

Biomasa leśna na cele energetyczne

INSTYTUT BADAWCZY LEŚNICTWA

Biomasa leśna na cele energetyczne

Redakcja naukowa

Piotr Gołos i Adam Kaliszewski



Sękocin Stary, 2013

Zespół autorów (alfabetycznie):

*mgr Gabriela Bidzińska, mgr inż. Tomasz Gałęzia, dr inż. Arkadiusz Gendek,
prof. dr hab. Roman Gornowicz, dr inż. Marek Jabłoński, dr inż. Krzysztof Jodłowski,
dr inż. Michał Kalinowski, dr inż. Adam Kaliszewski, prof. dr hab. Alojzy
Kowalkowski, prof. dr hab. Wojciech Lis, dr hab. Tadeusz Moskalik, dr inż. Ireneusz
Olejarski, dr inż. Zenon Pilarek, dr hab. Ewa Ratajczak, prof. dr hab. Stefan
Szczukowski, dr hab. Mariusz Stolarski, mgr inż. Aleksandra Szostak,
dr inż. Stanisław Zajączkowski, dr inż. Witold Zychowicz*

Aneks: aspekty praktyczne

*mgr inż. Andrzej Ballaun, mgr Piotr Czopek, prof. dr hab. Wojciech Nowak,
dr inż. Krzysztof Sadowski, Mariusz Stachowicz, mgr inż. Marta Wesołowska*

Recenzenci:

Prof. dr hab. Stanisław Zając
Dr inż. Krzysztof Janeczko

ISBN 978-83-62830-18-3

© Copyright by Instytut Badawczy Leśnictwa 2013

Monografia zawiera opracowania przygotowane
w ramach projektu finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki
pt. „Możliwości oraz uwarunkowania przyrodnicze, technologiczne
i ekonomiczne zwiększania podaży drewna do celów energetycznych”

Zdjęcie na okładce Krzysztof Jodłowski

Instytut Badawczy Leśnictwa
05-090 Raszyn, ul. Braci Leśnej 3, Sękocin Stary
tel. 22 71 50 300, fax. 22 72 00 397
<http://www.ibles.pl>; ibl@ibles.waw.pl
Nakład 1000 egz.

Przygotowanie do druku: www.cityvision.com.pl

Spis treści

W miejsce Przedmowy – zdań kilka od recenzentów	7
<i>Adam Kaliszewski</i> Możliwości i ograniczenia zwiększania lesistości Polski	9
<i>Stanisław Zajczkowski</i> Prognozy pozyskania drewna w Polsce w perspektywie 20 lat oraz możliwości ich wykorzystania do szacowania zasobów drewna na cele energetyczne	21
<i>Stefan Szczukowski, Mariusz Stolarski</i> Plantacje drzew i krzewów szybko rosnących jako alternatywa biomasy z lasu – stan obecny, szanse i zagrożenia rozwoju	32
<i>Marek Jabłoński</i> Konsekwencje wykorzystania drewna na cele energetyczne w świetle realizacji polityki klimatycznej	47
<i>Ewa Ratajczak, Gabriela Bidzińska</i> Rynek biomasy drzewnej na cele energetyczne – aspekty ekonomiczne i społeczne	59
<i>Aleksandra Szostak</i> Drzewne produkty uboczne źródłem biomasy drzewnej do celów energetycznych	77
<i>Wojciech Lis</i> Akceptowalna przez przemysł drzewny zmiana struktury podaży oraz cen drewna– wpływ wzrostu udziału biomasy drzewnej na cele energetyczne . .	84
<i>Tadeusz Moskalik</i> Techniczne, technologiczne i organizacyjne uwarunkowania pozyskania i transportu drewna energetycznego	107
<i>Witold Zychowicz, Arkadiusz Gendek</i> Ocena efektywności pozyskiwania pakietów z powierzchni pozrębowej przy zastosowaniu ciągnika rolniczego z przyczepą samozaładowczą	119

Tomasz Gałęzia

Analiza efektywności wybranych metod pozyskiwania biomasy leśnej
na cele energetyczne na przykładzie Puszczy Augustowskiej 127

Roman Gornowicz, Zenon Pilarek

Wpływ pozyskania biomasy na wycofywanie pierwiastków biogenych
ze środowiska leśnego 138

Alojzy Kowalkowski, Ireneusz Olejarski

Możliwości wykorzystania popiołów z biomasy leśnej jako źródła
elementów odżywczych 147

Krzysztof Jodłowski, Michał Kalinowski

Akcja COST FP0902 jako przykład międzynarodowej współpracy w zakresie
metodyki badań pozyskiwania biomasy leśnej do celów energetycznych . . . 177

Aspekty praktyczne

Piotr Czopek

Stan aktualny oraz kierunki zmian w zakresie regulacji prawnych
dotyczących wykorzystania biomasy leśnej jako źródła
energii odnawialnej 187

Andrzej Ballaun

Faktyczne możliwości pozyskania oraz oferta sprzedaży drewna
energetycznego z Lasów Państwowych 197

Mariusz Stachowicz

Praktyczne aspekty pozyskania biomasy leśnej do celów energetycznych . . . 202

Wojciech Nowak, Marta Wesołowska

Uwarunkowania techniczne spalania biomasy w kotłach energetycznych . . . 216

Krzysztof Sadowski

Problematyka użytkowania biomasy leśnej na przykładzie rozwiązań
w Elektrociepłowni Białystok S.A. 225

Afiliacje autorów 246

W miejsce Przedmowy – zdań kilka od recenzentów

„Recenzowana monografia podejmuje problematykę, która nie doczekała się jak dotąd systematycznego i kompleksowego ujęcia w polskiej literaturze przedmiotu, w odróżnieniu od licznych opracowań zagranicznych na ten temat. Publikacja ta ma więc charakter pionierski w zakresie analizy i oceny możliwości produkcji i wykorzystania biomasy leśnej na cele energetyczne w Polsce. Wypełnia tym samym lukę, tak w wymiarze teoretycznym, jak i empirycznym, jeśli chodzi o opracowania naukowe i doniesienia praktyczne w zakresie produkcji energii odnawialnej z biomasy leśnej i jej znaczenia w gospodarce narodowej”.

Prof. dr hab. Stanisław Zając

„... recenzowana pozycja zasługuje na miano wartościowej, z uwagi bowiem na aktualność omawianych zagadnień stanowi bardzo interesujące i kompleksowe kompendium wiedzy na temat wykorzystania biomasy leśnej na cele energetyczne. Jej niewątpliwą zaletą jest interdyscyplinarność, pod którym to pojęciem rozumieć należy szerokie spektrum omawianych zagadnień poczynawszy od charakterystyki zasobów drzewnych w naszym kraju pod kątem możliwości ich wykorzystania dla celów energetycznych, poprzez aspekty prawne, ekonomiczne i społeczne związane z kształtowaniem się rynku biomasy drzewnej na cele energetyczne, aż do przyrodniczych, technicznych i organizacyjnych uwarunkowań pozyskania i spalania biomasy leśnej. Opracowanie jest z pewnością ciekawą propozycją zarówno dla tych, którzy zajmują się teoretycznie i od strony naukowej problematyką polityki klimatycznej oraz wykorzystania biomasy na cele energetyczne, jak również dla wszystkich stykających się z powyższymi zagadnieniami na co dzień od strony praktycznej”.

Dr inż. Krzysztof Janeczko

Adam Kaliszewski

Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary



Możliwości i ograniczenia zwiększania lesistości Polski

1. Wstęp

Zwiększanie lesistości jest trwałym elementem polityki przestrzennej, ekologicznej i gospodarczej kraju. Najbardziej jednoznacznie potrzeba wzrostu lesistości ujęta jest w „Polityce leśnej państwa”, jako jeden z istotnych jej celów, którego realizacja powinna doprowadzić do „zwiększenia lesistości kraju do 30% w roku 2020 i 33% po roku 2050, uporządkowania granicy rolno-leśnej z korzyścią dla wartości krajobrazu, funkcjonowania lasów i rolnictwa” (MOŚZNiL 1997). Obecnie lasy w Polsce zajmują 29,2% powierzchni lądowej (2011), podczas gdy we wszystkich sąsiednich krajach (z wyjątkiem Ukrainy) wskaźnik ten przekracza 30% i wynosi: w Niemczech – 32%, w Czechach – 34%, na Litwie – 36%, na Słowacji – 40%, na Białorusi – 43% (GUS 2012). Badania i prace studialne wskazują, że racjonalna lesistość Polski z punktu widzenia struktury użytkowania ziemi i kształtowania środowiska na obecnym etapie rozwoju cywilizacyjnego powinna wynosić 33–34% (Kwiecień i in. 2002).

Formalną podstawę realizacji zalesień w Polsce stanowi „Krajowy program zwiększania lesistości” (KPZL). Program ten został zaakceptowany do realizacji przez Radę Ministrów RP w dniu 23 czerwca 1995 r. (Łonkiewicz 1995), jednak nie stał się programem rządowym i nie zagwarantowano środków na jego realizację w perspektywie wieloletniej. W KPZL zapisano wymóg jego aktualizacji co 5 lat. Faktycznie program został zmodyfikowany dwukrotnie: w 2003 i 2009 r.

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych przez Instytut Badawczy Leśnictwa w związku z modyfikacją KPZL w 2009 r., a sfinansowanych ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej na zamówienie ministra środowiska (Kaliszewski i in. 2009). Przesłanką pilnej potrzeby tej aktualizacji, poza wymogami formalnymi, były nowe uwarunkowania w otoczeniu społeczno-gospodarczym po wstąpieniu Polski do Unii Europejskiej, znacznie ograniczające możliwości prowadzenia zalesień na terenie całego kraju. Celem artykułu jest przedstawienie stanu realizacji KPZL w latach 2001–2010 oraz wyników badań doty-

czących głównych barier w realizacji programu po wstąpieniu Polski do Unii Europejskiej. W poszerzonej wersji wyniki te zostały przedstawione w artykule opublikowanym w „Leśnych Pracach Badawczych” w 2012 r. (Kaliszewski 2012).

2. Metodyka badań

Źródło przedstawionych w niniejszym artykule informacji o realizacji „Krajowego programu zwiększania lesistości” w latach 2001–2010 stanowiły publikacje Głównego Urzędu Statystycznego. Charakterystykę stanu prawnego i jego zmian opracowano na podstawie tekstów aktów prawnych zamieszczonych w bazie danych Systemu Informacji Prawnej LEX.

Informacji o czynnikach ograniczających realizację KPZL po akcesji Polski do Unii Europejskiej dostarczyła „Ankieta w sprawie korekty zaplanowanego w «Krajowym programie zwiększania lesistości» rozmiaru zalesień oraz trudności w realizacji tego programu po wstąpieniu Polski do Unii Europejskiej”. Badania ankietowe przeprowadzono drogą korespondencyjną w wybranych starostwach powiatowych w całym kraju. Wyboru powiatów dokonano z puli 280 powiatów ziemskich, dla których w modyfikacji KPZL z 2003 r. zaplanowano na lata 2001–2020 zalesienia na powierzchni minimum 300 ha. Łącznie wylosowano 140 powiatów (50% puli) w podziale na poszczególne województwa (proporcjonalnie do liczby powiatów spełniających wyżej wymienione warunki z każdego województwa).

3. Założenia i realizacja „Krajowego programu zwiększania lesistości” w latach 2001–2010

Zgodnie z modyfikacją KPZL z 2003 r. proponowany rozmiar zalesień w latach 2001–2020 obejmuje powierzchnię 680 tys. ha gruntów porolnych, w tym 130 tys. ha gruntów państwowych (tj. będących własnością Skarbu Państwa) oraz 550 tys. ha gruntów niepaństwowych (tj. należących do indywidualnych właścicieli, a także gmin i spółdzielni). Planowany łączny i średnioroczny rozmiar zalesień w poszczególnych okresach przedstawiono w tabeli 1. Największe potrzeby zalesieniowe występują w województwach: wielkopolskim, kujawsko-pomorskim, łódzkim, mazowieckim, podlaskim, lubelskim i świętokrzyskim, za czym przemawia mała lesistość tych terenów (poniżej średniej krajowej), procesy stepowienia i erozji oraz duże aglomeracje miejskie (MŚ 2003).

Planowany rozmiar zalesień według modyfikacji KPZL z 2003 roku w latach 2001–2010 wynosił 280 tys. ha gruntów, z czego 90 tys. ha stanowiły grunty państwowe, a 210 tys. ha grunty niepaństwowe. W omawianym okresie w wyniku realizacji programu zalesiono łącznie 145,1 tys. ha grun-

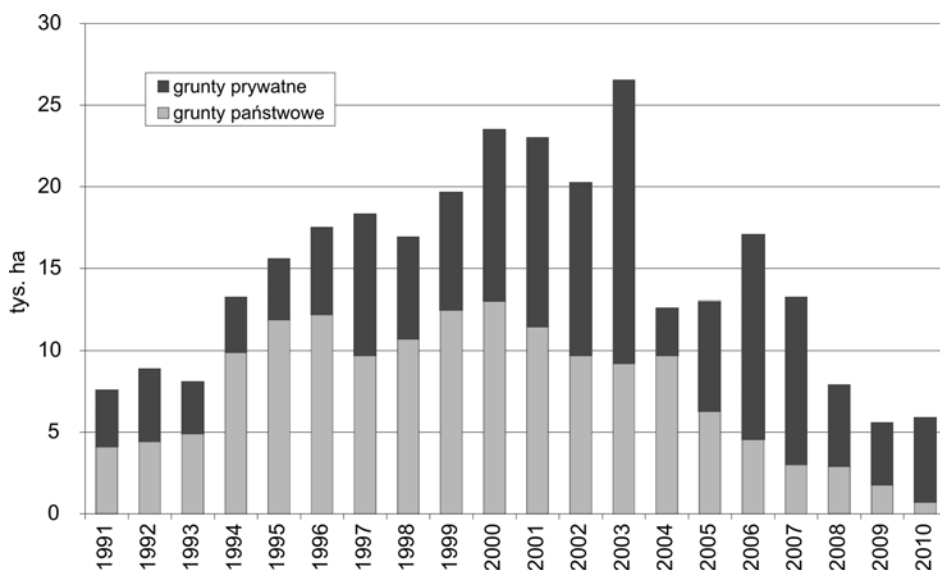
Tabela 1. Planowany rozmiar zalesień w latach 2001–2020 według modyfikacji KPZL z 2003 r. (w nawiasach podano średnioroczny rozmiar zalesień)

Kategoria własności gruntów	2001–2005	2006–2010	2011–2020	Razem 2001–2020
	tys. ha	tys. ha	tys. ha	tys. ha
Państwowe	50 (10)	40 (8)	40 (4)	130 (6,5)
Prywatne	70 (14)	120 (24)	360 (36)	550 (27,5)
Razem	120 (24)	160 (32)	400 (40)	680 (34,0)

Źródło: MŚ 2003

tów, w tym 59,4 tys. ha gruntów należących do Skarbu Państwa i 85,7 tys. ha gruntów niepaństwowych. Oznacza to, że w ostatniej dekadzie w skali kraju nowe uprawy leśne założono na 51,8% planowanej powierzchni, przy czym odsetek ten na gruntach państwowych wyniósł 66,0%, a na gruntach niepaństwowych zaledwie 45,1%.

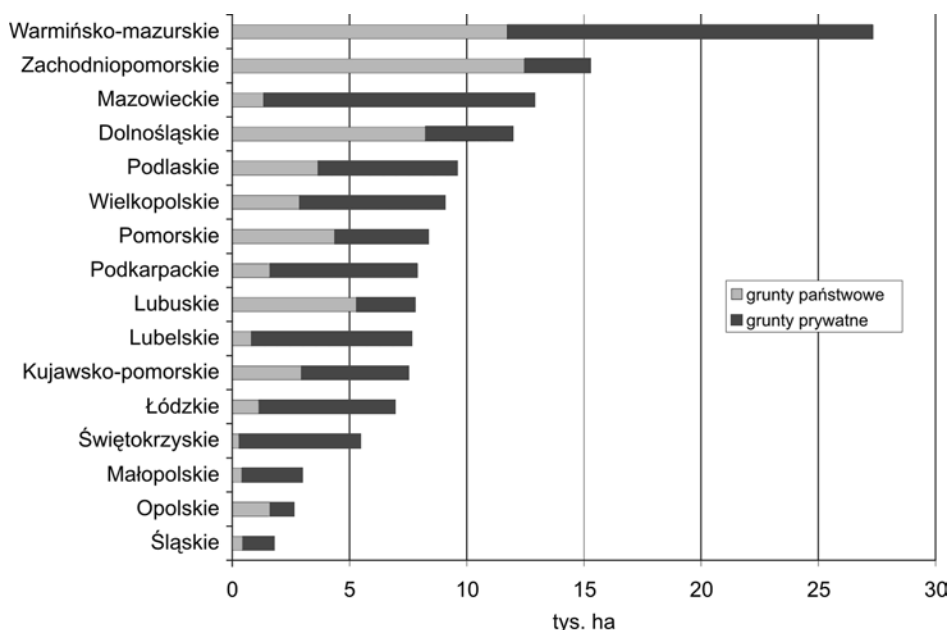
Analizując okres ostatnich 20 lat realizacji zalesień na gruntach porolnych, można zauważyć, że od początku lat 90. XX w. następował stopniowy wzrost zalesianej corocznie powierzchni, który swoje maksimum, blisko 26,5 tys. ha, osiągnął w 2003 roku. Jednakże od 2004 r. areał zakładanych corocznie nowych upraw leśnych zaczął się szybko zmniejszać do poziomu 5,6 tys. ha w 2009 r. oraz 5,9 tys. ha w 2010 r. Wyraźnie zmniejszał się również udział zalesianych gruntów należących do Skarbu Państwa, co wynika z wyczerpywania się puli gruntów należących do Skarbu Państwa, będących w dyspozycji i przekazywanych do zalesienia przez Agencję Nieruchomości Rolnych (ryc. 1).

**Rycina 1. Rozmiar zalesień gruntów porolnych w Polsce w latach 1991–2010**

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS 2002–2010 i 2012

W pierwszym okresie realizacji KPZL (1995–2000) zalesiono łącznie 70,1 tys. ha gruntów państwowych oraz 41,2 tys. gruntów prywatnych, co stanowiło odpowiednio 140,2% i 82,4% przyjętego dla tego okresu planu (ogółem realizacja założeń programu na wszystkich gruntach wyniosła 111,3%). W latach 2001–2005 uprawy leśne założono na 46,5 tys. ha gruntów należących do Skarbu Państwa oraz na 49,0 tys. ha gruntów niepaństwowych. Ogółem założenia programu zrealizowano w 79,5% (zalesienie 95,5 tys. ha gruntów ze 120,0 tys. ha planowanych do zalesienia), przy czym wskaźnik ten w odniesieniu do gruntów państwowych był wyraźnie wyższy (92,9%) niż w przypadku gruntów prywatnych (70,0%). W kolejnych pięciu latach (2006–2010) zalesiono już tylko 49,7 tys. ha gruntów, w tym 13,0 tys. ha państwowych i 36,7 tys. ha prywatnych. Tym samym wykonano jedynie 31,1% planu przyjętego dla tego okresu (na gruntach należących do Skarbu Państwa zrealizowano 32,5% planu, a na gruntach niepaństwowych – 30,6%).

Przestrzenny rozkład zalesień jest bardzo zróżnicowany. W latach 2001–2010 największy areal zalesień odnotowano w województwie warmińsko-mazurskim (27,3 tys. ha), zachodniopomorskim (15,3 tys. ha) oraz mazowieckim (12,9 tys. ha), najmniejszy natomiast w województwach śląskim (1,8 tys. ha) i opolskim (2,6 tys. ha), co zostało przedstawione na rycinie 2.

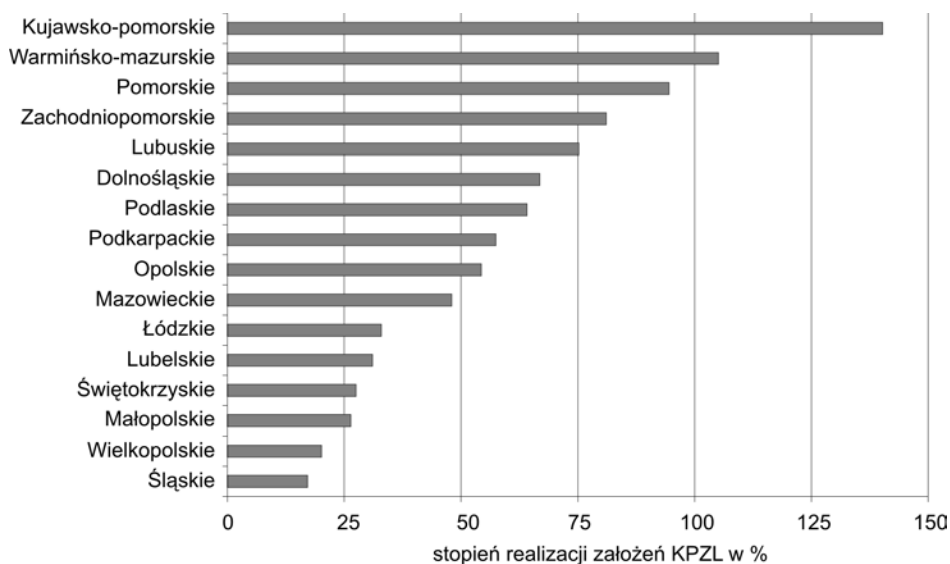


Rycina 2. Powierzchnia zalesień w poszczególnych województwach w latach 2001–2010

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS 2002–2010 i 2012

Podobnie jak w przypadku powierzchni zalesień, stopień realizacji programu w latach 2001–2010 w poszczególnych województwach był bardzo

zróżnicowany (ryc. 3). Zalesienie powierzchni większej niż zaplanowana w modyfikacji KPZL z 2003 r. miało miejsce w województwie kujawsko-pomorskim (140%) oraz warmińsko-mazurskim (105%). Plan zrealizowano niemal w pełni również w województwie pomorskim (95%). Najniższy stopień realizacji programu odnotowano w województwach: śląskim (17%), wielkopolskim (20%), małopolskim (26%) oraz świętokrzyskim (28%).



Rycina 3. Stopień realizacji KPZL w latach 2001–2010 według województw

Źródło: Opracowanie własne GUS 2002–2010 i 2012 oraz MŚ 2003

Zgodnie z modyfikacją KPZL z 2003 r. największy udział gmin o dużych preferencjach zalesieniowych występuje w dziewięciu województwach: lubelskim, łódzkim, kujawsko-pomorskim, małopolskim, mazowieckim, podlaskim, świętokrzyskim, warmińsko-mazurskim i wielkopolskim. Wysoki stopień realizacji programu w województwie kujawsko-pomorskim oraz warmińsko-mazurskim należy zatem uznać za korzystny, zgodny z założeniami zwiększania lesistości. Podobnie jest w przypadku województwa pomorskiego i zachodniopomorskiego, tj. regionów o lesistości znacząco przekraczającej średnią lesistość całego kraju, odpowiednio 36,2% i 35,3%. (GUS 2012), zwiększanie lesistości w tych regionach nie należy do priorytetów programu, jednak jest realizowane w wyniku dużej podaży gruntów odpowiednich do zalesienia. Niekorzystnym zjawiskiem w przestrzennym rozmieszczeniu zalesień jest natomiast bardzo niski stopień realizacji KPZL w regionach o największych preferencjach, a także (w niektórych przypadkach) o bardzo niskiej lesistości, kształtującej się znacząco poniżej średniej lesistości kraju. Do województw tych należą: łódzkie (lesistość 21,1%), mazowieckie (22,8%), lubelskie (23,1%), wielkopolskie (25,7%), świętokrzyskie (28,0%), małopolskie (28,6%).

4. Czynniki ograniczające realizację „Krajowego programu zwiększania lesistości”

Załamanie realizacji „Krajowego programu zwiększania lesistości” zbiegło się w czasie ze wstąpieniem Polski do Unii Europejskiej. Ustalenie przyczyn zmniejszenia rozmiaru zalesień po 2004 r. było przedmiotem badania ankietowego, skierowanego do pracowników starostw powiatowych. Poniżej przedstawiono najczęściej wskazywane problemy i trudności w zalesianiu gruntów porolnych.

Konkurencyjność ze strony dopłat bezpośrednich do produkcji rolnej

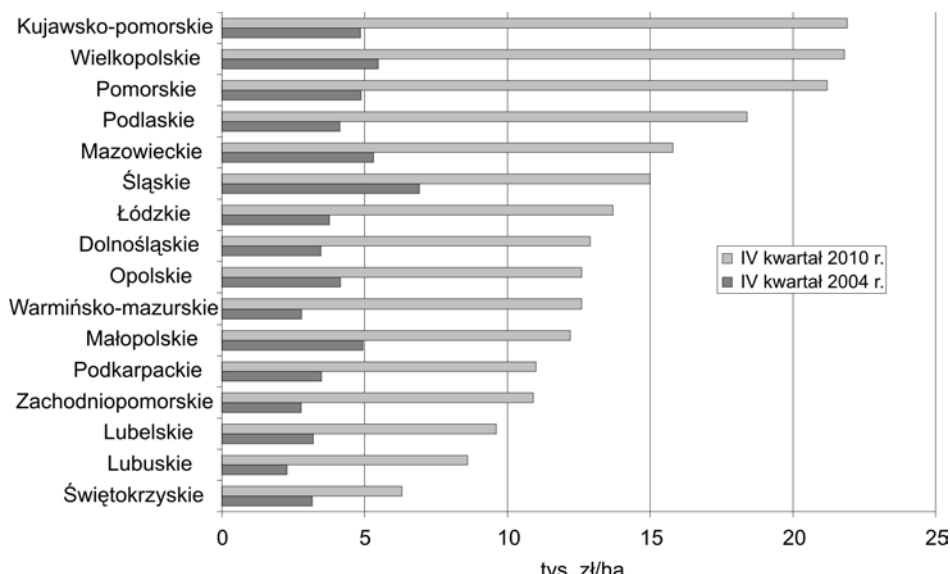
Konkurencyjność dopłat bezpośrednich do produkcji rolnej w stosunku do dopłat na zalesianie uznana została za główną barierę w realizacji KPZL po wstąpieniu Polski do Unii Europejskiej (odpowiedź tę wskazano w 70% ankiet). Możliwość uzyskania płatności bezpośrednich sprawiła, że wielu rolników podjęło lub zintensyfikowało produkcję rolną na gruntach, które w latach 90. XX w. i w pierwszych latach obecnego stulecia zostały zakwalifikowane jako niekorzystne do prowadzenia efektywnej gospodarki rolnej, a tym samym zaliczone do puli gruntów potencjalnie pozostających do zalesienia. Warto zauważyć, że w okresie od 2004 do 2009 r. powierzchnia odłogów i ugorów zmniejszyła się 2,8 razy – z 1,4 do 0,5 mln ha (GUS 2011).

Wzmożone zainteresowanie produkcją rolną obserwowane jest w całym kraju. Odzwierciedleniem rosnącego popytu na grunty rolne jest wzrost ich wartości, wyrażony średnią ceną w obrocie prywatnym. Przeciętna cena gruntów ornych w Polsce w 2000 r. wynosiła 4786 zł/ha, w 2005 r. osiągnęła poziom 8244 zł/ha, a w roku 2009 – 17 042 zł/ha. Przeciętna cena słabych gruntów ornych (grunty klasy V i VI) w ciągu 9 lat wzrosła pięciokrotnie: z 2725 zł/ha w 2000 r. do 13 561 zł/ha w 2009 r. (GUS 2011).

Wzrost średnich cen gruntów od czasu akcesji Polski do Unii Europejskiej nastąpił w całym kraju, choć jest bardzo zróżnicowany regionalnie (ryc. 4). Pomiędzy IV kwartałem 2004 r. a IV kwartałem 2010 r. przeciętne ceny gruntów słabych (klas V i VI) najbardziej wzrosły w województwie warmińsko-mazurskim, kujawsko-pomorskim i podlaskim (4,5 razy), pomorskim (4,3 razy) oraz wielkopolskim (4,0 razy). Najmniejszy wzrost odnotowano natomiast w województwie świętokrzyskim (2,0 razy), śląskim (2,2 razy) i małopolskim (2,5 razy). Pod koniec 2010 r. za słabe grunty orne najwięcej płacono w województwie kujawsko-pomorskim (średnio 21,9 tys. zł/ha), wielkopolskim (21,8 tys. zł/ha) oraz pomorskim (21,2 tys. zł/ha), najmniej zaś w województwie świętokrzyskim (6,3 tys. zł/ha), lubuskim (8,6 tys. zł/ha) oraz lubelskim (9,6 tys. zł/ha).

Niska konkurencyjność płatności na zalesianie wynika z kilku czynników, z których za najważniejsze należy uznać:

- ☐ niezadowalającą wysokość dopłat na zalesianie ze środków Unii Europejskiej;



Rycina 4. Przeciętne ceny gruntów słabych (klas V i VI) w IV kwartale 2004 r. i w IV kwartale 2010 r. według województw

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS za ARiMR 2012

- ☐ ograniczenia w udzielaniu tych płatności;
- ☐ skomplikowane procedury ubiegania się o dofinansowanie.

Wyniki przeprowadzonego badania ankietowego wskazują, że jedynie 37% respondentów uznaje za zadowalające przyjęte obecnie w ramach PROW 2007–2013 stawki dopłat na zalesianie gruntów i pielęgnację upraw. Blisko 2/3 badanych uznało, że są one za niskie. Propozycje zwiększenia obecnych kwot mieściły się w przedziale od 10% do 200%, a ich średnia wartość wyniosła 49%. Ponad 50% respondentów uznało, że dopłaty powinny ulec zwiększeniu w przedziale od 26% do 50%, a blisko 30% jest zdania, że właściciele gruntów satysfakcjonowałyby stawki wyższe jedynie o 10–25%.

W wielu ankietach zawarte zostały również inne zastrzeżenia dotyczące przyjętych zasad przydzielania płatności, procedury ubiegania się o dofinansowanie oraz funkcjonowania systemu dopłat. Do najpowszechniej krytykowanych rozwiązań w zakresie zasad udzielania płatności na zalesienia i pielęgnację upraw należą:

- ☐ zbyt niskie stawki premii zalesieniowej dla producentów rolnych uzyskujących mniej niż 20% dochodów z rolnictwa (zalesienia w latach 2004–2006) lub brak premii dla rolników uzyskujących mniej niż 25% dochodów z rolnictwa (zalesienia od 2007 r.);
- ☐ brak waloryzacji premii zalesieniowej;
- ☐ skrócenie okresu wypłaty premii zalesieniowej z 20 do 15 lat (zmiana wprowadzona w 2006 r.);
- ☐ wypłata należnych środków finansowych w cyklu rocznym, a nie miesięcznym;

- ❑ brak preferencyjnych, niskooprocentowanych kredytów umożliwiających zakup sadzonek i pokrycie kosztów przygotowania gleby (przed uzyskaniem pierwszej płatności z Agencji Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa).

Ponadto z negatywną oceną spotykają się niektóre z przyjętych rozwiązań w procedurze ubiegania się o dofinansowanie na zalesienia, w tym jej nadmierne rozbudowanie i czasochłonność, zbyt duża liczba wymaganych załączników do wniosków składanych do kierownika biura powiatowego ARiMR oraz do nadleśniczego, obowiązek corocznego składania wniosku do kierownika biura powiatowego ARiMR o wypłatę premii pielęgnacyjnej oraz premii zalesieniowej oraz brak kredytowania (zaliczkowania) zakupu sadzonek przez ARiMR według opracowanego planu zalesienia.

Zwiększenie minimalnej powierzchni zalesianej działki

Drugą bardzo istotną, po konkurencyjności dopłat bezpośrednich do produkcji rolnej, przyczyną załamania się realizacji KPZL po wstąpieniu Polski do Unii Europejskiej jest zwiększenie minimalnej powierzchni działki kwalifikującej się do objęcia dopłatami do zalesień (65% wskazań). Powierzchnia ta została zwiększona w 2004 r. z 0,1 ha do 0,3 ha, a od czerwca 2007 r. – do 0,5 ha. Dodatkową barierę w zalesianiu gruntów rolnych stanowi warunek, by zalesiana działka miała minimum 20 m szerokości (nie dotyczy przypadków, gdy działka rolna graniczy z lasem). Wprowadzone ograniczenia istotnie przyczyniły się do wstrzymania zalesień na obszarach o silnie rozdrobnionej własności gruntów, szczególnie w południowej i środkowej części kraju.

Wyłączenie z zalesień trwałych użytków zielonych

Wyłączenie ze wsparcia zalesień trwałych użytków zielonych, wskazane przez 58% respondentów, wprowadzone zostało na mocy *Rozporządzenia Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi w sprawie szczegółowych warunków i trybu przyznawania pomocy finansowej w ramach działania „Zalesianie gruntów rolnych oraz zalesianie gruntów innych niż rolne”, objętego Programem Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2007–2013* (Dz. U. z 2007 r. nr 114 poz. 786). Zgodnie z § 4 ust. 2 pkt 1 tego aktu prawnego począwszy od połowy lipca 2007 r. możliwość wspierania zalesień na gruntach rolnych obejmuje jedynie grunty orne lub sady.

Wyznaczenie obszarów Natura 2000

Wyłączenie ze wsparcia na zalesianie gruntów położonych na obszarach Natura 2000 wprowadzone zostało na mocy *Rozporządzenia Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi* z 2007, o którym była mowa w poprzednim punkcie (z § 4 ust. 2 i § 5 ust. 2). Ograniczenie to jest wynikiem doświadczeń z realizacją Planu Rozwoju Obszarów Wiejskich w latach 2004–2006, który umożliwiał zalesianie gruntów rolnych na obszarach Natura 2000. Zdaniem organiza-

cji przyrodniczych praktyka ta stała w sprzeczności z celami ochrony tych obszarów. Na skutek protestu skierowanego zarówno do władz krajowych, jak i Komisji Europejskiej, na etapie negocjacji z Komisją Europejską Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2007–2013 uznano, że zalesienia na obszarach Natura 2000 mogą być prowadzone przy zachowaniu określonych wskazań wynikających z planów ochrony tych obszarów, opracowywanych i zatwierdzanych na mocy przepisów *Ustawy z dnia 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody* (Dz. U. z 2004 r. nr 92 poz. 880 z późn. zm.). Konsekwencją braku planów ochrony dla większości obszarów Natura 2000 było zaniechanie wsparcia zalesień na tych obszarach. Ograniczenie to powinno istnieć do czasu stworzenia planów ochrony określających grunty, których zalesienie nie koliduje z wymogami ochrony cennych gatunków roślin i zwierząt oraz siedlisk priorytetowych, będących celem ustanawiania obszarów Natura 2000 (MRiRW 2008).

Brak szkoleń i promocji zalesień wśród rolników

Brak dostatecznych szkoleń i promocji zalesień wśród rolników wskazany został w 43% odpowiedzi na pytanie o przyczyny ograniczenia realizacji „Krajowego programu zwiększania lesistości” w ostatnich latach. Respondenci wskazywali na całkowity brak informacji na temat zalesień w niektórych regionach kraju oraz postulowali uruchomienie przez Agencję Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa akcji szkoleniowej w tym zakresie.

Brak aktualnych miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego

Poważne utrudnienie w realizacji KPZL stanowi brak aktualnych miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego oraz studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego z wyznaczonymi gruntami do zalesienia. O ile większość ankietowanych (79% udzielonych odpowiedzi w tej kwestii) uznała, że obecne przepisy prawa z zakresu gospodarki przestrzennej umożliwiają sterowanie rozmieszczeniem zalesień zgodnie z preferencjami określonymi w KPZL z 2003 roku i w wojewódzkich programach zalesień, o tyle praktyczna realizacja tych przepisów często nie jest możliwa z powodu skomplikowanych i długotrwałych procedur uchwalania i zmian miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego.

5. Podsumowanie i wnioski

Wyniki przeprowadzonych badań pokazują, że załamanie realizacji „Krajowego programu zwiększania lesistości” ma charakter trwały, a jego źródła należy upatrywać przede wszystkim w dynamicznych przemianach społeczno-ekonomicznych, zachodzących na obszarach wiejskich po przystąpieniu

Polski do Unii Europejskiej. Wprowadzenie atrakcyjnego systemu wsparcia w postaci dopłat bezpośrednich dla rolnictwa skutkuje wznowieniem lub kontynuacją produkcji rolnej także na gruntach najslabszej jakości, wcześniej sklasyfikowanych jako grunty do zalesienia.

Rosnące zainteresowanie produkcją rolną znajduje odzwierciedlenie w co najmniej dwóch wskaźnikach: powierzchni odłogów i ugorów, która w latach 2004–2009 uległa zmniejszeniu o 0,9 mln ha, oraz cenach gruntów rolnych w obrocie prywatnym. Zwiększony popyt na grunty rolne, również te najslabszej jakości, przyczynił się do kilkakrotnego wzrostu ich średniej wartości rynkowej od czasu przystąpienia Polski do Unii Europejskiej. Warto jednak zauważyć, że w ujęciu regionalnym wzrost średnich cen gruntów w latach 2004–2010 był najniższy w województwach: świętokrzyskim (2,0 razy), śląskim (2,2), małopolskim (2,5), lubelskim (3,0) i mazowieckim (3,0), które charakteryzują się bardzo niskim wskaźnikiem realizacji celów KPZL. Jednocześnie w województwie kujawsko-pomorskim i pomorskim, w których ceny najslabszych gruntów rolnych w ciągu ostatnich sześciu lat wzrosły ponad czterokrotnie, a ich poziom należy do najwyższych w kraju, zalesienia zrealizowano w rozmiarze znacznie przekraczającym założenia „Krajowego programu zwiększania lesistości” dla lat 2001–2010. Świadczy to o występowaniu w skali całego kraju także innych istotnych czynników ograniczających realizację KPZL.

Inną ważną przyczyną zmniejszenia zainteresowania zalesieniami ze strony właścicieli najslabszych gruntów rolnych jest zwiększenie z 0,1 do 0,5 ha minimalnej powierzchni zalesianej działki, kwalifikującej się do finansowego wsparcia w ramach PROW 2007–2013. Należy zauważyć, że w 2011 r. na mocy *Rozporządzenia Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 20 kwietnia 2011 r. zmieniającego rozporządzenie w sprawie szczegółowych warunków i trybu przyznawania pomocy finansowej w ramach działania „Zalesianie gruntów rolnych oraz zalesianie gruntów innych niż rolne” objętego Programem Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2007–2013* (Dz. U. z 2011 r. nr 93 poz. 543) przywrócono możliwość zalesiania gruntów o powierzchni poniżej 0,5 ha, jeśli dany grunt graniczy z lasem, przy czym jego minimalna powierzchnia musi wynosić 0,1 ha. Na mocy tego samego aktu prawnego zwiększono maksymalną powierzchnię gruntów przeznaczonych do zalesienia z 20 ha do 100 ha, dla jednego beneficjenta w ramach całego okresu obowiązywania programu. Wprowadzenie nowych regulacji pozwoliło zatem na wyeliminowanie jednego z ważniejszych czynników utrudniających zakładanie nowych upraw leśnych na gruntach rolnych w ramach wsparcia oferowanego przez PROW 2007–2013.

Przewyciężenie wynikających z utworzenia obszarów Natura 2000 barier w zalesianiu gruntów wymaga opracowania i zatwierdzenia planów ochrony dla tych obiektów. Plany te bowiem, zgodnie z przepisami *Ustawy o ochronie przyrody* z 2004 r., zawierają wskazanie obszarów, które powinny być zalesione, oraz obszarów wyłączonych z zalesiania. Warto w tym

miejsu zauważyć, że przeprowadzona w październiku 2008 r. nowelizacja *Ustawy o ochronie przyrody* (Dz. U. z 2008 r. nr 201 poz. 1237) ustanowiła również inny instrument planistyczny dla obszarów Natura 2000, jakim jest plan zadań ochronnych. Proces sporządzania planów ochronnych i planów zadań ochronnych jest długotrwały i kosztowny, co przy realiach budżetowych administracji ochrony przyrody (regionalni dyrektorzy ochrony środowiska) oraz skali przygotowywania tych planów (141 obszarów specjalnej ochrony ptaków i 823 specjalnych obszarów ochrony siedlisk; stan na styczeń 2011 r.), stanowić może w najbliższych latach trwałą barierę dla realizacji zalesień na obszarach Natura 2000. Niemniej jednak brak sprzeczności planowanego zalesienia z planami ochrony lub planami zadań ochronnych dla obszarów Natura 2000 upoważnia właścicieli gruntów do ubiegania się o wsparcie na zalesianie gruntów w ramach PROW 2007–2013.

Istotne utrudnienia w zalesianiu gruntów wynikają także z istnienia barier formalno-prawnych, zarówno o charakterze ogólnym, związanych z brakiem aktualnych miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego, jak też specyficznych utrudnień, odnoszących się do funkcjonowania systemu wsparcia zalesiania gruntów rolnych, a przejawiających się nadmiernie rozbudowaną procedurą ubiegania się o dofinansowanie. Przełamanie przeszkód formalno-prawnych wymaga skorygowania przepisów prawa, a zmiany w tym zakresie powinny zmierzać w kierunku upraszczania procedur i minimalizowania barier formalnych i administracyjnych. Ważne jest również uruchomienie szkoleń w zakresie zalesiania i ubiegania się o wsparcie finansowe, skierowanych do rolników i innych właścicieli gruntów.

Wyniki przeprowadzonych badań i analizy danych pozwalają na sformułowanie następujących wniosków.

- ❑ Dotychczasowa dynamika zalesień jest niewystarczająca do osiągnięcia sformułowanego w KPZL celu zwiększenia do 2020 r. lesistości kraju do 30%.
- ❑ Gwałtowny spadek dynamiki zalesień obserwowany jest począwszy od 2004 r., co ma związek z przystąpieniem Polski do Unii Europejskiej i zachodzącymi zmianami społeczno-gospodarczymi na obszarach wiejskich.
- ❑ Główne czynniki wpływające na załamanie realizacji KPZL mają charakter długookresowy, więc mało prawdopodobne jest odwrócenie niekorzystnego trendu w najbliższych latach.
- ❑ Zróżnicowanie przestrzenne stopnia realizacji KPZL jest bardzo duże; zasadniczo na obszarach o największych preferencjach środowiskowych stopień realizacji programu jest daleko niewystarczający.
- ❑ Należy dążyć do uproszczenia procedur przyznawania wsparcia finansowego na zalesienia oraz likwidowania licznych barier proceduralnych i instytucjonalnych utrudniających realizację programu.
- ❑ Wskazane jest uruchomienie szerokiego programu szkoleń dla rolników w zakresie zalesiania i ubiegania się o wsparcie finansowe.

Literatura

- ARiMR. 2012. Informacja dotycząca średnich cen gruntów wg GUS. Warszawa, Agencja Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa, <http://www.arimr.gov.pl/dla-beneficjenta/srednie-ceny-gruntow-wg-gus.html> [10.01.2012 r.].
- GUS. 2002–2010. Leśnictwo (za lata 2002–2010). Warszawa, Główny Urząd Statystyczny.
- GUS. 2011. Rocznik statystyczny rolnictwa 2010. Warszawa, Główny Urząd Statystyczny.
- GUS. 2012. Leśnictwo 2012. Warszawa, Główny Urząd Statystyczny.
- Kaliszewski A. 2012. Problemy realizacji „Krajowego programu zwiększania lesistości” po wstąpieniu Polski do Unii Europejskiej, *Leśne Prace Badawcze*, Vol. 73 (3): 189–200.
- Kaliszewski A., Kwiecień R., Zając S., Młynarski W., Lotz D. 2009. Aktualizacja „Krajowego programu zwiększania lesistości” 2009. Sękocin Stary, Dokumentacja Instytutu Badawczego Leśnictwa, maszynopis, 104 s.
- Łonkiewicz B. 1995. Krajowy program zwiększania lesistości. Warszawa, Ministerstwo Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa.
- MOŚZNiL. 1997. Polityka leśna państwa. Dokument przyjęty przez Radę Ministrów w dniu 22 kwietnia 1997 r. Warszawa, Ministerstwo Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa.
- MRiRW. 2008. Odpowiedź ministra rolnictwa i rozwoju wsi na interpelację nr 1465 w sprawie pomocy finansowej dla rolników pragnących zalesić grunty leżące w obszarach Natura 2000. 19 marca 2008 r. <http://orka2.sejm.gov.pl/IZ6.nsf/main01371F7F> [20.11.2011 r.].
- MŚ. 2003. Krajowy program zwiększania lesistości. Aktualizacja 2003 r. Warszawa, Ministerstwo Środowiska.
- PROW 2007–2013. 2011. Program Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2007–2013. Warszawa, Ministerstwo Środowiska, wersja z lipca 2011 r.
- Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków i trybu przyznawania pomocy finansowej w ramach działania „Zalesianie gruntów rolnych oraz zalesianie gruntów innych niż rolne”, objętego Programem Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2007–2013. Dz. U. z 2007 r. nr 114 poz. 786.
- Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 20 kwietnia 2011 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowych warunków i trybu przyznawania pomocy finansowej w ramach działania „Zalesianie gruntów rolnych oraz zalesianie gruntów innych niż rolne” objętego Programem Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2007–2013. Dz. U. z 2011 r. nr 93 poz. 543
- Ustawa z dnia 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody. Dz. U. z 2004 r. nr 92 poz. 880 z późn. zm.
- Ustawa z dnia 3 października 2008 r. o zmianie ustawy o ochronie przyrody oraz niektórych innych ustaw. Dz. U. z 2008 r. nr 201 poz. 1237.

Stanisław Zajączkowski

Biurow Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej, Sękocin Stary



Prognozy pozyskania drewna w Polsce w perspektywie 20 lat oraz możliwości ich wykorzystania do szacowania zasobów drewna na cele energetyczne

1. Wstęp

Kluczowymi informacjami przy ustalaniu możliwości wykorzystywania pozyskiwanego drewna z lasów do celów energetycznych są z jednej strony ogólne możliwości pozyskania drewna w kraju, z drugiej natomiast faktycznie dostępne ilości drewna na te cele, o czym w dużej mierze decydują przepisy prawne w powiązaniu ze zobowiązaniami w zakresie ilości energii wytworzonej w odnawialnym źródle energii (OZE).

W artykule przedstawiono możliwości pozyskania drewna w lasach Polski, określone na podstawie sporządzonych w Biurze Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej prognoz rozwoju zasobów leśnych, oraz możliwości użytkowania głównego w okresie 20 lat w lasach w zarządzie Państwowego Gospodarstwa Leśnego Lasy Państwowe (PGLLP) oraz w lasach prywatnych (Dawidziuk i Zajączkowski 2012). Obie kategorie własności zajmują łącznie 96% powierzchni leśnej, a ich miąższość stanowi 95,1% miąższości wszystkich lasów w Polsce (BULiGL 2012). Możliwości pozyskania drewna w lasach obu tych kategoriach własności stanowią zatem zdecydowaną większość pozyskiwanego w kraju drewna.

Zgodnie z *Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 18 października 2012 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii* (Dz. U. z 2012 r. poz. 1229) można przyjąć, że do energii z OZE nie zalicza się energii elektrycznej lub ciepła wytworzonego z drewna pełnowartościowego. Oznacza to, że począwszy od 1 stycznia 2013 r. surowcem, który potencjalnie będzie mógł być przeznaczany na cele energetyczne, będzie tylko pozyskane drewno opałowe oraz drobnica i karpina. Nie ma również formalnych przeszkód, aby na cele energetyczne było przeznaczane drewno z pozostałości zrębowych, np. w formie zrębków lub balotów.

Uwzględniając powyższe formalne ograniczenia dotyczące przeznaczania drewna z lasów na cele energetyczne, w pracy oszacowano teoretyczne wielkości drewna opałowego oraz drobnicy (do przerobu przemysłowego i opałowej) na podstawie danych GUS z lat 2001–2010 oraz porównania ilości tych sortymentów w stosunku do prognozowanego na 20 lat pozyskania grubizny drewna w PGLLP oraz w lasach prywatnych do 2031 r. Należy zaznaczyć, że z uwagi na bardzo małą ilość pozyskiwanej w lasach karpiny (np. 0,3 tys. m³ w Lasach Państwowych w 2010 r.), sortyment ten w wyżej wymienionych szacunkach został pominięty. W pracy zwrócono także uwagę na niektóre inne elementy, które powinny być brane pod uwagę przy ocenie faktycznie dostępnych ilości drewna z lasu na cele energetyczne.

2. Prognozy rozwoju zasobów leśnych oraz możliwości pozyskania drewna w latach 2011–2031

Prognozy rozwoju zasobów leśnych – w układzie powierzchniowej i miąższościowej tabeli klas wieku – przeprowadzono przyjmując następujące założenia (Dawidziuk i Zajączkowski 2012):

- ❑ zmiany struktury powierzchni i miąższości w kolejnych dwóch dekadach uwzględniają przewidywane użytkowanie główne oraz wynikające z upływu czasu przesunięcia między klasami wieku;
- ❑ wzrost przeciętnej zasobności na 1 ha (8% po 10 latach oraz 15% po 20 latach) przyjęto zgodnie z trendem wzrostu, obserwowanym w ostatnim dwudziestolecu, wskazującym na dużą akumulację bieżącego przyrostu miąższości, wyższego od przyrostu określanego na podstawie stosowanych tablic zasobności (Szymkiewicz 1986);
- ❑ wzrost powierzchni leśnej w PGLLP oraz w lasach prywatnych przyjęto zgodnie z trendem obserwowanym w ciągu ostatnich lat, tj. około 40 tys. ha w pierwszym i drugim dziesięcioleciu w Lasach Państwowych oraz około 150 tys. w pierwszej dekadzie i 130 tys. ha w drugiej w lasach prywatnych;
- ❑ wskaźniki użytkowania głównego (zharmonizowane z etatami użytkowania głównego) w PGLLP zostały określone na podstawie danych przekazywanych przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych na potrzeby wykonywanej w Biurze Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej (BULiGL) aktualizacji stanu lasu w Lasach Państwowych, natomiast w lasach prywatnych – przy wykorzystaniu danych z wielkoobszarowej inwentaryzacji stanu lasu (WISL);
- ❑ wielkość użytkowania głównego (w podziale na użytkowanie rębne i przedrębne) w poszczególnych okresach wynika z iloczynu wskaźników intensywności użytkowania rębного i przedrębного w poszczególnych klasach i podklasach wieku, określonych na początek progno-

zy (2011 r.) i miąższości zawartych w miąższościowych tabelach klas wieku w kolejnych okresach prognozy.

2.1. Prognozy dla Lasów Państwowych

W opracowanych w BULiGL prognozach rozwoju zasobów leśnych oraz możliwości użytkowania głównego (Dawidziuk i Zajączkowski 2012) jako początkowy przyjęto stan lasu na dzień 1 stycznia 2011 r. według aktualizacji stanu powierzchni leśnej i zasobów drzewnych w Lasach Państwowych (BULiGL 2011). Wyjściowy stan lasów w zarządzie PGLLP można scharakteryzować następująco:

- ❑ ogólna powierzchnia leśna – 7072,4 tys. ha;
- ❑ średni wiek drzewostanów – 60 lat;
- ❑ miąższość na powierzchni leśnej – 1772,5 mln m³ grubizny brutto;
- ❑ przeciętna zasobność – 251 m³/ha;
- ❑ przeciętny roczny etat użytkowania rębne – 16,7 mln m³ grubizny netto;
- ❑ przeciętny roczny etat użytkowania przedrębne – 15,7 mln m³ grubizny netto;
- ❑ łączne użytkowanie główne – 32,4 mln m³ grubizny netto.

Wyniki prognozy kształtowania się struktury powierzchni, miąższości, możliwości użytkowania głównego oraz intensywności użytkowania, a także wielkości bieżącego przyrostu miąższości w lasach będących w zarządzie PGLLP w okresie 2011–2031 przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Stan zasobów leśnych oraz możliwości użytkowania głównego w Lasach Państwowych w 20-letnim okresie prognozy (lata 2011–2031)

Okres prognozy	Powierzchnia (tys. ha) Przeciętny wiek (lata)	Miąższość (mln m ³ grubizny) Zasobność (m ³ /ha)	Możliwości użytkowania głównego			Intensywność użytkowania w stosunku do: zasobów drzewnych / przyrostu (%)	Bieżący 10-letni przyrost miąższości (mln m ³ grubizny brutto)	Bieżący przyrost miąższości (m ³ /ha grubizny rocznie)
			rębne	przedrębne	razem			
			grubizna brutto/netto (mln m ³) udział (%)					
2011-2020	7072,4 60,4	1772,5 250,6	209,1 167,3 51,7	195,6 156,5 48,3	404,7 323,8 100,0	2,28 71,9	562,9	7,9
2021-2030	7112,4 62,8	1930,7 271,5	255,1 204,0 55,3	205,8 164,7 44,7	460,9 368,7 100,0	2,39 81,5	565,5	7,9
2031*	7152,4 63,4	2035,3 284,5	29,40 23,52 57,8	21,44 17,15 42,2	50,84 40,67 100,0	2,50 -	-	7,7

* średniorocznie w okresie prognozy (2031–2040)

Źródło: Dawidziuk i Zajączkowski 2012

Sporządzone dla lasów w zarządzie PGLLP prognozy rozwoju zasobów leśnych oraz możliwości użytkowania głównego można podsumować następująco:

- ❑ Przewiduje się wzrost średniego wieku drzewostanów z 60 lat w 2011 r. do około 63 lat w 2031 r.
- ❑ W okresie do 2031 r. spodziewany jest wzrost zasobów drzewnych: z 1772 mln m³ grubizny brutto w 2011 r. do 1931 mln m³ w 2021 r. (tj. o 9%) oraz do 2035 mln m³ grubizny brutto – w 2031 r. (tj. o około 15% – w stosunku do 2011 r.).
- ❑ Przewiduje się, że szacowany spodziewany bieżący przyrost miąższości w analizowanym 20-letnim okresie będzie utrzymywał się na poziomie około 7,9 m³/ha grubizny brutto rocznie, a następnie zmaleje do około 7,7 m³/ha; przyrost ten, przy przyjętych w prognozie założeniach, jest o około 15% niższy od przyrostu oszacowanego w toku aktualizacji stanu lasu oraz WISL (BULiGL 2011, 2012).
- ❑ Prognozy dotyczące możliwości użytkowania głównego w Lasach Państwowych wskazują na możliwy wzrost etatu użytkowania głównego w kolejnych dziesięcioleciach – z 32,4 mln m³ w okresie 2011–2020 do 36,9 mln m³ w 2021–2030 (tj. o 14%) oraz do 40,7 mln m³ w 2031 r. (wzrost o 26%). Przewiduje się, że etat użytkowania rębego do 2031 r. będzie wzrastał szybciej niż etat użytkowania przedrębego; w związku z tym przewiduje się wzrost udziału etatu użytkowania rębego: z około 52% w 2011 r. do około 58% w 2031 r. – w łącznym etacie użytkowania głównego w PGLLP.

2.2. Prognozy dla lasów prywatnych

W przypadku lasów prywatnych, z uwagi na brak zaktualizowanych danych na dzień 1 stycznia 2011 r., jako wyjściowy przyjęto stan lasu według danych z WISL (BULiGL 2012). Także wielkość etatów przyjęto na podstawie wyników WISL. Wielkości z inwentaryzacji wielkoobszarowej zostały na podstawie relacji miąższości w Lasach Państwowych, określonych przy aktualizacji WISL, tak przekształcone, by zapewnić ich większą porównywalność z danymi z aktualizacji stanu lasu w PGLLP. W Lasach Państwowych wartości z aktualizacji okazały się w zaokrągleniu o około 5% niższe niż wielkości określone w WISL. Dlatego w lasach prywatnych wartości miąższości z WISL zostały zmniejszone o taką właśnie wartość (Dawidziuk i Zajączkowski 2012).

Określony zgodnie z wyżej przedstawionymi zasadami wyjściowy do prognoz stan lasów prywatnych scharakteryzowano za pomocą wskaźników analogicznych jak w PGLLP. Poszczególne wskaźniki przedstawiają się następująco:

- ❑ ogólna powierzchnia leśna – 1685,7 tys. ha;
- ❑ średni wiek drzewostanów – 46 lat;

- ❑ miąższość na powierzchni leśnej – 349,5 mln m³ grubizny brutto;
- ❑ przeciętna zasobność – 207,3 m³/ha;
- ❑ roczne użytkowanie rębne (według WISL) – 1,1 mln m³ grubizny netto;
- ❑ roczne użytkowanie przedrębne (według WISL) – 2,8 mln m³ grubizny netto;
- ❑ łączne użytkowanie główne – 3,9 mln m³ grubizny netto.

Wyniki prognozy kształtowania się powierzchni, miąższości, możliwości użytkowania głównego oraz intensywności użytkowania, a także bieżącego przyrostu miąższości w lasach prywatnych w okresie 2011–2031 przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Stan zasobów leśnych oraz możliwości użytkowania głównego w lasach prywatnych w 20-letnim okresie prognozy (lata 2011–2031)

Okres prognozy	Powierzchnia (tys. ha) <i>Przeciętny wiek (lata)</i>	Miąższość (mln m ³ grubizny) <i>Zasobność (m³/ha)</i>	Możliwości użytkowania głównego			Intensywność użytkowania w stosunku do: zasobów drzewnych / przyrostu (%)	Bieżący 10-letni przyrost miąższości (mln m ³ grubizny brutto)	Bieżący przyrost miąższości (m ³ /ha grubizny rocznie)
			rębne	przedrębne	razem			
			grubizna brutto/netto (mln m ³) <i>udział (%)</i>					
2011–2020	1685,7 <i>45,6</i>	349,5 <i>207,3</i>	14,1	34,7	48,8	1,40 40,4	120,9	6,9
			11,2	27,8	39,0			
			28,9	71,1	100,0			
2021–2030	1835,7 <i>49,6</i>	421,6 <i>229,7</i>	24,8	36,3	61,1	1,45 49,3	123,9	6,5
			19,9	29,0	48,9			
			40,5	59,5	100,0			
2031*	1965,7 <i>53,2</i>	484,4 <i>246,4</i>	3,78	3,69	7,47	1,54 -	-	6,5
			3,02	2,96	5,98			
			50,6	49,4	100,0			

* średniorocznie w okresie prognozy (2031–2040)

Źródło: Dawidziuk i Zajączkowski 2012

Wyniki prognoz uzyskane dla lasów prywatnych można podsumować następująco:

- ❑ Szacuje się, że w okresie objętym prognozą średni wiek drzewostanów w lasach prywatnych wzrośnie z około 46 lat w 2011 r. do około 50 lat w 2021 r. oraz do 53 lat w 2031 r.
- ❑ W całym okresie prognozy, tj. do 2031 r., spodziewany jest wzrost zasobów drzewnych z około 349 mln m³ grubizny brutto w 2011 r. do 422 mln m³ w 2021 r. (tj. o 21%) oraz do 484 mln m³ grubizny brutto w 2031 r. (tj. o 39%).

- ❑ Roczny bieżący przyrost miąższości oszacowano w wysokości około 6,9 m³/ha w okresie 2011–2020 oraz 6,5 m³/ha grubizny brutto w następnej dekadzie. Przy założeniach przyjętych w prognozie wielkość bieżącego przyrostu miąższości jest znacznie niższa (o około 22%) od wielkości, która została oszacowana w toku WISL (8,8 m³ ha rocznie) (BULiGL 2012).
- ❑ W 20-letnim okresie objętym prognozą przewiduje się wzrost możliwości rocznego użytkowania głównego z 3,9 mln m³ grubizny netto w 2011 r. do 4,9 mln m³ w 2021 r. (wzrost o 26%) oraz do około 6,0 mln m³ w 2031 r. (wzrost o 54%). Szacuje się dużo wyższy wzrost użytkowania rębego niż przedrębego, w związku z czym nastąpi zdecydowany wzrost udziału etatu rębego w łącznym etacie użytkowania głównego (z 29% w 2011 r. do 51% – w 2041 r.).

Zgodnie z wyżej przedstawionymi prognozami możliwości użytkowania głównego w PGLLP oraz w lasach prywatnych w kolejnych dziesięcioleciach mogą kształtować się następująco (tab. 3):

Tabela 3. Sumaryczne możliwości użytkowania głównego w PGLLP oraz w lasach prywatnych w 20-letnim okresie prognozy (2011–2031)

Możliwości użytkowania głównego	Lata prognozy		
	2011	2021	2031
	Użytkowanie główne (mln m ³ grubizny netto)		
Lasy Państwowe	32,4	36,0	40,7
Lasy prywatne	3,9	4,9	6,0
Razem	36,3	41,8	46,7
Wzrost względem 2011 r.	100%	115%	129%

Przedstawione wyżej prognozy rozwoju zasobów leśnych oraz możliwości użytkowania głównego wskazują na duże różnice w dynamice zmian zasobów leśnych oraz możliwości użytkowania głównego między Lasami Państwowymi oraz lasami prywatnymi. Wynikają one przede wszystkim z różnego wyjściowego stanu lasu, tj. zdecydowanie wyższego średniego wieku drzewostanów w Lasach Państwowych (60 lat) niż w lasach prywatnych (46 lat) oraz znacznie niższej prognozowanej intensywności użytkowania głównego w lasach prywatnych w porównaniu z PGLLP. Przewidywana intensywność użytkowania w stosunku do przyrostu w Lasach Państwowych wzrasta z 72% w 2011 r. do około 91% w 2031 r., natomiast w lasach prywatnych odpowiednio z około 40% do 57%.

Łączne możliwości użytkowania głównego w PGLLP oraz w lasach prywatnych wzrosną w ciągu pierwszego dziesięciolecia z 36,3 mln m³ grubizny netto w 2011 r. do 41,8 mln m³ w 2021 r., tj. o około 15%, natomiast w ciągu następnej dekady do 46,7 mln m³ grubizny netto (tj. o 29% w stosunku do stanu wyjściowego).

3. Szacowanie wielkości zasobów drzewnych na cele energetyczne

Do przybliżonego szacowania teoretycznych (potencjalnych) ilości drewna na cele energetyczne mogą służyć dane dotyczące udziału sortymentów drewna, które formalnie mogą być wykorzystane do produkcji energii ze źródeł odnawialnych. Zgodnie z cytowanym na wstępie *Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 18 października 2012 r.* (Dz. U. z 2012 r., poz. 1229) jako drewno niepełnowartościowe może być traktowane drewno opałowe oraz drewno małowymiarowe, a także karpina. Ilości tego drewna (bez karpiny, która jest pozyskiwana w zasadzie w bardzo małej ilości tylko w Lasach Państwowych) pozyskiwane w PGLLP oraz w lasach prywatnych w ostatnim 10-leciu, według danych GUS (2002–2011) przedstawiono w tabeli 4. W tabeli tej ujęto także udziały wymienionych wyżej sortymentów drewna (w drobnicy łącznie także drobnicy opałowej) w stosunku do grubizny netto pozyskanej w PGLLP w latach 2001–2010.

Tabela 4. Pozyskanie grubizny opałowej oraz drewna małowymiarowego w Lasach Państwowych w latach 2001–2010

Lata	Grubizna ogółem netto (tys. m ³)	Grubizna opałowa netto		Drewno małowymiarowe		
		miąższość (tys. m ³)	udział (%)	miąższość (tys. m ³)	udział razem (%)	udział drobnicy opałowej (%)
2001	23471	1438	6,1	1643	7,0	4,0
2002	25595	1927	7,5	1808	7,1	4,1
2003	27134	2094	7,7	2086	8,0	4,7
2004	28699	1817	6,3	2294	8,0	4,6
2005	28164	1855	6,6	2207	8,0	4,6
2006	28700	2025	7,1	2142	8,0	4,6
2007	32314	2086	6,5	1777	5,5	3,4
2008	30695	2277	7,4	1855	6,0	4,1
2009	31188	2496	8,0	1916	6,1	4,4
2010	31882	2418	7,6	1888	5,9	4,4
Razem 2001–2010	287842	20433	7,1	19616	6,8	4,3
Razem 2006–2010	154779	11302	7,3	9578	6,2	4,2

Źródło: GUS 2002–2011

Analogiczne dane dla lasów prywatnych, ograniczone z uwagi na brak danych dotyczących drewna małowymiarowego tylko do grubizny drewna opałowego, przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Pozyskanie grubizny opałowej w lasach prywatnych w latach 2001–2010 (według danych GUS)

Lata	Grubizna ogółem netto (tys. m ³)	Grubizna opałowa netto	
		miąższość (tys. m ³)	udział (%)
2001	1153	131	11,4
2002	1111	122	11,0
2003	1151	142	12,3
2004	1269	152	12,0
2005	1124	149	13,3
2006	1098	158	14,4
2007	1348	172	12,8
2008	1248	171	13,7
2009	1089	177	16,3
2010	1244	210	16,9
Razem 2001–2010	11835	1584	13,4
Razem 2006–2010	6027	888	14,7

Źródło: GUS 2002–2011

Przedstawiony w tabelach 4 i 5 udział miąższości pozyskanych wyżej wymienionych sortymentów drewna w stosunku do miąższości pozyskanej grubizny netto ogółem, zarówno w Lasach Państwowych, jak również w lasach prywatnych pozwala oszacować teoretyczne możliwości pozyskania drewna na cele energetyczne w 20-letnim okresie prognozy, tj. do 2031 r., przy założeniu relacji podobnych do podanych w całym okresie prognozy.

Do szacowania prognozowanych teoretycznych wielkości pozyskiwanego drewna na cele energetyczne przyjęto zgeneralizowane wartości udziału drewna, niezaliczonego w *Rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 18 października 2012 r.* do drewna pełnowartościowego (tabela 6). W tabeli tej podano także możliwe obecnie do uzyskania w praktyce wielkości pozostałości zrębowych (w formie zrębków i/lub balotów) w stosunku do ogólnej miąższości pozyskanej grubizny netto.

Tabela 6. Procentowy udział wybranych sortymentów drewna poza drewnem pełnowartościowym w lasach w zarządzie PGLLP oraz w lasach prywatnych

Sortymenty drewna	Lasy Państwowe	Lasy prywatne
Grubizna opałowa	7,5	13,0
Drewno małowymiarowe ogółem	6,0	5,0
w tym: małowymiarowe opałowe	4,0	4,0
Pozostałości zrębowe	5,0	5,0
Razem	18,5	23,0

Oszacowane w powyższy sposób teoretyczne wielkości, które można uważać za potencjalne ilości drewna możliwe do pozyskania na cele energetyczne w lasach będących w zarządzie PGL Lasy Państwowe oraz w lasach prywatnych zestawiono w tabeli 7. W tabeli tej wielkości drewna małowymiarowego przedstawiono zarówno z uwzględnieniem, jak również bez uwzględnienia drewna małowymiarowego przeznaczanego na cele przemysłowe.

Tabela 7. Teoretyczna baza drewna na cele energetyczne w lasach w zarządzie PGLLP oraz w lasach prywatnych (w mln m³, corocznie w okresie prognozy)

Sortymenty	Lasy Państwowe	Lasy prywatne	Razem
Pozyskanie w 2011 r.: PGLLP – 32,4 mln m ³ , lasy prywatne – 3,9 mln m ³ grubizny netto			
Grubizna opałowa	2,43	0,51	2,94
Drewno małowymiarowe w tym drobnica opałowa	1,94 1,30	0,20 0,16	2,14 1,46
Pozostałości zrębowe	1,62	0,20	1,82
Razem	5,99	0,91	6,90
Razem bez drobnicy przemysłowej	5,35	0,87	6,22
Prognoza pozyskania w 2021 r.: PGLLP – 36,9 mln m ³ , lasy prywatne – 4,9 mln m ³ grubizny netto			
Grubizna opałowa	2,77	0,64	3,41
Drewno małowymiarowe w tym drobnica opałowa	2,21 1,48	0,24 0,20	2,45 1,68
Pozostałości zrębowe	1,84	0,24	2,08
Razem	6,82	1,12	7,94
Razem bez drobnicy przemysłowej	6,09	1,08	7,17
Prognoza pozyskania w 2031 r.: PGLLP – 40,7 mln m ³ , lasy prywatne – 6,0 mln m ³ grubizny netto			
Grubizna opałowa	3,05	0,78	3,83
Drewno małowymiarowe w tym drobnica opałowa	2,44 1,63	0,30 0,24	2,74 1,87
Pozostałości zrębowe	2,04	0,30	2,34
Razem	7,53	1,38	8,91
Razem bez drobnicy przemysłowej	6,72	1,32	8,04

4. Podsumowanie

Dane publikowane przez Główny Urząd Statystyczny dotyczące struktury pozyskanego drewna z ostatnich 10 lat (GUS 2002–2012) wskazują, że udział drewna stanowiącego teoretyczną bazę drewna na cele energetyczne wynosi około 18,5% (16,5% bez drobnicy przemysłowej) drewna pozyskiwanego

w Lasach Państwowych oraz około 23,0% (22,0%) grubizny drewna pozyskiwanego w lasach prywatnych.

Oszacowano, że w kolejnych okresach 20-letniej prognozy, teoretyczna baza drewna na cele energetyczne będzie wzrastała zarówno w PGLLP, jak również w lasach prywatnych. Wielkości te w Lasach Państwowych oszacowano w przeliczeniu na jeden rok następująco: w 2011 r. – 5,99 mln m³, w 2021 r. – 6,82 mln m³ oraz w 2031 r. – 7,53 mln m³. W lasach prywatnych natomiast szacunkowe wielkości wynosiły odpowiednio: 0,91 mln m³, 1,12 mln m³ oraz 1,38 mln m³.

Ocena faktycznie dostępnych na cele energetyczne ilości drewna w Lasach Państwowych oraz w lasach prywatnych wymaga bardziej szczegółowych analiz uwzględniających w szczególności potrzebę:

- ☐ zapewnienia zapotrzebowania ludności na drewno opałowe;
- ☐ pozostawiania w lesie części grubizny oraz drobnicy ze względów ochrony ekosystemów leśnych;
- ☐ oceny zasadności przeznaczania dużych ilości drewna z lasu do wytwarzania energii ze źródeł odnawialnych;
- ☐ oceny ilości drewna przeznaczanego na cele energetyczne z plantacji energetycznych roślin szybko rosnących (spoza gospodarstw leśnych).

Należy przy tym zwrócić uwagę także na fakt, że ujęte w tabelach drewno opałowe jest przeznaczane głównie na zapewnienie zapotrzebowania prywatnych odbiorców. Mówiąc o drewnie opałowym należy zwrócić uwagę także na praktyczną możliwość wykorzystania na cele energetyczne tzw. drewna pokłeskowego, którego parametry nie pozwalają na zaliczanie uzyskiwanych z tego drewna sortymentów do drewna pełnowartościowego (w myśl zasad zawartych w *Rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 18 października 2012 r.*). Wymagałoby to jednak – w drodze szczegółowych konsultacji i uzgodnień z ministrem gospodarki – wyodrębnienia dodatkowego sortymentu, który nie byłby zaliczany ani do drewna pełnowartościowego, ani nie byłby przeznaczany na opał dla odbiorców indywidualnych.

Ważnym problemem, którego sposób rozwiązania będzie miał istotny wpływ na ilość drewna przeznaczanego na cele energetyczne jest określenie optymalnej ilości drewna (grubizny i drobnicy), która powinna pozostawać w lesie m.in. ze względu na zachowanie bioróżnorodności oraz ochronę ekosystemów leśnych, względnie dla zachowania wymagań określonych w zasadach certyfikacji lasów. Dotychczas brakuje jednak przekonujących i jednoznacznych rozwiązań w tym zakresie.

Przyjmując, że drewno opałowe będzie przeznaczone dla indywidualnych odbiorców, a na cele energetyczne nie będzie przekazywana drobnica przemysłowa, natomiast z drobnicy opałowej tylko część (np. połowa) będzie kierowana na wytworzenie energii elektrycznej lub ciepła, na cele energetyczne będą mogły być przeznaczane – przy uwzględnieniu biomasy z odpadów zrębowych – znacznie mniejsze niż podane w tabeli 7 ilości drewna. Przy przyjęciu takich założeń faktyczna ilość wielkości biomasy z lasu na cele ener-

getyczne wyniosłyby w 20-letnim okresie prognozy około 2,3–2,9 mln m³ rocznie w Lasach Państwowych oraz około 0,3–0,4 mln m³ rocznie w lasach prywatnych. Wielkości te mogą okazać się większe w przypadku możliwości przeznaczania na cele energetyczne tzw. drewna pokłaskowego (w części niezliczonej do drewna pełnowartościowego), co jednak wymagałoby odpowiednich uzgodnień z ministrem gospodarki.

Literatura

- BULiGL 2011. Wyniki aktualizacji stanu powierzchni leśnej i zasobów drzewnych w Lasach Państwowych według stanu na 1 stycznia 2011 r. Oficyna Wydawnicza FOREST, Sękocin Stary.
- BULiGL 2012. Wielkoobszarowa inwentaryzacja stanu lasów w Polsce. Wyniki za okres 2007–2011. Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej, Sękocin Stary. Maszynopis.
- Dawidziuk J., Zajączkowski S. 2012. Stan i perspektywy rozwoju zasobów leśnych do 2030 r. W: Grzywacz A. (red.), Materiały Konferencji „Wizja przyszłości polskich lasów i leśnictwa do 2030 r.”, Polskie Towarzystwo Leśne, Spała 30–31.08 – 1.09. 2012.
- GUS 2002–2011. Leśnictwo. Roczniki z lat 2002–2011. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
- Szymkiewicz B. 1986. Tablice zasobności i przyrostu drzewostanów. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa.



Plantacje drzew i krzewów szybko rosnących jako alternatywa biomasy z lasu – stan obecny, szanse i zagrożenia rozwoju

1. Wstęp

Biomasa wykorzystywana energetycznie będzie w najbliższych latach jednym z podstawowych elementów umożliwiających osiągnięcie wymaganego udziału energii produkowanej ze źródeł odnawialnych w całości wyprodukowanej energii w Polsce. Zobowiązania te związane są z corocznym wzrostem udziału zużycia energii elektrycznej wyprodukowanej ze źródeł odnawialnych, które docelowo mają wynieść 20% w 2021 roku (Dyrektywa 2009/28/WE). Ponadto w aspekcie krajowych przepisów regulujących wytwarzanie energii ze źródeł odnawialnych (Dz. U. 2008, nr 156, poz. 969; Dz. U. 2010, nr 34, poz. 182, ze zm., Projekt Rozporządzenia z dnia 4 stycznia 2012) istotne jest to, czy biomasa jest pochodzenia leśnego, czy też rolniczego (zaliczana do tzw. grupy agro).

Rodzaj spalanej biomasy i jej udział zależą od typu jednostki wytwórczej przeznaczonej do wytwarzania energii ze źródeł odnawialnych, mocy jednostki oraz terminu oddania jej do użytku. Rosnący niedobór drewna pozyskiwanego z lasu i konieczność oszczędzania go dla bardziej szlachetnych zastosowań, wymusza potrzebę alternatywnego pozyskiwania biomasy drzewnej z plantacji polowych. Nasuwa się pytanie, jakie rośliny wieloletnie i rodzaje biomasy pochodzące z upraw energetycznych dają jej wysoki plon oraz posiadają odpowiednie właściwości fizykochemiczne do jej spalania. Ponadto istotne są informacje dotyczące areалу i stanu obecnego upraw energetycznych i czynników ograniczających ich rozwój.

2. Charakterystyka wieloletnich roślin energetycznych uprawianych na gruntach rolniczych, ich podział i areał w Polsce

W warunkach klimatycznych Polski zaplecze surowcowe biomasy produkowanej na cele energetyczne mogą stanowić 3 grupy roślin:

- ❑ drzewa i krzewy: wierzba (*Salix* L.), topola (*Populus* L.), robinia akacjowa (*Robinia pseudoacacia* L.), róża wielokwiatowa (*Rosa multiflora*);
- ❑ trawy: miskant olbrzymi (*Miscanthus x giganteus* J.M.Greef & M.Deuter), miskant chiński (*Miscanthus sinensis* Andersson), miskant cukrowy (*Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Hack.), spartina preriowa (*Spartina pectinata* Bosc ex Link);
- ❑ byliny: ślazier pensylwański (*Sida hermaphrodita* Rusby L.), roznik przerośnięty (*Silphium perfoliatum* L.), topinambur (*Helianthus tuberosus* L.).

W Polsce aktualnie biomasa na cele energetyczne pochodzi głównie z pozostałości leśnych i przemysłu drzewnego oraz rolnictwa, a także w niewielkim stopniu z odpadów komunalnych. Realizacja zobowiązań dotyczących produkcji i energetycznego wykorzystania biomasy zwiększa zapotrzebowanie i wymusza konieczność jej pozyskiwania z plantacji roślin wieloletnich. Wieloletnie rośliny uprawiane na gruntach rolniczych, które dają biomasę lignocelulozową, pozwalają osiągnąć wyższą wartość energetyczną

Tabela 1. Użytki rolne (UR) w tys. ha potencjalnie przydatne pod uprawę wieloletnich roślin energetycznych

Województwo	Powierzchnia (tys. ha)	Udział (%)
Dolnośląskie	83,3	6,8
Kujawsko-pomorskie	8,1	0,6
Lubelskie	68,8	3,1
Lubuskie	53,4	6,5
Łódzkie	80,2	4,9
Małopolskie	15,1	2,3
Mazowieckie	105,2	3,3
Opolskie	49,9	7,2
Podkarpackie	92,2	10,3
Podlaskie	56,2	3,6
Pomorskie	49,1	3,8
Śląskie	70,8	9,0
Świętokrzyskie	21,9	2,3
Warmińsko-mazurskie	42,6	2,3
Wielkopolskie	42,9	1,8
Zachodniopomorskie	109,1	6,5
Razem	954,1	4,6

plonu z powierzchni hektara niż jednoroczne rośliny rolnicze (Budzyński i in. 2009).

W 2010 roku w Polsce wieloletnie uprawy energetyczne zajmowały symboliczną powierzchnię około 10200 ha, co w odniesieniu do ogólnej powierzchni użytków rolnych (UR) w kraju stanowiło około 0,06 procent. Dominującymi gatunkami w uprawie były: wierzba krzewiasta – 6160 ha, topola – 648 ha, brzoza i olcha – 23 ha, miskant olbrzymi – 1833 ha, inne trawy wieloletnie – 1364 ha, mozga trzcinowata – 53 ha oraz ślazieriec pensylwański – 122 ha (ARiMR 2010).

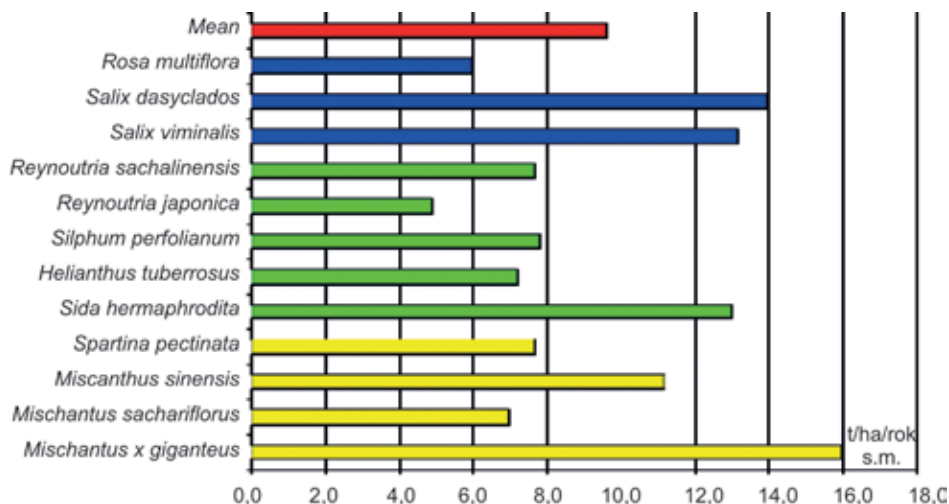
Analizy i szacunki specjalistów wskazują, że w Polsce pod produkcję roślin energetycznych można przeznaczyć od 0,5 do około 1,0 miliona hektarów UR w 2020 roku (tabela 1). Wynika to m.in. z korzystnej relacji powierzchni użytków rolnych przypadającej na jednego mieszkańca w Polsce i krajach UE-15, odpowiednio 0,41 i 0,19 ha. Jednakże pod wieloletnie plantacje energetyczne mogą być przeznaczane jedynie gleby gorszej jakości, ponieważ gleby bardzo dobrej i dobrej jakości powinny służyć produkcji żywności, która pozostaje priorytetem.

