

## Wybrane aspekty wykorzystania biomasy drzewnej do celów energetycznych

### Aspects of using wood biomass for energy production

Piotr Gołos\*, Adam Kaliszewski

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

\*Tel. +48 22 7150674, fax: +48 22 7153837, e-mail: P.Golos@ibles.waw.pl

**Abstract.** This article presents the most important aspects relevant to forest-derived biomass utilization for the purposes of energy production by professional energy providers. The issues discussed here are divided into four groups: environmental, social, economic and technological aspects of biomass utilization in energy production. The environmental part focuses on the effects of intensive use of leftovers from timber harvest on forest ecosystems as well as the problem of ash utilization. Economic and social problems include the costs of energy production from timber, consequences of intensified fuel wood demand for the state of the timber and paper industry as well as the impact on the labor market. The technology section of the article covers questions related to the harvest and transport of forest-derived biomass.

We conclude that, before regarding it as an energy source, wood should be mainly used for the production of timber due to the necessity and difficulty of considering all of the above-mentioned diverse aspects of energy production. Wood should be used for the production of energy only after its usage as timber products and their recycling.

**Keywords:** fuel wood, energy policy, climate policy, timber industry

## 1. Wstęp

Do połowy XIX w. drewno było podstawowym źródłem energii oraz materiałem konstrukcyjnym. Jego znaczenie gospodarcze zmieniła rewolucja przemysłowa, stwarzając zapotrzebowanie na kopalne nośniki energii. Rozwój przemysłu sprawił, że pojawiły się również nowe, substytucyjne wobec drewna, materiały konstrukcyjne. Sytuacja się zmieniła, kiedy zaczęto dostrzegać negatywne dla środowiska naturalnego konsekwencje industrializacji. Począwszy od lat 70 XX w. ochrona środowiska stała się przedmiotem szczególnej troski, co znalazło wyraz np. w raportach Klubu Rzymskiego (1972) oraz w licznych dokumentach i porozumieniach międzynarodowych, np. w konwencji o różnorodności biologicznej oraz w ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu (1992) i protokole z Kioto (1997).

Wymienione inicjatywy międzynarodowe stały się początkiem poszukiwania nowej drogi rozwoju, która pozwoliłaby godzić rozwój ekonomiczny z poszanowaniem i ochroną środowiska naturalnego oraz zaspokojeniem potrzeb człowieka. Pogodzenie różnych potrzeb możliwe jest w ramach idei zrównoważonego rozwoju, choć jednocześnie pojawiają

się głosy kwestionujące możliwość jej realizacji przy utrzymaniu obecnego tempa rozwoju gospodarczego, któremu towarzyszy ciągły wzrost potrzeb człowieka, w tym również zapotrzebowania na energię.

Zmiany klimatu, które trudno podważyć, choć brak jest wiarygodnej oceny kierunku i skali tych zmian, skłaniają do podjęcia działań w celu zastąpienia kopalnych źródeł energii pierwotnej energią z niskoemisyjnych źródeł odnawialnych<sup>1</sup>. Takie działania są prowadzone również w Polsce, czego efektem jest trwający od 2005 r. wzrost ilości biomasy wykorzystywanej zarówno do produkcji energii elektrycznej, jak i ciepła. Wśród najważniejszych czynników, które sprawiły, że mimo wielu ograniczeń organizacyjnych, ekonomicznych i technologicznych związanych z użytkowaniem biomasy sektor energetyczny zainteresował się wykorzystaniem tego paliwa (Budzyński i Bielski 2004), należy wymienić możliwość

<sup>1</sup> Zużycie energii przekłada się bezpośrednio na emisję gazów cieplarnianych. Na statystycznego mieszkańca rozwiniętego kraju roczne zużycie energii wynosi od 150 do 300 GJ, co odpowiada emisji 8–20 ton CO<sub>2</sub>. W Polsce średnie zużycie roczne wynosi około 100 GJ/rok na osobę (Gostomezyk 2010).

szybkiego przystosowania technicznego i technologicznego instalacji węglowych do spalania i współspalania biomasy oraz polityczne wsparcie dla tego zastosowania, a także przekonanie o dużym potencjale energetycznym, szacowanym w Polsce na 895 PJ (petadzuli, tj.  $10^{15}$  J; Jasiulewicz 2010).

W marcu 2007 r. Rada Europejska przyjęła jednomyślnie jako ogólne cele polityki energetycznej i klimatycznej Unii Europejskiej do 2020 r. tzw. cel  $3 \times 20$ , tj.:

- osiągnięcie redukcji emisji gazów cieplarnianych o 20% (30% w przypadku osiągnięcia w tym zakresie porozumienia międzynarodowego),

- zwiększenie do 20% udziału energii ze źródeł odnawialnych (OZE) w całkowitym zużyciu energii w Unii Europejskiej, w tym zwiększenie udziału biopaliw w ogólnym zużyciu benzyny i oleju napędowego w transporcie na terytorium Unii Europejskiej co najmniej do 10%,

- zwiększenie o 20% efektywności energetycznej (Polityka energetyczna 2009).

Dyrektywą dotyczącą wspierania wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych jest 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. Dyrektywa 2009/28/WE ustanawia m.in. wspólne ramy dla promowania energii ze źródeł odnawialnych, określa obowiązkowe krajowe cele ogólne w odniesieniu do całkowitego udziału energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto i w odniesieniu do udziału energii ze źródeł odnawialnych w transporcie, a także kryteria zrównoważonego rozwoju rynku biopaliw i biopłynów. Polska na podstawie tej dyrektywy jest zobowiązana do uzyskiwania w 2020 r. co najmniej 15% energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto (Dyrektywa 2009/28/WE).

Ocena wykorzystywania biomasy leśnej do celów energetycznych wskazuje na duże korzyści środowiskowe, szczególnie przez wpływ na korzystny bilans węglowy. Szczegółowa analiza uwzględniająca aspekty gospodarcze i społeczne oraz ponoszone koszty nie pozwala jednak na tak jednoznaczną pozytywną ocenę praktyk stosowanych przez zawodowych wytwórców energii opartej na biomase.

Celem publikacji jest przedstawienie, na podstawie przeglądu literatury (w tym dokumentów), najważniejszych warunków oraz efektów użytkowania biomasy leśnej na cele energetyczne przez zawodowych wytwórców energii, tj. zakłady przemysłowe, których podstawową działalnością jest wytwarzanie i dystrybucja energii elektrycznej. Literatura przedmiotu jest obszerna i w celu uporządkowania wielu omawianych wątków oraz aspektów związanych z prezentowanym problemem w publikacji przyjęto podział na cztery grupy problemów – aspekty przyrodnicze, społeczne, ekonomiczne oraz technologiczne. Zakres geograficzny obejmuje Polskę z nielicznymi odniesieniami – tam gdzie wydawało się to istotne – do innych krajów europejskich. Przegląd nie wyczerpuje tej złożonej i różnorodnej problematyki, a jego celem jest zasygnalizowanie najważniejszych problemów na podstawie analizy prezentowanych informacji (wyników badań i szacunków)

zamieszczanych w publikacjach leśnych i rolnych, technicznych oraz ekonomicznych w ostatnich latach.

## 2. Potencjał produkcji drewna z lasów do celów energetycznych

Systemy łądowe zawierają około 2190 Gt (gigaton, tj.  $10^9$  ton) węgla, z czego 1200 Gt to węgiel zawarty w ekosystemach leśnych, przy czym tylko 32% stanowi węgiel w roślinności leśnej. Pozostała część akumulowana jest w glebie, głównie w ekosystemach borealnych (Dixon et al. 1994).

W 2010 r. w krajach Unii Europejskiej pozyskano ok. 1 mld  $m^3$  biomasy drzewnej, z czego 30% pochodziło ze źródeł pozaleśnych. Około 57% zagospodarowano jako drewno użytkowe (ścier drzewny, tarcica, płyty drewno-pochodne itp.), a 43% przeznaczono na cele energetyczne. Według Mantaua et al. (2010) w latach 2020 i 2030 udział produkcji biomasy drzewnej ulegnie zwiększeniu odpowiednio o 5,4 i 11,2% (wzrost nastąpi tylko w wyniku wzrostu produkcji biomasy nieleśnej). Zakłada się również zmniejszenie wykorzystania biomasy na cele użytkowe – z 57% w 2010 r. do 44% w 2030 r. Prognoza ta dotyczy całej Unii Europejskiej, natomiast w poszczególnych krajach stopień wykorzystania biomasy na cele energetyczne będzie zależał przede wszystkim od zamożności społeczeństwa (Gołaszewski et al. 2013).

W 2012 roku wyprodukowano w Polsce około 170 TWh (terawatogodzin, tj. –  $10^9$  kWh) energii elektrycznej. Wytworzenie tej ilości energii wyłącznie w wyniku spalania drewna wymagałoby zużycia 54 mln  $m^3$  surowca (dla porównania: w 2012 r. pozyskano w naszym kraju 37,2 mln  $m^3$  drewna, w tym 34,9 mln  $m^3$  grubizny; GUS 2012). Przewiduje się, że w 2020 r. udział energii produkowanej ze źródeł wykorzystujących biomasę, w tym w procesie współspalania biomasy leśnej, wyniesie 35%, na co zużyte zostanie ponad 8 mln  $m^3$  drewna (18,6% pozyskania) (Lis 2013).

