue2/forestry/art-04.html) [12.12.2013].
- Socha J., Wężyk P. 2007. Allometric equations for estimating the foliage biomass of Scots pine. *European Journal of Forest Research*, 126: 263–270.
- Somogyi Z., Cienciala E., Mäkipää R., Muukkonen P., Lehtonen A., Weiss P. 2007. Indirect methods of large-scale forest biomass estimation. *European Journal of Forest Research*, 126: 197–207.
- Splawa-Neyman S. 1994. Selected properties of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood in dependence upon forest stand type and age of the trees. *Prace Instytutu Technologii Drewna*, 38, 1/2 (137/138): 19–28.
- Splawa-Neyman S., Pazdrowski W., Owczarzak Z. 1995. Biometryczne parametry budowy drewna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w aspekcie więźby sadzenia upraw. *Folia Forestalia Polonica*, 26: 73–84.
- Szymkiewicz B. 1971. Tablice zasobności i przyrostu drzewostanów ważniejszych gatunków drzew leśnych zestawione na podstawie tablic niemieckich, radzieckich i polskich. Warszawa, PWRiL.
- Tomczak A., Pazdrowski W., Jelonek T. 2009. Wybrane elementy budowy makrostrukturalnej drewna a dojrzałość sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach gruntów porolnych. *Leśne Prace Badawcze*, 70 (4): 373–381.
- Tomczak A., Jelonek T. 2012. Parametry techniczne młodocianego i dojrzałego drewna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.). *Sylwan*, 156 (9): 695–702.
- Tomczak A., Jelonek T. 2013. Promieniowa zmienność właściwości drewna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej na gruntach porolnych. *Leśne Prace Badawcze*, 74 (2): 171–177.
- Teobaldelli M., Somogyi Z., Migliavacca M., Usoltsev V.A. 2009. Generalized functions of biomass expansion factors for conifers and broadleaved by stand age, growing stock and site index. *Forest Ecology and Management*, 257: 1004–1013.
- Trampler T. 1982. Wstępne określenie biomasy drzewnej w lasach i zadrzewieniach. Maszynopis IBL, Sękocin Stary.
- Trendelenburg R., Mayer-Wegelin H. 1955. Das Holz als Rohstoff. Carl Hanser Verlag. München.
- UNECE/FAO. 2000. Forest Resources of Europe, CIS, North America, Australia, Japan and New Zealand. Geneva Timber and Forest Study Papers, No. 17. United Nations, New York and Geneva. ISBN 92-1-116735-3.
- Witkowska J., Lachowicz H. 2012. Analiza zmienności gęstości umownej drewna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wzdłuż wysokości pnia w zależności od wybranych czynników. *Przegląd Papierniczy*, 68 (9): 573–578.
- Witkowska J., Lachowicz H. 2013. Zmienność gęstości umownej drewna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w zależności od wybranych czynników. *Sylwan*, 157 (5): 336–347.
- Wojtan R., Tomusiak R., Zasada M., Dudek A., Michalak K., Wróblewski L. et al. 2011. Współczynniki przeliczeniowe suchej biomasy drzew i ich części dla sosny pospolitej (*Pinus sylvestris* L.) w zachodniej Polsce. *Sylwan*, 155 (4): 236–243.
- Zasada M., Bronisz K., Bijak Sz., Wojtan R., Tomusiak R., Dudek A. et al. 2008. Wzory empiryczne do określania suchej biomasy nadziemnej części drzew i ich komponentów. *Sylwan*, 152(3): 27–39.
- Zianis D., Muukkonen P., Mäkipää R., Mencuccini M. 2005. Biomass and Stem Volume Equations for Tree Species in Europe. *Silva Fennica Monographs* 4, 63 p., ISBN 951-40-1984-9.

## Wkład autorów

M.J. – koncepcja, obliczenia, analiza wyników, przegląd literatury i przygotowanie maszynopisu; P.B – przegląd literatury, przygotowanie maszynopisu.