W produkcji agrobiomasy wieloletnich roślin energetycznych stawiamy pierwsze kroki. Bazujemy przeważnie na materiale nasadzeniowym nieuszlachetnionym pod względem hodowlanym, nieprzystosowanym do specyficznych warunków środowiska. Nie ma wystarczającego postępu technologicznego w zakresie nawożenia, ochrony roślin przed agrofagami, brak jest też wyraźnego postępu w procesie zbioru, suszenia i uszlachetniania surowca. Ale paradoksalnie dlatego możliwy jest szybki i znaczny postęp we wszystkich powyższych sferach.

3. Czynniki warunkujące produktywność roślin

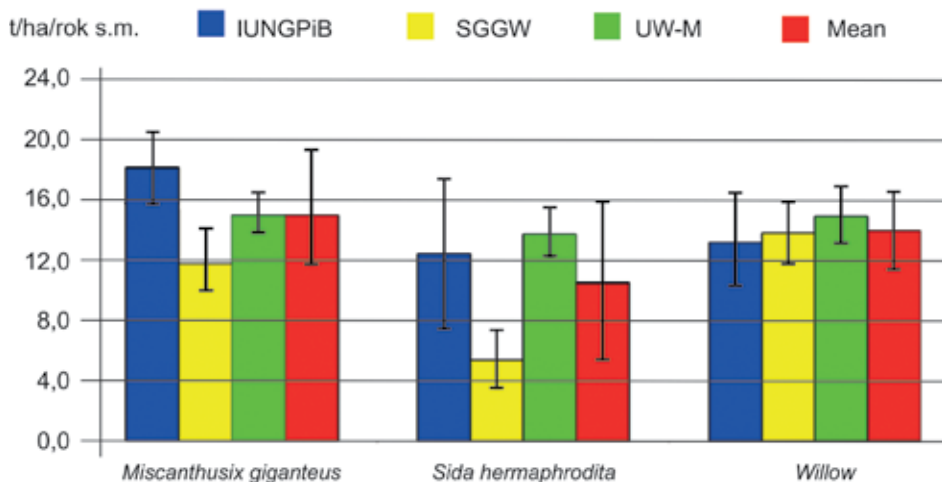
Plon biomasy wieloletnich roślin energetycznych zależy od całego szeregu czynników: jakości genetycznej i somatycznej materiału sadzeniowego, jakości stosowanych zabiegów agrotechnicznych, żyzności gleby, przebiegu pogody, przygotowania stanowiska, współzawodnictwa roślin z chwastami, szkód czynionych na plantacji przez owady i choroby oraz przez zwierzęta (zgryzanie i mechaniczne uszkodzanie roślin).

Dobór gatunków roślin na potrzeby energetyczne jest uzależniony od warunków klimatyczno-glebowych, możliwości i kosztów pozyskania materiału rozmnożeniowego, możliwości zbytu biomasy, uwarunkowań technicznych, organizacyjnych, ekonomicznych i innych. Ważnym czynnikiem często decydującym o wyborze danego gatunku do uprawy jest plon biomasy możliwy do uzyskania w danych warunkach. Analiza doświadczeń z roślinami energetycznymi wskazuje na znaczną rozbieżność wysokości plonów od kilku do kilkunastu ton suchej masy z 1 ha · rok⁻¹ (ryc. 1 i 2) (Stolarski i in. 2008, Tworowski i in. 2010a).



Rycina 1. Plony suchej biomasy wybranych gatunków roślin wieloletnich w badaniach Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie

Źródło: Stolarski i in. 2008



Rycina 2. Plony suchej biomasy podstawowych roślin energetycznych w warunkach badań prowadzonych w Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa, Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego i Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego

Źródło: Tworkowski i in. 2010a

Wysokość plonu uzależniona jest od warunków glebowych, klimatycznych, gatunku i odmiany oraz czynników agrotechnicznych, a w przypadku wierzby, topoli i robinii akacjowej także od częstotliwości (cyklu) zbioru. Poza plonem biomasy z jednego roku istotne znaczenie ma „długowieczność plantacji”, czyli liczba lat jej użytkowania, ponieważ przekłada się to na plon łączny i koszty użytkowania plantacji. Niebagatelną, a wręcz kluczową kwe-

ścią jest możliwość zbioru w niesprzyjających warunkach atmosferycznych, a zwłaszcza po opadach śniegu powodujących silne wyleganie roślin (zwłaszcza bylin i traw) oraz trudności techniczne uniemożliwiające ich zbiór.

4. Krzewy i drzewa szybko rosnące jako alternatywa biomasy z lasu

Ze względu na rosnący niedobór drewna pozyskiwanego z lasu i konieczność oszczędzania go dla bardziej wartościowych zastosowań, istnieje potrzeba alternatywnego pozyskiwania biomasy drzewnej z plantacji polowych. Pozyskiwanie drewna małowymiarowego w krótkich rotacjach wierzby, topoli i robinii akacjowej może złagodzić jego niedobór na rynku i stanowić atrakcyjny surowiec do energetycznego wykorzystania.

Systemy upraw drzewnych o krótkiej (3–6 lat) rotacji (*short-rotation woody crops* – SRWC) warunkują potrzebę wykorzystania genetycznie ulepszanego materiału roślinnego, hodowanego na grunty rolnicze, nieużytki i grunty odłogowane. Wymagają one odpowiedniej technologii uprawy oraz krótkich rotacji. Uprawy te nie mogą jednakże stanowić konkurencji dla upraw żywnościowych.

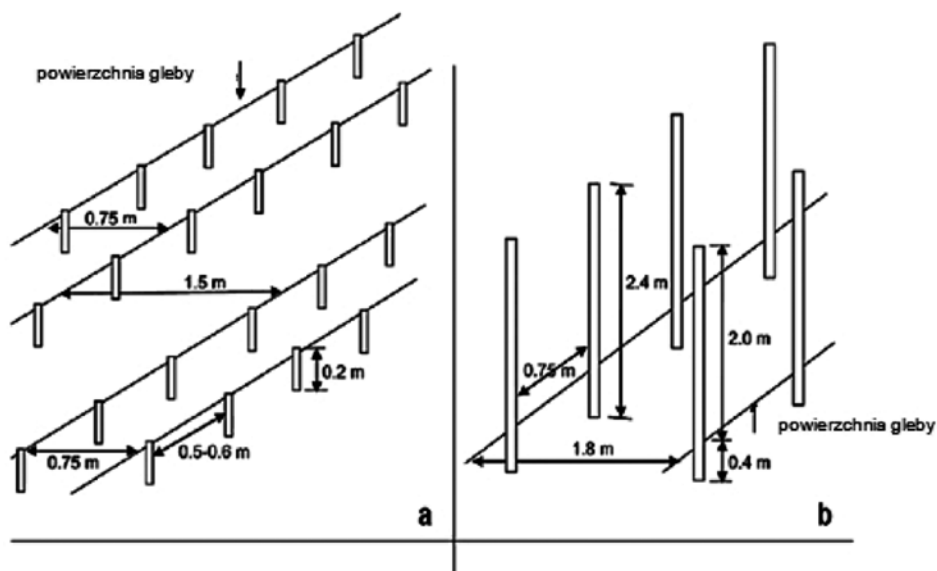
4.1. Wierzba

W rejonach umiarkowanej strefy klimatycznej rodzimym rodzajem są wierzby krzewiaste. Aktualnie w wyniku prac hodowlanych uzyskano odmiany wierzby przydatne do uprawy w krótkich rotacjach, które charakteryzuje: wysoki potencjał produkcyjny biomasy, pozyskiwany w krótkich okresach czasu, łatwość rozmnażania wegetatywnego, szeroka baza genetyczna oraz zdolność do ponownego odrostu pędów po wielokrotnych zbiorach.

Poznanie biologii wierzby i wdrożenie systemu jej uprawy w krótkiej rotacji jest bardzo ważne z rolniczego i ekonomicznego względu. Pomimo licznych zalet biomasy wierzby i możliwości jej konwersji do bioenergii i bioproduktów, wysoki koszt jej produkcji ogranicza szerokie zastosowanie. Koszt produkcji wierzby może zostać znacznie obniżony przez zwiększenie wydajności plonowania, doskonalenie agrotechniki jej uprawy i zbioru biomasy.

Wierzba w odróżnieniu od innych upraw rolniczych, jak na przykład zboża, może być uprawiana na nieużytkach, gruntach marginalnych w systemie Eko-Salix (oryginalny sposób zaproponowany przez autorów opracowania), stymulując rozwój obszarów wiejskich i ograniczając emisję gazów cieplarnianych (GHG). W pewnych regionach w Polsce dostępność biomasy drzewnej, jaka może być produkowana w ekologiczny sposób, jest większa niż potencjał innych odnawialnych źródeł.

Obecnie plantacje wierzby na cele energetyczne są zakładane przy użyciu sadzonek – zrzesów o długości od 18 do 25 cm, wytwarzanych z jednorocznych pędów wierzby krzewiastej. Tak przygotowany materiał sadzeniowy jest najczęściej wysadzany do wcześniej uprawionej gleby w konfiguracji dwurzędowej, przy zagęszczeniu od 10 000 do 20 000 roślin na hektar (ryc. 3). Do uprawy wykorzystuje się zarówno zabiegi mechaniczne, jak i chemiczne środki ochrony roślin. Sadzenie zrzesów może być wykonywane w okresie jesiennym, tuż przed zamarznięciem gleby, oraz w okresie wiosennym. Stanowisko pod tego typu nasadzenia powinno być przygotowane rok wcześniej. W pierwszym roku uprawy po wysadzeniu zrzesów do starannie przygotowanej gleby należy intensywnie i skutecznie zwalczać chwasty metodami mechanicznymi oraz chemicznymi, aby umożliwić rozwój młodym roślinom wierzby. Po pierwszym roku wegetacji młode rośliny są koszone w okresie zimowym. Zabieg ten pobudza je do silniejszego tworzenia pędów z karpą w następnych latach uprawy. W kolejnych latach rośliny są koszone w rotacjach 1-, 2-, 3-, lub 4-letnich przez okres nawet 20 lat. Plantacje tego typu powinny być zakładane na gruntach rolniczych, przygotowanych tak jak pod inne rośliny rolnicze.



Rycina 3. Schemat sadzenia wierzby uprawianej w systemie tradycyjnym (a) oraz Eko-Salix (b)

Źródło: Stolarski i in. 2011

Plon drewna wierzby *Salix viminalis* uzyskany w doświadczeniu na mazi ciężkiej w rotacji 4-letniej (SRWC) zawarty był w przedziale od ponad 11 do 15 ton suchej masy z ha/rok (tab. 2).

Tabela 2. Plon drewna *Salix viminalis* i jego wilgotność uzyskany na madzie ciężkiej w rotacji 4-letniej (SRWC)

Nazwa botaniczna – klon	Plon świeżej biomasy (Mg · ha ⁻¹)	Wilgotność biomasy (%)	Plon suchej biomasy (Mg · ha ⁻¹ · rok ⁻¹)
<i>Salix viminalis</i> (A)	112,66	46,12	15,07
<i>Salix viminalis</i> (B)	94,00	46,95	12,45
<i>Salix viminalis</i> (C)	83,48	47,14	11,13
<i>Salix viminalis</i> (D)	83,80	46,53	11,15
Średnio	93,48	46,68	12,45
NIR _{0,05}	11,89	0,78	3,15

Źródło: Szczukowski i in. 2012

Nowy sposób zakładania plantacji wierzby zwany „Eko-Salix” polega na tym, że materiałem sadzeniowym są nieukorzenione, zdrewniałe sadzonki – żywokoły o długości 200–250 cm, wykonane z dwuletnich lub trzyletnich pędów wierzby. Sadzonki sadi się na głębokość 40–60 cm, a nasadzenia dokonuje się w rozstawie międzyrzędzi od 200 do 300 cm, natomiast odległość roślin w rzędzie wynosi od 100 do 150 cm (ryc. 3). Żywokoły wysadza się na stanowisku bez wcześniejszej uprawy płużnej gleby. W pierwszym roku wegetacji wierzby wykasza się chwasty w międzyrzędziach. W dalszych okresach wegetacji, ze względu na dużą wysokość wierzby, nie stanowią one silnej konkurencji (Stolarski i in. 2011, Tworowski i in. 2010).

Proponowany sposób zakładania plantacji daje możliwość wykorzystania gruntów odłogowanych, zwłaszcza o wysokim poziomie wody gruntowej, które nie są obecnie wykorzystywane rolniczo, często ze względu na trudne warunki siedliskowe, uniemożliwiające coroczną tradycyjną uprawę gleby.

4.2. Zakładanie plantacji wierzby sposobem Eko-Salix na przykładzie eksperymentu

Plantacje założono w 2006 roku na powierzchni 3 ha w pradolinie Wisły na glebie aluwialnej (mąda próchniczna ciężka całkowita, okresowo podmokła). Prace przygotowawcze polegały na wykoszeniu chwastów. Użyto odmian wierzby hodowli Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. Materiałem sadzeniowym były nieukorzenione, zdrewniałe sadzonki – żywokoły wierzby o długości 240 cm, wykonane z trzyletnich pędów. Żywokoły sadzono na głębokość 60 cm, w rozstawie międzyrzędzi 220 cm, natomiast odległość roślin w rzędzie wynosiła 100 cm (obsada 4500 sztuk/ha). W pierwszym roku uprawy wykonano 2-krotne wykaszanie chwastów.

Zbiór biomasy przeprowadzono po 5 latach od momentu wysadzenia roślin, przy użyciu pił łańcuchowych. Oznaczono cechy morfologiczne roślin wierzby, plon biomasy oraz jej jakość. W tabeli 3 przedstawiono syntetyczne

dane dotyczące plonu biomasy wierzby i jej jakości, pozyskanej z systemu Eko-Salix w 5-letniej rotacji zbioru.

Tabela 3. Plon i jakość biomasy pozyskanej w systemie Eko-Salix z 5-letnich pędów wierzby

Parametr	Jednostka	Wielkość		
		średnio	min.	maks.
Plon świeżej biomasy (drewna)	t /ha /rok	15,4	11,0	21,4
Plon suchej biomasy	t s. m./ha/rok	7,7	5,5	10,7
Wysokość rośliny	m	7,3	6,5	8,3
Średnica pędu (pierśnica)	mm	65	53	84
Wilgotność biomasy (zbiór)	%	50	48,3	51,2
Ciepło spalania (sucha masa)	MJ/kg s.m.	19,6	19,5	19,8
Wartość opałowa (świeża masa)	MJ/kg	8,6	8,3	9,0
Zawartość popiołu	%	1,32	1,07	1,54
Zawartość węgla (C)	%	48,6	48,3	49,0
Zawartość wodoru (H)	%	5,8	5,5	6,1
Zawartość siarki (S)	%	0,04	0,03	0,04
Zawartość azotu (N)	%	0,42	0,35	0,55
Zawartość chloru (Cl)	%	0,03	0,02	0,04

Źródło: badania własne

W 2010 roku po pięciu okresach wegetacji rośliny wierzby wysadzone z trzyletnich żywokołów na madzie próchnicznej ciężkiej uzyskały wysokość od ponad 6 do 8 m, średnica pędu w pierśnicy (na wysokości 1,3 m) wynosiła od ponad 50 do 80 mm (tab. 3). Plon świeżej masy drewna uzyskany w pierwszej 5-letniej rotacji zawarty był w przedziale od 55 do ponad 107 t/ha (czyli od 11,0 do 21,4 t/ha/rok.). Odmiana wierzby Duotur i klon UWM-043 *Salix viminalis* na badanym siedlisku dały odpowiednio 18 i ponad 20 t/ha/rok świeżej masy drewna i mogą być one wstępnie zalecane do uprawy w tym systemie na plantacjach produkcyjnych na glebach aluwialnych w Pradolinie Wisły.

Drewno wierzby pozyskane w 5-letnim cyklu zbioru charakteryzuje się bardzo korzystnymi cechami termofizycznymi: niską zawartością wilgoci, popiołu, a wysoką wartością opałową oraz korzystnym składem elementarnym (tab. 3).

Przyrosty drewna wierzbowego pozyskiwanego z tej plantacji są prawie pięciokrotnie większe i ośmiokrotnie szybsze niż przyrosty drzew rosnących w lesie naturalnym na analogicznej powierzchni. Na drewno nie trzeba czekać około 40 lat, co ma miejsce w uprawach leśnych, lecz po 5-ciu latach można rozpocząć dostawy drewna małowymiarowego. Po każdej 5-letniej rotacji z istniejących karp w następnym okresie wegetacji żywiołowo odrastają pędy, które zbiera się w kolejnej rotacji.

Wdrożenie systemu na znacznym areale mogłoby w przyszłości w wydajny sposób przyczynić się do ograniczenia wyrębu lasów z przeznaczeniem drewna na cele energetyczne. Metoda nasadzeń wierzb „Eko-Salix” przy użyciu sadzonek długich (żywokołów) ogranicza nakłady energii na uproszczony sposób przygotowania stanowiska, eliminuje orkę, zmniejsza zabiegi pielęgnacyjne, ogranicza degradację gleb oraz nawożenie w porównaniu do tradycyjnego sposobu zakładania plantacji na gruntach rolniczych przy użyciu sadzonek krótkich (zrzesów). Ogranicza maksymalnie ingerencję rolnika w siedlisko (Stolarski i in. 2010a, 2010b, Szczukowski i in. 2011).

Nasadzenia te, oprócz tego, że spełniają rolę użytków ekologicznych, dają dodatkowo wymierne efekty ekonomiczne. Zinventaryzowanie gleb i założenie w przyszłości na tych terenach plantacji energetycznych proponowanym sposobem „Eko-Salix” dałoby duże ilości surowca lignocelulozowego. Na przykład, przy użytkowaniu wierzb w cyklach 5-letnich z dobrze dobranego stanowiska w sprzyjających warunkach klimatycznych z powierzchni 10 tys. hektarów upraw, umożliwiałoby co roku pozyskiwanie na powierzchni 2 tys. hektarów, z których można by uzyskać 150 tys. ton świeżego drewna wierbowego ($2 \text{ tys. ha} \times 75 \text{ ton/ha} = 150 \text{ tys. ton}$) o aktualnej wartości rynkowej 22,5 miliona zł ($150 \text{ tys. ton} \times 150 \text{ zł/tonę} = 22,5 \text{ mln zł}$).

4.3. Topola

W ostatnim czasie wzrasta zainteresowanie uprawą topoli na gruntach rolniczych w krótkich rotacjach (2–5 letnich) i pozyskiwaniem biomasy drzewnej na cele energetyczne. Odmiany lub klony zalecane do tego rodzaju uprawy rozmnaża się wegetatywnie za pomocą zdrewniałych zrzesów, podobnie jak wierzbę krzewiastą, co znacznie ułatwia zakładanie plantacji. Najwięcej tego rodzaju odmian oferowanych w Polsce pochodzi z hodowli włoskiej, są wśród nich mieszańce wyhodowane z *Populus deltoides*, *Populus canadensis*, *Populus trichocarpa* (Karwowska 2008).

Uprawa roślin drzewiastych w krótkich rotacjach na gruntach rolniczych, a w szczególności topoli jest we Włoszech w ostatnich latach bardzo popularna, a areal plantacji wynosi tam ponad 4 tys. ha (Spinelli i in. 2009). W Grecji powierzchnia upraw topoli jest szacowana na 16,1 tys. ha (Aravanopoulos 2010). Jednak największa ogólna powierzchnia uprawy topoli, głównie jako surowca papierniczego oraz częściowo na cele energetyczne, znajduje się w Hiszpanii. W 2008 roku wynosiła ona tam około 135,7 tys. ha (González-García i in. 2010). Natomiast powierzchnia upraw topoli na gruntach rolniczych w Polsce w 2010 roku wynosiła 648 ha, z czego największy areal znajduje się w województwie pomorskim – ok. 488 ha (Gajewski 2010).

Aby uzyskiwać zadowalające plony biomasy oraz efekty ekonomiczne, plantacje topoli w krótkich rotacjach powinny być zakładane na żyznych glebach o dobrych stosunkach powietrzno-wodnych (Mitchell i in. 1999). Zajączkowski i in. (2001) podają, że zadowalające plony topoli w krótkich

rotacjach można uzyskać na glebach II, III i IVa klasy bonitacji rolniczej. Natomiast gleby piaszczyste niskich klas bonitacji nie są przydatne pod tego rodzaju uprawy. Odczyn gleb dla topoli powinien zawierać się w przedziale 6,0–7,5 (Zabielski 1998). Natomiast optymalny poziom wód gruntowych powinien wynosić od 0,5 do 2 m.

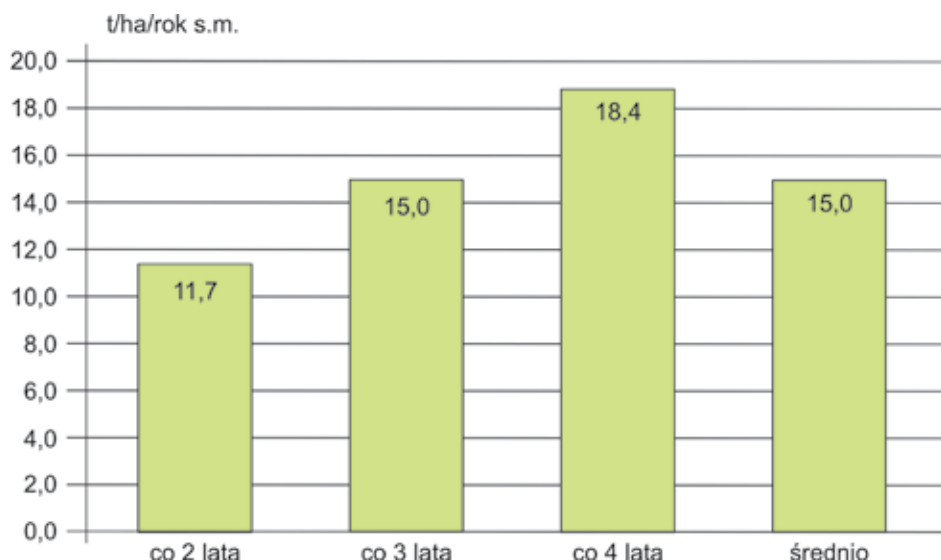
Plonowanie plantacji topolowych uprawianych na gruntach rolniczych w krótkich rotacjach zbioru w warunkach Polski jest mało rozpoznane. Wprawdzie w ostatnim czasie zwiększa się zainteresowanie tego rodzaju uprawami, jednakże nie ma jeszcze pełnych danych z różnych cykli zbioru biomasy.

Zajączkowski i in. (2001) podają, że w badaniach Instytutu Badawczego Leśnictwa, spośród testowanych 17 odmian do uprawy plantacyjnej topoli zarekomendowano trzy. Należą do nich dwie odmiany pochodzenia holenderskiego – *Populus x euramericana* (Dode) Guier ‚Dorskamp’ i *Populus x interamericana* Van Broekhuizen ‚Barn’ oraz jedna pochodzenia belgijskiego – *Populus x interamericana* Van Broekhuizen ‚Beaupre’. Cytowani autorzy podają, że nie są one uprawiane w Polsce w krótkich rotacjach na dużym areale, są natomiast za granicą. Z dobrze prowadzonych upraw tych odmian na dobrych jakościowo glebach można uzyskać ponad 8 ton s.m. z 1 ha w przeliczeniu na rok użytkowania plantacji. Uważa się, że ten poziom plonowania daje możliwość uzyskania opłacalności produkcji w warunkach Europy zachodniej. Z badań IBL wynika również, że plonowanie topoli w krótkich rotacjach w warunkach Polski może być wyższe niż wierzby. Jednakże uważa się, że zalecanie zakładania plantacji na szeroką skalę jest przedwczesne, ze względu na problem ich trwałości. Jeśli plantacje nie byłyby odpowiednio długo użytkowane to istotnie obniżyłoby zasadność ekonomiczną ich prowadzenia.

Zdecydowanie wyższe plony z plantacji topoli uzyskuje się we Włoszech. Jak podają Guidi i in. (2008), klon gatunku *Populus deltoides* L. w dwuletniej rotacji plonował na poziomie 11,7 t s.m./ha/rok. Ponadto wydłużanie rotacji zbioru do trzy i czteroletniej wpływało na istotny wzrost plonowania topoli, do odpowiednio 15,0 i 18,4 t s.m./ha/rok (ryc. 4). W innych doniesieniach literaturowych plonowanie topoli było bardzo zróżnicowane (1,6–28 t s.m./ha/rok) w zależności od warunków klimatycznych, rodzaju siedliska glebowego, gatunku i klonu, rotacji zbioru, wieku plantacji, poziomu nawożenia oraz innych zabiegów agrotechnicznych.

Jakość biomasy topoli pod względem przydatności energetycznej może być zróżnicowana między innymi ze względu na różną zawartość kory w biomasie w zależności od wieku roślin i średnicy ich pędów. Większa zawartość kory przekłada się bezpośrednio na wzrost zawartości popiołu w paliwie.

Wilgotność topoli w doświadczeniu własnym zbieranym w marcu, w trzyletniej rotacji, wynosiła 52,39%, a zawartość popiołu 2,47% s.m. (tabela 4). Zawartość siarki w biomasie wyniosła średnio 0,03%, a azotu, węgla i wodoru odpowiednio: 0,77%, 49,6% i 5,2%. Biomasa topoli charakteryzowała się wysokim ciepłem spalania 20,05 GJ/t, natomiast jej wartość opałowa w stanie wilgotnym wynosiła 9,55 GJ/t (Szczukowski i in. 2012).



Rycina 4. Plony suchej masy topoli *Populus deltoides* L. w zależności od rotacji zbioru roślin

Źródło: Giuidi i in. 2009

Tabela 4. Jakość biomasy topoli pozyskiwanej w rotacji 3-letniej

Wyszczególnienie	Wilgotność (%)	Zawartość (% s.m.)					Ciepło spalania (GJ/t)	Wartość opałowa (GJ/t)
		popiół	C	H	S	N		
Ultra 1	52,62	2,62	49,05	5,14	0,043	1,10	20,01	9,48
Ultra 2	52,76	2,03	50,71	5,22	0,029	0,59	20,32	9,60
Ultra 3	52,20	2,67	49,40	5,16	0,032	0,68	20,02	9,57
Ultra 4	51,96	2,54	49,16	5,28	0,030	0,71	19,86	9,54
Średnio	52,39	2,47	49,58	5,20	0,034	0,77	20,05	9,55

Źródło: badania własne

4.4. Robinia akacyjowa

Uprawa robinii akacyjowej powinna być lokalizowana głównie na przepuszczalnych glebach wytworzonych z piasków słabo gliniastych, ale również na glebach lekkich (piaszczystych), na których może plonować na zadowalającym poziomie. Zajączkowski (2007) podaje, że robinia jest zdolna do wzrostu na suchych i zdegradowanych siedliskach, dlatego znajduje zastosowanie przy zadrzewianiu nieużytków oraz w zadrzewieniach chroniących stoki przed erozją wodną.

Z badań węgierskich wynika, że pierwszy szczyt rocznego przyrostu wolumenu energii plantacje robinii założone z sadzonek korzeniowych

dają w wieku od 3 do 5 lat. Zajączkowski (2007) podaje, że w młodym wieku robinia rośnie bardzo szybko, osiągając kulminację przyrostu wysokości w pierwszych 5 latach, ale jej energiczny przyrost trwa do 10, a nawet 15 roku jej życia. Ponadto po zbiorze roślina wytwarza silne odrosty zarówno pniowe, jak i korzeniowe, dlatego też jest ciekawą rośliną do uprawy w krótkich rotacjach na cele energetyczne. Autor podkreśla również silny związek między liczbą roślin rosnących na plantacji a jej plonowaniem. Dlatego robinie zaleca się wysadzać w rozstawie 1,5 m × 0,3 m, co daje obsadę ok. 22,2 tys. szt./ha.

W mieszanej uprawie 30 różnych klonów *Robinia pseudoacacia* w Grecji uzyskano średnie plony na poziomie 9,75 t s.m./ha/rok i były to jedne z najlepszych wyników w porównaniu do innych eksperymentów prowadzonych w tym kraju. Natomiast w innych badaniach testowano 12 klonów *R. pseudoacacia* var. *monophylla*. Plonowanie wyżej plonujących klonów zawierało się w przedziale 2,90–8,98 t s.m./ha/rok (tab. 5) (Aravanopoulos 2010).

Tabela 5. Produkcja biomasy *Robinia Pseudoacacia* z wybranych eksperymentalnych plantacji w Grecji

Gatunek	Oznaczenie kodowe	Plonowanie (t s.m./ha/rok)
<i>Robinia pseudoacacia</i>	Mieszanka klonów	7,75
<i>R. pseudoacacia</i> var. <i>monophylla</i>	A-7B(6)	8,98
<i>R. pseudoacacia</i> var. <i>monophylla</i>	B-2B(3)	5,82
<i>R. pseudoacacia</i> var. <i>monophylla</i>	A-B(3)	3,98
<i>R. pseudoacacia</i> var. <i>monophylla</i>	A-8A(3)	2,90
Średnio	–	5,89

Źródło: Aravanopoulos 2010

5. Czynniki ograniczające rozwój plantacji roślin energetycznych

Słabe zainteresowanie rolników produkcją biomasy powodowane jest: brakiem dopłat do upraw energetycznych, wysokimi kosztami zakładania plantacji, błędami popełnianymi przy zakładaniu i prowadzeniu plantacji, wysokimi kosztami zakupu maszyn do sadzenia i zbioru roślin, brakiem stabilnego rynku biomasy, długim okresem oczekiwania na pierwsze przychody, niechęcią podejmowania wieloletniego ryzyka przy możliwości pozyskania wyższych przychodów z innej produkcji (tab. 6). Szansą na rozwój jest usunięcie tych barier.

Tabela 6. Czynniki ograniczające rozwój plantacji energetycznych**EKONOMICZNE**

- Wyższe dopłaty rolnicze do innych upraw w porównaniu z produkcją biomasy.
- Inne rodzaje produkcji rolniczej okazują się bardziej opłacalne.
- Wysokie nakłady na założenie i likwidację plantacji.
- Stosunkowo długi okres oczekiwania (3–4 lata) na pierwsze przychody.
- Wysokie koszty zakupu maszyn do zbioru.

RYNKOWE

- Brak stabilnego wykreowanego rynku biomasy.
- Wyższe ceny biomasy w elektrowniach niż w ciepłowniach, co niweczy koncepcję lokalnego jej zagospodarowania; wymaganie dużych partii biomasy.

AGROTECHNICZNE

- Błędy popełniane przy zakładaniu i prowadzeniu plantacji, niespełnianie podstawowych 5 zasad produkcji.
- Mała dostępność do maszyn służących do zbioru biomasy.

MENTALNE

- Przywiązanie do tradycyjnej produkcji roślin jednorocznych.
- Niestabilność rynku roślin jednorocznych potęguje brak zaufania do podejmowania decyzji zakładania upraw wieloletnich.
- Niechęć do podejmowania wieloletniego ryzyka związanego z uprawami energetycznymi przy możliwości łatwiejszego pozyskania przychodów z innych upraw rolniczych.

Źródło – opracowanie własne

6. Podsumowanie

W uprawie drzew i krzewów na plantacjach polowych w Polsce stawiamy pierwsze kroki. Cena biomasy lignocelulozowej pozyskiwanej z gruntów rolniczych jest zbyt wysoka, mało konkurencyjna wobec cen węgla kamiennego oraz mało wymiarowego i poźrębowego drewna leśnego. Istnieją dwie drogi, aby uczynić uprawy drzew i krzewów w krótkiej rotacji ekonomicznie uzasadnionymi. Jedna to obniżenie kosztów produkcji przez zmniejszenie nakładów operacyjnych i zwiększenie plonów biomasy (szerszy dostęp producentów do wiedzy w zakresie nowych technik i technologii produkcji). Druga to wartościowanie korzyści środowiskowych i możliwości rozwoju obszarów wiejskich, związanych z systemem. Połączenie decyzji politycznych oraz poprawa plonowania i wydajności systemów produkcyjnych mogą uczynić w najbliższym czasie biomasę drzewną konkurencyjną wobec paliw kopalnych. Korzyści mogłyby być znacznie zwiększone, gdyby biomasa lignocelulozowa była wykorzystywana jako wsad materiałowy do biorafinerii, które wytwarzają szeroki asortyment produktów o znacznej wartości dodanej, jak paliwa drugiej generacji (biodiesel syntetyczny, bioetanol) i trzeciej generacji (biowodór, biometanol, biobutanol) oraz biochemikalia.

Literatura

- Aravanopoulos F. A. 2010. Breeding of fast growing forest tree species for biomass production in Greece. *Biomass and Bioenergy*, 34: 1531–1537.
- Budzyński, W., Szczukowski, S., Tworowski, J. 2009. Wybrane problemy z zakresu produkcji roślinnej na cele energetyczne. I Kongres Nauk Rolniczych. Przyszłość sektora rolno-spożywczego i obszarów wiejskich. Puławy: 76–89.
- Dyrektywa 2009/28/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 kwietnia 2009 roku w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca Dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE. Dz. Urz. UE L. Nr 140/16.
- Gajewski R. 2010. Potencjał rynkowy produkcji BIOB z przeznaczeniem na cele energetyczne. W: Bocian P., Golec T., Rakowski J. (red.), *Nowoczesne technologie pozyskiwania i energetycznego wykorzystania biomasy*. Instytut Energetyki, Warszawa, s. 414–418.
- González-García S., Gasol C. M., Gabarrell X., Rieradevall J., Teresa Moreira M., Feijoo G. 2010. Environmental profile of ethanol from poplar biomass as transport fuel in Southern Europe. *Renewable Energy*, 35: 1014–1023.
- Guidi W., Piccioni E., Ginanni M., Bonari E. 2008. Bark content estimation in poplar (*Populus deltoides* L.) short-rotation coppice in Central Italy. *Biomass and Bioenergy*, 32(6): 518–524.
- Jadczyzyn J., Faber A., Zalewski A. 2008. Wyznaczanie obszarów potencjalnie przydatnych do uprawy wierzby i ślazuwca pensylwańskiego na cele energetyczne w Polsce. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 11: 55–65.
- Karwowska E. 2008. Topole z plantacji jako surowiec energetyczny. *Czysta Energia*, 2: 28–31.
- Mitchell C. P., Stevens E. A., Watters M. P. 1999. Short-rotation forestry operations, productivity and costs based on experience gained in the U.K. *Forest Ecology and Management*, 121(1–2): 123–136.
- Projekt Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 4 stycznia 2012 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązku uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzenia danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii, wersja 2.9.
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 14 sierpnia 2008 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązku uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzenia danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii. Dz. U. z 2008 r. nr 156 poz. 969 oraz Dz. U. z 2010 r. nr 34 poz. 182 z późn. zm.
- Spinelli R., Nati C., Magagnotti N. 2009. Using modified foragers to harvest short-rotation poplar plantations. *Biomass and Bioenergy*, 33: 817–821.
- Stolarski M., Szczukowski S., Tworowski J. 2008. Biopaliwa z biomasy wieloletnich roślin energetycznych. *Energetyka*, 1: 77–80.
- Stolarski M., Szczukowski S., Tworowski J. 2010a. Charakterystyka biomasy wierzby uprawianej w systemie Eko-Salix w aspekcie energetycznym. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 1: 125–133.
- Stolarski M., Szczukowski S., Tworowski J. 2010b. Ekonomiczne aspekty produkcji biomasy wierzby w systemie Eko-Salix. *Roczniki Nauk Rolniczych, Seria G*, T. 97, z. 1: 82–89.

- Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski J., Klasa A. 2011. Willow biomass production under conditions of low-input agriculture on marginal soils. *Forest Ecology and Management*, 262: 1558–1566.
- Szczukowski S., Stolarski M., Tworkowski J. 2011. Plon biomasy wierzby produkowanej systemem Eko-Salix. *Fragm. Agron.*, 28(4): 104–115.
- Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M., Kwiatkowski J., Krzyżaniak M., Lajszner W., Graban Ł. 2012. Wieloletnie rośliny energetyczne. Oficyna Wydawnicza Multico. Warszawa, ss. 156.
- Tworkowski J., Kuś J., Szczukowski S., Stolarski M. 2010a. Produkcyjność roślin uprawianych na cele energetyczne. W: Bocian P., Golec T., Rakowski J. (red.), *Nowoczesne technologie pozyskiwania i energetycznego wykorzystania biomasy*. Instytut Energetyki, Warszawa, s. 34–49.
- Tworkowski J., Szczukowski S., Stolarski M. 2010b. Plonowanie oraz cechy morfologiczne wierzby uprawianej w systemie Eko-Salix. *Fragmenta Agronomica*, 27(4): 135–146.
- Zabielski S. 1998. *Plantacyjna uprawa drzew i krzewów szybko rosnących*. Wyd. AR Poznań.
- Zajączkowski K. 2007. Robinia akacjowa jako roślina energetyczna. Wokół energetyki – album roślin energetycznych, 10: 30–33.
- Zajączkowski K., Kwiecień R., Zajączkowska B., Wojda T., Zawadzki M. 2001. *Produkcyjne możliwości wybranych odmian topoli i wierzby w plantacjach o skróconym cyklu*. Instytut Badawczy Leśnictwa, Warszawa. Maszynopis.

Marek Jabłoński

Instytut Badawczy Leśnictwa w Sękocinie Starym



Konsekwencje wykorzystania drewna na cele energetyczne w świetle realizacji polityki klimatycznej

1. Wstęp

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 podpisania w 1992 r. Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w Sprawie Zmian Klimatu (ang. *United Nations Framework Convention on Climate Change*, UNFCCC). W 1997 r. uzgodniono dokument wykonawczy do Konwencji – tzw. Protokół z Kioto. Konwencja oraz Protokół z Kioto wskazują m.in. na lasy i leśnictwo jako szansę redukcji koncentracji CO₂ w atmosferze, co również powinno wpłynąć na łagodzenie globalnych zmian klimatu. Działania na obszarach leśnych (zalesienia, wylesienia, gospodarka leśna – podział przyjęty w Protokole) zostały uznane za istotne elementy kształtowania bilansu węgla i włączone do mechanizmów finansowych Protokołu (Michalak i Jabłoński 2007).

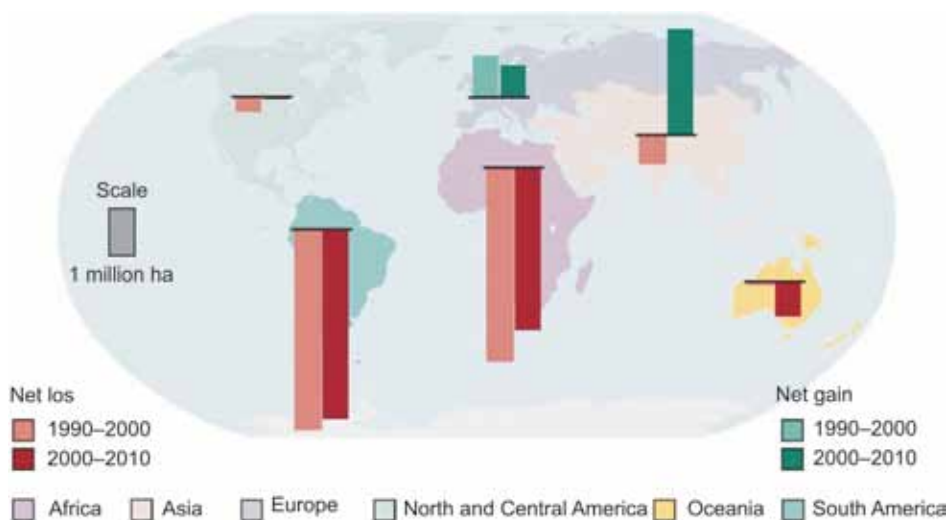
Konieczność uczestnictwa w międzynarodowych wysiłkach na rzecz ochrony klimatu podkreślana jest m.in. w *Polityce klimatycznej Polski* (Polityka 2003) – dokumencie przyjętym przez Radę Ministrów w 2003 r. W opracowaniu jako jeden z celów szczegółowych, w ramach działań podejmowanych w zakresie leśnictwa, wymienia się wzrost wiązania CO₂ przez lasy. Jednocześnie do działań dodatkowych, ukierunkowanych na ochronę klimatu, zalicza się promocję drewna na cele energetyczne. W *Polityce energetycznej Polski do roku 2030* (Polityka 2009) mówi się wręcz o „ochronie lasów przed nadmiernym eksploatowaniem, w celu pozyskiwania biomasy”. Według prognoz zawartych w *Krajowym planie działań w zakresie energii ze źródeł odnawialnych* (Krajowy plan 2010) udział energii wyprodukowanej z biomasy drzewnej, pozyskiwanej bezpośrednio z lasów i innych gruntów zalesionych (6,1 mln ton) oraz pośrednio jako uboczny produkt przemysłu drzewnego (6,4 mln ton), w 2020 roku ma wynosić 20% energii z OZE, tj. 3% całkowitego zapotrzebowania na energię w Polsce.

2. Znaczenie lasów w procesie zmian klimatu

Lasy zajmują około 31% obszarów lądowych świata. Powierzchnia lasów wynosi ponad 4 miliardy hektarów. Ilość węgla zmagazynowana w lasach (biomasie drzewnej i glebie) jest większa niż jego zawartość w atmosferze (FAO 2010).

Lasy w procesie zmian klimatycznych mogą występować w poczwórnej roli (Rykowski 2007):

- ❑ jako „przyczyna”, tzn. źródło gazów szklarniowych, głównie na skutek wylesień, ale również niewłaściwego użytkowania lasu (intensywna uprawa gleby, brak odnowień lub opóźnienia w odnowieniach, przetrzymywania drzew na pniu do stanu rozpadu drzewostanu);
- ❑ jako „ofiara” zmian klimatycznych, które powodują: wzrost wrażliwości lasów na szkodniki i choroby, wzrost palności, zmiany składów gatunkowych, zmiany naturalnych zasięgów gatunków drzew;
- ❑ jako „beneficjent” zmian klimatycznych, tzn. korzystający ze stymulującego przyrost biomasy „efektu szklarniowego”, jak również „efektu nawożenia”, co wyraża się wzrostem zasobów drzewnych na pniu;
- ❑ jako „remedium” na zmiany globalne i zły stan środowiska z uwagi na:
 - zdolności do pochłaniania i względnie trwałego gromadzenia węgla w strukturach ekosystemów leśnych (drewno, gleba);
 - właściwości substytucyjne drewna w odniesieniu do materiałów, których produkcja wpływa negatywnie na środowisko i przyczynia się do zmian klimatycznych (materiały konstrukcyjne i opakowania);



Ryc. 1. Średnioroczne zmiany powierzchni lasów według regionów

Źródło: FAO 2010

- właściwości substytucyjne drewna w stosunku do kopalnych źródeł energii.

Wykorzystywanie biomasy drzewnej na cele energetyczne jest więc działaniem pozytywnym w kontekście zmian klimatycznych – drewno stanowi bowiem substytut paliw kopalnych. Należy jednak pamiętać, że spalanie drewna wiąże się z uwalnianiem do atmosfery dwutlenku węgla oraz innych gazów szklarniowych (CH_4 , N_2O).

Od przyjętej przez kraj strategii użytkowania zasobów drzewnych zależy, czy będą one tzw. pochłaniaczem netto CO_2 , czy też źródłem emisji. W ujęciu globalnym, głównie w wyniku wylesień (ryc. 1), lasy są źródłem emisji netto dwutlenku węgla (FAO 2010).

3. Lasy w mechanizmach Protokołu z Kioto – wytyczne i zobowiązania

W celu wypełnienia zobowiązań dotyczących redukcji emisji CO_2 w latach 2008–2012 (I okres zobowiązań do Protokołu), oprócz zasadniczego działania, jakim jest redukcja emisji przemysłowych, możliwe jest włączenie do ogólnego bilansu działań sprzyjających zwiększaniu sekwestracji węgla. W bilansie emisji CO_2 oraz pozostałych gazów cieplarnianych Polska może uwzględnić:

- ❑ całkowite pochłanianie netto CO_2 na obszarach zalesień i wylesień wykonanych od 1990 r. (art. 3.3. Protokołu),
- ❑ sekwestrację do 820 tys. ton węgla rocznie w ramach działań z zakresu gospodarki leśnej (art. 3.4. Protokołu).

Jednostki redukcji emisji wynikające z pochłaniania CO_2 w leśnictwie mogą podlegać mechanizmom handlu pomiędzy stronami Konwencji.

W odniesieniu do zasad raportowania sekwestracji węgla przez lasy w pierwszym okresie zobowiązań do Protokołu z Kioto należy zauważyć, że pozyskanie drewna, niezależnie od jego przeznaczenia, jest utożsamiane z natychmiastową emisją dwutlenku węgla. Jednocześnie biomasę drewna użytkowego (wywiezionego z lasu) powiększa się o biomasę pozostałych fragmentów drzew (gałęzi, pni i korzeni). Przy takim podejściu wykorzystywanie do celów energetycznych pozostałości pozbrownych nie skutkuje powstawaniem dodatkowych emisji gazów cieplarnianych, poza wynikającymi z samego procesu technologicznego.

W wyniku prowadzonych w ostatnich latach negocjacji związanych z drugim okresem obowiązywania Protokołu z Kioto (lata 2013–2020) poszczególne kraje zobowiązały się do pochłaniania konkretnych wielkości dwutlenku węgla (tzw. poziom odniesienia) w ramach działań z zakresu gospodarki leśnej. W przypadku Polski wynegocjowany poziom odniesienia wynosi 22,75 mln ton CO_2 rocznie (6,2 mln ton C).

Przyjmując udział węgla w biomasie drzewnej na poziomie 0,5 i przeciętną gęstość drewna w stanie suchym na poziomie $0,45 \text{ t/m}^3$ (średnia dla struktury gatunkowej polskich lasów, wg szacunków autora) powyższe zobowiązanie przekłada się na 27,5 mln m^3 drewna, o które zobowiązani będziemy zwiększyć corocznie np. zasoby drzewne na pniu. Wielkości tej nie należy jednak utożsamiać z miąższością grubizny, a z zasobami drewna w całkowitej biomasie nadziemnej i podziemnej. Przyjmując, że biomasa podziemna stanowi około 20% biomasy nadziemnej, a wskaźnik do przeliczenia biomasy grubizny na całkowitą biomasę nadziemną wynosi 1,3 (IPCC 2003, wskaźnik dla gatunków iglastych), analizowany poziom odniesienia można utożsamiać z 17,6 mln m^3 grubizny.

Według wytycznych do Protokołu z Kioto, o ile nie wykaże się że dana pula węgla nie stanowi źródła emisji netto, raportowaniu podlegają następujące zasoby węgla: żywa biomasa nadziemna, żywa biomasa podziemna, martwe drewno, ściółka i gleby leśne (Michalak i Jabłoński 2007). Uzgodniony poziom odniesienia może być więc wspomagany (zrealizowany) poprzez działania skutkujące zwiększeniem zasobów węgla nie tylko w żywej biomasie drzewnej ale również np. w glebach leśnych.

Elementem dodatkowym w porównaniu do uzgodnień dla I okresu zobowiązań, jest możliwość wykazania po 2012 r. sekwestracji węgla również w produktach drzewnych. W takim przypadku ustalony dla Polski poziom odniesienia wzrasta jednak do 27,13 mln ton CO_2 rocznie (7,4 mln ton C).

W drugim okresie zobowiązań do Protokołu z Kioto powstanie jednostek redukcji emisji nastąpi dopiero po wykazaniu większego pochłaniania niż przyjęty dla kraju poziom odniesienia. Z kolei niewywiązanie się z zobowiązania traktowane będzie jako emisja netto dwutlenku węgla.

O ile wykorzystanie drewna na cele energetyczne może być postrzegane pozytywnie w procesie zmian klimatycznych, to m.in. wobec wymienionych powyższej zobowiązań należy zadać pytanie o dostępność surowca drzewnego.

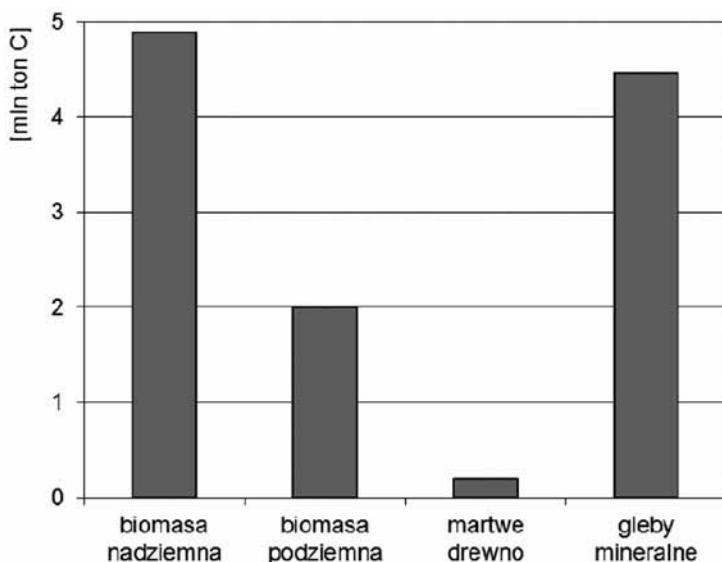
4. Sekwestracja węgla przez lasy w Polsce

Za przygotowywanie informacji (zgłoszeń) dotyczących emisji gazów cieplarnianych w Polsce odpowiada Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE), (Rozporządzenie 2012). Z ostatniego raportu do Protokołu z Kioto przygotowanego przez KOBiZE¹ wynika, że w 2010 r. obszary podlegające działaniom związanym z gospodarką leśną (art. 3.4 Protokołu) pochłaniały netto 52 mln ton CO_2 . Dodatkowo ponad 10 mln ton dwutlenku węgla akumulowane jest w wyniku zalesień (art. 3.3 Protokołu). Wielkości

¹ http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/6598.php, plik pol-2012-kplulucf-08nov.zip

te są zdecydowanie wyższe od przyjętych dla Polski poziomów odniesienia i wskazują na istnienie ewentualnej rezerwy drewna możliwej do wykorzystania np. na cele energetyczne.

Wobec raportowanych dla Polski wielkości dwutlenku węgla pochłanianego przez lasy można mieć pewne wątpliwości. Po pierwsze zastanawiający jest bardzo duży udział biomasy podziemnej w akumulacji węgla ogółem (ryc. 2).



Ryc. 2. Akumulacja węgla przez lasy objęte gospodarką leśną w zgłoszeniu do Protokołu z Kioto za rok 2010

Źródło: UNFCCC 2012

Wielkość biomasy podziemnej i jej zmiany określa się najczęściej za pomocą odpowiednich wskaźników przeliczeniowych względem wielkości biomasy nadziemnej. Z raportu do Konwencji Klimatycznej (KOBiZE 2012) wynika, że przyjęty w polskim zgłoszeniu udział biomasy podziemnej względem biomasy nadziemnej wynosi 0,2 dla gatunków iglastych i 0,24 dla gatunków liściastych. Według danych raportowanych do Protokołu z Kioto (ryc. 2) iloczyn wielkości węgla sekwestrowanego w biomase podziemnej względem wartości dla biomasy nadziemnej wynosi ponad 0,4.

Z informacji zamieszczonych na rycinie 2 wynika ponadto, że dużym udziałem w ogólnym pochłanianiu dwutlenku węgla charakteryzują się mineralne gleby leśne. W zgłoszeniu do Protokołu z Kioto przyjęto, że w 2010 r. zasoby węgla w glebach leśnych zwiększyły się średnio o 0,53 tony na hektar. Metodyka obliczeń przyjęta przez KOBiZE utożsamia wzrost zawartości węgla w glebach leśnych ze zmianą typu siedliskowego lasu, poprzez przyporządkowanie typów siedliskowych lasu do typu gleb wg IPCC (tab. 1).

Tabela 1. Wskaźniki zawartości węgla w glebach leśnych według typów gleb

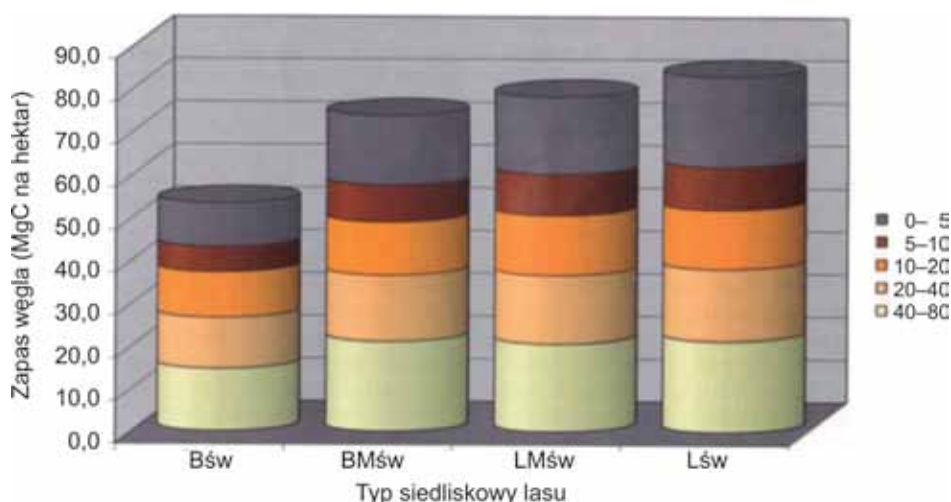
Typy siedliskowe lasu	Typ gleby wg IPCC	powierzchnia [%]		węgiel w glebie [t C/ha]	
		2010	1990	wskaźnik domyślny IPCC	przyjęte wskaźniki
Las mieszany świeży, Las mieszany wilgotny, Las mieszany wyżynny, Las mieszany górski, Las świeży, Las wilgotny, Las wyżynny, Las górski	Aktywne	45,5	33,3	95	110
Bór wilgotny, Bór górski, Bór wysokogórski, 0,5*Bór mieszany świeży, Bór mieszany wilgotny, Bór mieszany wyżynny, Bór mieszany górski	Nisko aktywne	18	19,3	85	70
Bór suchy, Bór świeży, 0,5* Bór mieszany świeży	Piaszczyste	32	43,5	71	30
Bór bagienny, Bór bagienny górski, Bór mieszany bagienny, Las mieszany bagienny, Ols, Ols jesionowy, Ols górski, Las łęgowy, Las łęgowy górski	Podmokłe	4,5	3,9	87	230

Źródło: KOBiZE 2012

Wzrost żyzności siedlisk leśnych, m.in. w związku ze zmianami w metodach ich wyróżniania często był poddawany w wątpliwość. Prowadzone badania sugerują jednak, że zmiany, których przyczyną jest szereg elementów, faktycznie następują (Brzeziecki 1999). Z punktu widzenia raportowania do Protokołu z Kioto istotne jest jednak, jak zmiany żyzności siedlisk przekładają się na zmiany zawartości węgla organicznego w glebach.

Z badań prowadzonych przez Wójcika (2003) wynika, że np. pomiędzy siedliskami świeżymi (dominującymi w Polsce) nie występują aż tak duże różnice w zawartości węgla w glebach (ryc. 3). W przypadku danych zamieszczonych w tabeli 1 wątpliwości budzi przede wszystkim przyjęta w zgłoszeniu zawartość węgla w glebach piaszczystych. Jeżeli zamiast wskaźników przyjętych przez KOBiZE wykorzystalibyśmy wskaźniki domyślne IPCC to sekwestracja węgla w glebach wynikająca ze zmiany struktury siedlisk byłaby o około 70% niższa i wynosiła około 0,15 t C/ha rocznie zamiast 0,53 t C/ha.

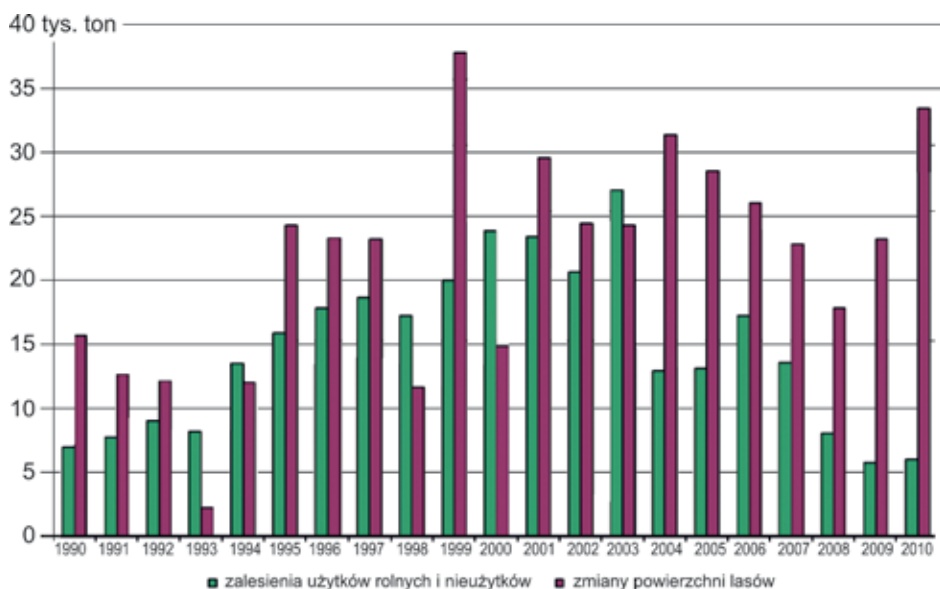
Również w odniesieniu do raportowanej przez KOBiZE ilości węgla akumulowanego w wyniku prowadzenia zalesień można mieć poważne zastrzeżenia. W zgłoszeniu KOBiZE powierzchnię zalesień w latach 1990–2010 (636 tys. ha) utożsamiono ze zmianami powierzchni lasów według sprawozdawczości Głównego Urzędu Statystycznego. Do powierzchni zalesień zaliczono więc m.in. powierzchnię gruntów związanych z gospodarką leśną (powierzchnię linii podziału przestrzennego, dróg leśnych, zabudowań, szkółek,



Ryc. 3. Średnie dla typu siedliskowego lasu zasoby węgla w glebach

Źródło: Wójcik 2003

urządzeń melioracji wodnych itd.) wykazywaną przez GUS w powierzchni gruntów leśnych dopiero od 1994 r. Według danych GUS w latach 1990–2010 zalesiono w Polsce 301 tys. ha gruntów, natomiast powierzchnia lasów (bez gruntów związanych z gospodarką leśną) wzrosła o 443 tys. ha (ryc. 4).



Ryc. 4. Powierzchnia zalesień w Polsce w latach 1990–2010 oraz roczny przyrost powierzchni lasów

Źródło: GUS

Różnica pomiędzy wzrostem powierzchni lasów a powierzchnią zalesień to przede wszystkim efekt porządkowania stanu ewidencyjnego, w tym uznawania zalesień wykonanych przed 1990 r., a więc nie podlegających mechanizmom art. 3.3 Protokołu z Kioto.

W przypadku zalesień wątpliwości budzi również fakt wykazywania akumulacji węgla przez gleby leśne. Z badań prowadzonych w Polsce przez Dovydenko (2004) wynika, że w początkowym okresie po wykonaniu zalesień (nawet przez kilkanaście lat), w efekcie przygotowania powierzchni do sadzenia, występuje uwalnianie węgla z gleb. Podobne wnioski formułuje Berthrong i in. (2009). W zgłoszeniu przygotowywanym przez KOBiZE wskaźnik sekwestracji węgla w glebach na obszarach zalesień wynosi 1,88 t C/ha rocznie i jest ponad trzykrotnie wyższy od odpowiedniego wskaźnika akumulacji węgla w glebach na obszarach podlegających gospodarce leśnej.

Wyniki badań dotyczących kształtowania się zawartości węgla w glebach na obszarach zalesień należałoby przenieść także na proces odnawiania powierzchni leśnych. W efekcie intensywnego przygotowania gleby pod odnowienia lasu również należy liczyć się z uwalnianiem węgla nie tylko z gleb leśnych, ale również ścióły (Yanai i in. 2000).

Jeżeli pominiemy sekwestrację węgla w glebach leśnych (zakładając jednocześnie, że gleby nie są źródłem emisji netto) i zmniejszymy o połowę wielkość pochłaniania CO₂ wykazywaną przez KOBiZE dla biomasy podziemnej, to pochłanianie CO₂ dla obszarów podlegających gospodarce leśnej (bez zalesień) wyniesie około 26 mln ton. Z powyższej puli zgodnie z uzgodnieniami do pierwszego okresu zobowiązań nieco ponad 3 mln ton (820 tys. ton C) generuje powstawanie jednostek redukcji emisji w 2010 r.

Wobec wymienionych wątpliwości dotyczących metodyki raportowania sekwestracji węgla, trudno jest prognozować sytuację dla drugiego okresu zobowiązań do Protokołu z Kioto. Wymienione 26 mln ton CO₂ akumulowane w biomasie drzewnej w 2010 r. (bez zalesień) to ponad 3 mln ton więcej niż wynegocjowany dla Polski poziom odniesienia. Przyjmując wcześniejsze założenia dotyczące gęstości drewna i udziału grubizny w całkowitej biomasie drzewnej nadwyżka ta przekłada się na około 2 mln m³ grubizny (w korze), które mogłyby tworzyć jednostki redukcji emisji lub być przeznaczone na cele energetyczne.

Warto zauważyć, że już w 2011 r. pozyskanie grubizny (bez kory) w Polsce było o 1,3 mln m³ wyższe w porównaniu do roku 2010 (GUS 2012). Jednocześnie jednak, wstępne (nieopublikowane) wyniki wielkoobszarowej inwentaryzacji stanu lasu wskazują, że przyrost miąższości drzew w lasach jest wyższy, niż wynikałoby to z dotychczasowych źródeł danych.

5. Zapotrzebowanie na biomasę drzewną na cele energetyczne

Zakładane w *Krajowym planie działań w zakresie energii ze źródeł odnawialnych* (Krajowy plan 2010) 6,1 mln ton biomasy drzewnej z lasów i innych gruntów zalesionych to około 7,5 mln m³ drewna (wartość oszacowana przez autora na podstawie zamieszczonych w wymienionym dokumencie gęstości drewna w stanie świeżym).

W 2011 r. w Polsce pozyskano 3,2 mln m³ grubizny opałowej oraz 1,8 mln m³ drewna opałowego małowymiarowego (GUS 2012). Dodatkowo około 0,8 mln m³ wynosiło w 2011 r. pozyskanie w Lasach Państwowych sortymentów S2AC i S2AP (dane Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych). Wymienione grupy sortymentów to łącznie 5,8 mln m³ (1 mln m³ więcej niż w roku 2010).

Przy zachowaniu obecnej podaży drewna opałowego i przeznaczanego na cele ciepłownicze (5,8 mln m³) niedobór surowca wynosiłby około 1,7 mln m³. Należy jednak zwrócić uwagę m.in. na fakt pozyskiwania drewna poza lasami. W 2011 r. pozyskano 0,95 mln m³ drewna z zadrzewień, z czego 0,6 mln m³ to drewno średnio- i małowymiarowe (GUS 2012). Ponadto należy zauważyć, że pozyskanie drewna jest rejestrowane bez kory. Przyjmując stosowany w Lasach Państwowych współczynnik (1,25) do przeliczenia miąższości bez kory na miąższość w korze, przy pozyskaniu 5 mln m³ grubizny drewna opałowego i ciepłownicze, dodatkowo uzyskuje się 1 mln m³ surowca opałowego w postaci kory.

Zachowanie poziomu pozyskania wymienionych grup sortymentów drewna przy dodatkowym uwzględnieniu biomasy kory oraz pozyskania drewna z zadrzewień powinno pozwolić na wykonanie prognozowanych dostaw biomasy bezpośrednio z lasów i innych gruntów zalesionych.

O niedoborze surowca drzewnego można natomiast mówić w przypadku prognozowanych pośrednich dostaw biomasy drzewnej z ubocznych produktów drzewnych (Krajowy plan 2010). Wymienione w opracowaniu 6,3 mln ton to prawie 8 mln m³ drewna w stanie świeżym. Szacunki zamieszczone w dokumencie mówią o 7,5 mln m³ drzewnych odpadów przemysłowych obecnie. Znaczną część odpadów wykorzystuje jednak sam przemysł drzewny (meblarski, produkcji płyt drewnopochodnych). Według danych Instytutu Technologii Drewna w 2010 r. podaż ubocznych produktów drzewnych na cele energetyczne wynosiła 5,3 mln m³.

Dążenie do realizacji krajowych założeń odnośnie uzyskiwania energii ze źródeł odnawialnych nie powinno się jednak przekładać automatycznie na zwiększenie pozyskania drewna z lasów. Należałoby raczej ujawnić rzeczywisty poziom wykorzystania drewna do produkcji energii. W *Krajowym planie działań* (Krajowy plan 2010) zwraca się m.in. uwagę na nieznany poziom wykorzystania na cele ciepłownicze drewna klasyfikowanego w Lasach

Państwowych do przerobu przemysłowego. Precyzując, należałoby określić rzeczywiste przeznaczenie drewna średniowymiarowego (S2), szczególnie oferowanego w sprzedaży detalicznej. Ponadto należy zauważyć, że według wstępnych wyników wielkoobszarowej inwentaryzacji stanu lasu rzeczywisty poziom użytkowania w lasach prywatnych jest około trzykrotnie wyższy od oficjalnych danych. Z badań prowadzonych przez Gołosa i in. (2006) wynika, że prywatni właściciele około $\frac{3}{4}$ pozyskiwanego surowca przeznaczają na opał. Wobec powyższego na podstawie wstępnych (niepełnych) danych WISL można by mówić o ponad 2 mln m³ dodatkowego drewna przeznaczanego na opał.

Oczywiście wykazanie dwóch istniejących, ale nieujętych w statystykach pul drewna przeznaczanego na cele energetyczne będzie skutkowało zwiększeniem całkowitego zużycia energii w Polsce. W przypadku drewna średniowymiarowego nabywanego z PGLLP, nie nastąpi natomiast dodatkowa emisja CO₂, ponieważ według metodologii raportowania do Protokołu z Kioto już w momencie pozyskania drewna (wykorzystywanego na opał) przyjmuje się, że wystąpiła emisja dwutlenku węgla.

6. Podsumowanie

Lasy charakteryzują się szczególną rolą w procesie zmian klimatycznych. W zależności od przyjętej przez dany kraj strategii rozwoju zasobów drzewnych, mogą stanowić zarówno przyczynę jak i remedium na zmiany klimatyczne.

Pozytywnym aspektem wykorzystania biomasy drzewnej na cele energetyczne jest zmniejszenie zużycia kopalnych źródeł energii. Wykorzystanie drewna do produkcji energii nie ogranicza jednak emisji gazów cieplarnianych. Emisja dwutlenku węgla zamiast w energetyce jest przypisywana do sektora leśnictwa i użytkowania gruntów.

O ile w pierwszym okresie zobowiązań do Protokołu z Kioto, niezależnie od przeznaczenia surowca drzewnego, pozyskiwanie drewna ujmowano jako emisję CO₂, to w przypadku drugiego okresu zobowiązań (lata 2013–2020) możliwe jest wykazanie sekwestracji węgla w produktach drzewnych. Użycie drewna jako np. materiałów konstrukcyjnych powoduje trwałą (na kilkadziesiąt lat) akumulację dwutlenku węgla, przyczyniając się do ograniczenia efektu cieplarnianego.

Spalanie biomasy drzewnej to nie tylko emisja dwutlenku węgla ale również innych gazów cieplarnianych, takich jak CH₄ i N₂O. W porównaniu do wielkości emisji dwutlenku węgla znaczenie wymienionych gazów jest jednak niewielkie. Przyjmując umownie gęstość drewna w stanie suchym na poziomie 0,45 t/m³ i 50% udział węgla w biomase drzewnej, emisja dwutlenku węgla wynikająca ze spalania 15 mln m³ drewna będzie wynosiła 12,4 mln ton CO₂.

Natomiast emisja N_2O określona za pomocą wskaźników domyślnych IPCC (2003) i wyrażona w ekwiwalencie dwutlenku węgla będzie wynosić około 0,12 mln ton CO_2 .

Spełnienie oczekiwań co do ilości biomasy drzewnej przeznaczanej na cele energetyczne nie musi oznaczać konkutowania o surowiec z przemysłem drzewnym czy też dodatkowej presji na lasy, w celu zwiększenia poziomu pozyskania. W pierwszej kolejności należałoby ujawnić rzeczywisty poziom wykorzystania drewna na cele energetyczne.

Jednocześnie należy pamiętać, że w drugim okresie obowiązywania Protokołu z Kioto Polska jest zobowiązana do akumulacji w biomasie drzewnej (lub glebach leśnych) 22,75 mln ton CO_2 . Z przeprowadzonych analiz wynika, że na chwilę obecną zobowiązanie powyższe jest możliwe do spełnienia.

Literatura

- Berthrong S., Jobba'gy E., Jacson R. 2009. A global meta-analysis of soil exchangeable cations, pH, carbon, and nitrogen with afforestation. *Ecological Applications*, 19(8): 2228–2241.
- Brzeziecki B. 1999. Wzrost żyzności siedlisk leśnych: zjawisko pozorne czy rzeczywiste? *Sylvan*, 143 (11): 99–107.
- Dovydenko N. 2004. Zawartość węgla w glebach wybranych drzewostanów sosnowych i świerkowych na gruntach porolnych. *Leśne Prace Badawcze*, 2: 49–66.
- FAO 2010. *Global Forest Resources Assessment 2010*. FAO Forestry Paper 163. Rome
- Gołos P., Kwiecień R., Głaz J., Kaliszewski A. 2006. Analiza prywatnych gospodarstw rolno-leśnych i leśnych w Polsce – projekt sieci gospodarstw testowych. Maszynopis IBL.
- GUS 2012. *Leśnictwo 2012*. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
- IPCC 2003. Penman J. i in. (red). *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*. IGES. Japan.
- KOBIZE 2012. *Poland's National Inventory Report 2012*. Greenhouse Gas Inventory for 1988–2008. Submission under the UN Framework Convention on Climate Change and its Kyoto Protocol. Warszawa.
- Krajowy plan działań w zakresie energii ze źródeł odnawialnych. 2010. Minister Gospodarki, Warszawa.
- Michalak R., Jabłoński M. 2007. Możliwości raportowania do Protokołu z Kioto – przegląd źródeł, stopnia wiarygodności i dostępności informacji oraz sposobów określania stanu i zmian zasobów węgla w biomasie drzewnej. W: *Konferencja naukowa. Rola lasów i gospodarki leśnej w kształtowaniu bilansu węgla w ekosystemach leśnych w Polsce*, Warszawa, 18 grudnia 2006 roku. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa. s. 73–83
- Polityka energetyczna Polski do roku 2030. 2009. Ministerstwo Gospodarki, Warszawa.
- Polityka klimatyczna Polski. Strategie redukcji emisji gazów cieplarnianych w Polsce do roku 2020. 2003. Ministerstwo Środowiska, Warszawa.
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 9 listopada 2012 r. w sprawie programu badań statystycznych statystyki publicznej na rok 2012. *Dz. U. z 2012 r. poz. 1391*.

- Rykowski K. 2007. Mechanizmy sekwestracji węgla w ekosystemach leśnych i możliwości oddziaływania na nie gospodarki leśnej. W: Konferencja naukowa. Rola lasów i gospodarki leśnej w kształtowaniu bilansu węgla w ekosystemach leśnych w Polsce, Warszawa, 18 grudnia 2006 roku. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa. s. 53–71.
- UNFCCC 2012. United Nations Framework Convention on Climate Change, <http://unfccc.int>.
- Wójcik J. 2007. Gleby leśne jako pochłaniacz CO₂ w kontekście raportowania do Protokołu z Kioto. Postępy Techniki w Leśnictwie, 98: 35–38.
- Yanai R. D., Arthur M. A., Siccama T. G. and Federer C. A. 2000. Challenges of measuring forest floor organic matter dynamics: repeated measure from a chronosequence. Forest Ecology and Management, 138: 273–283.



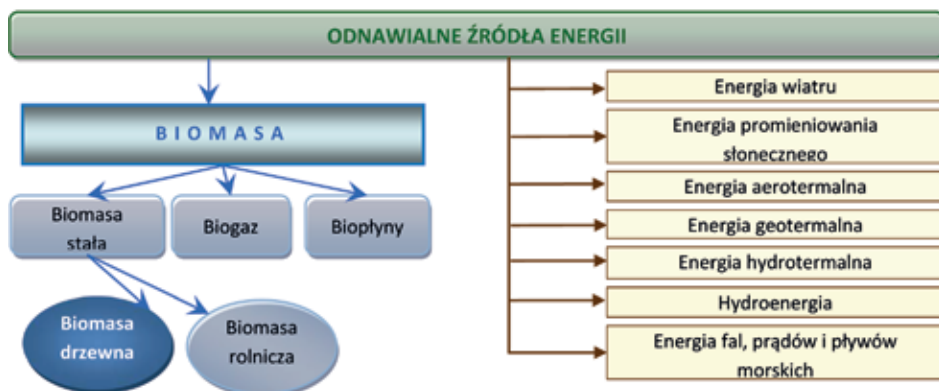
Rynek biomasy drzewnej na cele energetyczne – aspekty ekonomiczne i społeczne

1. Wstęp

Drewno jako surowiec naturalny, ekologiczny na każdym etapie procesu produkcyjnego – od jego pozyskania i przerobu na materiały drzewne i drzewne wyroby finalne po ich ostateczną utylizację, jest jednocześnie jednym z najstarszych nośników energii. Ten charakterystyczny dla biomasy drzewnej dualizm definiuje zatem obszary i kierunki jej możliwych zastosowań. Rodzi jednocześnie dylematy związane z racjonalnością wykorzystania drewna w alternatywnych kierunkach – w celach produkcyjnych (materiałowych) czy przeznaczenia na cele energetyczne. Zagadnienie to nabiera obecnie znaczenia nie tylko w Polsce, ale również w skali globalnej. Wiąże się bowiem z problematyką zapobiegania niekorzystnym zmianom klimatu w wyniku narastającego „efektu cieplarnianego”, jak i kwestią zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego i dywersyfikacji dostępnych źródeł energii. Polityka energetyczna Unii Europejskiej, jak i wynikające z niej strategie krajowe, wyznaczają ramy ustawodawcze i kierunki działań zmierzających do przyspieszenia rozwoju odnawialnych źródeł energii – alternatywnych wobec konwencjonalnych, w tym wykorzystania w coraz większym stopniu jako nośnika energii biomasy, również biomasy drzewnej. Kwestia wypełniania przez Polskę międzynarodowych zobowiązań dotyczących wykorzystania surowców odnawialnych do wytwarzania energii (15% udziału energii ze źródeł odnawialnych w zużyciu energii finalnej brutto w 2020 roku i 20% w 2030 roku) i rozwoju rynku biomasy drzewnej na cele energetyczne coraz częściej rozpatrywana jest jednak w szerszym niż tylko ekologicznym kontekście – zrównoważonego rozwoju całej gospodarki i jej poszczególnych sektorów, racjonalnej eksploatacji obszarów leśnych i rolniczych przy optymalnym zagospodarowaniu dostępnych zasobów surowców naturalnych. Oznacza zatem konieczność integrowania sfery gospodarczej, społecznej i środowiskowej.

2. Biomasa drzewna nośnikiem energii

Biomasa drzewna jest jednym z ważniejszych nośników energii odnawialnej uzyskiwanej z naturalnych, powtarzających się procesów przyrodniczych. W warunkach polskich, głównie ze względu na położenie i ukształtowanie terenu, możliwości wykorzystania energii z innych odnawialnych źródeł (siły wiatru, promieniowania słonecznego, źródeł geotermalnych, energii aerotermalnej i hydrotermalnej, biomasy niedrzewnej, hydroenergii czy energii fal, prądów i pływów morskich) są obecnie dużo mniejsze¹. Biomasa drzewna zaliczana do biomasy stałej wraz z biogazem i biopłynami mieści się w ogólnym pojęciu biomasy² (ryc. 1). Wytwarzanie energii z biomasy uznaje się za stosunkowo mało kapitałochłonne i jednocześnie umożliwiające relatywnie najszybsze wypełnienie przez Polskę międzynarodowych zobowiązań w zakresie produkcji energii elektrycznej i ciepła ze źródeł odnawialnych³. Produkcja biomasy przebiega w zasadzie samoistnie w wyniku reakcji fotosyntezy i promieniowania słonecznego, w efekcie czego w węglowodanach syntetyzowanych z jednego mola CO₂ akumuluje się 470 kJ energii chemicznej (Ratajczak i Cichy 2012).



Rycina 1. Miejsce biomasy drzewnej wśród odnawialnych źródeł energii

Źródło: Opracowanie na podstawie GUS 2011a i Ustawa 2012

¹ Krajowy plan działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych (przyjęty przez Radę Ministrów w 2010 roku i uzupełniony w 2011 roku) zakłada osiągnięcie założonych celów w zakresie wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych głównie poprzez wzrost wytwarzania energii elektrycznej z generacji wiatrowej oraz zwiększenie energetycznego wykorzystania biomasy (Krajowy plan 2010, Ustawa 2012).

² „Ulegająca biodegradacji część produktów, odpadów lub pozostałości pochodzenia biologicznego z rolnictwa (łącznie z substancjami roślinnymi i zwierzęcymi), leśnictwa i związanych działów przemysłu, w tym rybołówstwa i akwakultury, a także ulegająca biodegradacji część odpadów przemysłowych i miejskich”, (Dyrektywa 2009/28/WE, Bocian 2012).

³ Tona spalonej biomasy to zmniejszenie zanieczyszczenia atmosfery o 1,5 tony dwutlenku węgla (Kuś 2009).

Polska energetyka zorientowana jest głównie na wykorzystanie krajowych zasobów węgla kamiennego i brunatnego (znaczących i zapewniających dotychczas relatywnie wysoki stopień bezpieczeństwa energetycznego kraju), a energia odnawialna zapewne jeszcze długo traktowana będzie jako alternatywa dla paliw kopalnych. Jej udział w strukturze produkcji energii przekroczył w 2010 roku 10% (w 2005 roku było to 5,4%) – tabela 1.

Tabela 1. Produkcja energii odnawialnej według jej źródeł w Polsce w latach 2005–2010

Lata	Pro- dukcja energii ogółem	Zużycie energii ogółem	Produkcja energii odnawialnej					Udział produkcji energii odnawialnej	
			razem	w tym:				w pro- dukcji energii ogółem	w zu- życiu energii ogółem
				z bio- masy	geoter- malnej	wia- trowej	wod- nej		
	tys. toe*								%
2005	78447	94832	4432	4166	11	12	189	5,43	4,50
2006	77699	97835	4863	4588	13	22	176	6,26	4,97
2007	72615	99186	5034	4710	10	45	202	6,93	5,08
2008	71304	100526	5156	4739	13	72	185	7,23	5,13
2009	67280	95035	5735	5305	14	93	204	8,52	6,03
2010	67231	101800	6870	5865	13	143	251	10,22	6,75

* toe – tona oleju ekwiwalentnego (umownego); w bilansach międzynarodowych jest to jednostka miary energii oznaczająca ilość energii jaką można wyprodukować ze spalania jednej metrycznej tony ropy naftowej (równa się 41,868 GJ lub 11,63 MWh)

Źródło: Opracowanie na podstawie GUS 2009, 2010, 2011b

W produkcji energii odnawialnej dominują nośniki biomasowe, z udziałem w wysokości 85%, zauważalna jest jednak tendencja do spadku ich znaczenia (z 94,0% w 2005 roku i 92,5% w 2009 roku), głównie na korzyść energii wiatrowej. Biomasa drzewna zdecydowanie przeważa wśród nośników energii zaliczanych do biomasy stałej (Gajewski 2010, Flakowicz 2011). Atutami drewna jako surowca energetycznego są jego właściwości techniczne i użytkowe: stosunkowo wysoka wartość opałowa, niskoemisyjność (wydalanie CO₂ w procesie spalania w ilości jaka została pochłonięta w trakcie wegetacji), relatywnie niska zawartość niepalnych składników mineralnych, śladowa zawartość związków siarki, wysoka temperatura topnienia popiołu powstającego w wyniku spalania.

Z natury drewna wynika, że głównym miejscem powstawania biomasy drzewnej na cele energetyczne jest leśnictwo i sektor drzewny (przemysł drzewny i jego branże, przemysł celulozowo-papierniczy i przetwórstwa papierniczego oraz meblarski). Jej źródłem jest również rolnictwo, są to też miejsca finalnych zastosowań/zużycia materiałów i wyrobów drzewnych, tj. gospodarka komunalna (budownictwo, komunikacja, energetyka i teletech-

nika, handel i gospodarka magazynowa, gospodarstwa domowe, obiekty mieszkalne i niemieszkalne wraz z ich otoczeniem) – ryc. 2.



* z budownictwa energetyki, telekomunikacji, rolnictwa, handlu, gospodarki magazynowej, gospodarstw domowych, obiektów mieszkalnych i niemieszkalnych oraz ich otoczenia

Rycina. 2. Miejsca powstawania i rodzaje biomasy drzewnej na cele energetyczne

Źródło: Opracowanie na podstawie Ratajczak i in. 2011.