Bartoszewicz-Burczy i Soliński (2013) oceniają, że potencjał rynkowy biomasy leśnej na cele energetyczne w 2020 r. będzie wynosił 12,7 mln ton (tj. ok. 16 mln  $m^3$  drewna), z czego 6,4 mln ton pochodzić będzie bezpośrednio z lasu, a 6,3 mln ton z przemysłu drzewnego. Biomasa pochodząca z przemysłu drzewnego obejmuje – w przeliczeniu na 100  $m^3$  drewna pozyskanego z gospodarki leśnej – średnio 10  $m^3$  kory, 15  $m^3$  drobnicy gałęziowej, 20  $m^3$  odpadów kawałkowych (ścinki, obrzyny), 19  $m^3$  trocin i zrębków oraz 36  $m^3$  tarcicy, w tym 20–25  $m^3$  produktów finalnych z grubizny (Guzenda i Świgoń 1997). Produkcja drewna do celów energetycznych z lasów oraz gospodarki komunalnej i rolnictwa, oszacowana przez Ratajczak i Bidzińską (2012), ma wynieść w 2015 r. około 17,9 mln  $m^3$ . Według Boreckiego i Dawidziuka (2011) miąższość drewna do celów energetycznych z lasu wraz z drewnem z przemysłu będzie kształtowała się w 2020 i 2030 r. odpowiednio na poziomie 9,0–9,5 mln  $m^3$  oraz 10,2–10,7 mln  $m^3$ . Według szacunkowych analiz Dawidziuka i Neroja (2012) w 2031 i 2042 r. miąższość dostępnego drewna (z lasu i przemysłu) wyniesie odpowiednio 10 i 11 mln  $m^3$ . Zajęczkowski

(2013) ocenia wielkość potencjału rynkowego w 2021 na 7,17 mln m<sup>3</sup>, a w 2031 r. na 8,04 mln m<sup>3</sup>. Z kolei Borecki i Stępień (2013) wskazują, że zgodnie z przewidywanym rozmiarem użytkowania grubizny brutto w latach 2061–2070 w Lasach Państwowych i w lasach prywatnych, wynoszącym średnio ok. 67 mln m<sup>3</sup> rocznie, możliwe będzie dostarczanie na rynek blisko 16,8 mln m<sup>3</sup> drewna na cele energetyczne rocznie.

Produkcja drewna, w porównaniu z produkcją jego substytutów wykorzystywanych w budownictwie i innych dziedzinach, nie wymaga dużych nakładów energii. Na wyprodukowanie jednej tony drewna budowlanego potrzebne jest zużycie ok. 580 kWh energii, podczas gdy w przypadku cegieł wynosi ono czterokrotnie więcej, cementu – pięciokrotnie, a plastiku – sześciokrotnie więcej. Wyprodukowanie 1 tony aluminium wymaga natomiast średnio 126 razy większego nakładu energii, niż w przypadku drewna (Frühwald 2008). Ponadto drewno trwale wiąże węgiel, a wartość dodana z jego przetworzenia przez przemysł drzewny jest większa niż w przypadku spalania. Produkty drzewne po zakończeniu żywotności łatwo poddają się recyklingowi, pozwalając na dodatkowe odzyskiwanie energii (Birler 1998).

Mimo stosunkowo niewielkiego udziału węgla w drewnie, jego spalaniem zainteresowane są zawodowe zakłady energetyczne. Wykorzystanie na dużą skalę drewna do celów produkcji energii wywołuje kontrowersje dotyczące zasadności i efektywności takich rozwiązań. Obecnie obserwowany jest ciągły wzrost mocy elektrowni przystosowanych do spalania tego rodzaju biomasy. Od czerwca 2010 r. do końca 2011 r. liczba elektrowni przystosowanych do spalania biomasy w Polsce zwiększyła się z 15 do 19, a ich moc wzrosła z 252,5 MW do 409,7 MW (w połowie 2010 r. w tych elektrowniach wytwarzano 11,1% energii, a w końcu 2011 – 13,3%). Tylko w ciągu pierwszego półrocza 2012 r. liczba elektrowni wykorzystujących biomasę zwiększyła się do 22, a udział wytwarzanej energii do 14,0% (Lis 2013).

### 3. Aspekty przyrodnicze wykorzystania biomasy leśnej na cele energetyczne

Dopóki biomasa leśna była wykorzystywana jako źródło energii cieplnej w sposób rozproszony (na potrzeby gospodarstw domowych, głównie na obszarach wiejskich), nie budziło to kontrowersji, ponieważ stanowiło naturalny, akceptowany i historycznie ukształtowany sposób użytkowania drewna. Zmiana postrzegania zasadności wykorzystywania drewna do produkcji energii nastąpiła wraz ze wzrostem zainteresowania tym paliwem ze strony energetyki zawodowej. Pojawiły się liczne pytania dotyczące wpływu takiego sposobu użytkowania drewna na środowisko naturalne. Obecnie dyskusja skupia się w zasadzie na ocenie i porównaniu łącznych korzyści wynikających z absorpcji CO<sub>2</sub> przez lasy (w całej Unii Europejskiej wynosi ona 870 mln ton CO<sub>2</sub> rocznie, co odpowiada 10% całkowitej emisji gazów cieplarnianych pochodzących z przemysłu) i trwałego związania węgla w produktach drzewnych w stosunku do korzyści wynikających ze spalania biomasy jako niskoemisyjnego źródła energii (MCPFE 2011).

Znaczenie lasów w procesie łagodzenia zmian klimatu sprawiło, że zaczęto dostrzegać dwie nowe funkcje gospodarki leśnej, przejawiające się w:

- wychwytywaniu i magazynowaniu atmosferycznego CO<sub>2</sub> w drewnie i w glebie leśnej, co stanowi element zrównoważonej gospodarki leśnej, sprzyjającej utrzymaniu i zwiększaniu potencjału lasów w tym zakresie,

- substytucji węgla przez biomasę drzewną przeznaczoną do celów energetycznych, zastępującą nieodnawialne wysokoemisyjne źródła energii, jak również długotrwałe związanie węgla w produktach drzewnych, będących jednocześnie substytutem materiałów przemysłowych charakteryzujących się wysokim wskaźnikiem energochłonności produkcji (stal, beton, aluminium, tworzywa sztuczne) (Streck et al. 2010).

Wymienionym pozytywnym funkcjom lasu towarzyszą jednak problemy związane z zagospodarowaniem popiołów. A mianowicie, skład chemiczny popiołów ze spalania biomasy sprawia, że ich wykorzystanie (np. do produkcji cementu) jest bardzo ograniczone. Mogą one natomiast być wykorzystane, po odpowiednim przetworzeniu i ustabilizowaniu, jako źródło cennych pierwiastków, które powinny wrócić do ekosystemu leśnego (Kowalkowski i Olejarski 2013; Oesten 2012).

Innym zagadnieniem problematycznym jest intensywne pozyskanie pozostałości zrębowych, choć co do tego, czy zużycie ono środowisko leśne w pierwiastki biogenne, zdania wśród naukowców są podzielone. Rykowski (2012), analizując skład mineralny drewna uważa, że nic nie wskazuje na to, aby intensywne pozyskanie biomasy leśnej w istotny sposób uszczuplało zasoby odżywcze siedliska i ograniczało produkcję drewna. Drewno składa się, przy niewielkich różnicach między surowcem iglastym a liściastym, głównie z węgla (ok. 50,1%), tlenu (ok. 43,4%) i wodoru (ok. 6,0%), a źródłem tych pierwiastków jest atmosfera. Resztę (ok. 0,5%) stanowią części mineralne (azot, fosfor, potas, magnez, wapń), których głównym źródłem w ekosystemie leśnym jest ściółka, tzn. opad biomasy asymilującej. Pierwiastki te kształtują żyzność gleby i – razem z wodą – warunkują produkcję drewna. Determinują ją jednak w tym sensie, że budują aparat asymilacyjny, którego wielkość (biomasa czy rozwinięta powierzchnia asymilująca liści) decyduje o ilości pochłanianego CO<sub>2</sub>, wody i energii słonecznej, a więc węgla, tlenu i wodoru, a zatem – o produkcji drewna. Z tego powodu działania hodowlane skupiają się m.in. na budowie i kształtowaniu koron drzew oraz konkurencji o przestrzeń i światło dla pojedynczego drzewa. Pobierane przez drzewa składniki odżywcze (na siedlisku borowym jest to rocznie średnio na 1 ha ok. 50 kg azotu, 5 kg fosforu, 14 kg potasu, 10 kg wapnia oraz 3 kg magnezu) są uzupełniane opadem ściółki. Dlatego umiarkowane użytkowanie i wywóz drewna poza ekosystem leśny nie powoduje jego degradacji i nie uszczupla możliwości produkcyjnych siedliska. Zmienia jednak w sposób zasadniczy warunki bytowania wielu organizmów, upraszczając strukturę troficzną ekosystemu i osłabiając związki międzygatunkowe, przez co czyni cały układ mniej stabilnym i bardziej wrażliwym na wewnętrzne i zewnętrzne zakłócenia. Dlatego produkcja drewna nie może być rozpatrywana w oderwaniu od trwałości ekosystemu leśnego (Rykowski 2012).

Odmienny pogląd prezentują Kowalkowski i Olejarski (2013), którzy zwracają uwagę, że w lasach z intensywnym użytkowaniem międzyrębnym, o krótkiej rotacji i z pełnym pozyskaniem resztek poźrębnych z korą i karpiną, ekosystem leśny jest od wieków nieodwracalnie zubażany o duże ilości elementów odżywczych. Z badań przeprowadzonych przez Gornowicza i Pilarka (2013) wynika, że na skutek pozyskiwania drewna w korze ubytek niektórych ważniejszych pierwiastków biogenych w środowisku leśnym wynosi: w przypadku azotu – 312,7 kg/ha, fosforu – 30,3 kg/ha, potasu – 53,7 kg/ha, wapnia – 328,5 kg/ha, a magnezu – 39,0 kg/ha. Autorzy ci szacują, że w ciągu całego cyklu produkcji leśnej przy pozyskiwaniu całych drzew wraz z karpą może zostać wycofane z obiegu 524 kg/ha azotu, 55 kg/ha fosforu, 121 kg/ha potasu, 438 kg/ha wapnia i 54 kg/ha magnezu. Ilości te w porównaniu z ubytkiem składników pokarmowych przy tradycyjnym pozyskaniu drewna byłyby większe średnio o 65,5% (od 33% w przypadku wapnia do 125% dla potasu).

Jak podkreślają Kowalkowski i Olejarski (2013), surowy popiół z „pierwotnego paliwa” leśnego pochodzenia jest niejednorodnym produktem spalania biomasy leśnej. Charakteryzuje się wysoką zdolnością agresywnego wchodzenia w reakcje chemiczne ze składnikami środowiska leśnego. Działa szkodliwie na florę i faunę glebową oraz na człowieka. Nie może być traktowany jako nawóz do bezpośredniego stosowania w lesie. Jego wykorzystanie jest jednak możliwe po odpowiednim przetworzeniu poprzez stabilizację na drodze granulacji, możliwie największą homogenizację, minimalizację drobnych frakcji, przekształcenie agresywnych tlenków w wodorotlenki i węglany. Powinien się wówczas cechować dostępnością elementów odżywczych, nie powodującej ryzyka szkodliwego szoku, długookresową (od 5 do 25 lat) zdolnością udostępniania elementów odżywczych, odpowiednią do danych warunków siedliska, i niską reaktywnością w środowisku glebowym.