Nośnikiem energii może być biomasa drzewna różnego rodzaju: drewno okrągłe, produkty uboczne (z lasu i z przerobu drewna na materiały i wyroby drzewne) oraz drzewne odpady użytkowe. Może mieć zróżnicowaną postać i rozmiary: może być nieprzetworzona – w postaci kawałków (wałki, szczapy, zręzy, opoły) lub w postaci rozdrobnionej (wióry, trociny, kora) albo przetworzona (zrębki) lub skompaktowana (pelety, brykiety). W zależności od miejsca powstawania, rodzaju i stopnia przetworzenia oraz postaci, biomasa drzewna na cele energetyczne różni się składem chemicznym, zawartością zanieczyszczeń (mineralnych, chemicznych, metalowych itp.), wilgotnością, gęstością i wartością opałową. W fazie jej pozyskiwania i wykorzystywania rodzi to określone problemy logistyczne, techniczno-technologiczne i ekonomiczne (np. utrudnienia w transporcie i magazynowaniu, konieczność dostosowania urządzeń i instalacji do spalania, trudności ze stabilizacją procesu spalania). Proces energetycznego przetwarzania wymaga bowiem biomasy o stabilnej jakości, zarówno pod względem właściwości fizycznych (wilgotność), jak i chemicznych (części lotne, wartość opałowa), o odpowiednim rozdrobnieniu, jednorodności, bez zanieczyszczeń. Proces ten może mieć formę spalania bezpośredniego albo współspalania z węglem lub też termicznej utylizacji połączonej z pirolizą i zgazowaniem z ukierunkowaniem na produkcję energii cieplnej albo na produkcję energii cieplnej i elektrycznej (Kubica 2003, Cichy i Prądyński 1997).

Mimo wyzwań, przed jakimi staje obecnie polska energetyka (konieczność obniżenia emisyjności, zwiększenia efektywności energetycznej, przyspieszenia rozwoju „zielonej” energetyki, zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego i dywersyfikacji nośników energii), w polityce gospodarczej Polski oficjalnie zakłada się jednak, że zużycie drewna na cele energetyczne nie powinno powodować jego niedoborów dla przerobu przemysłowego. Priorytetem pozostaje materiałowe zagospodarowanie surowca drzewnego. Istotnym problemem staje się więc optymalne wykorzystanie dostępnych zasobów biomasy poszczególnych jej rodzajów w praktyce gospodarczej. W ostatnich latach sytuacja w tym zakresie nie była korzystna – ze względu na nasilającą się konkurencję o drewno ze strony sektora energetycznego występują okresy deficytu surowca potrzebnego do celów produkcyjnych (szczególnie w okresach dobrej koniunktury gospodarczej). Na cele energetyczne w większym niż dotychczas stopniu powinno być zatem przeznaczane przede wszystkim drewno z upraw plantacyjnych (z plantacji drzew szybkorosnących na użytkach rolnych i plantacji leśnych) i drewno użytkowe (pochodzące ze zużytych wyrobów drzewnych) – wymaga to jednak pokonania jeszcze wielu barier ekonomicznych, technologicznych i organizacyjnych. Rolnictwo jest działem gospodarki, w którym istnieją duże, niewykorzystane dotąd możliwości systematycznego zwiększania potencjału biomasy drzewnej na cele energetyczne (uprawy plantacyjne drzew szybkorosnących na użytkach rolnych są miejscem, gdzie produkuje się ją w sposób celowy, zorganizowany, w oparciu o wyspecjalizowaną agrotechnologię), wymaga to jednak systemowego wsparcia rozwoju tego źródła energii odnawialnej. Aktualnie obszar tych plantacji wynosi jedynie około 11 tys. ha⁴, przy szacowanym potencjale na około 300 tys. ha na gruntach nieprzydatnych do produkcji żywności (Bodul 2012). Natomiast w wypadku zagospodarowania znaczących rezerw drewna użytkowego (nadal trafiającego najczęściej na wysypiska komunalne) konieczne jest stworzenie w praktyce efektywnego systemu jego gromadzenia, klasyfikacji i segregacji z uwzględnieniem ekonomicznych i technologicznych uwarunkowań wykorzystania tego nośnika energii (o możliwościach jego wykorzystania decyduje wiele czynników, m.in. rodzaj i postać, miejsce i koncentracja występowania, opłacalność procesu pozyskiwania) (Ratajczak i in. 2003). Dopiero w dalszej kolejności do produkcji energii należałoby wykorzystywać gorszej jakości i o małej wartości użytkowej surowiec drzewny z lasu (drewno małowymiarowe, pokłeskowe i posuszowe, z terenów porolnych i nieużytków; surowiec, którego pozyskanie nie było dotychczas opłacalne, np. w postaci drobnicy gałęziowo-chrustuwej i balotów) oraz ewentualnie niewykorzystane do celów produkcyjnych drzewne produkty uboczne.

⁴ Dane GUS za 2010 i 2011 rok na podstawie Powszechnego Spisu Rolnego 2010 oraz ze sprawozdania R-05 (Sprawozdanie o użytkowaniu gruntów, powierzchni zasiewów i zbiorach) i badania reprezentacyjnego R-CzSr (Użytkowanie gruntów, powierzchnia zasiewów, pogłowie zwierząt gospodarskich).

Przygotowywane obecnie regulacje prawne⁵ mają wprowadzić istotne zmiany na rynku biomasy drzewnej na cele energetyczne, ustanawiając głównym miejscem jej podaży rolnictwo, a nie sektor leśno-drzewny⁶. Kluczowe znaczenie ma jednak sposób definiowania pojęcia „drewna pełnowartościowego”, tak aby eliminować możliwości jego energetycznego wykorzystania (zgodnie z podpisanym 18.10.2012 r. rozporządzeniem Ministra Gospodarki nie będzie możliwe jego spalanie przez duże jednostki energetyczne), a także ograniczenie możliwości spalania „odpadów i pozostałości z produkcji leśnej oraz przemysłu przetwarzającego jej produkty” (możliwe będzie spalanie w miejscu ich powstawania, bez wymaganego udziału biomasy innej niż pochodzenia leśnego). Podejmowane obecnie działania mają również na celu ograniczenie, a docelowo likwidację wsparcia produkcji energii wytworzonej w oparciu o współspalanie biomasy z paliwami kopalnymi. Zgodnie z propozycjami Ministerstwa Gospodarki wsparcie dla technologii współspalania ma być całkowicie wycofane do 2020 roku (w 2011 roku 61% biomasy zostało zużyte w energetyce w procesach współspalania). W opinii specjalistów, współspalanie węgla z biomasą jest niekiedy mniej ekologiczne niż spalanie samego węgla (Bodył 2012). Jest jednak dla energetyki opłacalne, bowiem uzyskiwane przy tym zielone certyfikaty za każdą jednostkę (MWh) dostarczoną do sieci wiążą się z dopłatami znacząco wpływającymi na osiągane wyniki ekonomiczne. Nowe regulacje mają na celu zwiększenie wykorzystania biomasy w instalacjach przemysłowych, w których spalana jest ona w układach dedykowanych lub w układach hybrydowych w wysokosprawnej kogeneracji lub też skierowanie jej po uszlachetnieniu (brykietowanie, peletyzacja) na potrzeby lokalnej wysokosprawnej produkcji ciepła w automa-

⁵ M. in.: *Rozporządzenie Ministra Gospodarki w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawiania do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii* (dokument podpisany 18.10.2012 roku wejdzie w życie 31.12.2012 roku), www.mg.gov.pl; *Ustawa o odnawialnych źródłach energii*, projekt z dnia 4 października 2012 roku, www.mg.gov.pl.

⁶ Zgodnie z dotychczas obowiązującymi rozporządzeniami Ministra Gospodarki z dnia 14.08.2008 roku (Dz. U. 2008, nr 156, poz. 969) i z dnia 23.02.2010 roku (Dz. U. 2010, nr 34, poz. 182) ze źródeł energii elektrycznej i cieplnej, stosowanych w tzw. energetyce zawodowej (w jednostkach wytwórczych o mocy wyższej niż 5 MW), wyłączona została biomasa drzewna pochodząca z odpadów i pozostałości leśnych oraz pozostałości powstających w procesach przetwórczych przemysłów sektora drzewnego. Oznaczało to, że w technologii współspalania powinna być stosowana biomasa drzewna pochodząca z drzew szybko rosnących uprawianych na plantacjach. Wymagany udział biomasy „nieleśnej” miał wzrastać w każdym kolejnym roku i w 2015 roku miała to być wyłącznie biomasa pochodzenia innego niż leśne. Zgodnie z tymi rozporządzeniami pozostałości drewna pochodzące z lasu, a także pozostałości z przetwarzania drewna w branżach sektora drzewnego są dotąd uznawane jako biomasa i tym samym jako nośnik energii odnawialnej, tylko w wypadku ich spalania w miejscu powstawania oraz w jednostkach wytwórczych o mocy nie większej niż 5 MW w wypadku procesu współspalania, a także w wypadku układów hybrydowych oraz w jednostkach wytwórczych, w których spalana jest wyłącznie biomasa, a ich moc nie przekracza 20 MW.

tycznych dedykowanych kotłach i piecach. Powinno to przynieść znaczące oszczędności (zmniejszenie zużycia biomasy na wytworzenie jednostki energii, obniżenie kosztów energii) i ograniczyć import biomasy. Zakłada się też wspieranie jednostek produkujących energię z biomasy z lokalnych zasobów w mikro- i małych instalacjach (np. w produkujących energię na własne potrzeby zakładach drzewnych).

3. Rynek biomasy drzewnej na cele energetyczne

Jako forma zinstytucjonalizowana, rynek biomasy drzewnej na cele energetyczne jest zjawiskiem stosunkowo nowym, a jego powstanie było w dużym stopniu konsekwencją konieczności zastępowania tradycyjnych paliw kopalnych odnawialnymi źródłami energii. W kategoriach ekonomicznych oznacza on całokształt relacji między wszystkimi uczestnikami transakcji kupna-sprzedaży, których przedmiotem jest biomasa drzewna. Podobnie jak w wypadku każdego rynku, zależności na nim powinny kształtować prawa popytu i podaży regulowane przez ceny. Z rynkiem biomasy drzewnej na cele energetyczne bezpośrednio powiązane są, jednocześnie warunkując jego działanie: rynek drzewny, rynek energii i rynek rolny. Stronę podażową tego rynku tworzą wszyscy dostawcy biomasy, która może być przetworzona energetycznie, a stronę popytową – zainteresowani jej nabyciem wytwórcy energii, tj. energetyka zawodowa (elektrownie/elektrociepłownie i ciepłownie zawodowe), energetyka przemysłowa (elektrownie/elektrociepłownie i ciepłownie przemysłowe) i komunalna (elektrownie, głównie jednak ciepłownie komunalne) oraz odbiorcy indywidualni (gospodarstwa domowe). Elementem rynku biomasy drzewnej na cele energetyczne są również ogniwa pośredniczące w transakcjach kupna-sprzedaży. Jego specyfiką jest też, że dostawcy biomasy mogą być i często są jednocześnie jej odbiorcami i producentami energii w miejscu jej powstawania. Uzyskana energia jest wówczas wykorzystywana bądź na własne potrzeby producenta (np. zużycie produktów ubocznych przerobu drewna w tartakach do produkcji energii na własne potrzeby) bądź sprzedawana jako energia odnawialna (proces ten jest uznawany za relatywnie wysoko opłacalny). W tym wypadku podmiot rynku drzewnego i jego subryнку biomasy drzewnej na cele energetyczne jest równocześnie podmiotem rynku energii i rynku odnawialnych źródeł energii.

Zgodnie z założeniami polityki energetycznej, rynek biomasy drzewnej na cele energetyczne powinien być pewnym i stabilnym elementem całego systemu energetycznego kraju (przeważa przy tym pogląd, że zasadniczo powinien on mieć charakter rynku lokalnego). Obecna faza jego rozwoju wymaga zatem szybkiego wprowadzania do praktyki gospodarczej regulacji precyzujących kierunki i zasady jego dalszego funkcjonowania, mechanizmów

i instrumentów usprawniających system logistyczny (dotyczących zbioru, przetwarzania, transportu, magazynowania biomasy) oraz stworzenia efektywnego systemu informacyjnego umożliwiającego bilansowanie popytu i podaży biomasy drzewnej na cele energetyczne (dotychczas brakuje bowiem pełnej wiedzy zarówno o jej faktycznych zasobach, jak i zapotrzebowaniu na nią, co istotnie utrudnia podejmowanie np. decyzji inwestycyjnych).

Mimo że jako dojrzała kategoria ekonomiczna rynek biomasy drzewnej na cele energetyczne istnieje od stosunkowo niedawna, to stale ewoluując zmierza do osiągnięcia optymalnej swojej struktury. W ostatnich latach powstał jako jego subrynek i coraz dynamiczniej rozwija się segment wtórnych produktów biomasowych – skompaktowanych nośników energii, jakimi są brykiety i coraz bardziej zyskujących na znaczeniu granulatów drzewnych, tj. peletów (technicznie możliwe jest ich produkowanie nie tylko z trocin i wiórów, ale również z kory, zrębków, upraw energetycznych czy słomy). Uznawane są one za najlepsze, wysokowydajne paliwo z biomasy, o niskiej wilgotności i małej zawartości popiołów i substancji szkodliwych dla środowiska, wysokiej wartości energetycznej, łatwe w transporcie i magazynowaniu, bezpieczne w użytkowaniu. Jak się ocenia, w 2011 roku produkcja peletów wzrosła w Polsce do ponad 0,6 mln ton, a łącznie z importem na rynku mogło być blisko 1 mln ton peletów (Gackowska 2012), z czego ponad 10% zostało wyeksportowane. Część tej produkcji wykorzystana została w małych instalacjach przemysłowych i przydomowych, pozostała w procesach współspalania w produkcji energii i ciepła.

Podaż biomasy drzewnej na cele energetyczne w Polsce

Określenie faktycznego potencjału podaży biomasy drzewnej możliwej do wykorzystania na cele energetyczne, podobnie jak popytu na ten nośnik energii, jest w praktyce zadaniem trudnym, a rezultaty wszelkich oszacowań różnią się istotnie w zależności od przyjętych założeń.

Z badań przeprowadzonych (w sposób modelowy) w Instytucie Technologii Drewna w latach 2010–2011 wynika (Ratajczak i in. 2010, 2011), że przy założeniu priorytetu potrzeb w zakresie wykorzystania drewna na cele materiałowe, potencjalna podaż biomasy drzewnej na cele energetyczne wynosiła w 2010 roku około 15,2 mln m³ (tabela 2).

Oceniono, że największe możliwości pozyskania biomasy jako nośnika energii tkwią w leśnictwie i sektorze drzewnym, łącznie były one w 2010 roku potencjalnymi dostawcami 75% całkowitej obliczeniowej wielkości jej podaży. Opierając się m.in. na szacunkach Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych, całkowity potencjał drewna pochodzącego z lasu możliwy do bezpośredniego wykorzystania na cele energetyczne⁷ ustalono na poziomie 6,1 mln m³, natomiast podaż produktów ubocznych z przerobu drew-

⁷ <http://www.krupers.info/materialy/biomasa>.

na, materiałów i wyrobów drzewnych w poszczególnych branżach określono (biorąc pod uwagę przyjęte założenia) w wysokości 5,3 mln m³ (w tym 44% z przemysłu tartaczno i 27% z meblarstwa).

Tabela 2. Szacunkowa podaż biomasy drzewnej na cele energetyczne w Polsce w 2010 roku

Wyszczególnienie	Biomasa drzewna	
	tys. m ³	%
Leśnictwo	6100	40,2
Sektor drzewny	5250	34,6
Gospodarka komunalna	3625	23,9
Rolnictwo	200	1,3
Ogółem	15175	100,0

Źródło: Opracowanie na podstawie Szostak i in. (w druku)

W oszacowanej ilości 3,6 mln m³ biomasy drzewnej na cele energetyczne powstającej w gospodarce komunalnej, około 20% stanowiły zużyte meble, 16% – elementy wyeksploatowanych budynków i budowli, 13% – zużyte opakowania, głównie palety, a 12% – zużyte okna i drzwi. Biomasa z wyeksploatowanych drzewnych wyrobów finalnych pochodziła głównie z budownictwa (1,9 mln m³) oraz gospodarstw domowych, obiektów mieszkalnych i niemieszkalnych i ich otoczenia (0,9 mln m³).

Jak dotychczas, w podaży biomasy drzewnej na cele energetyczne niewielkie znaczenie ma rolnictwo. Oszacowano, że w 2010 r. potencjalnie z plantacji drzew szybko rosnących możliwe było pozyskanie około 200 tys. m³ drewna (1% całkowitej oszacowanej podaży drewna energetycznego w 2010 r.).

Bazując na dotychczasowych trendach i uwzględniając przewidywane (wariantowe) ścieżki rozwoju zarówno całej polskiej gospodarki, jak i sektora drzewnego i rolnictwa (w aspekcie rozwoju plantacyjnych upraw drzew szybko rosnących) przyjęto, że w 2015 roku prognozowana podaż biomasy drzewnej na cele energetyczne może wynieść w Polsce 17,2–17,9 mln m³ (Ratajczak i in. 2011; tabela 3). Oznaczałoby to wzrost w relacji do potencjalnej podaży tego nośnika energii w 2010 roku o 14%–19%.

Przewiduje się, że w 2015 roku leśnictwo i sektor drzewny mogą dostarczyć łącznie 12,5–13,0 mln m³ biomasy drzewnej na cele energetyczne, co będzie stanowić 73% jej całkowitej potencjalnej podaży (w relacji do 2010 r. oznacza to wzrost w wypadku leśnictwa o około 5%, a w wypadku sektora drzewnego o 16%–26%). W sektorze drzewnym głównym dostawcą tego nośnika energii powinna być branża tartaczna (43% podaży całego sektora) oraz przemysł meblarski (28%). Z gospodarki komunalnej możliwe powinno być pozyskanie w 2015 roku 4,5–4,7 mln m³ biomasy drzewnej w postaci drewna użytkowego, będzie to przede wszystkim biomasa z wyeksploatowanych mebli oraz opakowań, głównie palet.

Tabela 3. Prognoza podaży biomasy drzewnej na cele energetyczne w Polsce w 2015 r.

Wyszczególnienie	Biomasa drzewna	
	wariant I	wariant II
	tys. m ³	
Leśnictwo	6400	6400
Sektor drzewny	6105	6595
Gospodarka komunalna	4515	4720
Rolnictwo	200	200
Ogółem	17220	17915

Warianty:

- prawdopodobny/umiarkowanie optymistyczny – wynikający z wolniejszego tempa zmian rozwoju polskiej gospodarki i możliwości rozwoju branż drzewnych do 2015 roku,
- optymistyczny – wynikający z szybszego tempa rozwoju polskiej gospodarki i branż drzewnych do 2015 roku.

Źródło: Opracowanie na podstawie Szostak i in. (w druku)

Natomiast podaż biomasy drzewnej z rolnictwa pozostanie w 2015 r. najprawdopodobniej na poziomie zbliżonym do 2010 r. Warto dodać, że w opinii specjalistów (Gajewski 2011a, 2011b), plantacyjne uprawy drzew szybko rosnących od kilku lat praktycznie się nie rozwijają. Powodem takiej sytuacji jest mało stabilna polityka rolna, brak gwarancji cen i zbytu biomasy drzewnej z upraw plantacyjnych oraz efektywnych mechanizmów wsparcia ich rozwoju.

Zapotrzebowanie na biomasę drzewną na cele energetyczne w Polsce

Ranga problemu, potrzeba zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego kraju, będącego podstawą sprawnego funkcjonowania każdej gospodarki oraz konieczność wypełniania zobowiązań wynikających z pakietu energetyczno-klimatycznego Unii Europejskiej, zwłaszcza z ramowej dyrektywy dotyczącej promocji wykorzystania odnawialnych źródeł energii sprawia, że określenie rzeczywistego, obecnego i przyszłego zapotrzebowania na biomasę drzewną na cele energetyczne jest coraz ważniejszym elementem dyskusji i rozważań praktyków gospodarczych oraz podstawą badań naukowych. Popyt na ten nośnik energii zależy od wielu różnorodnych, wzajemnie oddziałujących na siebie czynników, co powoduje, że bardzo trudne jest określenie jego wielkości, a wszelkie szacunki różnią się znacznie w zależności od zastosowanej metodologii podejścia (szczególnie w ujęciu prognostycznym).

W badaniach przeprowadzonych w Instytucie Technologii Drewna w latach 2010–2011 (Ratajczak i in. 2010, 2011) zużycie biomasy drzewnej na cele energetyczne w 2010 r. obliczono według dwóch procedur badawczych.

W pierwszym podejściu, opierając się na istniejących w literaturze przedmiotu fragmentarycznych/wycinkowych informacjach o zużyciu biomasy stałej i przyjętych założeniach⁸, zużycie biomasy drzewnej na cele energetyczne oszacowano w 2010 r. na poziomie 14,5 mln m³, tj. 10,2 mln ton (tabela 4). W drugim podejściu, w oparciu o znane zapotrzebowanie na energię finalną brutto (elektryczną i ciepłą) pochodzącą z biomasy stałej w wysokości 4613,6 ktoe (Polityka energetyczna 2009) oraz dodatkowe założenia⁹, zużycie to określono na poziomie 16,4 mln m³, tj. około 11,5 mln ton.

Tabela 4. Szacunkowe zużycie biomasy drzewnej na cele energetyczne w Polsce w 2010 r.

Wyszczególnienie	Zużycie biomasy drzewnej	
	podejście metodyczne	
	I	II
	mln m ³	
Ogółem odbiorcy biomasy drzewnej, w tym:	14,5	16,4
▪ energetyka zawodowa	3,8	–
▪ energetyka przemysłowa	2,1	–
▪ odbiorcy indywidualni	8,6	–

Źródło: Opracowanie na podstawie Ratajczak i in. 2012

Zapotrzebowanie na nośnik energii, jakim jest biomasa drzewna jest więc w Polsce znaczące. Przedsiębiorstwa energetyczne i ciepłownicze w coraz częściej decydowały się w ostatnich latach na współspalanie biomasy z węglem, część z nich instaluje kotły wykorzystujące wyłącznie biomasę. Według Agencji Rozwoju Energii S.A. (Flakowicz 2011) w 2010 r. funkcjonowały w Polsce 53 obiekty zużywające (wyłącznie lub we współspalaniu) biomasę na cele energetyczne (46 elektrowni/elektrociepłowni zawodowych oraz 7 elektrowni/elektrociepłowni przemysłowych). Działające w Polsce 18 elektrowni na biomasę wytworzyło w 2010 roku 629797 MWh energii, tj. około 6% łącznej energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych (Polska 2011).

Z szacowanej ilości 5,3 mln m³ biomasy drzewnej powstającej w sektorze drzewnym około 58% zużyły w 2010 roku na własne potrzeby energetyczne branże drzewne – głównie tartaczna i płyt drewnopochodnych (tabela 5).

⁸ Oszacowanie udziału biomasy drzewnej w biomasie stałej oraz przyjęcie średniego przelicznika jednostki opałowej na jednostkę surowca drzewnego opałowego (Ratajczak i in. 2010, 2011).

⁹ Oszacowanie udziału biomasy drzewnej w biomasie stałej (na podstawie informacji dotyczących struktury spalanej biomasy stałej w polskiej energetyce (Forowicz 2010, Gajewski 2010) i ustalenie średniego przelicznika 1 tony drewna opałowego na jednostkę energii (według World Energy Council. Zakład Ekonomiki i Badań Rynku Paliwowo-Energetycznego, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków).

Tabela 5. Orientacyjne wykorzystanie biomasy drzewnej powstającej w sektorze drzewnym na cele energetyczne w 2010 r.

Wyszczególnienie	Biomasa drzewna	
	tys. m ³	%
Biomasa drzewna powstająca w sektorze drzewnym w tym:	5250	100,0
▪ zużycie na własne cele energetyczne	3030	57,7
▪ sprzedaż odbiorcom spoza sektora drzewnego	2220	42,3

Źródło: Opracowanie na podstawie Ratajczak i in. 2012

Na rynek trafiło (przede wszystkim z tartacznictwa) 2,2 mln m³ biomasy drzewnej. Przemysł płyt drewnopochodnych oraz mas włóknistych, zaliczane do branż bardzo energochłonnych, powstającą biomasę drzewną w całości zużywają na własne cele energetyczne.

Rozpatrując popyt na biomasę drzewną na cele energetyczne na tle złożonej problematyki kompleksowo rozumianego rozwoju polskiej energetyki, spodziewanego zapotrzebowania na energię oraz przewidywanej struktury nośników energii oszacowano, że w perspektywie do 2015 roku może on osiągnąć poziom 18,1 mln m³ (12,7 mln ton), co w stosunku do 2010 r. oznaczałoby wzrost o 10%-25%, w zależności od zastosowanej procedury badawczej (Ratajczak i in. 2010, 2011).

Na przyszłe zużycie biomasy drzewnej (jej poszczególnych rodzajów) w energetyce zawodowej i przemysłowej w dużym stopniu będą wpływały podejmowane obecnie decyzje polityczne i ostateczny kształt diskutowanych rozwiązań prawnych. Dotychczas popyt na biomasę drzewną kreowany był przede wszystkim przez zielone certyfikaty, traktowanie spalania biomasy jako neutralnego źródła energii z punktu widzenia emisji CO₂, co dla energetyki oznacza ograniczenie zakupu koniecznych (zwiększających koszty ich działalności) pozwoleń na emisję dwutlenku węgla¹⁰, a także dofinansowanie modernizacji lub nowych inwestycji w energetyce (Derski 2011).

W przyszłości, wobec spodziewanego wzrostu cen energii oczekiwać należy wzrostu zużycia biomasy drzewnej na własne cele energetyczne w sektorze drzewnym oraz większego zainteresowania biomasą drzewną odbiorców indywidualnych, a także podmiotów gospodarki komunalnej i jednostek użyteczności publicznej.

Generalnie można przyjąć, że potencjalna całkowita podaż biomasy drzewnej na cele energetyczne jest stosunkowo duża i zapotrzebowanie ze strony polskiej energetyki mogłoby być w relatywnie wysokim stopniu za-

¹⁰ Obecnie cena pozwolenia na emisję CO₂ wynosi 6-8 € za tonę. Powszechnie uznaje się jednak, że dla efektywnego funkcjonowania systemu handlu emisjami powinno to być 20-30 € za tonę. W. Mielczarski, Za pakiet klimatyczny będziemy płacić ogromną cenę przynajmniej do 2020 r., <http://m.interia.pl/biznes>.

spokojone. Istotną kwestią jest jednak dostępność wszystkich jej źródeł i możliwości pełnego ich zagospodarowania – obecnie i w przyszłości.

4. Energia z biomasy drzewnej – dylematy rozwoju tego nośnika energii

Rozwój alternatywnych wobec paliw kopalnych źródeł energii staje się koniecznością, a produkcja i wykorzystanie energii odnawialnej wyznacznikiem zrównoważonego rozwoju nie tylko w aspekcie środowiskowym, ale także ekonomicznym i społecznym. Jednym z ważniejszych jej źródeł jest i będzie nadal biomasa drzewna – najchętniej wykorzystywany nośnik energii spośród dostępnych na rynku rodzajów biomasy roślinnej, którego wykorzystanie przyczynia się do zmniejszenia udziału węgla w produkcji energii elektrycznej i ciepłej. Biomasa drzewna charakteryzuje się bowiem największym potencjałem technicznym wśród wszystkich odnawialnych źródeł energii¹¹. Rozwój rynku biomasy drzewnej na cele energetyczne może mieć ponadto znaczący wpływ na rozwój regionalny, ponieważ umożliwia efektywne wykorzystanie istniejących lokalnych zasobów (ziemi, obszarów leśnych, zasobów ludzkich).

Konkurencja o drewno między sektorem drzewnym i energetycznym jest zjawiskiem wybitnie niekorzystnym. Prowadzi do nieracjonalnego wzrostu cen drewna, do pogorszenia wyników ekonomiczno-finansowych sektora drzewnego i obniżenia jego konkurencyjności, spowalnia rozwój przemysłów przerobu drewna i może doprowadzić do upadłości wielu firm, co szczególnie na rynku lokalnym oznacza wzrost bezrobocia i pogorszenie sytuacji materialnej tamtejszej społeczności.

Zapowiadane regulacje dotyczące rynku biomasy drzewnej na cele energetyczne nie powinny jednak powodować wzrostu cen drewna pełnowartościowego, ich ewentualne negatywne oddziaływanie na rynek pracy w sektorze drzewnym nie powinno mieć istotnego znaczenia dla rozwoju branż drzewnych. Jest to ważne, bowiem według szacunków Polskiej Izby Gospodarczej Przemysłu Drzewnego przerób 1 tys. m³ drewna od jego pozyskania do uzyskania najprostszego wyrobu, jakim jest tarcica strugana, wymaga zatrudnienia około 10 osób (Bodył 2012). Mogą natomiast mieć miejsce zmiany na rynku pracy w energetyce (szczególnie w sektorze związanym z budową lub przebudową jednostek wytwórczych), która będzie musiała się dostosować do nowych uwarunkowań funkcjonowania – ograniczenia spalania drewna pełnowartościowego, przy jednoczesnym dążeniu do zwiększania

¹¹ W Polsce potencjał techniczny biomasy, której główną część stanowi biomasa drzewna (około 80%), według Europejskiego Centrum Energii Odnawialnej Instytutu Energii Odnawialnej (EC BREC IEO) wynosi rocznie 755 PJ. Stanowi to 43% całkowitego potencjału odnawialnych źródeł energii (Gostomczyk 2008, *Taka masa biomasy*, <http://biznes.onet.pl>).

efektywności spalania i stałego zmniejszania emisyjności produkcji energii poprzez wykorzystanie innych nośników biomasowych.

Jednocześnie jednak konkurowanie o surowiec może i w pewnym stopniu powinno być także stymulatorem rozwoju. Niedobór surowca czy wzrost jego cen często wymusza działania innowacyjne, jest impulsem postępu technicznego, sprzyja wprowadzaniu nowych, bardziej efektywnych technik i technologii przerobu umożliwiających oszczędzanie drewna, pozwalających na zwiększenie wydajności surowcowej. Konkurencja o drewno powinna pobudzać powstawanie nowych produktów drzewnych i nowych rodzajów nośników energii z biomasy drzewnej, umożliwiając tym samym zagospodarowanie dotychczas niewykorzystanych jej zasobów. W efekcie mogą i powinny rozwijać się nowe subsegmenty rynku drzewnego i rynku biomasy drzewnej na cele energetyczne, jak również rynki z ich otoczenia. Towarzyszyć powinny im zmiany w systemach zarządzania i organizacji pracy poszczególnych firm drzewnych i całego sektora drzewnego (nowe modele biznesowe) i pozytywne zmiany na rynku pracy (nowe miejsca pracy, np. będące rezultatem rozwoju subryнку przetwarzania biomasy drzewnej na nośniki energii w postaci peletów czy brykietów).

Rozwój odnawialnych źródeł energii, w tym też rynku biomasy drzewnej na cele energetyczne jest w dużym stopniu warunkowany aspektami ekonomicznymi, aktywnym wsparciem za pomocą instrumentów prawnych i finansowych, umożliwiających konkurencję technologii odnawialnych na rynkach energii. Okazuje się bowiem, że energetyka odnawialna jest relatywnie droższa od energetyki wykorzystującej źródła konwencjonalne, zaś potencjał jej zasobów jest bardzo rozproszony i zróżnicowany technologicznie (Bućko 2003).

Istotnym problemem rozwoju rynku biomasy drzewnej na cele energetyczne jest ponadto optymalne wykorzystanie różnych rodzajów jej zasobów w praktyce gospodarczej. Dotyczy to szczególnie drewna spoza lasu (drewna użytkowego i drewna z plantacyjnych upraw drzew szybko rosnących).

W wypadku drewna użytkowego w Polsce niestety brakuje ciągle systemowych działań zarówno na poziomie infrastrukturalnym, jak i prawnym w kwestii jego wykorzystania jako odnawialnego źródła energii. Zagospodarowanie energetyczne odpadów czystych pod względem obciążenia środkami chemicznymi nie stanowi większych trudności, niezbędne jest jednak zapewnienie takich warunków, aby emitowane do atmosfery produkty spalania były w postaci całkowicie utlenionej. Problemy powstają natomiast w przypadku spalania drewna użytkowego obciążonego środkami chemicznymi, zwłaszcza środkami ochrony drewna. Mogą one być spalane wyłącznie w wyspecjalizowanych instalacjach. Wytworzenie z drewna użytkowego wartościowego paliwa wymaga także najczęściej jego rozdrobnienia do postaci ułatwiającej proces spalania lub formy łatwej w transporcie (pelety). Czynnikiem decydującym o zakresie jego energetycznego zagospodarowania jest zatem opłacalność całego procesu – od pozyskania do spalania drzewnych odpadów użytkowych (Ratajczak i in. 2003).

Duży potencjał w wytwarzaniu biomasowych nośników energii tkwi w polskim rolnictwie. Ponieważ gospodarka ubocznymi produktami organicznymi z rolnictwa jest ciągle jeszcze słabo rozwinięta i wymaga przy tym znacznych nakładów inwestycyjnych, jednym z ich źródeł może i powinna być w większym niż dotychczas stopniu biomasa z upraw plantacyjnych drzew szybko rosnących¹². Produkcja ta powinna mieć charakter planowy (a nie doraźny). Jej skala zależy jednak od powierzchni gruntów jakie mogą być przeznaczone pod te uprawy. W Polsce ze względu na warunki glebowe i stosunki wodne oraz uwarunkowania klimatyczne na plantacjach drzew szybko rosnących najczęściej uprawia się różne gatunki wierzb. Zaletą tych upraw są relatywnie duże plony, stosunkowo długi okres użytkowania plantacji i względnie tanie sadzonki. Do tej formy działalności rolniczej miały zachęcić stosowane do 2009 r. dopłaty wspólnotowe. W Polsce nie spowodowały one znaczącego przyrostu obszarów przeznaczonych na ten cel, wzrosło jednak zainteresowanie problemem i możliwościami jego rozwiązania – wymaga to jednak wypracowania zharmonizowanego podejścia zarówno do sektora energetycznego, jak i rolnego.

Należy dodać, że plantacyjne uprawy drzew szybko rosnących mogą i powinny być traktowane jako stymulator rozwoju regionalnego, szczególnie obszarów wiejskich. Wykorzystanie pod te plantacje gleb gorszej jakości (nisko produkcyjnych), silnie zanieczyszczonych i nienadających się do uprawy roślin jadalnych, ziemi odłogowanej lub terenów zdegradowanych jest bowiem dla rolników dodatkowym źródłem dochodów (gleby bardzo dobre i dobre, które stanowią w Polsce 54% ogółu gruntów ornych powinny być wykorzystane jedynie do produkcji żywności i pasz). Może być sposobem na poprawę efektywności ekonomicznej wielu gospodarstw. Stwarza również nowe miejsca pracy, co jest szczególnie ważne na terenach słabo rozwiniętych, charakteryzujących się z reguły wysoką stopą bezrobocia.

Rozwój plantacyjnych upraw drzew szybko rosnących może być formą ochrony ekosystemów leśnych przed ich nadmiernym eksploatowaniem. Rośliny „energetyczne” mają ponadto zdolności akumulowania zanieczyszczeń i w ciągu kilku lat mogą oczyścić glebę z metali ciężkich, przy czym przenikają one jedynie do ich systemu korzeniowego, w związku z czym nie zakłócają procesów spalania, bowiem części te nie podlegają spalaniu (Sobolewski 2010). Wykorzystanie biomasy z plantacyjnych upraw drzew szybko rosnących powinno również zwiększać stopień bezpieczeństwa energetycznego regionów, szczególnie lokalnie w miejscach jej powstawania, zapewniając zaopatrzenie w energię zwłaszcza na terenach ze słabo rozwiniętą infrastrukturą energetyczną.

¹² Rolnictwo jest, a może być w coraz większej skali znaczącym dostawcą roślin „energetycznych” (miskant, słuzowiec pensylwański, róża bezkolcowa, trawy wieloletnie), produktów ubocznych produkcji roślinnej (słoma) i ziarna energetycznego (różnych gatunków rolniczych roślin uprawnych).

Niestety, rynek biomasy drzewnej z plantacji tworzy się stosunkowo wolno (z uwagi na czas niezbędny do osiągnięcia przez uprawiane drzewostany zdolności do pełnego plonowania), koszty zakładania plantacji, ich prowadzenia i likwidacji są relatywnie wysokie, a okres zwrotu zainwestowanych środków jest dość długi. Do ich zakładania zniechęca także najczęściej niska (jak dotychczas) opłacalność w stosunku do tradycyjnych upraw rolniczych: w ocenie specjalistów, w obecnych uwarunkowaniach tylko wyjątkowo dobrze zorganizowane plantacje mogą być efektywne – te zapewniające wysokie plony przy stosunkowo niskich kosztach produkcji (Sobolewski 2010). W dużym stopniu zależy ona m.in. od poziomu wilgotności pozyskiwanej biomasy, bowiem im jest ona mniejsza tym większa jest jej wartość energetyczna, a cena płacona przez zakłady energetyczne uzależniona jest od ilości energii zawartej w jej masie.

Zakładając dalszy, oczekiwany rozwój plantacyjnych upraw drzew szybko- i średnio- rosnących należy jednak pamiętać, że pewnym niebezpieczeństwem może być także przeznaczenie pod uprawy energetyczne zbyt dużych obszarów. Mogłoby to prowadzić do ograniczenia bioróżnorodności i wyjałowienia gleby. Ponadto, ponieważ podstawowym zadaniem rolnictwa jest zapewnienie bezpieczeństwa żywnościowego kraju (dostarczanie żywności), rozwój plantacji drewna energetycznego nie może powodować ograniczenia areału upraw na cele żywnościowe i paszowe, co w konsekwencji mogłoby przyczynić się do wzrostu ich cen.

5. Podsumowanie

Rozważania dotyczące rynku biomasy drzewnej na cele energetyczne i możliwości jego rozwoju powinny uwzględniać kluczowe założenie, że spalanie drewna musi być ostatnim miejscem jego wykorzystania po zastosowaniu materiałowym i wielokrotnym recyklingu (idea zużycia kaskadowego). Efektywność przerobu surowca drzewnego na produkty drzewne, szczególnie te o dużej wartości dodanej jest bowiem wielokrotnie większa niż jego przetworzenia na energię, nawet jeżeli jest to energia „zielona”.

Literatura

- Bocian J., 2012. Sektor bioenergii perspektywy rozwojowe w Polsce. Materiały z seminarium pt. „Umiejscowienie sektora leśnego”, Rogów, 25–26.04.2012 r.
- Bodył M., 2012. Biomasa leśna – problem wieloaspektowy, *Las Polski* nr 13–14.
- Bućko P., 2003. Dylematy rozwoju rynków energii odnawialnej. <http://www.premicz.com/Eu>
- Cichy W., Prądyński W., 1997. Spalanie odpadów drzewnych zanieczyszczonych żywicami aminowymi. Materiały z konferencji „Utylizacja odpadów w przemyśle meblarskim i płytowym na tle wymagań europejskich”, Poznań.

- Czemko B., 2012. Rola biomasy leśnej w przemyśle drzewnym. Materiały z konferencji „Biomasa leśna – Produkcja – Dystrybucja – Konsumpcja”, Łagów.
- Derski B., 2011. Raport CIRE: Wzrost zużycia biomasy. Centrum Informacji o Rynku Energii. www.cire.pl/zielonaenergia
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23.04.2009 w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE i 2003/30/WE. Dz. Urz. WE L 140 z 05.06.2009.
- Faber A., Kuś J., Matyka M., 2009. Uprawa roślin na cele energetyczne. Polska Konfederacja Pracodawców Prywatnych, Ambasada Brytyjska, Warszawa.
- Flakowicz M., 2011. Zużycie biomasy w energetyce. Stan obecny i perspektywy, materiały na: Forum Technologii w Energetyce – Spalanie Biomasy, Agencja Rynku Energii S.A., Bełchatów.
- Forowicz K., 2010. Elektrownie sięgają po lasy, Środowisko, nr 23.
- Gackowska M., 2012. Szkodliwe współspalanie. Gazeta Przemysłu Drzewnego, nr 7.
- Gajewski R., 2010. Biomasa podstawą zielonej energii. Polska Energia, nr 7.
- Gajewski R., 2011a. Optymalne źródła energii odnawialnej. Rzeczpospolita, nr 18.
- Gajewski R., 2011b. Potencjał rynkowy biomasy z przeznaczeniem na cele energetyczne. Czysta Energia, nr 1.
- Gajewski R., 2012. Znaczenie biomasy leśnej w realizacji wymogów pakietu energetyczno-klimatycznego w Polsce. Materiały z konferencji „Biomasa leśna – Produkcja – Dystrybucja – Konsumpcja”, Łagów.
- Gostomczyk W., 2008. Potencjał biomasy i możliwości jej kreowania. Stowarzyszenie Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu. Roczniki Naukowe, tom X, zeszyt 1.
- GUS 2009. Ochrona środowiska 2009. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
- GUS 2010. Ochrona środowiska 2010. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
- GUS 2011a. Energia ze źródeł odnawialnych w 2010 roku. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
- GUS 2011b. Ochrona środowiska 2011. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
- Krajowy plan działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych, 2010. Ministerstwo Gospodarki, Warszawa.
- Kubica K., 2003. Spalanie biomasy i jej współspalanie z węglem. Biuletyn Ekologiczny, nr 5/6.
- Kuś J. (red.), 2009. Uprawa roślin na potrzeby energetyki. Polska Konfederacja Pracodawców Prywatnych, Ambasada Brytyjska, Warszawa.
- Kwaśniewski D., 2011. Koszty i opłacalność produkcji biomasy z trzyletniej wierzby energetycznej. Inżynieria Rolnicza, nr 1.
- Polityka energetyczna Polski do 2030 roku, 2009. Ministerstwo Gospodarki, Warszawa.
- Polska 2011. Raport o stanie gospodarki. Ministerstwo Gospodarki, Warszawa.
- Ratajczak E., 2001. Rynek drzewny. Analiza struktur przedmiotowych. Wydawnictwo Instytutu Technologii Drewna, Poznań.
- Ratajczak E., Cichy W., 2012. Drewno a energetyka. Posiedzenie Komitetu Technologii Drewna PAN, Warszawa.
- Ratajczak E., Cichy W., 2012. Drewno źródłem energii odnawialnej. IV Europejski Kongres Gospodarczy, Sesja – Drewno surowiec strategiczny, Katowice.
- Ratajczak E., Szostak A., Będzińska G., 2003. Drewno użytkowe w Polsce. Instytut Technologii Drewna, Poznań.
- Ratajczak E., Szostak A., Będzińska G., Herbec M., 2011. Analiza rynku biomasy drzewnej na cele energetyczne, Etap II: Potencjalna podaż biomasy drzewnej w kierunkach jej energetycznego wykorzystania i przewidywany popyt na nośniki ener-

gii z biomasy drzewnej w Polsce do 2015 roku. Maszyn., Instytut Technologii Drewna, Poznań.

- Ratajczak E., Szostak A., Bidzińska G., Herbeć M., 2012. Zapotrzebowanie na biomasę drzewną na cele energetyczne w Polsce do 2015 roku, Drewno. Prace naukowe. Doniesienia. Komunikaty, nr 187.
- Ratajczak E., Szostak A., Lorenc-Michalska M., Herbeć M., Bidzińska G., 2010. Analiza rynku biomasy drzewnej na cele energetyczne, Etap I: Rynek biomasy drzewnej jako element rynku drzewnego i rynku nośników energii. Maszyn., Instytut Technologii Drewna, Poznań.
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii, dokument podpisany 18 października 2012 roku, <http://www.mg.gov.pl>
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 14 sierpnia 2008 roku w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii. Dz. U. z 2008 r. nr 156 poz. 969.
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 23 lutego 2010 roku zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii. Dz. U. z 2010 r. nr 34 poz. 182.
- Sobolewski M. (red.), 2010. Polityka energetyczna. Biuro Analiz Sejmowych Kancelarii Sejmu, Studia BAS 2010, nr 1.
- Szostak A., Ratajczak E., Herbeć M., Bidzińska G. Potencjalna podaż biomasy drzewnej na cele energetyczne w Polsce do 2015 roku. Biomass & Bioenergy, w druku.
- Ustawa o odnawialnych źródłach energii. Projekt z dnia 4 października 2012 roku. <http://www.mg.gov.pl>



Drzewne produkty uboczne źródłem biomasy drzewnej do celów energetycznych

1. Wprowadzenie

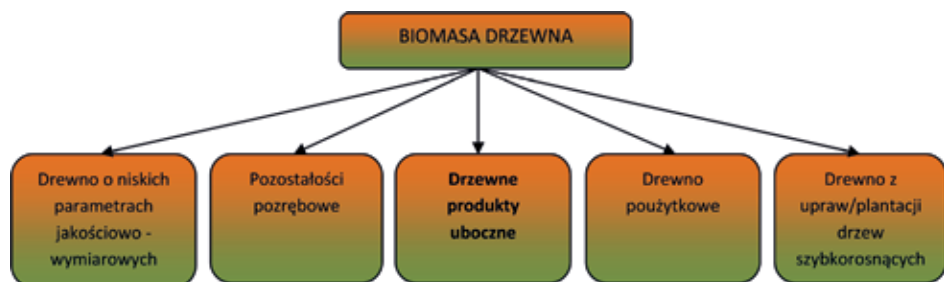
Rozwój cywilizacyjny praktycznie wszystkich gospodarek, powodujący wysokie i stale rosnące zapotrzebowanie na energię finalną, oraz jednocześnie świadomość konieczności zapobiegania niepokojącym zmianom klimatu i dbałość o ochronę środowiska naturalnego sprawiają, że jednym ze strategicznych kierunków zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego w krajach Unii Europejskiej, a także w Polsce, jest rozwój odnawialnych źródeł energii i wzrost poziomu ich wykorzystania. Dla Polski jest to zadanie dość trudne, bowiem, jak dotychczas, polska energetyka jest zorientowana na wykorzystywanie głównie węgla kamiennego i brunatnego, a energia odnawialna jest traktowana jako alternatywa dla paliw kopalnych.

W 2010 roku zużycie energii wytworzonej z takich surowców naturalnych, jak węgiel kamienny, węgiel brunatny, ropa naftowa i gaz ziemny, stanowiło 92% zużycia energii pierwotnej ogółem (GUS 2011). Jednocześnie jednak w wyniku międzynarodowych zobowiązań Polski, a także na skutek rosnącej świadomości społeczeństwa w zakresie znaczenia racjonalności i efektywności wykorzystywania alternatywnych źródeł energii, udział energii odnawialnej w produkcji energii ogółem stale rośnie. Wśród nośników energii odnawialnej, ze względu na ograniczoną możliwość pozyskania i wykorzystywania energii słonecznej, wodnej, siły wiatru, wynikającą z położenia Polski, szczególne znaczenie ma biomasa, w tym głównie biomasa stała. W 2010 roku energia elektryczna brutto wyprodukowana z biomasy stanowiła 57% takiej energii wyprodukowanej z odnawialnych źródeł energii, przy czym aż 95% tej wielkości stanowiła energia pochodząca z biomasy stałej. W opinii specjalistów (Gajewski 2010, Flakowicz 2011) wśród nośników energii zaliczanych do biomasy stałej zdecydowanie przeważa biomasa drzewna. Szacuje się, że stanowi ona około 80% zużycia biomasy stałej. Ponieważ naturalnym źródłem biomasy drzewnej mogą być przemysły przerobu drewna, to powstaje pytanie o ich znaczenie jako kreatora podaży tego rodzaju biomasy na rynku biomasy stałej.

2. Ogólna charakterystyka drzewnych produktów ubocznych

Drzewne produkty uboczne są biomasowym nośnikiem energii powstającym w przemysłach sektora drzewnego (ryc. 1). Zgodnie z *Classification of Economic Activities in the European Community Revision 2* są to: przemysł drzewny (sekcja C, dział 16), przemysł meblarski (C31), przemysł celulozowo-papierniczy i przetwórstwa papierniczego (C17). Z każdego z wymienionych przemysłów na cele energetyczne możliwe jest pozyskanie drzewnych produktów ubocznych:

- ❑ różnego rodzaju: lite (igłaste, liściaste), drewnopochodne,
- ❑ różnej postaci i rozmiarów:
 - nieprzetworzonej – w postaci kawałków (np. wałki, zrżyny, opoły, kawałki
 - fornirów, kawałki płyt drewnopochodnych) oraz w postaci rozdrobnionej (np. wióry, trociny, kora),
 - przetworzonej (np. zrębki),
 - skompaktowanej (np. pelety, brykiety),
- ❑ różnym składzie chemicznym i właściwościach fizycznych.

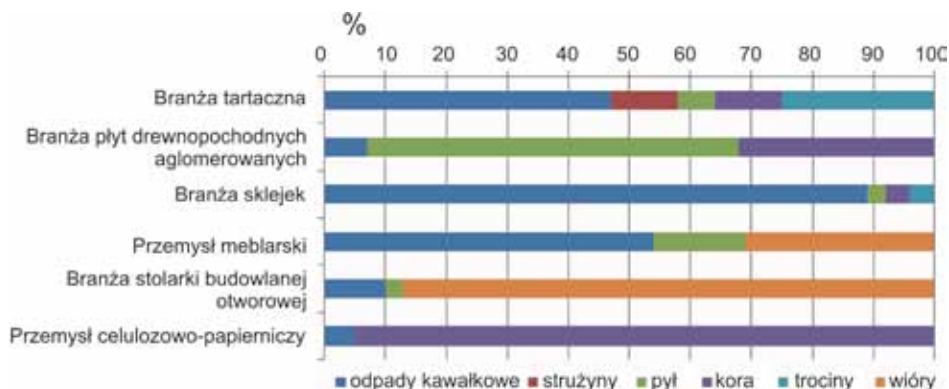


Rycina 1. Biomasyowe nośniki energii pochodzenia drzewnego

Źródło: Opracowanie własne

Jest charakterystyczne, że w zależności od działalności produkcyjnej prowadzonej przez przedsiębiorstwa sektora drzewnego różna jest struktura powstających w nich drzewnych materiałów ubocznych (ryc. 2). W branży tartacznej i sklejek przemysłu drzewnego oraz w przemyśle meblarskim dominują drzewne produkty uboczne kawałkowe (lite i drewnopochodne); w przemyśle meblarskim duży udział w strukturze powstających produktów ubocznych mają również wióry. Z kolei w branży płyt drewnopochodnych aglomerowanych przemysłu drzewnego głównymi drzewnymi produktami ubocznymi powstającymi podczas procesu produkcji są pył i kora, w przemyśle celulozowo-papierniczym (i przetwórstwa papierniczego) – kora, a w branży stolarki budowlanej otworowej przemysłu drzewnego – wióry (Ratajczak i in. 2011).

Należy podkreślić, że w energetycznym wykorzystaniu drzewnych produktów ubocznych istotne jest ich przygotowanie jako biomasy drzewnej o stabilnej jakości, zarówno pod względem właściwości fizycznych (zawartość wilgoci), jak i chemicznych (części lotne, wartość opałowa), o odpowiednim rozdrobnieniu, jednorodności, bez zanieczyszczeń.



Rycina 2. Struktura rodzajowa drzewnych produktów ubocznych w sektorze drzewnym w 2010 r.

Źródło: Ratajczak i in. 2011.

3. Podaż i energetyczne wykorzystanie drzewnych produktów ubocznych

Drzewne produkty uboczne są w Polsce od wielu lat wykorzystywane jako nośnik energii. Do niedawna były głównie nośnikiem energii w sektorze drzewnym, a także w pewnym zakresie w gospodarstwach domowych, czy w niewielkich kotłowniach sektora gospodarki komunalnej i jednostek użyteczności publicznej (szpitale, szkoły, obiekty mieszkalne itp.). W ostatnich latach, wraz ze wzrostem w energetyce roli odnawialnych źródeł energii, drzewne produkty uboczne stały się również pożądanym nośnikiem energii w sektorze energetycznym, w tzw. energetyce zawodowej.

Należy podkreślić, że pomimo dużego znaczenia drzewnych produktów ubocznych w praktyce gospodarczej, podobnie jak w przypadku innych biomasowych nośników energii pochodzenia drzewnego, do niedawna istniała duża luka informacyjna o ich podaży i wykorzystaniu na cele energetyczne. Taki stan wynika głównie z:

- relatywnie krótkiego okresu istnienia rynku biomasy drzewnej (w tym drzewnych produktów ubocznych) i jego niedojrzałego jeszcze charakteru, zwłaszcza w znaczeniu profesjonalnego energetycznego wykorzystywania,

- ❑ zróżnicowania i rozproszenia producentów drzewnych produktów ubocznych,
- ❑ stosunkowo krótkiego okresu ustanowienia jako przedmiotu badań naukowych kwestii biomasy drzewnej (jej różnych rodzajów) i niewiele jeszcze ujęć systemowych tego relatywnie nowego zagadnienia.

Na tym tle w latach 2010–2011 w Instytucie Technologii Drewna w Poznaniu podjęto badania, w których określono w sposób wskaźnikowy podaż biomasy drzewnej na cele energetyczne. W procesie badawczym wykorzystano podejście modelowe odnoszące się do biomasy drzewnej według jej rodzajów i źródeł pochodzenia.

Dla określenia całkowitej podaży drzewnych produktów ubocznych podstawą były: szczegółowa analiza polskiego sektora drzewnego pod względem wolumenu i asortymentu produkcji, jej techniczno-technologicznych aspektów, zwłaszcza wydajności surowcowo-materiałowej, rodzaju i struktury zużycia materiałów drzewnych w finalnych wyrobach drzewnych oraz rodzaju drzewnych produktów ubocznych. Przy wyznaczaniu podaży drzewnych produktów ubocznych na cele energetyczne wzięto pod uwagę priorytet potrzeb w zakresie ich wykorzystania na cele materiałowe w branżach sektora drzewnego i wyniki wcześniejszych badań własnych (Szostak i in. 2003, Szostak i Ratajczak 2003, 2004). Proces badawczy o charakterze *desk research* został uzupełniony badaniem ankietowym przeprowadzonym wśród producentów wszystkich branż sektora drzewnego (mającym na celu zweryfikowanie wiedzy o skali przeznaczania powstających drzewnych produktów ubocznych na cele energetyczne oraz wskaźników z zakresu gospodarki surowcowo-materiałowej) oraz wśród zbiorowych odbiorców biomasy drzewnej spoza sektora drzewnego (w celu pogłębienia wiedzy o podstawowych aspektach energetycznego wykorzystania biomasy drzewnej, w tym drzewnych produktów ubocznych)¹.

Z przeprowadzonych badań wynika, że potencjalna podaż drzewnych produktów ubocznych na cele energetyczne w 2010 roku wynosiła około 5,3 mln m³, co stanowiło blisko 35% całkowitej szacunkowej podaży biomasowych nośników energii pochodzenia drzewnego w Polsce (tabela 1, rycina 3). Miejsce, z którego potencjalnie mogło pochodzić najwięcej drzewnych produktów ubocznych były: branża tartaczna przemysłu drzewnego – 2,3 mln m³ (tj. 44% całkowitej podaży sektora drzewnego) oraz przemysł meblarski – 1,4 mln m³ (27%).

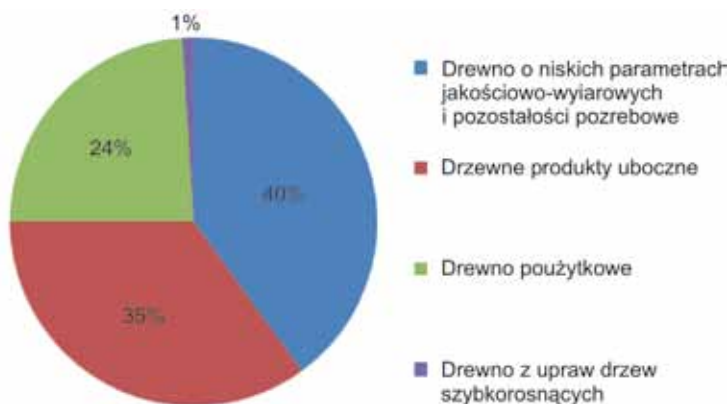
Z obliczeń wynika jednocześnie, że przemysły sektora drzewnego zużyły na własne potrzeby energetyczne ponad 3,0 mln m³ drzewnych produktów

¹ Ankietę wysłano do ponad 300 respondentów, w tym do 261 przedsiębiorstw sektora drzewnego i 40 podmiotów gospodarczych tzw. energetyki zawodowej oraz gospodarki komunalnej i jednostek użyteczności publicznej (szkoły, szpitale, obiekty mieszkalne itp.). Zob.: Ratajczak i in. 2011.

Tabela 1. Obliczeniowa podaż drzewnych produktów ubocznych powstających w polskim sektorze drzewnym na cele energetyczne w 2010 r.

Wyszczególnienie	Drzewne produkty uboczne	
	tys. m ³	%
Sektor drzewny, w tym:	5250	100,0
▪ przemysł drzewny, w tym:	3300	62,8
– branża tartaczna	2320	44,2
– branża płyt drewnopochodnych	800	15,2
– branża stolarki budowlanej otworowej	180	3,4
▪ przemysł meblarski	1400	26,7
▪ przemysł celulozowo-papierniczy (i przetwórstwa papierniczego)	550	10,5

Źródło: Szostak i in. (w druku)

**Rycina 3. Szacunkowa struktura podaży biomasy drzewnej na cele energetyczne w Polsce w 2010 r.**

Źródło: Szostak i in. (w druku)

ubocznych, co stanowiło 58% obliczonej całkowitej podaży tego nośnika na energetyczny kierunek wykorzystania (tabela 2). Najwięcej, bo łącznie 57%, drzewnych produktów ubocznych zużyto na cele energetyczne w branżach tartacznej (930 tys. m³, tj. 31%) oraz płyt drewnopochodnych (800 tys. m³, tj. 26%). Z badań wynika, że branża płyt drewnopochodnych aglomerowanych oraz przemysł celulozowo-papierniczy (i przetwórstwa papierniczego), zaliczane do przemysłów bardzo energochłonnych, powstające w nich drzewne produkty uboczne w całości zużywają na własne cele energetyczne i, jak deklarowali respondenci badań bezpośrednich, nie pokrywały one ich potrzeb energetycznych. Natomiast w takich branżach przemysłu drzewnego, jak: tartaczna, sklejek, stolarki budowlanej otworowej, konieczność poboru dodatkowej energii oprócz tej wygenerowanej z własnych drzewnych produktów ubocznych, deklarowało mniej niż 20% badanych firm.

Tabela 2. Obliczeniowe wykorzystanie drzewnych produktów ubocznych powstających w polskim sektorze drzewnym na cele energetyczne w 2010 r.

Wyszczególnienie	Drzewne produkty uboczne	
	tys. m ³	%
Zużycie w sektorze drzewnym, z tego w:	3030	100,0
▪ przemśle drzewnym, z tego w:	1860	61,4
– branży tartacznej	930	30,7
– branży płyt drewnopochodnych	800	26,4
– branży stolarki budowlanej otworowej	130	4,3
▪ przemśle meblarskim	620	20,4
▪ przemśle celulozowo-papierniczym (i przetwórstwa papierniczego)	550	18,2
Sprzedaż, w tym z:	2220	100,0
▪ branży tartacznej	1390	62,6
▪ branży stolarki budowlanej otworowej	50	2,3
▪ przemysłu meblarskiego	780	35,1
Ogółem	5250	–

Źródło: Ratajczak i in. 2012

Ponadto, jak wynika z obliczeń, 2,2 mln m³ drzewnych produktów ubocznych mogło być sprzedane na cele energetyczne odbiorcom spoza sektora drzewnego. Największa ilość (63% całkowitej ilości przeznaczonej do potencjalnej sprzedaży) tego nośnika energii mogła pochodzić z branży tartacznej – 1,4 mln m³. Znaczące ilości drzewnych produktów ubocznych były przeznaczone na sprzedaż przez przedsiębiorstwa przemysłu meblarskiego (780 tys. m³, tj. 35%), a także, choć mniejsze ilości, przez przedsiębiorstwa branży stolarki budowlanej otworowej. Nabywcami drzewnych produktów ubocznych powstających w tym sektorze są głównie odbiorcy indywidualni (66% wskazań ankietowych), choć ważną grupą są odbiorcy zbiorowi biomas drzewnej, tj. podmioty tzw. energetyki zawodowej oraz gospodarki komunalnej i jednostki użyteczności publicznej (Ratajczak i in. 2011).

4. Zakończenie

Uogólniając należy podkreślić, że drzewne produkty uboczne są zarówno cennym, alternatywnym (wobec drewna pochodzącego z lasu) surowcem w przetwórstwie przemysłowym sektora drzewnego, jak również alternatywnym źródłem energii wobec paliw kopalnych w sektorze energetycznym. Od kilku lat, wraz ze wzrostem zapotrzebowania na odnawialne źródła energii, ich rola jako nośnika energii wyraźnie nabiera znaczenia.

Na tle różnych odnawialnych źródeł energii, drzewne produkty uboczne są nośnikiem łatwo dostępnym, podobnie jak pozostałe biomasowe nośniki

energii pochodzenia drzewnego. Co istotne, są nośnikiem energii możliwym do bezpośredniego wykorzystania w miejscu ich powstawania, czyli w przedsiębiorstwach sektora drzewnego. Jednocześnie nie mniej istotny, co wykazały badania, jest ich udział w tzw. energetyce zawodowej oraz jednostkach gospodarki komunalnej i użyteczności publicznej. Są też tradycyjnym nośnikiem energii wykorzystywanym w tzw. energetyce rozproszonej, głównie ciepłej, do której zalicza się indywidualne gospodarstwa. Duże znaczenie drzewnych produktów ubocznych jako nośnika energii, znajdującego niemal nieograniczone zastosowanie w różnych miejscach gospodarki, wynika przede wszystkim z faktu ich stabilnych cech jakościowych.

Z przeprowadzonych badań Instytutu Technologii Drewna w Poznaniu wynika, że potencjał drzewnych produktów ubocznych na cele energetyczne jest znaczący. Jako nośnik energii może być wykorzystana ponad połowa ich całkowitej potencjalnej podaży, tj. około 5,3 mln m³. W ogólnej podaży biomasowych nośników energii pochodzenia drzewnego stanowią one ponad 1/3. Wielkość podaży drzewnych produktów ubocznych jest głównie pochodną skali przerobu drewna i produkcji materiałów oraz wyrobów drzewnych. Z kolei wielkość podaży jako nośnika energii jest wielkością wtórną i zależy przede wszystkim od zapotrzebowania na drzewne produkty uboczne na cele produkcyjne, które są priorytetowe w różnych kierunkach ich zagospodarowania.

Literatura

- Flakowicz M., 2011. Zużycie biomasy w energetyce. Stan obecny i perspektywy. Materiały na Forum Technologii w Energetyce – Spalanie Biomasy. Agencja Rynku Energii S.A., Bełchatów.
- Gajewski R., 2010. Biomasa podstawą zielonej energii. Polska Energia, nr 7.
- GUS 2011. Ochrona środowiska 2011. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
- Ratajczak E., Szostak A., Bidzińska G., Herbec M., 2011. Analiza rynku biomasy drzewnej na cele energetyczne w Polsce. Etap 2. Potencjalna podaż biomasy drzewnej w kierunkach jej energetycznego wykorzystania i przewidywany popyt na nośniki energii z biomasy drzewnej w Polsce do 2015 roku. Instytut Technologii Drewna, Poznań.
- Ratajczak E., Szostak A., Bidzińska G., Herbec M., 2012. Demand for wood biomass for energy purposes in Poland by 2015. Drewno. Prace naukowe. Doniesienia. Komunikaty, nr 187.
- Szostak A., Bidzińska G., Gałęcka A., 2003. Rynek przemysłowych odpadów drzewnych – aspekty technologiczne i ekonomiczne. Instytut Technologii Drewna, Poznań.
- Szostak A., Ratajczak E., 2003. Odpady drzewne jako alternatywne źródło surowca drzewnego. W: Techniczne, ekonomiczne i organizacyjne aspekty gospodarki odpadami. V Jubileuszowe Forum Gospodarki Odpadami, Gniezno – Poznań.
- Szostak A., Ratajczak E., 2004. Zasoby przemysłowych i użytkowych odpadów drzewnych w Polsce i ich zagospodarowanie. Gospodarka Materiałowa i Logistyka, nr 11.
- Szostak A., Ratajczak E., Herbec M., Bidzińska G. Potential supply of wood biomass for energy purposes in Poland by 2015. Biomass&Bioenergy, w druku.



Akceptowalna przez przemysł drzewny zmiana struktury podaży oraz cen drewna – wpływ wzrostu udziału biomasy drzewnej na cele energetyczne

1. Wstęp

Sytuacja gospodarcza przemysłu drzewnego w Polsce zależy od koniunktury gospodarczej w Unii Europejskiej, w kraju, na świecie. W niemałym też stopniu wpływają na nią czynniki branżowe. Najważniejszymi z tych, na które wpływ ma sektor leśno-drzewny, jest cena drewna i jego dostępność na rynku. Obydwa, ściśle z sobą powiązane, od lat budzą duże kontrowersje. Poważnym problemem dla Lasów Państwowych (LP), największego dostawcy, nazywanego naturalnym monopolistą, jest potężne zróżnicowanie zapotrzebowania na drewno okrągłe przez rzesze jego klientów.

Sporym problemem, zakłócającym jasne dotąd relacje w sektorze leśno-drzewnym, jest zużywanie drewna przez energetykę zawodową i duże dotacje do energii wytwarzanej w procesie wspólnego spalania tzw. biomasy leśnej z węglem. Powoduje to permanentny niedobór drewna i szybki wzrost jego ceny.

Pozytywnym zjawiskiem jest spadek liczby kotłów energetycznych współpalających węgiel z biomasą (głównie leśną). Oznaczać to może stopniowe odchodzenie od nieefektywnych, niesłusznie premiowanych procesów i jest dobrym krokiem, zmierzającym do uregulowania kwestii dostępności drewna przydatnego technologicznie. Jest to niejako działanie wyprzedzające do faktu, iż od 2013 r. spalanie pełnowartościowego drewna w energetyce nie będzie dotowane. W dniu 18 października 2012 r. minister gospodarki podpisał stosowne rozporządzenie w tej sprawie.

2. Cykl koniunkturalny

Gospodarka rynkowa, w jakiej działa polski przemysł drzewny od 1989 roku, ma charakter cykliczny. Podstawą jej rozwoju jest cykl gospodarczy (cykl koniunkturalny). Są to wahania produkcji, zatrudnienia i cen zgodnie z krótkookresową tendencją rozwojową. W procesie gospodarczym aktyw-

ność przedsiębiorstw ulega na przemian nasileniom (ekspansji) i spadkom (recesji). Cykl gospodarczy to inaczej okres pomiędzy kolejnymi zmianami tendencji rozwojowej podmiotów gospodarczych (maksimami lub minimami na linii trendu). Składa się z następujących faz:

- ❑ kryzysu (recesji) – produkcja i ceny spadają, rośnie bezrobocie;
- ❑ depresji (dna) – następuje stabilizacja produkcji i cen na niskim poziomie, bezrobocie jest wysokie;
- ❑ ożywienia – wzrost produkcji i cen, spadek bezrobocia;
- ❑ rozkwitu (szczytu, boomu) – stabilizacja produkcji i cen na wysokim poziomie, stan zatrudnienia jest wysoki.

Cykl gospodarczy może trwać od kilku miesięcy do kilku lat, przy czym skala produkcji, poziom cen i stopa bezrobocia bywają bardzo zróżnicowane. Cykl gospodarczy służy kompensowaniu nierównomierności rozwoju w różnorodnych dziedzinach gospodarczych. Według austriackiego ekonomisty Schumpetera (2009) „recesja to okres kuracji po ekscesach ekspansji”. Kryzysy eliminują z gospodarki największych ryzykantów i nadmiernych optymistów, czyli najslabsze jej ogniwa. Gospodarka wychodzi z recesji wzmocniona – najslabsi odpadają, solidne firmy zwiększają swój udział w rynku, wchodzą na rynek nowe firmy, zachęczone pojawieniem się szans: wzrostem popytu i cen, względną dostępnością pracowników.

Kryzys wywołuje szereg ujemnych zjawisk. Obok ekonomicznych ważne są też społeczne i polityczne. Stąd też politycy i działacze społeczni usilnie dążą do włączenia władz państwowych w ograniczanie skutków kryzysu.

Działania państwa na rzecz łagodzenia wahań koniunkturalnych i zmniejszania ich skutków noszą nazwę interwencjonizmu państwowego. Za zwolenników interwencjonizmu państwowego uważa się: Johna Maynarda Keynesa, jego twórcę w latach Wielkiego Kryzysu lat 30-tych, oraz współcześnie Josepha Stiglitz – laureata Nagrody Nobla z ekonomii w 2001 r. za badania nad asymetrią informacji rynkowej (przewaga informacyjna przekłada się na przewagę gospodarczą podmiotu), która z tematyką kryzysu ściśle się wiąże. Obaj uczeni to zwolennicy większego zaangażowania państwa, by uruchomić napędzający gospodarkę popyt właśnie podczas kryzysu.

Ważną przyczyną występowania cykli gospodarczych są wahania w działalności inwestycyjnej przedsiębiorstw.

3. Produkt krajowy brutto

Poziom i trendy w zakresie rozwoju gospodarki, czyli fazy cyklu koniunkturalnego mierzy się za pomocą wskaźników koniunktury. Kryzys gospodarczy również jest tym zjawiskiem ekonomicznym w gospodarce, którego obecność obrazują wskaźniki ekonomiczne, czyli wielkości charakteryzujące gospodarkę. Najbardziej czytelnym i najpowszechniej używanym jest produkt krajowy brutto (PKB).

Produkt krajowy brutto jest pojęciem ekonomicznym. Oznacza jeden z podstawowych mierników dochodu narodowego, a obejmuje zagregowaną wartość dóbr i usług finalnych wytworzonych na terenie danego kraju w określonej jednostce czasu (najczęściej w ciągu roku). Najkrócej można powiedzieć, że PKB jest sumą wartości dodanej wytworzonej przez wszystkie podmioty gospodarujące w kraju.

W tabeli 1 podano polski produkt krajowy brutto od początku 1995 r., wyrażony w cenach bieżących (w mln zł). Uwagę zwraca, że w prawie każdym roku (za wyjątkiem 1996) wartość PKB w pierwszym kwartale jest mniejsza od wartości w czwartym kwartale poprzedniego roku. Największe są wartości PKB w IV kwartale każdego roku. W II, III i IV kwartale wartość PKB zawsze w Polsce rosła.

Tabela 1. Produkt krajowy brutto w cenach bieżących i w cenach stałych (ceny średnioroczne roku poprzedniego) w %

Produkt krajowy brutto w Polsce – wielkości kwartalne								
Rok	Ceny bieżące w mln zł				Kwartał poprzedni =100			
1995	76 012,1	81 778,2	86 713,7	92 717,9		107,59	106,04	106,92
1996	93 207,8	101 404,5	107 274,0	120 549,5	100,53	108,79	105,79	112,38
1997	113 958,3	124 055,8	129 974,6	147 364,5	94,53	108,86	104,77	113,38
1998	134 931,9	144 618,7	151 670,5	169 680,8	91,56	107,18	104,88	111,87
1999	146 070,0	158 884,8	167 797,9	192 935,7	86,09	108,77	105,61	114,98
2000	166 983,0	180 336,1	187 089,3	209 969,6	86,55	108,00	103,74	112,23
2001	179 169,1	191 140,7	194 062,7	215 191,3	85,33	106,68	101,53	110,89
2002	187 640,4	198 114,3	200 319,3	222 504,4	87,20	105,58	101,11	111,07
2003	193 842,5	207 307,1	208 268,4	233 738,2	87,12	106,95	100,46	112,23
2004	213 035,6	224 806,1	228 044,8	258 651,1	91,14	105,53	101,44	113,42
2005	229 395,8	238 094,5	241 759,8	274 052,2	88,69	103,79	101,54	113,36
2006	242 784,9	255 497,1	261 510,9	300 238,5	88,59	105,24	102,35	114,81
2007	270 132,1	282 921,9	291 058,5	332 624,2	89,97	104,73	102,88	114,28
2008	299 128,7	310 865,5	314 721,8	350 716,3	89,93	103,92	101,24	111,44
2009	313 028,0	325 455,6	332 447,9	373 452,0	89,25	103,97	102,15	112,33
2010	323 175,6	344 625,0	350 575,2	398 071,5	86,54	106,64	101,73	113,55
2011	348 537,6	368 884,7	375 355,6	430 467,4	87,56	105,84	101,75	114,68
2012	370 721,0	388 258,0			86,12	104,73		

Rok	Kwartały				Kwartały			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
	ceny stałe średnioroczne roku poprzedniego (dynamika PKB)				analogiczny okres poprzedniego roku = 100			
1996	103,5	105,7	107,4	108,1	122,62	124,00	123,71	130,02
1997	107,1	107,7	107,0	106,6	122,26	122,34	121,16	122,24
1998	106,6	105,4	105,0	103,2	118,40	116,58	116,69	115,14
1999	102,2	103,5	105,4	106,6	108,25	109,86	110,63	113,71
2000	106,0	105,4	103,3	102,7	114,32	113,50	111,50	108,83
2001	102,4	101,2	101,0	100,5	107,30	105,99	103,73	102,49
2002	100,6	100,9	101,9	102,2	104,73	103,65	103,22	103,40
2003	102,4	104,0	104,2	104,7	103,31	104,64	103,97	105,05
2004	106,9	106,0	104,8	104,0	109,90	108,44	109,50	110,66
2005	102,4	103,2	104,3	104,4	107,68	105,91	106,01	105,95
2006	105,4	106,3	106,6	106,6	105,84	107,31	108,17	109,56
2007	107,5	106,6	106,6	106,6	111,26	110,73	111,30	110,79
2008	106,3	106,1	105,2	103,2	110,73	109,88	108,13	105,44
2009	100,4	101,0	101,7	103,2	104,65	104,69	105,63	106,48
2010	102,7	103,7	104,2	104,7	103,24	105,89	105,45	106,59
2011	104,4	104,1	104,1	104,6	107,85	107,04	107,07	108,14
2012	103,6	102,3			106,36	105,25		
Śred- nio	104,1	104,3	104,5	104,5				

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS

Dane GUS według rodzajów działalności – zgodnie z Polską Klasyfikacją Działalności 2007 (PKD 2007), opracowaną na podstawie Statystycznej Klasyfikacji Działalności Gospodarczych we Wspólnocie Europejskiej (*Statistical Classification of Economic Activities in the European Community — NACE Rev. 2*);

[http:// stat.gov.pl/gus](http://stat.gov.pl/gus) (30.10.2012)

Kryzys ekonomiczny (tzw. techniczny) występuje wtedy, kiedy spadek PKB następuje co najmniej przez *dwa kwartały*. W Polsce w badanym okresie kryzysu technicznego nie było i nie ma.

Przeanalizowano też w tabeli 1 polski PKB w cenach stałych, przyjmując jako ceny stałe ceny średnioroczne uzyskane w roku poprzednim. Charakteryzują one dynamikę PKB, a obliczono je na podstawie wartości w cenach stałych średniorocznych roku poprzedniego.

W badanym okresie wielkość wskaźnika zmiany PKB w cenach stałych nigdy nie spadła poniżej 100%. Najniższy był ten wskaźnik w I kwartale 2009 – osiągnął wartość 100,4%. Był to jeden z najlepszych wówczas wyników w Unii Europejskiej, a Polska została nazwana „zieloną wyspą” (wśród spadkowych gospodarek, zaznaczonych na mapach czerwonym kolorem, wy-

różniała się, jako jedyna lub – okresowo – jedna z dwu, wzrostem, oznaczanym na tych mapach kolorem zielonym).

Najwyższy wskaźnik PKB w cenach stałych średniorocznych roku poprzedniego był w IV kwartale 1996 (Q4 1996) – wyniósł według GUS 108,1%. Jedynie 4 razy w badanym okresie 1996–2012 dynamika PKB osiągnęła wielkość poniżej 101% – oprócz omówionego już minimum w Q1 2009 także w trzech kolejnych kwartałach: Q4 2001 (100,5%), Q1 2002 (100,6%) i Q2 2002 (100,9%). Wtedy sukcesywnie, choć symbolicznie, wzrastała.

Najśłabsze więc lata w Polsce, najbardziej recesyjne w badanym okresie 1995–2012 to rok 2009 i przełom lat 2001/2002. Trudno nawet zdecydować, który z nich bardziej, w którym spowolnienie było większe. Na podstawie tabeli 1 można więc orzec, że cykl koniunkturalny na podstawie dynamiki PKB (od depresji do kolejnej depresji) wynosił ostatnio w Polsce 7 lat, tj. 28 kwartałów. Według tej miary następna depresja będzie miała miejsce w 2016 r., a obecnie jest dopiero jej półmetek.

Przyjmując za miarę kryzysu nie sam spadek PKB, jak być powinno, lecz dynamikę PKB, dosyć łagodne kryzysy techniczne pojawiały się w latach 2000, 2008, 2011 i 2012. W tych latach dynamika PKB w Q2 była zawsze mniejsza niż w Q1, a w Q1 była mniejsza niż w Q4 poprzedniego roku. W 2012 roku dynamika PKB spadła jednak najbardziej – aż o 2,3% (poprzedni rekord spadku za dwa kwartały to rok 2001 = 1,5%; wówczas dynamika PKB zmniejszała się sukcesywnie przez cztery kwartały 2001 roku – łącznie o 2,2%).

60% przedsiębiorców prowadzących firmy w Polsce, w tym też firmy przetwarzające drewno uważa i uważało już w I kwartale 2012, że w naszym kraju jest kryzys.

4. Wskaźniki koniunktury

Wskaźniki koniunktury (mierniki, indeksy) to zestaw znaków służących do pomiaru pojęć z zakresu życia gospodarczego, opisujący stan gospodarki lub określonej jej części (np. jakiegoś rynku towarowego) i pozwalających określić tendencję w zakresie zmian poziomu aktywności gospodarczej. Wśród wskaźników pozwalających ocenić stan koniunktury i przewidywać kierunki zmian w gospodarce wyróżnia się:

- ❑ Wskaźniki pilotujące – zmieniają się (wzrastają lub obniżają swą wartość) na jakiś czas (np. kilka miesięcy) przed zmianą tendencji w kształtowaniu się ogólnych mierników poziomu aktywności gospodarczej (np. realnego produktu narodowego brutto). Przykładem mogą być ceny akcji czy stopa bezrobocia.
- ❑ Wskaźniki współbieżne – zmieniają się zgodnie z ogólnym stanem gospodarki (np. wskaźnik zmian dochodów osobistych, produkcji przemysłowej, obrotów handlowych).

- ❑ Wskaźniki reagujące ze zwłoką – wykazują tendencję wzrostu lub spadku jakiś czas (np. kilka miesięcy) po zmianie tendencji rozwojowej gospodarki (np. podstawowa stopa procentowa, przeciętny czas pozostawania bez pracy).

Największe znaczenie praktyczne mają wskaźniki pilotujące. Można obliczyć dla nich kompleksowy indeks wskaźników pilotujących, biorąc pod uwagę informacje dotyczące rozmaitych aspektów życia gospodarczego, np. dane o cenach akcji, o wielkości zasobów pieniądza, o rozmiarach kredytów dla firm handlowych i przemysłowych, o ilości wydanych pozwoleń na budowę, o liczbie rozpoczętych inwestycji, o wielkości bezrobocia itp. Obserwacja zmian tak wyznaczonego indeksu pozwala z dużym prawdopodobieństwem przewidzieć zmiany ogólnych wskaźników aktywności gospodarczej, np. realnego produktu narodowego brutto (<http://www.biznes.pl> z dn. 16.10.2012 r.).

Przykłady wskaźników koniunktury:

- ❑ Wskaźnik *Composite Leading Indicator* (CLI) Organizacji Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD)

Wskaźnik ma służyć do wczesnego wskazywania punktów zwrotnych w cyklu biznesowym w danym kraju. OECD wybiera kluczowe składniki wskaźnika osobno dla każdego z analizowanych państw. Dla Polski brane są pod uwagę: realny efektywny kurs walutowy, stopa WIBOR 3M, a także podawane przez GUS: koniunktura w przemyśle przetwórczym, liczba ofert pracy oraz dynamika produkcji węgla (<http://www.e-gospodarka.pl> z dn. 15.10.2012 r.).

- ❑ Wskaźnik syntetyczny koniunktury gospodarczej (SI) Głównego Urzędu Statystycznego

Metodyka obliczania przez GUS wskaźnika SI (*Synthetic Indicator*) dla Polski oparta jest na metodyce wskaźnika ESI (*Economic Sentiment Indicator*), opracowanego i obliczanego przez Komisję Europejską dla poszczególnych krajów Unii Europejskiej, strefy euro i Unii Europejskiej ogółem. Do obliczenia syntetycznego wskaźnika koniunktury gospodarczej dla Polski wykorzystywane są wskaźniki proste, odnoszące się do wybranych zagadnień, wyrównane sezonowo, pochodzące z badań koniunktury przemysłu, budownictwa, handlu i usług. Do konstrukcji SI zastosowano następujące wagi: 50% dla przetwórstwa przemysłowego, 6% dla budownictwa, 6% dla handlu, 38% dla usług. Są to wagi zaadaptowane z metodyki Komisji Europejskiej, wynoszące odpowiednio: 40% dla przemysłu, 30% dla usług, 5% dla budownictwa, 5% dla handlu, 20% dla konsumentów (<http://www.biznes.pl> z dn. 17.10.2012 r.).

- ❑ Barometr koniunktury gospodarczej Instytutu Rozwoju Gospodarczego Szkoły Głównej Handlowej

Wskaźnik oparty jest na średniej ważonej z ocen koniunktury w przemyśle, budownictwie, handlu, gospodarstwach domowych, rolnictwie, transporcie i bankach (Portal Gospodarczy <http://www.wnp.pl> z dn. 17.10.2012 r.).

❑ Indeks biznesu Polskiej Konfederacji Pracodawców Prywatnych Lewiatan

Indeks biznesu Polskiej Konfederacji Pracodawców Prywatnych (PKPP) jest wskaźnikiem koniunktury gospodarczej w kraju, obliczanym i publikowanym comiesięcznie od początku 2003 r. Powstaje na podstawie prognoz ekonomistów polskich oceniających koniunkturę na bieżący kwartał, półroczne i na cały rok. Liczony jest w skali 100-punktowej, w której 50 odpowiada prognozie wzrostu gospodarczego w granicach 4% PKB rocznie. Eksperci, których prognozy uwzględnia Indeks biznesu PKPP to: Tadeusz Chrościcki, Maja Goettig, Ryszard Kokoszczyński, Maciej Krzak, Stanisław Kubielas, Małgorzata Starczewska-Krzysztozek, Mateusz Szczurek, Bohdan Wyżnikiewicz (<http://www.e-gospodarka.pl> z dn. 16.10.2012 r.).

❑ Wskaźnik optymizmu konsumentów

Wskaźnik optymizmu konsumentów (WOK) powstaje na bazie jedenastu standardowych pytań zamkniętych, zadawanych w sondażu międzynarodowej grupy badawczej Ipsos-Demoskop. Badaną zbiorowością jest ludność Polski w wieku 15 lat i więcej. Sondaż przeprowadzany jest w cyklu miesięcznym na reprezentatywnej próbie 1000 osób. Respondenci oceniają sytuację w kraju, swoją sytuację materialną, poziom bezrobocia, inflację, skłonność do zakupu trwałych dóbr konsumpcyjnych i poziom oszczędności w ciągu ostatnich 12 miesięcy. Dokonują również prognozy tych zjawisk w roku następnym. Pytania od początku prowadzenia badania są zadawane w identycznym brzmieniu i w tej samej kolejności. WOK może przyjmować wartości od 0 do 200 punktów (<http://www.ipsos.pl> z dn. 16.10.2012 r.).

❑ Indeks PMI

Wyliczany jest co miesiąc na podstawie ankiet wypełnianych przez ponad 300 menedżerów firm z różnych branż. Analizy prowadzi brytyjska firma NTC Research. Wskaźnik PMI na poziomie wyższym od 50 oznacza ekspansję w sektorze przemysłowym w porównaniu z poprzednim miesiącem, natomiast spadek poniżej 50 punktów oznacza spowolnienie tej ekspansji.

Angielskie tłumaczenie skrótu PMI to „indeks menedżerów zakupów”, chociaż bliższe prawdy jest skupienie się na menedżerach ds. logistyki. To oni w firmach produkcyjnych decydują o rotacji aktywów. Ich wskazania dotyczące przyszłości są cenniejsze od indeksów nastrojów wśród analityków i przedsiębiorców.

Indeks PMI wylicza firma *Markit Economics* dla 27 krajów. Wskaźnik został opracowany w USA przez Instytut Zarządzania Podażą. Publikowany jest w Stanach Zjednoczonych – jako indeks ISM. Dane publikowane są co miesiąc. Pozwala to na szybsze zaobserwowanie potencjalnych zmian, jakie mogą zajść w gospodarkach.

Od kilkunastu lat indeks PMI jest sporządzany dla Polski, a jego wskazania są coraz częściej brane pod uwagę przez inwestorów instytucjonalnych (BDO Spółki Giełdowe nr 5 (18), 2010).

❑ Indeks Ifo

Właściwie jest to indeks klimatu gospodarczego Instytutu Ifo (*Ifo Business Climate*). Publikowany jest przez *Institut für Wirtschaftsforschung* (Instytut Badań nad Gospodarką) z siedzibą w Monachium. Obrazuje nastroje wśród niemieckich przedsiębiorców. Uznawany jest za najbardziej wiarygodne źródło informacji o kondycji niemieckiego gospodarki. Stosowany jest od roku 1991.

Indeks Ifo powstaje na podstawie ankiet przeprowadzonych wśród około 7 tys. niemieckich przedsiębiorców reprezentujących sektor przemysłu przetwórczego, budownictwa, handlu hurtowego i detalicznego. Oceniają oni bieżącą koniunkturę oraz oczekiwaną jej zmianę w najbliższych sześciu miesiącach. Na podstawie tych ocen powstają dwa subindeksy, które odpowiednio obrazują bieżącą (*Business Situation*) i przyszłą sytuację biznesu (*Business Expectations*). Stanowią one źródło do obliczeń indeksu klimatu gospodarczego instytutu Ifo. Jego wartość jest skorygowana o wpływ czynników sezonowych (<http://www.biznes.pl> z dn. 17.10.2012 r.). Raport publikowany jest w trzecim tygodniu badanego miesiąca.

❑ Barometr Rzeczpospolitej

Dziennik „Rzeczpospolita” publikował ten wskaźnik koniunktury gospodarczej codziennie, natomiast aktualizacja odbywała się we wtorki. Wskaźnik miał charakter syntetyczny – grupował zjawiska gospodarcze zachodzące w firmach, wśród konsumentów, na rynku kapitałowym i w sektorze bankowym. Służył przewidywaniu zmian w koniunkturze gospodarczej. Wykazywał duże powiązanie z dynamiką polskiego PKB, a jego zmiany wyprzedzały ruch PKB. Opracowany był przy współpracy Instytutu Badań nad Gospodarką Rynkową (IbnGR) oraz Ipsos-Demoskop. Był średnią ważoną trzech grup wskaźników i danych dostępnych w mediach: wskaźnika optymizmu konsumentów Ipsos-Demoskop (30%), wskaźnika ogólnopolskiego koniunktury gospodarczej Instytutu Badań nad Gospodarką Rynkową (30%), sześciu wskaźników dodatkowych, z których każdy miał 6,7 proc. udziału. Dotyczyły one zmian: WIG-20, podaży pieniądza, liczby wybudowanych mieszkań, cen benzyny, oprocentowania kredytu konsumpcyjnego w ROR oraz publikowanego przez Ifo wskaźnika koniunktury w Niemczech (<http://www.biznes.pl> z dn. 17.10.2012 r.).

❑ Globalny ranking dobrobytu – *Legatum Prosperity Index*

Przygotowywany jest corocznie przez *Legatum Institute* w Londynie (<http://www.prosperity.com/Ranking.aspx>). W rankingu brane są pod uwagę, oprócz wskaźników gospodarczych, także: warunki prowadzenia działalności gospodarczej, edukacja, służba zdrowia, bezpieczeństwo wewnętrzne, wolności osobiste oraz administracja centralna. W ogólnym rankingu najlepsza jest Norwegia przed Danią, Szwecją, Australią, Nową Zelandią. USA są na 12 miejscu, Wielka Brytania – na 13, Niemcy – na 14. Ranking pokazuje, iż najlepszą gospodarkę ma obecnie Szwajcaria, najlepsze perspektywy dla firm – Dania, a największym kapitałem społecznym dysponuje Norwegia. W innych kategoriach na pierwszym miejscu są: w edukacji – Nowa Zelandia, w administracji – Szwajcaria, w bezpieczeństwie – Islandia, w opiece zdrowotnej –

Luksemburg, w wolnościach osobistych – Kanada. Polska w odniesieniu do 2011 roku spadła o cztery pozycje – z 28 na 32 miejsce. Najlepiej wypada nasz kraj pod względem bezpieczeństwa (25), natomiast najgorzej w kategorii sytuacja ekonomiczna (52). Przed Polską są w 2012 r. m.in. Czechy (28), a za – Słowacja (36), Litwa (43), Białoruś (54) oraz Rosja (66). W „*The 2012 Legatum Prosperity Index*” sklasyfikowano w sumie 142 państwa – o 34 więcej niż w edycji 2011 roku (108) i o 37 więcej niż w 2010 (105). Najgorzej wypada w 2012 Republika Środkowoafrykańska przed Kongiem i Afganistanem (<http://www.prosperity.com/Ranking.aspx> z dn. 08.11.2012 r.).

Ważnym wskaźnikiem koniunktury jest też stopa bezrobocia, która w 2012 roku nie malała nawet latem), co zwykle ma miejsce (najniższa była w lipcu 2012 r., a od sierpnia utrzymuje się na czerwcowym poziomie). Są przesłanki, że może rosnać bardziej intensywnie. To z całą pewnością, istotne odznaki osłabienia gospodarczego. Niekoniecznie jednak doprowadzić muszą do kryzysu, chociaż szybko do niego zmierzają.

5. Zaopatrzenie w drewno okrągłe w 2012 roku

Oferta drewna okrągłego na rok 2012, opublikowana przez Dyрекcję Gernalną Lasów Państwowych (DGLP) w dn. 27 października 2011 r., jest na tle lat poprzednich i trendów w pozyskaniu bardzo skromna. Zakłada niecały 1% wzrostu dostaw surowca dla przedsiębiorców i 1,21% wzrost całkowitej oferty – dla wszystkich segmentów rynku drewna okrągłego. To bardzo niewiele. Najmniej od 2010 roku, kiedy to, po sporej recesji światowej, zakończonej w Polsce w 2009 roku, LP bardzo swoją ofertę obniżyły. Tak znaczne ograniczenie dopływu drewna okrągłego na rynek odbiorców przemysłowych przez naturalnego przecież monopolistę stworzyło sytuację wprost kreującą wzrost cen, co objawiło się na wszystkich etapach tegorocznych negocjacji na dostawy surowca dla przemysłu drzewnego. Oferta była stanowczo zbyt skromna, jak na fazę rozwoju i potrzeby rynku, a przez swe znaczące zniżenie wprost wygenerowała wysokie ceny na drewno okrągłe, mimo narastających systematycznie objawów recesji najpierw w UE, a później też w naszym kraju, o czym też była już mowa.

Niewiele, ale jednak trochę, pomogło rynkowi drewna okrągłego zwiększenie przez LP pozyskania w 2012 r. o około 0,5 mln m³ w stosunku do pierwotnych zamierzeń.

6. Wykorzystanie biomasy w energetyce

Obecnie ponad 50% energii z odnawialnych źródeł energii (OZE) to biomasa leśna, czyli praktycznie z drewna o różnej postaci. Nieograniczone wręcz zapotrzebowanie energetyki, zwłaszcza energetyki zawodowej powo-

dowało do niedawna niezwykle łatwą możliwość sprzedaży i samego drewna okrągłego, i wszelkich jego odpadów – o każdej właściwie jakości, w każdej dostępnej ilości i o dowolnym rozdrobnieniu. Cena drewna i odpadów drzewnych nie ma dla energetyki większego znaczenia, bo jest przez nią niezwykle łatwo i dosyć szybko przenoszona na końcowych odbiorców energii, w tym też na przedsiębiorców przerabiających drewno. Stąd też systematyczny i na niespotykaną w historii skalę wzrost cen drewna, z roku na rok coraz szybszy, mimo nienadzwyczajnej wcale koniunktury gospodarczej.

Obecnie zapotrzebowanie energetyki szybko przenosi się na energochłonne w wytwarzaniu brykiety i pelety z drewna (biomasy leśnej) i z biomasy rolniczej. Ciągniony rachunek ekonomiczny wykazuje również małą sensowność takiego postępowania, zwłaszcza jeśli pelety i brykiety wykorzystywane są przez energetykę zawodową w procesie współspalania. Pierwszą operacją technologiczną na obu ciągach biomasy leśnej i rolniczej w elektrowniach jest mielenie brykietów i peletów w „młynach młotkowych” – otrzymuje się materiał o konsystencji kurzu. („Młotki” przy rozdrabnianiu brykietów zużywają się wolniej niż w przypadku bardziej sprasowanych peletów.) Operacją drugą – jest zraszanie zmielonej biomasy wodą, aby zapobiegać wybuchowi sproszkowanego surowca. Woda wymaga jednak następnie zupełnie sporej energii na jej odparowanie z kotła (ciepło parowania wody = 2 257 kJ/kg; ciepło spalania drewna = 14 000 kJ/kg).

Z analizy zmian (tabela 2) mocy zainstalowanej w polskich źródłach energii odnawialnej oraz liczby jednostek zaliczanych do poszczególnych źródeł OZE w okresie od 30 czerwca 2010 r. do 30 czerwca 2012 r. wynika systematyczny wzrost udziału energii wiatrowej (z 44% do 57,6%) i na biomasę (z 11% do 14%) oraz spadek udziału elektrowni wodnych – z 42% do 25%.

W okresie od 30 czerwca 2010 r. do 31 grudnia 2011 r. liczba elektrowni wykorzystujących biomasę (BM) zwiększyła się w Polsce z 15 do 19, a ich moc zainstalowana z 252,5 MW do 409,7 MW. W połowie 2010 roku w elektrowniach BM wytwarzano 11,1% energii, a w końcu 2011 – 13,3%. W ciągu pierwszego półrocza 2012 r. liczba elektrowni BM zwiększyła się o 3 – do 22, a udział mocy zainstalowanej zwiększył się do 14,04%.

Liczba elektrowni współpalających biomasę z węglem (WS), dla których trudno jest określić moc, bo zależy ona od proporcji węgla i biomasy w konkretnym procesie – zwiększała się sukcesywnie w okresie od 30 czerwca 2010 r. do 31 grudnia 2011 r. z 40 do 47. W 2011 roku nastąpił jeszcze 33% wzrost wytwarzania w źródłach wykorzystujących biomasę w energetyce przemysłowej oraz 18% wzrost wytwarzania w technologii współspalania w energetyce zawodowej (<http://www.ure.gov.pl> z dn. 24.10.2012 r.).

W I kwartale 2012 r. po raz pierwszy w historii liczba ta spadła do 45 jednostek. Rozpoczął się tym samym, można mieć nadzieję, że skuteczny i trwały, odwrót od mało efektywnych procesów wspólnego spalania węgla z drewnem.

Tabela 2. Moc zainstalowana w polskich źródłach energii odnawialnej

Stan w dniu	30.06.2010			31.12.2010		
Źródło OZE (elektrownie)	Liczba	Moc zainstalowana		Liczba	Moc zainstalowana	
		wielkość	jednostka		wielkość	jednostka
Wiatrowe (WJ)	347	1000		378	1095,587	
Wodne (WO)	733	947		737	948,363	
Wykorzystujące biomasę (BM)	15	252,5		16	259,490	
Spalające biogaz (BG)	133	71		136	79,478	
Fotowoltaiczne (energia słoneczna) (PV)	2	0,012		2	0,012	
Współspalające biomasę z węglem (WS)	40			41		
Razem	1270	2270,512		1310	2382,93	
Zmiana				40	112,418	
Stan w dniu	30.06.2011			31.12.2011		
Źródło OZE	Liczba	Moc zainstalowana		Liczba	Moc zainstalowana	
		wielkość	jednostka		wielkość	jednostka
Wiatrowe (WJ)	453	1351,866		526	1616,361	
Wodne (WO)	737	946,345		746	951,389	
Wykorzystujące biomasę (BM)	19	393,050		19	409,679	

Spalające biogaz (BG)	149	87,773	MW	3,16	171	103,487	MW	3,36
Fotowoltaiczne (energia słoneczna) (PV)	4	0,104		0,00	6	0,1124		0,00
Współspalające biomasę z węglem (WS)	42				47			
Razem	1404	2779,138		100,00	1515	3081,028		100,00
Zmiana	94	396,208		16,63	111	301,890		10,86
Stan w dniu	30.06.2012							
Źródło OZE	Liczba	Moc zainstalowana						
		wielkość	jednostka					
Wiatrowe (WJ)	619	2188,941	MW	57,60				
Wodne (WO)	762	957,379		25,19				
Wykorzystujące biomasę (BM)	22	533,410		14,04				
Spalające biogaz (BG)	184	119,414		3,14				
Fotowoltaiczne (energia słoneczna) (PV)	8	1,251		0,03				
Współspalające biomasę z węglem (WS)	45							
Razem	1640	3800,395		100,00				
Zmiana	125	719,367		23,35				

Źródło: Opracowanie własne na podstawie <http://www.ure.gov.pl>
Dla instalacji współspalania nie można określić mocy.

Wysoka cena „zielonej” energii wpływa na pogorszenie konkurencyjności całej gospodarki. Modernizacja bloków energetycznych w polskich elektrowniach do niedawna związana była z intensywnym ich przystosowywaniem do spalania biomasy, w tym w większości biomasy leśnej (drzewnej). Dopiero modernizacje, podejmowane w elektrowniach i elektrociepłowniach w ostatnich dwu latach, obejmowały również uruchamianie dodatkowych kotłów i ciągów technologicznych na biomasę rolniczą. Stanowiło to istotny postęp w sukcesywnym zmniejszaniu zużycia drewna przez energetykę. Rok 2012 przyniósł odwrócenie tego bardzo złego trendu i spowodował zmniejszenie udziału mało efektywnych elektrowni WS w polskim systemie energetycznym.

7. Zużycie drewna do produkcji energii elektrycznej do 2020 roku

W tabeli 3 wykonano projekcję zużycia drewna okrągłego do produkcji energii elektrycznej w latach 2007–2020. Wykorzystując dostępne dane o produkcji energii elektrycznej w Polsce, etatach cięcia drewna okrągłego przez Lasy Państwowe, udziale energii elektrycznej wytworzonej w OZE do energii elektrycznej sprzedawanej odbiorcom końcowym, udział energii elektrycznej z OZE w krajowym zużyciu energii elektrycznej brutto, produkcji energii elektrycznej w źródłach wykorzystujących biomasę, w tym w procesie współspalania, oraz dotychczasowe trendy w tym zakresie, opracowano prognozę do 2020 roku.

W 2012 roku wyprodukowanych zostanie około 170 TWh energii elektrycznej. Gdyby całą tę energię wytworzyć z drewna, należałoby zużyć 54 mln m³ surowca. To 1,64 etatu cięć przez Lasy Państwowe w tym roku. Jednak w OZE ma być w 2012 roku wytworzone 10,4% energii, a nie 100%. W tej sytuacji zużycie drewna na tę produkcję to 5,9 mln m³, czyli 17% etatu jego pozyskania w LP. Udział energii elektrycznej z OZE w krajowym zużyciu energii elektrycznej brutto wynosi w 2012 r. 9 TWh, co wymaga spalania ponad 5 mln m³ drewna, czyli 14,72% etatu cięć w 2012 roku.

Produkcję energii elektrycznej w źródłach wykorzystujących biomasę, w tym w procesie współspalania szacuje się w 2012 roku na 11,4 TWh, co wymagałoby spalania 3,8 mln m³ surowca z lasu, czyli niecałe 11% etatu cięć. Tak jednak byłoby przy sprawności 100%. W praktyce średnią sprawność urządzeń spalających drewno w procesie produkcji energii elektrycznej szacuje się na 30%. Wówczas zużycie drewna rośnie do 12,6 mln m³, czyli do ponad 1/3 etatu cięć w LP (36,5%). Zakładając, że w 2012 r. udział biomasy rolniczej wynosi 25%, a udział biomasy leśnej – 75%, zużycie drewna to prawie 9,5 mln m³, czyli 27,37% etatu cięcia (tabela 3, s. 98–99).

Biorąc pod uwagę istniejące trendy, do 2020 roku zużycie drewna zauważalnie się obniży. W 2020 roku 35% energii elektrycznej w źródłach wyko-

rzystujących biomasę, w tym w procesie współspalania, wyprodukowane zostanie z biomasy leśnej, na co zużyte zostanie ponad 8 mln m³ drewna, co stanowić będzie 18,63% etatu pozyskania.

Obecnie wciąż jeszcze wzrastające zużycie biomasy drzewnej w energetyce zawodowej powoduje pogłębianie się niedoboru drewna oraz trudności zaopatrzeniowe przemysłu drzewnego i celulozowo-papierniczego. Są jednak już pozytywne objawy. Następuje mianowicie zasadnicza zmiana w podejściu do tego zagadnienia. Jednym z ważnych postulatów społecznych, który ma zostać uwzględniony w projektowanej ustawie o odnawialnych źródłach energii, jest ograniczanie dostępu dla dużych instalacji systemowych w energetyce właśnie do biomasy leśnej. Może to spowodować, że drewno będzie wówczas wykorzystywane racjonalnie, zgodnie z jego przyjaznym dla człowieka charakterem i zgodnie z jego cennymi, sozologicznymi właściwościami.

Spowolnienie gospodarcze, które już się rozpoczęło i w Unii Europejskiej, i w świecie, i w Polsce, stwarza duże szanse na uspokojenie różnych segmentów rynku, w tym rynku drewna okrągłego i rynku energii elektrycznej. Ułatwić to może wypracowanie zasad sprzedaży drewna z lasu wewnątrz sektora leśno-drzewnego.

Wiele rozwiązań w zakresie eliminacji niekorzystnych zjawisk w energetyce wymaga szczebla ponadkrajowego, unijnego. W krajowej legislacji są pierwsze pozytywne rozwiązania. Minister Gospodarki w dn. 18 października 2012 r. podpisał rozporządzenie o OZE (Projekt 2012), skierowane w dniu 19 października 2012 r. do publikacji. Zawiera ono, między innymi, definicję drewna pełnowartościowego oraz zboża pełnowartościowego i uniemożliwia uzyskanie wsparcia dla energii wytworzonej w oparciu o tak zdefiniowane drewno pełnowartościowe oraz zboża pełnowartościowe. To bardzo ważny krok ograniczający mało sensowne niejednokrotnie używanie przez energetykę drewna i produktów rolniczych. Dokument wejdzie w życie 31 grudnia 2012 r.

8. Ceny drewna w Polsce

Analizy wykonane na podstawie danych z Lasów Państwowych (LP), Monitora Polskiego i kwartalnika „Rynek Drzewny” wskazują, że od roku 2009 do końca 2011 ceny drewna iglastego wzrosły przeciętnie o około 47%, a oceny dokonane przez Katedrę Ekonomiki i Organizacji Drzewnictwa Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu na podstawie danych z około 150 nadleśnictw prawie całego kraju, głównie Polski Zachodniej wykazują, że od początku 2009 r. wzrost cen zaopatrzeniowych, uzyskiwanych średnio w przetargach na I półrocze 2012 r. (internetowe przetargi ograniczone w portalu leśno-drzewnym – I przetarg i II przetarg oraz na aukcjach internetowych w aplikacji e-drewno, tzw. drewno e-systemowe) – to około 70%. To bardzo najpierw podgrzało, a później przegrzało koniunkturę.

Tabela 3. Projekcja zużycia drewna okrągłego na produkcję energii elektrycznej w latach 2007–2020

Rok	Produkcja energii elektrycznej w źródłach wykorzystujących biomasę																							
	w tym w procesie współspalania (MG)																							
	Pro- duk- cja energii elek- trycznej (URE, ARE) TWh	Zużycie drewna	Oferta LP ogółem drewno okrągłe = etat cię- cia (LP)	Prze- li- cze- nie na liczbę etatów cięcia w LP	Udział energii elektrycznej wytworzonej w OZE do energii elektrycznej sprzedawanej odbiorcom końcowym (MG)				Udział energii elektrycznej wytworzonej w źródłach odnawialnych w zużyciu energii elektrycznej ogółem				w tym w procesie współspalania (MG)											
					%	TWh	mln. m ³ drew- na	% etatu cięcia LP	%	TWh	mln. m ³ dre- wna	% etatu cięcia LP	%	TWh	mln. m ³ drewna LP	% etatu cięcia LP	100%	sprawność 30%	biomasa leśna					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23		
2007	159,453	53,151	30,622	1,74	5,1	8,132	2,711	8,85	3,40	5,421	1,807	5,90	2,343	1,797	2,865	0,955	3,12	3,184	10,40	100	3,184	10,40		
2008	155,183	51,728	32,153	1,61	7,0	10,863	3,621	11,26	4,23	6,564	2,188	6,81	3,267	2,752	4,271	1,424	4,43	4,745	14,76	95	4,508	14,02		
2009	151,697	50,566	32,634	1,55	8,7	13,198	4,399	13,48	5,76	8,738	2,913	8,92	4,888	4,287	6,503	2,168	6,64	7,226	22,14	90	6,503	19,93		
2010	157,414	52,471	32,873	1,60	10,4	16,371	5,457	16,60	6,98	10,987	3,662	11,14	5,756	5,152	8,110	2,703	8,22	9,011	27,41	85	7,659	23,30		
2011	163,153	54,384	34,171	1,59	10,4	16,968	5,656	16,55	7,93	12,938	4,313	12,62	6,7	5,8261	9,505	3,168	9,27	10,562	30,91	80	8,449	24,73		
2012	170	56,560	34,585	1,64	10,4	17,647	5,882	17,01	9	15,271	5,090	14,72	7,7	6,6957	11,361	3,787	10,95	12,623	36,50	75	9,468	27,37		
2013	176	58,822	36	1,63	12	21,176	7,059	19,61	10	17,647	5,882	16,34	8,2	7,1304	12,583	4,194	11,65	13,981	38,84	70	9,787	27,19		
2014	184	61,175	37	1,65	13	23,858	7,953	21,49	11	20,188	6,729	18,19	8,7	7,5652	13,884	4,628	12,51	15,427	41,69	65	10,027	27,10		
2015	191	63,622	38	1,67	14	26,721	8,907	23,44	12	22,904	7,635	20,09	8,95	7,7826	14,854	4,951	13,03	16,505	43,43	60	9,903	26,06		
2016	199	66,167	39	1,70	15	29,775	9,925	25,45	13	25,805	8,602	22,06	9,2	8	15,880	5,293	13,57	17,644	45,24	55	9,704	24,88		
2017	206	68,814	40	1,72	16	33,030	11,010	27,53	14	28,902	9,634	24,08	9,45	8,2174	16,964	5,655	14,14	18,849	47,12	50	9,424	23,56		

Są już zresztą pierwsze, nawet oficjalne objawy spadku cen. Średnia cena sprzedaży 1 m³ drewna okrągłego, obliczona przez GUS, opublikowana w Monitorze Polskim z dn. 24 października 2012 r. zmniejszyła się jeszcze niewiele, bo tylko o 26 groszy, czyli o 0,14% (tabela 4). Ale tendencja jest wyraźna.

9. Makroekonomiczny wskaźnik zmiany ceny drewna

Poziom i trendy w zakresie rozwoju gospodarki, czyli fazy cyklu koniunkturalnego, mierzy się, jak wspomniano wyżej, za pomocą wskaźników koniunktury. Służą one do pomiaru stanu koniunktury gospodarczej, opisują stan gospodarki lub określonej jej części, pozwalają określić tendencje i kierunki w zakresie zmian poziomu aktywności gospodarczej. Próba opracowania takiego wskaźnika dla cen drewna okrągłego jest realizowana. Poniżej przedstawiono dotychczasowy stan prac nad jego opracowaniem.

Proponowany wskaźnik z założenia ma charakter wyprzedzający. Obliczany jest na podstawie pięciu lub sześciu wskaźników cząstkowych, publikowanych co miesiąc (około 25 dnia każdego miesiąca) przez GUS (ostatnia publikacja, w październiku 2012 r., miała miejsce w dn. 22.10.2012 r., poprzednia – w dn. 24.09.2012 r.). Wskaźniki tzw. surowe liczone są odrębnie dla krajów Unii Europejskiej (UE-27) i Polski.

❑ Wskaźniki 5-elementowe

Dla UE-27 dodawane są do udziału (w zakresie 30–70%): PKB wyrażone w procentach; saldo handlu zagranicznego w mld euro – ponieważ nie wylicza się tego wskaźnika dla UE jako całości, przyjęto wielkość dla największego kraju i największego partnera Polski w handlu zagranicznym (tj. dla Niemiec), ponadto ze względu na niewspółmierną wielkość w odniesieniu do naszego kraju podzielono publikowaną wielkość przez 10; produkcja przemysłowa w % oraz odejmowane są od udziału: zharmonizowana stopa bezrobocia w % i zharmonizowany wskaźnik cen konsumpcyjnych w %. Następnie suma tych składników mnożona jest przez wielkość udziału – powstaje w ten sposób wskaźnik skorygowany dla UE-27. Podobnie dla Polski. Dodawane są z udziałem (100 – udział UE-27), czyli w zakresie odpowiednio 70% do 30%: PKB w %; saldo handlu zagranicznego w mld euro; produkcja przemysłowa w % oraz odejmowane są: zharmonizowana stopa bezrobocia w % i zharmonizowany wskaźnik cen konsumpcyjnych w %. Ich suma również mnożona jest przez udział – powstaje w ten sposób wskaźnik skorygowany dla Polski.

❑ Wskaźniki 6-elementowe

Wskaźnik 5-elementowy i dla UE-27 i dla Polski uzupełniany jest dodatkowo o produkcję w budownictwie, wyrażoną w % (tabela 4).

❑ **Makroekonomiczny wskaźnik zmian ceny drewna okrągłego** powstaje przez zsumowanie wskaźników skorygowanych dla UE-27 i dla Polski oraz 3-miesięcznego średniego kursu euro (dla ostatnich 3 miesięcy wynosi on 4,11 zł/€).

Tabelę 4 sporządzono dla udziałów wskaźników częstkowych – 50% UE-27 i 50% Polska. Wielkości zapisane są po lewej stronie tabeli.

Ponadto z prawej strony tabeli 4 przeliczono wielkości wskaźników dla pięciu różnych udziałów częstkowych:

- ☐ UE-27 = 30%, Polska = 70%;
- ☐ UE-27 = 40%, Polska = 60%;
- ☐ UE-27 = 50%, Polska = 50%;
- ☐ UE-27 = 60%, Polska = 40%;
- ☐ UE-27 = 70%, Polska = 30%.

Obliczenia wykonano biorąc za podstawę ceny drewna z I półrocza 2012 r. oraz z II półrocza 2012 r. W tabeli 4 przeanalizowano 20 wariantów wskaźników i cen drewna okrągłego. Warianty te zestawiono i porównano w tabeli 5 z podobnie wyznaczonymi wskaźnikami 5-elementowymi, czyli nie zawierającymi danych o produkcji w budownictwie.

Wyższe oczekiwane ceny drewna okrągłego uzyskano dla wskaźników, które nie uwzględniają produkcji w budownictwie. W czwartym kwartale 2012 r. wskaźniki częstkowe dla produkcji w budownictwie są bowiem bardzo niskie, a to wpływa na znaczące zmniejszenie całego wskaźnika makroekonomicznego i wyznaczanych na jego bazie cen drewna okrągłego.

Tabela 4. Wyznaczenie makroekonomicznego wskaźnika zmiany ceny drewna z uwzględnieniem produkcji w budownictwie

Wyznaczenie wskaźnika makroekonomicznego zmiany ceny drewna	UE- 27					Polska				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	Q4-11	Q1-12	Q2-12	Q3-12	Q4-12	Q4-11	Q1-12	Q2-12	Q3-12	Q4-12
	10. 2011	01. 2012	04. 2012	07. 2012	10. 2012	10. 2011	01. 2012	04. 2012	07. 2012	10. 2012
PKB w %	1,70	1,40	0,80	0,10	-0,30	4,5	4,2	4,4	3,8	2,5
Saldo handlu zagranicznego (Niemcy/10, Polska 1) w mld euro	8,89	12,92	1,31	5,93	10,91	-8,5	-12	-1	-3,9	-6,4
Zharmonizowana stopa bezrobocia w % (-)	-9,50	-9,80	-10,20	-10,30	-10,50	-9,4	-10	-10,2	-9,9	-10,1
Zharmonizowany wskaźnik cen konsumpcyjnych w % (-)	-3,30	-3,00	-2,90	-2,60	-2,70	-3,5	-4,5	-3,9	-4,2	-3,8
Produkcja przemysłowa w %	4,30	0,00	-1,80	-2,30	-1,80	5,5	9,8	5,5	2,4	1,7
Produkcja w budownictwie w %	0,60	0,70	-9,40	-6,90	-6,80	10,6	14,9	12,6	6,5	-6,3

Wyznaczenie wskaźnika makroekonomicznego zmiany ceny drewna	UE- 27					Polska				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	Q4-11	Q1-12	Q2-12	Q3-12	Q4-12	Q4-11	Q1-12	Q2-12	Q3-12	Q4-12
	10. 2011	01. 2012	04. 2012	07. 2012	10. 2012	10. 2011	01. 2012	04. 2012	07. 2012	10. 2012
Wskaźnik częstkowy surowy = suma składników	2,69	2,22	-22,19	-16,07	-11,19	-0,80	2,40	7,40	-5,30	-22,40
Udział części	50					50				
Wskaźnik skorygowany	26,345	26,11	13,905	16,965	19,405	24,60	26,20	28,70	22,35	13,80
Średni 3-miesięczny kurs euro – zł/€						4,27	4,43	4,17	4,26	4,11
Makroekonomiczny wskaźnik zmian ceny drewna okrągłego						55,21	56,74	46,77	43,58	37,32
Zmiana wskaźnika makroekonomicznego						1	1,028	0,847	0,789	0,676
								1	0,932	0,798
Rodzaj drewna	Sortyment	Aplikacja	Cena drewna okrągłego w zł/ m³							
			I	Q1-12	Q2-12	Q3-12	Q4-12			
SO sosna	S2B	portal leśno-drzewny	179,77	184,80	152,26	141,83	121,50			
		systemowe e-drewno	263,05	270,42	222,80	207,55	177,79			
	W_STANDARD	portal leśno-drzewny	202,52	208,19	171,53	159,78	136,87			
		systemowe e-drewno	340,60	350,14	288,49	268,73	230,20			
SW świerk	W_STANDARD	portal leśno-drzewny	201,78	207,43	170,91	159,20	136,38			
		systemowe e-drewno	349,73	359,52	296,22	275,94	236,37			
Rodzaj drewna	Sortyment	Aplikacja	Cena drewna okrągłego w zł/ m³							
			II	Q3-12	Q4-12					
SO sosna	S2B	portal leśno-drzewny	165,2	153,97	131,81					
		systemowe e-drewno	212	197,58	169,15					
	W_STANDARD	portal leśno-drzewny	207,4	193,30	165,48					
		systemowe e-drewno	259,1	241,48	206,73					
SW świerk	W_STANDARD	portal leśno-drzewny	240,7	224,33	192,05					
		systemowe e-drewno	321,4	299,54	256,43					

Źródło: opracowanie własne na podstawie Informacji o sytuacji gospodarczej kraju GUS: 24.10.2011; 26.01.2012; 24.04.2012; 25.07.2012; 22.10.2012, 3-miesięczny średni kurs euro – obliczenia własne na koniec października, stycznia, kwietnia, lipca

 wielkość maksymalna

 wielkość minimalna

Tabela 4. Cd. Wyznaczenie makroekonomicznego wskaźnika zmiany ceny drewna z uwzględnieniem produkcji w budownictwie

Makroekonomiczny wskaźnik zmian ceny drewna okrągłego							
Udział części		1	2	3	4	5	
		Q4-11	Q1-12	Q2-12	Q3-12	Q4-12	
UE- 27	Polska	10.2011	01.2012	04.2012	07.2012	10.2012	
30	70	62,51	64,77	60,69	53,73	43,07	
40	60	56,86	58,76	51,73	46,65	38,20	
50	50	55,21	56,74	46,77	43,58	37,32	
60	40	57,56	58,72	45,81	44,50	40,44	
70	30	63,91	64,70	48,85	49,42	47,56	
Cena drewna okrągłego w zł/ m³ we wrześniu 2012 na podstawie cen I półrocza							
Udział części		SO				SW	
		S2B		W_STANDARD			
UE- 27	Polska	pld	sed	pld	sed	pld	sed
30	70	123,86	181,25	139,54	234,68	139,03	240,98
40	60	120,75	176,69	136,03	228,78	135,54	234,92
50	50	121,50	177,79	136,87	230,20	136,38	236,37
60	40	126,29	184,80	142,27	239,27	141,75	245,69
70	30	133,77	195,75	150,70	253,45	150,15	260,25
Cena drewna okrągłego w zł/ m³ we wrześniu 2012 na podstawie cen II półrocza							
Udział części		SO				SW	
		S2B		W_STANDARD			
UE- 27	Polska	pld	sed	pld	sed	pld	sed
30	70	117,25	150,47	147,21	183,90	170,84	212,61
40	60	121,98	156,54	153,14	191,31	177,73	221,18
50	50	131,81	169,15	165,48	206,73	192,05	239,00
60	40	145,82	187,13	183,07	228,71	212,47	264,41
70	30	160,82	206,39	201,91	252,24	234,33	291,61
		150		186		215	

Źródło: opracowanie własne na podstawie Informacji o sytuacji gospodarczej kraju GUS: 24.10.2011; 26.01.2012; 24.04.2012; 25.07.2012; 22.10.2012, 3-miesięczny średni kurs euro – obliczenia własne na koniec października, stycznia, kwietnia, lipca

 wielkość maksymalna

 wielkość minimalna

Jeżeli za podstawę określania cen w przyszłości służą ceny z I półrocza 2012 r., najniższe ceny są dla udziału wskaźników częstkowych: UE-27 = 40% i Polska = 60%, najwyższe dla proporcji 70% UE-27 i 30% Polska (tabela 4).

Podczas gdy podstawą przyszłych cen mają być ceny z II półrocza 2012 r., najniższe są ceny zawierające udział wskaźników częstkowych: UE-27 = 30% i Polska = 70%, najwyższe, podobnie jak w przypadku, gdy podstawę stanowią ceny z I półrocza 2012, dla proporcji 70% UE-27 i 30% Polska (tabela 4).

Tabela 5. Porównanie makroekonomicznych wskaźników zmiany ceny drewna i cen z uwzględnieniem produkcji w budownictwie i bez uwzględniania (wskaźnik = 100%)

Relacja makroekonomicznych wskaźników zmian ceny drewna okrągłego							
Udział części		1	2	3	4	5	
		Q4-11	Q1-12	Q2-12	Q3-12	Q4-12	
UE- 27	Polska	10.2011	01.2012	04.2012	07.2012	10.2012	
30	70	111,15	117,08	110,97	106,14	85,05	
40	60	110,62	116,22	107,93	103,74	83,66	
50	50	109,20	113,96	103,54	100,58	83,54	
60	40	107,15	110,75	98,71	97,42	84,81	
70	30	104,98	107,39	94,58	94,98	86,96	
Relacja cen drewna okrągłego w % na podstawie cen I półrocza 2012							
Udział części		SO				SW	
		S2B		W_STANDARD			
UE- 27	Polska	pld	sed	pld	sed	pld	sed
30	70	76,52	76,52	76,52	76,52	76,52	76,52
40	60	75,63	75,63	75,63	75,63	75,63	75,63
50	50	76,51	76,51	76,51	76,51	76,51	76,51
60	40	79,16	79,16	79,16	79,16	79,16	79,16
70	30	82,84	82,84	82,84	82,84	82,84	82,84
Relacja cen drewna okrągłego w % na podstawie cen II półrocza 2012							
Udział części		SO				SW	
		S2B		W_STANDARD			
UE- 27	Polska	pld	sed	pld	sed	pld	sed
30	70	76,64	76,64	76,64	76,64	76,64	71,43
40	60	77,51	77,51	77,51	77,51	77,51	72,24
50	50	80,69	80,69	80,69	80,69	80,69	75,20
60	40	85,93	85,93	85,93	85,93	85,93	80,08
70	30	91,95	91,95	91,95	91,95	91,95	85,69
		81		81		78	

Dla celów przewidywania cen w IV kwartale 2012 roku proponuję wybrać wariant zawierający produkcję w budownictwie (tabela 4), których podstawą są ceny drewna okrągłego z II półrocza 2012 r. i dla udziałów wskaźników częściowych UE-27 = 50% i Polska = 50%. Wszystkie wielkości zapisane są w tabeli 4. Wynoszą one:

- ❑ SO S2B pld = 132 zł/m³;
- ❑ SO S2B sed = 169 zł/m³;
- ❑ SO W_STANDARD pld = 165 zł/m³;
- ❑ SO W_STANDARD sed = 207 zł/m³;
- ❑ ŚW W_STANDARD pld = 192 zł/m³;
- ❑ ŚW W_STANDARD sed = 239 zł/m³.

Ceny te są o około 20% niższe, niż w przypadku, gdy nie uwzględnia się produkcji w budownictwie jako składnika wskaźników częściowych (tabela 5).

Na tej podstawie jako wywoławcze do zakupów na I półrocze 2013 r. proponuję zastosować ceny z II półrocza 2012 – jako średnie z portalu leśno-drzewnego oraz e-drewna systemowego, czyli (tabela 4):

- ❑ SO S2B = 150 zł/m³;
- ❑ SO W_STANDARD = 186 zł/m³;
- ❑ ŚW W_STANDARD = 215 zł/m³.

Proporcja UE-27 = 50% i Polska = 50% pozwoli zachować największą stabilność warunków współpracy leśnictwa i przemysłu drzewnego. Odpowiada też, w moim odczuciu, aktualnie przewidywalnym warunkom działania sektora leśno-drzewnego w najbliższym półroczu.

10. Zakończenie

Gospodarka polska coraz intensywniej wchodzi w fazę recesji. Przewiduje się, że rok 2013 będzie dla polskiego rozwoju gospodarczego bardzo słaby. Z całą pewnością Polska nie będzie już „zieloną wyspą” na mapie Europy, obrazującej wzrost PKB. Większy zdecydowanie wzrost PKB będą miały kraje bałtyckie, Słowacja i Bułgaria.

Podczas poprzedniej recesji lat 2008–2009 o naszym względnie dobrym rozwoju gospodarczym decydowały inwestycje, finansowane w bardzo dużym stopniu z funduszy Unii Europejskiej. Pobudziły one też rynek wewnętrzny, który stał się drugim źródłem intensyfikacji gospodarki.

Środki na inwestycje z unijnego budżetu na lata 2007–2013 już się kończą. Najbardziej odczuło to dotychczas budownictwo. Nastąpiło stopniowe, jednak nasilające się osłabienie popytu wewnętrznego, spowodowane niedobrymi, coraz gorszymi nastrojami konsumentów, oraz negatywnymi perspektywami rynku pracy – rosnącym systematycznie bezrobociem. W ślad za całą gospodarką podąża też przemysł, w tym przemysł drzewny. Od połowy 2012 roku sytuacja pogarsza się. Spada rentowność, maleją zamówienia.

Przekłada się to stopniowo najpierw na dostępność, a później na cenę drewna. Pierwszym objawem jest to, że branża mniej mówi już o dostępności drewna okrągłego, a bardziej o jego cenie.

Są już pierwsze objawy spadku cen. Opublikowana przez Prezesa GUS w Monitorze Polskim z dn. 24.10.2012 r. średnia cena sprzedaży 1 m³ drewna okrągłego po raz pierwszy od 2009 r. zmniejszyła się. Niewiele jeszcze, bo tylko o 0,14%, ale potwierdza to tendencję obserwowaną na rynku. Również wskaźniki makroekonomiczne, służące do określania tendencji na rynku drewna okrągłego, wykazują sukcesywny spadek.

Ceny drewna okrągłego kształtowane są obecnie wciąż jeszcze przez energetykę, jej zapotrzebowanie i dotowane spalanie biomasy. W tym zakresie zmiany polskich przepisów mogą nieracjonalne spalanie biomasy, nie tylko pochodzącej z drewna, znacząco ograniczyć. Niezbędne są ponadto w tym zakresie działania na szczeblu unijnym.

Literatura

- Czopek P., 2012. Usytuowanie i regulacje prawne dotyczące biomasy leśnej. Ministerstwo Gospodarki, Departament Energii Odnawialnej, 24.10.2012 r.
- Lis W., 2011. Wood and biomass used for energy purposes. „Intercathedra”, Quarterly Scientific Bulletin of Plant – Economic Departments of the European Wood Technology University Studies. No 27/3: 39–43.
- Lis W., 2011. Czy drewno powinno być źródłem energii odnawialnej? Przemysł Drzewny, 12: 7–23.
- Lis W., 2011. Biomass as an energy source. „Intercathedra”, Quarterly Scientific Bulletin of Plant – Economic Departments of the European Wood Technology University Studies. No 27/3: 19–22.
- Lis W., 2012. Kryzys gospodarczy oraz sytuacja ekonomiczna polskiego sektora leśno-drewnego w 2012 roku. Przyrodnicze i gospodarcze aspekty produkcji oraz wykorzystania drewna – stan obecny i prognozy. Zimowa Szkoła Leśna przy Instytucie Badawczym Leśnictwa – IV sesja. Sękocin Stary 20–22 marca 2012, s. 273 – 297.
- Lis W., 2012. Zaopatrzenie przemysłu w drewno na tle sytuacji gospodarczej w Polsce i Europie. Rynek Drzewny, Biuletyn Polskiej Izby Gospodarczej Przemysłu Drzewnego, wydanie internetowe, dostęp z dn. 7 lutego 2012 r.
- Łangalis M. 2012. Ranking najbardziej dynamicznie rozwijających się gospodarek na świecie. Fundacja Instytut Globalizacji, Gliwice.
- Materiały Konferencji: Forum biomasy – produkcja, kontraktowanie, logistyka. Ministerstwo Gospodarki. Bełchatów, 27–28.10.2011 r., Ostrołęka 22–23.03.2012 r.
- Projekt Rozporządzenia Ministra Gospodarki w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii. Ministerstwo Gospodarki, Departament Energetyki, 2012.
- Schumpeter J., 2009. Kapitalizm, socjalizm, demokracja. Wydawnictwo PWN, Warszawa.

Tadeusz Moskalik

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie



Techniczne, technologiczne i organizacyjne uwarunkowania pozyskania i transportu drewna energetycznego

1. Wstęp

W celu przeciwdziałania obserwowanym zmianom klimatycznym podejmowane są na świecie różnego rodzaju działania. Jednym z nich jest promowanie odnawialnych źródeł energii (OZE). Cele wyznaczone w ostatnim czasie przez Komisję Europejską dotyczą wzrostu udziału energii pochodzącej z OZE średnio do 20% w roku 2020. Polska jako kraj członkowski UE zobowiązana jest do zwiększenia tego udziału do 15%.

Promowanie wykorzystania OZE pozwala na zwiększenie stopnia dywersyfikacji źródeł dostaw oraz stworzenie warunków do rozwoju energetyki rozproszonej, opartej na lokalnie dostępnych surowcach. Biorąc pod uwagę warunki klimatyczne oraz geograficzne Polski uważa się, że jedno z podstawowych źródeł energii może stanowić biomasa, także ta pochodząca z lasów.

Praca niniejsza dotyczy techniczno-technologicznych aspektów pozyskiwania biomasy leśnej do celów energetycznych.

2. Wielkość pozyskania drewna energetycznego z polskich lasów

W Polsce źródłem biomasy leśnej mogącej znaleźć zastosowanie do celów energetycznych jest:

- ☐ drewno średniowymiarowe opałowe – S4;
- ☐ drewno średniowymiarowe – S2ac;
- ☐ drewno małowymiarowe – M1;
- ☐ drewno małowymiarowe – M2;
- ☐ pozostałości zrębowe, karpina.

Ponadto do celów tych przeznaczane jest drewno odpadowe z przemysłu drzewnego, z sadów, pochodzące z upraw gatunków energetycznych oraz recyklingu.

Aktualnie w naszym kraju biomasa leśna (przede wszystkim sotrymenty S4 i M2) jest spalana głównie w gospodarstwach indywidualnych. Czasami na surowcu w postaci zrębków, uzyskiwanych z surowca S3 i M1, bazują lokalne ciepłownie. Coraz częściej jednak chętne do odbioru biomasy są duże ciepłownie czy elektrociepłownie. Zakłady takie zainteresowane są nie tylko drewnem, ale także pozostałościami zrębowymi.

W tabeli 1 przedstawiono wielkość pozyskania poszczególnych sortymentów drzewnych, przeznaczonych do produkcji energii, w zależności od formy własności leśnej. Zdecydowanie najwięcej takiego drewna pochodzi z Lasów Państwowych.

Tabela 1. Pozyskanie drewna opałowego w Polsce w zależności od formy własności leśnej (w tys. m³)

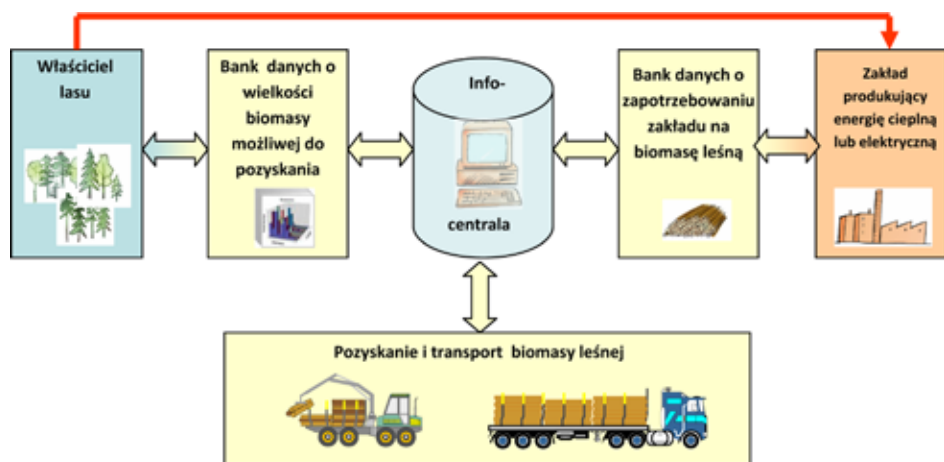
Forma własności lasów	Drewno średniowymiarowe S2AC	Drewno iglaste średniowymiarowe opałowe (S4)	Drewno liściaste średniowymiarowe opałowe (S4)	Drewno małowymiarowe opałowe (M2)
Lasy Państwowe	1295	1348	1474	1770
Parki narodowe		28	11	2
Lasy gminne		16	12	brak danych
Lasy prywatne		164	113	brak danych
Razem		1555	1610	1772

Źródło: GUS 2012

3. Logistyczne uwarunkowania dostaw biomasy leśnej do celów energetycznych

Dostarczenie biomasy leśnej do odbiorcy końcowego, tzw. „łańcuch dostaw”, wymaga podjęcia szeregu następujących po sobie operacji technologicznych, transportowych i czynności związanych z jej pozyskaniem, zrywką i wywozem. Operacje te mogą być wykonywane bezpośrednio w lesie, na specjalnie przygotowanych terminalach zbiorczych, lub też w zakładzie produkującym energię.

Istotnym elementem działań logistycznych jest również przepływ informacji. W ostatnich latach, dzięki intensywnemu rozwojowi komputeryzacji oraz wykorzystaniu nowoczesnych technik systemów informacji przestrzennej, GIS-u czy GPS-u, możliwa stała się optymalizacja tras przejazdu środków technicznych pomiędzy poszczególnymi elementami całego systemu. Prawidłowe jego funkcjonowanie wymaga jednak odpowiednich, dynamicznych informacji, dostarczanych przez wszystkie ogniwa, rozpoczynając od właściciela lasu, a kończąc na odbiorcy finalnym (ryc. 1).



Rycina 1. Zakres danych niezbędnych do podjęcia działań logistycznych

Źródło: Dürrstein 2000 z modyfikacjami

Rozwiązania bazujące na wymienionych elementach są już powszechnie wykorzystywane między innymi w krajach skandynawskich, gdzie w kabinach harwesterów, forwaderów i samochodów wywozowych montowane są dodatkowe monitory z mapą numeryczną, umożliwiającą operatorowi lokalizację powierzchni w terenie, położenie składnic oraz wybór szlaków transportowych.

Szczegółowe rozwiązania technologiczne muszą uwzględniać istniejące warunki drzewostanowe, terenowe, dostępność środków technicznych, rodzaj pozyskiwanego materiału oraz infrastrukturę odbiorców, wymuszającą odpowiednią rytmiczność dostaw.

Ekonomicznie efektywne pozyskanie biomasy leśnej do celów energetycznych możliwe jest w trakcie wykonywania cięć pielęgnacyjnych, począwszy od czyszczeń późnych. W pierwszych fazach rozwojowych drzewostanów, gdzie pozyskiwany jest surowiec M1, a ścinka i wyróbka drewna odbywa się często „samowyroblem” przez ludność lokalną. W większości technologii wykorzystuje się siekiery lub pilarki spalinowe, a zrywka oraz wywóz wykonywane są głównie ciągnikami rolniczymi. Taki sposób pozyskania występuje także w drzewostanach starszych klas wieku, kiedy pojawia się możliwość wyróbki surowca M2.

W krajach skandynawskich materiał z pierwszych cięć pielęgnacyjnych często przeznaczany jest do celów energetycznych w całości, łącznie z aparatem asymilacyjnym. Pozyskiwanie w takich przypadkach odbywa się w sposób w pełni zmechanizowany. Przy jego ścinie stosowane są wielofunkcyjne głowice pakietujące montowane na żurawiu ciągnika rolniczego lub małego harwestera. Zrywka wykonywana jest nasiębiernie do składnicy zlokalizowanej przy drodze wywozowej. Tam też następuje najczęściej zrębkowanie surowca. Czasami głowica taka montowana jest bezpośrednio na żurawiu

forwardera, mogącego poruszać się po szlakach operacyjnych. Wtedy bezpośrednio po ścięciu określonej partii drzew następuje ich załadunek. Gdy drzewa są zbyt długie istnieje możliwość ich przecięcia z wykorzystaniem tej samej głowicy (ryc. 2).



**Rycina 2. Głowica pakietująca
MOIPU 230 zamontowana na
żurawiu forwardera**

Źródło: Toumas.
<http://www.moisioforest.com>

Zastosowanie głowic pakietujących umożliwia podniesienie wydajności pracy od 10 do 40% w porównaniu do ścinki i obalania pojedynczych drzew.

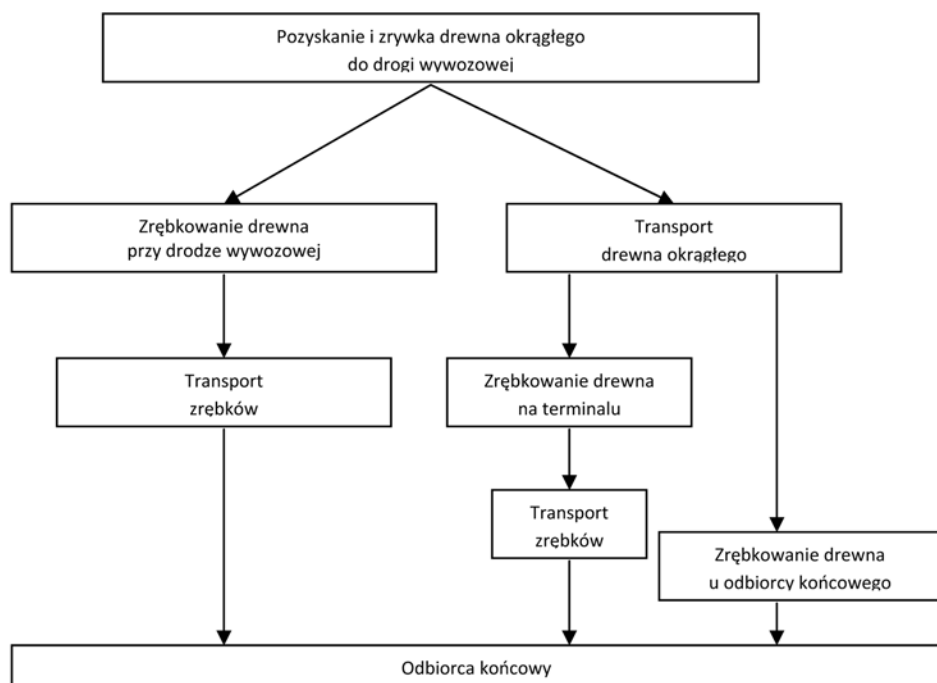
Badania skandynawskie wskazują, że przy przeznaczaniu całych drzew do celów energetycznych miąższość drzew nie powinna być większa niż 0,035–0,040 m³. Przy większych miąższościach, od 0,06–0,07 m³, najlepszym rozwiązaniem jest pozyskanie drewna przeznaczonego dla przemysłu (tarcznego, celulozowo-papierniczego, płytowego) i przeznaczanie części odzubowych na cele energetyczne. Rozgraniczenie to nastąpić powinno przy średnicach 7–9 cm (Parikka 2004).

Zainteresowanie w ostatnim okresie biomasą leśną w Polsce ze strony średniej i dużej energetyki spowodowało rozwój technik i technologii umożliwiających jej pozyskanie, obróbkę, kolekcjonowanie oraz transport. Dobór konkretnych technologii i użytych w nich maszyn, dostosowanych do zróżnicowanych warunków drzewostanowych, zależy od poziomu integracji z obecnie stosowanymi metodami pozyskiwania drewna.

Pozyskiwanie energetycznego drewna okrągłego średniowymiarowego ze wszystkich klas wiekowych drzewostanów, przeznaczonego zarówno dla

odbiorców indywidualnych, jak i zakładów ciepłowniczych lub energetycznych, nie stanowi z reguły osobno realizowanych procesów. Odbywa się przy okazji prowadzenia prac gospodarczych, mających z jednej strony za zadanie realizację określonych celów hodowlanych, z drugiej zaś pozyskanie drewna przeznaczonego dla przemysłu oraz do produkcji energii. Jeśli są to działania skoordynowane, mogą one przynieść branży leśnej określone korzyści ekonomiczne.

Miejsce wyrobu takiego surowca zależy od przyjętej metody pozyskiwania. W przypadku metody drewna krótkiego i metody dłużycowej sortymenty takie (S2AC, S4) powstają bezpośrednio na powierzchni cięć, natomiast w metodzie całej strzały – po zrywce, przy drodze wywozowej (Jodłowski 2004).



Rycina 3. Możliwości produkcji zrębków z drewna okrągłego

Średniowymiarowe drewno opałowe kupowane przez odbiorców indywidualnych spalane jest w piecach przydomowych lub kominkach w postaci kawałków. Podział na krótsze odcinki wykonywany jest pilarkami spaliniowymi lub piłami tarczowymi. Duże zakłady odbierające taki surowiec dokonują najczęściej jego zrębkowania (ryc. 3). Operacja ta wykonywana jest na składnicy przydrożnej, na terminalu zbiorczym lub u odbiorcy końcowego. Zrębkowanie przy drodze wywozowej jest poprzedzone dostarczeniem materiału do składnicy przydrożnej. Odbywa się to najczęściej w sposób nasiębierny. Zrębkowanie drewna wykonywane jest z wykorzystaniem maszyn

przewoźnych zwanych rębakami. Częściej stosowanym rozwiązaniem są w tym przypadku rębaki bębnowe. Istnieje wiele ich rozwiązań technicznych. W praktyce możemy spotkać maszyny doczepiane do ciągnika, zamontowane na własnym podwoziu przyczepy i półprzyczepy, montowane na podwoziu forwarderów lub samochodów wysokotonażowych. W porównaniu z rębakami tarczowymi są one mniej wrażliwe na różnego rodzaju zanieczyszczenia, a produkowany materiał jest bardziej jednorodny.

Na terminalach i na składnicach odbiorcy finalnego montowane są najczęściej rębaki stacjonarne. Na ryc. 4 przedstawiono pryzmę zrębków, wyprodukowanych rębakiem stacjonarnym na terminalu zbiorczym, na potrzeby elektrociepłowni w Simmering pod Wiedniem.



Rycina 4. Pryzma zrębków powstałych na terminalu zbiorczym przeznaczonych do spalania w elektrociepłowni

W trzebieżach późnych oraz w drzewostanach rębnych podczas realizacji prac pozyskaniowych powstają pozostałości pozrębowe. Są to najczęściej gałęzie, z aparatem asymilacyjnym lub bez niego, o średnicy w korze poniżej 7 cm w grubszym końcu. W warunkach polskich w większości przypadków okoliczna ludność wyrabia tzw. gałęziówkę, a więc surowiec M2. Jest to rozwiązanie korzystne z ekologicznego punktu widzenia. Drobne gałązki wraz z igliwem bądź listowiem pozostają bezpośrednio na powierzchni cięć, zasilając glebę w składniki odżywcze.

W przypadku utylizacji pozostałości pozrębowych coraz częściej jednak możemy spotkać rozwiązania bardziej wyrafinowane. Wyprodukowany w postaci rozdrobnionej surowiec wykorzystywany jest w ciepłowniach lub elektrociepłowniach (ryc. 5).



Rycina 5. Zintegrowane pozyskanie drewna okrągłego i zrębków energetycznych z pozostałości pozrębowych

Jedną z pierwszych czynności po zakończonych pracach pozyskania drewna okrągłego jest konieczność akumulacji pozostałości. Czasami ta czynność jest pomijana, ale należy zauważyć, że efektywność wykonywanych później operacji będzie niższa. W drzewostanach trzebieżowych oraz w drzewostanach rębnych zagospodarowanych rębniami złożonymi zgromadzenie materiału odbywa się poprzez ułożenie go przy szlakach operacyjnych. Na zrębach zupełnych akumulacji dokonuje się najczęściej poprzez zgarnięcie pozostałości pozrębowych w wały lub ułożenie ich w stosy. Stosy mogą znajdować się bezpośrednio na powierzchni lub mogą być zlokalizowane przy drodze wywozowej. Zrywka pozostałości do drogi odbywa się z wykorzystaniem środków nasiębiernych. Wykorzystywane są tutaj przyczepy samozaładowcze agregatowane z ciągnikami rolniczymi lub forwardery.

Luźne pozostałości pozrębowe charakteryzują się małą gęstością. Ich zrywka oraz wywóz na dalsze odległości są w takim stanie nieefektywne. Stąd też pojawiła się potrzeba stosowania forwarderów „BIO” z zaciskany-
mi hydraulicznie burtami, umożliwiającymi kompaktowanie surowca i jego zrywkę do drogi wywozowej. Innym rozwiązaniem jest pakietowanie materiału w postaci tzw. balotów (ryc. 6).



Rycina 6. Produkcja balotów na zrębie zupełnym

Balotowanie pozostałości pozrębowych jest szczególnie popularne w krajach skandynawskich. W Polsce znajduje się 6 takich maszyn. Jedną z głównych zalet tego rozwiązania jest możliwość zastosowania tych samych środków technicznych, które służą do transportu drewna okrągłego. Ponadto tak przygotowany materiał może być składowany w różnych miejscach w sposób stosunkowo wygodny, zajmując zdecydowanie mniej miejsca w porównaniu do materiału luźnego. Rozdrobnienie surowca następuje najczęściej na terminalu lub bezpośrednio w zakładzie ciepłowniczym.

Pozostałości pozrębowe można również rozdrabniać. Wykonuje się to poprzez zrębkowanie lub kruszenie. Zrębkowanie, podobnie jak w przypadku drewna okrągłego, może mieć miejsce bezpośrednio na powierzchni zrębowej, przy drodze wywozowej lub poza lasem. Zrębkowanie na powierzchni cięć związane jest z poruszaniem się maszyny po określonych szlakach technologicznych. Jest ona wyposażona w zasobnik umożliwiający zgromadzenie rozdrobnionego materiału. Po jego napełnieniu następuje zrywka do drogi wywozowej, gdzie następuje najczęściej zrzut do większego kontenera (ryc. 7), w którym zrębki będą przewożone do odbiorcy.

Częstym rozwiązaniem jest także wykonywanie tej operacji przy drodze wywozowej. Po zgromadzeniu odpowiedniej partii surowca następuje jego rozdrobnienie wraz z bezpośrednim załadunkiem do wolnostojącego konte-



Rycina 7. Zrzut zrębków do kontenera przy drodze wywozowej

nera lub przyczepy samochodowej. W tej technologii do zrębkowania można wykorzystać zarówno małe rębaki zawieszane na ciągnikach rolniczych, rębarki z własnym napędem, jak i duże rębaki montowane na podwoziach samochodowych (Jodłowski 2004). Zrębkowanie pozostałości pozrębowych poza lasem dotyczy przede wszystkim surowca wcześniej skompresowanego.

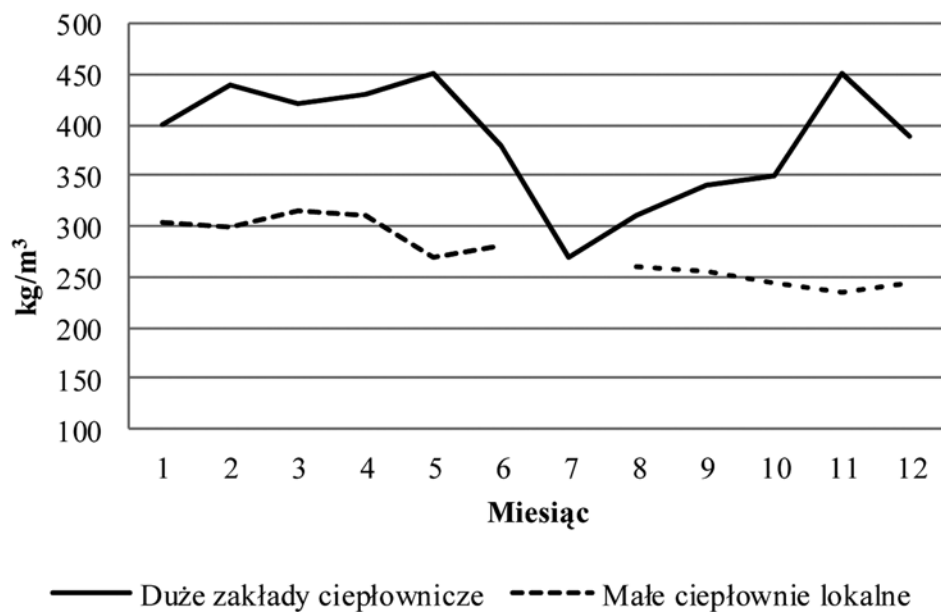
W niektórych przypadkach, szczególnie tam, gdzie surowiec jest zanieczyszczony częściami mineralnymi, stosowane jest jego rozdrabnianie za pomocą kruszarek (ryc. 8). Uzyskany materiał jest jednak mniej jednorodny. Ten sposób rozdrabniania stosowany jest także w stosunku do karpiny. Jednak w Polsce ilości karpiny, dostarczane dla przemysłu energetycznego są znikome. W Finlandii na przykład karpina stanowi około 10% materiału drzewnego, który przeznaczany jest do produkcji energii.

Z punktu widzenia organizacji prac ważnym elementem jest także składowanie biomasy leśnej. Pod uwagę muszą zostać wzięte następujące parametry: umiejscowienie składnic, rodzaj składowanego materiału oraz czas składowania. Czynniki te decydują nie tylko o wielkości składnicy, jej organizacji, ale także o niezbędnej infrastrukturze technicznej.

Składowanie biomasy umożliwia uzyskanie lepszych jej parametrów. Odbywa się to przede wszystkim poprzez jej suszenie. W ten sposób możliwe jest uzyskanie wyższych wartości opałowych.



Rycina 8. Kruszenie pozostałości pozrębowych



Rycina 9. Sezonowa zawartość wody w zrębkach leśnych

Źródło: Alakangas i in. 1999

Na rycinie 9 przedstawiono zawartość wody w składowanych zrębkach drzewnych w zależności od pory roku. W miesiącach letnich następuje przesuszenie materiału, umożliwiające osiągnięcie lepszych efektów energetycznych przy jego spalaniu.

Biomasę leśną można także przykrywać. Zapobiega to podniesieniu wilgotności biomasy i rozkładowi mikrobiologicznemu. W tym celu wykorzystuje się odpowiednio impregnowany papier, który zostaje również rozdrobniony przez maszyny razem z materiałem podstawowym (ryc. 10).

Do strategicznych decyzji podejmowanych przez osoby zajmujące się zagadnieniami logistycznymi należy wybór gałęzi transportu biomasy. Decydujący wpływ na charakter konkretnych potrzeb przewozowych wywierają następujące czynniki:

- ☐ podatność transportowa ładunków (postać biomasy: rozdrobniona, nierozdrobniona, jej gęstość i wilgotność),
- ☐ odległość dzieląca punkty wysyłki i przeznaczenia przemieszczanych ładunków.

Zauważyć należy, że wywóz biomasy leśnej związany jest często z transportem ładunku wykonywanym tylko w jedną stronę, co znacznie wpływa na efektywność jego wykonywania.



Rycina 10. Pozostałości pozrębowe pod przykryciem z impregnowanego papieru

4. Podsumowanie

Zauważalne w ostatnim okresie, zwiększone zapotrzebowanie na biomasę leśną przeznaczaną do celów energetycznych przyczynia się do rozwoju nowych, bardziej efektywnych rozwiązań technologicznych. Względnie niska wartość surowca w stosunku do jego objętości sprawia, że ten rodzaj surowca powinien być traktowany jako lokalne źródło energii odnawialnej, którego dostawy powinny być jednym z ważnych elementów zrównoważonego rozwoju miejscowych społeczności. Coraz częściej jednak dochodzi do konfliktu interesów pomiędzy małymi i dużymi odbiorcami surowca energetycznego.

Produkcja biomasy leśnej dla energetyki musi być wpisana w cały system gospodarowania zasobami leśnymi. Przyczyni się to zagwarantowania, że siedliska leśne nie będą zubożane poprzez ich nadmierną eksploatację.

Szeroka gama możliwości techniczno-technologicznych pozyskiwania, przetwarzania i transportu drewna energetycznego umożliwia jego efektywne wykorzystanie. Pod uwagę należy jednak wziąć cały proces logistyczny.

Literatura

- Alakangas E., Sauranen T., Vesisenaho T. 1999. Production Techniques of Logging Residue Chips in Finland: Training Manual. VTT Energy, Jyväskylä.
- Dürstein H. 2000. Logistyk in der Forstwirtschaft – Notwendigkeit und Ansatzpunkte. 34. Internationales Symposium Mechanisierung der Waldarbeit. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Eberhardinger A. 2007. Auswertung der Ergebnisse der Hackerdatenbank der LWF Bayern. Die Bereitstellung von Waldhackschnitzeln für Heiz(-kraft)werke in Bayern. 360° Legno – Le Radici di un Nuovo Futuro, 30.6.2007, Prato Cornico (ITA).
- GUS 2012. Leśnictwo 2012. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
- Hakkila P. 2004. Developing technology for large-scale production of forest chips. Wood Energy Technology Programme 1999–2003. Final report. Technology programme report 6/2004. 98 p.
- Jodłowski K. 2004. Technologia i technika pozyskiwania drewna na cele energetyczne. Postępy Techniki Leśnej, 87: 17–24.
- Parikka M. 2004. Energy Analysis of Wood Fuel Production. ECHANE, ENK5-CT2002-00623, Deliverable.



Ocena efektywności pozyskiwania pakietów z powierzchni pozrębowej przy zastosowaniu ciągnika rolniczego z przyczepą samozaładowczą

1. Wstęp

W Polsce pozostałości zrębowe w coraz większym stopniu wykorzystywane są jako odnawialny surowiec dla energetyki przemysłowej. Dotychczas dominowało lokalne wykorzystanie tego rodzaju surowca drzewnego, z tego powodu stosowano ręczny zbiór gałęzi i wierzchołków, a po zgrubnej obróbce, zrywkę oraz transport ciągnikami z przyczepami o nieco powiększonej objętości skrzyni ładunkowej. Efektywność tej metody jest mała, jednak przy niskiej cenie surowca i uwzględnieniu tego, że kupujący dysponują dużą ilością wolnego czasu bywa ona nadal opłacalna (Gendek i Zychowicz 2006).

Zakup pozostałości zrębowych przez przedsiębiorstwa energetyczne zmusił pozyskujących do zwiększenia wydajności i efektywności procesu. Obecnie, najczęściej po ręcznym zbiorze lub zgrabianiu, pozostałości są gromadzone w pobliżu dróg wywozowych, a następnie zrębkowane za pomocą rębarek agregatowanych z ciągnikami rolniczymi. W ostatnich latach prowadzą działalność także duże firmy pozyskujące i kupujące pozostałości zrębowe na rzecz przedsiębiorstw energetyki zawodowej. Stosują one całkowicie zmechanizowane technologie, w których gałęzie i wierzchołki są zbierane i obrabiane przez pakieciarki lub rębarki z zasobnikami, a następnie transportowane forwarderami lub ciągnikami rolniczymi agregatowanymi z odpowiednimi przyczepami – samozaładowczymi kłonicowymi, objętościowymi lub do przewozu kontenerów z zaczepem hakowym.

2. Materiał badawczy i metody

W naszym opracowaniu przedstawiamy wyniki badań efektywności zrywki pakietów za pomocą ciągnika rolniczego Zetor Forterra 115, zagregowanego z samozaładowczą przyczepą kłonicową FaoFar 1142 (ryc. 1).



Rycina 1. Przyczepa zrywkowa FaoFar 1142

Pozostałości zrębowe były pakietowane przy pomocy pakieciarki Timberjack 1410D. Podstawowe dane techniczne badanego zestawu zrywkowego są zamieszczone w tabeli 1.

Tabela 1. Dane techniczne ciągnika Zetor Forterra 115 i przyczepy FaoFar 1142

moc ciągnika (kW)	81
prędkość maksymalna (km/h)	40
masa ciągnika (kg)	4309 – 4562
prześwit ciągnika (cm)	32 – 48
szerokość ciągnika (cm)	193 – 243
ładowność przyczepy (kg)	11 000
masa przyczepy z żurawiem (Nokka 4970) (kg)	3060
długość skrzyni ładunkowej (cm)	404 + 86
powierzchnia przekroju pionowego skrzyni (m ²)	2,9
szerokość przyczepy (cm)	233 – 243
prześwit przyczepy (mm)	58 – 65

Podstawowe parametry charakteryzujące proces zrywki oraz warunki jej realizacji zamieszczone są w tabeli 2. Odległość zrywki, która zawierała

się w zakresie od 100 do 140 metrów, odpowiada typowym wielkościom powierzchni zrębowych spotykanych w Polsce. Zrywkę prowadzono na powierzchni po zrębie zupełnym, w terenie równinnym, bez większych przeszkód terenowych. Parametry transportowanych pakietów również nie odbiegają od wielkości typowych, jakie są wybierane w Polsce dla tego typu maszyn pakietujących. Zwraca uwagę bardzo dobre wykorzystanie ładowności przyczepy zrywkowej.

Tabela 2. Podstawowe parametry charakteryzujące proces zrywki

odległość zrywki (m)	100 – 140
liczba jednorazowo zrywanych pakietów	27 (od 23 do 33)
miąższość zrywanego ładunku (m ³)	11,0 (od 9,3 do 13,4)
długość pakietów (m)	3
średnica pakietów (m)	0,6
odległość dojazdu (km)	17
prędkość jazdy po drodze (km/h)	23

Praca zestawu zrywkowego była rejestrowana za pomocą kamery cyfrowej. Następnie przy użyciu programu komputerowego do obróbki obrazu był sporządzony szczegółowy chronometraż. Czas trwania wyróżnionych czynności rejestrowano z dokładnością do jednej dziesiątej sekundy. Wykaz wyróżnionych faz cyklu roboczego wraz z przeciętnymi czasami ich trwania zamieszczony jest w tabeli 3.

3. Wyniki badań

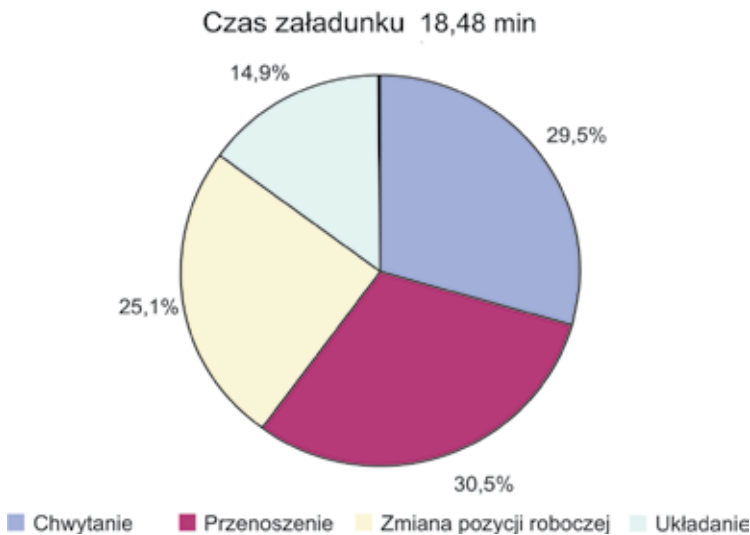
Czas trwania cyklu roboczego pozwala na określenie wydajności operacyjnej. Znajomość struktury cyklu pozwala na wskazanie sposobów poprawy technologii pracy i tym samym ewentualne zwiększenie wydajności operacyjnej. Strukturę cyklu roboczego badanego zestawu zrywkowego, wyrażoną czasem trwania wyróżnionych faz składowych oraz ich udziałem w całkowitym czasie trwania cyklu, przedstawia tabela 3. Przeciętny czas trwania cyklu roboczego wyniósł 47,7 minuty. Zakres zmienności czasu trwania cyklu zawiera się pomiędzy 21,3 a 58,8 minuty. Jest to duży zakres zmienności, jednak taki rozrzut parametrów eksploatacyjnych jest często spotykany przy realizacji prac leśnych, przede wszystkim ze względu na dużą zmienność warunków przyrodniczych i terenowych. Załadunek i rozładunek przyczepy mają największy udział w czasie trwania cyklu roboczego – wynosi on 59,9%, a w przypadku dodania przejazdów z częścią ładunku (odbywających się przemiennie z załadunkiem kolejnych partii pakietów) udział czynności ładunkowych sięga 71,6%. Taka struktura cyklu roboczego spowodowana

jest krótkimi czasami jazdy, które wynikają z niewielkiej odległości zrywki (110–140 metrów).

Tabela 3. Struktura cyklu roboczego zestawu zrywkowego

Składowe cyklu	Oznaczenie	Czas trwania [min]	Udział [%]
jazda bez ładunku	t_1	3,89	8,2
załadunek	t_2	18,48	38,7
jazda z częścią ładunku	t_3	5,60	11,7
jazda z pełnym ładunkiem	t_4	5,78	12,1
rozładunek	t_5	10,10	21,2
przerwy technologiczne	t_6	3,85	8,1
Suma		47,70	100,0

Niektóre z faz składowych cyklu roboczego zawierają w sobie różne stany pracy zestawu zrywkowego. W czasie jazdy bez ładunku, którego czas trwania wynosi 3,89 minuty, oprócz właściwej jazdy doliczone zostały nawrót (0,3 min) oraz zmiana pozycji roboczej (0,22 min). Najbardziej złożona jest struktura czynności załadunku, który oprócz tego, że wykonywany jest naprzemiennie z jazdami z częściowym ładunkiem (wyodrębnionymi niezależnie w strukturze cyklu roboczego), można rozbić na następujące aktywności: chwytanie pakietów, przenoszenie uchwyconych pakietów do przyczepy, układanie pakietów w przyczepie, wielokrotne zmiany pozycji z roboczej na transportową i odwrotnie. Udział wymienionych wyżej faz załadunku w całkowitym czasie jego trwania pokazany jest na rycinie 2.