Obecnie w Polsce popiół lotny pochodzący ze spalania biomasy jest transportowany do kopalń i starych wyrobisk, składowany na przystosowanych do celu składowiskach oraz, jeśli lokalne organy administracji wyrażą na to zgodę, wykorzystywany do rekultywacji składowisk komunalnych. W innych krajach, np. Szwecji czy Finlandii, popioły te, po uprzednim zgranulowaniu, wykorzystywane są jako nawozy w lasach (Sadowski 2013).

#### **4. Aspekty ekonomiczne wykorzystania biomasy leśnej na cele energetyczne**

Niska wartość energetyczna oraz duże rozproszenie i związane z tym wysokie koszty transportu biomasy sprawiają, że jej spalanie przez zawodowe zakłady energetyczne jest w warunkach rynkowych nieopłacalna, nawet w procesie współspalania z surowcami kopalnymi (węgłem kamiennym oraz brunatnym). Stosowane w krajach Unii Europejskiej, w tym w Polsce, instrumenty finansowe promujące wykorzystanie biomasy – tzw. zielone certyfikaty – zasadniczo zmieniają tę sytuację (Bird&Bird 2011). System zielonych certyfikatów jest mechanizmem rynkowym, a jego istotą jest nałożony

na przedsiębiorstwa energetyczne, zajmujące się sprzedażą energii elektrycznej odbiorcom końcowym, obowiązek uzyskania określonej liczby świadectw pochodzenia energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnych źródłach energii bądź uiszczenia opłaty zastępczej (Ministerstwo Gospodarki 2013). Dzięki funkcjonującemu systemowi wsparcia wartość jednostkowych przychodów zawodowych wytwórców energii spalających biomasę kształtowała się w 2010 r. na poziomie 450–470 zł/MWh, przy czym cena energii stanowiła tylko ok. 200 zł/MWh, a reszta pochodziła ze sprzedaży świadectw pochodzenia (tj. zielonych certyfikatów) (Bird&Bird 2011). Doprowadziło to do zaburzenia względnej równowagi na rynku surowca drzewnego, którego skutki najbardziej dotknęły zakłady celulozowo-papiernicze i produkcji płyt, wykorzystujące surowiec drzewny będący obiektem zainteresowania także branży energetycznej. Sytuacja ta dotyczy wielu krajów europejskich. Przykładowo w Wielkiej Brytanii subsydia pozwalają energetyce płacić nawet ponad 92 euro za tonę drewna (Bernasiński 2011). W Austrii natomiast, w okresie od 2001 do 2005 r., w wyniku konkurencji pomiędzy producentami peletów a przemysłem celulozowo-papierniczym ceny trocin wzrosły blisko dwukrotnie. Wzrostowi uległy również ceny samych peletów (średnio ze 183 euro/t do 265 euro/t), głównie na skutek wysokiego popytu ze strony ciepłownictwa oraz towarzyszącego mu deficytu drewna okrągłego (Uslu et al. 2010).

Mimo zasadniczych trudności w wykorzystywaniu biomasy do produkcji energii, jej zużycie w Polsce będzie rosło. Wynika to z braku naturalnych warunków do dalszego dynamicznego rozwoju produkcji energii z innych źródeł odnawialnych, głównie energii wodnej oraz geotermalnej, a także wysokich kosztów środowiskowych energii wiatrowej oraz pochodzącej ze źródeł konwencjonalnych<sup>2</sup>. Efektem wzrostu cen biomasy na skutek zwiększonego popytu jest wzrost cen energii dla użytkowników końcowych. W 2013 r. średnia cena sprzedaży energii elektrycznej wyniosła 182 zł/MWh (Informacja 2014).

Na poziom cen energii po 2013 r. będzie miał wpływ przydział darmowych uprawnień. W latach 2013–2020 Polska ma otrzymać łącznie około 404,6 mln ton EUA (europejskich certyfikatów emisyjnych) dla istniejących jednostek wytwórczych, podczas gdy w latach 2008–2012 było to ok. 1025 mln ton (205 mln ton/rok). Opierając się na danych dotyczących wielkości emisji CO<sub>2</sub> przez polski sektor elektroenergetyczny w przeszłości, a także na prognozach cen uprawnień do emisji na lata 2013–2020, szacuje się, że już w 2014 r. hurtowa cena energii konwencjonalnej może wzrosnąć o około 30–35 zł/MWh, a w kolejnych latach, z uwagi na niski roczny przydział darmowych jednostek uprawnień do emisji, cena energii będzie wzrastać jeszcze bardziej dynamicznie (Bird&Bird 2011).

<sup>2</sup> Koszty zewnętrzne produkcji energii elektrycznej w Polsce są najwyższe w Unii Europejskiej i sięgają 5,5–18 eurocentów na 1 kWh (dane z 2006 roku). Uwzględnienie tych kosztów w cenie energii elektrycznej spowodowałoby jej wzrost o 70–250%. Koszty najbardziej przejawiają się w wyższych wydatkach na ochronę zdrowia, zniszczeniu infrastruktury, wyższych kosztach uzdatniania wody oraz degradacji środowiska naturalnego (Graczyk 2010).

Obecne koszty wytworzenia 1 GJ energii chemicznej zawartej w biomase roślinnej są nawet 1,5–2,5 razy wyższe od kosztów 1 GJ energii wyprodukowanej z węgla. Wynika to nie tylko z cen samej biomasy, ale także z kosztów transportu, zależących od odległości źródła pozyskiwania paliwa. Przyjmuje się, że odległość od producenta czy dystrybutora biomasy do odbiorcy nie powinna być większa niż 30–35 km, a w skrajnych przypadkach niż 60 km (Lorenz i Grudziński 2009). Jest to niewielka odległość, jeśli weźmie się pod uwagę roczne zapotrzebowanie na biomasę dla kotła WP-70 o mocy 81 MW, współspalającego 20% biomasy, które wynosi około 16–20 tys. ton, podczas gdy ze średnio zalesionego obszaru o promieniu 30 km pozyskuje się rocznie ok. 8,5 tys. m<sup>3</sup> drewna opałowego, czyli około 5–6 tys. ton drewna (Furtak 2004).

W okresie do 2030 r., w konsekwencji wdrożenia polityki klimatycznej UE w obecnym kształcie i związanego z tym szerszego wykorzystania biomasy i pozostałych odnawialnych źródeł energii, nastąpi wzrost nakładów inwestycyjnych na rozbudowę nowych mocy produkcyjnych o ok. 60 mld zł. Wzrosną również średnie koszty produkcji energii elektrycznej, co bezpośrednio wpłynie na wzrost wydatków gospodarstw domowych i przedsiębiorstw o 8–12 mld zł rocznie. W efekcie można spodziewać się, że łączny PKB w 2020 r. będzie niższy o 7,5% w porównaniu do hipotetycznej sytuacji bez wspierania odnawialnych źródeł energii. W 2030 r. obniżenie może sięgnąć nawet 15% (EnerSys 2008). Bukowski i Śniegocki (2011) szacują natomiast, że PKB będzie niższy o 1,1–1,7% w 2020 r. w porównaniu do scenariusza bez „celu 3×20”, przy czym produkcja w energochłonnych sektorach spadnie o 1,9–4,4%, a stopa bezrobocia wzrośnie o 0,4–0,5%.

„Raport 2030”, przygotowany przez EnerSys (2008), przewiduje, że do 2030 r. nakłady inwestycyjne związane ze wspieraniem odnawialnych źródeł energii mogą wzrosnąć o 58 mld zł, a cena energii elektrycznej o około 60%. Według innej prognozy (Jurdiak 2012) wzrost ceny hurtowej energii będzie jeszcze wyższy i nawet w scenariuszu bazowym, bez wpływu kosztów wykupów pozwoleń, do 2020 r. cena ta miałaby wzrosnąć o 100% (z ok. 200 zł/MWh do ok. 400 zł/MWh). Po uwzględnieniu kosztów wykupu pozwoleń cena energii może osiągnąć około 580 zł/MWh. Po doliczeniu kosztów przesyłu i dystrybucji, gospodarstwa domowe będą musiały płacić 600–800 zł/MWh, czyli od 50% do 100% więcej niż w 2008 r. Przy założeniu realnego wzrostu dochodów rozporządzalnych do roku 2020 nawet o 30% (tempo wzrostu 3,3% na rok), udział wydatków na nośniki energii może zwiększyć się z 10% w roku 2008 do 18,7%.

Powyższe szacunki dotyczą tylko zawodowych wytwórców energii elektrycznej, ponieważ porównanie kosztów energii z różnych źródeł wskazuje, że wykorzystanie drewna w indywidualnych systemach grzewczych jest nadal najtańszym sposobem wytwarzania energii cieplnej, szczególnie w przypadku stosowania drewna kawałkowego. Przy cenie drewna o wilgotności 20%, wynoszącej 230 zł/m<sup>3</sup>, cena energii elektrycznej wynosi 21,90 zł/GJ, natomiast cena energii ciepła, przy sprawności kotła na poziomie 80% – 27,30 zł/GJ. W przypadku

peletów i brykietów (wilgotność 10%), których koszt zakupu kształtuje się na poziomie 700 zł/m<sup>3</sup>, cena wynosi odpowiednio jak wyżej 41,20 zł/GJ i 51,50 zł/GJ. Są to ceny znacząco mniejsze niż ceny energii z innych źródeł. W przypadku oleju opałowego cena osiąga 90,29 zł/GJ, węgla – 29,64 zł/GJ, gazu płynnego – 114,07 zł/GJ, a energii elektrycznej 121,11 zł/GJ (Wach 2007).