Rycina 2. Struktura całkowitego czasu załadunku w cyklu roboczym

Analizując strukturę czasu załadunku pakietów do przyczepy samozaładowczej, widać że właściwe czynności załadunku, chwytanie i przenoszenie trwają mniej więcej tyle samo czasu i ich łączny udział wynosi 60%. Udział układania pakietów w przestrzeni ładunkowej, w trakcie którego zdarzało się, że operator wyjmował wcześniej załadowane pakiety w celu uzyskania lepszego upakowania, wynosi 14,9%. Jest to umiarkowana wartość, która w znacznym stopniu zależy od umiejętności operatora i zróżnicowania parametrów pakietów. W przypadku gałęzi sosnowych zróżnicowanie kształtu i średnicy pakietów jest duże. Ostatnią składową czasu załadunku jest czas wielokrotnych zmian położenia roboczego i transportowego przyczepy, jego udział stanowi aż 25,1%. Ta czynność nie występuje w przypadku stosowania forwarderów, wynika ona z rozwiązania konstrukcyjnego – rozkładanych podpór, które jest konieczne dla zachowania stateczności podczas załadunku i rozładunku. Konieczność wielokrotnej zmiany położenia z roboczego na transportowe istotnie zmniejsza wydajność zestawu złożonego z ciągnika rolniczego i przyczepy w porównaniu do forwardera. Udział tej czynności w całym cyklu roboczym wynosi 10,8%.

Podstawowe wskaźniki charakteryzujące efektywność eksploatacji badanego zestawu zrywkowego są zamieszczone w tabeli 4. Wydajność operacyjna (W_{02}), która bezpośrednio wynika z czasu trwania cyklu roboczego i wielkości przewiezionego ładunku, wyniosła przeciętnie 13,9 m³/h. Wydajność eksploatacyjna (W_{07}) wyniosła natomiast 11,4 m³/h. Różnica wynika ze stopnia wykorzystania czasu zmiany roboczej. Współczynnik wykorzystania czasu zmiany roboczej (k_{07}) jest równy 0,82. Taki stopień wykorzystania ogólnego czasu pracy można uznać, w warunkach polskiego leśnictwa, za zadowalający. Skrócenie operacyjnego czasu pracy wynika przede wszystkim z długotrwałych dojazdów do powierzchni roboczej i powrotów do bazy (przeciętnie 1,25 godziny dziennie), spowodowanych dużą odległością powierzchni leśnej od miejsca postoju, wynoszącą około 11 kilometrów.

Tabela 4. Wskaźniki efektywności zrywki pakietów sosnowych ciągnikiem rolniczym z przyczepą samozaładowczą

Wydajność operacyjna, W_{02} (m ³ /h)	13,9
Wydajność eksploatacyjna, W_{07} (m ³ /h)	11,4
Efektywny czas pracy, T_1 (h)	6,88
Łączny czas przerw technologicznych (h)	0,63
Czas dojazdu do powierzchni roboczą i powrotu do bazy (h)	1,25
Czas przerw przysługujących operatorowi (h)	0,42
Współczynnik wykorzystania czasu zmiany roboczej, k_{07}	0,82

Osiągnięte wartości wydajności należy uznać za duże – są one podobne (nieco wyższe) od wydajności podobnego zestawu użytego do zrywki drewna okrągłego (Zychowicz 2004). Należy jednak zaznaczyć, że wydajności

osiągnięte przez zestawy składające się z ciągnika rolniczego i przyczepy samozaładowczej są o 40 do 50% niższe od wydajności notowanych dla średniej wielkości forwarderów (Nurek 2002).

W przypadku zastosowania tego rodzaju zestawów do zrywki pakietów drewna małowymiarowego, uzyskaną wydajność należy uznać za odpowiednią. Jest ona zbliżona do wydajności uzyskiwanych przez samobieżne pakieciarki podczas pakietowania gałęzi sosnowych na powierzchniach porzębowych, która niewiele przekracza $10 \text{ m}^3/\text{h}$ ($10,3 \text{ m}^3/\text{h}$, 18 pakietów na godzinę w badaniach Zychowicz i Sosnowskiej z 2007 r.). Przy takiej relacji, współpraca zestawu zrywkowego tego typu z pakieciarką będzie przebiegać sprawnie, bez większych zakłóceń wynikających z dużej różnicy przeciętnych wydajności współpracujących maszyn. W przypadku pozyskiwania pakietów świerkowych, pakieciarki osiągają wieszę wydajności (sięgające $20 \text{ m}^3/\text{h}$). W takich przypadkach należy rozważyć zastąpienie zestawu zrywkowego złożonego z ciągnika rolniczego i przyczepy samozaładowczej przez forwarder.

W badanym przypadku zestaw zrywkowy był wykorzystywany do zrywki pakietów z gałęzi sosnowych. Znacznie częściej tego rodzaju zestawy stosowane są do zrywki drewna okrągłego, przede wszystkim średniowymiarowego. W tym drugim przypadku stanowią doskonałą alternatywę dla forwarderów ze względu na specyfikę polskiego leśnictwa. Przeciętne polskie leśnictwo charakteryzuje się małą wielkością i znacznym rozproszeniem pojedynczych zadań, wynikającym z przyjętego rodzaju i rozmiaru zrębów. Jednocześnie skromne możliwości inwestycyjne firm zajmujących się pozyskiwaniem drewna powodują, że preferują one zakup tańszych ciągników rolniczych i różnego rodzaju adapterów lub przyczep zrywkowych.

Tabela 5. Koszty eksploatacji wybranych maszyn wykorzystywanych podczas pozyskiwania surowca drzewnego na cele energetyczne

Rodzaj maszyn	Koszt (zł/m ³)
Harwestery	8–20
Pakieciarki	25–50
Rębarki samojezdne	25–48
Forwardery	10–20
Badany zestaw – ciągnik rolniczy z przyczepą samozaładowczą	11

O zastosowaniu tych czy innych maszyn i technologii decydują koszty ich użytkowania. Badany zestaw zrywkowy był stosowany do zrywki pakietów drewna małowymiarowego przeznaczonego do wykorzystania przez energię zawodową. Jednostkowy koszt jego eksploatacji wyniósł $11,0 \text{ zł}/\text{m}^3$. Koszty jednostkowe pracy innych maszyn wykorzystywanych przy pozyskiwaniu drewna są znacznie wyższe, orientacyjne zakresy ich wielkości za-

mieszczone są w tabeli 5 (Nurek, Zychowicz, 2009). Koszty użytkowania zestawu składającego się z ciągnika rolniczego i przyczepy samozaładowczej są znacznie mniejsze niż koszty pracy rębarek samojezdnych i pakieciarek, są zbliżone do kosztów użytkowania forwarderów i harwesterów pracujących w szczególnie sprzyjających warunkach.

4. Podsumowanie

Badania wykazały, że zestaw składający się z ciągnika rolniczego i przyczepy samozaładowczej (wyposażonej w żuraw) jest dobrym, alternatywnym do forwardera, rozwiązaniem do zrywki pakietów drewna małowymiarowego. Podobnie jak w przypadku zrywki drewna okrągłego, zestaw zrywkowy tego typu może rywalizować z forwarderami, gdy zdania pozyskiwania drewna są niezbyt duże i rozproszone oraz realizowane w sprzyjających warunkach terenowych. Dodatkowym atutem zestawu zrywkowego opartego o ciągnik rolniczy jest to, że współczesne ciągniki rolnicze są konstrukcyjnie dostosowane do wykonywania prac transportowych i mogą pokonywać po drogach utwardzonych duże odległości z stosunkowo dużą prędkością. Ta cecha znakomicie ułatwia rozwiązanie problemu dotarcia maszyny do powierzchni roboczej i powrotu do bazy.

Wydajność pracy badanego zestawu zrywkowego jest w znacznym stopniu zmniejszona przez zastosowane rozwiązanie konstrukcyjne, zapewniające zachowanie stateczności podczas załadunku i rozładunku. Wykorzystanie hydraulicznie rozkładanych podpór, powoduje, że w trakcie cyklu roboczego wielokrotnie należy je składać i rozkładać. Czynność ta stanowi około 10% czasu trwania całego cyklu roboczego.

Perspektywy wykorzystania zestawów ciągników rolniczych i przyczep samozaładowczych do zrywki pakietów nie są obiecujące. Metoda pozyskiwania drewna małowymiarowego na cele energetyczne pod postacią pakietów, mimo że w porównaniu do pozyskiwania zrębków pozwala uzyskać surowiec energetyczny o nieco lepszej jakości, jest wyraźnie bardziej kosztowna od wspomnianego pozyskiwania drzewnego surowca energetycznego pod postacią zrębków. Technologia pozyskiwania pakietów nie jest obecnie rozwijana i prawdopodobnie będzie sukcesywnie wypierana przez inne schematy technologiczne.

Literatura

- Gendek A., Zychowicz W., 2006. Pozyskiwanie odpadów zrębowych na cele energetyczne w postaci pakietów. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna*, 11: 19–21.
- Nurek T., Zychowicz W., 2009. Koszty pozyskiwania I zrywki drewna przy użyciu maszyn wielooperacyjnych. *Postępy Techniki w Leśnictwie*, 107: 18–24.

- Nurek T., 2002. Wpływ wielkości ciągnika nasiębiernego na efekty zrywki drewna. Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej, 8: 19–23.
- Zychowicz W., 2004. Analysis of effectiveness of all-purpose tractor utilization in skidding of short wood. Annals of Warsaw Agricultural University, Agriculture (Agricultural Engineering), 45: 29–38.
- Zychowicz W., Sosnowska A., 2007. Efektywność eksploatacji maszyny do pakietowania pozostałości zrębowych Timberjack 1410D. Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna, 4: 8–11.



Analiza efektywności wybranych metod pozyskiwania biomasy leśnej na cele energetyczne na przykładzie Puszczy Augustowskiej

1. Wprowadzenie

Ocieplenie klimatu stało się naukowo potwierdzonym faktem. Wieloletnie badania, prowadzone szczególnie na półkuli północnej, dowodzą gwałtownych zmian temperatury, poziomu mórz i powierzchni pokrywy śnieżnej (IPCC 2007). Za główną przyczynę takiego stanu rzeczy uważa się wzmożoną w ostatnich latach emisję gazów cieplarnianych, a w szczególności dwutlenku węgla (CO_2). Polski sektor energetyczny w znacznym stopniu bazuje na produkcji energii ze źródeł kopalnych. Aż 82% mocy elektrycznej osiągniętej na koniec listopada 2011 r. pochodziło z elektrowni pracujących na węglu brunatnym i kamiennym. Z taką strukturą produkcji energii wiąże się znaczna emisja dwutlenku węgla.

Za jeden ze sposobów ograniczenia emisji gazów cieplarnianych postrzega się zastąpienie produkcji energii z paliw kopalnych produkcją energii z biomasy, w tym z drewna w różnym stanie przetworzenia. Konieczność stosowania surowca drzewnego w charakterze źródła energii spowodowana jest nie tylko względami ekologicznymi: należy uświadomić sobie, że około 2070 r. wyczerpanych zostanie blisko 90% dostępnych zasobów węgla, osiągając wcześniej – ok. 2030 r. – szczyt wydobycia na poziomie 8350 Mt/rok.

2. Cel badań

Celem przeprowadzonych badań¹ było porównanie wydatków energetycznych na pozyskanie i transport biomasy leśnej w formie zrębków i białotów z przychodem energetycznym powstałym ze spalania tej biomasy, analiza czasochłonności poszczególnych etapów procesu oraz ocena wielkości emisji CO_2 w wybranych procesach pozyskiwania biomasy leśnej.

¹ Badania finansowano częściowo z grantu 570/N-COST/2009/0.

3. Teren badań

Na teren badań wybrano Puszcę Augustowską. Jest ona rozległym kompleksem leśnym o powierzchni ok. 250 tys. ha (w tym ok. 115 tys. ha na terenie naszego kraju), obejmującym lasy Białorusi, Litwy i Polski. Dominującymi gatunkami drzew na terenie polskiego fragmentu Puszczy Augustowskiej są: sosna (76,20%), świerk (7,35%), olsza (8,80%), brzoza (5,87%). Znaczna przewaga gatunków iglastych wynika z układu siedlisk – bór świeży stanowi 30,62 %, a bór mieszany świeży aż 38,09 % powierzchni.

4. Metodyka badań

Pomiary terenowe prowadzono na terenie trzech nadleśnictw: Augustów, Płaska oraz Pomorze. Mając na uwadze, że surowiec w postaci zrębków i balotów pozyskuje się w Puszczy Augustowskiej niemal wyłącznie na zrębach, wszystkie badania prowadzono na takich obszarach. Zastosowano fotografię dnia roboczego w odniesieniu do poszczególnych maszyn biorących udział w łańcuchu dostawczym biomasy do odbiorcy (elektrociepłowni).

Pomiaru czasu trwania poszczególnych czynności dokonywano za pomocą zegarka elektronicznego z dokładnością do 1 sekundy i notowano w raportach. Co pewien czas spisywano liczbę motogodzin wypracowanych przez maszynę na podstawie licznika analogowego lub elektronicznego.

Zużycie paliwa przez maszynę określono na podstawie cyklicznego odczytu z komputera pokładowego maszyny (rębarka, pakieciarka, niektóre samochody wywozowe) lub w oparciu o normatyw (ciągnik zrywkowy) oraz weryfikowano przez porównanie z normami zużycia paliwa stworzonymi przez właściciela maszyn na bazie wieloletnich analiz. Zużycie paliwa przez pilarzy mierzono za pomocą menzurki ze skalą.

W bilansie energetycznym uwzględniono energię wbudowaną. Mając na uwadze analizę informacji zawartych w dostępnej literaturze, postanowiono przyjąć za energię wbudowaną wartość 66 MJ/kg oraz przeciętny czas eksploatacji maszyny 18 000 mtg, tak dla forwarderów z zabudowanymi na nich rębakami, jak i dla pakieciarki oraz ciągnika zrywkowego (Athanassiadis i in. 2002). Ustalono, że energia wbudowana w zestaw zrębkujący, w przeliczeniu na 1 m³(p) zrębków wyniosła średnio 2,89 MJ/m³(p). Z kolei w przypadku balotowania, energia wbudowana w pakieciarkę, w przeliczeniu na 1 m³(p) balotów, wyniosła 4,38 MJ/m³(p), a w ciągnik zrywkowy 0,97 MJ/m³(p).

5. Wyniki badań

Ścinka drzew i wyróbka sortymentów

Pomiary czasu pracy drwali pozyskujących surowiec drzewny prowadzono na zrębach zupełnych, zagospodarowanych rębnią Ib, w Nadleśnictwie

Pomorze, na siedlisku BMśw. Ścinkę, okrzesywanie i manipulację sortymentów prowadzono profesjonalnymi pilarkami spalinowymi Husqvarna 357 XP, Stihl 361 oraz Stihl 362, w systemie SWS.

W obserwowanym czasie 17 godz. 17 min. ścięto i poddano wyróbce 91 drzew o łącznej masie 176,46 m³ drewna (w tym 26,47 m³ gałęzi). Z pomiarów wynika, że operacją najbardziej czasochłonną było okrzesywanie. Zajmowało ono 29% zaewidencjonowanego czasu. Ścinka, okrzesywanie oraz przerzynka zajmowały w sumie 56% czasu. Czas poświęcony na przygotowanie stanowiska zajął blisko 13%. Zaobserwowano niski udział czasu strat (ok. 3%), a co za tym idzie – wysoką wartość współczynnika pewności techniczno-technologicznej. Drwale uzyskiwali wydajność pracy pomiędzy 7,98 a 12,21 m³/h.

Szczegółowe udziały procentowe danych operacji w poszczególnych procesach technologicznych oraz współczynniki wykorzystania czasów pracy przedstawia tabela 1.

Na podstawie wykonanych pomiarów ustalono, że pozyskanie 26,47 m³ drewna (co stanowiło 15% części nadziemnej drzewa w postaci surowca przeznaczonego na cele energetyczne (Różański i Jabłoński 2009) zużyto 1,72 l benzyny. Zakładając współczynnik zamienny z m³ drewna na m³(p) zrębków o wartości 0,36 (Kofman 2010), oraz kaloryczność benzyny rzędu 33,75 MJ/l, określono nakład energetyczny w wysokości 0,79 MJ/m³(p) zrębków i zużycie paliwa 0,02 l/m³(p) zrębków oraz emisję CO₂ wynoszącą 0,05 kg/m³(p) zrębków.

Pozyskanie biomasy w formie zrębków

Pomiary terenowe przeprowadzono na terenie nadleśnictw Augustów i Pomorze, na siedliskach BMśw, BMw, LMw, Lśw, LMśw i OlJ. Zrębki wytwarzane były na powierzchniach zrębowych przez zestaw składający się z ciągnika specjalistycznego John Deere 1410 D lub 1410 D Eco III i zabudowanej na tym podwoziu rębarki Bruks 804 CT albo Bruks 805 CT. W czasie prowadzonych pomiarów terenowych zaewidencjonowano 53 godz. i 46 min pracy zestawu zrębkującego. W tym czasie wytworzono 1 296 m³(p) zrębków. Niemal połowę obserwowanego czasu prac wykonywanych przez zestaw zrębkujący (49%) zajmowało zrębkowanie gałęzi. Do czasów głównych zaliczono też zrywkę i powrót na powierzchnię po wyładunku zrębków, zajmujące odpowiednio 8% i 7% czasu. Bardzo sprawny wyładunek zrębków zdecydował o jedynie czteroprocentowym udziale tej operacji. Przejazdy długodystansowe, wynikające z braku koncentracji prac, zajmowały aż 12% czasu. Czas strat z tytułu organizacji pracy wyniósł ok. 2% (tab. 1.). Wydajność przeciętna wyniosła 38,70 m³(p)/mtg.

Pozyskanie 18 m³(p) zrębków (tj. wypełnienie skrzyni ładunkowej rębarki) trwało przeciętnie 0,49 mtg. Z normatywu zużycia paliwa (ON) ustalonego przez właściciela maszyny wynika, że przeciętne spalanie paliwa wynosi 45 l/mtg, w warunkach zrębowych czyli 1,23 l/m³(p) zrębków.

Kaloryczność oleju napędowego wynosiła 35,91 MJ/l (43 MJ/kg). Nakład energetyczny rębarki wyniósł 43,99 MJ/m³(p) zrębków. Emisja CO₂ wynosiła 2,65 kg/l ON.

Tabela 1. Szczegółowe udziały operacji poszczególnych procesów technologicznych (czasy główne procesów wytuszczono)

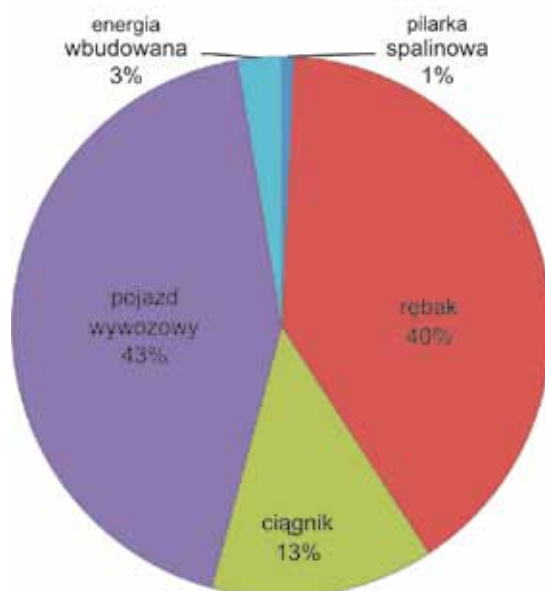
Proces technologiczny	Ścinka i operacje towarzyszące	Pozyskiwanie zrębków	Pozyskiwanie balotów		
Maszyna	pilarka (drwał)	rębarka	pakieciarka	ciągnik zrywkowy	rębarka
Ścinka*	16	–	–	–	–
Okrzesywanie	29	–	–	–	–
Manipulacja	11	–	–	–	–
Załadunek	–	–	–	32	–
Zrębkowanie	–	49	–	–	40
Zrywka	–	8	–	11	0
Powrót na zrąb	–	7	–	11	0
Wyładunek	–	4	–	22	9
Pakietowanie	–	–	53	–	–
Odcinanie pakietu	–	–	4	–	–
▪ czas przygot.-zakończeniowy	2	1	3	1	0
▪ obsługa techniczna	9	6	13	1	1
▪ zmiana stanowiska pracy	9	6	5	12	13
▪ przejazdy długodystansowe	–	12	4	7	0
▪ przygotowanie stanowiska pracy	13	–	–	–	–
▪ przerwy wypocz. i fizjolog.	8	2	2	3	0
▪ naprawy	1	3	6	0	17
▪ czas strat z tyt. organizacji pracy	2	2	10	0	20
Współczynniki wykorzystania czasu pracy					
Współczynnik wykorzystania ogólnego czasu zmiany	0,56	0,68	0,57	0,76	0,49
Współczynnik wykorzystania czasu roboczego	0,82	0,87	0,80	0,85	0,62
Współczynnik wykorzystania czasu operacyjnego	0,86	0,92	0,92	0,86	0,79
Współczynnik pewności techniczno-technologicznej	0,99	0,96	0,90	1,00	0,74
Współczynnik pewności obsługi technicznej	0,83	0,91	0,78	0,97	0,98

Z kolei ciągnik, na którym zabudowana była rębarka, zużywał przeciętnie 15 l ON/mtg. Wypełnienie skrzyni ładunkowej zajmowało także średnio 0,49 mtg, co skutkowało zużyciem 7,35 l paliwa. Oznacza to, że pozyskanie 1 m³(p) zrębków wymagało spalania 0,41 l paliwa, czyli nakładu energii wynoszącego 14,66 MJ.

Energię wbudowaną w zestaw zrębkujący określono na 2,89 MJ/m³(p) zrębków.

Transport zrębków odbywał się z wykorzystaniem pojazdów kontenerowych zabierających jednocześnie 72 m³(p) zrębków. Założono średnią odległość transportową wynoszącą 186 km (w obie strony, tj. uwzględniając przejazd „na pusto”). Zużycie paliwa na tę odległość wyniosło 38 l „na pusto” oraz 57 l z ładunkiem. Zatem nakład energetyczny wyniósł 47,38 MJ/m³(p) zrębków.

Całkowity nakład energetyczny konieczny do pozyskania i przetransportowania zrębków do elektrociepłowni wyniósł 109,72 MJ/m³(p), a emisja CO₂ powodowana pozyskaniem i przetransportowaniem zrębków do elektrociepłowni kształtowała się na poziomie 7,89 kg/m³(p) zrębków.



Rycina 1. Procentowy udział nakładów energetycznych generowanych przez poszczególne środki techniczne w procesie pozyskiwania zrębków.

Pozyskanie biomasy w formie balotów

Proces ten obserwowano na powierzchniach zrębowych Nadleśnictwa Płaska, na siedliskach Bśw, BMśw i LMśw. Odbywał się on czteroetapowo. Wytwarzanie balotów wykonywała maszyna pakietująca składająca się z cią-

gnika John Deere 1490 D Eco II z zabudowanym na niej zestawem kompaktującym (napędzanym silnikiem ciągnika).

Etap drugi polegał na zrywce balotów, którą wykonywał ciągnik rolniczy Zetor Forterra 115 z przyczepą zrywkową FaoFar 1142. Zaewidencjonowano 45 godz. 36 min. pracy pakieciarki podczas 845 cykli pracy maszyny oraz 21 godz. 54 min. pracy zestawu zrywkowego podczas 30 cykli (zerwano 720 balotów).

Etapem trzecim był załadunek balotów na pojazdy wywozowe (do kontenerów) i ich transport do Białegostoku, a ostatnim – przerób przetransportowanych balotów na surowiec sypki. Konieczność przeprowadzenia takiego zabiegu wynikała z możliwości opalania kotłów elektrociepłowni, będącej odbiorcą biomasy, jedynie zrębkami.

Ponad połowę czasu pracy pakieciarki stanowiło pakietowanie oraz oddzielanie balotu od zespołu kompaktującego. Udział czasów głównych wyniósł 57%. Znaczącą pozycją w bilansie czasu pracy (13%) była obsługa techniczna związana z wymianą części roboczych i uzupełnianiem materiałów. Także czas przestojów miał duży udział w ogóle obserwacji (10%). Rzutuje to na relatywnie niskie współczynniki wykorzystania czasu roboczego i pewności obsługi technicznej (tab. 1.). Wydajność pakietowania pozostałości zrębowych wyniosła 28,54 balotu/mtg.

Zdecydowaną większość czasu pracy ciągnika zrywającego baloty (76%) stanowiły czasy główne, 12% przejazdy pomiędzy stanowiskami załadunku i rozładunku balotów, a 7% przejazdy długodystansowe wynikające z lokalizacji zrębów. Uzyskano wydajność zrywki na poziomie 43,08 balotu/mtg.

Obserwacja czasu pracy rębarki prowadzącego przerób surowca spakietowanego na zrębki charakteryzowała się niskim wskaźnikiem wykorzystania eksploatacyjnego czasu zmiany, na poziomie 0,49. Bardzo znaczący udział miały: czas strat z tytułu organizacji pracy (np. oczekiwanie na samochód wywozowy – 20%) i czas napraw (17%). W czasie 6 godz. 27 min. przerobowi poddano 780 balotów w trakcie 13 cykli, uzyskując wydajność 136,77 m³(p) surowca balotowanego/mtg zestawu.

W celu uzyskania porównywalnych wyników określania nakładów energetycznych na produkcję biomasy leśnej w różnym stanie przetworzenia, konieczne było ustalenie współczynnika zamiennego z 1 m³(p) balotów na 1 m³(p) zrębków. Postanowiono współczynnik taki określić na bazie pomiarów przerobu balotów na zrębki za pomocą rębarki. W wyniku obserwacji ustalono, że w celu zapełnienia jednej skrzyni ładunkowej rębarki o pojemności 18 m³(p) konieczne było zezrębkowanie przeciętnie 60 balotów o długości 2,40 m, średnicy 60 cm i masie 0,68 m³(p) każdy. Zatem masa 40,68 m³(p) balotów odpowiada masie 18 m³(p) zrębków, a więc 1 m³(p) balotów reprezentuje 0,44 m³(p) zrębków, a 1 m³(p) zrębków reprezentuje 2,26 m³(p) balotów (ok. 3,33 sztuki balotów).

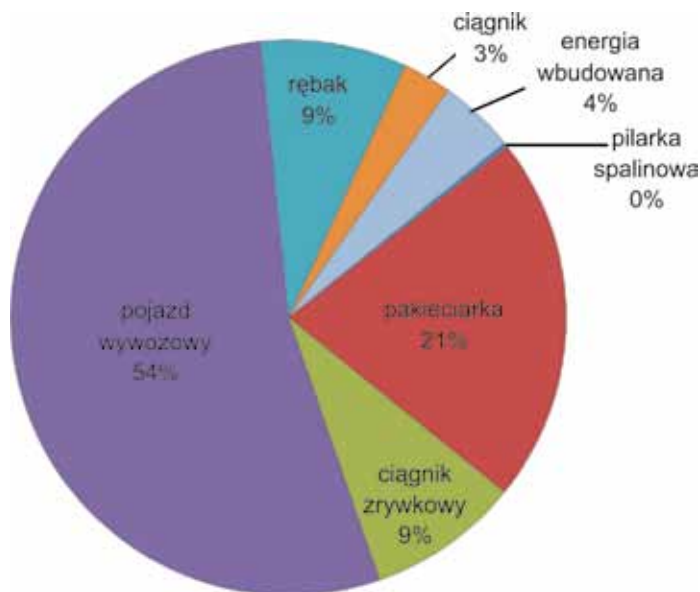
Zużycie paliwa przez pakieciarkę wynosiło 16 l/mtg, czyli 0,83 l/m³(p) balotów, co w przeliczeniu na zrębki dało nakład energetyczny równy 67,12 MJ/m³(p) zrębków. Z kolei w czasie zrywki zużycie paliwa wynosiło 10 l/mtg, jej wydajność 43,08 balotu/mtg, a nakład energetyczny 27,79 MJ/m³(p) zrębków.

Przeciętny, jednorazowy ładunek pojazdu wywozowego wynosił 64 baloty umieszczone w 2 kontenerach transportowych. Ilość ta reprezentowała 19,18 m³(p) zrębków. Zużycie paliwa przez środki transportu na średnią odległość transportową wynoszącą 205 km (w obie strony) wyniosło 90 l ON na całą operację czyli 168,35 MJ/m³(p) zrębków.

W pomiarach uwzględnić należało przerób balotów na surowiec sypki. Wydajność rębarki prowadzącej tą operację wynosiła 136,77 m³(p) balotów/mtg, czyli 60,52 m³(p) zrębków/mtg, co daje konsumpcję paliwa w wysokości 0,744 l/m³(p) zrębków i nakład energii równy 26,72 MJ/m³(p) zrębków. Adekwatnie, konsumpcja paliwa przez ciągnik wyniosła 15 l/mtg, czyli 0,25 l/m³(p) zrębków, a nakład energetyczny: 8,91 MJ/m³(p) zrębków.

Energię wbudowaną w maszyny biorące udział w procesie określono na 13,90 MJ/m³(p) zrębków.

Całkowity, uśredniony, nakład energetyczny konieczny do pozyskania i przetransportowania balotów do elektrociepłowni, wraz z ich przerobem na zrębki, wyniósł 313,56 MJ/m³(p) zrębków, a emisja CO₂ powodowana tymi operacjami wyniosła 22,14 kg/m³(p) zrębków.



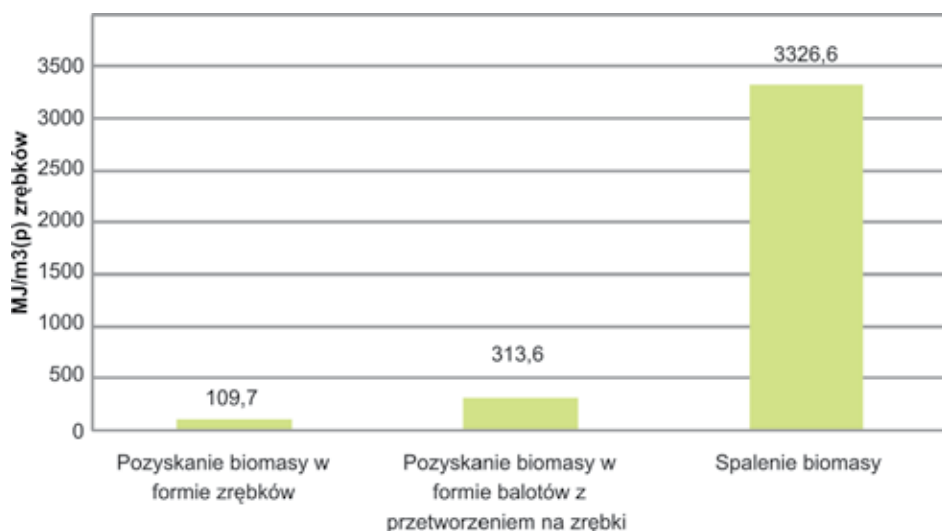
Rycina 2. Procentowy udział nakładów energetycznych generowanych przez poszczególne środki techniczne w procesie pozyskiwania balotów z przetworzeniem na zrębki.

Określenie efektu energetycznego ze spalania zrębków w elektrociepłowni z uwzględnieniem emisji CO₂ podczas spalania surowca

Bazując na udostępnionych danych badań laboratoryjnych biomasy dostarczanej do elektrociepłowni określono przeciętną wartość opałową surowca energetycznego w formie zrębków. Wyniosła ona 11892,60 MJ/t. Uwzględniając sprawność instalacji bloku energetycznego równą 84%, oraz średnią masę 1 m³(p) zrębków wynoszącą 333 kg, efekt ze spalania 1 m³(p) biomasy leśnej w formie zrębków przyjęto na poziomie 3326,58 MJ/m³(p) zrębków. Natomiast emisja CO₂ powodowana spalaniem w tej instalacji 1 m³(p) biomasy w formie zrębków wyniosła 434,65 kg.

6. Bilans energetyczny nakładów i efektów energetycznych badanych technologii oraz łączna wielkość emisji CO₂

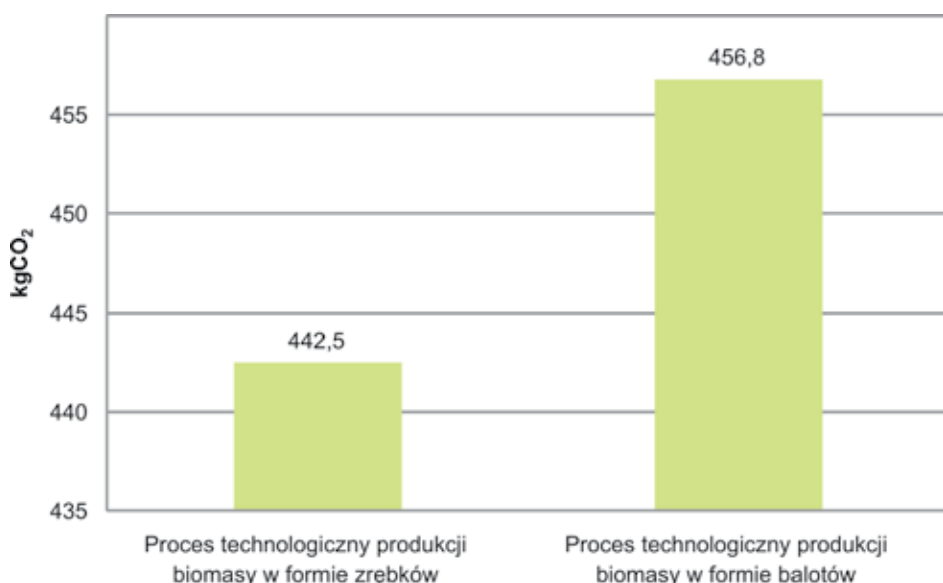
Przeprowadzone pomiary udowodniły, że nakłady energetyczne na pozyskanie i transport biomasy leśnej w badanych warunkach są niższe aniżeli przychód energetyczny powstały ze spalania tej biomasy. Co prawda proces technologiczny pozyskiwania biomasy w formie balotów jest prawie trzykrotnie bardziej energochłonny niż proces pozyskiwania zrębków, jednak nadal różnica pomiędzy nakładami tymi a efektami jest wyraźna.



Rycina 3. Porównanie nakładów energetycznych na pozyskanie surowca z energią uzyskaną ze spalania biomasy w elektrociepłowni.

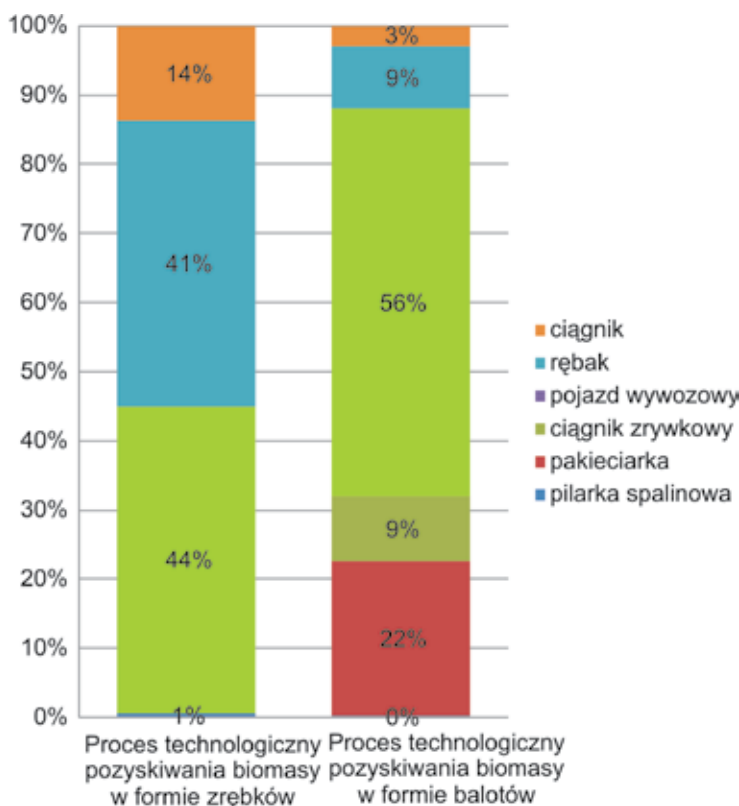
Dysproporcja ta mogłaby być dodatkowo zwiększona poprzez pozyskiwanie surowca w nadleśnictwach położonych w bezpośredniej okolicy Białegostoku lub wdrażanie instalacji grzewczych na biomasę leśną w ciepłowniach w Suwałkach albo Augustowie, co wydaje się uzasadnione w porównaniu z transportem węgla z południowo-zachodnich części naszego kraju, Rosji lub Ukrainy. Istnieją pozytywne, krajowe, przykłady takich rozwiązań (Jabłoński 2009).

Łączna wielkość emisji dwutlenku węgla w technologii pozyskiwania biomasy w formie zrębków wyniosła 442,54 kg, a w technologii pozyskiwania biomasy w formie balotów z przerobem na surowiec sypki 456,79 kg, z czego ponad 95% CO₂ w każdym z procesów było emitowane podczas spalania biomasy.



Rycina 4. Wielkość emisji CO₂ w zależności od procesu technologicznego pozyskiwania biomasy (z uwzględnieniem emisji CO₂ powstałej podczas spalania biomasy).

Pomijając emisję powstałą podczas spalania biomasy, w technologii pozyskiwania biomasy w formie zrębków największymi emitentami CO₂ są pojazd wywozowy (44%) i rębarka (41%), a w technologii pozyskiwania biomasy w formie balotów z przerobem na surowiec sypki – pojazd wywozowy (56%) i pakieciarka (22%). Emisja CO₂ powodowana przez zastosowanie pilarki spalinowej jest w praktyce nieistotna i nie przekracza 1%.



Rycina 5. Procentowy udział poszczególnych środków technicznych jako emitentów CO₂ w procesach technologicznych pozyskiwania biomasy leśnej.

7. Wnioski

- ❑ Najistotniejszym czynnikiem, wpływającym na energochłonność procesów pozyskiwania biomasy leśnej na cele energetyczne i jednocześnie mogącym w wyraźny sposób podlegać modyfikacji, jest odległość transportu. W procesie technologicznym pozyskiwania biomasy w formie zrębków nakład energetyczny z tytułu transportu zrębków wyniósł 43%, a w przypadku pozyskiwania balotów 54%.
- ❑ Pozyskiwanie biomasy leśnej, czy to w formie balotów, czy zrębków, jest uzasadnione pod względem bilansu energetycznego. Technologia pozyskiwania biomasy w formie zrębków jest trzykrotnie mniej energochłonna niż technologia pozyskiwania balotów. Ze spalania zrębków energetycznych w bloku badanej elektrociepłowni uzyskuje się ponad 10 razy więcej energii, niż wymaga pozyskanie i transport biomasy w formie balotów, oraz ponad 30 razy więcej niż wymaga pozyskanie i transport biomasy w formie zrębków.

- ❑ Emisja CO₂ w niewielkim stopniu zależna jest od technologii pozyskiwania biomasy, gdyż największy udział w emisji ma, w analizowanych przypadkach, spalanie biomasy w kotle elektrociepłowni. Spalanie biomasy generuje ponad 98% emisji CO₂ w przypadku technologii produkcji zrębów i ponad 95% emisji CO₂ w przypadku technologii produkcji balotów.

Literatura

- Athanassiadis D., Lidestav G., Nordfjell T., 2002. Energy use and emissions due to the manufacture of a forwarder. *Resources, Conservation and Recycling*. 34: 149–160.
- IPCC 2007. *Climate change 2007: synthesis report*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, s. 26–36
- Jabłoński K., 2009. Innovations in the use of woody biomass as a renewable energy source – an analysis of selected cases. *Acta Scientiarum Polonorum, Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria* 8(3): 29–38.
- Kofman P. D., 2010. Units, conversion factors and formulae for wood for energy. *Harvesting/Transportation* No 21, www.coford.ie.
- Róžański H., Jabłoński K., 2009. Economic effectiveness of logging residue bundling and chipping. *Acta Scientiarum Polonorum, Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria* 8(2): 47–51.



Wpływ pozyskania biomasy na wycofywanie pierwiastków biogennych ze środowiska leśnego

1. Wstęp

Produkcja biomasy oraz trwałość i stabilność ekosystemu leśnego zależą od dopływu energii słonecznej i zbilansowanego obiegu materii. Ubytki mineralnych substancji odżywczych powinny być równoważone przez składniki pokarmowe otrzymywane z atmosfery w postaci opadów, uwalniane w procesie wietrzenia skał i pochodzące ze ścióły. Dlatego też produkcja biomasy w ekosystemach leśnych w dużej mierze zależy od ilości substancji odżywczych powracających do gleby w postaci ściółki oraz od jej rozkładu przez mikroorganizmy glebowe.

Jednym z czynników warunkujących sprawny obieg materii w ekosystemie leśnym jest mechanizm efektywnego odzyskiwania substancji biogennych. Wszelkie zakłócenia w obiegu materii, przejawiające się między innymi utratą części wyprodukowanej biomasy, wpływają na obniżenie sprawności funkcjonowania siedliska. Pozyskiwanie biomasy drzew leśnych należy niewątpliwie zaliczyć do czynników naruszających obieg składników pokarmowych w ekosystemie leśnym.

2. Metody

W badaniach określono ubytki azotu, fosforu, potasu, wapnia i magnezu w środowisku leśnym, jakie powstają przy pozyskiwaniu surowca drzewnego podczas wykonywania zabiegów w ramach czyszczeń późnych, trzebieży wczesnej, trzebieży późnej i w końcu cięć rębnych (zrąb zupełny) oraz w całym cyklu produkcji leśnej, w okresie kolei rębu. Badania przeprowadzono w drzewostanach sosnowych na siedlisku boru świeżego.

Analizę ubytków podstawowych składników pokarmowych przeprowadzono dla następujących zakresów pozyskiwania biomasy:

- ☐ pozyskiwanie drewna strzały,
- ☐ pozyskiwanie drewna strzały w korze,

- ☐ pozyskiwanie nadziemnej części drzewa,
- ☐ pozyskiwanie całego drzewa wraz z karpą.

Aby ustalić ilość składników mineralnych zabieranych z lasu w ramach wykonywanych cięć pielęgnacyjnych i rębnych, przeprowadzono następujące badania:

- ☐ określono biomasę sosny zwyczajnej w różnym wieku, z podziałem na drewno strzały, korę strzały, gałęzie, igliwie i karpę,
- ☐ określono wilgotność i masę w stanie absolutnie suchym poszczególnych części drzewa,
- ☐ określono zawartość składników mineralnych w analizowanych częściach drzewa.

3. Wyniki badań

Biomasa

Wyniki pomiarów masy w stanie świeżym i wynikającej z przeliczeń masy w stanie suchym drzew przeznaczonych do usunięcia w ramach cięć pielęgnacyjnych i rębnych przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Masa drzew sosny zwyczajnej w różnym wieku usuniętych w ramach prowadzonych cięć

Wiek drzewo- stanu [lata]	Stan skład- nika masy	Składnik masy											
		drewno strzały		kora strzały		gałęzie		igliwie		karpa		łącznie	
		masa	udział	masa	udział	masa	udział	masa	udział	masa	udział	masa	udział
		Mg/ha	%	Mg/ha	%	Mg/ha	%	Mg/ha	%	Mg/ha	%	Mg/ha	%
23	świeży	15,79	54,3	1,81	6,2	4,75	16,3	1,55	5,3	5,22	17,9	29,12	100
	suchy	6,82	53,7	1,19	9,4	1,98	15,6	0,60	4,7	2,10	16,6	12,69	100
33	świeży	24,27	61,1	3,13	7,9	4,52	11,4	1,26	3,2	6,50	16,4	39,68	100
	suchy	10,65	59,7	1,91	10,7	1,98	11,1	0,49	2,8	2,80	15,7	17,83	100
60	świeży	26,01	61,1	3,32	7,8	5,13	12,0	1,03	2,4	7,10	16,7	42,59	100
	suchy	13,43	64,2	1,93	9,2	2,08	9,9	0,43	2,1	3,06	14,6	20,93	100
95	świeży	211,58	64,6	18,83	5,8	36,10	11,0	6,14	1,9	54,70	16,7	327,35	100
	suchy	101,60	65,9	10,86	7,0	15,87	10,3	2,60	1,7	23,20	15,1	154,13	100

Przeprowadzone badania wykazały, że w drzewostanach 23-letnich biomas drzew przeznaczonych do usunięcia wynosiła średnio 29,12 Mg/ha. Największy udział w biomasie drzew stanowiła masa drewna strzały – 54,3%, a następnie masy karp – 17,9%, gałęzi – 16,3%, kory strzały – 6,2% i igliwia – 5,3%.

Masa w stanie suchym drzew przeznaczonych do usunięcia wynosiła średnio 12,69 Mg/ha i była mniejsza od masy w stanie świeżym o 56,4%. Największe różnice między masą w stanie suchym i świeżym stwierdzono w przypadku igliwia – 61,3%, a najmniejsze dla kory strzały – 34,3%.

Masa 33-letnich drzew sosny zwyczajnej, przeznaczonych do usunięcia w ramach trzebieży wczesnej, wynosiła średnio 39,68 Mg/ha i była wyższa o 36% od masy drzew w wieku 23 lat. Około 60% – 61,1% w stanie świeżym i 59,7% w stanie suchym, przypadało na drewno strzały. Wartości masy kory strzały i gałęzi w stanie suchym były zbliżone do siebie – 1,91 i 1,98 Mg/ha i stanowiły około 11% ogólnej masy drzew. Udział masy igliwia w stanie suchym wynosił 2,8%. Średnia masa karp drzew przeznaczonych do usunięcia na powierzchni 1 ha wynosiła 6,50 Mg/ha w stanie świeżym i 2,80 Mg/ha w stanie suchym. Stanowiło to odpowiednio 16,4% i 15,7% ogólnej masy drzew.

Masy 33-letnich i 60-letnich drzew, wyznaczonych do usunięcia w ramach trzebieży wczesnej i późnej na powierzchni 1 ha, nie różniły się znacznie. Średnia masa wyznaczonych drzew w stanie świeżym w 60-letnim drzewostanie wynosiła 42,59 Mg/ha i była wyższa o 7% od masy drzew w wieku 33 lat. Również udziały mas w stanie świeżym poszczególnych części drzewa w tych drzewostanach były podobne. Udziały te wynosiły odpowiednio: drewna strzały – 61,1% w drzewostanach 33 i 60-letnich, kory strzały – 7,9% i 7,8%, gałęzi – 11,4% i 12,0%, igliwia – 3,2% i 2,4% oraz karp – 16,4% i 16,7%. Różnice w udziałach mas w stanie suchym poszczególnych części drzewa były w porównywanych drzewostanach większe.

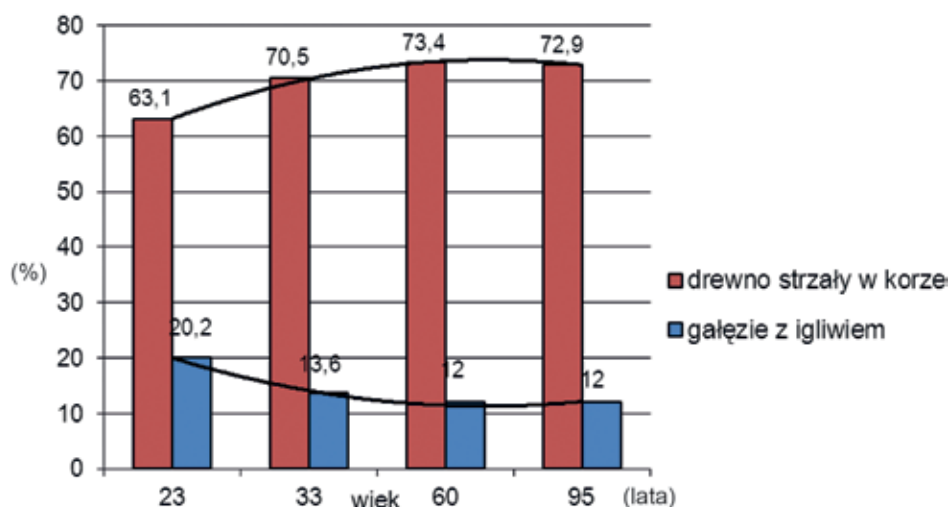
Masa 95-letnich drzew sosny zwyczajnej, usuniętych na powierzchni 1 ha w ramach cięć rębnych, wynosiła średnio 327,35 Mg w stanie świeżym i 154,13 Mg w stanie suchym. Największy udział w biomasie drzew stanowiła masa drewna strzały – 64,6% w stanie świeżym i 65,9% w stanie suchym, a następnie masy karp – odpowiednio – 16,7% i 15,1%, gałęzi – 11,0% i 10,3%, kory strzały – 5,8% i 7,0% oraz igliwia – 1,9% i 1,7%.

Określono także średnią masę jednego drzewa w różnym wieku przeznaczonego do usunięcia. Wyniki przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Średnia masa jednego drzewa sosny zwyczajnej pozyskanego w różnym wieku

Wiek drzewa [lata]	Stan składowa masy	Składnik masy											
		drewno strzały		kora strzały		gałęzie		igliwie		karpa		łącznie	
		kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%
23	świeży	14,2	54,2	1,6	6,1	4,3	16,4	1,4	5,4	4,7	17,9	26,2	100
	suchy	6,1	53,5	1,1	9,6	1,8	15,8	0,5	4,4	1,9	16,7	11,4	100
33	świeży	24,9	61,3	3,2	7,9	4,6	11,3	1,3	3,2	6,6	16,3	40,6	100
	suchy	10,9	59,6	2,0	10,9	2,0	10,9	0,5	2,7	2,9	15,9	18,3	100
60	świeży	151,2	61,1	19,3	7,8	29,8	12,0	6,0	2,4	41,3	16,7	247,6	100
	suchy	78,1	64,2	11,2	9,2	12,1	9,9	2,5	2,1	17,8	14,6	121,7	100
95	świeży	467,1	64,6	41,6	5,8	79,7	11,0	13,5	1,9	120,7	16,7	722,6	100
	suchy	224,3	65,9	24,0	7,0	35,0	10,3	5,7	1,7	51,2	15,1	340,2	100

Masa drzewa w wieku 95 lat wynosiła 722,6 kg w stanie świeżym i była prawie 30-krotnie większa od masy średniego drzewa pozyskanego w wieku 23 lat. Średnie biomasy pozyskiwanych drzew w wieku 33 i 60 lat wynosiły odpowiednio 40,6 i 247,6 kg. Badania wykazały, że wraz z wiekiem drzewa wzrastał w łącznej biomasy udział masy drewna strzały od 54,2% w wieku 23 lat do 64,6% w wieku 95 lat, a malał udział masy gałęzi i igliwia – od 16,4% i 5,4% w wieku 23 lat do 11,0% i 1,9% w wieku 95 lat. Udziały masy drewna strzały wraz z korą w łącznej suchej masie sosny wzrosły od 63,1% w wieku 23 lat do 72,9% w wieku 95 lat (ryc. 1). W tym samym przedziale wiekowym zmalał łączny udział masy gałęzi i igliwia – od 20,2% do 12,9%.



Rycina 1. Udziały masy drewna strzały wraz z korą oraz gałęzi z igliwem w łącznej suchej masie sosny.

Zawartość składników mineralnych w biomasy drzew

Uzyskane wyniki badań laboratoryjnych, określające zawartość poszczególnych pierwiastków w badanych częściach drzewa, wyrażono jako procentowy udział w masie danej części w stanie absolutnie suchym (% s.m.).

Azot

Najwyższą średnią zawartość azotu na wszystkich powierzchniach badawczych stwierdzono w igliwiu. Wahała się ona od 1,2107% s.m. w drzewostanie 95-letnim do 1,5750% s.m. w drzewostanie 33-letnim.

W dalszej kolejności udział azotu w pozostałych częściach drewna wahał się w następujących granicach:

- kora strzały – od 0,3243% s.m. do 0,3803% s.m.,
- gałęzie – od 0,1695% s.m. do 0,3513% s.m.,
- karpa – od 0,1435% s.m. do 0,1937% s.m.,
- drewno strzały – od 0,1108% s.m. do 0,2012% s.m.

Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała, że na zawartość azotu w gałęziach, igliwiu i karpie miał wpływ wiek drzewa. Najwyższą zawartość azotu w gałęziach i igliwiu stwierdzono w drzewach 33 i 23-letnich, a najniższą w 95 i 60-letnich. Natomiast zawartość azotu w karpie była najwyższa w drzewach 60 i 95-letnich, a najniższa w 33 i 23-letnich.

Fosfor

Średnie zawartości fosforu w poszczególnych częściach drzewa na różnych powierzchniach badawczych przedstawiały się następująco:

w igliwiu	– od 0,1233% s.m. do 0,2815% s.m.,
w gałęziach	– od 0,0140% s.m. do 0,0453% s.m.,
w korze strzały	– od 0,0150% s.m. do 0,0307% s.m.,
w karpie	– od 0,0138% s.m. do 0,0207% s.m.,
w drewnie strzały	– od 0,0117% s.m. do 0,0197% s.m.

Kierując się stężeniami fosforu w poszczególnych częściach drzewa podanymi przez Foibera (1993) można stwierdzić, że zawartość fosforu była wysoka w drewnie strzały, a niska w korze.

Analiza statystyczna wykazała, że wiek drzewa miał istotny wpływ na zawartość fosforu we wszystkich badanych częściach drzewa. Największą zawartość fosforu w drewnie strzały, gałęziach i karpie stwierdzono w drzewostanach 23-letnich, a najmniejszą w 95 i 60-letnich. Odwrotną kolejność wykazano w zawartości tego pierwiastka w korze i igliwiu, największą w 60-letnich drzewostanach, a najmniejszą w 23 i 33-letnich drzewostanach.

Potas

Również w odniesieniu do potasu największą zawartością charakteryzowało się igliwie. Zawartość tego pierwiastka wynosiła od 0,4108% s.m. w 95-letnich sosnach do 0,5933% s.m. w drzewostanie 33-letnim. Średnia zawartość potasu w pozostałych częściach drzewa na poszczególnych powierzchniach badawczych była znacznie niższa i wynosiła:

w gałęziach	– od 0,0483% s.m. do 0,1523% s.m.,
w korze strzały	– od 0,0697% s.m. do 0,1218% s.m.,
w karpie	– od 0,0295% s.m. do 0,0753% s.m.,
w drewnie strzały	– od 0,0125% s.m. do 0,0308% s.m.

Uzyskane wyniki różniły się od wyników innych badaczy. Zawartość potasu w drewnie strzały była prawie dwukrotnie niższa od zawartości przedstawionych przez Nikitina (1955), Göhre (1958) i Fossuma i in. (1972). Również uzyskane w badaniach zawartości potasu w korze, igliwiu, gałęziach i karpie na tle danych literaturowych należy uznać za niskie (Trašliev i Antonov 1969, Rusanova i in. 1977).

Wiek drzew wpływa istotnie na zawartość potasu we wszystkich badanych częściach drzewa. Stwierdzono, że zawartość potasu w gałęziach i karpie była istotnie większa w drzewostanach 23 i 33-letnich niż w 60 i 95-letnich.

Wapń

Największą zawartość wapnia stwierdzono w korze. Stężenie tego pierwiastka w korze było wyższe ponad dwukrotnie niż w igliwiu i prawie czterokrotnie niż w drewnie strzały. Stwierdzona na poszczególnych powierzchniach badawczych zawartość wapnia wynosiła:

- w korze strzały – od 0,4608% s.m. do 0,7867% s.m.,
- w igliwiu – od 0,1577% s.m. do 0,3800% s.m.,
- w gałęziach – od 0,1287% s.m. do 0,2883% s.m.,
- w drewnie strzały – od 0,0925% s.m. do 0,2227% s.m.,
- w karpie – od 0,0478% s.m. do 0,0755% s.m.

Stwierdzone w badaniach wartości średniego stężenia wapnia w korze strzały, gałęziach, igliwiu i karpie były bardzo zbliżone do danych literaturowych. Natomiast zawartość wapnia w drewnie strzały była nieco wyższa niż podają Nikitn (1955), Göhre (1958), Fossum i in. (1972) i Rusanova i in. (1977).

Wiek drzew miał wpływ na zawartość wapnia w drewnie strzał, gałęziach, igliwiu oraz w korze strzały. Zawartość wapnia w igliwiu, gałęziach i korze strzały była istotnie wyższa w starszych drzewostanach, w 95 i 60-letnich, niż w młodszych – 23 i 33-letnich. Przeciwny kierunek wzrostu stężenia wapnia stwierdzono w drewnie strzały. Zawartość tego pierwiastka w drzewostanach młodszych, w 23 i 33-letnich była istotnie wyższa niż w drzewostanach starszych, w 60 i 95-letnich.

Magnez

Największe stężenie magnezu stwierdzono w igliwiu. Średnia zawartość tego pierwiastka na poszczególnych powierzchniach badawczych wahała się od 0,0417% s.m. do 0,0718% s.m. W dalszej kolejności udział magnezu w pozostałych częściach drzewa mieścił się w następujących granicach:

- w korze strzały – od 0,0307% s.m. do 0,0617% s.m.,
- w gałęziach – od 0,0160% s.m. do 0,0453% s.m.,
- w drewnie strzały – od 0,0157% s.m. do 0,0217% s.m.,
- w karpie – od 0,0065% s.m. do 0,0223% s.m.

Wartości średniego stężenia magnezu w drewnie były zbliżone do danych literaturowych. Zawartość magnezu w korze była nieco wyższa, niż podaje Butuzova (1964) oraz Rusanova i in. (1977), lecz dwukrotnie niższa od stężenia tego pierwiastka stwierdzonego w badaniach Drogosza (1980). Uzyskana zawartość magnezu w gałęziach i karpie była około 2-krotnie niższa od wyników badań Trašlieva i Antonova (1969). Porównując wyniki własne z podanymi przez Fobera (1993) optymalnymi zakresami stężeń pierwiastków należy stwierdzić, że w igliwiu zarysował się niewielki niedobór magnezu.

Zawartość magnezu w gałęziach i karpie zależna była od wieku drzew. W obu przypadkach stężenie tego pierwiastka w drzewostanach młodszych, 23 i 33-letnich, było wyższe niż w starszych 60 i 95-letnich.

Ubytki składników pokarmowych w zależności od zakresu pozyskiwania biomasy sosny w całym cyklu produkcji leśnej

Z przeprowadzonych badań wynika, że na skutek pozyskiwania drewna w korze w ramach cięć przedrębnych i rębnych ubytek niektórych ważniejszych pierwiastków biogenych w środowisku leśnym był następujący: azot – 312,7 kg/ha, fosfor – 30,3 kg/ha, potas – 53,7 kg/ha, wapń – 328,5 kg ha, magnez – 39,0 kg/ha. W takim przypadku pozyskiwanie w ramach całego okresu kolei rębu średnio 72,3% biomasy całego drzewa spowodowało, że ze środowiska leśnego zostało wyprowadzone: 59,7% azotu, 54,9% fosforu, 44,5% potasu, 75,0% wapnia i 72,6% magnezu zawartego w całym drzewie. W stosunku do łącznego ubytku składników pokarmowych w środowisku leśnym w cyklu produkcji leśnej udział strat biogenów w ramach cięć przedrębnych wynosił średnio 45,0%, od 39,5% w przypadku potasu do 49,6% – dla wapnia. W cięciach przedrębnych usunięto 41,3% łącznej masy pozyskanej w okresie kolei rębu.

Korowanie strzał i pozostawianie kory w lesie w cięciach przedrębnych i rębnych pozwoliło zatrzymać w środowisku leśnym 23% azotu, 17% fosforu, 33% potasu, 37% wapnia i 21% magnezu zawartego w strzałach drzew. Masa kory stanowiła 11% masy strzał drzew.

Pozyskiwanie w cyklu produkcji leśnej całej części nadziemnej drzewa spowodowało w stosunku do pozyskiwania tradycyjnego następujący wzrost ubytku składników pokarmowych w środowisku leśnym: azotu – o 46%, fosforu – o 60%, potasu – o 95%, wapnia – o 25%, magnezu – o 27%. Pozyskiwanie całej części nadziemnej drzewa zwiększyło masę surowca pozyskanego o 17%.

Należy szacować, że przy pozyskiwaniu całych drzew wraz z karpą w cyklu produkcji leśnej wycofano z obiegu w środowisku leśnym: 524 kg/ha azotu, 55 kg/ha fosforu, 121 kg/ha potasu, 438 kg/ha wapnia i 54 kg/ha magnezu. Masy te w porównaniu z ubytkami składników pokarmowych przy tradycyjnym pozyskiwaniu drewna były większe średnio o 65,5%, od 33% w przypadku wapnia do 125% – dla potasu. Udział biomasy sosen pozyskanych w ramach cięć przedrębnych w łącznej masie pozyskanej w okresie kolei rębu wynosił 41,9%.

Największe procentowe straty w środowisku leśnym analizowanych pierwiastków, powodowane pozyskiwaniem surowca drzewnego w postaci drewna strzały, drewna strzały w korze, jak i całej nadziemnej części sosny zwyczajnej stwierdzono w przypadku wapnia. Pozyskiwanie drewna strzały spowodowało wyprowadzenie ze środowiska leśnego średnio 50% wapnia zawartego w całej biomasy sosny, pozyskiwanie drewna strzały z korą – 77%, a pozyskiwanie całej nadziemnej części drzewa – 94%.

Procentowe straty magnezu były nieznacznie niższe i wynosiły odpowiednio dla trzech kolejnych zakresów pozyskiwania biomasy sosny: 52%, 67% i 90%. Ubytki azotu i fosforu wynosiły 43% przy pozyskiwaniu drewna strzały, odpowiednio 57% i 52% przy pozyskiwaniu drewna strzały z korą

oraz 88% przy pozyskiwaniu całej nadziemnej części drzewa. Najniższe procentowe straty pierwiastków stwierdzono w przypadku potasu. Pozyskiwanie drewna strzały powodowało wyprowadzenie ze środowiska leśnego 23% łącznej zawartości tego pierwiastka w biomase sosny, pozyskiwanie drewna strzały z korą – 38%, a pozyskiwanie całej nadziemnej części drzewa – 86%.

Udziały pozyskiwanych mas drewna strzały i drewna strzały z korą w łącznej biomase sosny wzrastały wraz z wiekiem drzewa, od 54 do 66% i od 63 do 73%. Trend ten stwierdzono również w przypadku procentowych ubytków azotu, fosforu, potasu i magnezu.

Określone ubytki biogenów w środowisku leśnym na skutek pozyskiwania całej nadziemnej części drzewa w cyklu produkcji leśnej były na ogół zbliżone lub niższe od średnich danych literaturowych. I tak na przykład straty azotu wynoszą: według Ulricha (1973) i Ulricha i in. (1975) – od 400 do 690 kg/ha, wg Mälkönenä (1972) – od 258 do 696 kg/ha, wg Kreutzera (1979) – od 520 do 1010 kg/ha, wg Nebe (1979) – 612 kg/ha, a wg Krapfenbauera (1973) – 696 kg/ha. Również stwierdzone ubytki wapnia i magnezu przy pozyskiwaniu całej nadziemnej części drzewa w okresie kolei rębny należy uznać za niewielkie. Kreutzer (1979) podaje, że straty te wynoszą 430 i 75 kg/ha w drzewostanie rosnącym na ubogim siedlisku oraz 740 i 130 kg/ha w drzewostanie rosnącym na bogatym siedlisku, natomiast według Nebe (1979) – 470 i 85 kg/ha, a wg Ulricha (1975) – 400 i 68 kg/ha. Większe wartości podaje Kowalkowski (1983), który szacuje, że zawartość wapnia i magnezu tylko w nadziemnej, suchej masie 100-letniego drzewostanu sosnowego wynoszą odpowiednio 720 i 133 kg/ha.

4. Podsumowanie

Usunięte z ekosystemu leśnego wskutek pozyskiwania arbomasy składniki pokarmowe można zastąpić nawozami mineralnymi. Dla środowiska leśnego większe znaczenie mają jednak ekologiczne konsekwencje usuwania masy organicznej. Według Kowalkowskiego (1983) polegają one przede wszystkim na zakłóceniach w biologicznych procesach akumulacji i rozkładu próchnicy. Gleba pozbawiona warstwy humusowej jest znacznie bardziej podatna na procesy eluwalne, a tym samym na przemieszczanie się substancji odżywczych w głębsze warstwy gleby, niedostępne dla systemów korzeniowych drzew. Istotna może być także możliwość negatywnego oddziaływania nawozów na edafon i grzyby mikoryzowe (Rudawska 1983, Rudawska i in. 2001).

Wydaje się zatem, że o ile tylko istnieje taka możliwość, realizując zadania gospodarcze polegające na pozyskiwaniu surowca drzewnego, powinno się zostawiać w lesie wszelkie składniki arbomasy, które wracając w procesie mineralizacji do obiegu biologicznego, mogą stanowić ważne źródło pierwiastków odżywczych dla nowego pokolenia drzew.

Literatura

- Butuzova O. V., 1964. O soderżanii zolnych elementov v različny častjaa dierievev sosny i jeli. *Botaničeskij žurnal* 49: 1060–1063.
- Drogosz S., 1980. Zawartość składników mineralnych w korze 20, 60 i 100-letnich sosen (*Pinus silvestris* L.). Maszyn. rozprawy doktorskiej. Akademia Rolnicza w Poznaniu.
- Foher H., 1993. Żywienie mineralne. W: Białobok S., Boratyński A., Bugała W. (red.), *Biologia sosny zwyczajnej*. Wyd. Sorus Poznań-Kórnik: 182–193.
- Fossum T., Hartler N., Libert J., 1972. The inorganic content of wood. *Svensk Papperstidning* 75 (8): 305–309.
- Göhre K., 1958. Drewno jako surowiec przemysłowy. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa.
- Kowalkowski A., 1983. Wpływ pozyskiwania biomasy w drzewostanach sosnowych na obieg składników mineralnych oraz właściwości gleb siedlisk borowych. *Pr. Inst. Bad. Leśn.* 598: 1–23.
- Krapfenbauer A., 1973. Holzernte und Nachhaltigkeit der Holzproduktion. *Allg. Forstztg.* 84: 133–135.
- Kreutzer K., 1979. Ökologische Fragen zur Volbaumernte. *Forstwiss. Cbl.* 98: 298–308.
- Mälikönen E., 1972. Effect of harvesting logging residues on the nutrient status of Scots pine stands. *Folia For.* 157: 1–14.
- Nebe W., 1979. Zur Auswirkung von Biomassenutzungen in Fichten- und Kiefernbeständen auf den Nährelementkreislauf. *Beitr. f.d. Forstwirtschaft.* 4: 152–159.
- Nikitin W., 1955. *Chemia drewna i celulozy*. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa.
- Rudawska M., 1983. The effect of nitrogen and phosphorus on auxin and cytokinin production by mycorrhizal fungi. *Arbor. Kórnickie* 28: 219–236.
- Rudawska M., Leski T., Gornowicz R., 2001. Micorrhizal status of *Pinus sylvestris* nursery stock in Poland as influenced by nitrogen fertilization. *Dendrobiology* 46: 51–60.
- Rusanova G. V., Sloboda A. V., Bušueva E. N., 1977. *Biologičeskij krugovorot elementov v sosnjake lišajnikovom podzony srednej tajgi Komi ASSR. Lesoved.* (2): 13–19.
- Trašliev Ch., Antonov G., 1969. Kr“govrat na pepelnite elementi i azota v kafjava gorska počva pod belborovo nasaždenie. *Gorskostop. Nauka* 6 (3): 43–52.
- Ulrich B., Mayer R., Khanna P., Prenzel J., 1973. Modelling of bioelement cycling in a beach forest of Solling district. *Göttinger Bodenkundl. Ber.* 29: 1–54.
- Ulrich B., Mayer R., Sommer U., 1975. Rückwirkungen der Wirtschaftsführung über den Nährstoffhaushalt auf die Leistungsfähigkeit der Standorte. *Forstarch.* 46: 5–8.



Możliwości wykorzystania popiołów z biomasy leśnej jako źródła elementów odżywczych

1. Wprowadzenie

Zaopatrzenie siedlisk leśnych w elementy odżywcze przebiega nieustannie. Proces ten przebiega pod wpływem licznych czynników i stresorów, zarówno biotycznych i abiotycznych, wewnętrznych i zewnętrznych, naturalnych i antropogenicznych, długo- i krótkookresowych, historycznych i współczesnych. Czynniki naturalne w siedliskach leśnych decydują o długo-okresowych ciągłych płynnie zrównoważonych obiegach elementów odżywczych, które Stig Emilsson (2005) nazywa *ekocyklami*. Dominacja czynników antropogenicznych powoduje powstawanie ciągów krótko i długotrwałych skokowych niezrównoważeń ich obiegów z zanikaniem ekocykli włącznie. Głównymi efektami gospodarowania siedliskami leśnymi są zmiany w składzie gatunkowym drzewostanów i roślinności dna lasu, ubytki ściółki i bułwiny na powierzchni gleb oraz próchnicy w poziomach próchnicznych, wskutek okresowego użytkowania biomasy. Powodują one radykalne niekorzystne trudno odwracalne zmiany w kwasowości i pojemności jonowymiennej gleb leśnych i nieodwracalne – ich potencjalnej oraz aktualnej zasobności w elementy odżywcze.

Czynniki środowiskowe kontrolujące wzrost roślin w lesie, przy założeniu, że gleba leśna tworzy sprzyjające medium dla ich korzeni (Wilde 1962, Ingestad 1988, Ingestad i McDonald 1989, Ingestad i Ågren 1995) a „przystosowane siedlisko (Chodzicki 1934, Wilde 1962) jest podstawowym arealem środowiska leśnego składającym się ze zbiorowiska biotycznego egzystującego na i w polipiedonie (David 1997) w ich ekologicznej integralności, klasyfikuje się na trzy kategorie (Ingestad 1988, Ingestad i Ågren 1988):

- ❑ czynniki główne zmienne – potencjalne zasoby elementów wykorzystywane we wzroście roślin z ich dostępnością jako pulą transportowaną,
- ❑ czynniki warunkujące pule transportowanej masy elementów:
 - zasoby nie elementowe – woda i światło,
 - modulatory – genomy, stan składu elementów odżywczych i temperatury.

**Tabela 1. Wpływ rodzajów drzew na wielkość wietrzenia in situ
(za Augusto i wsp. 2002)**

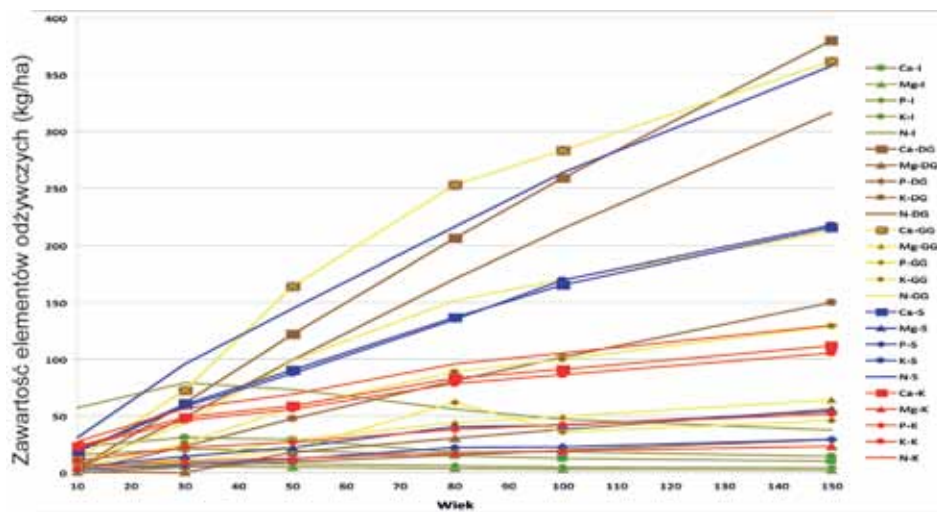
Miąższość gleby	Lokalizacja	Skała macierzysta	Typ gleby	Rodzaj drzewa	Wiek	K	Na	Ca	Mg
						kg ha ⁻¹ yr ⁻¹			
Zlewnia	Mont Lozere (Francja)	granit	gleba rdzawa bielkowa	Picea abies	–	6,5	5,1	11,2	5,5
				Fagus sylvatica	–	3,6	3,8	2,7	2,4
0–50cm	Munkorp (Szwecja)	morena piaszczysta	gleba bielkowa właściwa	Picea abies	48	18,3	17,3	13,5	7,0
				Fagus sylvatica	100	7,5	13,2	2,4	2,2
				Betula ssp.	30	5,1	3,4	9,9	2,1
0–50 cm	Nythem (Szwecja)	morena piaszczysta	gleba bielkowa właściwa	Picea abies	55	22,9	64,1	10,6	9,1
				Fagus sylvatica	90	6,6	15,3	3,9	1,9
				Betula ssp.	40	1,8	6,8	3,0	1,1
0–120 cm	Wogezy (Francja)	granit	gleba brunatna kwaśna	Picea abies	85	8,7	0,5	5,1	0,9
				Fagus sylvatica	140	3,7	1,4	1,6	0,4

Źródło: Augusto i in. 2002

Wiadomo, że pule składników odżywczych i drogi ich krążenia w siedliskach ulegają cyklicznym i niecyklicznym zmianom także w zależności od zmieniającego się wieku i składu gatunkowego drzewostanu (tab. 1), określają kondycję biologiczną i ekochemiczną ekosystemu (Fisher i in. 1999, Kowalkowski 1983, 2001).

Z punktu widzenia strat elementów odżywczych w siedlisku rozwój drzewostanu musi być podzielony na dwie fazy. Pierwszą charakteryzuje wzrost drzewostanu do zwarcia koron, co w zależności od wielkości udostępnianej puli elementów następuje w wieku 20–30 lat. W tej fazie elementy odżywcze akumulowane są w koronach drzew, w odtwarzanej roślinności dna lasu i w odnawianych powierzchniowych poziomach glebowych. W drugiej fazie, od zwarcia koron do zrębu, pula elementów w odnawiających się organach asymilacyjnych dominujących w lasach gatunków iglastych maleje, rośnie natomiast istotnie w gałęziach drobnych, częściowo w gałęziach grubych, w drewnie strzał i w korze (ryc. 1). W korzeniach są wiązane na długi okres czasu stosunkowo mniejsze pule głównych elementów odżywczych, są one jednak stosunkowo najbogatsze w fosfor. W konsekwencji w lasach z intensywnymi użytkami międzyrębnymi w krótkich rotacjach i pełnym pozyskaniem resztek pozrębowych z korą i karpiną, nazwanymi przez H. Samuelse-sona (2002) pierwotnym paliwem leśnym (*primary forest fuel*), ekosystem

leśny jest od wieków nieodwracalnie zubożany w dużą masę elementów odżywczych (Kowalkowski 1983, 2001, Miller 1990, Huettl i Schaaff 1995, David 1999). Według H.J. Meiwesa (1995) głęboko i silnie zakwaszone gleby leśne mogą wymagać kompensacji nawet 15–20 t ha⁻¹ wapnia (Ca), aby uzupełnić wysycenie kompleksu sorpcyjnego gleb zasadami do 50%.



Rycina 1. Dynamika zawartości N, P, K i Ca w poszczególnych częściach drzewostanu sosnowego (I – igłowie, DG – drobne gałęzie, GG – grube gałęzie, S – strzała, K – korzenie) w różnych fazach wzrostu

Wiadomo, że proponowane współcześnie całkowite pozyskanie biomasy do celów energetycznych (*whole-tree-clear-cutting*) będzie długotrwałym ciężkim zakłóceniem w funkcjonowaniu ekosystemu wskutek nieodwracalnych bezpośrednich strat i niezrównoważenia elementów odżywczych, intensyfikacji nitryfikacji i zakwaszenia gleb na całej głębokości ich profili, połączonego ze znaczącym zmniejszeniem pojemności neutralizacji kwasów i długotrwałym wymywaniem w ukorzenionej przestrzeni gleby części profilu glebowego (Mälikönen 1976, Jenny 1980, Kowalkowski 1983, Kreutzer i in. 1986, Kreutzer 1979, 1989, Kreutzer i Miller 1995, Glatzel 1990, Gover i Son 1992, Dahlgren i Driscoll 1994, Cole 1995, Olsson i in. 1996, Augusto i in. 2002).

W nowoczesnych syntezach przestrzega się przed nieodwracalnymi, katastrofalnymi zakłóceniami żyzności gleb leśnych w europejskich umiarkowanych lasach, powodującymi trudno odwracalne degradacje gleb w siedliskach lasowych i szczególnie borowych (Ingerslev i in. 2001, Augusto i in. 2002, Pitman 2006). Zatem pojawiające się ostatnio w naszej literaturze leśnej ogólne stwierdzenia, że wywożenie drewna poza ekosystem leśny, a głównie całkowite pozyskiwanie pozostałości zrębowych i karpiny, nie uszczupla możliwości produkcyjnych siedlisk, są pozbawione jakiegokolwiek

logiki. Także badania finansowane przez UE nad wpływem pozyskiwania całych drzew na tzw. biomasę energetyczną (korony, pnie, korzenie) na różnorodność biologiczną ekosystemów leśnych, bez odpowiedniego uwzględnienia mozaik glebowych w ich geograficznej różnorodności i strefowości, nie mają większego sensu.

Ostatnie dwie dekady na przełomie XX i XXI w. charakteryzują się znaczącym wzrostem biomasy w lasach, a więc znaczącym zwiększonym pobieraniem z gleb i z powietrza, nie tylko C i N, a także innych elementów odżywczych, głównie P, K, Ca i Mg. Uzasadnione w tej sytuacji są poglądy, iż stosowane dotąd tradycyjne tabele przyrostów miąższości drzewostanów oraz wskaźniki odżywiania lasu i zasobności efektywnej gleb w elementy odżywcze nie mogą być podstawą obiektywnej oceny możliwości produkcyjnych ekosystemów leśnych w ich stanach ekologicznych współczesnych i w przyszłości. Nastąpiły bowiem wielkoskalowe zmiany kondycji wzrostowej ze związanym zapotrzebowaniem na wodę i elementy odżywcze. Prawdopodobnie zależą one od takich czynników, jak wzrost stężenia CO₂ atmosferycznego, depozycja elementów i zmiany temperatur powietrza (Forster i in. 1993, Hüttl i Schaaf 1995, Kowalkowski 2001, Augusto i in. 2002, Rykowski 2012).

W zmianach i regulacjach statusu odżywczego siedlisk decydującą rolę mają praktyki zarządzania ekosystemem lasu. Wiadomo, że osiągnięcie adekwatnego zaopatrzenia zagospodarowanego lasu w elementy odżywcze i wodę, zapewniającego stałą i długotrwale zrównoważoną produktywność, będzie możliwe przez mineralne nawożenie znajdujących się w niedoborach elementów odżywczych, nazywane kompensacyjnym (Cole 1995, Kreutzer 1995, Kowalkowski 1999, Kowalkowski i Kopron 2002). W takich przypadkach kompensacja jest świadomą regulacją stosunków ilościowo-jakościowych elementów odżywczych w sprzężonym obiegu w systemie ekologicznym siedliska leśnego, z docelowym zamiarem zachowania funkcjonujących w nim ekocykli.

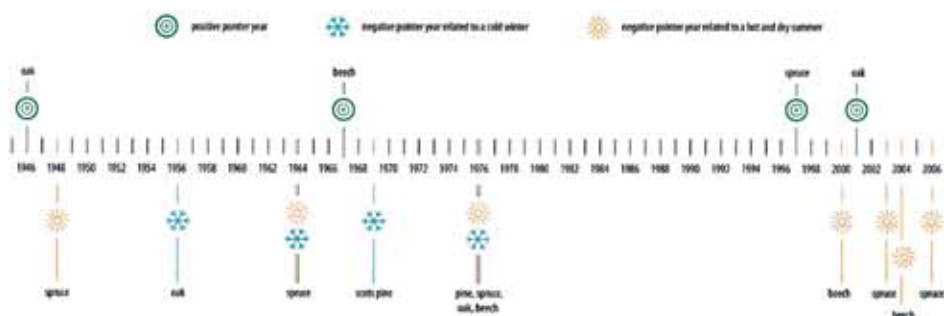
Przedstawione wprowadzenie traktujemy jako wstępne tło do rozpatrzenia możliwości wykorzystania popiołów z biomasy leśnej jako alternatywnego źródła elementów odżywczych w warunkach malejącej zdolności gleb do naturalnego ich uzupełniania. Niezbędnym uzupełnieniem są problemy zmieniającej się współcześnie kondycji lasów w Europie oraz bilans elementów odżywczych związanych w poszczególnych częściach składowych drzewostanów, głównie w odniesieniu do sosny zwyczajnej.