Rozpatrując wady i zalety wykorzystania drewna przez duże zakłady energetyczne, należy mieć na uwadze fakt, że przy niezaspokojonym popycie na drewno do celów przemysłowych, przynajmniej część spalane surowca drzewnego mogłaby być bardziej efektywnie wykorzystana (większe sumaryczne korzyści ekonomiczne i społeczne) w przemyśle przerobu drewna. Czernko (2011) ocenia, że pozyskanie oraz przerobienie 10 tys. m<sup>3</sup> drewna sosnowego tartaczynowego wielkowymiarowego, przy średniej cenie 202 zł/m<sup>3</sup> (2010), prowadziło do uzyskania następujących efektów ekonomicznych:

- z 10 tys. m<sup>3</sup> drewna (ekologicznego materiału odnawialnego) wyprodukowano 117 tys. m<sup>2</sup> podłogi oraz 1600 m<sup>3</sup> różnych palet przemysłowych,

- całkowita wartość produktów uzyskanych z przerobu tego drewna wynosiła 6,6 mln zł (328% wartości surowca), a wartość dodana – 4,6 mln zł,

- całkowite zatrudnienie przy przerobie 10 tys. m<sup>3</sup> drewna wynosiło średnio 49 osób,

- wartość pozostałości poprodukcyjnych wynosiła ok. 0,37 mln zł; stanowiły one surowiec dla przemysłu płyt drewnopochodnych lub źródło energii, odpowiadające pod względem wartości energetycznej 1800 tonom węgla kamiennego.

Europejska Federacja Producentów Płyt Drewnopochodnych (*European Panel Federation*, EPF) szacuje, że przetworzenie jednej tony suchego drewna w przemyśle papierniczym zajmuje przeciętnie 124 roboczogodziny, w produkcji wyrobów drewnopochodnych 54 roboczogodziny, natomiast w produkcji energii jedynie 2 roboczogodziny (EPF 2005). Wartość dodana przemysłowego przerobu drewna wynosi 4176 zł, a jego spalania – 472 zł (Czernko 2012). Według EPF wartość dodana produktów z drewna, nawet bez uwzględnienia wartości energetycznej po zakończeniu cyklu życia drewna, wynosi średnio 1044 euro za tonę suchego surowca, podczas gdy wartość surowca drzewnego użytego jedynie jako paliwo sięga 118 euro/t.

Jednym z negatywnych efektów społeczno-gospodarczych promowania wykorzystywania drewna na cele energetyczne jest zaburzenie równowagi rynkowej na drewno małej i średniowymiarowe oraz przenoszenie zakładów produkcji płyt drewnopochodnych z Europy do krajów „tańszych”. Od kilkunastu lat obserwowany jest odpływ mocy wytwórczych do krajów poza Unię Europejską (m.in. na Ukrainę i do Rosji, ale także do Chin). Utrwalenie tego trendu może mieć szkodliwy wpływ na zatrudnienie w przemyśle płyt drewnopochodnych w krajach UE, ale także osłabić przemysł meblarski, poddany silnej konkurencji ze strony tanich producentów pozaeuropejskich (EPF 2005). Problem ten może być szczególnie dotkliwy dla producentów mebli w Polsce i krajowego eksportu (EU-Consult 2011).

## 5. Aspekty społeczne wykorzystania biomasy leśnej na cele energetyczne

Efektom wzrostu udziału biomasy w wytwarzaniu energii są zmiany na rynku pracy. Według raportu EurObserv'ER (konsorcjum monitorującego rozwój różnych sektorów energetyki odnawialnej w Unii Europejskiej) w 2009 r. spośród sektorów produkcji energii odnawialnej największą liczbę miejsc pracy generował sektor biomasy stałej (280 tys. w całej Unii Europejskiej). Jego obroty sięgały 26 mld euro, a beneficjentami były w szczególności małe i średnie przedsiębiorstwa, w tym sektor leśny i rolny (EurObserv'ER 2011). Z kolei Zielińska (2011) podaje szacunki, według których wzrost udziału energii ze źródeł odnawialnych do 20% może wygenerować ponad 600 tys. miejsc pracy, a w przypadku średniej poprawy efektywności energetycznej przez kraje UE o 20% dodatkowe 400 tys. Obecnie w sektorze „zielonych technologii i usług” w Unii zatrudnionych jest 3,5 mln osób.

Daly et al. (2011) wskazują, że zainwestowanie 1 mld euro może pozwolić na stworzenie 21,5 tys. miejsc pracy w zrównoważonym transporcie, 25,9 tys. przy energetycznej modernizacji budynków, 29,0 tys. związanych z ochroną przyrody (obszary Natura 2000) lub 52,7 tys. stanowisk w energetyce odnawialnej. W perspektywie budżetowej Unii Europejskiej na lata 2014–2020 realizacja „zielonego budżetu” w wysokości 14% całkowitych wydatków UE (roczne inwestycje na poziomie 14,7 mld euro, zgodnie z aktualnymi propozycjami Komisji Europejskiej) pozwoliłaby na stworzenie przez wymienione powyżej cztery sektory ponad pół miliona miejsc pracy. Obecne inwestycje w ramach wspólnej polityki rolnej oraz polityki spójności, pochłaniające około 78% aktualnego budżetu (140 mld euro rocznie), generują zaledwie niewiele ponad dwa razy więcej miejsc pracy. Wynika z tego, że zastąpienie inwestycji realizowanych w ramach tych dwóch polityk inwestycjami w „zielonych sektorach” zwiększyłoby efekt tworzenia miejsc pracy ponad trzykrotnie (320%).

Instytut na Rzecz Ekorozwoju (2009) ocenia, że zapewnienie efektywności odnawialnych źródeł energii wymaga zatrudnienia co najmniej 25 tys. pracowników, z czego połowę stanowić muszą osoby wykwalifikowane. Szacunek ten nie uwzględnia czynnika mnożnikowego – dodatkowych miejsc pracy w otoczeniu (obsłudze wewnętrznej i rolnictwie). Włączenie do sektora produkcji energii odnawialnej także sektora rolnego poprzez zagospodarowanie na cele energetyczne ok. 0,5 mln ha, pozwoliłoby na zatrudnienie kolejnych 44–70 tys. osób (przy średniej 10–14 osób/100 ha).

Moskalik et al. (2012) szacują, że w Polsce przy pozyskaniu i wyrobie średniowymiarowego drewna opałowego pracuje ok. 2750 osób, natomiast dalsze 1400 osób mogłoby pracować przy wyrobie drewna małowymiarowego. Dodatkowe miejsca pracy mogą powstawać w celu dalszej obróbki drewna, na przykład przy produkcji węgla drzewnego lub drewna kominkowego. Autorzy ci przytaczają również wyniki badań Danielsona i Hektora (1992) oraz Strindberga (1998), według których zagospodarowanie pozostałości zrębowych (obejmujące pozyskanie, rozdrobnienie, transport, spalanie i admini-

strację) w ilości 100 tys. m<sup>3</sup> drewna wymaga zaangażowania 25 osób przez rok. Pozyskanie ręczno-maszynowe i maszynowe w trzebieżach generuje z kolei w ciągu roku odpowiednio 73 i 35 miejsc pracy na każde 100 tys. m<sup>3</sup> drewna.

Efektywne gospodarowanie zasobami drzewnymi wymaga przypisania priorytetowego znaczenia produktom leśnym o wyższej wartości dodanej, tworzeniu nowych miejsc pracy i przyczynianiu się do lepszego bilansu dwutlenku węgla. Kryteria te spełnia model kaskadowy, w którym drewno jest wykorzystywane przede wszystkim do wytwarzania takich produktów, które po ponownym wykorzystaniu i recyklingu ostatecznie zużywane są do wytwarzania energii i unieszkodliwiane (COM(2013) 659; Oesten 2012).

## 6. Aspekty technologiczne wykorzystania biomasy leśnej na cele energetyczne

Zagadnienia technologiczne związane z wykorzystaniem biomasy leśnej do celów energetycznych obejmują m.in. ocenę efektywności energetycznej stosowanych technik oraz ocenę ilości CO<sub>2</sub> uwolnionego z paliw wykorzystywanych w procesach przygotowania biomasy. Od chwili pozyskania biomasy za najważniejsze natomiast należy uznać problemy logistyczne oraz procesy uszlachetniające, służące zwiększeniu jej wartości i gęstości energetycznej. Biomasa z lasu może być wykorzystana w różnych postaciach, począwszy od drewna kawałkowego, przez zrębki, jak również w postaci uszlachetnionych form (pelety lub brykiety). Wraz ze wzrostem stopnia przetworzenia surowca drzewnego wzrastają koszty jednostkowe zakupu, nakłady energetyczne na jednostkę biomasy, ale jednocześnie, ze względu na wyższą gęstość energetyczną, obniżeniu ulegają koszty transportu oraz magazynowania.

Uszlachetnienie biomasy leśnej wiąże się z uformowaniem jej w brykiety lub pelety. W pierwszym przypadku wartość energetyczna wynosi 19–21 GJ/t; wilgotność 6–8%, natomiast zawartość popiołu – 0,5–1% suchej masy. Zaletą peletów jest natomiast bardzo niska zawartość popiołów (0,3–1% suchej masy) oraz wysoka wartość energetyczna – 16,5–19,5 MJ/kg. Proces peletowania jednak jest wysokoenergochłonny, ponieważ do wytworzenia jednej tony produktu należy zużyć około 1,3 tony zrębków w stanie powietrzno-suchym. Zakładając, że tona drewna ma wartość opałową na poziomie 8,4 GJ/Mg (W=50%), a wydatki energetyczne z uwzględnieniem strat energii chemicznej zgromadzonej w biomacie wynoszą w przybliżeniu 3,2 GJ/Mg gotowego produktu, ponad 25% energii włożonej w wzbogacanie paliwa jest tracona bezpowrotnie (Drobnik 2007).

Różnorodność stosowanych procesów technologicznych sprawia, że trudno dokładnie oszacować nakłady energetyczne niezbędne dla przygotowania biomasy leśnej. W badaniach Kusiaka i Czechłowskiego (2009), przeprowadzonych na obszarze Puszczy Noteckiej, sumaryczna emisja CO<sub>2</sub> przy zastosowaniu technologii o niskim poziomie mechanizacji prac (pilarka i ciągnik rolniczy) wyniosła 1,11 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> pozyskanego i zerwanego drewna. Wydajność w przeliczeniu na 1 godzinę

pracy 4-osobowego zespołu wyniosła 4,8 m<sup>3</sup>, a godzinowa emisja CO<sub>2</sub> – 2,64 kg. Przy zmechanizowanym pozyskaniu i zrywce emisja CO<sub>2</sub> wyniosła 2,22 kg na 1 m<sup>3</sup> pozyskanego drewna, natomiast emisja dwutlenku węgla związana ze zrywką sięgała 1,49 kg. Emisja sumaryczna CO<sub>2</sub> przy zastosowaniu technologii o wysokim poziomie mechanizacji prac (harvester i forwarder) wyniosła 3,71 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>. Godzinowa emisja spalin przy pozyskaniu kształtowała się na poziomie 19,41 kg, natomiast w przypadku zrywki na poziomie 10,41 kg.