2. Zmieniająca się kondycja lasów w Europie

Dane i wnioski syntezy z monitoringu lasów wykonanej przez ICP Forests (2011) dostarczyły podstawowe nowe informacje dla gospodarki leśnej Europy w przyszłości, w warunkach zmieniającego się klimatu i zmieniającej się

depozycji atmosferycznych zanieczyszczeń, powodujących nasilające się cykle przemian i zagrożeń bioróżnorodności i samoregulacji lasów oraz vitalności drzew w Europie. Zmiany dotyczą dynamiki wody, temperatur i stanów elementów odżywczych w ekosystemach leśnych. Są to czynniki warunkujące pule znajdujących się w obiegu elementów odżywczych roślin.

W systemie wczesnego ostrzegania przed katastrofalnymi zmianami w ekosystemach leśnych ważnym indykátorem jest defoliacja (głównych gatunków drzew leśnych) wskazująca na zaawansowane zagrożenia ich zdrowotności. Odnosi się to szczególnie do przewidywania skutków klimatycznych ekstremalnych zjawisk w relatywnej bliskiej przyszłości, które są przyczynami zagrożeń lasów (ryc. 2). W rozpatrywanym okresie lat 1945–2009 zaznaczył się wyraźny malejący trend opadów w okresie wegetacyjnym i rosnący w okresie zimy, z rosnącą szybkością wysychania gleb podczas wiosny oraz z rosnącymi temperaturami od wiosny. Uwagę zwraca duża częstotliwość lat gorących od roku 2000 poczynawszy.

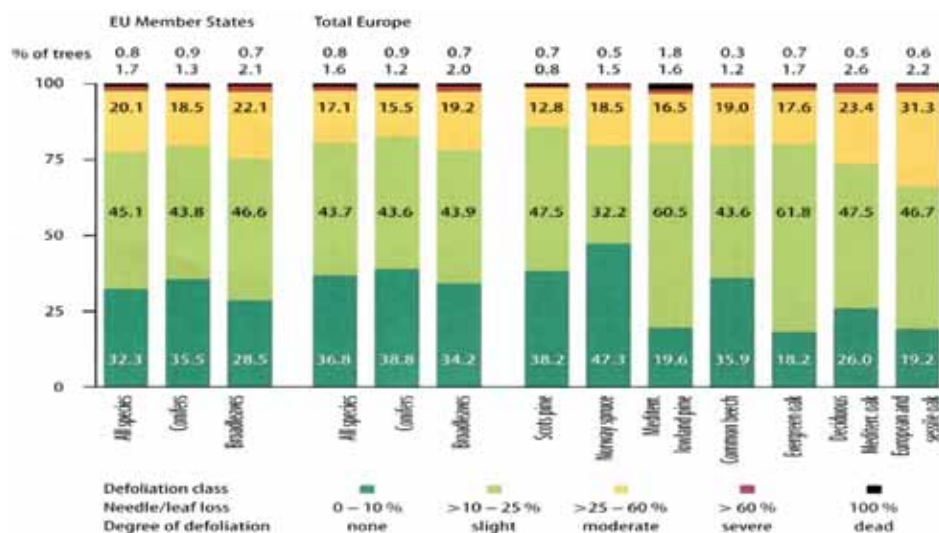


Rycina 2. Występowanie pozytywnych i negatywnych klimatycznych lat wskaźnikowych dla głównych rodzajów drzew leśnych w Centralnej Europie w latach 1945–2006. Reakcje wzrostowe w ostatniej dekadzie wskazują na rosnący trend ekstremalnych kondycji pogodowych.

Źródło: ICP 2011

W okresie lat 1945–2009 wystąpiło więcej negatywnych niż pozytywnych lat wskaźnikowych z ekstremalnymi warunkami wodnymi i temperaturowymi (ryc. 3). Po zimnych i długich zimach z następczymi latami gorącymi i suchymi występowały rozległe ekstremalne redukcje wzrostu drzew. Kombinacje tych dwu ekstremalnych zdarzeń klimatycznych w ciągu jednego roku w okresie 1945–2009 wystąpiły dwukrotnie, w wyjątkowo negatywnych wskaźnikowych latach 1963/1964 i 1975/1976 na przeważających obszarach Europy. Dalsze negatywne lata wskaźnikowe z gorącymi i suchymi latami wystąpiły pięciokrotnie w latach 1948, 2000, 2003, 2004 i 2006, z mroźną zimą w latach 1956 i 1967. Spowodowały one duże szkody w lasach sosnowych, świerkowych i szczególnie bukowych oraz dębowych (ryc. 3). Największe przyrosty biomasy natomiast stwierdzono w latach wskaźnikowych po-

zytywnych 1946/1947, 1966/1967, 1996/1997, 2000/2001 z umiarkowanie zmienionymi lub normalnymi warunkami wodnymi w glebach.



Rycina 3. Średnia procentowa defoliacja głównych gatunków lasotwórczych w lasach Europy na podstawie kontynuacyjnych danych

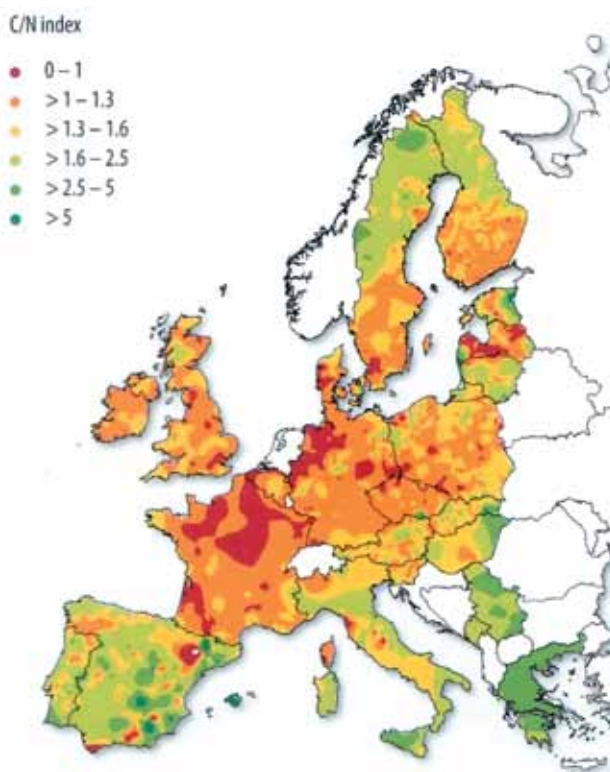
Źródło: ICP 2011

Indykacja defoliacji w Europie wykazała, że w roku 2010 z badanych drzew 19,5% miała w koronach straty ponad 25% igieł lub liści. Zakwalifikowano je jako zdrowotnie zagrożone lub martwe. Wśród głównych najbardziej zagrożonych lub martwych drzew gatunków lasotwórczych znalazły się dęby szypułkowy i bezszypułkowy w 34,2% (ryc. 4).

pH gleb pozostawało stabilne na 57% z ponad 2000 punktów badań. Jednak w ekstremalnie kwaśnych glebach z $\text{pH} \leq 4.0$ nastąpiło odkwaszenie, w glebach z $\text{pH} \geq 4.0$ stwierdzono wzrost zakwaszenia. W następstwie zmian pH znacząco wzrosło w glebach kwaśnych wysycenie zasadami gleb. Zmalało natomiast w glebach wysyconych zasadami powyżej 20%. Ogólnie zmalał procentowy udział gleb o niskiej pojemności buforowej w okresie badań – z 48 do 28%.

Kwaśna depozycja S i N spowodowała zakłócenia obiegu chemicznego w lasach w ostatnich dekadach. Ważniejsze elementy odżywcze, do których należą kationy zasadowe, buforujące gleby przed kwaśnymi opadami, zostały wymyte z mineralnych poziomów w górnej części profilu glebowego w większości regionów Europy. Ogólnie zmalało wysycenie kationami zasadowymi górnych, przypowierzchniowych i podpowierzchniowych poziomów gleb. W krajach Europy Zachodniej i Centralno-Zachodniej postępującemu obniżaniu pH gleb kwaśnych zapobiegano przez systematyczne wapnowanie lasów. W lasach Polski kwasowość wzrosła na całej głębokości profilu glebowego.

Odtworzenie wysycenia gleb kationami zasadowymi do poziomu okresu przedprzemysłowego będzie trwało przez liczne dekady, o ile w ogóle powstaną warunki sprzyjające temu procesowi. Istnieją wielkoobszarowe niezrównoważenia bilansów składników odżywczych w glebach leśnych spowodowane zmniejszeniem dostępności zasadowych kationów i wzrastającą dostępnością N w roztworze glebowym oraz CO₂ z powietrza atmosferycznego. Proces ten może mieć bezpośrednie negatywne skutki w odżywianiu lasu, włącznie z następczym wzrostem podatności lasów na patogeny i zaraż. Wskaźnikiem zagrożenia są dominujące w lasach Europy środkowej obniżone stosunki C:N<16:1, w Niemczech i Francji na dużych obszarach nawet C:N<10:1 w poziomach organicznych gleb (ryc. 4).



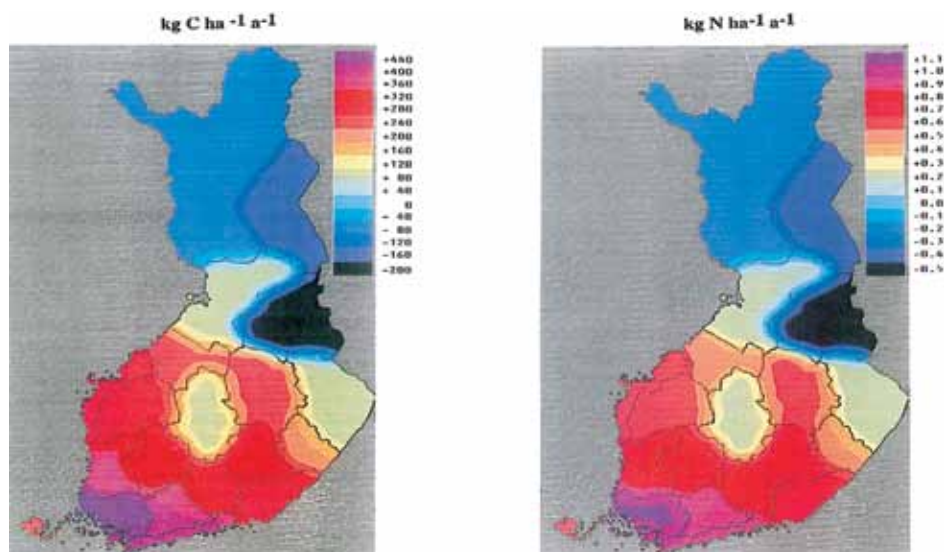
Rycina 4. Zróżnicowanie stosunków C:N w lasach Europy wskazujące na niezrównoważenia elementów odżywczych spowodowane imisją azotu z powietrza atmosferycznego

Źródło: ICP 2011

Zwiększenie objętości drewna na hektar stwierdzono w centralnej Europie i w Alpach. Zmniejszenie natomiast w południowej i północnej Europie. Zatem akumulowana w czasie biomasa tworzy stale zmieniający się zapas N i innych elementów odżywczych, bardzo zróżnicowany w regionach

i strefach geograficznych tego kontynentu. W Finlandii np. od wczesnych lat 1920 wielokrotnie wykonywane inwentaryzacje lasu w 20 regionach geograficznych były podstawą określenia zmian zapasów C i N w masie drewna strzał z korą w okresie od 1950 do 1990 r. W regionach od środkowej do skraj południowej części tego kraju przyrost zapasów C wynosił od 0 do $+440 \text{ kgC ha}^{-1}\text{rok}^{-1}$. W regionach środkowowschodniej części zmalał od 0 do $-200 \text{ kgC ha}^{-1}\text{rok}^{-1}$ i w północnej zmalał od 0 do $-40 \text{ kgC ha}^{-1}\text{rok}^{-1}$. Dla związanego N zakres zmian odpowiednio wynosił od $+1,2$ do $-0,5 \text{ kgN ha}^{-1}\text{rok}^{-1}$ (Kauppi i in. 1995, ryc. 5).

Często polepszenie lub pogorszenie wzrostu biomasy drzew jest bezpośrednią reakcją na zmiany klimatu i ekstremalne stany powietrza atmosferycznego. Na terenach Europy zapas drewna grubego na wielu powierzchniach wynosi $300\text{--}600 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$, waha się jednak znacząco od 0 do $1310 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$. W Polsce średni zapas grubizny drewna jest stosunkowo niższy, waha się przeważnie od 150 do $450 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$. Średnie przyrosty roczne w lasach Europy wahają się od 0 do $28 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{rok}^{-1}$. W Polsce szacunkowo wzrosły od $5,1 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{rok}^{-1}$ w okresie 1967–1978 do $9,1 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{rok}^{-1}$ w latach 2000–2010 (Borecki i Dawidziuk 2011). Znacznie więc wzrosło od lat zapotrzebowanie drzewostanów na wodę i elementy odżywcze.



Rycina 5. Zakresy zmian zapasów C i N w drewnie strzał z korą w latach 1950–1990 w poszczególnych regionach geograficznych Finlandii

Źródło: Kauppi i in. 1995

Efekty zmian klimatu oraz dostępności elementów odżywczych w glebach na przełomie tysiącleci stały się w eksploatowanych lasach bardziej odczuwalne. Wzrastała w związku z tym potrzeba naukowego wyjaśnienia

bardzo delikatnych, lecz znaczących problemów możliwości adaptacji zagospodarowanych ekosystemów leśnych do zachodzących zmian klimatu i ich chwilowych stanów ewolucyjnych do celów diagnostycznych. Wiedza o zaawansowaniu strat bioróżnorodności na obszarze Europy w ogóle do około 2010 r. sugeruje możliwość zmniejszenia bioróżnorodności biologicznej także w ekosystemach leśnych. Szczególnie współczesna strategia ekonomii zielonej i przewidywana, aczkolwiek nie sprawdzona energetyczna efektywność zasobów biomasy już spowodowały trend wzrostowy zapotrzebowania na leśną masę bioenergetyczną. Oznacza to potencjalne zwiększanie eksploatacji lasu, przy zupełnie nie rozpoznanej reakcji warunków siedliskowych na taką dodatkową eksploatację.

3. Wpływ pozyskania biomasy leśnej na ekocykl elementów odżywczych

Las jako system regulujący zaopatrzenie w elementy odżywcze

Z punktu widzenia teorii systemów przyrodniczych (von Bertalanffy 1984, Riedl 2000) *las składa się ze zbiorów określonych przestrzennych struktur i funkcji organizmów żywych, ożywionej organicznej materii i ożywionych związków mineralnych oraz wody, zlokalizowanych przy powierzchni ziemi, rozwijających się w określonych warunkach makro- i mezoklimatu*. W jego składzie znajdują się struktury i funkcje zlokalizowane nad powierzchnią lądów w dolnej części atmosfery, w troposferze i bezpośrednio na styku w pedosferze pod powierzchnią lądów. Nieustannie i nierozłącznie znajdują się one w oddziaływaniu kompleksu funkcjonujących interakcji układu ekologicznego nazywanego *ekosystemem leśnym*.

W tym systemie lasowe fito- i zoocenozy pobierają niezbędne dla życia i rozwoju elementy odżywcze i wodę z ich środowiska bytowania nazywanego *siedliskiem*. Większość elementów (P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Al, Mn, Zn i inne) pochodzi z mineralnych i organicznych zasobów środowiska pedosfery bezpośrednio pod powierzchnią ziemi, składającej się z mozaik geograficznie zróżnicowanych areatów glebowych, nazywanych *polipledonami*. Z zasobów troposfery pochodzą natomiast gazowe formy CO₂ i N, podstawowe elementy składowe materii organicznej. O ile gazowe CO₂ i N współcześnie są zasobami odnawialnymi i łatwo dostępnymi z powietrza atmosferycznego, o tyle mineralne elementy odżywcze w glebach są trudnoodnawialne i wyczerpywalne. Niewielki na ogół zasób elementów odżywczych dostępnych bezpośrednio w roztworach glebowych jest ciągle uzupełniany na drodze ich chemicznego i biochemicznego uwalniania w ukorzenionej części profilu glebowego w biochemicznych i chemicznych procesach rozkładu cząstek mineralnych oraz z rozkładu zakumulowanej w niej materii organicznej nazywanej *próchnicą glebową*.

Nowsze badania wykazały, iż istotną rolę w udostępnianiu pierwotnych elementów odżywczych do ekocyklu, z potencjalnych ich zasobów w mineralnych cząstkach kwaśnych gleb, głównie z procesami bielicowania, mają grzyby, ekto- i endomikoryzowe (Tylev 1992, Jongmans i in. 1997, van Breemen i in. 2000) pospolite w borealnych lasach Europy. Nadmierne odkwaszanie przez człowieka jednak, spowodowane „nadkompensacją” wapnem lub dolomitom, skutkowało niekorzystnym przesunięciem od grzybów do bakterii w biomasie organicznego poziomu (Kreutzer 1995). W tym poziomie strzępki ektomikoryz przekazują przytransportowane z poziomów eluwialnego i iluwialnego uwalniane z cząstek mineralnych elementy P, K, Mg, Ca i inne do korzeni drzew leśnych (van Breemen i in. 2000). Wiadomo również, że fizjologiczna aktywność grzybów mikoryzowych jest regulowana delikatnymi stanami nadmiarowymi i niedoborowymi fosforu i azotu w powierzchniowych i podpowierzchniowych poziomach glebowych. Ma to istotne znaczenie w zaopatrzeniu drzew w asymilaty i wpływa decydująco na zdrowotność drzew leśnych (Lyr i in. 1967). Według I. Ingestada i G. I. Ågrena (1995) drzewa znajdują się w stanie stabilnym (*steady-state*) wówczas, gdy stężenia roślinnych elementów odżywczych pozostają *constant* w czasie. W tych warunkach drzewa pozostają w stanie płynnego zrównoważenia, samorównoważonego przez mechanizmy zwrotne w określonym modelu alokacji elementów odżywczych w ich organach. W warunkach naturalnych limitowanie elementów odżywczych zawsze modyfikuje te równowagi tak dalece, że drzewa rozwijają się i pozostają zdrowe w określonych zakresach poziomów ich limitacji, np. azotu (Ingestad i Lund 1979) i fosforu (Ericsson i Ingestad 1988). Poważne problemy w zagospodarowaniu lasów mogą tworzyć straty P i Ca wynoszonych z biomasą, przez długie okresy czasu słabo uzupełnianych, szczególnie w przypadkach siedlisk z glebami głęboko piaszczystymi (Miller i in. 1980, 1995, Van Miegroet 1990).

Stosunki ilościowe elementów odżywczych w organach drzew

W siedlisku boru świeżego (brusznicowo-mszystego) w regionie podmoskiewskim drzewostany sosnowe 10-, 30-, 50-, 80-, 100- i 150-letnie, według A.A. Mołczanowa (1974) uwsteczniały w ich nadziemnych i podziemnych organach łącznie od 356 do 3680 kg·ha⁻¹ elementów odżywczych (Kowalkowski 1983). Drzewostany te, jak wynika z podobnych stosunków ilościowych elementów odżywczych w ich organach (igliwie, drobne gałęzie, grube gałęzie, strzały, korzenie), przedstawionych w tabeli 2, niezależnie od ich wieku rozwijały się w zrównoważonych warunkach zaspokajania ich potrzeb odżywiania. Stosunkowo duży udział Al w igliwii wskazuje na silnie kwaśne środowisko gleb bielicowych z korzystnym zaopatrzeniem w N, K, Ca i P, z niedoborami Mg, w ich charakterystycznych zróżnicowanych układach ilościowych dla poszczególnych organów badanych sosn (tab.2). W okresie wzrostu tych drzewostanów masa poszczególnych organów zmieniała się w stosunku do całkowitej biomasy. Miąższość strzał w poszczególnych gru-

pach wiekowych zmieniała się niewiele, od 24,5% w wieku 10 lat do 27,4% w wieku 100–150 lat. Wielokrotnie natomiast malał udział masy igieł, od 34,5% do 2,2% w wieku 10 i 100–150 lat. Udział drobnych gałęzi wzrastał od 2,6% do 29,3% w wieku 10 i 150 lat. Masa związanych w całkowitej biomasie elementów odżywczych wzrosła w rozpatrywanym rozdziale wiekowym około 10-krotnie. Porównywalne stosunki ilościowe związanych w biomasie elementów odżywczych występują także w drzewostanach sosnowych zachodniej i północnej Europy (Kreutzer 1972, Helmi-Saari 1995).

Tabela 2. Stosunki ilościowe elementów odżywczych w organach sosny zwyczajnej w różnych okresach wzrostu

Wiek	Część drzewa	Szeregi ilościowe elementów odżywczych	$\Sigma \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$	Drzewostan $\Sigma \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$
10	igliwie	N>K>Ca>Al>P>S>Mg>Si>Mn>Fe	123	
30		N>K>Ca>Al>P>S>Mg>Si>Mn>Fe	170	
50		N>K>Ca>Al>P>S>Mg>Si>Mn>Fe	158	
80		N>K>Ca>Al>P>S>Mg>Si>Mn>Fe	117	
100		N>K>Ca>Al>P>S>Mg>Si>Mn>Fe	101	
10	drobne gałęzie	Ca>N>S>Mg>K>Al>P>Mn>Si>Fe	9	132
30		Ca>N>K>S>Mg>Al>P>Mn>Si>Fe	176	346
50		Ca>N>K>S>Mg>Al>P>Mn>Si>Fe	342	500
80		Ca>N>K>S>Mg>Al>P>Mn>Si>Fe	584	701
100		Ca>N>K>S>Mg>Al>P>Mn>Si>Fe	733	834
10	grube gałęzie	Ca>N>S>K>Mg>P>Al>Mn>Si>Fe	34	166
30		Ca>N>S>K>Mg>P>Al>Mn>Si>Fe	205	551
50		Ca>N>S>K>Mg>P>Al>Mn>Si>Fe	467	967
80		Ca>N>S>K>Mg>P>Al>Mn>Si>Fe	718	1419
100		Ca>N>S>K>Mg>P>Al>Mn>Si>Fe	805	1639
10	strzały	N>Ca>K>S>Mg>Al>P>Mn>Si>Fe	87	253
30		N>Ca>K>S>Mg>Al>P>Mn>Si>Fe	272	823
50		N>Ca>K>S>Mg>Al>P>Mn>Si>Fe	410	1377
80		N>Ca>K>S>Mg>Al>P>Mn>Si>Fe	643	2062
100		N>Ca>K>S>Mg>Al>P>Mn>Si>Fe	762	2401
10	korzenie	N>Ca>K>P>Mg>Al>S>Mn>Si>Fe	102	355
30		N>Ca>K>P>Mg>Al>S>Mn>Si>Fe	212	1035
50		N>Ca>K>P>Mg>Al>S>Mn>Si>Fe	257	1634
80		N>Ca>K>P>Mg>Al>S>Mn>Si>Fe	362	2424
100		N>Ca>K>P>Mg>Al>S>Mn>Si>Fe	397	2798

Tabela 3. Średnia masa igliwia oraz zawartość elementów odżywczych w bliskorębnych i rębnych drzewostanach sosnowych różnych bonitacji i w różnych warunkach siedliskowych w Polsce

Typ siedliskowy lasu	Wiek Bonitacja	Zadrzewienie Zwarcie	Średnia masa igliwia		Średnia masa elementów odżywczych kg·ha ⁻¹ SM igieł												P:N
			świeżego	suchego	N	P	K	Ca	Mg	Al	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Σ	
Bśw, BMw	83 – 115 I – III	0,7 – 1,0 0,5 – 0,9	7268	2989	46,92	4,48	17,04	6,57	3,59	0,77	0,44	1,74	0,18	0,01	0,06	81,80	0,095
Bśw	105 – 120 II	0,7 – 1,0 0,7	10098	4152	65,19	6,23	23,67	9,13	4,98	1,07	0,61	2,42	0,24	0,02	0,09	113,65	0,095
Bśw	78 – 120 III	0,6 – 0,1 0,6 – 0,8	7823	3217	50,51	4,83	18,34	7,08	3,86	0,83	0,47	1,87	0,19	0,02	0,07	88,07	0,096
Bs→Bśw	77 – 120 IV	0,5 – 0,9 0,5 – 0,9	6360	2623	41,18	3,93	14,95	5,77	3,14	0,68	0,36	1,53	0,15	0,01	0,06	71,76	0,095
Średnio					50,95	4,87	18,50	7,13	3,89	0,84	0,47	1,89	0,19	0,02	0,07	88,82	0,095

Źródło: Kowalkowski 1983

Podobnie jak wszystkie drzewa lasotwórcze, również sosna zwyczajna ma zdolność rozwijania przystosowanych do lokalnego klimatu i mozaik polipledonów zoptymalizowanych poziomów bioekstrategii krążenia i wiązania elementów odżywczych i wody (van Breemen 1993, 1995). Ich odzwierciedleniem, między innymi, są gonność, grubość pnia, rozkład gałęzi w koronie, jakość i ilość drewna (Miklaszewski 1924, Lyr i in. 1967), masa i skład chemiczny organów asymilacyjnych, system korzeniowy, niezależnie od jego typu dostosowany do gleby (Kopp 1956, Kowalkowski i Czarnota 1962, Kowalkowski 1978, 1983). Przykładem zdolności przystosowawczej do warunków siedliskowych i płynnego zrównoważenia biostrategii są zróżnicowane średnie masy igieł i zawartości w niej elementów odżywczych w 25 drzewostanach sosny zwyczajnej I–IV klasy bonitacji w siedliskach Bs, Bśw, BMśw w Polsce, przedstawione w tabeli 3. Sucha masa igieł wynosi od 2623 kg·ha⁻¹ w IV klasie bonitacji do 4152 kg·ha⁻¹ w II klasie bonitacji. Całkowita masa 11 badanych elementów odżywczych odpowiednio wynosi od 71,8 do 113,65 kg·ha⁻¹. Szereg ilościowy elementów odżywczych



jest jednak identyczny we wszystkich klasach bonitacji, podobnie wskaźnik stosunków ilościowych P:N wynoszący 0,095 (tab. 2), niezależnie od warunków siedliskowych. Znajdujemy tu potwierdzenie funkcjonowania określonej gatunkowej bioekstrategii pobierania i wiązania elementów odżywczych z gleb w zróżnicowanych geograficznie warunkach siedliskowych. Te zrównoważone strategie są zakłócanie nagłymi zdarzeniami eksploatacyjnymi, w warunkach tradycyjnej gospodarki przez pozyskiwanie grubizny (strzały z korą i grube gałęzie).

Straty elementów odżywczych wskutek eksploatacji biomasy

Posługując się danymi A.A. Mołczanowa (1974) w 80 do 150-letnich drzewostanach sosnowych, z powierzchni jednego ha usuwa się z grubizną (strzały z korą i grube gałęzie) z siedliska bezpowrotnie 216–357 kg N, 27–29 kg P, 135–217 kg K, 136–215 kg Ca, 41–54 kg Mg, 13–17 kg Mn, łącznie 10 badanych elementów (Tab. 2) o masie 1356–2032 kg·ha⁻¹, co obejmuje 55–56% całkowitej związanej w drzewostanie ich masy. W drobnych gałęziach i karpinach sosen o wieku 80–150 lat zakumulowało się 322–806 kg N, 60–80 kg P, 177–269 kg K, 304–502 kg Ca, 52–82 kg Mg, 24–60 kg Mn na 1 ha powierzchni, które powinny pozostać w siedlisku leśnym. W przypadku proponowanego współcześnie pozyskania całkowitej biomasy drzewostanu sosnowego będzie to 690–1053 kg N, 113–159 kg P, 400–616 kg K, 693–1079 kg Ca, 136–200 kg Mg, 50–70 kg Mn, o ogólnej masie elementów 2423–3679 kg·ha⁻¹ nieodwracalnie usuniętych z siedliska leśnego. Spowoduje to załamanie ukształtowanego naturalnego systemu krążenia elementów odżywczych i wody. Jego pełne odtworzenie do dotychczasowego poziomu przez nowy następczy drzewostan będzie niemożliwe.

W efekcie znaczącego zubożenia siedlisk w elementy odżywcze, szczególnie P, K, Ca, Mg, Mn, także wymywania z gleb w fazie odradzania drzewostanu, nastąpi zwiększona ich alokacja wraz z asymilowanym C do korzeni, zmniejszona w strzałach, gałęziach i organach asymilacyjnych (van Breemen 1995). Odnawiający się drzewostan w takich warunkach edaficznych będzie podatny na niekorzystne oddziaływania zewnętrznych czynników chorobotwórczych.

Postępujące od lat 80. XX wieku zmiany klimatu i silne imisje z powietrza atmosferycznego zwiększyły na terenach Europy Środkowej bioprodukcję leśną o średnio 78% (Borecki i Dawidziuk 2011, ICP Forests 2011). Z tymi zmianami wiąże się znaczący ekwiwalentny wzrost zapotrzebowania drzewostanów na elementy odżywcze. Zatem ich ubytki związane z pełną eksploatacją biomasy faktycznie są już znacząco większe niż rozpatrywane w okresie lat 1970-tych.

Ekologiczne warunki zrównoważonego zarządzania siedliskiem leśnym

Konieczne staje się podejmowanie czynności wprowadzających płynnych modyfikacji obiegu materii lub energii w fazie zrębu, zabezpieczających następczemu pokoleniu lasu odpowiednie potencjały bieżącej ciągłości żyzności gleb, w powiązaniu z ekologicznymi i krajobrazowymi walorami siedlisk. Zgodnie ze znanymi w literaturze leśnej zaleceniami powinno dążyć się do przybliżania wytwarzanej masy drewna do poziomu zrównoważenia z warunkami siedliskowymi ekosystemu leśnego, bez zagrożenia jego innych funkcji, szczególnie bez antropogenicznej modyfikacji jego naturalnych trwałych składników (Kimmins 1974, Kreutzer 1979, van Breemen i in. 1983, Kowalkowski 1983, van Goor i in. 1985, Brahy i in. 2000, Ingerslev i in. 2000, Augusto i in. 2000, 2002). Do działań o istotnym dla rozwoju lasu znaczeniu bioekologicznym należą:

- ❑ maksymalna ochrona naturalnej sylwigenicznej budowy profilu glebowego ze związanymi asocjacjami makro- i mikroflory oraz mezofauny glebowej podczas prac zrębowych i odnowieniowych, zapewniająca ciągłość obiegu elementów odżywczych i zachowanie ciągłości pokrywy glebowej, bez konieczności jej energochłonnego odnawiania przez kształtujący się nowy drzewostan;
- ❑ na zrębie pozostawienie drobnych gałęzi z organami asymilacyjnymi, karpiny z korzeniami i w miarę możliwości kory z grubizny, zapewniających ciągłość i dalszy zrównoważony rozwój naturalnych właściwości fizycznych, chemicznych i biologicznych pokrywy glebowej bezpośrednio po wyрубie, zabezpieczających bez strat energii przez okres do 30–40 lat stopniowe udostępnianie odnawiającemu się drzewostanowi elementów odżywczych, włącznie z azotem, w płynnie zrównoważonym włączaniu ich do ekocyklu;
- ❑ w siedliskach leśnych z $\text{pH} \leq 4,0$ w powierzchniowych i podpowierzchniowych poziomach glebowych, kształtowanie docelowych odnowień,

w miarę możliwości w biogrupach mieszanych, posiadających naturalną zdolność stymulowania rozwoju korzystnych ekocykli, szczególnie odżywiania azotem i fosforem, przy wykorzystaniu rankingu głównych gatunków lasotwórczych według malejącego ich wpływu na zakwaszenie glebowego środowiska: (*Picea abies*, *Picea sitchensis*, *Pinus sylvestris*) $\geq$ (*Abies alba*, *Pseudotsuga mensiensis*) $\geq$ (*Betula pendula*, *Fagus sylvatica*, *Quercus petraea*, *Quercus robur*) $\geq$ (*Acer platanoides*, *Carpinus betulus*, *Fraxinus Excelsior*, *Tilia cordata*);

- ❑ ustalenie potrzeb i uzupełnienie do zrównoważenia na optymalnym w danym siedlisku poziomie obiegu elementów odżywczych przez kompensacyjne nawożenie odpowiednimi dawkami elementów odżywczych limitujących i stymulujących wzrost i rozwój młodego drzewostanu, na podstawie wyników kompleksowej analizy organów asymilacyjnych i gleb do głębokości 40 cm;
- ❑ powstająca w cięciach pielęgnacyjnych cetyna (korony drzew z drobnymi gałęziami) powinna pozostać w drzewostanie, jako bieżące wzbogacanie obiegu elementów odżywczych w siedliskach i stymulator wzrostu drzewostanu.

Skład gatunkowy warstwy drzew w lesie nie jest bezpośrednio głównym czynnikiem wpływającym na straty elementów odżywczych przy pozyskiwaniu biomasy, a jest nim sposób selekcyjnego jej użytkowania i następnie proces odnawiania lasu, ustalone przez gospodarza ekosystemu leśnego. Dla zachowania ciągłości funkcji spełnianych przez lasy i ich płynnej stabilizacji z powstającej użytkowej biomasy, w wyniku przeprowadzanych cięć pielęgnacyjnych i zrębów zupełnych, w lesie powinny pozostać drobne gałęzie z organami asymilacyjnymi i karpy. Ich masa w grupach wiekowych od 10 do 150-letniego lasu waha się od 66 do 44% całkowitej pozyskanej biomasy.

Według danych z literatury (Małczanow 1974, Kowalkowski 1983, Kreutzer 1975) są to: 66% w wieku 10 lat, 54% w wieku 30 lat, 46% w wieku 50 lat i 44–45% w wieku 80–150 lat.

Według R. Gornowicza i Z. Pilarka (2012) samo pozyskanie całych części nadziemnych sosny spowoduje, w porównaniu z tradycyjnym pozyskaniem znaczący wzrost ubytków elementów odżywczych: N – 46%, P – 60%, K – 95%, Ca – 25%, Mg – 27%.

Badania Olejarskiego (2003) na pożarzyskach wielkoobszarowych, gdzie spaleniu uległa część nadziemna drzewostanów i poziom organiczny gleb wykazały, że pożar w siedliskach borowych spowodował załamanie ukształtowanego naturalnego ekocyklu i degradację gleb, pomimo dopływu elementów odżywczych ze spopielonej biomasy nadziemnej i poziomu organicznego. Jedną z przyczyn degradacji był niedobór azotu.

O ile jednak straty elementów odżywczych w ekocyklu mogą być zrekomensowane nawożeniem kompensacyjnym, o tyle utracona całkowita biomasa nadziemna ma swoje konsekwencje w degradacji trudno odnawialnych zasobów próchnicy w glebach i związanej z nią aktywności organizmów glebowych.

W licznych przypadkach problemy żywieniowe lasu, szczególnie w siedliskach z natury z glebami ubogimi lub zubożałymi w elementy odżywcze, mogą być rozwiązywane przez odpowiednie dostosowanie lub zmiany systemu zarządzania gospodarką leśną.

Wskaźniki stanu zaopatrzenia lasu w elementy odżywcze

Pomimo licznych badań nie sprecyzowano dotąd jednoznacznie kryteriów lub wskaźników zapotrzebowania lasu na uzupełnienie ekocykli elementów odżywczych lub możliwości odtwarzania ich obiegu w ekosystemie leśnym zdegradowanym lub zniszczonym przez człowieka.

Tabela 4. Stosunki ilościowe głównych elementów odżywczych P, K, Ca, Mg do N i Al jako wskaźniki stanu odżywienia w poszczególnych organach sosny zwyczajnej wieku 10–100 lat

Część drzewa	P/N	K/N	Ca/N	Mg/N	Ca/Al	Mg/Al
Igliwie	0,11–0,09	0,40	0,26	0,065–0,066	2,16	0,53–0,54
Drobne gałęzie	0,09	0,49–0,50	1,19–1,21	0,18	10,89–11,03	1,66–1,62
Grube gałęzie	0,21	0,58–0,59	1,67–1,71	0,29	8,19–8,12	0,29–0,30
Strzały	0,08–0,10	0,61–0,64	0,62–0,63	0,15–0,16	6,30–6,48	1,52–1,63
Korzenie	0,39–0,40	0,81–0,82	0,85–0,87	0,18	5,40–5,44	1,14

Źródło: Mołczanow 1974

Do bardziej przydatnych wskaźników należą stosunki ilościowe najważniejszych makroelementów P, K, Ca, Mg, do N, który decyduje łącznie z P o potencjalnym poziomie zaopatrzenia drzewa w asymilaty, a także stosunki ilościowe Ca i Mg do Al i Fe wskazujące na poziom ich dostępności w warunkach określonego stanu kwasowości gleb i wysycenia ich kompleksu sorpcyjnego zasadami. W masie organicznej drzewa wymienione stosunki ilościowe są wskaźnikami zaspokojenia poszczególnych organów drzewa na elementy odżywcze w określonych lokalnych warunkach siedliskowych. W tabeli 4 zestawione wskaźniki dla sosny zwyczajnej mają znacząco zróżnicowane zakresy dla P, K, Ca, Mg i N od 0,065 do 1,71. W całym drzewie są one rozdzielne i niezależne od wieku drzewa, a mianowicie: najniższe od 0,065–0,29 dla Mg/N, niskie od 0,09 do 0,40 dla P/N, średnie od 0,40 do 0,82 dla K/N i najwyższe od 0,26 do 1,71 dla Ca/N.

Najważniejszą rolę w życiu drzewa spełniają korzenie. We współdziałaniu z grzybami mikoryzowymi uwalniają, transportują, nagromadzają one selektywnie z gleby potrzebne do wytwarzania asymilatów niezbędne elementy odżywcze i wodę. Charakterystyczne są w nich na ogół wysokie wskaźniki stosunków P, K, Ca, Mg/N i niższe wskaźniki Ca, Mg/Al (tab. 4). Drugim równie ważnym składnikiem budowy drzewa są organy asymilacyjne w koronie drzew, przetwarzające, dostarczane z korzeni w strzałach i gałęziach,

odżywcze „surowce glebowe” w asymilaty, przy udziale energii słonecznej oraz C i N z powietrza atmosferycznego. Wskaźniki stanu odżywienia charakteryzują się w nich stosunkowo najniższymi stosunkami P, K, Ca, Mg/N oraz Ca i Mg/Al (tab. 4), potwierdzającymi ukierunkowaną selektywność dostarczania i alokacji elementów odżywczych z dominacją N. Przy udziale odpowiedniego stężenia P decydują one o poziomie ilościowym i jakościowym wytwarzania asymilatów. Grube gałęzie i drzewo strzał z korą charakteryzują się średnimi wskaźnikami P/N i K/N, bardzo wysokimi i wysokimi Ca/N oraz wysokimi Mg/N. Drobne gałęzie natomiast mają podobne do igieł stosunki P/N, oraz do grubych gałęzi K/N, Ca/N i do korzeni Mg/N.

Z powyższego można wnioskować, iż ilościowo-jakościowo składy elementów odżywczych najbardziej sprzyjające zachowaniu ciągłości funkcjonowania ekocyklu elementów odżywczych w siedliskach leśnych mają korzenie w części podziemnej, a w części nadziemnej drzewa-organy asymilacyjne i drobne gałęzie. Te składniki drzewa zatem powinny pozostać w siedlisku leśnym jako potencjalny naturalny wielofunkcyjny wewnętrzny regulator funkcjonowania ekosystemu leśnego. Mają one jednocześnie wraz z glebami wartość wskaźnikową stanu odżywienia drzewostanu leśnego.

4. Popiół z biomasy leśnej i możliwości jego wykorzystania

Doświadczenia gospodarki leśnej w recyklingu popiołu z biomasy

Według Stiga Emilssona (2005) problemy środowiskowe powstają, gdy zakłócony lub przerwany zostanie ekocykl, jako następstwo problematycznych zmian (zmniejszenia lub zwiększenia) stężeń elementów odżywczych w powietrzu atmosferycznym, w glebach lub wodach. W skutkach zasada ekocyklu ma podstawowe znaczenie we wszystkich środowiskowych przedsięwzięciach człowieka. Pochodzący ze spalonego paliwa leśnego popiół składa się z elementów pochodzących z gleb leśnych, częściowo także z powietrza. Jeśli powróci do ekosystemu leśnego, nastąpi dopełnienie niepełnego ekocyklu elementów, a nowa energia wiązana w powstającej leśnej biomasy na drodze fotosyntezy może być ponownie zużytkowana. Jedynym elementem nie powracającym z popiołem leśnym jest azot. Dopełniony ekocykl umożliwia osiągnięcie kompensujących równoważących warunków odniesionych do energii, klimatu, zakwaszenia gleb i bioróżnorodności eksploatowanego arealu ekosystemu leśnego.

Wysoka pojemność buforowa kwasowości, odpowiadająca 50–70% czystego Ca, oraz zawartość 10–30% Ca w popiele leśnym, zazwyczaj po kilka procent K i Mg oraz około 1% P, czyni go przydatnym do kompensowania strat tych elementów i kwasowości w glebach leśnych. Większość tych elementów ma w glebach leśnych zdolność buforowania jonów H^+ , występuje

w postaci rozpuszczalnych soli, rzadziej w formie tlenkowej, węglanowej i krzemianowej. Popiół powstający ze spalania drewna ma przeważnie pH 9–13. Węgiel organiczny i węglanowy oraz N w postaci gazowej ulatniają się do powietrza podczas procesu spalania. Składnikami popiołów są również pobierane przez drzewa z gleb i powietrza atmosferycznego metale ciężkie i elementy radioaktywne.

W Finlandii od lat 30 XX w. z powodzeniem zalesia się sosną duże obszary gleb torfowych bogatych w azot, z niezrównoważonym bilansem elementów odżywczych, wywołującym zakłócenia wzrostu i obumierania drzew. Na zalesianych torfowiskach jednorazowe kompensacyjne nawożenie 4 tonami popiołu drzewnego równoważy niedobory K i P na okres ponad 30-letni, z trwałym zwiększeniem przyrostu masy drewna $2\text{--}4\text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$. W południowej Szwecji natomiast recykling popiołu z biomasy leśnej do ekosystemu leśnego jest traktowany jako środowiskowa miara kompensacji usuniętych z drewnem elementów odżywczych i zmniejszonej pojemności buforowej kwasowej oraz przeciwdziałania naturalnemu historycznemu zakwaszeniu gleb przez iglaste i liściaste lasy. W zachodnich europejskich krajach i w USA od dziesięcioleci stosuje się popiół drzewny lub jego mieszaniny ze zmielonym dolomitom do przeciwdziałania zakwaszania gleb przez kwaśne deszcze, szczególnie w terenach ze zbiornikami retencyjnymi powierzchniowymi i podpowierzchniowymi (Hakkila 1989, Greene 1988, Ingerslev i in. 2001, Pitman 2006).

W Danii większość doświadczeń z kompensacyjnym nawożeniem od lat 1960. realizowano na zalesionych świerkiem piaszczystych wrzosowiskach zachodniej Jutlandii, bardzo ubogich w elementy odżywcze. W mniejszym zakresie dotyczą one lasów świerkowych innych terenów (Lundberg i Rawusbaek 1992). W założeniu, że zrównoważenie jest docelowe, wyróżniono dla wrzosowisk trzy regiony intensywności gospodarki leśnej:

- ❑ gospodarka leśna niskiego wejścia i niskiego wyjścia (*low-input-low-output*), z pozyskaniem grubizny rzadko naruszającym bilans elementów odżywczych, bez potrzeby zabiegów kompensacyjnych;
- ❑ gospodarka leśna niskiego wejścia i niskiego wyjścia jak powyżej, z okresową obecnością stresorów wejścia (N, kwaśne deszcze), z potrzebą rewitalizacyjnej kompensacji na podstawie analiz gleb i igliwia;
- ❑ gospodarka leśna wysokiego wyjścia, z pozyskaniem prócz grubizny dodatkowej biomasy, z potrzebą regularnego nawożenia, włącznie z popiołem drzewnym.

Doświadczenia ostatnich 40 lat wykazały wysoką witalność nawożonych upraw i drzewostanów świerkowych na wrzosowisku na zewnętrzne żywieniowe stresy, jak depozycja N, soli morskich i kwaśnych deszczy, a także innych abiotycznych czynników (temperatury i susze; Vejre i in. 2001, Holstein-Jørgensen i Bartholin 1969).

Jednym z najważniejszych celów gospodarki leśnej krajów nordyckich jest zwiększenie witalności drzew przez zrównoważenie statusu odżywcze-

go. W tym kontekście Szwedzka Agencja Ochrony Środowiska (Naturvard-sverket 1991) zdefiniowała następująco pojęcie „witalnego lasu”:

- ☐ drzewa mają zdolność tolerancji na zanieczyszczenia powietrza i inne stresowe zewnętrzne czynniki;
- ☐ gleby są zdolne zapewnić stabilną produkcję leśną przez długie okresy czasu;
- ☐ zagrożenia grzybowe i zarazowe są ograniczone;
- ☐ gleby są nietoksyczne dla żywych organizmów;
- ☐ wymywanie elementów odżywczych jest ograniczone.

Zdolność do wytwarzania dużej objętości pnia niekoniecznie jest równoznaczna z byciem witalnym drzewem (Liljelund i in. 1990). Pojęcie to ma uniwersalne znaczenie i z powodzeniem mogłoby być zastosowane w naszej gospodarce leśnej. Przegląd niedoborów elementów odżywczych i odpowiedzi przyrostowej na nawożenie na mineralnych glebach w nordyckich lasach świerkowych, przedstawiony w tabeli 5, dostosowany do dominujących lasów iglastych i liściastych Środkowej Europy, mógłby być nader pożyteczny w planowaniu i realizacji wyrównania obiegów elementów odżywczych na drodze nawożenia kompensacyjnego. W nordyckich lasach świerkowych elementami tymi są głównie N i P, w lasach Centralnej Europy skład ich będzie zapewne inny, szczególnie w odniesieniu do siedlisk słabych ze zdegradowanymi warunkami glebowymi.

Tabela 5. Przegląd niedoborów elementów odżywczych i skutków wzrostowych na nawożenie na mineralnych glebach w zasięgu nordyckich lasów świerkowych

Właściwość	Kraje				
	Dania Zachodnia	Finlandia	Islandia	Norwegia	Szwecja
Rozległe niedobory elementów odżywczych	P	N	N, P	N	N
Mniej pospolite niedobory elementów odżywczych	N, K	P, B		B, (P)	(B) ^a
Reakcja wzrostowa na nawozy	(N+P+K)	N, N+P+B	N+P	N, B ^b	N, N+B

a – niedobory wywołane nawożeniem N lub wapnowaniem

b – na plantacjach świerkowych centralno-wschodnich suchych areałów

Źródło: Inglerlev i in. 2001

Skład chemiczny popiołu drzewnego

Skład chemiczny popiołu z biomasy leśnej jest bardzo zmienny, zależy od dwu głównych czynników – od gatunków drzew i ich organów oraz od technologicznych procesów spalania biomasy. Na ilość i jakość popiołu drzewne-

go mają wpływ jakość spalanego paliwa i jego pochodzenie kompleksowane mozaikowością polipetonów, oraz warunki klimatyczne. Jak wynika z przykładów w tabeli 6, spalanie różnych asortymentów drewna oraz odpadów papierniczych i mieszanie drewna z torfem dostarcza popioły o zróżnicowanym składzie chemicznym, znacząco odbiegającym ilościowo i jakościowo od popiołów z drewna iglastego i liściastego oraz z kory. Na ogół jednak te różne popioły mają zachowane proporcje ilościowe odpowiadające popiołowi z biomasy leśnego pochodzenia. Generalnie popiół drzewny liściasty jest bogatszy od popiołu z drewna iglastego, lecz uboższy o Ca i Si. Istnieją znaczne różnice między rodzajami sosny, mniejsze natomiast między rodzajami dębów i topoli (tab. 7). Topola pobiera znacznie mniej Ca w porównaniu z dębami i szczególnie brzożami. Jeśli chodzi o organy drzew, popiół pochodzący z gałęzi z organami asymilacyjnymi i z karpiny z drobnymi korzeniami, jest znacznie bogatszy w główne elementy odżywcze niż drewno strzał. Popiół z liści i z kory zawiera 5–10-krotnie więcej tych elementów niż popiół drewna strzał. Wysokie stężenia Ca i Si są w popiele z kory, natomiast Mn, Al i Si – w popiele z drewna. Produkcja masy popiołu z buka, brzoż i sosen jest mniejsza niż ze świerków i osiki.

Tabela 6. Stężenie elementów w popiele różnych zasobów drzewnych (% SM)

Ele- menty	Popiół z opadów drewna z korą		Popiół drewna iglastego		Popiół drewna liściastego		Popiół odpadów papierniczych	Popiół lotny z torfu i drow- na*	Popiół drzewny **
	me- diana	zakres	strzała	kora	strzała	kora	mediana		
Ca	13,2	7,4–33,1	22,4	28,5	19,5	27,1	16,6	12,90	8,09
Mg	1,47	0,7–2,2	4,3	2,8	3,6	2,2	1,07	1,48	0,90
K	2,93	1,7–4,2	12,4	9,8	20,4	12,2	2,57	2,13	4,48
Na	0,24	0,2–0,5	–	–	–	–	0,1	–	0,96
P	0,79	0,3–1,4	2,4	2,8	4,2	3,4	0,39	1,07	0,83
Si	0,56	0,4–0,7	2,3	1,2	2,1	1,1	0,02	–	1,00
Al	2,0	1,5–3,2	v	–	–	–	0,91	–	4,23
Fe	1,51	0,3–2,1	0,8	0,2	0,5	0,6	0,51	–	1,33
Mn	0,67	0,3–1,3	2,9	1,7	0,8	0,6	0,32	–	–
C	–	–	–	–	–	–	25,5	1,97	–
N	<0,1	–	–	–	–	–	–	<0,025	–
pH	12,7	11,7–13,1	–	–	–	–	12,4	12,8	–

* Sadowski 2011 – Elektrociepłownia Białystok; ** Duda i Skorupa 2011 – Elektrownia Połaniec

Źródło: Opracowanie własne na podstawie Pitmana 2006

Tabela 7. Stężenia makroelementów w popiele drzewnym różnych rodzajów drzew w mg·kg⁻¹

Rodzaje drzew	Elementy									
	Mg	Ca	K	Na	P	S	Al	Fe	Mn	Si
Iglaste										
<i>Pinus banksiana</i>	33,2	387	22,5	23,0	12,2	10,4	33,3	35,0	39,0	74,8
<i>Pinus sylvestris</i>	120,0	600	300,0	3–22	30,0	–	1–18	3–15	70,0	–
<i>Picea abies</i>	90,0	700	300,0	–	20,0	–	–	–	90,0	–
<i>Pinus sp.</i>	70,3	290	162,5	0,6	8,4	10,7	4,7	5,8	40,4	–
<i>Tsuga heterophylla</i>	79,0	421	25,3	8,2	9,2	5,6	11,1	9,1	19,0	46,7
Liściaste										
<i>Betula sp</i>	25,3	466	36,3	9,6	12,6	12,8	0,0	20,3	47,0	14,0
<i>Betula pubescens</i>	90,0	500	400,0	7,0	40,0	100	3,0	7,0	90,0	90,0
<i>Acer sp</i>	117,0	402	31,9	16,3	4,8	5,6	20,1	11,9	27,0	46,3
<i>Populus tremuloides</i>	35,5	212	112,5	0,6	11,8	7,0	1,4	2,6	1,4	1,1
<i>Populus sp.</i>	90,9	257	79,3	23,0	9,5	10,2	3,5	3,2	4,5	–
<i>Quercus rubra</i>	52,0	366	60,8	0,8	15,6	18,0	6,8	–	14,9	–
<i>Quercus alba</i>	75,7	314	102,5	–	5,6	12,1	–	0,9	1,4	1,3

Źródło: Pitman 2006

Skład elementowy popiołu z biomasy drzewnej zależy także od temperatury spalania, typu bojlera i wentylacyjnych urządzeń oczyszczających. Klasyfikowany jest dlatego na różne typy o specyficznych przydatnościach do zastosowania w nawożeniach kompensacyjnych w lesie. Generalnie dzieli się na popiół lotny, bardzo droboziarnisty (~200µm), często zawierający wyższe poziomy stężenie metali ciężkich i dwuoksyn, od popiołu dennego, o większych domieszkach ziaren gruboziarnistych, głównie piasku kwarcowego. Amerykańscy autorzy stwierdzili ilościowo-jakościowe różnice popiołów z domowych i komercyjnych bojlerów, zazwyczaj spalających biomasę w 1200°C i powyżej 2000°C. W temperaturach powyżej 800–900°C i 1000–1200°C ulatniają się K i S. Straty K wynoszą od 60 do 90 %, a S – od 7 do 55%. Uważa się, że stężenia Mg, Zn, Mn, P i Si podlegają niewielkim zmianom ze wzrostem temperatury spalania, w stosunku do Ca, który wydaje się być *constans*. Jednak zależnie od rodzaju drzew, np. w przypadku osiki, wartości Si stabilizują się powyżej 800°C. Do tej temperatury maleją zawartości K i B. Spadek zawartości węglanów z 63% do 51% przy temperaturach wzrastających do 1093°C jest uzależniony od powstania węglanów Ca i K w temperaturach < 900°C. Powyżej 1300°C powstają tlenki Ca i Mg i inne związki metali. Skład popiołu jest znacząco zmieniany w obecności Si, Mn, Fe lub Al, które mogą tworzyć tlenki wchodzące w alkaliczne związki uwsteczniające elementy w spiekach ceramicznopodobnych w złożu popiołu. W temperatu-

rach powyżej 900°C te elementy mają synergiczne efekty, gdy stopione węglany i siarczany K przywierają do chłodniejących powierzchni metali i wiążą inne cząstki, takie jak tlenki Ca i Mg. Najwyższe stężenia elementów odżywczych są zachowane w popiołach w temperaturach spalania pomiędzy 500 i 800°C (Etiegni i Campbell 1991, Misra i in. 1993). Zawartość C w popiele powyżej 20% utrudnia proces granulacji i chemicznego twardnienia. Przyjęto, że nie spalone składniki w popiele powinny wynosić do 2–3%, nie mogą przekraczać 10%.

Zawartość w popiele drzewnym pobranych z gleb metali ciężkich jest bardzo zróżnicowana, zależnie od rodzaju paliwa, typu bojlera oraz od ich stężenia w glebach i imisji z powietrza atmosferycznego. Separacja popiołu lotnego od dennego powoduje wyższe stężenia metali ciężkich w popiele lotnym, który jest bardziej przydatny do nawożenia kompensacyjnego. Nowe rafinacyjne technologie wysokotemperaturowe umożliwiają przechodzenie metali ciężkich w stan gazowy i ich usuwanie w ekstrahowanych gazach z popiołu drzewnego (Nordin i in. 2005). Dla zapobieżenia skażenia gleb niebezpiecznymi metalami ciężkimi, w krajach skandynawskich sprecyzowano dopuszczalne maksymalne stężenia potencjalnie szkodliwych metali ciężkich w pozyskiwanym paliwie leśnym i w kompensacyjnym nawozie popielniczym

Tabela 8. Stężenia metali ciężkich w popiele z bojlera drzewnego w mg kg⁻¹ SM

Elementy	Bojler drzewny (mediany)	Popiół drzewny (zakres)	Popiół lotny (zakres)	Maksymalna dopuszczalna zawartość*	Popiół lotny z torfu i drewna**
Hg	<3	<0,4	0–1	3	0,12
Se	<3	–	–	–	–
Cd	<25	0,4–0,7	6–40	30	8,47
Co	–	0–7	2–300	–	–
Mo	<50	–	–	–	–
As	–	0,2–3	1–60	30	–
Cr	–	>60	40–250	100	34,6
Ni	–	40–250	20–100	70	19,0
Pb	<110	15–60	40–10 ³	300	62,0
Cu	–	15–300	~200	400	94,7
V	–	10–120	20–30	70	–
Zn	>300	15–103	40–700	7000	893
Mn	–	(2–5,5) 103	(6–9) 10 ³	–	–
C5–137	–	–	–	5kBq/kg	–

* wg National Forestry Board of Sweden 2002; ** wg Sadowski 2011

Źródło: Opracowanie własne na podstawie Pitmana 2006

(tab. 8). W Nadrenii Północnej-Westfalii przeanalizowano 200 popiołów pochodzenia drzewnego. Stwierdzono istotne zróżnicowanie stężeń elementów. W niektórych próbkach występowały ekstremalnie wysokie stężenia metali ciężkich. W oparciu o wyniki analiz opracowano kryteria jakościowe recyklingu popiołu drzewnego jako kompensacyjnego nawozu w siedliskach leśnych. Popioły nie odpowiadające ustalonym kryteriom są nieprzydatne do zastosowania w lesie, powinny być składowane w specjalnych hałdach (Asche i Stahl 2006).

Przystosowanie popiołu z biomasy leśnej do nawożenia kompensacyjnego

Surowy popiół z „pierwotnego paliwa leśnego” nie jest jednolitym rezydualnym produktem spalania biomasy leśnej. Jest różnoziarnisty, zdominowany przez tlenki, ma wysokie pH i dużą powierzchnię właściwą. Jest zatem substancją z bezpośrednio wysoką zdolnością wchodzenia w reakcje w środowisku siedliska leśnego. Działa bezpośrednio ostro szkodliwie na florę i faunę glebową, także na człowieka, nie może być traktowany jako nawóz leśny do bezpośredniego zastosowania.

Wyłącznie popiół odpowiednio przetworzony, stopniowo rozkładający się, o znanym składzie elementów odżywczych i znanej zdolności reakcyjnej, może być rozsypywany w lasach jako substancja kompensująca niedobory elementów odżywczych w ekocyklu, powstałe wskutek eksploatacji biomasy. Celem przetworzenia jest stabilizacja popiołu, jego możliwie największa homogenizacja i minimalizacja zawartości drobnej frakcji. Cechy te powinny zapewnić uniknięcie wpierw kwasowego, a następnie alkalicznego szoku w leśnych glebach kwaśnych oraz eutrofizacji wód powierzchniowych i wgłębnych. Ażeby popiół był przydatny do zastosowania, powinien być tak traktowany, by jego zmniejszona reaktywność i rozpuszczalność mogły być dostosowane do warunków siedliska jego aplikacji. Za wysoka zawartość węgla organicznego może spowodować nadmierną reaktywność popiołu, szkody spaleniskowe u flory i fauny glebowej, szczególnie mchów i porostów, nagłe zwiększenie pH w drobnych ciekach i zbiornikach wodnych śródleśnych.

W lesie mogą być stosowane wyłącznie stabilizowane (chemicznie lub fizycznie) popioły lub popioły z długookresową rozpuszczalnością. Stabilizowane popioły powinny być granulowane, w postaci peletów lub samostwardniałych rozkruszonych cząstek, zapewniających ich powolną rozpuszczalność w okresie od 5 do 25 lat w siedliskach leśnych. Ponadto, wstępna szybkość rozpuszczania powinna być tak powolna, ażeby nie powstawały nieoczekiwane ostre efekty po wysiewie. Jedną z zalecanych metod poznania szybkości rozpuszczania soli z popiołów i określania ryzyka ostrego porażenia organizmów jest pomiar przewodności elektrolitycznej w ekstrakcie wodnym z popiołu, którego zakresy przedstawia tabela 9.

Tabela 9. Zakres przewodności w roztworach wodnych w warunkach różnych dawek popiołu

Dawka popiołu (t·ha ⁻¹)	Przewodność (mS·cm ⁻¹)
1	14
2	12
3	10

Źródło: Samuelsson 2002

Stabilizację popiołu osiąga się na drodze utwardzenia chemicznego lub fizycznie przez tzw. „aglomerację” (zlepianie). Chemiczne utwardzenie opiera się na konwersji tlenków na wodorotlenki przez dodanie określonej ilości wody i karbonatyzacji w reakcji z atmosferycznym CO₂. Powstające węglany są słabo rozpuszczalne, dzięki czemu długookresowemu spowolnieniu ulega proces udostępniania elementów odżywczych. Redukowane są intensywności procesów ługowania i neutralizacji kwasów w glebie, po wprowadzeniu stabilizowanego popiołu o znanym składzie chemicznym (tab. 10) na powierzchnię gleby.

Tabela 10. Stężenia makroelementów w różnych mechanicznie przetworzonych popiołach

Typy popiołu	Ca	Mg	K	Na	P	S	Zn	SiO ₂
Luźny	21,1	2,0	3,2	1,1	1,2	1,2	0,1	11,8
Kruszony	18,2	2,0	1,4	1,2	0,5	2,1	0,1	26,2
Granulowany	16,4	1,6	4,0	0,9	2,2	2,2	0,1	22,0

Źródło: Pitman 2006

Świeża mieszanina popiołu z wodą jest prasowana mechanicznie do dużych ziaren. Mieszanina popiołowo-wodna może być również granulowana w obrotowych bębnach w warunkach wysokiej temperatury. Podczas tych procesów można dodawać substancje czynnie wiążące, powodujące powstawanie ziaren o długotrwałej stabilności oraz uzupełniać elementy odżywcze, np. azot.

Narodowe prawa i rekomendacje powinny ściśle określać zasady składowania i magazynowania surowca popielnego i produktów jego przetwarzania w nawóz kompensacyjny, metody jego przetwarzania, transportu, limity składu chemicznego i innych standardów, rozpuszczalności, stężeń elementów odżywczych, metali ciężkich i toksyn oraz analityki laboratoryjnej. W Szwecji np. rekomenduje się dwa standardy metod testowania składu chemicznego popiołów stosowane w USA. Są to ICP-AES (ASTM D 3682) oraz ICP-AAS, ICP-QMS (ASTM D 3683) (Emilsson 2005, Samuelsson 2002).

5. Podsumowanie i wnioski

Biomasa leśna jest zasobem limitowanym przez ograniczony areal i długi cykl wytwarzania, przez ograniczoną zasobność elementów odżywczych i wody w siedlisku oraz przez dynamiczne zmiany klimatu. Ekosystem leśny jest zintegrowany i może istnieć długotrwale wówczas, gdy jest w stanie zachować swoją organizację i stan zrównoważenia w warunkach niewielkich zakłóceń zewnętrznych i wówczas gdy dysponuje wysoką pojemnością dostosowawczą i rozwojową tak dalece, że długookresowo i samoorganizacyjnie może nadal rozwijać się. Postulowane pozyskanie całkowitej biomasy leśnej w skali przemysłowej dla energetyki już w pierwszej rotacji drzewostanów narusza integralność ekosystemu leśnego, może spowodować skokowe i wzrastające niezrównoważenie bilansów elementów odżywczych i wody, załamanie biotycznej buforowości na oddziaływania destrukcyjne zewnętrznych naturalnych czynników, zmniejszenie lub zanik jego pojemności dostosowawczej i samoregulacyjnej. Wnioski dotyczące metod zapobiegania ryzyka potencjalnych niepowodzeń w hodowli lasu i zagrożeń zrównoważenia, stabilności i ciągłości funkcjonowania intensywnie eksploatowanych drzewostanów leśnych zawarte są w części 3.4. referatu. Autorzy reprezentują pogląd, iż zapotrzebowanie na leśną biomasę do celów energetycznych powinno być skierowane poza ekosystem leśny, rządzący się głównie prawami naturalnymi, do upraw plantacyjnych i zadrzewieniowych, zagospodarowanych według wydzielonych zasad hodowlanych, preferujących skrócone cykle produkcyjne z odpowiednimi regulacjami ekocykli elementów odżywczych i wody.

Popiół powstający w procesie spalania paliwa leśnego powinien być wykorzystany jako surowiec do wyodrębnionej produkcji leśnych nawozów popiołowych, kompensujących długotrwale ilościowo i jakościowo elementy odżywcze dla uprawianych roślin leśnych, odpowiednio do lokalnych warunków siedliskowych.

We wnioskach ustosunkujemy się wyłącznie do możliwości i warunków zastosowania surowca popiołowego ze spalania biomasy leśnej, bez uwzględniania zoptymalizowanych dawek i składu chemicznego wytworzonego nawozu. Bardzo zróżnicowane, niejednoznaczne i często sprzeczne są wyniki dotychczasowych badań i zastosowań w gospodarce leśnej, dotyczące przydatności form i dawek leśnego nawozu popiołowego na długotrwale kształtowanie właściwości typów i rodzajów gleb oraz zbiorowisk leśnej flory i fauny. Zróżnicowana jest także jakość popiołu zależnie od pochodzenia paliwa leśnego i technik jego spalania. Między innymi większe stężenia makroelementów odżywczych ma popiół z drewna twardego niż z drewna miękkiego, bogatego w krzemiany. Problemy te powinny być przedmiotem szczegółowych syntez z literatury oraz podejmowania specjalistycznych badań w warunkach kontrolowanych i w zagospodarowanych lasach.

Wnioski dotyczące możliwości wykorzystania popiołów z biomasy leśnej, jako konkretnego źródła elementów odżywczych w zagospodarowanych lasach, są następujące:

- ❑ Surowy popiół z „pierwotnego paliwa” leśnego pochodzenia jest niejednorodnym produktem spalania biomasy leśnej. Jest różnoziarnisty, ma dużą powierzchnię właściwą i wysokie pH, jest hydrofilny, zdominowany przez tlenki. Jest substancją mineralną, bez azotu, z wysoką zdolnością agresywnego wchodzenia w reakcje chemiczne ze składnikami środowiska siedliska leśnego. Działa ostro, szkodliwie na florę i faunę glebową i na człowieka. Nie może być traktowany jako nawóz do bezpośredniego stosowania w siedlisku leśnym.
- ❑ Wyłącznie popiół odpowiednio przetworzony, granulowany, stopniowo rozkładający się, o znanym składzie chemicznym i znanej zdolności reakcyjnej może być rozsypywany w lasach jako leśny nawóz popiołowy, kompensujący znane niezrównoważenia elementów odżywczych powstałe w ekocyklu wskutek eksploatacji biomasy w siedlisku.
- ❑ Celem przetworzenia popiołu jest stabilizacja jego składników na drodze granulacji, możliwie największa homogenizacja z minimalizacją drobnych frakcji, przekształcenie agresywnych tlenków w wodorotlenki i węglany.
- ❑ Stabilizowane granulowane leśne nawozy popiołowe powinny cechować się długookresową (od 5 do 25 lat) zdolnością udostępniania elementów odżywczych, odpowiednią do znanych warunków siedliska, niską reaktywnością w środowisku glebowym i dostępnością elementów odżywczych nie wywołujących ryzyka szkodliwych szoków wpiętych kwasowego i następnie alkalicznego.
- ❑ Najbardziej efektywne i bezpieczne jest leśne nawożenie popiołowe w ustabilizowanych po zrębie 3–6-letnich uprawach leśnych.
- ❑ Akty prawne i rekomendacje z atestami powinny jednoznacznie określać zasady selekcji surowców popiołowych, ich składowania, magazynowania, zasady i technologie przetwarzania w nawóz popiołowy kompensacyjny o znanym limitowanym składzie chemicznym i okresie rozpuszczalności, zasady jego magazynowania, transportu i rozsiewania w siedlisku leśnym.

Literatura

- Asche N., Stahl E., 2006. Extraction of wood and harvest residues for energy production and requirements for wood ash recycling in North-Rhine-Westphalia, Germany. RecAsh 2nd International Seminar. Karlstad Sweden 26–27(28) September 2006. Seminar Proceedings. Karlstad: 30.
- Augusto L., Ranger J., Bouneau M., 2000. Relationships between forest tree species, stand production and nutrient amount. Ann. For. Sci. 57: 313–324.

- Augusto L., Ranger J., Binkley D., Rothe A., 2002. Impact of several common tree species of European temperate forests on soil fertility. *Ann. For. Sci* 59: 233–253.
- Bertalanffy von L., 1984. Ogólna teoria systemów. Podstawy, rozwój, zastosowania, Przekład, Warszawa, 339 ss.
- Biały K., 1979. Wpływ mineralnego odżywiania sosny pospolitej (*Pinus silvestris*) na jej wzrost w świetle analiz składu chemicznego igieł. Rozpr. Dokt. Toruń (maszynopis).
- Borecki T., Dawidziuk J., 2011. Ocena rozwoju, produktywności, struktury i przeznaczenia zasobów leśnych. W: Strategia rozwoju lasów i leśnictwa w Polsce do roku 2030. Zimowa Szkoła Leśna przy IBL II Sesja. Sękocin Stary, s. 121–137
- Brahy V., Deckers J., Delvaux B., 2000. Estimation of soil weathering stage and acid neutralizing capacity in a toposequence Luvisol-Cambisol on loess under deciduous forest in Belgium. *Eur. J. Soil Sci.* 51: 1–13.
- Breemen Van N., 1993. Soils as biotic constructs favoring net primary productivity. *Geoderma* 57: 183–212.
- Breemen Van N., 1995. Nutrient cycling strategies. *Plant and Soil* 168–169: 321–326.
- Breemen Van N., Mulder J., Driscoll C.T., 1983. Acidification and alkalization of soils, *Plant and Soil* 75: 283–308.
- Breemen Van N., Lundström U. S., Jongmans A. C., 2000. Do plants drive podzolization via rock-eating mycorrhizal fungi? *Geoderma* 94: 163–171.
- Chodzicki E., 1934. Domieszka buka w sośninach jako czynnik edaficzny na piaszczystych popiołoziościach i buroziościach dyluwialnych. Warszawa, 254 ss.
- Cole D. W., 1995. Soil nutrient supply in natural and managed forest. *Plant and Soil* 168–169: 43–53.
- Dahlgren R. A., Driscoll C. T., 1994. The effects of whole tree clear-cutting on soil processes at the Hubbard Brook Experimental Forest, New Hampshire. USA. *Plant and Soil* 158: 239–262.
- David C. A., 1997. Managing the invisible: Ecosystem Management and Macronutrient Cycling. In: M. S. Boyce, A. Haney (Eds.), *Ecosystem Management. Application for sustainable Forest and Wildlife Resources*. Yale University Press. New Haven and London: 94–129.
- Duda J., Skorupa Z., 2011. Budowa Zielonego Bloku w GDF SUEZ Energia Polska S.A., Seminarium „Zagospodarowanie ubocznych produktów spalania biomasy”. 23 listopada 2011 roku, Warszawa: 103–112.
- Emilsson S., 2005. From Extraction of Forest Fuels to Ash Recycling. Intern. Hand Book, RecAsh: 42 pp.
- Ericsson T., Ingestad T., 1988. Nutrition and growth of birch seedlings at varied relative phosphorus addition rate. *Physiol. Plant* 72: 227–235.
- Fischer R., De Vries W., Seidling W., Augustin S., 1999. Der Waldzustand in Europa. Kurzbericht, B.F.H. Bonn.
- Etiegni L., Campbell A., 1991. Physical and chemical characteristics of wood ash. *Res. Technol.* 37: 173–178.
- Glatzel L., 1990. The nitrogen status of Austrian forest ecosystems as influenced by atmospheric deposition, biomass harvesting and lateral organomass exchange. *Plant Soil.* 128: 67–74.
- Gornowicz R., Pilarek Z., 2012. Wpływ pozyskania biomasy na wycofywanie pierwiastków biogennych ze środowiska leśnego. Materiały konferencji naukowo-technicznej „Możliwości oraz uwarunkowania podaży drewna do celów energetycznych”, IBL, Sękocin Stary, 20–21.11.2012 r., 44–45.
- Goor van C.P., 1985. The impact of tree species on soil productivity, Netherlands. *J. Agric. Sci.* 33: 133–140.

- Gover S. T., Son Y., 1992. Differences in soil and litter fall nitrogen dynamics for five forest plantations. *Soil. Sci. Am. J.* 56: 1959–1966.
- Hakkila P., 1989. Utilization of Residual Forest Biomass. Springer series in wood science. Springer Verlag, Berlin, 568pp.
- Helmisari H-S., 1995. Nutrient cycling in *Pinus sylvestris* stands in eastern Finland. *Plant and Soil* 168–169: 327–336.
- Holstein-Jørgensen H., Bartholin T. S., 1969. Et gødskning i en rødgrankultur i Bevtøft plantage – haderslev Statsvddistrict. *Detforstige forsøgsvuesen I Denmark* 31: 71–84.
- Huettl R. F. (ed.) 1992: Effects of air pollution on forest soils. *Water Air Soil Pollut.* 61: 205–322.
- Hüttl R. F., Schaaf W., 1995. Nutrient supply of forest soils in relation to management and site history. *Plant and Soil* 168–169: 31–41.
- ICP-AAS, TCP-QMS (ASTM D 3683) Standard Test Method for Trace Elements in Coal and Coce Ash by Atomic Absorption.
- ICP-AES (ASTM D 3683) Standard Test Method for Major and Minor Elements in Combustion Residues from Coal Utilization Processes.
- ICP Forests, 2011. The condition of forest in Europe, Executive Report.
- Ingestad T., Lund A. B., 1979. Nitrogen stress in birch seedlings. In: *Growth technique and growth. Physiol. Plant.* 45: 137–148.
- Ingestad T., 1988. A fertilization model based on the concepts of nutrient flux density and nutrient productivity. *Scand. J. For. Res.* 3: 157–173.
- Ingestad T., Ågren G. I., 1988: Nutrient uptake and allreation at steady-state nutrition. *Physiol. Plant.* 72: 450–459.
- Ingestad T., McDonald A. J. S., 1989. Interaction between nitrogen and photon flux density in birch seedlings at steady-state nutrition. *Physiol. Plant.* 77: 1–11.
- Ingestad T., Ågren G., I., 1995. Plant nutrition and growth: Basic principles. *Plant and Soil*, 168–169: 15–20.
- Ingerslev M., Mälkönen E., Nilsen P., Nohrstedt H.-Ö., Oskarsson H., Raulund-Rasmussen K., 2001. Main Findings and Future Challenges in Forest Nutritional Research and Management in the Nordic Countries. *Scand J. For. Res.* 16: 488–501.
- Jenny H., 1983. *The Soil Resource, Origin and Behavior.* Springer Verlag, New York, Heidelberg, Berlin, 377 s.
- Jongmans A. G., van Breemen N., Lundström U. S., van Hees P. A. W., Finlay R. D., Srivasan M., Unestam T., Giesler R., Melkerund P. A., Olsson M., 1997. Rock-eating Fungi. *Nature* 389: 682–683.
- Kimmins J. P., 1974. Sustained yield timber mining, and the concept of ecological rotation; a British Columbian view. *For. Chron.* Feb.: 27–31.
- Kauppi P. E., Tomppo E., Ferm A., 1995. Cand N Storage in living trees within Finland since 1950s. *Plant and Soil* 168–169: 633–638.
- Kowalkowski A., 1978. Wpływ właściwości gleb opadowoglejowych na systemy korzeniowe drzewostanów grądu niskiego w Białowieskim Parku Narodowym. *Roczn. Glebozn.* XXIX, Nr 3: 27–44.
- Kowalkowski A., 1983. Wpływ pozyskania biomasy w drzewostanach sosnowych na obieg składników mineralnych oraz właściwości gleb siedlisk borowych. *Prace IBL*, 598: 68–89.
- Kowalkowski A., 1999. Funkcje gleb w ekosystemach leśnych. W: A. Kowalkowski (red.), *Funkcjonowanie gleb leśnych na terenach zagrożonych i trendy jego zmian.* Kom. Nauk Leśn. PAN, Warsztaty Naukowe Puławy 16–17 września 1999, s. 3–10.
- Kowalkowski A., 2001. Ocena postaw ekologicznych rozpatrywania biotopów z punktu widzenia gleboznawstwa i siedliskoznawstwa leśnego W: R. Zielony (red.)

- Zgodność fitocenozy z biotopem w ekosystemach leśnych. Fundacja-Rozwój SGGW, Warszawa, s. 34–53.
- Kowalkowski A., Czarnota K., 1962. Badania nad rozmieszczeniem systemów korzeniowych dębu, buka, sosny i świerka w glebach murszastych leśnictwa Dębina. *Roczn. Glebozn.* XII, Nr 3: 237–255.
 - Kowalkowski A., Kopron H., 2002. Organizacja monitoringu uprawy sosnowej na terenach zanieczyszczonych przez emisję azotową. W: R. Siwecki (red.), *Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe*. T. I, IV Krajowe Sympozjum, Poznań-Kórnik, Poznań, s. 294–314.
 - Kreutzer K., 1979. Ökologische Fragen zur Vollbaumernte. *Forstwirtschaft. Ctbl.* 95, 6: 298–308.
 - Kreutzer K., 1989. The impact of forest management practices on the soil acidification in established forests. *Air Pollution Report 13 of the EU*, Brussels, p. 75–90.
 - Kreutzer K., 1995. Effects of forest liming on soil processes. *Plant and Soil* 168–169: 447–470.
 - Liljelund L. E., Lundmark J. E., Nihlgård B., Nohrstedt H. Ö., Rosen K., 1990. Vitality-fertilization – present knowledge and research needs. *Naturvårds verket, Solna-Rapport 3813*: 129 pp.
 - Lundberg J., Ravnsbeak P. F. V., 1992. Forestry fertilization of peatland Hedeselskabets Forskningsvirksomhed, beretning nr 50: 77 pp.
 - Lyr H., Polster H., Fiedler H. J., 1967. *Gehölzphysiologie*, VEB Gustav Fisher Verlag, Jena, 444 ss.
 - Matzner E., Ulrich B., 1983. The turnover of protons by mineralization and ion uptake in a beech (*Fagus sylvatica*) and a Norway spruce ecosystem. D. Reidel Publishing Company, London, p. 93–103.
 - Mälkönen E., 1976. Effect of a whole – tree harvesting on soil fertility. *Silva Fennica* 10.3: 157–164.
 - Meiwes K. J., 1995. Application of lime and wood ash to decrease acidification of forest soils. *Water Air Soil Pollut.* 85: 143–152.
 - Miegroet van H., Cele D. W., Homann P. S., 1990. The effect of alder forest cover and alder Forest conversion on site fertility and productivity. *Forest Publications*, University of British Columbia, Vancouver, pp. 333–354.
 - Miller H. G., 1990. Management of water and nutrient relations in European forest. *For. Ecol. Manage.* 30: 425–436.
 - Miller H. G., 1995. The influence in stand development on nutrient demand, growth and allocation. *Plant and Soil* 168–169: 225–232.
 - Miller H. G., Miller J. G., Cooper J. M., 1980. Biomass and nutrient accumulation at different growth rates in thinned plantations of Corsican pine. *Forestry* 53: 23–39.
 - Misra M., Raglund K., Baker A., 1993. Wood ash composition as a function of furnace temperature. *Biomass Bioenerg.* 4: 103–116.
 - Nilsson L. O., Wiklund K., 1995. Nutrient balance and P, K, Ca, Mg, S and B accumulation in a Norway spruce stand following ammonium sulphate application, fertigation, irrigation, drought and N-tree-fertilisation. *Plant and Soil* 168–169: 437–46.
 - Nordin A., Bystrom M., Bostrom D., 2005. New method of thermal refinement and stabilisation od biomass ashes and sludges. *EU Life Environment Demonstration Project*. Prague, p. 98–99.
 - Olejarski I., 2003. Wpływ zabiegów agrotechnicznych na niektóre właściwości gleb oraz stan upraw sosnowych na pożarzyskach wielkoobszarowych. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, Seria A*, 2 (254): 47–77.

- Olsson B. A., Bengtsson J., Lundquist H., 1996. Effects of different forest harvest intensities on the pools of exchangeable cations in coniferous forest soils. *For. Ecol. Manage.* 84: 135–147.
- Pitman R. M., 2006. Wood ash use in forestry – a review of the environmental impacts. *Forestry* 79.5: 563–588.
- Riedl R., 2000. *Strukturen der Komplexität, Eine Morphologie des Erkennens und Erklärens*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 367 ss.
- Rykowski K., 2012. Czynniki środowiska przyrodniczego determinujące produkcję drewna. Przyrodnicze i gospodarcze aspekty produkcji oraz wykorzystania drewna – stan obecny i prognoza, streszczenia referatów i doniesień. Zimowa Szkoła Leśna przy IBL, IV sesja, Sękocin Stary, s. 23–28.
- Sadowski K., 2011. Elektrociepłownia Białystok S.A., Produkty spalania biomasy – bariery odzysku w procesie R10. Seminarium „Zagospodarowanie ubocznych produktów spalania biomasy”. 23 listopada 2011 roku, Warszawa, s. 73–102.
- Samuelsson H., 2002. Recommendation for the extraction of forest fuel and compensation fertilizing. *Meddelande 3–2002*, Jönköping, 20 pp.
- Szczubińska Z., 1980. Zawartość azotu i składników mineralnych w igłach jako podstawa do oceny stanu zaopatrzenia sosny zwyczajnej (*Pinus silvestris* L.) w składniki pokarmowe. *Rozpr. dokt.*, Warszawa (maszynopis).
- Vanniere B., 1984. *Tables de production pour les forets francaises*, ENGREF, 2, Edition, Nancy.
- Vejre H., Ingerslev M., Raulund-Rasmussen K., 2001. Fertilization of Danish Forests: a review of experiments. *Scand. J. for. Res.* 16: 502–513.
- Wilde S. A., 1962: *Forstliche Bodenkiende*. Verl. Paul Parey, Hamburg und Berlin, 239 pp.



Akcja COST FP0902 jako przykład międzynarodowej współpracy w zakresie metodyki badań pozyskiwania biomasy leśnej do celów energetycznych

1. Czym jest COST?

Najogólniej **COST** (European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research) to Europejski Program Współpracy w Dziedzinie Badań Naukowo-Technicznych. Jest rodzajem instytucjonalnej struktury, utrzymywanej obecnie przez 35 krajów europejskich oraz Izrael (państwo współpracujące), której najważniejszym zadaniem jest organizowanie wielostronnej współpracy naukowo-technicznej krajów członkowskich.

COST powstał w 1971 r., skupiając się od samego początku na koordynacji, na szczeblu europejskim, badań o charakterze podstawowym a także będących pomostem między badaniami podstawowymi i rozwojowymi. Działania koordynacyjne, dotyczące przedsięwzięć badawczych o określonej tematyce, mają formę Akcji COST. Informacje o aktualnie realizowanych można znaleźć pod adresem: www.cost.eu. Program COST pokrywa wyłącznie koszty koordynacji (w tym organizacji spotkań, przejazdów i zakwaterowania uczestników).

W programie COST zobowiązują cztery podstawowe zasady¹:

- ☐ otwartość – każdy kraj członkowski COST, jak również Komisja Europejska, może zainicjować wspólną realizację nowej Akcji;
- ☐ elastyczność – przystąpienie kraju do udziału w konkretnej Akcji jest dobrowolne i zależy jedynie od narodowych priorytetów badawczych;
- ☐ zdecentralizowane finansowanie – koszty wszystkich prac badawczych ponoszone są bezpośrednio przez kraje prowadzące badania;
- ☐ wspólna koordynacja – realizacja krajowych projektów badawczych jest wspólnie koordynowana na szczeblu europejskim.

¹ <http://www.nauka.gov.pl/ministerstwo/wspolpraca-z-zagranica/organizacje-i-programy/europejski-program-wspolpracy-w-dziedzinie-badan-naukowo-technicznych/> według stanu na 1.03.2013.

Na misję COST składa się przede wszystkim:

- ☐ zmniejszanie rozdrobnienia środków na badania prowadzone w Europie;
- ☐ otwieranie Europejskiego Obszaru Badań (ERA) na współpracę z krajami spoza UE – w wielu Akcjach COST uczestniczą również kraje spoza Europy;
- ☐ poprzędzanie i uzupełnianie Programów Ramowych.
- ☐ COST tworzy 9 dziedzin (domen), między innymi *Żywność i Rolnictwo* oraz *Lasy, ich produkty i usługi*.

Uczestnictwo w danej Akcji COST jest dobrowolne i polega na podpisaniu stosownego porozumienia – *Memorandum of Understanding* – precyzującego między innymi uzasadnienie powołania Akcji, strukturę oraz jej cele i zadania.

2. Akcja COST FP0902 Rozwój i harmonizacja nowych metod badawczych i procedur oceny w zakresie zrównoważonego pozyskiwania biomasy leśnej²

Jednym z przykładów koordynacji badań jest Akcja COST FP0902, będąca odpowiedzią na zwiększenie popytu na biomasę leśną do celów energetycznych w obliczu zmian klimatu.

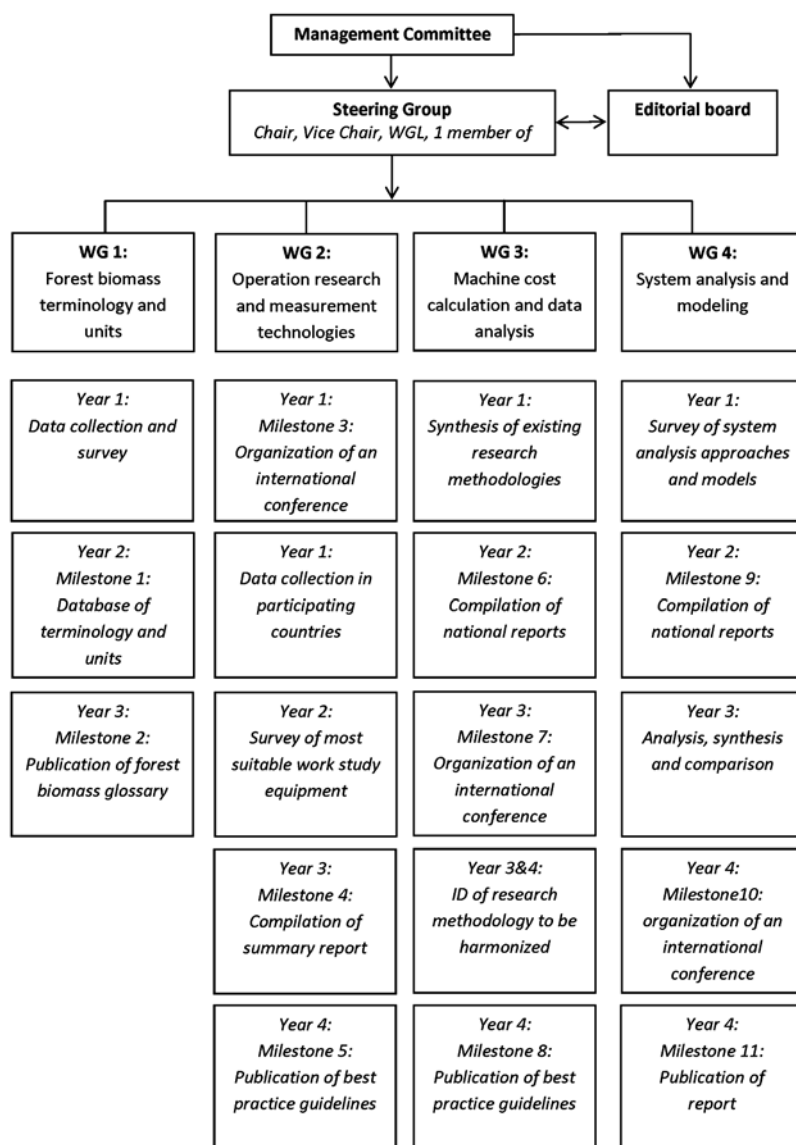
Akcja COST FP902 ma na celu syntezę wyników badań interdyscyplinarnych nad pozyskiwaniem biomasy leśnej na cele energetyczne, w następujących obszarach: terminologia, metody zbierania danych, standardy pomiarowe, metodologia badań. Przeprowadzenie takiej syntezy stanie się czynnikiem pobudzającym rozwój wykorzystania biomasy leśnej na cele energetyczne. Strukturę organizacyjną Akcji pokazano na rys. 1.

Program naukowy akcji opiera się na trzech podstawowych elementach:

- ☐ przegląd i analiza wyników badań w krajach uczestniczących,
- ☐ synteza i harmonizacja wyników badań w krajach uczestniczących,
- ☐ rozpowszechnienie uzyskanej wiedzy i wyników badań.

W akcji uczestniczy 27 krajów europejskich (Austria, Bułgaria, Chorwacja, Czechy, Dania, Estonia, Finlandia, Francja, Grecja, Hiszpania, Holandia, Niemcy, Irlandia; Islandia, Łotwa, Litwa, Macedonia, Norwegia, Polska, Portugalia, Serbia, Słowacja, Słowenia, Szwecja, Turcja, Włochy, Zjednoczone Królestwo) oraz 12 krajów spoza Europy (Australia, Brazylia, Kanada, Macedonia, Islandia, Japonia, Norwegia, Nowa Zelandia, Południowa Afryka, Turcja, Ukraina oraz Stany Zjednoczone). Prace w ramach Akcji odbywają się w czterech grupach roboczych.

² COST Action FP0902 Development and harmonisation of new operational research and assessment procedures for sustainable forest biomass supply (http://www.cost.eu/domains_actions/fps/Actions/FP0902).



Rys. 1. Struktura organizacyjna Akcji COST FP0902.

3. Grupa robocza 1 (WG1): terminologia i jednostki (*forest biomass terminology and units*)

Grupa robocza 1 opracowała bazę danych terminów i jednostek powszechnie stosowanych w zakresie wykorzystania biomasy leśnej na cele energetyczne i stworzy zharmonizowaną propozycję w tym zakresie. W dalszej kolejności został opisany, sklasyfikowany i zharmonizowany standardo-

wy system pomiarów i jednostek stosowanych w badaniach wykorzystania biomasy leśnej na cele energetyczne, obejmujący kraje uczestniczące w Akcji.

Plan pracy grupy roboczej był następujący:

- ❑ Przegląd terminologii i jednostek używanych powszechnie w zakresie użytkowania biomasy leśnej w celach energetycznych (języki narodowe i angielski). W tym celu przejrzano wszystkie dostępne źródła informacji, w których pojawiała się terminologia związana z użytkowaniem biomasy leśnej do celów energetycznych: słowniki, normy krajowe i międzynarodowe (np. ISO), słownictwo opracowane na rzecz dużych organizacji (np. FAO), podręczniki, strony internetowe, pozostałe zasoby informacyjne.
- ❑ Opracowanie bazy danych obejmującej terminologię i jednostki stosowane w zakresie użytkowania biomasy leśnej w celach energetycznych. Przykładową strukturę bazy pokazano na rys. 1.
- ❑ Opracowanie słownika terminów i jednostek w najczęściej używanych w zakresie użytkowania biomasy leśnej w celach energetycznych.
- ❑ Identyfikacja i harmonizacja terminologii i jednostek w zakresie użytkowania biomasy leśnej w celach energetycznych. Terminy zostały uporządkowane wg. następujących kategorii: opis drzewostanu i surowca (description of stand and raw material), zrywka (logging), transport (haulage), wyrobka (processing), jednostki (units), badanie wydajności i kosztów (time studies and costs). Zgromadzono łącznie ponad 300 terminów. Baza danych zostanie udostępniona na stronie: <http://forestenergy.org/>.

Tabela 1. Przykładowe rekordy bazy danych gromadzącej terminy i jednostki związane z użytkowaniem biomasy leśnej do celów energetycznych

English term	Description in English	Source	Category
absolute dry	Condition in which the material has a total moisture content of 0% (see dry matter)	not specified	units
accumulating felling head	felling head that is able to fell and accumulate trees; it can be equipped with shear(s), chainsaw or circular saw		logging
action	the part of activity that is carried out by man. Action may be divided into three main types; movement carried out by the physical (mechanical) apparatus, thoughts carried out by the intellect and perception carried out by senses.	IUFRO nomenclature	time studies and costs
activity sampling	a technique for measuring work in which the activity is observed at fixed or random intervals. For each observation, the work element at that instant is recorded, resulting in a frequency of occurrence for each defined element. Stratified activity sampling means that the total time of the study is divided into periods (strata) so that sampling may be carried out at different frequency and interval for each stratum. (also: work sampling, frequency study.)		time studies and costs
air dried basis	condition in which the solid biofuel has dried in air to or nearly to equilibrium moisture content	iso draft	units

4. Grupa robocza 2 (WG 2): Badania operacji leśnych i metodyki pomiarów (*operations research and measurement methodologies*)

W grupie roboczej 2 uczestnicy Akcji dokonali podsumowania metodologii i procedur dotyczących badań operacji leśnych w zakresie planowania prac terenowych, zbierania danych oraz technik pomiarowych dla różnego rodzaju drzewnego surowca energetycznego. Przeprowadzono przegląd, analizę, kategoryzację oraz porównanie różnych metodologii badań terenowych, w tym – metod zbierania danych i metod pomiarowych stosowanych w uczestniczących krajach.

Celem nie było opracowanie jednej standardowej procedury pasującej do wszystkich sytuacji (co byłoby nierealne, niewydajne oraz sprzeczne z rozwojem metodologii i wolnością badań naukowych) lecz raczej dostarczenie narzędzi metodologicznych do identyfikacji, kiedy dwa badania są porównywalne, jak uczynić je porównywalnymi nawet, jeśli zastosowano różne metody badawcze, i jak wpłynie na wyniki zastosowanie metod nieporównywalnych.

Plan pracy grupy roboczej przedstawiał się następująco:

- ☐ Przegląd rozwiązań metodycznych stosowanych w badaniach terenowych (metody zbierania danych w terenie, standardowe pomiary) w krajach uczestniczących w Akcji. W przeglądzie wykorzystano specjalnie do tego celu zaprojektowany kwestionariusz ankietowy.
- ☐ Analiza występujących problemów, wyzwań, a także luk w wiedzy w zakresie stosowanych rozwiązań metodycznych.
- ☐ Przegląd istniejącego i potencjalnego oprzyrządowania badań terenowych.
- ☐ Organizacja międzynarodowej konferencji poświęconej głównym problemom związanym z pozyskiwaniem biomasy leśnej do celów energetycznych.
- ☐ Opracowanie wytycznych dotyczących dobrych praktyk w zakresie badań pozyskiwania leśnej biomasy drzewnej do celów energetycznych. Wytyczne obejmują wszystkie etapy związane z prowadzeniem badań, począwszy od sformułowania celu, planowania, pomiarów w terenie (chronometraży, pomiarów pozyskanej biomasy i związanych z tym niezbędnych obliczeń), opis obiektu badań, analizę zebranych danych po sporządzenie raportu końcowego. Wytyczne są dostępne w języku angielskim, w wersji papierowej i pliku PDF³.

³ Przewodnik jest dostępny pod adresem: <http://www.forestenergy.org/pages/cost-action-fp0902/good-practice-guidelines/> (według stanu na 1.03.20013 r.).

5. Grupa robocza 3 (WG3): Kalkulacja kosztów pracy maszyn i metodologia analizy danych (*machine cost calculation and data analysis methodologies*)

W ramach tej grupy roboczej uczestnicy Akcji analizowali stosowane metody obliczania kosztów pracy maszyn i metod analizy danych przy pozyskiwaniu biomasy leśnej do celów energetycznych. W tym celu wykonano przegląd, analizę, kategoryzację oraz porównanie różnych metod określania kosztów pracy maszyn oraz podejść metodologicznych do analizy danych. Następnie, w oparciu o wyniki zawarte w raportach krajowych, grupa robocza opracowała specjalny arkusz kalkulacyjny⁴.

Plan pracy grupy roboczej był następujący:

- ☐ Synteza metod kalkulacji kosztów pracy maszyn oraz analizy danych stosowanych w krajach uczestniczących w Akcji.
- ☐ Analiza obiecujących najlepszy efekt metod kalkulacji kosztów pracy maszyn i analizy danych.
- ☐ Organizacja międzynarodowej konferencji poświęconej tematyce grupy roboczej.
- ☐ Identyfikacja metod kalkulacji kosztów maszynowych i analizy danych zharmonizowanych między krajami członkowskimi Akcji oraz opracowanie na tej podstawie arkusza kalkulacyjnego.

6. Grupa robocza 4 (WG4): Analizy systemowe i modelowanie operacji leśnych (*system analysis and modelling in forest operations*)

Grupa robocza przeprowadziła przegląd w zakresie analiz systemowych i projektowania operacji leśnych w krajach-uczestnikach akcji. W tym celu wykonano przegląd, analizę, kategoryzację a także porównanie różnych podejść i modeli (od prostego deterministycznego, poprzez bardziej kompleksowy do stochastycznego i kolejnych zdarzeń (*discret-event*) rozwijających się obecnie w całej Europie w rezultacie gwałtownych zmian w zakresie metod pozyskania drewna w związku ze wzrastającą mechanizacją pozyskania drewna na cele energetyczne.

Plan pracy grupy roboczej obejmował następujące etapy:

- ☐ Synteza różnych podejść systemowych do analizy systemowej i modeli w zakresie wykorzystania biomasy leśnej do celów energetycznych.
- ☐ Zestawienie raportów krajowych identyfikujących najpowszechniej stosowane podejścia do analizy systemowej i modelowania procesów.

⁴ Arkusz kalkulacyjny w wersji testowej jest dostępny pod adresem: <http://www.forestenergy.org/pages/costing-model---machine-cost-calculation/> (według stanu na 1.03.2013 r.).

- ☐ Analiza i synteza najbardziej obiecującego podejścia do analiz systemowych i modelowania procesów.
- ☐ Organizacja międzynarodowej konferencji poświęconej tematyce grupy roboczej.

7. Upowszechnianie wyników prac Akcji

Jednym z zadań każdej Akcji COST jest rozpowszechnienie uzyskanych wyników i jest maksymalne poszerzenie kręgu ich odbiorców. Niezmiernie ważne jest dotarcie nie tylko do naukowców związanych z tą tematyką. Krąg odbiorców wyników Akcji COST FP0902 obejmuje:

- ☐ osoby kształtujące politykę na szczeblu unijnym i narodowym,
- ☐ publiczne i prywatne jednostki badawcze prowadzące badania w sektorze użytkowania biomasy leśnej do celów energetycznych,
- ☐ duże leśne branże przemysłowe i ich udziałowcy,
- ☐ właściciele lasu,
- ☐ małe i średnie przedsiębiorstwa,
- ☐ jednostki badawcze z dziedzin powiązanych, takich jak ekologia i ekonomika leśna,
- ☐ wyższe jednostki naukowe odpowiedzialne za nauczanie zrównoważonego użytkowania biomasy leśnej na cele energetyczne.

W tym celu wykorzystywano różne metody i środki, aby w sposób efektywny upowszechnić wyniki Akcji:

- ☐ otwarte konferencje międzynarodowe,
- ☐ spotkania/warsztaty grup roboczych,
- ☐ spotkania komitetu zarządzającego (MC),
- ☐ czasopismo elektroniczne,
- ☐ publikacje naukowe i publikacje popularno-naukowe,
- ☐ słownik terminów związanych pozyskiwaniem biomasy drzewnej do celów energetycznych,
- ☐ wytyczne dotyczące dobrych praktyk w badaniach pozyskiwania biomasy,
- ☐ strona internetowa www.forestenergy.org,
- ☐ szkolenia (*training schools*) związane między innymi z organizacją badań terenowych, analiza wyników i raportowaniem oraz badaniem jakości zrębków opałowych uzyskiwanych z leśnej biomasy drzewnej,
- ☐ krótkie staże naukowe w różnych instytucjach naukowych (*short term scientific missions STSM*).

Literatura

- Ackerman P., Lyons J., Eliasson L., Heunis G., Grulois S., de Jong A. 2012: Equipment Costing Model. A Business Model. Cost Action FP0902; WG 3. Stellenbosch University.

- Acuna M., Bigot M., Guerra S., Hartsough B., Kanzian C., Kärhä K., Lindroos O., Magagnotti N., Roux S., Spinelli R., Talbot B., Tolosana E., Zormaier F. 2012: Good practice guidelines for biomass production studies (Ed. Magagnotti N., Spinelli R.). CNR IVALSÀ.
- MEMORANDUM OF UNDERSTANDING for the implementation of a European Concerted Research Action designated as COST Action FP0902 (http://w3.cost.eu/file-admin/domain_files/FPS/Action_FP0902/mou/FP0902-e.pdf)

Aspekty praktyczne



Stan aktualny oraz kierunki zmian w zakresie regulacji prawnych dotyczących wykorzystania biomasy leśnej jako źródła energii odnawialnej

1. Wstęp

Bioenergia stanowi kluczowy element w realizacji unijnej polityki dotyczącej rozwoju niskoemisyjnej gospodarki. Zgodnie z prognozami zawartymi w krajowych planach działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych (dokumentach przygotowanych przez państwa członkowskie na podstawie *Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniającej i w następstwie uchylającej Dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE* biomasa stanowić będzie główne źródło energii odnawialnej w Unii Europejskiej w 2020 r. (udział wynoszący 57%). Produkcja energii z biomasy wzrośnie z 61,7 Mtoe w 2005 r. do 140 Mtoe w 2020 r.

W sektorze energii elektrycznej w państwach członkowskich UE w 2020 r. zostanie wytworzonych 1217 TWh energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii (OZE), z czego biomasa odpowiadać będzie za 19% produkcji (232 TWh). W odniesieniu do sektora ciepła i chłodu należy zauważyć, iż biomasa będzie w dalszym ciągu głównym źródłem energii odnawialnej. Produkcja 90 Mtoe stanowić będzie 81% ciepła wytworzonego z odnawialnych źródeł energii w 27 krajach UE w 2020 r. Powyższe dane jednoznacznie wskazują, iż bez odpowiednich zasobów biomasy realizacja unijnych celów w zakresie udziału energii z odnawialnych źródeł energii w końcowym zużyciu energii nie będzie możliwa.

W przypadku Polski udział biomasy w produkcji energii odnawialnej będzie jeszcze istotniejszy w porównaniu do średniej unijnej. Udział energii elektrycznej z biomasy stałej stanowić będzie 31,5% (całość bioenergii, razem z biogazem – 44%) produkcji energii elektrycznej z OZE, natomiast produkcja ciepła z biomasy stałej stanowić będzie 78% (całość bioenergii, razem z biogazem – 86%) produkcji ciepła z OZE.

Mając powyższe na uwadze należy zauważyć, iż odpowiednie regulacje prawne mają kluczowe znaczenie dla realizacji powyższych założeń.

W dalszej części pracy zaprezentowane zostaną obowiązujące przepisy prawne dedykowane odnawialnym źródłom energii, w tym *Ustawa – Prawo energetyczne*. Dodatkowo, przedstawione zostaną strategiczne dokumenty rządowe, w tym *Polityka energetyczna Polski do 2030 roku*, co umożliwi całościowe spojrzenie na kwestie dotyczące rozwoju OZE w Polsce. Ponadto, w związku z planowanymi zmianami legislacyjnymi w obszarze odnawialnych źródeł energii, zostaną zaprezentowane proponowane przepisy dotyczące energetycznego wykorzystania biomasy.

2. Obecne regulacje w zakresie energetycznego wykorzystania biomasy

Prawo energetyczne i akty wykonawcze

Kwestie związane z odnawialnymi źródłami energii, w tym biomasą reguluje *Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne* (Dz. U. z 2006 r. nr 89 poz. 625 z późn. zm.) wraz z aktami wykonawczymi.

Zgodnie z art. 3 pkt 20 ww. ustawy, odnawialne źródło energii to „źródło wykorzystujące w procesie przetwarzania energię wiatru, promieniowania słonecznego, geotermalną, fal, prądów i pływów morskich, spadku rzek oraz energię pozyskiwaną z biomasy, biogazu wysypiskowego, a także biogazu powstałego w procesach odprowadzania lub oczyszczania ścieków albo rozkładu składowanych szczątków roślinnych i zwierzęcych”. Ponadto ustawa określa zasady mechanizmu wsparcia odnawialnych źródeł energii (tzw. system zielonych certyfikatów).

Niezmienne istotną regulacją z punktu widzenia energetycznego wykorzystania biomasy jest *Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 14 sierpnia 2008 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii* (Dz. U. nr 156 poz. 969 oraz z 2010 r. nr 34 poz. 182). Przedmiotowe rozporządzenie definiuje biomasę jako „stałe lub ciekłe substancje pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, które ulegają biodegradacji, pochodzące z produktów, odpadów i pozostałości z produkcji rolnej oraz leśnej, a także przemysłu przetwarzającego ich produkty, a także części pozostałych odpadów, które ulegają biodegradacji, oraz ziarna zbóż nie spełniające wymagań jakościowych dla zbóż w zakupie interwencyjnym określonych w art. 4 rozporządzenia Komisji (WE) nr 687/2008 z dnia 18 lipca 2008 r. ustanawiającego procedury przejścia zbóż przez agencje płatnicze lub agencje interwencyjne oraz metody analizy

do oznaczania jakości zbóż (Dz. Urz. UE L 192 z 19.07.2008 r., str. 20) i ziarna zbóż, które nie podlegają zakupowi interwencyjnemu”.

Dodatkowo należy podkreślić, iż w rozporządzeniu, w zakresie dotyczącym procesu spalania biomasy, w sposób procentowy określony został wymagany udział wagowy biomasy pochodzącej z upraw energetycznych lub odpadów i pozostałości z produkcji rolnej oraz przemysłu przetwarzającego jej produkty, a także części pozostałych odpadów, które ulegają biodegradacji, z wyłączeniem odpadów i pozostałości z produkcji leśnej, a także przemysłu przetwarzającego jej produkty (czyli tzw. biomasy agro).

Wykorzystywanie w procesie spalania drewna, jak również odpadów i pozostałości z produkcji leśnej, a także przemysłu przetwarzającego jej produkty jest możliwe, jednak z pewnymi ograniczeniami. Ograniczenia te dotyczą zarówno odpadów i pozostałości z produkcji leśnej, jak również drewna pełnowartościowego (okrągłego). Odnoszą się przy tym zarówno do współspalania, jak i układów hybrydowych oraz jednostek wytwórczych, w których spalana jest wyłącznie biomasa. Jednocześnie należy podkreślić, że przepisy rozporządzenia bazują na zasadniczym założeniu, że biomasa na cele energetyczne powinna być wykorzystywana przede wszystkim lokalnie w ramach tzw. generacji rozproszonej, w wysokosprawnych jednostkach kogeneracyjnych.

Rozporządzenie wyróżnia trzy typy jednostek, w których może być spalana biomasa leśna dla celów energetycznych:

❑ Jednostki wytwórcze wykorzystujące proces współspalania

W tym przypadku została dopuszczona możliwość wykorzystywania bez ograniczeń drewna oraz odpadów i pozostałości z produkcji leśnej, a także przemysłu przetwarzającego jej produkty, dla jednostek o mocy elektrycznej wynoszącej nie więcej niż 5 MW. W jednostkach większych również istnieje możliwość wykorzystania drewna oraz odpadów i pozostałości z produkcji leśnej, a także przemysłu przetwarzającego jej produkty, jednakże przy uwzględnieniu ograniczeń określonych w przedmiotowym rozporządzeniu, które wiążą się z jednoczesnym wykorzystaniem tzw. biomasy agro. W 2012 r. udział tzw. biomasy agro w ilości biomasy spalanej w jednostkach o mocy elektrycznej powyżej 5 MW wynosi 55%.

❑ Układy hybrydowe

W tym przypadku dopuszczona została możliwość wykorzystywania bez ograniczeń drewna oraz odpadów i pozostałości z produkcji leśnej, a także przemysłu przetwarzającego jej produkty, dla jednostek o mocy elektrycznej wynoszącej nie więcej niż 20 MW. W instalacjach o większej mocy również istnieje możliwość wykorzystania drewna oraz odpadów i pozostałości z produkcji leśnej, a także przemysłu przetwarzającego jej produkty, jednakże przy uwzględnieniu ograniczeń określonych w przedmiotowym rozporządzeniu, które wiążą się z jednoczesnym wykorzystaniem tzw. biomasy agro.

W 2012 r. udział tzw. biomasy agro w ilości biomasy spalanej w jednostkach o mocy elektrycznej powyżej 20 MW wynosi 20%.

❑ Jednostki wytwórcze, w których spalana jest wyłącznie biomasa

W tym przypadku dopuszczona została możliwość wykorzystywania bez ograniczeń drewna oraz odpadów i pozostałości z produkcji leśnej, a także przemysłu przetwarzającego jej produkty dla jednostek o mocy elektrycznej wynoszącej nie więcej niż 20 MW. W instalacjach o większej mocy również istnieje możliwość wykorzystania drewna oraz odpadów i pozostałości z produkcji leśnej, a także przemysłu przetwarzającego jej produkty, jednakże przy uwzględnieniu ograniczeń określonych w przedmiotowym rozporządzeniu, które wiążą się z jednoczesnym wykorzystaniem tzw. biomasy agro. W 2012 r. udział tzw. biomasy agro w ilości biomasy spalanej w jednostkach o mocy elektrycznej powyżej 20 MW wynosi podobnie jak w przypadku układów hybrydowych 20%.

Polityka energetyczna Polski do 2030 roku

W przygotowanym w Ministerstwie Gospodarki dokumencie pt. *Polityka energetyczna Polski do 2030 roku*, który w dniu 10 listopada 2009 r. został przyjęty przez Radę Ministrów, zawarto główne cele dotyczące rozwoju wykorzystania odnawialnych źródeł energii, z których wynika, iż jednym z podstawowych założeń w przedmiotowym obszarze jest ochrona lasów przed nadmiernym eksploatowaniem, w celu pozyskiwania biomasy oraz zrównoważone wykorzystanie obszarów rolniczych na cele OZE, w tym biopaliw, tak aby nie doprowadzić do konkurencji pomiędzy energetyką odnawialną i rolnictwem oraz zachować różnorodność biologiczną. Powyższe wskazuje, iż zrównoważone wykorzystanie biomasy do celów energetycznych jest jednym z priorytetów Rządu.

Krajowy plan działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych

Kluczowym dokumentem w kontekście wzrostu wykorzystania odnawialnych źródeł energii jest przyjęty przez Radę Ministrów w dniu 7 grudnia 2010 r. *Krajowy plan działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych* (KPD), który został opracowany zgodnie z Dyrektywą 2009/28/WE. KPD określa cele w zakresie krajowego udziału energii ze źródeł odnawialnych w sektorze transportowym, sektorze energii elektrycznej, sektorze ogrzewania i chłodzenia w 2020 r.

Przedmiotowy dokument w sposób szczegółowy określa m.in. krajowe zasoby biomasy możliwej do energetycznego wykorzystania, jak również udział energii wytworzonej w oparciu o przedmiotowe paliwo w realizacji krajowego celu określonego zgodnie z wymogami dyrektywy 2009/28/WE.

Zaprezentowana poniżej tabela 1 przedstawia przewidywany w KPD wzrost produkcji energii elektrycznej z biomasy stałej oraz wzrost mocy zainstalowanej w jednostkach biomasowych w perspektywie roku 2020.

Tabela 1. Planowany wzrost produkcji energii elektrycznej z biomasy stałej oraz wzrost mocy zainstalowanej w jednostkach biomasowych

Biomasa stała	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Produkcja energii elektrycznej (GWh)	7700	8200	8700	8950	9200	9450	9700	9950	10200
Moc zainstalowana (MW), bez współspalania	600	800	1000	1300	1350	1400	1450	1500	1550

Źródło: opracowanie własne na podstawie KPD

Zaprezentowana poniżej tabela 2 przedstawia przewidywany w KPD wzrost końcowego zużycia energii z biomasy stałej w ciepłownictwie i chłodnictwie w perspektywie roku 2020.

Tabela 2. Planowany wzrost końcowego zużycia energii z biomasy stałej w ciepłownictwie i chłodnictwie

Biomasa stała	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Końcowe zużycie energii w ciepłownictwie i chłodnictwie (ktoe)	3890	3919	3953	3996	4118	4250	4361	4594	4636

Źródło: Opracowanie własne na podstawie KPD

Powyższe dane pokazują, iż energetyczne wykorzystanie biomasy będzie w dalszym czasie dynamicznie rosnąć. Przewidywany wzrost wykorzystania tego paliwa pozwoli (pomimo szybkiego rozwoju innych technologii OZE) utrzymać dominującą rolę biomasy w strukturze produkcji energii z odnawialnych źródeł w kontekście realizacji wyznaczonych na 2020 r. celów.

3. Wpływ obecnych regulacji na rozwój wykorzystania biomasy w Polsce

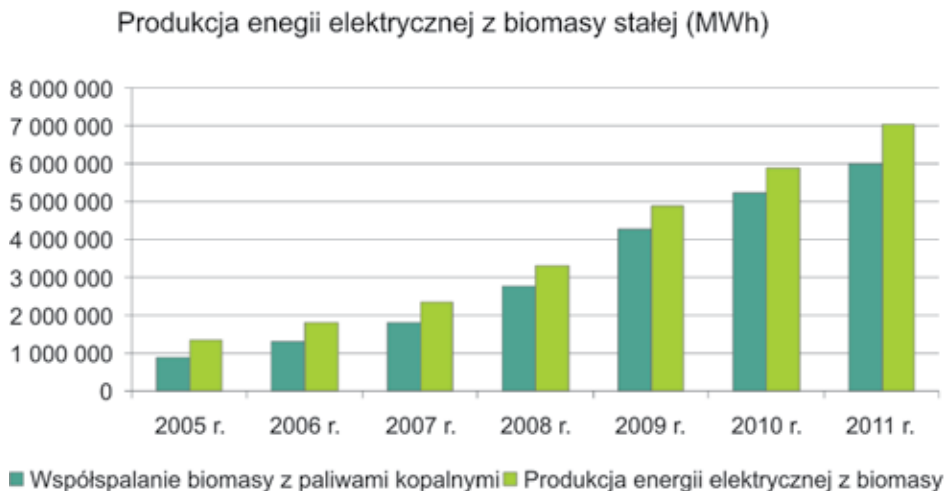
Obowiązujący mechanizm wsparcia określony w *Ustawie – Prawo energetyczne* przyczynił się do dynamicznego rozwoju energetyki opartej na biomase. Niemniej jednak należy zwrócić uwagę na fakt, iż większość energii elektrycznej z biomasy wytwarzana jest w technologii współspalania z paliwami kopalnymi. Powyższe wynika z faktu, iż koszty inwestycyjne związane z dostosowaniem konwencjonalnych jednostek wytwórczych do współspalania biomasy, z reguły nie są wysokie, co zwiększa atrakcyjność tego typu przedsięwzięć. Poniżej zaprezentowane dane wyraźnie wskazują na dużą dynamikę, zarówno jeżeli chodzi o przyrost liczby jednostek wytwórczych, jak również produkcji energii elektrycznej z biomasy stałej.

Tabela 3. Liczba jednostek wytwórczych wykorzystujących biomasę

Lata	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012*
Elektrownie na biomasę	6	7	11	15	18	19	22
Współspalanie	b.d.	b.d.	28	38	41	47	45

* Stan na 30 czerwca 2012 r.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych Urzędu Regulacji Energetyki

**Rycina 1. Produkcja energii elektrycznej z biomasy**

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych Urzędu Regulacji Energetyki

4. Planowane zmiany przepisów w zakresie wykorzystania biomasy leśnej w Polsce

Projekt rozporządzenia OZE

Prowadzone od 2010 r. prace nad projektem *Rozporządzenia Ministra Gospodarki w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii*, wprowadzą istotne zmiany w zakresie energetycznego wykorzystania biomasy leśnej w Polsce. Przedmiotowy projekt wprowadza definicję drewna pełnowartościowego określonego jako „drewno spełniające wymagania jakościowe określone w normach określających wymagania i badania dla drewna wielkowymiarowego liściastego, drewna wielkowymiarowego iglastego oraz drewna średniowymiarowego dla grup oznaczonych jako S1, S2 i S3 oraz materiał drzewny powstały w wyniku procesu celowego rozdrobnienia tego drewna”.

Ponadto, dalsze przepisy (§6 ust. 7) stanowią, iż w przypadku jednostki wytwórczej, w której jest spalana biomasa lub biomasa i paliwo pomocnicze, należącej do przedsiębiorstwa energetycznego obowiązanej do realizacji obowiązków, o których mowa w § 6 ust. 2–6, do energii ze źródeł odnawialnych nie zalicza się energii elektrycznej lub ciepła wytworzonego z drewna pełnowartościowego.

Jak wynika z uzasadnienia do ww. projektu, celem regulacji jest skierowanie strumienia drewna pełnowartościowego, które do tej pory wykorzystywane było do celów energetycznych, do szeroko rozumianego przemysłu drzewnego, co przyniesie większą korzyść gospodarce.

Kolejną równie istotną zmianą, zawartą w § 6 ust. 2–4, jest zwiększenie dostępności biomasy leśnej (innej niż drewno pełnowartościowe) przeznaczonej do energetycznego wykorzystania. Odbywać ma się to m.in. poprzez umożliwienie energetycznego wykorzystania biomasy w jednostkach wytwórczych wykorzystujących technologię współspalania (po roku 2014), co w świetle obowiązujących przepisów jest niemożliwe.

Jak wynika z uzasadnienia, powodem wprowadzenia powyższych zmian jest przede wszystkim potrzeba zwiększania wykorzystania odnawialnych źródeł energii w związku z koniecznością realizacji zobowiązań międzynarodowych w przedmiotowym obszarze, jak również konieczność zagospodarowania odpadów i pozostałości z produkcji leśnej oraz z przemysłu przetwarzającego jej produkty. Dodatkowo, wskazuje się na problemy techniczne związane ze spalaniem dużych ilości tzw. biomasy agro, bogatej w związki alkaliczne, oraz związki chloru, które powodują szybką korozję urządzeń technicznych.

Należy zauważyć, iż również zmiany zaproponowane w ustępach 5 i 6 w § 6 mają na celu zwiększenie wykorzystania biomasy leśnej. W tym wypadku wprowadzono dwie zmiany:

- ❑ po pierwsze wprowadzono możliwość, aby z preferencyjnego wykorzystania biomasy leśnej mogły korzystać również jednostki lub kotły wchodzące w skład tych jednostek, które zostały przebudowane do energetycznego wykorzystania biomasy (a nie jak ma to miejsce obecnie jedynie nowo wybudowane jednostki),
- ❑ po drugie wydłużono termin, do którego przedmiotowe jednostki muszą zostać oddane do użytku bądź przebudowane – z obecnie obowiązującego 31 grudnia 2012 r. do 31 grudnia 2015 r.

Jak wskazano w uzasadnieniu, przepis dotyczy wszystkich jednostek wybudowanych bądź przebudowanych do energetycznego wykorzystania biomasy do dnia 31 grudnia 2015 r., a zatem ma zastosowanie nie tylko do jednostek wytwórczych oddanych do użytku w okresie od wejścia w życie przedmiotowego rozporządzenia do dnia 31 grudnia 2015 r.

Ostatnią istotną propozycją mającą wpływ na rynek biomasy jest zmiana wprowadzona w § 6 ust. 8, której celem jest dopuszczenie spalania odpadów lub pozostałości z przemysłu przetwarzającego produkty leśne w miejscu ich powstania, bez konieczności stosowania wymaganego udziału tzw. biomasy

agro (na cały wolumen przedmiotowych odpadów oraz pozostałości). Jak wskazał ustawodawca w uzasadnieniu, zmiana podyktowana jest koniecznością realizacji założeń, które legły u podstaw wprowadzenia podobnego przepisu w obecnie obowiązującym rozporządzeniu (z dnia 14 sierpnia 2008 r.). Niemniej jednak, nieprecyzyjny zapis spowodował, iż w świetle obowiązującego prawa przedmiotowe odpady traktowane były jako tzw. biomasa agro, co nie było zamierzeniem ministra gospodarki.

Wskazane zmiany zawarte w ww. projekcie rozporządzenia powodują, iż jest ono oczekiwane przez dużą grupę podmiotów działającą na rynku biomasy leśnej. Warto więc zauważyć, iż przedmiotowy projekt został notyfikowany Komisji Europejskiej w dniu 22 maja 2012 r., natomiast planowane wejście w życie rozporządzenie nastąpi w dniu 31 grudnia 2012 r.

Projekt ustawy o OZE

Przygotowywany w Ministerstwie Gospodarki projekt *Ustawy o odnawialnych źródłach energii*¹ zakłada szereg zmian w obowiązującym systemie wsparcia dla odnawialnych źródeł energii, w tym dla energetyki opartej na biomasie. Głównymi zamierzeniami w tym obszarze jest przede wszystkim ograniczenie wsparcia dla technologii współspalania (spalania wielopaliwowego) oraz zwiększenie wsparcia dla małych jednostek biomasowych, ze szczególnym uwzględnieniem wysokosprawnej kogeneracji.

Na początku należy jednak zwrócić uwagę na zmianę w definicji drewna pełnowartościowego (w stosunku do wyżej omawianego projektu rozporządzenia OZE). Różnicą mającą istotne znaczenie jest wskazanie, iż drewno pełnowartościowe to drewno pozyskane w kraju, co w dotychczasowej definicji nie występowało. Powyższe oznacza, iż regulacja ma na celu ochronę krajowych zasobów drewna przed ich nadmiernym wykorzystaniem przez sektor energetyki zawodowej.

Projektowane ograniczenie wsparcia dla technologii spalania wielopaliwowego ma nastąpić poprzez wprowadzenie następujących rozwiązań:

- ☐ możliwość otrzymywania świadectw pochodzenia przysługiwać będzie jedynie przez okres kolejnych 5 lat, licząc od dnia wytworzenia po raz pierwszy energii elektrycznej na którą wydano świadectwo pochodzenia, co różni się znacznie od możliwości otrzymywania świadectw pochodzenia przez wytwórców energii elektrycznej w innych technologiach OZE (15 lat);
- ☐ określenie na niskim poziomie współczynników korekcyjnych dla tego typu jednostek;
- ☐ brak możliwości otrzymania wsparcia po dokonaniu modernizacji, o której mowa w projekcie ustawy.

¹ Przywoływany w tekście projekt Ustawy o odnawialnych źródłach energii odnosi się do projektu w wersji 2.0.1 z dnia 4 października 2012 r., opublikowanego na stronie Ministerstwa Gospodarki: <http://www.mg.gov.pl/node/16913>, chyba że wskazano inaczej.

Ponadto, w celu bardziej efektywnego wykorzystania zasobów biomasy, w projekcie ustawy Ministerstwo Gospodarki zaproponowało, aby jednostki wytwórcze, które wytwarzają energię w wysokosprawnej kogeneracji, otrzymywały wyższe wsparcie niż elektrownie kondensacyjne. Dodatkowo, wyższe współczynniki korekcyjne przysługiwać będą dla najmniejszych jednostek biomasowych – do 10MW.

Nowością zaproponowaną w projekcie ustawy jest również nałożenie na ministra właściwego do spraw gospodarki obowiązku ogłaszania na wniosek Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki (URE), w drodze obwieszczenia, listy zawierającej uznane za biomasę ulegające biodegradacji części produktów, odpady lub pozostałości pochodzenia biologicznego z rolnictwa, łącznie z substancjami roślinnymi i zwierzęcymi, leśnictwa i rybołówstwa oraz powiązanych z nimi działów przemysłu, w tym z chowu i z hodowli ryb oraz akwakultury, a także ulegające biodegradacji części odpadów przemysłowych i komunalnych, oraz ulegające biodegradacji części osadów ściekowych, wraz z procentowym określeniem poziomu biodegradowalności tej biomasy.

Powyższe ma ogromne znaczenie w kontekście uznawalności przez Prezesa URE danego paliwa jako biomasy, co w obecnej sytuacji budziło wiele kontrowersji.

5. Podsumowanie

W najbliższym okresie energetykę odnawialną, w tym opartą na biomasie, czekają istotne zmiany systemowe wynikające z nowych regulacji prawnych. Przedmiotowe zmiany mają na celu zarówno ochronę biomasy leśnej, jak również jej efektywne wykorzystanie w energetyce (głównie poprzez skierowanie większego jej strumienia do jednostek wysokosprawnej kogeneracji). Odpowiedni, dobrze zaprojektowany mechanizm wsparcia energetyki opartej na biomasie powinien przyczynić się do realizacji tych założeń.

Materiały źródłowe

- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE. Dz. Urz. UE L 140 z 5.06.2009 r., str. 16.
- Krajowy plan działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych. Dokument przyjęty przez Radę Ministrów w dniu 7 grudnia 2010 r. Ministerstwo Gospodarki, Warszawa.
- Polityka energetyczna Polski do 2030 roku. Dokument przyjęty przez Radę Ministrów w dniu 10 listopada 2009 r. Ministerstwo Gospodarki, Warszawa.
- Projekt rozporządzenia Ministra Gospodarki w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia,

uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii, w wersji 3.5 z dnia 16 maja 2012 r. Ministerstwo Gospodarki, <http://bip.mg.gov.pl/node/16164>.

- Projekt ustawy o odnawialnych źródłach energii w wersji 2.0.1 z dnia 4 października 2012 r. Ministerstwo Gospodarki, <http://www.mg.gov.pl/node/16913>.
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 14 sierpnia 2008 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii. Dz. U. nr 156 poz. 969 oraz z 2010 r. nr 34 poz. 182.
- Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne. Dz. U. z 2006 r. nr 89 poz. 625 z późn. zm.

Andrzej Ballaun

Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych w Warszawie



Faktyczne możliwości pozyskania oraz oferta sprzedaży drewna energetycznego z Lasów Państwowych

Surowiec drzewny, będący przedmiotem obrotu w Lasach Państwowych, ewidencjonuje się z podziałem na grubiznę, drobnicę, karpinę i zrębki.

- ❑ Do grubizny zalicza się: drewno wielkowymiarowe (W), kładowane (WK), drewno średniowymiarowe (S).
- ❑ W drewnie średniowymiarowym wyróżnia się grupy 1: drewno kopalniakowe (S1), 2: drewno papierówkowe (S2), 3: drewno typu żerdziowego (S3), 4: drewno opałowe (S4).
- ❑ Drobnica obejmuje: drewno małowymiarowe do zrębkowania (M1), drewno iglaste małowymiarowe do przerobu mechanicznego (M1PO) oraz drobnicę opałową (M2).
- ❑ Karpina dzieli się na: karpinę przemysłową (KP), karpinę opałową (KO).
- ❑ W zrębkach wyróżniamy: zrębki przemysłowe (ZP), zrębki energetyczne (ZE), zrębki opałowe (ZO).

Hurtowa sprzedaż drewna w Lasach Państwowych odbywa się według podanych poniżej grup handlowo-gatunkowych (GHG). Scharakteryzowano je w tabeli 1.

„Drewno stosowe energetyczne, przemysłowe S_S2A ENER (S2AC iglaste, liściaste)” oraz „drewno stosowe typu opałowego, do przemysłowego zastosowania S_S2A OPAL (S2AP wszystkie gatunki), aktualna nazwa „Drewno stosowe ogólnego przeznaczenia S_S2A_OPAL (S2AP wszystkie gatunki)”, są sortymentami typu opałowego, przeznaczonymi do celów przemysłowych. Umieszczenie tych grup w sortymencie S2A związane jest między innymi z odmienną stawką VAT w stosunku do drewna opałowego S4 dla indywidualnych gospodarstw domowych.

Drewno grupy M2ZE (drobnica na cele energetyczne) nie jest ujmowane w planach. Ogólne wytyczne dotyczące obrotu i ewidencji pozostałości drzewnych (drobnicy) na cele energetyczne (M2E), zrębki energetyczne (M2ZE) i baloty (M2BE), wydane w maju 2011 r., są następujące:

Tabela 1. Klasyfikacja grup handlowo-gatunkowych w Lasach Państwowych (podano jedynie grupy istotne w sprzedaży drewna energetycznego)

Nazwa grupy handlowej	Klasa, grupa jakości Gatunek Symbol	Klasa jakościowo- -wymiarowa
Drewno stosowe energetyczne, przemysłowe S_S2A_ENER	S2AC iglaste liściaste	S2AC
Drewno stosowe ogólnego przeznaczenia S_S2A_OPAL	S2AP wszystkie gatunki	S2AP
Zrębki leśne opałowe ZREBKI_OP	ZO	ZO
Karpina opałowa* KARPINA_OP	KO	KO
Drobnica na cele energetyczne M2E* M2ZE/M2BE** iglaste/liściaste	M2ZE iglaste/ liściaste M2BE iglaste/ liściaste	M2

* Sprzedaż drewna z grup handlowych: drobnica na cele energetyczne – M2E, karpina przemysłowa, karpina opałowa i zrębki leśne opałowe przebiega w aukcjach internetowych w aplikacji e-drewno.

** Współczynnik zamienny z $m^3(p)$ na m^3 wynosi: dla zrębków energetycznych (M2ZE) – 0,25; dla balotów M2BE – 0,20.

- ☐ Wykorzystanie pozostałości drzewnych na cele energetyczne powinno być uzależnione od warunków siedliska, a szczególnie jego żyzności.
- ☐ Powierzchnie mogą być udostępniane do uprzątnięcia pozostałości drzewnych z zachowaniem zasady pierwszeństwa wyrobu drobnicy opałowej (M2) przez miejscową ludność, jeśli taka tradycja i zainteresowanie istnieje na danym terenie.
- ☐ Udostępnianie odbywa się na podstawie protokolarnego przekazania powierzchni nabywcy, a kończy protokolarnym odbiorem powierzchni przez leśniczego.
- ☐ Wstępny szacunek miąższości w celu wystawienia surowca na aukcji internetowej odbywa się dla pozostałości drzewnych „gatM2 E”.
- ☐ Ostateczny pomiar i ewidencja sprzedaży przyporządkowana jest, w zależności od rodzaju artykułu finalnego wyrobionego przez nabywcę, do zrębków energetycznych „gatM2 ZE” lub balotów „gatM2 BE”.

Realizację sprzedaży drewna grupy S2AC, S2AP oraz drewna energetycznego (zrębki energetyczne i baloty) w latach 2010–2012 (tys. m^3) przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Sprzedaż drewna grupy S2AC, S2AP oraz drewna energetycznego (zrębki energetyczne i baloty) w latach 2010–2012 (w tys. m³)

Rok / Sortyment	S2AC	S2AP	Zrębki i baloty	Razem
2010	534,2	143,3	84,7	762,2
2011	661,1	132,6	176,3	970,0
2012 (realizacja do dn. 31.10)	497,6	171,5	126,1	795,2

Sprzedaż surowca opałowego (S4 i M2) w Lasach Państwowych w latach 2010–2012 przedstawiono w tabeli 3. Drewno tych grup przeznaczone jest dla nabywców detalicznych.

Tabela 3. Sprzedaż surowca opałowego (S4 i M2) w Lasach Państwowych w latach 2010–2012 (w tys. m³)

Rok / Sortyment	S4	M2	Razem
2010	2 387,9	1 381,5	3 769,4
2011	2 784,1	1 757,7	4 541,8
2012 (plan)	2 783,2	1 472,4	4 255,6

Ceny wybranych sortymentów przeznaczonych dla energetyki przemysłowej w latach 2010–2012 w porównaniu do drewna przemysłowego użytkowego S2A przedstawiają się następująco (tabela 4) w zł/m³ przedstawiają się następująco:

Tabela 4. Ceny wybranych sortymentów przeznaczonych dla energetyki przemysłowej oraz drewna przemysłowego użytkowego S2A w latach 2010–2012 (w zł/m³)

Sortyment / Rok	2010	2011	2012 (stan na dzień 31.10)
S2AC	117,2	149,1	134,5
S2AP	96,3	127,3	119,4
Zrębki i baloty – surowiec energetyczny	20,8	25,2	42,0
S2A Razem (wszystkie gatunki)	134,5	158,8	149,0
S4 iglaste	83,6	91,8	96,2
S4 liściaste	103,2	114,9	120,9
M2	33,7	37,2	36,7

Główne zmiany w *Rozporządzeniu Ministra Gospodarki* (na podstawie materiałów Ministerstwa Gospodarki):

- ☐ Wprowadzenie definicji drewna pełnowartościowego.
- ☐ Zwiększenie dostępności biomasy leśnej (innej niż drewna pełnowartościowego) poprzez:
 - wprowadzenie możliwości preferencyjnego wykorzystania biomasy leśnej przez jednostki lub kotły wchodzące w skład jednostek, które zostały przebudowane do energetycznego wykorzystania biomasy;

- dopuszczenie spalania odpadów lub pozostałości z przemysłu przetwarzającego produkty leśne w miejscu ich powstania, bez konieczności stosowania wymaganego udziału tzw. biomasy agro.

Według interpretacji Departamentu Energetyki w Ministerstwie Gospodarki z maja 2011 roku (z pisma skierowanego do Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych): *„Drewno grupy handlowo-gatunkowej.: Drewno stosowe energetyczne, przemysłowe S_S2A ENER (S2ac iglaste, liściaste) oraz Drewno stosowe typu opałowego, do przemysłowego zastosowania S_S2A OPAL (S2ap wszystkie gatunki) określone w tabeli nr 1 do Regulaminu internetowego przetargu ograniczonego w PL-D oraz Regulaminu systemowej aukcji internetowej w aplikacji „e-drewno” oraz aukcji internetowej w aplikacji „e-drewno”, wprost odpowiada warunkom jakościowo-wymiarowym drewna grupy S4.*

Wobec powyższego nie spełnia ono wymagań jakościowych, o których mowa w par. 2 pkt. 7 przedmiotowego projektu rozporządzenia (w przypadku drewna średniowymiarowego- Normy PN-91/D-95018 Surowiec drzewny, Drewno średniowymiarowe. Wspólne wymagania i badania).

Mając na uwadze powyższe, drewno ww. grup handlowo-gatunkowych, zgodnie z przedmiotowym projektem rozporządzenia będzie mogło być wykorzystane na cele energetyczne”.

Czy przekazana interpretacja jest nadal aktualna?

Ostatnie informacje, jakie Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych uzyskała od przedstawicieli przemysłu energetycznego skłaniają do stwierdzenia, że według aktualnej interpretacji Ministerstwa Gospodarki oraz Urzędu Regulacji Energetyki drewnem pełnowartościowym jest każde drewno oprócz sortymentów drzewnych oznaczonych jako S4, M2, M2ZE, ZE. Pomiamy tu takie sortymenty jak karpina opałowa, zrębki opałowe, których wielkość pozyskania w Lasach Państwowych jest niewielka.

Przedstawione wyżej aspekty, umożliwiają sformułowanie następujących wniosków:

- ❑ Choć rynek surowca drzewnego w Polsce charakteryzuje się praktycznie stałym niedoborem drewna, to jednak okresowo w momentach dekonunktury jednostki organizacyjne Lasów Państwowych mają znaczne problemy ze sprzedażą drewna.
- ❑ Lasy Państwowe zmuszone są do elastycznych zachowań, dających możliwość wypełnienia podstawowych zadań nałożonych na PGLLP, w tym szukania rozwiązań umożliwiających zagospodarowanie drewna w okresach dekonunktury, ale również równoważenie niedoborów podażyowych w okresach rosnącego popytu na drewno.
- ❑ Takie zachowania dały możliwość zaoferowania w ostatnich latach drewna, które ze względu na położenie geograficzne, niską jakość oraz znaczne koszty pozyskania nie znajdowało nabywców. Drewno to,

oznaczone symbolami S2AC oraz S2AP (drewno stosowe energetyczne, przemysłowe S_S2A ENER oraz drewno stosowe typu opałowego, do przemysłowego zastosowania S_S2A OPAL), znalazło nabywców z segmentu energetyki przemysłowej, co oczywiście nie oznacza, że nie jest nabywane przez przemysł przetwórczy jako uzupełnienie – głównie z uwagi na dość konkurencyjną cenę.

- ❑ Wychodząc w kolejnym etapie naprzeciw dalszym oczekiwaniom rynku surowca drzewnego jednostki organizacyjne Lasów Państwowych zawarły w swojej ofercie nowe grupy handlowo-gatunkowe, mogące mieć zastosowanie w energetyce przemysłowej, tj. drobnicę gałęziowo-chrustową na zrębki energetyczne oraz baloty. Możliwości pozyskania tego surowca są jednak ograniczone, uwarunkowane polityką ekologiczną państwa, koniecznością pozostawienia części masy po-zrębowej na powierzchni i zabezpieczeniem zaopatrzenia miejscowej ludności w drewno gałęziowe na cele opałowe.
- ❑ W latach 2010–2012 średniorocznie sprzedawano już 800–900 tys. m³ drewna typowego dla energetyki przemysłowej. Można założyć, że w przypadku zwiększenia udziału zagospodarowania drewna poeksploatacyjnego (M2ZE, MZBE) ogólna baza drewna energetycznego do przemysłowego wykorzystania może wzrosnąć do około 1,5 mln m³ rocznie.
- ❑ Lasy Państwowe dysponują ponadto stałą bazą drewna opałowego dla okolicznej ludności, pozyskiwanego w sortymentach S4 (grubizna opałowa) i M2 (drobnica opałowa pozyskiwana samowYROBEM) w ilości ogólnej około 4,5 mln m³. W najbliższym okresie, wraz ze wzrostem pozyskania drewna, wielkość ta może osiągnąć poziom ponad 5 mln m³.
- ❑ Wbrew ogólnym opiniom ceny drewna energetycznego są niższe od cen drewna przemysłowego. W roku 2012 cena drewna S2AC wyniosła 134,5 zł/m³, S2AP 119,4 zł/m³, w stosunku do ceny drewna S2A przemysłowego 149 zł/m³. Ceny drewna opałowego S4 oscylują na poziomie 100–120 zł/m³, a drewna M2 (drobnicy opałowej, tzw. gałęziówki) około 37 zł/m³.
- ❑ Sytuacja ograniczająca zakup drewna grup handlowych dotychczas zwyczajowo przeznaczonych dla przemysłu energetycznego (S2AC i S2AP) może zakłócić dotychczas ustalone zasady i doprowadzić do sytuacji, w której w skali roku około 800 tys. m³ drewna nie znajdzie nabywców.
- ❑ Należy przypuszczać, że w przypadku ograniczenia sprzedaży drewna energetycznego oznaczonego jako sortymenty grupy S2AC i S2AP nastąpią zmiany w układzie uzyskanych cen na drewno typowo przemysłowe, np. grupy S2A. Trudno jednak przewidzieć, jak ostatecznie ukształtuje się sytuacja rynkowa, szczególnie z uwagi na fakt, że w otoczeniu rynku polskiego takich ograniczeń nie ma i nie są planowane.



Praktyczne aspekty pozyskania biomasy leśnej do celów energetycznych

1. Wprowadzenie

Firma Quercus powstała w 1992 roku z siedzibą w Jedwabnie, na terenie Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych (RDLP) w Olsztynie. W początkowym okresie wytwarzała zrębki na potrzeby przemysłu produkującego płyty wiórowe i pilśniowe. Od kilku lat, wraz z powstaniem instalacji wytwarzających energię elektryczną i ciepłą z odnawialnych źródeł energii, wytwarza biomasę na cele energetyczne. Biomasę leśną pozyskujemy głównie na terenie RDLP w Białymstoku, Olsztynie, Szczecinku i Gdańsku. W chwili obecnej współpracujemy z 38 nadleśnictwami w czterech RDLP: Białystok – 18, Olsztyn – 13, Szczecinek – 4, Gdańsk – 3.

Roczna produkcja biomasy wynosi około 140 tys. ton (tj. ok. 400 tys. mp), w tym biomasa leśna stanowi ok. 60 %. Pozostałe 40% stanowi biomasa pochodząca z odpadów przemysłu drzewnego. Głównymi odbiorcami biomasy leśnej są Elektrociepłownia Białystok S.A. oraz Mondi Świecie. Do produkcji biomasy leśnej stosuje obecnie następujące linie technologiczne:

- ☐ balotowanie pozostałości zrębowych (35%),
- ☐ zrębkowanie pozostałości zrębowych (60%),
- ☐ pozyskiwanie i rozdrabnianie karpiny (5%).

2. Pozyskanie biomasy w Lasach Państwowych i lasach prywatnych

Quercus uprzęta powierzchnie zrębowe wraz z zagospodarowaniem pozostałości zrębowych w postaci gałęzi i wierzchołków pochodzących od pozyskanej grubizny oraz podszytu i podrostu wyciętego w trakcie wykonywania melioracji agrotechnicznych. Czynności te prowadzimy stosując trzy linie technologiczne:

Linia 1 – Balotowanie pozostałości zrębowych

W tej technologii zbiór biomasy leśnej jest wykonywany przy użyciu trzech parkieciarek John Deere 1490 D Slash Bundler (ryc. 1 i 2). Praca tych maszyn polega na formowaniu z pozostałości pozrębowych, tzw. balotów, o wymiarach w zależności od ustawień:

- ❑ średnica od 0,60 m do 0,70 m,
- ❑ długość od 2,0 m do 3,0 m,
- ❑ masa 250–550 kg.

Balot zawiera około 1 MW energii.



Rycina 1. Pakieciarka John Deere 1490D Slash Bundler



Rycina 2. Baloty po zrywce



Rycina 3. Rębarka Bruks 805.2 STC na podwoziu forwardera Valmet 860.4



Rycina 4. Rębarka Bruks 805 CT na podwoziu forwardera John Deere 1410B

Zrywka balotów z powierzchni odbywa się przy użyciu ciągników wraz z przyczepami wyposażonymi w żurawie oraz forwarderami.

Wydajność pracy parkieciarki jest głównie uzależniona od dokładności przygotowania materiału na powierzchni. Średnia wydajność wynosi 21 balotów na godzinę pracy maszyny. Dla porównania, w Finlandii średnia ta wynosi ok. 33 baloty. Różnica wynika z jakości materiału i jego odpowiedniego przygotowania do podjęcia.

Głównym udział w kosztach tego procesu ma olej napędowy, wynoszący ok. 60% wszystkich kosztów zmiennych.

Linia 2 – Zrębkowanie

Zbiór surowca energetycznego odbywa się przy użyciu trzech rębarek samobieżnych, na podwoziach forwarderów (ryc. 3–6). Praca tych maszyn polega na bezpośrednim zrębkowaniu pozostałości zrębowych na powierzchni.

Pomocniczo dla zwiększenia wydajności dla linii 1 i 2 (w trudnych warunkach terenowych) stosujemy wstępne przygotowanie biomasy, polegające na zwożeniu jej z powierzchni pozrębowej i układaniu przy drodze wywozowej (ryc. 7). Do tego celu stosujemy forwardery z nakładką BIO (2 niezależne zestawy) – ryc. 8.



Rycina 5. Rębarka Bruks 804 CT na podwoziu forwardera Timberjack 1410 B



Rycina 6. Wyładunek zrębków z zasobnika rębarki do kontenera wywozowego



Rycina 7. Zerwana biomasa gotowa do rozdrobnienia



Rycina 8. Forwarder z nakładką BIO

Linia 3 – Pozyskanie biomasy z karpiny

Do rozdrabniania karpiny oraz innego bardzo zanieczyszczonego materiału pochodzenia drzewnego stosujemy rozdrabniacz wolnoobrotowy marki Doppstadt DW 3080 wraz ze stacją przesiewającą tej samej firmy (ryc. 9). Następnie, do wytworzenia biomasy o określonej frakcji stosujemy recyklery szybkoobrotowe Beast 3680 (ryc. 10) lub Doppstadt AK 530. Tak więc do produkcji biomasy nadającej się do instalacji odbiorcy konieczne jest zastosowanie trzech urządzeń pracujących w jednej linii produkcyjnej. Na ryc. 9 i 10 przedstawiono przerób karpiny przy modernizacji trasy E7. Karpina pochodziła z Lasów Państwowych.



Rycina 9. Rozdrabniacz wolnoobrotowy Doppstadt DW 3080 wraz ze stacją przesiewającą



Rycina 10. Recykler szybkoobrotowy Beast 3680

3. Dotychczasowe doświadczenia związane z pozyskaniem biomasy leśnej przeznaczonej na cele energetyczne

Planowanie prac pozyskaniowych

Planowanie prac przy pozyskaniu biomasy zaczynamy od doboru właściwej linii technologicznej do siedliska, na jakim będzie prowadzona praca.

- ☐ zrębkowanie – siedliska ubogie, monokultury, rębnie zupełne;
- ☐ balotowanie – siedliska bogate z podszytem liściastym, drzewostany z udziałem świerka, rębnie częściowe i gniazdowe.

W doborze powierzchni zawsze wspólnie z nadleśnictwami kierowaliśmy się zasadą pierwszeństwa pozyskania gałęziówki (materiału opałowego pozyskanego kosztem nabywcy) przez okoliczną ludność. Zachowanie tego prospołecznego elementu pozwoliło nam uniknąć niepotrzebnych konfliktów. Zawsze są wybierane obszary, gdzie stosunek powierzchni leśnych do zaludnienia terenu jest bardzo wysoki.

Nauczeni doświadczeniem nie wchodzimy na powierzchnie w okresie zimowym po dużych opadach śniegu (ryc. 11). Praca ta jest nieefektywna i wymaga poprawek po ustąpieniu powłoki śnieżnej na wiosnę. Ponadto jeżeli temperatura przez kilka kolejnych dni utrzymuje się poniżej 10 stop-



Rycina 11. Biomasa przykryta śniegiem

ni C, balotowanie jest nieefektywne z uwagi na kruchość gałęzi (głównie sosny).

Pozyskanie biomasy w sposób, który prezentujemy, jest ostatnim elementem ciągu technologicznego przy pozyskaniu surowca drzewnego. Prawidłowe zaplanowanie i wykonanie pracy przez wszystkie maszyny w tym ciągu (harwester, forwarder, zespół zrębkujący lub pakietujący) jest niezbędnym elementem do uzyskania optymalnych kosztów pozyskania biomasy.

Organizacja pracy na powierzchni pozrębowej

Kluczowym elementem pozyskania biomasy z powierzchni pozrębowych jest odpowiednie przygotowanie przez Lasy Państwowe sprzedawanego sortymentu M2. Polega to na zgrupowaniu go, przy pozyskaniu ręcznym, w nieregularne stosy lub wały (ryc. 12) lub uformowaniu go w rzędy przy pozyskaniu maszynowym (ryc. 13). Prace takie powinny być zaplanowane i zapisane w kontraktach z zakładami usług leśnych i egzekwowane m.in. ze względów przepisów BHP. Koszty tych czynności powinny być dodane do ceny wyjściowej sortymentu M2 na aukcji e-drewno. Często zdarzają się przypadki wystawiania przez Lasy Państwowe sortymentu M2, który został wcześniej wykrzesany z gałęziówki (pozostała sama cetyna – ryc. 14), lub prace przy pozyskaniu grubizny były prowadzone w sposób powodujący znaczne zniszczenie sortymentu M2.



Rycina 12. Prawidłowo przygotowana powierzchnia po pozyskaniu ręcznym



Rycina 13. Prawidłowo przygotowana powierzchnia po pozyskaniu mechanicznym (harvesterem)



Rycina 14. Powierzchnia bez przygotowania z wykrzesaną gałęziówką

Transport i składowanie

Transport biomasy prowadzimy głównie w oparciu o transport zewnętrzny. Nasz własny tabor zaspokaja nasze potrzeby w ok. 20%. W przypadku pozyskania biomasy w postaci zrębków, trafia ona ze względu na swoje właściwości bezpośrednio po wytworzeniu do odbiorcy. Biomasa pozyskana w formie balotów jest przewożona na zewnętrzne place składowe, gdzie po uzyskaniu odpowiedniego parametru wilgotności stanowi bufor magazynowy.

Ze względów bezpieczeństwa pożarowego oraz wytycznych dotyczących ochrony lasu (zasiedlanie materiału M2 przez szkodliwe owady) okres składowania tego materiału na magazynie obcym (Lasy Państwowe) jest bardzo ograniczony i relatywnie krótki.

Aspekty logistyczne

Mając na uwadze czas pracy urządzeń pozyskujących biomasę oraz kontrolę zużycia oleju napędowego, wszystkie urządzenia wyposażone zostały w system kontroli i zarządzania flotą. System monitorujący oparty jest na technologii GPS i pozwala na dokładne ustalenie lokalizacji urządzenia oraz pełną kontrolę pracy i zużycia paliwa, w tym ewentualne upusty oraz kradzieże.

W przyszłości, w przypadku udostępnienia przez Lasy Państwowe map numerycznych, istnieje możliwość wykorzystania systemu monitorowania w celu łatwiejszego i dokładniejszego przemieszczania się urządzeń pomiędzy powierzchniami pozębowymi oraz optymalizacji transportu wytworzonej biomasy.

Maszyny służące do pozyskiwania biomasy, ze względu na brak możliwości trakcyjnych oraz swoje gabaryty, wymagają transportu specjalistycznego



Rycina 15. Transport rębarki samobieżnej zestawie niskopodwoziowym

(ryc. 15). W świetle przepisów wyznaczonych przez ustawodawcę transport tych maszyn wymaga zezwoleń indywidualnych. Zgodnie z wytycznymi muszą one być ustalane z wyprzedzeniem 14-dniowym i zawierać wyznaczoną trasę przejazdu w określonym dniu i przedziale czasowym. W praktyce, przy uwzględnieniu wymogów Lasów Państwowych, warunki te stają się niemożliwe do spełnienia.

4. Relacje z jednostkami Lasów Państwowych i odbiorcami biomasy

Lasy Państwowe są naszym głównym partnerem handlowym dysponującym surowcem drzewnym do produkcji biomasy na cele energetyczne. W okresie kiedy wprowadzono w LP zakaz palenia pozostałości pozrębowych, nasza firma zaproponowała alternatywne rozwiązanie ich uprzętań poprzez zbiór. Pionierem we wdrażaniu tej metody było Nadleśnictwo Jedwabno w RDLP Olsztyn.

Dzięki zaangażowaniu leśników z Nadleśnictwa Jedwabno udało się wspólnie wypracować pierwsze wytyczne do przychodu i rozchodu pozostałości pozrębowych M2 oraz metodyki działania po obu stronach. Kontraktowanie zakupu odbywało się na zasadzie umów rocznych, określających ilość powierzchni zrębowych w hektarach, a szacowanie masy znajdującej się na nich odbywało się na podstawie tablic zasobności Szymkiewicza i Czuraja. Po-

Ogólna charakterystyka Nadleśnictwa Jedwabno



- powierzchnia: 29 742 ha;
- zasięg administracyjny: 365,8 km²;
- powierzchnia leśna: 27 530 ha;
- powierzchnia nieleśna: 2 212 ha;
- lesistość: 75,7%;
- obręby leśne: Dłużek i Zimna Woda;
- 19 leśnictw (w tym leśnictwo szkółkarskie).

równawczo stosowaliśmy pomiar pozyskanej biomasy w postaci zrębków na środkach transportowych – kontenerach (wyniki były zbliżone).

Przy pełnym wsparciu tego nadleśnictwa na jego terenie organizowaliśmy pokazy dla innych jednostek Lasów Państwowych (z RDLP w Olsztynie i Białymstoku). Przedstawiona metoda uprzątania powierzchni spotkała się z zainteresowaniem kolejnych nadleśnictw, które w tym sposobie widziały korzyści i oszczędności finansowe. Stosowane do tej pory rozdrabniacze powodowały znaczne koszty oraz miały niską wydajność na bogatych siedliskach. W początkowym okresie nasze rozliczenia z nadleśnictwami za wykonaną usługę uprzątnięcia powierzchni były równe kwocie zakupywanego przez nas na tej powierzchni sortymentu M2.

Zmianie uległo bardzo wiele elementów z początkowego okresu. Uprzątania powierzchni nie dokonujemy na podstawie zawieranych umów rocznych, które dawały nam stabilizację planowania prac, i nie kupujemy już sortymentu M2 w oparciu o zawierane umowy. Wprowadzono system sprzedaży pozostałości pozrębowych poprzez aukcje internetowe na portalu e-drewno. Nie mamy przez to możliwości określenia masy, jaką kupimy w danym roku, ponieważ ta grupa sortymentowa nie jest ujęta w planach sprzedaży Lasów Państwowych. Dodatkowym problemem jest prowadzona sprzedaż detaliczna sortymentu M2. Zdarza się bardzo wiele przypadków sprzedaży w tej formie dla podmiotów prowadzących działalność gospodarczą, co pozwala im ominąć aukcje internetowe. Tymczasem ta forma sprzedaży powinna być dostępna tylko i wyłącznie dla lokalnej ludności, wykorzystującej ten sortyment na użytek własny.

W miarę przybywania zleceń na nowe powierzchnie spotkaliśmy się z problemem okresowego spiętrzenia się prac w okresie wczesnej wiosny i późnej jesieni. Wszystkie jednostki Lasów Państwowych, z którymi współpracujemy, wymagają od nas krótkich terminów na wykonanie prac w tych okresach. Podyktowane jest to określonymi, nieprzekraczalnymi terminami przygotowania gleby pod planowane odnowienia. Zrozumiałe jest, że Lasy Państwowe wymagają od nas gotowości i elastyczności, co z kolei wymusiło na nas dokonanie inwestycji w kolejne maszyny, które realizują te zadania.

Sortyment M2 kupujemy w metrach sześciennych. Po wytworzeniu z niego biomasy i dostarczeniu do odbiorcy, rozliczenie dokonywane jest w jednostce kaloryczności uzyskanej z jednej tony (GJ/t). Ta forma rozliczeń jest zrozumiała z punktu widzenia sprzedającego, czyli Lasów Państwowych, oraz odbiorcy biomasy – branży energetycznej. Cały ciężar zmiany jednostek spada na ogniwo pośrednie – tj. wytwórcę.

W związku z tym wprowadziliśmy metodę pozyskania biomasy w postaci balotów. Ze względu na możliwość składowania biomasy pozyskanej w tej formie, daje to nam możliwość podniesienia wartości energetycznej. Baloty można składować w stosach. Przy optymalnych warunkach składowania spada wilgotność pozyskanej z balotów biomasy, co skutkuje podniesieniem

kaloryczności. Dodatkowa korzyść metody balotowania polega na ciągłości obsługi Lasów Państwowych niezależnie od harmonogramu odbiorcy docelowego biomasy, jakim jest energetyka zawodowa.

5. Podsumowanie i wnioski

Celem niniejszej prezentacji było przedstawienie najbardziej zaawansowanych technologii pozyskania biomasy pochodzenia leśnego. Znaczące nakłady finansowe ponoszone na zakup przedstawionych maszyn wymuszają precyzyjne działania logistyczne przy ich użytkowaniu. Kluczowym elementem jest prawidłowe przygotowanie materiału na powierzchniach zrębowych.

Należy również zwrócić uwagę na fakt, że w związku z coraz większym zainteresowaniem grupą sortymentową M2 (pozostałości zrębowe), Lasy Państwowe powinny traktować ten materiał z przywiązaniem większej do niego uwagi i nie stawiać go na marginesie pozostałych sprzedawanych sortymentów.

Potwierdzeniem powyższego jest *Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 18 października 2012 roku w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczania opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła, wytworzonych w odnawialnych źródłach energii*, które wyklucza stosowanie drewna pełnowartościowego i jego pochodnych (np. zrębków) na cele energetyczne. Rozporządzenie wchodzi w życie z dniem 31 grudnia 2012 roku i od tego momentu teoretycznie do wykorzystania dla energetyki pozostaje sortyment S4 (drewno opałowe) oraz grupa M (drewno małowymiarowe w tym pozostałości zrębowe).



Uwarunkowania techniczne spalania biomasy w kotłach energetycznych

1. Wstęp

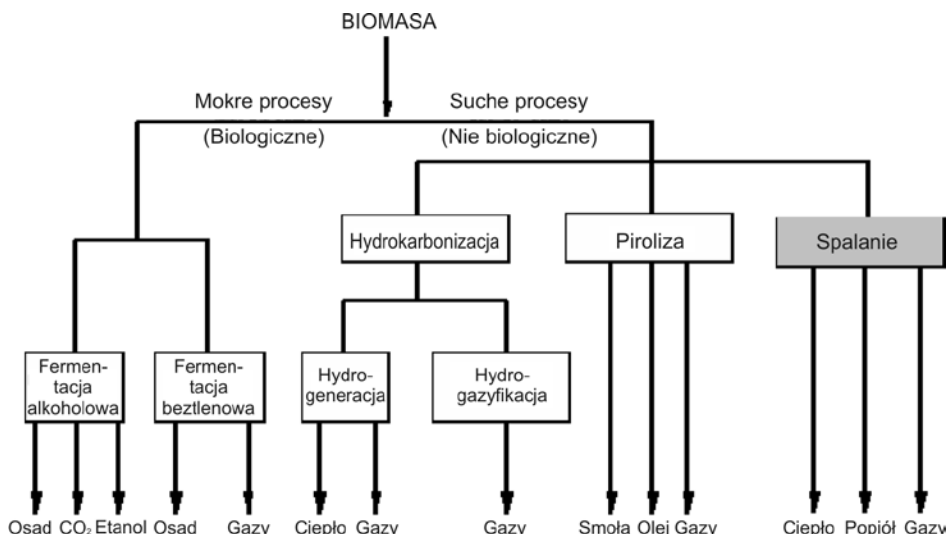
Największy potencjał dla energetyki ciepłej i zawodowej oraz aktywizacji terenów rolniczych i zagospodarowania nieużytków stanowi biomasa. Energetyczne wykorzystanie biomasy jest najszybciej rozwijającym się sektorem energetyki odnawialnej w Polsce. Cechą znaną dotychczasowego wzrostu wykorzystania biomasy jest bazowanie na niestandardizowanych i niekomercyjnych biopaliwach odpadowych zarówno pochodzenia leśnego, jak i rolniczego, o najniższej cenie rynkowej. Podejście to jest w pełni uzasadnione, gdyż popyt biomasy na cele energetyczne stale wzrasta.

Wybór najbardziej odpowiedniej technologii dla utylizacji biomasy zależy głównie od rodzaju i zasobów biomasy, która ma być wykorzystana w danym procesie, dostępności technologii oraz względów ekonomicznych. W niniejszej pracy omówiono uwarunkowania techniczne produkcji energii elektrycznej i ciepła z biomasy, zwłaszcza w aspekcie problemów eksploatacyjnych występujących w kotłach energetycznych.

2. Metody utylizacji biomasy

Do wytwarzania energii elektrycznej i ciepła przez utylizację biomasy można wykorzystać szereg procesów umownie zwanych 3B: Bioprodukty – Biopaliwa – Bioenergia. Jak widać ze schematu przedstawionego na rycinie 1, można do nich zaliczyć: spalanie, pirolizę, hydro-karbonizację oraz utylizację biochemiczną. Biomasa, ze względu na swój skład chemiczny, może być z powodzeniem poddana przetworzeniu chemicznemu. Szczególnie duży postęp osiągnięto tu w procesach termo-chemicznej pirolizy i gazyfikacji biomasy. Produktem końcowym przetwarzania biomasy może być metanol, a także czysty wodór, który jest wykorzystywany w celach energetycznych. Biomasa może być też poddawana stabilizacji biochemicznej, np. podczas fermenta-

cji metanowej, czy podczas fermentacji cukrów trzciny cukrowej, słomy lub drewna, której produktem końcowym jest etanol.



Rycina 1. Podział procesów utylizacji biomasy

Decydując się w przyszłości o wyborze w elektrowni dodatkowego paliwa w postaci biomasy trzeba mieć na względzie:

- ☐ dostępność biomasy we właściwym czasie i miejscu,
- ☐ właściwą cenę i wymagane własności dodatkowego paliwa.

Ponadto należy uwzględnić gęstość energii tych paliw, tzn. ile energii można uzyskać z paliwa zebranego z określonego obszaru. W odróżnieniu od węgla, biopaliwa muszą być zbierane z dużych obszarów i transportowane do elektrowni. Może się okazać, że koszt takich paliw będzie znacznie wyższy od węgla. Konieczne więc jest stworzenie bezpiecznego systemu zbiórki i zaopatrzenia w wysokiej jakości biomase. Trzeba wreszcie pamiętać o objętości właściwej tych paliw – np. aby uzyskać tą samą ilość energii co z 1 m³ węgla, potrzeba 9 m³ trocin, 8 m³ kory, czy 13 m³ słomy w balach. Należy dodać, że każdy hektar upraw zbożowych i rzepaku pozwala uzyskać słomę o wartości energetycznej do 2 ton węgla, a przy dobrze prowadzonej plantacji energetycznej, co roku przez około 30 lat uzyskiwać można co najmniej 20 t suchej masy z 1 hektara (wartość opałowa wierzby wynosi ok. 15 MJ/kg). Wynika stąd, że mimo atrakcyjności biomasy z punktu widzenia emisji CO₂ i wykorzystania odnawialnych źródeł energii, ich utylizacja w przyszłości odbywać się będzie w istniejących elektrowniach węglowych, zastępując co najwyżej kilka procent paliw podstawowych. Wydaje się, że szansą dla wykorzystania biomasy w celach energetycznych będzie również rozwinięcie produkcji energii elektrycznej i ciepła w małych i średnich jednostkach kogeneracyjnych opartych na kotłach, turbinach parowych, czy układach ORC.

W początkowym okresie źródłem biomasy mogą być odpady drewna z terenów zurbanizowanych i z produkcji przemysłowej oraz pozostałości z lasów (kora, gałęzie, ścinki itd.). W miarę wyczerpywania się ogólnie dostępnych zasobów biomasy nastąpi intensywny rozwój upraw roślin energetycznych oraz pozyskiwanie paliwa z odpadów komunalnych, przetwórstwa rolno-spożywczego oraz osadów ściekowych.

Kogeneracja, czyli jednocześnie wytwarzanie ciepła i energii elektrycznej z wykorzystaniem biomasy jako nośnika paliwa, może odbywać się w:

- ☐ elektrociepłowniach opalanych mieszanką węgla i biomasy, bądź wyłącznie biomasą,
- ☐ w układach położonych w bezpośrednim sąsiedztwie odbiorców energii (kogeneracja rozproszona).