W badaniach Gałęzi (2013) całkowity nakład energetyczny konieczny do pozyskania i przetransportowania zrębków do elektrociepłowni wyniósł 109,72 MJ/m<sup>3</sup>(p), a emisja CO<sub>2</sub> powodowana pozyskaniem i przetransportowaniem zrębków do elektrociepłowni kształtowała się na poziomie 7,89 kg/m<sup>3</sup>(p). W przypadku balotów uformowanych z materiału gałęziowego całkowity nakład energetyczny konieczny do ich pozyskania i przetransportowania do elektrociepłowni, wraz z ich przerobem, wyniósł 313,56 MJ/m<sup>3</sup>(p), a emisja CO<sub>2</sub> powodowana tymi operacjami wyniosła 22,14 kg/m<sup>3</sup>(p). Uzyskane wyniki wskazują, że pozyskiwanie biomasy leśnej, czy to w formie balotów czy zrębków, jest uzasadnione pod względem bilansu energetycznego. Pozyskiwanie biomasy w formie zrębków jest trzykrotnie mniej energochłonne niż pozyskiwanie balotów. Ze spalania zrębków energetycznych w bloku 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 (Gałęzia 2013).

W lokalnych centrach energetycznych najbardziej ekonomicznie uzasadnione jest stosowanie biomasy nieprzetworzonej, transportowanej z niedużej, do 30 km, odległości, ze względu na koszty i efekty ekologiczne (Piszczalka et al. 2007). Biomasa nieprzetworzona w postaci zrębków ma niewielką wartość energetyczną, zależną od wilgotności (6–20 MJ/kg). Ponadto ma niski ciężar nasypowy (zrębki lub baloty), co wskazuje, że przewożenie jej na większe odległości nie jest uzasadnione ze względu na wysokie koszty transportu i jego negatywny wpływ na środowisko. Dlatego też należy krytycznie spojrzeć na proces współspalania biomasy z węglem w wielkich elektrociepłowniach, do których biomasa dostarczana jest z dużych odległości. Ma to charakter działań pozorowanych, których celem jest jedynie spełnienie norm emisji CO<sub>2</sub> (Jasiulewicz 2010).

Ocenia się (Baum et al. 2012), że w Polsce, w perspektywie do 2020 r. i dalszej, produkcja energii z biomasy wymagała będzie zebrania, przewiezienia, składowania i ponownego przetransportowania nawet do 50 mln ton biomasy rocznie. W celu uniknięcia wielokilometrowego transportowania dużych mas zasadne jest wspieranie rozwoju lokalnych rynków biomasy, równoważących podaż i popyt, oraz elektronicznych systemów logistycznych, minimalizujących koszty zbioru, transportu i składowania biomasy. Dodatkowym atutem zużytkowania biomasy w pobliżu miejsca produkcji jest wykorzystanie istniejącej infrastruktury grzewczej w małych miastach lub zastosowanie biomasy w stanie surowym lub suszonym naturalnie w energetyce lokalnej (Baum et al. 2012; Oesten 2012). Gminy, które propagowałyby

tego typu rozwiązania i inwestowały w odpowiednie urządzenia, mogłyby wykorzystać swój potencjał gruntów (obszary o niekorzystnych warunkach gospodarowania, odłogi, zdegradowane łąki, itp.) w celu produkcji biomasy i byłyby samowystarczalne energetycznie (Baum et al. 2012).

W praktyce do celów energetycznych można wykorzystać także różne jednoroczne i wieloletnie rośliny, jak również słomę. Biorąc pod uwagę warunki klimatyczne w Polsce obszar teoretycznie dostępny dla uprawy wierzby i topoli wynosi ok. 1,6 mln ha. Przyjmując, że średnie plony na gruntach słabych wynoszą ok. 10 ton suchej masy rocznie, z takiego arealu można by uzyskać ok. 16 mln ton s.m./rok. Przy wartości energetycznej suchej masy wynoszącej ok. 20 GJ/t możliwe byłoby uzyskanie energii ok. 320 mln GJ/rok, co odpowiada 36% energii powstającej ze spalania węgla kamiennego (888 mln GJ) oraz 62% energii z węgla brunatnego (514 mln GJ) (dane dla 2008 r.; Jasiulewicz 2009).

Dywersyfikacja kierunków produkcji rolnej, zwłaszcza roślinnej, przez uprawę surowców konsumpcyjnych i energetycznych, może przyczynić się do poprawy dochodów ludności rolniczej i aktywizacji gospodarczej obszarów wiejskich. Powinna wpłynąć również na poprawę stanu środowiska przyrodniczego i zrównoważony rozwój obszarów wiejskich. Wykorzystanie w lokalnych ciepłowniach najnowszych technologii skojarzonych systemów grzewczych do zagospodarowania biomasy odpadowej z rolnictwa, przemysłu, gospodarki komunalnej oraz leśnictwa, a także z produkcji rolnej, stanowi najbardziej efektywne rozwiązanie zarówno dla producentów energii cieplnej, jak i dostawców surowców energetycznych (Jasiulewicz 2010).

Stworzenie lokalnego systemu wykorzystania biomasy (energia elektryczna i ciepła) jest bardzo efektywne energetycznie (70–90% efektywności), a ponadto pozwala na aktywizację zawodową ludności na obszarach wiejskich (tworzenie nowych miejsc pracy), pełne wykorzystanie gruntów oraz obrót kapitału w układzie lokalnym. Uruchomienie takich działań może stać się kołem zamachowym lokalnej gospodarki.

## 7. Podsumowanie

Wykorzystanie drewna do produkcji energii w skali przemysłowej jest zjawiskiem nowym, stanowiącym pośrednią odpowiedź gospodarki na globalne zagrożenia środowiska. Ze względu na swoją skalę budzi ono wiele wątpliwości i zmusza do refleksji nad kierunkiem zmian w dzisiejszym zglobalizowanym świecie.

W warunkach zmian klimatu i jednoczesnego wzrostu zapotrzebowania na energię wykorzystanie odnawialnych źródeł energii, w tym biomasy pochodzącej z lasów, staje się nieodzowne. Użytkowanie drewna jako surowca energetycznego w skali przemysłowej jest zjawiskiem niezwykle złożonym, mającym daleko idące konsekwencje przyrodnicze i społeczno-ekonomiczne. Korzystne skutki tego procesu dla łagodzenia zmian klimatu nie mogą przesłaniać zagrożeń związanych z ryzykiem nadmiernej eksploatacji drzewostanów czy zagospodarowaniem popiołów. Wykorzystanie biomasy dla po-

trzeb produkcji energii w znacznym stopniu wpływa i będzie wpływało pozytywnie na poprawę gospodarki rolnej i dlatego powinno stanowić istotny element polityki rolnej. Jednakże szerokie wykorzystywanie leśnej biomasy drzewnej na cele produkcji energii może mieć negatywne konsekwencje dla rozwoju obszarów wiejskich, ze względu na osłabienie kondycji gałęzi przemysłu drzewnego, w znacznej mierze przyczyniających się do rozwoju gospodarczego.

Wykorzystanie biomasy drzewnej do produkcji energii, z uwagi na swoją skalę, rzuca także nowe światło na znaczenie drewna, określając gospodarkę leśną jako sektor wspierający realizację polityki klimatycznej. Polityka zapobiegania zmianom klimatu wymaga jednak ważenia wszystkich korzyści i zagrożeń, tak aby jej realizacja nie kolidowała z rozwojem innych sposobów wykorzystania drewna i nie stanowiła zagrożenia dla przemysłu drzewnego i celulozowo-papierniczego.

## Konflikt interesów

Autorzy deklarują brak potencjalnych konfliktów.

## Podziękowania i źródła finansowania

W publikacji przedstawiono wyniki badań zrealizowanych w ramach projektu pt. „Możliwości oraz uwarunkowania przyrodnicze, technologiczne i ekonomiczne zwiększania podaży drewna do celów energetycznych”, sfinansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki, umowa nr N N309 110940.

## Literatura

- Bartoszewicz-Burczy H., Soliński J. 2013. Wykorzystanie biomasy leśnej w energetyce – stan i perspektywa do roku 2030 i dalej do 2080 roku. Narodowy Program Leśny, Panel Ekspertów „Klimat – Las i drewno a zmiany klimatyczne: zagrożenia i szanse”, 18 czerwca 2013 r., Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary.
- Baum R., Wajszczuk K., Wawrzynowicz J. 2012. Modelowe rozwiązanie logistyczne dla lokalnego rynku biomasy. *Logistyka* 4: 846–854.
- Bernasiński R. 2011. Energetyka – czy warto marnować drewno na produkcję energii? *plytameblowa.pl* <http://www.plytameblowa.pl/rozmowy/energetyka-czy-warto-marnow%C4%87-drewno-na-produkcj%C4%99-energii-0> [12.03. 2012].
- Bird&Bird. 2011. Analiza skutków prawnych wprowadzenia zmian w mechanizmie wsparcia dla producentów energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych, w kontekście zachowania praw nabytych inwestorów korzystających ze wsparcia na dotychczasowych zasadach. Opinia kancelarii Bird & Bird Maciej Gawroński sp.k., Warszawa, s. 88.
- Birler A. S. 1998. The opportunity of forest plantation investment and its expected impact to national economy in Turkey, w: Recycling, energy, and market interactions. Proceedings of UNECE TC Workshop, Istanbul, Turkey.
- 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 Instytucie Badawczym Leśnictwa. III Sesja. Sękocin Stary, 15–17 marca 2011 r. Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary, s. 121–136.
- Borecki T., Stępień E., 2013. Prognoza rozwoju i użytkowania zasobów leśnych do 2070 roku w warunkach zmian klimatycznych. Narodowy Program Leśny, Panel Ekspertów „Klimat – Las i drewno a zmiany klimatyczne: zagrożenia i szanse”, 18 czerwca 2013 r., Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary.
- Budzyński W., Bielski S., 2004. Surowce energetyczne pochodzenia rolniczego, cz. II. Biomasa jako paliwo stałe. *Acta Scientiarum Polonorum - Agricultura* 3(2): 15–26.
- Bukowski M., Śniegocki A. 2011. Mix energetyczny 2050. Analiza scenariuszy dla Polski. Raport opracowany na zlecenie Ministerstwa Gospodarki przez Instytut Badań Strukturalnych i demosEUROPA – Centrum Strategii Europejskiej, Warszawa.
- Czemko B., 2011. Gospodarze i społeczne znaczenie drewna jako materiału. Konferencja „Pachnica dębowa (*Osmoderma eremita*), jako przykład gatunku parasolowego. Martwe drewno a bioróżnorodność biologiczna ekosystemów leśnych”. 27–28 kwietnia 2011 r., Puszczykowo.
- Czemko B., 2012. Rola biomasy leśnej w przemyśle drzewnym. Konferencja „Biomasa leśna. Produkcja – Dystrybucja – Konsumpcja”, Łągow, 5–6 czerwca 2012 r.
- Daly E., Pieterse M., Medhurst J. 2011. Evaluating the Potential for Green Jobs in the next Multi-annual Financial Framework. Final Report. London, GHK.
- Dawidziuk J., Neroj B. 2012. Stan aktualny oraz prognozy rozwoju użytkowania zasobów drzewnych w PGL Lasy Państwowe oraz w lasach prywatnych do 2040 r. Konferencja „Biomasa leśna. Produkcja – Dystrybucja – Konsumpcja”, Łągow, 5–6 czerwca 2012 r.
- Dixon R. K., Solomon A. M., Brown S., Houghton R. A., Trexler M. C., Wisniewski J. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* 263: 185–190.
- Drobnik P., 2007. Analiza wydatków energetycznych niezbędnych do wytworzenia biopaliw formowanych. II Krakowska Konferencja Młodych Uczonych, Kraków, s. 97–103.
- Dyrektiva 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 dyrektywę 2001/77/WE oraz 2003/30/WE. OJ L 140, 05.06.2009.
- EnergSys 2008. Raport 2030. Wpływ proponowanych regulacji unijnych w zakresie wprowadzenia europejskiej strategii rozwoju energetyki wolnej od emisji CO<sub>2</sub> na bezpieczeństwo energetyczne Polski, a w szczególności możliwości odbudowy mocy wytwórczych wykorzystujących paliwa kopalne oraz poziom cen energii elektrycznej. Badanie Systemowe. Warszawa, EnergSys.
- EPF 2005. Sustainable use of wood for products and energy: conflict or opportunity? (View of the European wood-based panel industry). European Panel Federation, Brussels. [http://www.europanel.org/main\\_tc.html](http://www.europanel.org/main_tc.html) [25.11.2013].
- EU-Consult 2011. Analiza potencjału rozwoju sektora drewno-mebelskiego w powiecie bytowskim. Gdańsk, EU-Consult.
- EurObserv'ER 2011. The state of renewable energies in Europe. *EurObserv'ER Report* 11: 1-248 [http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat\\_baro/barobilan/barobilan11.pdf](http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/barobilan/barobilan11.pdf) [25.04.2012].
- Frühwald A. 1998. Wood products at the end of their life: material recycling, energy generation, or landfill? Technical, economical, and ecological aspects, w: Recycling, energy, and market interactions. Proceedings of UNECE TC Workshop, Istanbul, Turkey.
- Furtak D. 2004. Czy pozyskiwanie energii z biomasy w dużych ilościach energetycznych ma szansę w Polsce? *Energetyka* 4(598): 235–240.

- Gałęzia T. 2013. Analiza efektywności wybranych metod pozyskiwania biomasy leśnej na cele energetyczne na przykładzie Puszczy Białowieskiej, w: Gołos P., Kaliszewski A. (red.), *Biomasa leśna na cele energetyczne*, Sękocin Stary, Instytut Badawczy Leśnictwa, s. 127–137.
- Gołaszewski J., Szczukowski S., Stolarski M. 2013. Plantacje drzew i krzewów szybkorosnących jako alternatywa biomasy z lasu czy nie wykorzystane i nowe źródła odnawialne oraz szansa dla „zielonej energii” – stan obecny, możliwości, bariery i perspektywa rozwoju. Narodowy Program Leśny, Panel Ekspertów „Klimat – Las i drewno a zmiany klimatyczne: zagrożenia i szanse”, 18 czerwca 2013 r., Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary.
- Gornowicz R., Pilarek Z. 2013. Wpływ pozyskania biomasy na wycofywanie pierwiastków biogennych ze środowiska leśnego, w: Gołos P., Kaliszewski A. (red.), *Biomasa leśna na cele energetyczne*, Sękocin Stary, Instytut Badawczy Leśnictwa, s. 138–146.
- Gostomczyk W. 2010. Odnawialne źródła energii jako nowy element rozwoju społeczno-ekonomicznego regionu, w: Strzelecki Z. (red.), *Oblicza współczesnego kryzysu a polskie regiony*, Warszawa, Ministerstwo Rozwoju Regionalnego.
- Graczyk A. 2010. Ekologiczne aspekty rozwoju energetyki odnawialnej. Prezentacja wygłoszona podczas panelu ekspertów pt. „Badania ankietowe wśród ekspertów oraz analiza ankiet i ich weryfikacja” w ramach projektu pt. „Strategia rozwoju energetyki na Dolnym Śląsku metodami foresightowymi. Politechnika Wrocławska, 11 czerwca 2010 r. <http://energia.pwr.wroc.pl/index.php?jez=pol&s=panel> [12.11.2013].
- GUS 2012. *Leśnictwo 2012*. Warszawa, Główny Urząd Statystyczny.
- Guzenda R., Świągół J. 1997. Techniczne i ekologiczne aspekty energetycznego wykorzystania drewna i odpadów drzewnych. *Gospodarka Paliwami i Energią* 45, 1, 10–12.
- Informacja Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki (nr 15/2014) w sprawie średniej ceny sprzedaży energii elektrycznej na rynku konkurencyjnym za rok 2013. Warszawa, Urząd Regulacji Energetyki
- Instytut na Rzecz Ekorozwoju 2009. *Alternatywna polityka energetyczna Polski do 2030 roku. Raport dla osób podejmujących decyzje*. Warszawa, Instytut na Rzecz Ekorozwoju.
- Jasiulewicz M. 2009. Znaczenie rolnictwa w rozwoju energetyki rozproszonej jako formy rozwoju zrównoważonego obszarów wiejskich, w: Komornicki T., Kulikowski R. (red.), *Miejsce obszarów wiejskich w zagospodarowaniu przestrzennym*. *Studia Obszarów Wiejskich* 18: 157–169.
- Jasiulewicz M. 2010. Potencjał biomasy w Polsce. Koszalin, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, s. 169.
- Jurdiak L. 2012. Czy grozi nam ubóstwo? Analiza potencjalnych skutków unijnej polityki walki z globalnym ociepleniem dla gospodarstw domowych w Polsce. *Polityka Energetyczna* 15, 3: 23–50.
- Köhl M., 2013. Zielona gospodarka – nurt przyszłego rozwoju? w: Planowanie w gospodarstwie leśnym XXI wieku. Zimowa Szkoła Leśna przy Instytucie Badawczym Leśnictwa, V Sesja, Sękocin Stary, 19–21 marca 2013 r. s. 69–73.
- COM(2013) 659. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Nowa strategia leśna UE na rzecz lasów i sektora leśno-drzewnego. COM(2013) 659 final z dn. 20.09.2013 r.
- Kowalkowski A., Olejarski I. 2013. Możliwości wykorzystania popiołów z biomasy leśnej jako źródła elementów odżywczych, w: Gołos P., Kaliszewski A. (red.), *Biomasa leśna na cele energetyczne*, Sękocin Stary, Instytut Badawczy Leśnictwa, s. 147–176.
- Kusiak W., Czechłowski M. 2009. Ocena wydajności obciążenia środowiska emisją dwutlenku węgla przy maszynowym pozyskaniu i zrywce drewna. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 543: 181–194
- Lis W. 2013. Akceptowalna przez przemysł drzewny zmiana struktury podaży oraz cen drewna – wpływ wzrostu udziału biomasy drzewnej na cele energetyczne, w: Gołos P., Kaliszewski A. (red.), *Biomasa leśna na cele energetyczne*, Sękocin Stary, Instytut Badawczy Leśnictwa, s. 84–106.
- Lorenz U., Grudziński Z. 2009. Współpalanie węgla i biomasy w energetyce – ceny koszty na przykładzie węgla brunatnego. *Rocznik Ochrona Środowiska* 11: 1245–1256.
- Mantau U. (red.) 2010. *EUwood – Real potential for changes in growth and use of EU forests. Final report*. Hamburg, Germany, s. 160.
- MCPFE 2011. *State of Europe’s Forests 2011. Status and Trends in Sustainable Forest Management in Europe*. Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe (Forest Europe), Oslo, Liaison Unit, s. 337.
- Moskalik T., Nowacka W., Sadowski J., Zastocki D. 2012. Rynek drewna energetycznego w Polsce jako element rozwoju regionalnego. *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej w Rogowie* 14, 32/3: 222–230.
- Oesten G. 2012. Przesłanki, dynamika i efekty wykorzystania drewna na cele energetyczne w Niemczech, w: *Przyrodnicze i gospodarcze aspekty produkcji oraz wykorzystania drewna – stan obecny i prognoza*. Zimowa Szkoła Leśna przy Instytucie Badawczym Leśnictwa, IV Sesja, Sękocin Stary, 20–22 marca 2012 r. s. 251–256.
- Piszczalka J., Korenko M., Rutkowski K. 2007. Ocena energetyczno-ekonomiczna ogrzewania dendromasą. *Inżynieria Rolnicza* 6(94): 189–196.
- Polityka energetyczna Polski do 2030 roku. 2009. Dokument przyjęty przez Radę Ministrów w dniu 10 listopada 2009 roku. Warszawa, Ministerstwo Gospodarki.
- Ratajczak E., Bidzińska G. 2013. Rynek biomasy drzewnej na cele energetyczne – aspekty ekonomiczne i społeczne, w: Gołos P., Kaliszewski A. (red.), *Biomasa leśna na cele energetyczne*, Sękocin Stary, Instytut Badawczy Leśnictwa, s. 59–76.
- Rykowski K. 2012. Czynniki środowiska przyrodniczego determinujące produkcję drewna. Zimowa Szkoła Leśna przy Instytucie Badawczym Leśnictwa. IV Sesja. Sękocin Stary, 20–22 marca 2012 r. Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary, s. 47–63.
- Sadowski K. 2013. Problematyka użytkowania biomasy leśnej na przykładzie rozwiązań w Elektrociepłowni Białystok S.A., w: Gołos P., Kaliszewski A. (red.), *Biomasa leśna na cele energetyczne*, Sękocin Stary, Instytut Badawczy Leśnictwa, s. 225–245.
- Streck C., O’Sullivan R., Janson-Smith T., Tarasofsky R. (eds.) 2010. *Climate change and forests. Emerging policy and market opportunities*. London, Chatham House.
- Uslu A., Bole T., Londo M., Pelkmans M., Berndes G., Prieler S., Fischer G., Cabal H. C., 2010. Reconciling biofuels, sustainability and commodities demand. Pitfalls and policy options. Energy Research Centre of the Netherlands, Petten, s. 37.