Główną jej zaletą układów kogeneracyjnych jest to, że sprawność ogólna przemiany energii w procesie skojarzonym jest dużo wyższa niż przy rozdzielonym wytwarzaniu energii elektrycznej i ciepła. Moduły kogeneracyjne na biomasę mogą pracować w układzie z:

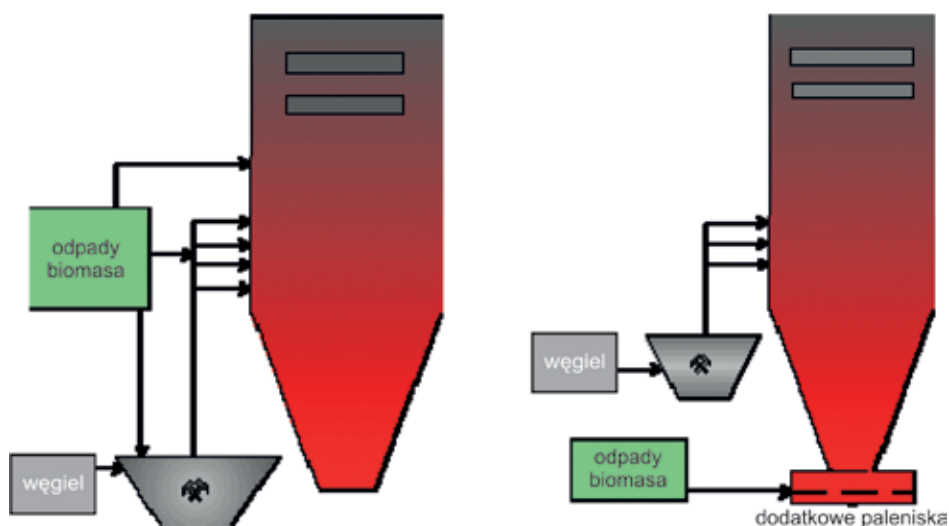
- ☐ silnikiem tłokowym,
- ☐ turbiną parową,
- ☐ turbiną gazową w układzie IGCC,
- ☐ silnikiem Stirlinga,
- ☐ silnikiem śrubowym,
- ☐ mikroturbiną,
- ☐ ogniwnem paliwowym,
- ☐ waloryzacją biomasy (produkcją biocarbonu),
- ☐ produkcją paliw płynnych (metanolu, etanolu, paliw syntetycznych).

Natomiast współspalanie biomasy z węglem w urządzeniach energetycznych może odbywać się w:

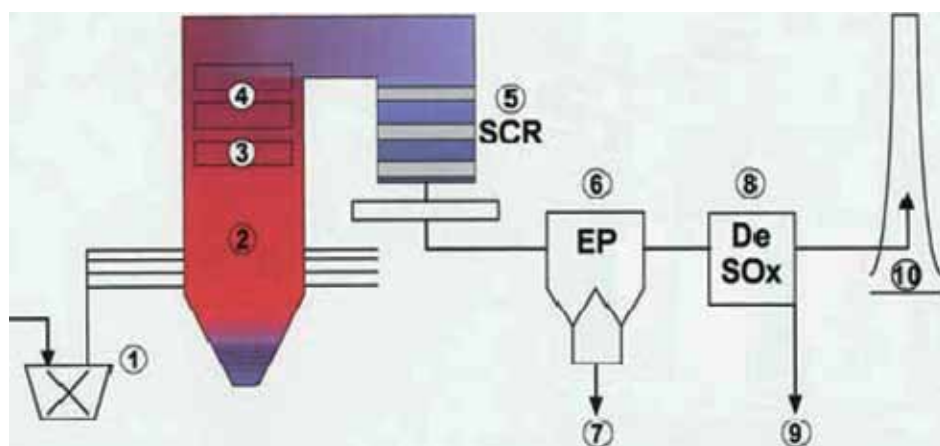
- ☐ kotłach rusztowych,
- ☐ kotłach pyłowych,
- ☐ kotłach fluidalnych.

Współspalanie biomasy z węglem w kotłach rusztowych jest prostym rozwiązaniem, nie wymagającym większych nakładów inwestycyjnych. Dodatek ok. 10% biomasy nie powoduje istotnych zmian w procesie spalania paliwa podstawowego. Mieszanka powinna być jednorodna oraz powinna posiadać odpowiednią wartość opałową i winna być jakościowo stabilna. W wyniku dodatku biomasy uzyskuje się mniejsze zużycie węgla oraz mniejsze emisje zanieczyszczeń powietrza.

Spalanie bezpośrednio biomasy w kotle pyłowym może odbywać się przez podanie biomasy do instalacji przemiału węgla bądź za pośrednictwem dodatkowego paleniska zlokalizowanego w dolnej części komory paleniskowej, jak schematycznie pokazano na ryc. 2. Taki układ wielopaliwowy praktycznie występuje w wielu dużych kotłach energetycznych, dając określone korzyści w postaci oszczędności na węglu, ale niestety powoduje dodatkowe problemy eksploatacyjne. Niektóre uwagi dotyczące pracy urządzeń pokaza-



Rycina 2. Bezpośrednie spalanie biomasy w kotle pyłowym



Rycina 3. Problemy przy współspalaniu biomasy w kotle pyłowym

1 – przemiał (możliwości, zużycie elementów, wydajność); 2 – komora (żużlowanie), 3 – prze-grzewacz (korozja); 4 – część konwekcyjna (osadzanie się materiału, erozja); 5 – DeNO_x (de-aktywacja, wydajność, erozja); 6 – elektrofiltr (wydajność); 7 – popiół (utylizacja); 8 – DeSO_x (wydajność); 9 – produkty odsiarczania (utylicacja); 10 – spaliny (emisje)

no na ryc. 3. W przypadku biomasy mamy do czynienia z paliwem, którego jakość i struktura są bardzo zróżnicowane, co pociąga za sobą utrudnienia z przemiałem i podawaniem do paleniska. Faktycznie przemiał biomasy drzewnej jest niezwykle trudny albo wręcz niemożliwy, co istotnie ogranicza sortyment gatunków biomasy nadającej się do spalania w kotle pyłowym.

Kotły fluidalne osiągnęły swój sukces dzięki ich zdolności do zgodnego z zaostrzającymi się normami ochrony powietrza, spalania paliw niskojako-

ściowych i odpadowych. Dodatkowe korzyści z zastosowania spalania fluidalnego to:

- ☐ wysoka skuteczność wypalania paliwa ($\sim 99\%$),
- ☐ niska emisja NO_x i SO_2 bez konieczności stosowania dodatkowych instalacji dla ich redukcji,
- ☐ możliwość jednoczesnego spalania różnych typów paliw, w tym także paliw o bardzo niskiej jakości.

Wśród kotłów fluidalnych na szczególną uwagę zasługuje technologia spalania w cyrkulacyjnej warstwie fluidalnej (CFB). Dzięki wewnętrznej cyrkulacji ziaren materiału warstwy oraz intensywnemu mieszaniu, czas kontaktu ziaren paliwa z gazem jest znacznie dłuższy niż w warstwie pęcherzowej. Dlatego też kotły CFB charakteryzują się wyższą sprawnością procesu spalania oraz niższymi emisjami SO_2 i NO_x w stosunku do kotłów z warstwą pęcherzową, a także większą elastycznością paliwową. W każdym z tych kotłów można spalać dodatkowo biomasę korzystając z istniejącego układu nawęglania. W kotłach CFB odpady komunalne nie powinny być spalane bez odpowiedniego przygotowania. Odpady powinny być poddane segregacji i obróbce z ostatecznym wytworzeniem paliwa z odpadów.

Niewątpliwą zaletą kotłów CFB jest możliwość spalania różnych paliw w tym samym palenisku. Niemniej jednak, z uwagi na różnorodność składu chemicznego oraz właściwości chemicznych i fizycznych paliw, współspalanie może narażać na pewnych trudności, związanych np. z niemożliwością zapewnienia ciągłej stabilnej pracy paleniska, bądź też z trudnością w utrzymywaniu odpowiedniego (tzn. w granicach normy) składu emitowanych spalin i popiołów.

W istniejących kotłach CFB po dobudowie układu przygotowania i transportu istnieją dwie podstawowe metody wprowadzenia biomasy do komory kotła CFB:

- ☐ wprowadzenie strumienia biomasy do układu nawęglania przed komorą spalania,
- ☐ wprowadzenie strumienia biomasy bezpośrednio do komory kotła.

3. Uwarunkowania techniczne

Energetyczne wykorzystanie biomasy wiąże z sobą szereg problemów stawiając przed operatorami bloków energetycznych nowe wyzwania. Można tu wymienić kilka:

- ☐ różnorodność własności fizyko-chemicznych paliwa i trudności w utrzymaniu stabilnej pracy kotła,
- ☐ aglomeracja i defluidyzacja (zwykle w kotłach fluidalnych),
- ☐ zanieczyszczenia powierzchni w wyniku powstawania osadów – sadza, smoła, etc.,
- ☐ korozja wysokotemperaturowa,
- ☐ fluktuacje w składzie i związana z tym stabilność zasilania,

- ❑ 'stratyfikacja' procesu spalania (gęstość, wymiar i kształt ziaren, wartość części lotnych, etc.),
- ❑ niepożądane produkty spalania w spalinach i popiołach (CO, NO_x, SO_x, PM, koksik, DXN, alkalia, -CN, metale śladowe),
- ❑ gospodarka popiołem i zagospodarowanie ich na cele gospodarcze,
- ❑ wymiana ciepła, sprawność, parametry kotła.

Kolejnym wyzwaniem dla energetyki jest podjęcie decyzji czy współspalać biomasę z węglem, czy budować kotły spalające 100% biomasy i wynikające stąd problemy eksploatacyjne:

- ❑ możliwości samozapłonu na hałdach i wybuchy pyłu drzewnego w trakcie mielenia i transportu do kotła,
- ❑ problemy w młynach kulowych (spadek wydajności, osadzanie pyłu na powierzchniach), wynikające z dużej wilgotności biomasy,
- ❑ bezpieczeństwo podawania (pożary w zbiornikach, na taśmociągach) w blokach opalanych 100% biomasy,
- ❑ konieczność zabudowy zabezpieczeń przeciwpożarowych (stosowane zabezpieczenia dla pyłu węglowego są niewystarczające),
- ❑ wprowadzenie nowych procedur ratowniczych i ewakuacyjnych

Poniżej omówione zostaną wybrane uwarunkowania techniczne wpływające na pracę kotła i urządzeń towarzyszących.

Skład biomasy i jego fluktuacje

Biomasa dostarczana na cele energetyczne charakteryzuje się okresową zmianą parametrów paliwa (skład chemiczny, wartość opałowa), co powoduje fluktuacje stężenia tlenu w palenisku i wzrost emisji toksycznych produktów ubocznych. Niskie stężenie tlenu wpływa na wzrost emisji tworząc warunki redukcyjne w komorze paleniskowej (emisja CO, PAH, DXN). Aby przeciwdziałać okresowym zmianom składu biomasy należy zapewnić odpowiednie stężenie tlenu, dobre wymieszanie paliwa i utleniacza, stosować domieszki innych paliw, utrzymywać wysoką temperaturę spalania i dbać o ujednolodnienie składu i własności biomasy.

Aglomeracja i defluidyzacja

Tworzenie się aglomeratów (spieków) i ustanie fluidyzacji (tzw. defluidyzacja) zachodzi zwykle w tych obszarach, gdzie wskutek niedostatecznego mieszania lub niskiej prędkości gazu temperatura warstwy fluidalnej przekracza temperaturę mięknięcia ziaren materiału sypkiego. Większość aglomeratów tworzonych podczas spalania paliw alternatywnych jest wynikiem powstania ciekłej mieszaniny metali alkalicznych (Na, Ca, K itp.), siarczków, CaSO₄ oraz krzemianów i glinokrzemianów. W przypadku, gdy spalane paliwo zawiera duże ilości takich składników, proces aglomeracji może powodować duże trudności w utrzymaniu stabilnej pracy paleniska.

Badania problemu aglomeracji w kotłach energetycznych także wykazały, że znajomość właściwości konkretnego paliwa i jego popiołu, jak również

sorbentu użytego do odsiarczania, są kluczowe dla uniknięcia tworzenia się spieków – tym bardziej, że mechanizm procesu tworzenia się popiołu zależy od rodzaju paliwa, a defluidyzacja może nastąpić także w temperaturach niższych od temperatury mięknięcia popiołu wskutek tworzenia się lokalnych centrów lepkich (np. czysty kamień wapienny oraz dolomit nie powinny powodować tworzenia się spieków w paleniskach fluidalnych, aczkolwiek obecność zanieczyszczeń znacznie wpływa na to zjawisko).

Niezależnie od składu chemicznego, na tworzenie się spieków wpływ mają również warunki spalania, a szczególnie ilość tlenu, gdyż w warunkach jego niedoboru następuje redukcja tlenków metali, a powstały czysty metal ma niższą temperaturę topnienia. Uniknięcie aglomeracji w kotłach energetycznych jest generalnie możliwe dzięki ujednoludnieniu temperatury w palenisku, zmianie rodzaju paliwa bądź sorbentu (np. z kamienia wapiennego na dolomit) lub też jego uziarnienia (z grubego na drobny).

Zanieczyszczenia powierzchni (żużłowanie i tworzenie osadów)

Pierwszym krokiem prowadzącym do osadzania się materiału na powierzchniach wewnętrznych palenisk jest kondensacja związków zawartych w fazie gazowej (głównie alkaliów) oraz osadzanie się ultradrobnych ziaren fazy stałej na powierzchni wymiennika w wyniku działania sił adhezji/kohesji. Osad taki tworzy swoisty „film”, na którym w wyniku dalszego zachodzenia różnorodnych procesów fizycznych, bądź też reakcji chemicznych, łatwo osadzają się kolejne warstwy fazy stałej powodując powstanie trudno usuwalnego osadu. Z uwagi na stosunkowo dużą zawartość związków metali alkalicznych w paliwie (głównie KOH, NaOH, KCl, NaCl, K_2SO_4 , Na_2SO_4 , SiO_2 , MgO – np. w biomasie), spalanie paliw alternatywnych niesie z sobą większe prawdopodobieństwo intensyfikacji powyższego zjawiska w porównaniu do spalania „czystego” węgla, gdyż więcej substancji przechodzi wówczas z popiołu do fazy gazowej. W momencie schłodzenia kondensacja ultradrobnych ze spalin następuje dla takich związków szczególnie łatwo. Dodatkową sprawą jest fakt, że popiół ze spalania takich paliw daje lepkie depozyty oraz może powodować łatwą defluidyzację.

Zmniejszeniu szybkości osadzania się fazy stałej przeciwdziałać może dobra separacja drobnych ziaren z ciągu spalinowego, okresowe oczyszczanie powierzchni ogrzewalnych lub też zmiana składu chemicznego paliwa i materiału warstwy. Inną możliwością jest zmiana kształtu powierzchni ogrzewalnych bądź charakteru przepływu tak, aby zminimalizować czas kontaktu i wielkość strefy kontaktu spaliny – powierzchnia ogrzewalna. Generalnie pochodzenie biomasy ma zasadniczy wpływ na charakter tworzących się osadów na powierzchniach.

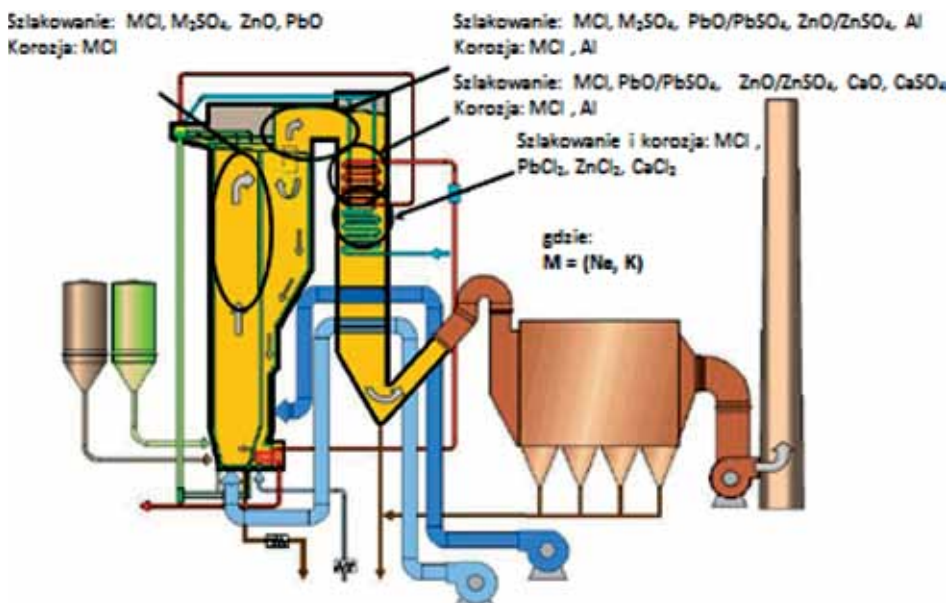
Korozja wysokotemperaturowa

Współspalanie paliw alternatywnych niesie ze sobą również pewne trudności związane z możliwością korozji powierzchni ogrzewalnych, powodo-

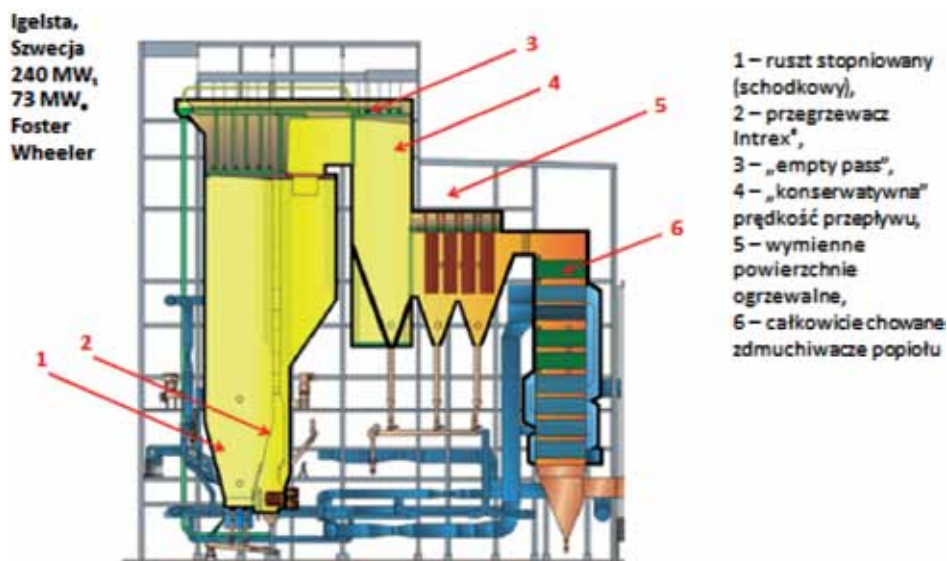
wanej głównie przez kwasy zawarte w spalinach. Szybkość i intensywność procesu jest ściśle skorelowana ze składem paliwa (głównie z zawartością chlorowców), a problemy są efektem reakcji między HCl , Cl_2 , O_2 , SO_2 , parą wodną, oraz metalami alkalicznymi (głównie Na oraz K).

Na intensywność procesu mają wpływ warunki spalania. W przypadku niedoboru tlenu i zawartości w układzie chloru w ilości ponad 0,1%, tlenki metali łatwo zmieniają się w chlorki, charakteryzujące się niższą temperaturą topnienia (możliwa aglomeracja) i wrzenia, a więc w niższych temperaturach reagujące z parą wodną dając tlenki metali i HCl , działający korozyjnie. Im wyższa jest koncentracja chloru w paliwie, tym wyższa jest korozja powierzchni zachodząca w warunkach redukcyjnych. Przyjmuje się, że kinetyka korozji chlorkowej jest pomijalnie mała jedynie w przypadku niewielkiej zawartości tego pierwiastka w paliwie ($<0.1\%$). W takim przypadku nie ma również problemu z utrzymaniem niskiej emisji.

Ponieważ proces korozji jest powodowany przede wszystkim przez HCl , można jej przeciwdziałać poprzez separację chloru z biomasy (np. wstępna separacja PCV, NaCl , jeśli paliwem są odpady komunalne), bądź też wyłapywanie HCl lub Cl_2 w palenisku, w instalacji mokrego odsiarczania lub przed odpylaczem. Usunięcie chloru dokonuje się głównie poprzez wtrysk sorbentu, którym przeważnie jest tlenek lub węglan sodu bądź wapnia (te same sorbenty, jak dla chloru, stosuje się również celem usunięcia innych halogenów – np. fluoru bądź bromu). Niemniej jednak najefektywniejsza wydaje się być separacja z paliwa materiałów zawierających chlor. Rycina 4 przedstawia obszary kotła fluidalnego zagrożonego korozją i szlakowaniem, natomiast na



Rycina 4. Obszary kotła fluidalnego zagrożonego korozją i szlakowaniem



Rycina 5. Wybrane rozwiązania techniczne minimalizujące problemy związane ze spalaniem biomasy w kotłach energetycznych

Źródło: Igelsta, Szwecja 240 MW_{th}, 73 MW_e Foster Wheeler

ryc. 5 pokazano wybrane rozwiązania techniczne minimalizujące problemy związane ze spalaniem biomasy w kotłach energetycznych.

4. Podsumowanie

Przedstawiona analiza możliwości spalania i współspalania biomasy w kotłach energetycznych wskazuje na duży jej potencjał i możliwość uniknięcia problemów operacyjnych przy jednoczesnym zapewnieniu niskiej emisji do środowiska. Każda biomasa może być paliwem trudnym i wymagającym jeżeli nie dobrano odpowiedniej koncepcji technologicznej. Do zapewnienia niskiej uciążliwości dla środowiska wymagane jest wielopłaszczyznowe kontrolowanie pracy instalacji celem zapewnienia odpowiednich parametrów procesu spalania oraz odpowiedniej obróbki spalin i popiołów. To zaś zapewnić mogą instalacje pracujące w oparciu o najnowsze zdobycze techniki z zakresu oczyszczania spalin i gospodarki popiołami.

Zastosowanie biomasy jako paliwa powinno zostać przewidziane na etapie założeń projektowych kotła. W celu uniknięcia problemów eksploatacyjnych, niezbędny jest staranny dobór i monitorowanie biomasy, przede wszystkim pod kątem kluczowych składników – zawartości chloru i alkali (Na+K).

W każdego typu instalacji związanej z przeładunkiem, podawaniem biomasy szczególną uwagę należy objąć problemy pylenia i wybuchowości.



Problematyka użytkowania biomasy leśnej na przykładzie rozwiązań w Elektrociepłowni Białystok S.A.

1. Wstęp

Praca przedstawia doświadczenia zebrane w trakcie eksploatacji instalacji złożonej z kotła ze złożem fluidalnym stacjonarnym. Zaprezentowano w niej zasadnicze informacje o tej instalacji, a także porównanie dwóch kotłów, których pierwotna konstrukcja była bliźniacza i oparta na technologii spalania pyłu węgla kamiennego OP-140, z których jeden został poddany konwersji na kocioł OFB-105 i przystosowany do spalania biomasy w stacjonarnym złożu fluidalnym. Przedstawiono również zalety biomasy pochodzenia leśnego w stosunku do paliw uprawowych. Omówiono trudności, na jakie napotyka producent energii odnawialnej, związane z pozyskaniem paliwa, jak i z wypełnieniem wymogów formalno-prawnych, a mających znaczący wpływ na aspekty techniczne spalania biomasy oraz na wypełnienie naszych zobowiązań unijnych. Niektóre z projektów nowych aktów prawnych proponują znaczne ograniczenia dla energetyki dostępu do biomasy leśnej. Skutkiem tego może dojść do nieosiągnięcia założonych celów zarówno wielkości produkcji energii z OZE, jak i planowanych redukcji emisji dwutlenku węgla, co przy określonym zapotrzebowaniu na energię spowoduje wyższe koszty zakupu praw do emisji CO₂.

Odrębnym problemem nierozzerwalnie związanym ze spalaniem biomasy są regulacje prawne związane z możliwością wykorzystania na cele rolnicze bądź leśne odpadów paleniskowych ze spalania biomasy. Ten mineralny produkt przez pokolenia używany do polepszania i odkwaszania gleb niestety nie może być w Polsce wykorzystany ze względu na zapisy prawne, a często też ze względu na niezrozumienie, czym jest popiół z biomasy, pomimo wielu badań prowadzonych przez naukowe jednostki badawcze.

2. Opis instalacji

Współczesna energetyka staje przed wymaganiami prawnymi wynikającymi z międzynarodowych i krajowych zobowiązań, związanych z redukcją

emisji gazów cieplarnianych, w tym dwutlenku węgla, oraz koniecznością produkcji energii odnawialnej. Zachodzi więc konieczność zwiększenia wykorzystania różnych rodzajów biomasy; wprowadzane są w życie różne programy pomocowe.

Elektrociepłownia Białystok S.A. będąca jednostką Grupy Kapitałowej ENEA S.A., ogrzewa ok. 75% Białegostoku. Jeszcze do niedawna cała produkcja energii oparta była o węgiel kamienny. Od kilku lat władze Elektrociepłowni Białystok S.A. analizowały możliwość rozwoju Spółki w zakresie energetyki odnawialnej. W tym okresie, od 2005 r., badano dostępność i możliwość wykorzystania lokalnej biomasy do celów energetycznych, wykonano analizę techniczno-ekonomiczną i studium wykonalności projektu.

Wyniki tego studium zadecydowały o doborze technologii kotła fluidalnego ze złożem stacjonarnym i konwersji kotła OP 140, pracującego od 1977 r. na opalany biomasą kocioł OFB 105 ze stacjonarnym złożem fluidalnym (BFB). Dobór technologii podyktowany został wysoką sprawnością, niezawodnością i udowodnionymi niskimi emisjami kotłów BFB, jak również niezwykłą elastycznością w stosowaniu paliw o różnej zawartości wilgoci. Ponadto cena konwersji była zdecydowanie niższa niż budowa nowego źródła.

Kotły HYBEX firmy Metso Power ze sprawdzoną technologią fluidalną BFB przeznaczone są szczególnie do spalania paliw ze zmienną wartością opałową i zmienną wilgotnością (nawet do 60%). Ich konstrukcja zapewnia wypełnienie surowych wymogów emisyjnych. Kotły te pracują w zakresie temperatury, w jakim ilość powstających NO_x jest na niskim poziomie, zaś stopniowanie powietrza do kotła wspomaga ograniczenie emisji NO_x ze spalania. Niski poziom CO i spalanie organicznych lotnych cząstek węgla uzyskiwane jest dzięki efektywnemu mieszaniu paliwa i powietrza do spalania, co w efekcie końcowym przynosi dobre wypalanie się gazów.

Konwersja kotła OP 140 na kocioł OFB 105 została przeprowadzona w taki sposób, aby maksymalnie wykorzystać istniejące elementy kotła, jak również urządzenia pomocnicze oraz zminimalizować ingerencję w konstrukcję kotłowni. Ze względu na konieczność utrzymania takiej samej prędkości spalin jak podczas spalania węgla, wydajność kotła uległa zmniejszeniu o ok. 25%. Po dokonaniu drobnych przeróbek powierzchni ogrzewalnych kotła osiąga on wydajność 120 t pary/godz. w szerokim zakresie wilgotności paliwa.

Przystosowanie kotła węglowego do spalania biomasy w stacjonarnym złożu fluidalnym wymagało m.in. zabudowy:

- ☐ paleniska BFB z układem powietrza pierwotnego,
- ☐ wentylatora powietrza pierwotnego,
- ☐ układu powietrza wtórnego i powietrza trzeciego,
- ☐ układu recyrkulacji spalin,
- ☐ układu podawania paliwa (biomasy) do kotła z zasobnika przykotlewego łącznie z zasobnikiem przykotłowym,
- ☐ palnika rozpałkowego o mocy 12 MW zasilanego olejem,

- ☐ układu podawania materiału inertnego,
- ☐ układu odprowadzenia popiołu dennego,
- ☐ modernizacji układu automatyki i układu elektrycznego,
- ☐ modernizacji układu zdmuchiwaczy sadzy,
- ☐ demontażu jednego młyna i części układu palnikowego.

Parametry kotła przed i po konwersji przedstawiono w tabeli 1, natomiast porównanie parametrów paliwa w tabeli 2.

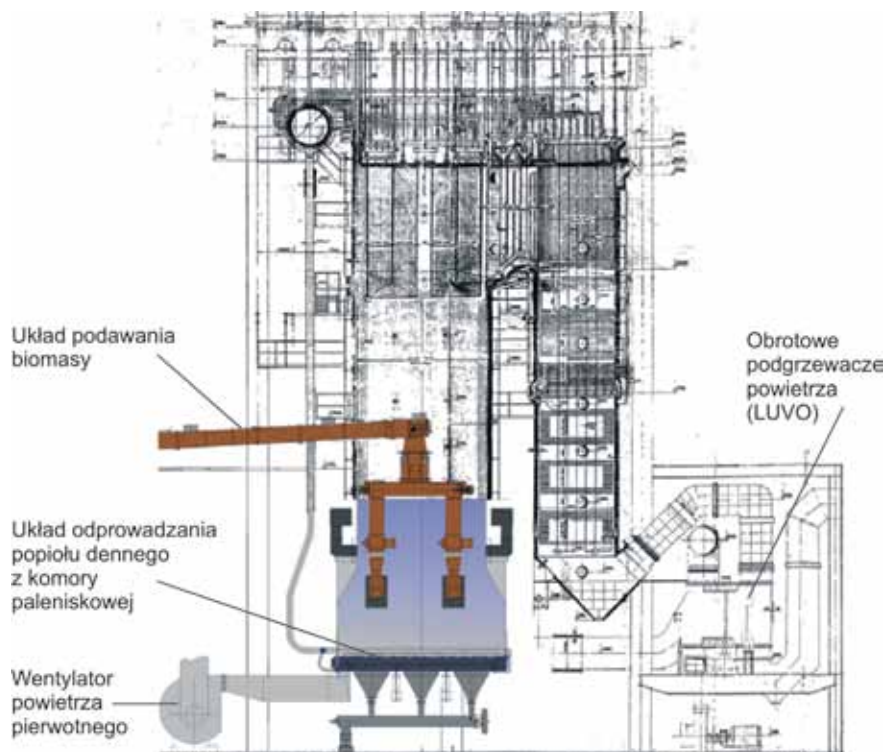
Tabela 1. Parametry kotłów OP-140 węglowego i OFB 105 biomasowego

Lp.	Parametr	Kocioł OP-140	Kocioł OFB- 105
1.	Wydajność maksymalna trwała	140 t/h	105 t/h
2.	Wydajność minimalna z zachowaniem parametrów przegrzania	100 t/h	73,5 t/h
3.	Wydajność minimalna ze względu na zachowanie cyrkulacji	40 t/h	42 t/h
4.	Ciśnienie pary za przegrzewaczem	13,8 MPa	13,8 MPa
5.	Ciśnienie pary w walcu przy wydajności 140t/h	15,3 MPa (153 bar)	15,3 MPa (153 bar)
6.	Temperatura pary za przegrzewaczem (na wylocie)	540 °C (813 K)	540 °C (813 K)
7.	Temperatura wody zasilającej	200 °C (473 K)	200 °C (473 K)
8.	Maksymalna ilość wody wtryskowej	16 t/h	18,7 t/h
9.	Temperatura spalin na wylocie z kotła (przy 140t/h)	135 °C (408 K)	157 °C (430 K)
10.	Temperatura gorącego powietrza	280 °C (553 K)	312 °C (585 K)
11.	Temperatura zimnego powietrza	22 °C (295 K)	22 °C (295 K)
12.	Temperatura pary na wylocie z I ^o przegrzewacza	435 °C (708 K)	450–468 °C (723–741 K) w zależności od wilgotn. biomasy
13.	Temperatura pary na wylocie z II ^o przegrzewacza – przed wtryskiem	515 °C (788 K)	515 °C (788 K)
14.	Temperatura pary na wylocie z III ^o przegrzewacza	540 °C (813 K)	540 °C (813 K)
15.	Sprawność kotła	90–92 %	87,5–90 %

Tabela 2. Porównanie podstawowych parametrów paliwa

Lp.	Parametr	Pył węglowy	Biomasa
1.	Wartość opałowa paliwa: ▪ projektowa ▪ dopuszczalna	21,5 MJ/kg 19–24,5 MJ/kg	10,5 MJ/kg 8,2–12,5 MJ/kg
2.	Zawartość popiołu	17–22%	3,2–0,8%
3.	Wilgoć całkowita	5–14%	31–52%
4.	Zawartość siarki	0,6 %	0,1 %
5.	Granulacja	20 mm	Długość 250 mm, przekrój 8 cm ²

Podstawowe modyfikacje kotła zostały przeprowadzone w obszarze dolnej części komory paleniskowej i systemu powietrza do spalania. Lej żużlowy komory paleniskowej został odcięty i zastąpiony dnem typu Hydro Beam, co schematycznie przedstawiono na ryc. 1.

**Rycina 1. Widok ogólny zmodernizowanego kotła w EC Białystok S.A.**

Podczas spalania biomasy do kotła z paliwem podawane są znaczne ilości zanieczyszczeń (kamienie, metale ... itp.). Dla zapewnienia efektywnego i ciągłego usuwania zanieczyszczeń z dna komory paleniskowej bez konieczności odstawiania kotła z ruchu, na początku lat dziewięćdziesiątych Metso Power

opracowało więc i opatentowało konstrukcję typu Hydro Beam (ryc. 2.). Największą zaletą tego systemu jest wielkość otwartego obszaru usuwania materiału gruboziarnistego (około 30% w porównaniu do 3% w rozwiązaniach konwencjonalnych) oraz to, że belki, przez które doprowadzane jest do złoża powietrze fluidyzacyjne, są chłodzone wodą.

Projektowo, kocioł został przystosowany do spalania:

- ❑ biomasy pochodzenia drzewnego (zrębki drzewne i odpady pochodzące z produkcji leśnej oraz przemysłu przetwarzającego jego produkty),
- ❑ biomasy z odpadów i pozostałości z produkcji rolnej,
- ❑ biomasy z upraw energetycznych.



Rycina 2.
Dno komory
paleniskowej
Hydro Beam

Wszystkie rodzaje biomasy dostarczane są w stanie naturalnym bądź przetworzonym, jako zrębki, pelety, granulaty, brykiet, baloty. Odpady i pozostałości z produkcji rolnej oraz szybko rosnących upraw energetycznych zawierają zazwyczaj dużą ilość związków alkalicznych i chloru. Ich zbyt duży udział w mieszance paliwa może mieć negatywny wpływ na pracę kotła, gdyż związki alkaliczne, obniżając temperaturę topnienia popiołu, powodują aglomerację złoża, a chlor w połączeniu z alkalią – korozję wysokotemperaturową przegrzewaczy. Podczas eksploatacji kotła należy więc kontrolować skład chemiczny poszczególnych rodzajów biomasy i odpowiednio dobierać kompozycję paliwa.

Zbiornik przykotłowy o pojemności 100m³ wyposażono w ślimakowe urządzenie rozładunkowe i system podawania paliwa. Został on tak zaprojektowany, aby zniwelować różnice w jakości paliwa. Ostateczna regulacja prędkości podawania paliwa w zależności od wymaganej wydajności kotła następuje w dodatkowym zbiorniku wyrównawczym, którego wymiary i kształt zostały zaprojektowane tak, aby zapewnić sprawny przepływ biomasy do ślimaka dozującego i wyeliminować niepożądany wpływ jakichkolwiek nie-

stabilności w przepływie strumienia paliwa na proces spalania. Paliwo podawane jest do komory paleniskowej poprzez specjalne zsypy wyposażone w dysze powietrzne, wrzucające paliwo do odpowiedniego miejsca w złożu.

3. Doświadczenia eksploatacyjne

Zastosowane rozwiązanie techniczne dostosowania kotła do spalania biomasy w stacjonarnym złożu fluidalnym jest w zasadzie już szeroko stosowane, szczególnie w krajach skandynawskich. Jednakże ze względu na wspólne pochodzenie obu kotłów (zaprojektowanych jako OP-140), pracujących na wspólny kolektor, oraz postawiony cel przebudowy, aby uzyskane parametry pary nie uległy zmianie po konwersji ze względu na ich dalszą pracę kolektorową, interesujące jest porównanie parametrów eksploatacyjnych obu kotłów. Po konwersji różnią się one rodzajem paliwa podstawowego oraz technologią spalania. Tabela 3 zawiera zestawienie porównawcze temperatury wody, pary i spalin obu kotłów: OFB-105 i OP-140. Wartości odpowiadają podobnym wydajnościom kotłów (ok. 90t/h) przy ich ustabilizowanej pracy. W tabeli zamieszczono uśrednione wartości temperatury z lewej i prawej strony kotła.

Tabela 3. Zestawienie podstawowych parametrów kotłów OFB-105 i OP-140

Temperatura w odpowiednim miejscu kotła (°C)	Kocioł OFB-105	Kocioł OP-140
Temperatura wody zasilającej kocioł	190	190
Temperatura wody za podgrzewaczem wody	288	220
Temperatura w walcu	330	330
Temperatura pary za przegrzewaczem I stopnia	471	420
Temperatura spalin za przegrzewaczem I stopnia	470	560
Temperatura pary za przegrzewaczem II stopnia	525	510
Temperatura pary za przegrzewaczem III stopnia	540	540
Temperatura spalin za przegrzewaczem III stopnia	550	625
Temperatura spalin przed podgrzewaczem wody	400	415
Temperatura spalin za podgrzewaczem wody	290	290

Na podstawie tabeli 3 można zauważyć, że temperatury spalin kotła biomasowego są znacznie niższe niż kotła węglowego. Oczywiście, jest to bezpośrednio związane z temperaturą spalania w komorach paleniskowych obu kotłów. Jednakże, jak można stwierdzić, pomimo niższych temperatur spalin, parametry pary za I i II stopniem przegrzewacza oraz temperatura wody za podgrzewaczem wody kotła biomasowego są wyższe niż w kotle węglowym, co świadczy o znacznie lepszych warunkach wymiany ciepła w kotle OFB-105 niż OP-140. Ponieważ oba kotły pracowały z podobną wydajnością, nie można tego tłumaczyć różnicą wydatków mediów, przepływających przez podgrze-

wacz i przegrzewacz dla obu kotłów. Różnicy tej nie można także tłumaczyć wpływem wody wtryskowej, ponieważ pomiary temperatury pary za przegrzewaczami są dokonywane przed wtryskiwaczami. Należy wręcz zaznaczyć, że zużycie wody wtryskowej przez kocioł opalany biomasą jest wyższe niż w przypadku kotła węglowego. Tak więc różnicy tej należy dopatrywać się po stronie przejmowania ciepła od spalin. Ze względu na skład elementarny paliwa, jego ponad dwukrotnie niższą wartość opałową oraz 3–4-krotnie wyższą zawartość wilgoci, ilość spalin powstających w wyniku spalania biomasy (przy tej samej wydajności kotła) jest większa, niż spalin powstałych ze spalania węgla. Wraz ze wzrostem ilościowym spalin, rośnie również ich prędkość przepływu, a więc zmieniają się warunki wymiany ciepła na drodze konwekcji. Fakt dużego wpływu wilgoci zawartej w paliwie na warunki wymiany ciepła wytłumaczyć można praktycznie liniową zależnością wartości opałowej biomasy w funkcji jej wilgotności, co powoduje konieczność większego zużycia paliwa, a co za tym idzie – wzrostu objętości spalin.

Fakt ten – w fazie rozruchowej – stał się przyczyną dokonania przez Metso Power (poza pierwotnym projektem) kolejnej modernizacji kotła, polegającej na zmniejszeniu powierzchni przegrzewacza I^o i II^o. Powodem tego był nadmierny wzrost temperatur pary za I^o przegrzewacza, pomimo dużego wydatku wody wtryskowej, przy pracy kotła w okolicy gwarantowanej wydajności nominalnej tj. 105 t/h pary przy spalaniu biomasy o wilgotności ponad 45%. Zdecydowano się więc na wycięcie pakietu rur w dolnej części przegrzewacza I st. oraz ograniczenie powierzchni przegrzewacza II st. poprzez wycięcie dwu zewnętrznych grodzi. Po tej operacji kocioł osiąga już parametry nominalne, a wręcz możliwe jest przeciążanie kotła do 115 t/h, pomimo wysokiej zawartości wilgoci w paliwie, przy czym parametry gwarantowane emisji są dotrzymane.

W tabeli 4 zestawiono emisję dopuszczalną dla kotła OP-140 i kotła OFB-105 oraz parametry emisji kontraktowej kotła OP-105, a na rycinie 3 – obraz z systemu pomiaru emisji ciągłej kotła, który pokazuje poziom emisji poniżej wymaganych parametrów kontraktowych.

Tabela 4. Zestawienie dopuszczalnych norm emisji kotła przed konwersją i po konwersji wraz z parametrami kontraktowymi

Lp.	Substancja zanieczyszczająca	Dopuszczalne normy emisji		Wartości kontraktowe
		Kocioł OP-140	Kocioł OFB-105	Kocioł OFB-105
1.	NO _x w przeliczeniu na NO ₂	600 (mg/Nm ³)	400 (mg/Nm ³)	240 (mg/Nm ³)
2.	SO ₂	1500 (mg/Nm ³)	800 (mg/Nm ³)	200 (mg/Nm ³)
3.	Pył	100 (mg/Nm ³)	100 (mg/Nm ³)	5,7 (g/Nm ³) zapylenie przed elektrofiltrem – za elektrofiltrem poniżej 20 (mg/Nm ³)

Jak można zauważyć na ryc. 3, kocioł OFB-105 pracował jeszcze ze zwiększoną emisją CO (wielkość nie objęta gwarancjami kontraktowymi), co świadczy o podwyższonej stracie niezupełnego spalania. Jednakże parametr ten po dalszej optymalizacji został zredukowany do poziomu normalnej eksploatacji.



Rycina 3. Monitoring emisji kotła OFB-105

4. Wybrane aspekty formalno-prawne związane z uzyskaniem koncesji i świadectw pochodzenia energii i OZE

Polskie prawo reguluje produkcję oraz prawo do uzyskiwania oraz obowiązek umarzania świadectw pochodzenia energii z odnawialnych źródeł (OZE) poprzez Ustawę z dnia 10 kwietnia 1997 r. – Prawo energetyczne oraz Rozporządzenie Ministra Gospodarki z w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii z 2012 r., zastępujące rozporządzenia z 2008 i 2010 r. W aktach tych określono warunki uznania produkowanej energii za energię pochodzącą z OZE.

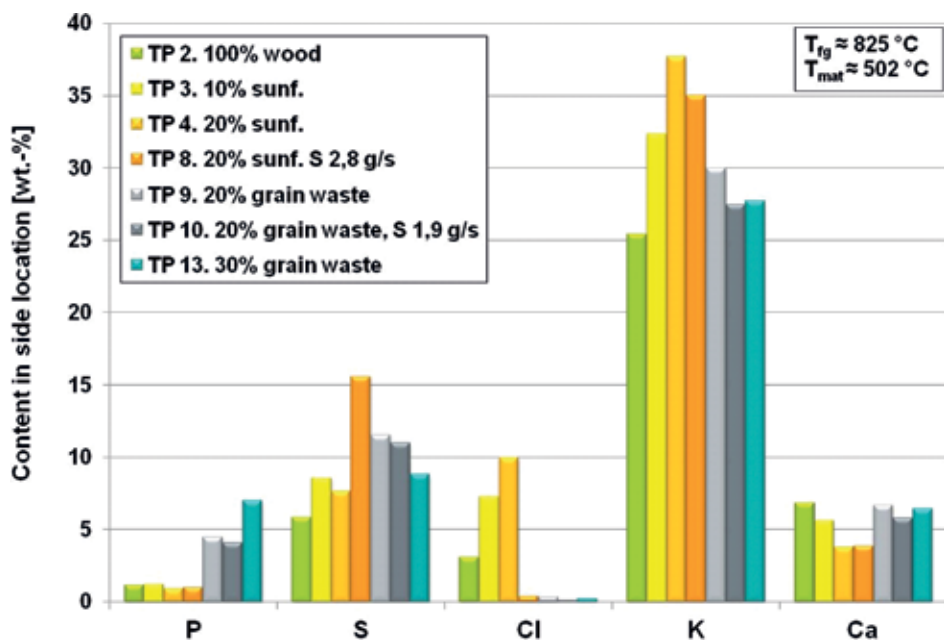
Rozporządzenie rozróżnia obiekty OZE: (1) do 5 MW mocy elektrycznej, (2) jednostki wytwórcze współpalające biopaliwo z innymi paliwami o mocy elektrycznej ponad 5 MW, (3) układy hybrydowe o mocy ponad 20 MW mocy elektrycznej oraz (4) jednostki wytwórcze, w których spalana jest wyłącznie

biomasa w źródłach o mocy elektrycznej wyższej niż 20 MW. Dla jednostek wytwórczych (2), (3) i (4) do energii wytworzonej w odnawialnych źródłach energii zalicza się energię elektryczną lub ciepło w ilości obliczonej według określonych w rozporządzeniu wzorów, o ile udział wagowy biomasy pochodzącej z upraw energetycznych lub odpadów i pozostałości z produkcji rolnej oraz przemysłu przetwarzającego jej produkty, a także części pozostałych odpadów, które ulegają biodegradacji, z wyłączeniem odpadów i pozostałości z produkcji leśnej, a także przemysłu przetwarzającego jej produkty, w łącznej masie dostarczonej do procesu spalania, wynosi nie mniej niż określone w rozporządzeniu udziały w poszczególnych latach zależnie od wymienionych rodzajów jednostki wytwórczej.

5. Uwarunkowania technologiczne

Biomasa pochodząca z upraw rolniczych zawiera duże ilości chloru i związków alkalicznych ze względu na biofizykę jej powstawania. Zawartości alkaliów w popularnej biomase pochodzenia uprawowego przedstawiono na rycinie 4.

W przypadku instalacji dedykowanych do spalania wyłącznie biomasy, wysoki udział tej biomasy powoduje problemy eksploatacyjne, tj. korozję chlorową i aglomerację złoża fluidalnego prowadzącą do zatrzymania pro-



Rycina 4. Zawartość pierwiastków szkodliwych dla kotła w różnych mieszaninach biomasy użytej do badań

cesu fluidyzacji. Wysoka zawartość metali alkalicznych zmniejsza temperaturę topnienia popiołu i zwiększa jego lepkość, co powoduje tworzenie się osadów na powierzchni ogrzewalnej kotła oraz powstawanie aglomeratów w złożu, skutkujących awaryjnym wyłączeniem kotła. W latach 2009 i 2011 Metso Power Oy i Elektrociepłownia Białystok S.A. przeprowadziły badania spalania biomasy agro.

W 2009 roku przeprowadzono próby spalania „trudnej” biomasy agro w różnych proporcjach – od 0 do 31% w stosunku do całkowitej masy paliwa. Należy przy tym zaznaczyć, że zwykle biomasa agro jest biomasą przetworzoną w małej wilgotności. W związku z tym objętościowy udział takiej biomasy do chodź do 50% objętości całego paliwa. Testy spalania przeprowadzone zostały przy dwu różnych temperaturach złoża:

- ❑ Spalanie w technologii niezmienionej – następowała aglomeracja złoża będąca wynikiem wpływu związków alkalicznych na obniżenie temperatury mięknięcia popiołu, co przedstawia wykonane podczas testów zdjęcie (rycina 5).



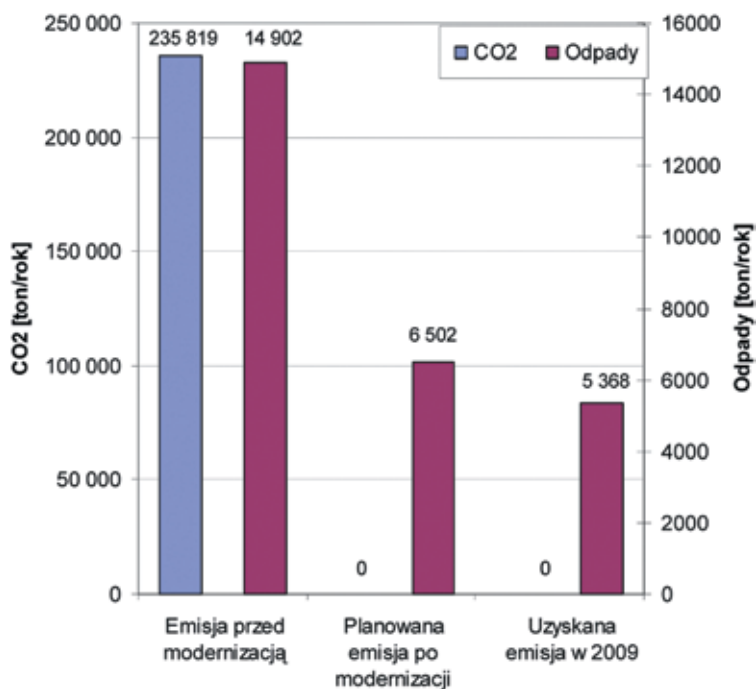
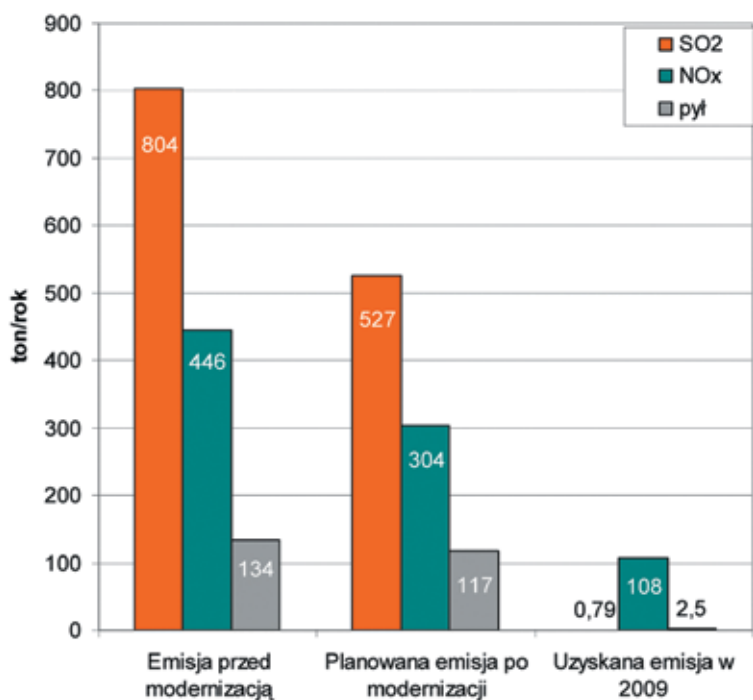
Rycina 5. Aglomeracja złoża w wyniku spalania biomasy agro o podwyższonej zawartości związków alkalicznych

- ❑ Spalanie przy obniżonej temperaturze złoża do 750°C – aglomeracja złoża nie nastąpiła, jednakże nastąpiło intensywne szlakowanie powierzchni ogrzewalnych kotła jako wynik przesunięcia się strefy dopalania (o wyższej temperaturze) w górne strefy. W wyniku tego całe

płaszczyzny o znacznych rozmiarach obsunęły się pod wpływem swojego ciężaru do złoża i również nastąpiło zatrzymanie procesu spalania, co pokazuje rycina 6.



Rycina 6. „Zablokowanie” złoża szlaką z powierzchni ogrzewalnych kotła



Rycina 7. Porównanie emisji kotła po inwersji na kocioł biomasowy do stanu przed przebudową i do parametrów kontraktowych

Należy w tym miejscu zaznaczyć, że problemy te nie występują przy spalaniu biomasy leśnej niezależnie od tego, czy spala się odpady po zrębowe, gałęzie czy sortymenty mało- i średniowymiarowe.

Wykonawca konwersji kotła po przeprowadzonych próbach przedstawił propozycję technologii spalania biomasy „trudnej”, co daje możliwość spełnienia wymogów prawa dotyczących udziału biomasy pochodzenia rolniczego (omówienie propozycji Metso Power nie jest przedmiotem tej pracy), jednakże należy stwierdzić, że spalanie biomasy innej niż leśna powoduje dodatkowe czynności eksploatacyjne, zwykle skutkujące obniżeniem sprawności spalania lub ponoszeniem dodatkowych kosztów operacyjnych.

6. Wpływ na emisję zanieczyszczeń do atmosfery

Jak wspomniano wcześniej, praca kotła potwierdziła również znaczące zmniejszenie szkodliwego oddziaływania na środowisko. Pomiary po pierwszym roku eksploatacji wykazały, że rzeczywista emisja zanieczyszczeń była znacznie niższa od kontraktowej, co pokazuje rycina 7.

7. Kierunki zmian prawnych i ich skutki na realizację Krajowego planu działań w zakresie energii odnawialnej

Projekt Rozporządzenia Ministra Gospodarki w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii (wersja z dnia 17 lutego 2011 r.), który ma szansę być wprowadzony w życie jeszcze w tym roku, oraz nowy projekt Ustawy o odnawialnych źródłach energii (prawdopodobny termin wejścia w życie – 2013 r.) niosą istotne zmiany co do możliwości wykorzystywania biomasy leśnej do produkcji energii odnawialnej.

Wymienione akty prawne wprowadzają nowe pojęcie *drewna pełnowartościowego*, którym jest „drewno spełniające wymagania jakościowe określone w normach określających wymagania i badania dla drewna wielkowieściowego liściastego, drewna wielkowieściowego iglastego oraz drewna średniowieściowego dla grup oznaczonych jako S1, S2, S3 oraz materiał drzewny powstały w wyniku procesu celowego rozdrobnienia tego drewna”. Wprowadzono również zapis, że „w przypadku jednostki wytwórczej, w której jest spalana biomasa lub biomasa i paliwo pomocnicze (...) do energii ze źródeł odnawialnych nie zalicza się energii elektrycznej lub ciepła wytworzo-

nego z drewna pełnowartościowego” [podkr. K. S.]. Według projektu ustawy ograniczenie to ma dotyczyć zasobów z krajowych lasów.

Pierwszym skutkiem wprowadzenia takich zapisów będzie (nie określona na tym etapie) konieczność udowadniania przed Urzędem Regulacji Energetyki, że drewno nie jest „niedozwolonego” pochodzenia, co oznacza w praktyce przeciągające się procedury wydawania świadectw pochodzenia energii ze źródeł odnawialnych. Dotychczas energetyka i tak nie spalała pełnowartościowego drewna ze względu na wysoki koszt rynkowy tego surowca, natomiast drewno typu S2 czy S3 jest drewnem przeznaczonym do dalszej przeróbki np. na papier, tak więc powinno być także możliwe przerobienie go na energię, a nie zarezerwowane jedynie dla wybranej branży. Skutkiem takich decyzji może być niewypełnienie zobowiązań Polski w kwestii redukcji gazów cieplarnianych. Analizując zapisy *Krajowego planu działań w zakresie energii odnawialnej* (tab. 5) możemy stwierdzić, że zapotrzebowanie na biomasę leśną (przy założeniu, że połowa biomasy będzie leśnej, a połowa agro) wyniesie ponad 16,5 mln m³.

Tabela 5. Zapotrzebowanie na biomasę według Krajowego planu działań w zakresie energii odnawialnej

Zapotrzebowanie na biomasę	Jednostki	2010	2015	2020
Energia elektryczna OZE	ktoe	715	1516,1	2686,6
Ciepło	ktoe	4 481,7	5 046,3	6 255,9
Razem biomasa stała	ktoe	4 613,6	5 098,9	6 298,2
Wymagana ilość energii chemicznej w biomasie	GJ	193 162 205	213 480 745	263 693 038
▪ w tym biomasa agro	t	9 745 822	10 770 975	13 304 391
Razem biomasa leśna	t	9 745 822	10 770 975	13 304 391
Razem biomasa leśna	m ³	12 182 277	13 463 718	16 630 488

Tabela 6. Podaż sortymentów drewna leśnego (m³)

Podaż sortymentów drewna leśnego	2010	2020
Zapotrzebowanie na biomasę według <i>Krajowego planu działań w zakresie energii odnawialnej</i>	12 182 277	16 630 488
Podaż biomasy leśnej sortymentów M1, M2, S4	4 694 200	6 218 000
Z tego zużycie drewna opałowego na cele bytowe	1 000 000	1 000 000
Sortymenty inne niż wyżej wymienione	8 488 077	11 412 488

Źródło: GUS 2010

Analiza planowanej podaży z podziałem na sortymenty (tab. 6) wskazuje, że zgodnie z zapisami projektów aktów prawnych w 2020 roku może nastąpić deficyt biomasy leśnej dla energetyki w ilości prawie 11,5 mln m³. Skutkiem tego może być nie wypełnienie przez Polskę redukcji emisji CO₂ w 2020 roku w wysokości ponad 12,5 mln ton.

8. Problemy z gospodarczym wykorzystaniem odpadów paleniskowych ze spalania biomasy

Prawo polskie określa warunki odzysku dla popiołu lotnego z torfu i drewna niepoddanego obróbce chemicznej (kod 10 01 03) oraz dla odpadów dennych ze złóż fluidalnych powstałych przy spalaniu biomasy (kod 10 01 24). Odpady stosuje się jako nawozy pod łącznym spełnieniem następujących warunków:

- ☐ są stosowane równomiernie na całej powierzchni gleby,
- ☐ odpady skruszonych skał zostały rozdrobnione tak, że odsiew na sicie o boku oczek kwadratowych 2 mm jest mniejszy niż 10%, a przesiew przez sito o boku oczek kwadratowych 0,5 mm jest nie mniejszy niż 50%,
- ☐ są stosowane poza okresem wegetacji roślin,
- ☐ przykrywa się je lub miesza z glebą, z wyjątkiem ich stosowania na użytkach zielonych oraz plantacjach wieloletnich,
- ☐ rozpraszanie na powierzchni ziemi odbywa się tylko do głębokości 30 cm,
- ☐ odpady są stosowane na glebach, na których nie są przekroczone wartości dopuszczalne stężenia substancji określonych w *Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi*,
- ☐ odpady są stosowane w taki sposób i w takiej ilości, aby ich wprowadzenie do gleby nie spowodowało przekroczenia w niej dopuszczalnych wartości metali ciężkich (Cr, Pb, Cd, Hg, Ni, Zn, Cu) określonych w załącznikach nr 2 i 3 do *Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 1 sierpnia 2002 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych, nawet przy długotrwałym stosowaniu*,
- ☐ spełniają wymagania dotyczące dopuszczalnych wartości zanieczyszczeń określonych dla nawozów wapniowych i wapniowo-magnezowych w *Rozporządzeniu Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 19 października 2004 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu*,
- ☐ w celu określenia dawki odpadów możliwej do stosowania na glebach prowadzone są przez wytwórcę odpadów badania w laboratoriach posiadających certyfikat akredytacji lub certyfikat wdrożonego systemu jakości w rozumieniu ustawy z dnia 30 sierpnia 2002 r. o systemie oceny zgodności.

Zgodnie z wymogami prawa Elektrociepłownia Białystok dokonała badań odpadów paleniskowych ze spalania biomasy. Badania zostały wykonane przez Instytut Upraw, Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach. Uzyskano następującą opinię o możliwości wykorzystania popiołu:

„Do badań dostarczono próbkę popiołu ze spalania biomasy o kodzie 10 01 03. Odpad ma barwę szarą, postać stałą pylistą. Charakteryzuje się od-

czynem alkaicznym. Głównymi składnikami popiołu o znaczeniu rolniczym są: wapń – 17,4% CaO, fosfor – 2,28% P₂O₅, potas – 4,08% K₂O i magnez – 2,45% MgO”.

Zawartości metali ciężkich są niższe od dopuszczalnych np. w osadach ściekowych wykorzystywanych w rolnictwie (tabela 7).

Tabela 7. Porównanie zawartości metali ciężkich w próbce popiołu z biomasy do zawartości dopuszczalnych w osadach pościelowych (w mg/kg suchej masy)

Metal	Stężenie w badanym odpadzie z EC Białystok	Stężenie dopuszczalne w osadach wykorzystywanych w rolnictwie
Cd (kadm)	8,47	10
Cr (chrom)	34,6	500
Cu (miedź)	94,7	800
Ni (nikiel)	19,0	100
Pb (ołów)	62,0	500
Zn (cynk)	893	2 500
Hg (rtęć)	0,12	5

Zgodnie z *Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 14 listopada 2007 r. w sprawie procesu odzysku R10* (Dz. U. z 2011 r. nr 86 poz. 476) odpady o kodzie 10 01 03 można stosować do poprawy właściwości gleby, jeśli spełniają wymagania dotyczące dopuszczalnych zawartości zanieczyszczeń dla nawozów wapniowych i wapniowo-magnezowych. Zgodnie z *Rozporządzeniem Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu* (Dz. U. z 2009 r. nr 224 poz. 1804) dopuszczalna zawartość kadmu wynosi 8 mg Cd na 1 kg tlenku wapnia CaO, a ołowiu – 200 mg Pb na 1 kg CaO. W badanym odpadzie natomiast zawartość kadmu wynosi 48,7 mg na 1 kg CaO, a ołowiu 356 mg Pb/1 kg CaO.

Zawartość kadmu i ołowiu w przeliczeniu na 1 kg tlenku wapnia są wyższe od dopuszczalnych w nawozach wapniowych, w związku z czym odpad nie może być wykorzystywany w rolnictwie. Z tego też powodu wnosiliśmy o dokonanie zmian w *Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 14 listopada 2007 r. w sprawie procesu odzysku R10*. Potrzeba ta jest podyktowana brakiem możliwości zagospodarowania popiołu pochodzącego ze spalania biomasy w kotle fluidalnym na cele rolnicze. Aby umożliwić wykorzystanie popiołów, należy dokonać zmiany tego rozporządzenia, polegającej na tym, iż w punkcie IV załącznika do rozporządzenia „Odpady mineralne” należy wykreślić w kolumnie pt. „Warunki odzysku” następujący warunek:

„– odpady spełniają wymagania dotyczące dopuszczalnych wartości zanieczyszczeń określonych dla nawozów wapniowych i wapniowo-magnezowych w rozporządzeniu Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 19 października 2004 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu”.

Eksperci z IUNG w Puławach oceniają, że dokonanie takiej zmiany nie zwiększa ryzyka zanieczyszczenia metalami ciężkimi gleb, na których będą stosowane odpady, ponieważ jednocześnie istnieje inny warunek, określający że „odpady są stosowane w taki sposób i w takiej ilości, aby ich wprowadzenie do gleby nie spowodowało przekroczenia w niej dopuszczalnych wartości metali ciężkich (Cr, Pb, Cd, Hg, Zn, Cu), określonych w załączniku nr 2 do rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 1 sierpnia 2002r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych, nawet przy długotrwałym stosowaniu”.

W odpowiedzi otrzymaliśmy pismo, którego sedno pokazują jego fragmenty.



MINISTERSTWO
ŚRODOWISKA
Departament Gospodarki
Odpadami

~31~
DGO.pz-230/-235D/11/IAG
L. dz. 800/11
L.wych. 230-21/1/ 893 /11

Warszawa, dn. 30 czerwca 2011 r.

Odnosząc się do zgłoszonej przez Państwa, powyżej opisanej propozycji, należy stwierdzić, że wymaga ona gruntownej analizy i konsultacji z właściwymi w zakresie nawożenia instytucjami naukowo-badawczymi oraz Ministerstwem Rolnictwa i Rozwoju Wsi.

Należy chyba rozumieć, że prace Ministerstwa Środowiska trwają do dziś, gdyż w żadnym akcie prawnym nie dokonano jakichkolwiek zmian. Jednakże nawet towarzystwa energetyczne (Towarzystwo Gospodarcze Polskie Elektrownie oraz Polskie Towarzystwo Elektrociepłowni Zawodowych) nie wykazały głębszego zainteresowania tą problematyką i nie podjęło skutecznych działań w celu opracowania wskazanych przez Ministerstwo analiz i konsultacji.

Podobny los dotyczy odpadów dennych ze złoża fluidalnego powstałych w wyniku spalania biomasy, zwykle kwalifikowanych jako odpady równorzędne z odpadami ze złożów fluidalnych ze spalania węgla (kod 10 01 24), gdyż nie ma w rozporządzeniu wyodrębnionej grupy dla tych odpadów. W zasadzie odpady te niczym się nie różnią od popiołów lotnych, poza znacznie większą ilością piasku ze złoża. Dlatego też należałoby stworzyć wydzieloną grupę dla tych odpadów jako inne niż niebezpieczne lub kwalifikować jako popiół – kod (10 01 03).

Popiół z biomasy to składniki mineralne. Wydaje się czymś całkowicie naturalnym, że pozostałości te powinny być z powrotem zwracane do gleby, co stworzyłoby zamknięty obieg składników w środowisku. Przeszkodą dla takiego sposobu zagospodarowania popiołów są aktualne przepisy dotyczące procesu odzysku R10. Warunki odzysku zawarte w Rozporządzeniu Ministra

Środowiska z dnia 14 listopada 2007 r. są bardzo rygorystyczne i stanowią konglomerat wymagań dla osadów ściekowych i dla nawozów wapniowych.

Obecny sposób zagospodarowania popiołu lotnego pochodzącego ze spalania biomasy to transport do kopalń i starych wyrobisk, składowanie na przystosowanych do celu składowiskach oraz rekultywacja składowisk komunalnych, i to o ile władze lokalne dadzą takie przyzwolenie. W innych krajach, takich jak Szwecja czy Finlandia, popioły te po uprzednim zgranolowaniu przeznaczone są do polepszania gleb np. w lasach.

W przepisach dotyczących osadów ściekowych dopuszczalne stężenia metali wyraża się w mg na 1 kg suchej masy osadu. W przepisach dotyczących nawozów wapniowych dopuszczalne zawartości obu metali wyrażane są w mg na 1 kg CaO. W nawozach wapniowych zawartość tlenu wapnia (CaO) kształtuje się na poziomie kilkudziesięciu procent, a w popiołach z biomasy może to być zawartość rzędu kilku do kilkunastu procent. Jeżeli porównamy dwa rodzaje materiałów o takiej samej zawartości Pb i Cd w 1 kg suchej masy, to po przeliczeniu na 1 kg CaO uzyskamy znacznie większe wartości dla popiołu, ponieważ odnosimy je do dużo mniejszej ilości CaO, niż dla nawozu zawierającego kilkakrotnie więcej tlenu wapnia.

Dotychczasowa praktyka wskazuje, że zastosowanie w odniesieniu do popiołów kryteriów takich, jakie spełnić muszą nawozy wapniowe jest bezzasadne. Prawdopodobnie kryteria te przyjęto bez uprzedniego rozpoznania procesu. Zawartości innych metali ciężkich są wielokrotnie niższe niż np. w osadach ściekowych. Popioły nie zawierają zanieczyszczeń biologicznych. Pomimo tego nie mogą być wykorzystywane przyrodniczo tak jak osady ściekowe. Omówiony przykład jest także dowodem niespójności przepisach prawa.

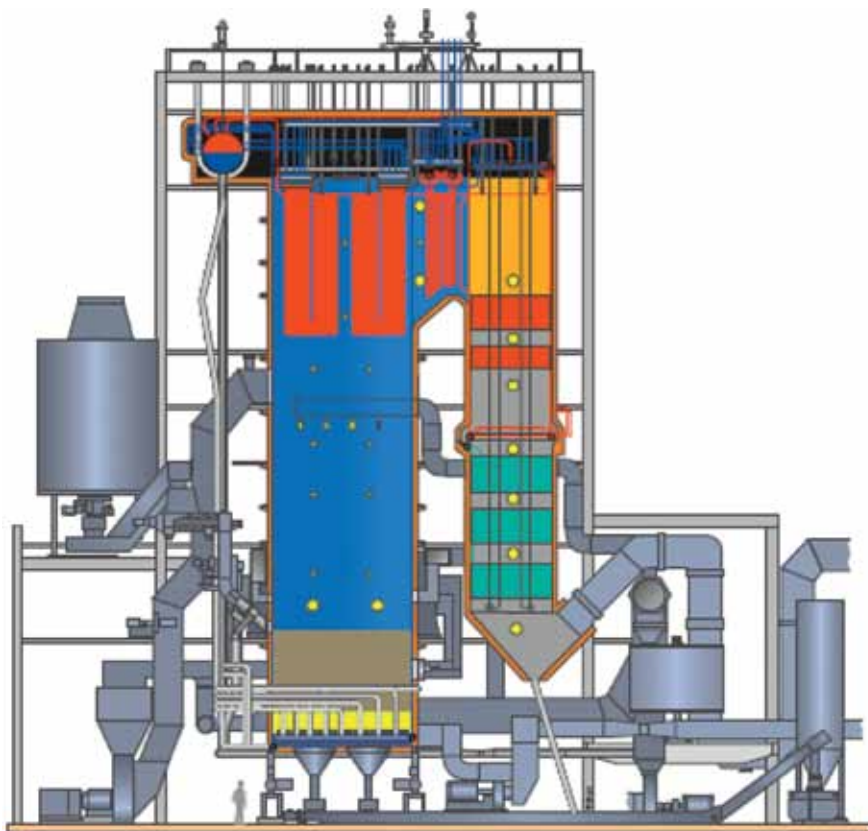
9. Dalsze zamierzenia Elektrociepłowni Białystok S.A.

Produkcja energii z odnawialnych źródeł, tj. z biomasy, jest z technicznego punktu widzenia technologią opanowaną, co pokazuje przykład Elektrociepłowni Białystok S.A., a doświadczenia szczególnie skandynawskich producentów wskazują, że zachowując pewne reżimy pracy można prowadzić eksploatację instalacji biomasowych, uzyskując dobre wskaźniki dyspozycyjności urządzeń.

Kolejna konwersja kotła węglowego na kocioł ze złożem BFB – powstanie jednostki wytwórczej dedykowanej do spalania biomasy

Bardzo dobre wyniki ekonomiczne projektu oraz znaczące zmniejszenie emisji zanieczyszczeń gazowych i pyłu do otoczenia do poziomu zapewniającego spełnienie wymogów Dyrektywy o emisjach przemysłowych (IED), przyjętej przez Parlament Europejski w dniu 7 lipca 2010, skłania do następujących wniosków:

- ❑ Konwersja kotła węglowego na kocioł opalany biomasą pozwala uniknąć instalacji odsiarczania, odazotowania oraz redukcji pyłów w celu spełnienia wymogów dyrektywy IED.
- ❑ Dlatego też Elektrociepłownia Białystok S.A. dokonuje konwersji już drugiego kotła OP-140 na kocioł biomasowy w oparciu o technologię BFB wraz z budową nowego układu rozładunku, magazynowania i podawania biomasy do kotła (ryc. 8).

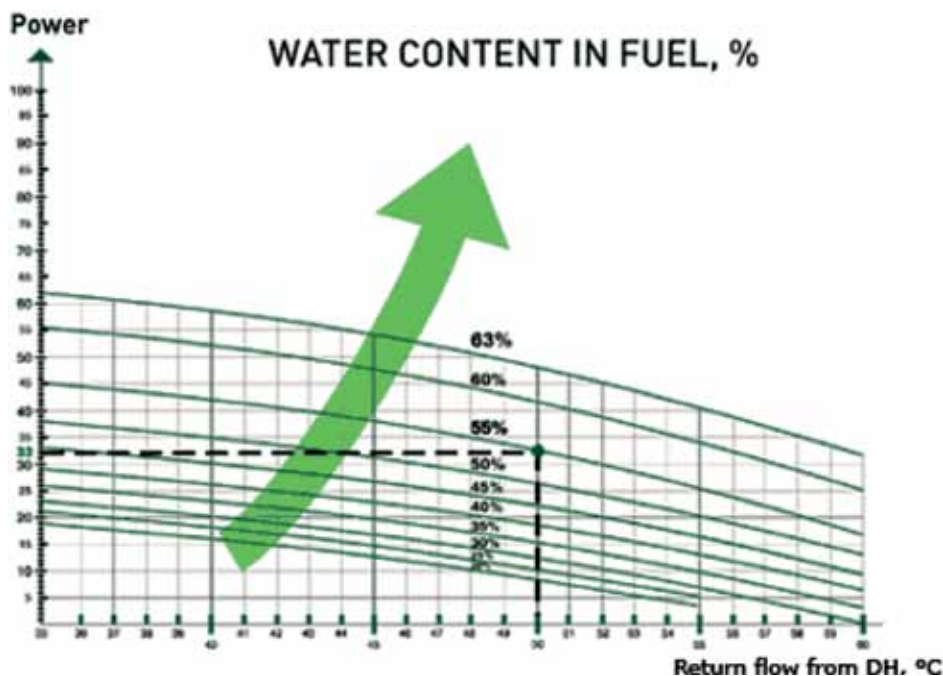


Rycina 8. Parametry kontraktowe kolejnego kotła po konwersji:

- wydajność nominalna: 105 t/h (max. 120 t/h)
- sprawność kotła: 87,6%
- parametry pary świeżej: 13,8 MPa / 540 °C
- emisja NO_x: < 240 mg/Nm³
- emisja pyłu: < 20 mg/Nm³

Budowa układu odzysku ciepła kondensacji pary wodnej ze spalin powstałych ze spalania biomasy

Ze względu na to, że technologia spalania w kotłach BFB pozwala na spalanie wilgotnej biomasy bez konieczności jej wstępnego suszenia, powstałe spaliny zawierają znaczne ilości pary wodnej, które są usuwane z kotła



Rycina 9. Zależność mocy cieplnej odzyskanej ze skroplenia pary wodnej ze spalin od temperatury czynnika chłodzącego (wody sieciowej powrotnej) i wilgotności spalanej biomasy

w temperaturze ok. 160–170°C. Co prawda kocioł dotrzymuje gwarantowaną sprawność, jednakże możliwe jest odzyskanie ciepła kondensacji tej pary wodnej oraz samej wody. Można tego dokonać w oparciu o specjalnie zaprojektowane urządzenia.

Projekt polega na zabudowie instalacji odzysku ciepła ze spalin kotła biomasowego. Ciepło odzyskiwane w specjalnym wymienniku jest przekazywane do powrotnej wody sieciowej. Ilość ciepła jaką można odzyskać w ten sposób zależy od dwóch parametrów: wilgotności spalanej biomasy oraz temperatury powrotnej wody sieciowej.

W układzie korzystnych warunków w EC Białystok możliwe będzie odzyskanie ponad 13 MWt ciepła ze spalin, co pozwoli na uzyskanie teoretycznej sprawności kotła (liczonej tradycyjnie w odniesieniu do wartości opałowej paliwa) ponad 105%!

Materiały źródłowe

- GUS 2010. Rocznik statystyczny 2010. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 30 lipca 2004 r. w sprawie szczegółowych zasad kształtowania i kalkulacji taryf oraz rozliczeń w obrocie ciepłem. Dz. U. z 2004 r. nr 184 poz. 1902.

- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 18 października 2012 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii. Dz. U. z 2012 r. poz. 1229.
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 14 sierpnia 2008 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii. Dz. U. z 2008 r. nr 156 poz. 969.
- Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 19 października 2004 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu. Dz. U. z 2009 r. nr 224 poz. 1804.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 sierpnia 2002 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych. Dz. U. z 2002 r. nr 134 poz. 1140 oraz nr 155 poz. 1299.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi.
- Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. – Prawo energetyczne. Dz. U. z 1997 r. nr 54 poz. 348 z późn. zm.

Afiliacje autorów

(według kolejności w monografii)

Dr inż. Adam Kaliszewski

Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Zarządzania Zasobami Leśnymi,
Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn
tel. 605 566 411, a.kaliszewski@ibles.waw.pl

Dr inż. Stanisław Zajączkowski

Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej,
Sękocin Stary, ul. Leśników 21, 05-090 Raszyn
tel. 604 505 775, stanislaw.zajaczkowski@zarzad.buligl.pl

Prof. dr hab. Stefan Szczukowski

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Wydział Kształtowania Środowiska
i Rolnictwa, Katedra Hodowli Roślin i Nasiennictwa,
Plac Łódzki 3, 10-724 Olsztyn-Kortowo
tel. (89) 523 39 79, stefan.szczukowski@uwm.edu.pl

Dr hab. Mariusz Stolarski, prof. UWM

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Katedra Hodowli Roślin
i Nasiennictwa,
Pl. Łódzki 3, 10-724 Olsztyn
tel. 502 180 876, mariusz.stolarski@uwm.edu.pl

Dr inż. Marek Jabłoński

Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Zarządzania Zasobami Leśnymi,
Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn
tel. (22) 71 50 660, m.jablonski@ibles.waw.pl

Dr hab. Ewa Ratajczak, prof. ITD.

Instytut Technologii Drewna,
ul. Winiarska 1, 60-654 Poznań
tel. (61) 849 24 01, e_ratajczak@itd.poznan.pl

Mgr Gabriela Bidzińska

Instytut Technologii Drewna,
ul. Winiarska 1, 60-654 Poznań
tel. (61) 849 24 42, g_bidzinska@itd.poznan.pl

Mgr inż. Aleksandra Szostak

Instytut Technologii Drewna,
ul. Winiarska 1, 60-654 Poznań
tel. (61) 849 24 61, a_szostak@itd.poznan.pl

Prof dr hab. Wojciech Lis

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Wydział Ekonomiczno-Społeczny,
Katedra Ekonomiki i Organizacji Drzewnictwa,
ul. Wojska Polskiego 38/42, 60-637 Poznań
tel. (61) 848 74 26, wlis@up.poznan.pl

Dr hab. Tadeusz Moskalik, prof. SGGW

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie,
Wydział Leśny, Katedra Użytkowania Lasu,
ul. Nowoursynowska 159, budynek 34, 02-776 Warszawa
tel. (22) 593 81 37, Tadeusz.Moskalik@wl.sggw.pl

Dr inż. Witold Zychowicz

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie,
Wydział Inżynierii Produkcji, Katedra Maszyn Rolniczych i Leśnych,
ul. Nowoursynowska 164, 02-787 Warszawa
tel. (22) 593 45 21, witold_zychowicz@sggw.pl

Dr inż. Arkadiusz Gendek

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie,
Wydział Inżynierii Produkcji, Katedra Maszyn Rolniczych i Leśnych,
ul. Nowoursynowska 164, 02-787 Warszawa
tel. (22) 593 45 13, arkadiusz_gendek@sggw.pl

Mgr inż. Tomasz Gałęzia

Nadleśnictwo Pomorze, bud. nadl.,
Pomorze 8, 16-506 Giby
tel. 883 317 282, (87) 516 57 86, t.galezia@bialystok.lasy.gov.pl

Prof dr hab. Roman Gornowicz

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Katedra Techniki Leśnej,
ul. Wojska Polskiego 71C, 60-625 Poznań
tel. (61) 848 76 39, gornowicz@up.poznan.pl

Dr inż. Zenon Pilarek

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Katedra Techniki Leśnej,
ul. Wojska Polskiego 71C, 60-625 Poznań
tel. (61) 848 76 41, zpilarek@up.poznan.pl

Prof dr hab. Alojzy Kowalkowski

Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Ekologii Lasu,
Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszków
tel. (22) 71 50 513

Dr inż. Ireneusz Olejarski

Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Ekologii Lasu,
Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn
tel. (22) 71 50 513, I.Olejarski@ibles.waw.pl

Dr inż. Krzysztof Jodłowski

Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Zarządzania Zasobami Leśnymi,
Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn
tel. (22) 71 50 346, K.Jodlowski@ibles.waw.pl

Dr inż. Michał Kalinowski

Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Zarządzania Zasobami Leśnymi,
Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn
tel. (22) 71 50 344, M.Kalinowski@ibles.waw.pl

Mgr Piotr Czopek

Ministerstwo Gospodarki, Departament Energii Odnawialnej,
Pl. Trzech Krzyży 3/5, 00-507 Warszawa
tel. (22) 693 48 92, Piotr.Czopek@mg.gov.pl

Mgr inż. Andrzej Ballaun

Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych,
ul. Bitwy Warszawskiej 1920 r. nr 3, 02-362 Warszawa
tel. (22) 58 98 200, a.ballaun@lasy.gov.pl

Mariusz Stachowicz

Quercus Sp. z o.o.,
ul. Olsztyńska 11F, 12-122 Jedwabno
tel. (89) 621 31 68, Stachowicz@quercus.org.pl

Prof. dr hab. Wojciech Nowak

Politechnika Częstochowska, Instytut Zaawansowanych
Technologii Energetycznych,
ul. Dąbrowskiego 73, 42-200 Częstochowa
tel. 604 410 913, wnowak@is.pcz.czyst.pl

Mgr inż. Marta Wesołowska

Politechnika Częstochowska,
Instytut Zaawansowanych Technologii Energetycznych,
ul. Dąbrowskiego 73, 42-200 Częstochowa
tel. (34) 325 09 33, kowioa_sek@is.pcz.czyst.pl

Dr inż. Krzysztof Sadowski

Elektrociepłownia Białystok S.A.,
ul. Gen. Władysława Andersa 3, 15-124 Białystok,
tel. (85) 654 95 13, KSadowski@ec.bialystok.pl