- Wach E., 2007. Ekonomiczne aspekty wytwarzania ciepła i energii elektrycznej z biomasy. Bałtycka Agencja Poszanowania. Energii S.A., Poznań 2007, [http://www.czystaenergia.pl/pdf/poleko2007\\_34.pdf](http://www.czystaenergia.pl/pdf/poleko2007_34.pdf) [25.11.2013].
- Zajączkowski S. 2013. Prognozy pozyskania drewna w Polsce w perspektywie 20 lat oraz możliwości ich wykorzystania do szacowania zasobów drewna na cele energetyczne, W: Gołos P., Kaliszewski A. (red.), Biomasa leśna na cele energetyczne, Sękocin Stary, Instytut Badawczy Leśnictwa, s. 21–31.
- Zielińska M. 2011. Rola energii odnawialnej w zrównoważonym rozwoju obszarów wiejskich – przegląd unijnych strategii. S.71.

Ekspertyza. [http://ksow.pl/fileadmin/user\\_upload/ksow.pl/pliki/ANALIZY\\_ekspertyzy/Energia\\_odnawialna\\_i\\_jej\\_znaczenie\\_dla\\_rozwoju\\_obszar%C3%B3w\\_wiejskich.pdf](http://ksow.pl/fileadmin/user_upload/ksow.pl/pliki/ANALIZY_ekspertyzy/Energia_odnawialna_i_jej_znaczenie_dla_rozwoju_obszar%C3%B3w_wiejskich.pdf) [19.08.2013].

### **Wkład autorów**

P.G. – koncepcja badawcza, autor wniosku badawczego, zebranie danych i analiza literatury, napisanie maszynopisu, A.K. – uzupełnienie przeglądu literatury, uzupełnienie i korekta maszynopisu.

## Aspects of using wood biomass for energy production

Piotr Gołos\*, Adam Kaliszewski

Forest Research Institute, Department of Forest Resources Management,  
Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05–090 Raszyn, Poland.

\*Tel. +48 22 71 50 674, fax: +48 22 71 53 837, e-mail: P.Golos@ibles.waw.pl

**Abstract.** This article presents the most important aspects relevant to forest-derived biomass utilization for the purposes of energy production by professional energy providers. The issues discussed here are divided into four groups: environmental, social, economic and technological aspects of biomass utilization in energy production. The environmental part focuses on the effects of intensive use of leftovers from timber harvest on forest ecosystems as well as the problem of ash utilization. Economic and social problems include the costs of energy production from timber, consequences of intensified fuel wood demand for the state of the timber and paper industry as well as the impact on the labor market. The technology section of the article covers questions related to the harvest and transport of forest-derived biomass.

We conclude that, before regarding it as an energy source, wood should be mainly used for the production of timber due to the necessity and difficulty of considering all of the above-mentioned diverse aspects of energy production. Wood should be used for the production of energy only after its usage as timber products and their recycling.

**Keywords:** fuel wood, energy policy, climate policy, timber industry

### 1. Introduction

Wood had been a primary source of energy and construction material up until the middle 19th century. Its economic significance was changed by the industrial revolution, when there was a rise in demand for fossil fuels. The advance of industrial processes resulted in the production of new construction materials substituting wood.

The situation changed when negative effects of industrialisation on the natural environment were observed. From 1970s, protection of the natural environment became especially important, which was reflected in such reports as the Rome Club Report (1972) as well as numerous documents and international agreements, such as the Convention on Biological Diversity and the United Nations Framework Convention on Climate Change (1992) or Kyoto Protocol (1997).

The above-mentioned international initiatives opened up new roads for further development, which would allow balancing economic development with respectful protection

of the natural environment and human needs. Balancing various needs is possible within a framework of sustainable development, although from time to time the probability of its implementation while maintaining the current tempo of economic development accompanied by the constant growth of human needs, including energy demand, is being questioned.

Although there is no certain estimate of direction or the scale of climate change, this issue is difficult to ignore, which prompts the necessity to replace fossil fuel energy sources by energy from low-emission renewable energy sources<sup>1</sup>. A similar movement could be also observed in Poland from 2005, which resulted in a continuous growth of biomass quantity used for the production of electric ener-

<sup>1</sup> Energy use directly transforms into emission of greenhouse gases. Annual energy use by a of a developed country is from 150 to 300 GJ per capita, which corresponds to the emission of 8–20 tons of CO<sub>2</sub>. In Poland, the average annual energy use is about 100 GJ/year per person (Gostomczyk 2010).

Received: 11.12.2013, reviewed: 9.01.2014, accepted after revision: 27.08.2014.

gy as well as heat. Despite many organisational, economic and technological limitations related to the use of biomass for energy purposes, the energy sector became interested in the use of this type of fuel (Budzyński and Bielski 2004). Among the most important factors that resulted in this were the possibility to quickly adjust the technological process in coal stoves for burning biomass, as well as political support for such activities and also conviction in their large potential for the energy sector, which in Poland is estimated to be 895 petajoules (PJ or  $10^{15}$  J; Jasiulewicz 2010).

In March 2007, the European Union (EU) Council adopted general targets for its energy and climate policy by 2020, or the so-called ‘20–20–20’ targets:

- reaching a 20% reduction in EU greenhouse gas emissions from 1990 (30% in the case international agreement on this can be reached in the meantime);

- raising the share of EU energy consumption produced from renewable resources to 20%, including the increase to a minimum 10% use of biofuels within the general consumption of gasoline and diesel fuel used by transport around the EU;

- 20% improvement in EU’s energy efficiency (Energy Policy 2009).

The European Parliament and Council Directive 2009/28/WE from April 23, 2009 is the directive supporting the use of energy from renewable sources, which amends and repeals the previous directives 2001/77/WE and 2003/30/WE. The Directive 2009/28/WE establishes, among others, a common framework for the promotion of renewable energy, defines obligatory national targets in relation to the overall share of renewable energy in the bloc’s final energy consumption and also in relation to the share of the renewable energy in the transport sector, as well as criteria for the sustainable development of the biofuel and bioliquid market. On the basis of the above directive, Poland by 2020 has to produce a minimum 15% of energy from renewable sources within its final energy consumption (Directive 2009/28/WE).

The evaluation of forest biomass use for energy purposes indicates significant environmental benefits, especially through its effect on carbon balance. However, the detailed analysis, which takes into account economic and social aspects as well as costs, does not allow giving a straightforward positive rating to practices used by professional providers of energy originating from biomass sources.

The goal of this publication is to present, based on a literature review (including official documents), the most important conditions and effects of using forest biomass for energy purposes by professional energy providers such as industrial plants whose basic activities include the production and distribution of electric energy. The literature on this topic is quite extensive, so in order to present many discussed problems and aspects related to the examined questions

more clearly, the publication divides the topics into four groups: environmental, social, economic and technological. The article covers the geographical area of Poland with several references to other European countries, where it appeared to be significant. The current study does not give a complete review of this complicated and diverse question; however, the goal of this article is to highlight the most important problems based on the analysis of the presented information (research results and estimates) covered by forest, agricultural, technical and economic publications during the last several years.

## 2. Potential production of wood from forests for energy purposes

Terrestrial ecosystems store about 2190 gigatons (Gt or  $10^9$  tons) of carbon, from which 1200 Gt is stored in forest ecosystems and only 32% of that is carbon found in forest vegetation. The remaining part is accumulated in soil mainly in boreal ecosystems (Dixon et al. 1994).

In 2010, countries of the EU harvested about 1 billion  $m^3$  of wood biomass, from which 30% originated from places other than forests. About 57% of that wood was used for timber products (pulp and paper, lumber, particle boards and so on), and 43% reserved for energy purposes. According to Mantau et al. (2010), in 2020 and 2030, the wood biomass production will increase respectively by 5.4 and 11.2% in the above categories (the growth will be possible only in the event of increased biomass production from non-forest sources). It is also estimated that biomass use for timber products will decrease from 57% in 2010 to 44% in 2030. Such forecast covers the whole EU, while in specific countries the degree of biomass use for energy purposes will depend first of all on the wealth of its population (Gołaszewski et al. 2013).

In 2012, Poland produced about 170 terawatt hours (TWh or  $10^9$  kWh) of electric energy. Production of such an amount of energy only from wood burning would require using 54 million  $m^3$  of wood (to compare, in 2012 Poland harvested 37.2 million  $m^3$  of wood, including 34.9 million  $m^3$  of large-size timber; Central Statistical Office 2012). It is predicted that in 2020, the share of energy produced from sources using biomass, including that produced from burning some forest biomass, would be 35%, which will utilise more than 8 million  $m^3$  of wood (18.6% of wood harvested; Lis 2013).

Bartoszewicz-Burczy and Soliński (2013) evaluate that the market potential of forest biomass for energy purposes in 2020 will be 12.7 million tons (or about 16 million  $m^3$  of wood), from which 6.4 million tons will come directly from forests and 6.3 million tons from the timber industry. Biomass originating from the timber industry includes (re-

calculated per 100 m<sup>3</sup> of wood coming from forest management practices) on average 10 m<sup>3</sup> of bark, 15 m<sup>3</sup> of small branches, 20 m<sup>3</sup> of wood pieces (cut-offs), 19 m<sup>3</sup> of wood dust and chips, and 36 m<sup>3</sup> of lumber, including 20–25 m<sup>3</sup> of final timber products from large-size lumber (Guzenda and Świgoń 1997). As evaluated by Ratajczak and Bidzińska (2012), the production of wood for energy purposes from forests, municipal management and agriculture in 2015 would be about 17.9 million m<sup>3</sup>. According to Borecki and Dawidziuk (2011), the volume of timber used for energy purposes and originating from forests and the timber industry in 2020 and 2030 would be equal to about 9.0–9.5 million m<sup>3</sup> and 10.2–10.7 million m<sup>3</sup> respectively. Evaluation analysis of Dawidziuk and Neroj (2012) estimates that in 2031 and 2042, the available wood volumes (from forests and the industry) would be 10 and 11 million m<sup>3</sup>, respectively. Zajączkowski (2013) values the wood market potential in 2021 to be 7.17 million m<sup>3</sup>, and in 2031, 8.04 million m<sup>3</sup>. Meanwhile, Borecki and Stępień (2013) indicate that according to the gross forecasted use of large-size lumber in 2061–2070 in the state and private forests of about 67 million m<sup>3</sup> annually, it would be possible to provide to the market annually about 16.8 million of wood for energy purposes.

Wood production, compared to production of wood substitutes used in the industry and other areas, does not require large energy inputs. Manufacturing one ton of construction timber requires about 580 kWh of energy, while for manufacturing bricks, the energy used is four times higher, cement — five times and plastic — six times higher. Production of 1 ton of aluminum uses on average 126 times higher energy inputs, compared to timber product manufacturing (Frühwald 2008). Moreover, timber sequesters carbon, and the added value of timber use by the timber industry is higher than in the case of wood burning. Timber products after their use are easily recycled, which allows the recapture of additional energy (Birler 1998).

Despite the considerable low share of carbon in timber, wood burning is of great interest for industrial energy manufacturers. However, the use of wood for energy purposes on a large scale brings many controversies related to the relevance and effectiveness of such solutions. Currently, the energy capacity of electric plants using wood biomass is constantly growing. From June 2010 to the end of 2011, the number of electric plants in Poland adapted for wood burning increased from 15 to 19, and their energy capacity grew from 252.5 MW to 409.7 MW (in the middle of 2010, those plants produced 11.1% of energy, and by the end of 2011 — 13.3%). During the first half of 2012, the number of electric plants using biomass increased to 22, and the share of energy produced by them to 14% (Lis 2013).

### 3. Environmental aspects of forest biomass use for energy purposes

During the times when forest biomass was used as one of the dispersed renewable energy sources (for the needs of small households mainly in rural areas), it did not cause controversies, as such activities presented a natural, accepted and historically shaped wood utilisation method. The change in justifying the use of wood for energy production occurred simultaneously with increasing interest in such a type of fuel by professional energy providers. Numerous questions related to the effects of such use of wood on the natural environment started to appear. Currently the discussion concentrates on evaluation and comparison of combined benefits resulting from CO<sub>2</sub> sequestration by forests (which in the EU equals 870 million tons of CO<sub>2</sub> annually, and corresponds to 10% of total greenhouse gas emissions produced by industries) and long-term carbon storage in timber products in relation to benefits received in the result of burning biomass as a low-emission source of energy (MCPFE 2011).

Understanding the significance of forests for mitigating climate changes helped to recognise two new functions of forestry, which include:

- capture and storage of atmospheric CO<sub>2</sub> in wood and forest soil, which constitutes a part of sustainable forest management activities that foster existing and growing potential of forests in this area;

- substitution of coal by wood biomass used for energy purposes, which replaces non-renewable high-emission energy sources, as well as long-term carbon storage in timber products, which also substitute such industry materials, which are characterised by high energy consumption processes (steel, concrete, aluminum, plastics) (Streck et al. 2010).

However, the above-mentioned positive forest functions are accompanied by problems related to ash utilisation. Chemical properties of ash produced as a result of biomass burning limit possibilities for ash utilisation (such as production of cement). However, after suitable processing and stabilisation, wood ash can be used as a source of valuable elements, which could be returned to the forest ecosystem (Kowalkowski and Olejarski 2013, Oesten 2012).

Another problem is linked to intensive collection of harvest waste. However, scientists are divided in their opinion whether such activity depletes biological elements from the forest environment. While analysing the mineral content of wood, Rykowski (2012) acknowledges that there is no indication that intensive forest biomass harvesting significantly diminishes the nutrient content of forest sites and limits tree growth. With some small differences between coniferous and broadleaf species, wood is mainly built of carbon (about 50.1%), oxygen (about 43.4%) and hydrogen

(about 6.0%), and the main source of these elements is atmosphere. The remaining part (about 0.5%) consists of such elements as nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium and calcium, which in the forest ecosystem originate from the duff layer. Those elements contribute to soil productivity and along with water regulate tree growth. They regulate this in a way of building tree crown, the size of which (biomass or developed assimilation area of leaves) determines the amount of absorbed CO<sub>2</sub>, water and solar energy, and therefore carbon, oxygen and hydrogen affecting timber production. Considering the above, silvicultural activities should concentrate on building and shaping tree crowns as well as single tree competition for space and light. Nutrient absorption by a tree (which in a pine forest ecosystem equals on average 50 kg of nitrogen, 5 kg of phosphorus, 14 kg of potassium, 10 kg of calcium and 3 kg of magnesium per 1 hectare) is compensated from the dead material of the duff layer. Therefore, moderate tree harvest and timber removal outside of the forest ecosystem do not cause its degradation and do not decrease the productive potential of the site. Such activities, however, significantly change the life conditions of many organisms by simplifying the trophic structure of the ecosystem and by weakening associations between species resulting in a less stable ecosystem that is more susceptible to internal and external calamities. Therefore, timber production cannot be viewed without the consideration of forest ecosystem sustainability (Rykowski 2012).

A different view is presented by Kowalkowski and Olejarski (2013). They point out that in forests with intensive thinning, with short rotation and with total removal of harvest debris together with bark and roots, for several years the forest ecosystem is irreversibly depleted in large amounts of nutrients. The research conducted by Gornowicz and Pilarek (2013) shows that in the case of harvesting trees inside the bark, the decrease of some of the most important biological elements in the forest environment amounts to 312.7 kg/ha of nitrogen, 30.3 kg/ha of phosphorus, 53.7 kg/ha of potassium, 328.5 kg/ha of calcium and 39.0 kg/ha of magnesium. The authors estimate that during the whole cycle of timber production when trees are taken away together with their roots, up to 524 kg/ha of nitrogen, 55 kg/ha of phosphorus, 121 kg/ha potassium, 438 kg/ha of calcium and 54 kg/ha of magnesium could be removed from the nutrient cycle. Those amounts when compared to nutrient depletion during the traditional timber harvest would be higher on average of 65.5% (from 33% in the case of calcium to 125% in the case of potassium).

As shown by Kowalkowski and Olejarski (2013), the raw ash produced as a result of burning ‘primary fuel’ originating from forests is a heterogeneous product of burning forest biomass. It is characterised by the high ability to aggressively enter into chemical reactions with the elements of the forest

environment. It has a damaging effect on soil flora and fauna as well as on humans. It cannot be considered as a fertiliser directly applied to forests. However, its use is possible after suitable processing through granulation with the highest possible homogenisation, which decreases the amounts of small fractions and converts aggressive oxides into hydroxides and carbonates. The final product should contain variable nutrients, so its application would not be damaging, its nutrients should be released during the long-term period (from 5 to 25 years) corresponding to the conditions of a given site, and also it should be of low reactivity in a soil environment.

Currently in Poland, fly ash produced during biomass combustion is transported to mines and old quarries, stored at specialised repositories or with the consent of the local administration it could be used for the recultivation of communal landfills. In other countries, such as Sweden and Finland, wood ash after special granulation is used as a fertiliser in forests (Sadowski 2013).

#### **4. Economic aspects of forest biomass use for energy purposes**

Low energy value as well as large dispersion and related to that high costs of wood biomass transportation lead to the fact that wood combustion by professional energy providers in market conditions is unprofitable even during the process of combined combustion with fossil fuels (bituminous and brown coals). Financial instruments (so-called green certificates) used in countries of the EU, including Poland, which support the use of biomass significantly change the above situation (Bird & Bird 2011). The system of green certificates is a market mechanism, which requires energy companies dealing with providing electrical energy to end users to obtain a certain number of certificates of origin indicating the generation of electric energy from renewable energy sources or to pay a substitute fee (Ministry of Economy 2013). As a result of such an operating system of support, unit income value of professional energy providers using biomass fuel in 2010 reached the value of 450–470 PLN/MWh while unit energy price was only 200 PLN/MWh, with the remaining amount coming from the sale of the certificates of origin (green certificates) (Bird & Bird 2011). At the same time, timber market equilibrium has been affected, which mostly concerned paper, cellulose and particle board producers that utilise wood products, which are also of interest to energy providers. Such a situation affected many European countries. As an example, subsidies in Great Britain allow the energy sector to pay more than 92 euros per ton of wood (Bernasiński 2011). In Austria, during the period from 2001 to 2005 as a result of competition between producers of pellets and the paper–cellulose industry, the prices of wood dust

increased almost twice. The price of pellets themselves has also hiked (on average from 183 euros/t to 265 euros/t) mainly as a result of high demand from heat plants and simultaneous shortage of round timber (Uslu et al. 2010).

Despite the difficulties of using biomass for energy production, its use in Poland is predicted to grow. It could be explained by the lack of natural conditions for further dynamic expansion of energy production from other renewable sources, such as water or geothermal energy and also high environmental costs of wind energy or energy produced from conventional sources<sup>2</sup>. The outcome of biomass price increase as a result of larger demand could be seen in growing energy prices for end users. In 2013, the average price of electric energy sold was 182 PLN/MWh (Information 2014).

The level of energy prices after 2013 would be affected by the distribution of allowances for CO<sub>2</sub> emission. In 2013–2020, Poland will receive in total about 404.6 million tons of the European emission allowances for existing producers, while in 2008–2012 that amount was about 1025 million tons (205 million tons/year). Based on the data on CO<sub>2</sub> emissions by the Polish electric energy sector in the future and also on the forecasts of prices of emission allowances in 2013–2020, it is estimated that already in 2014 the bulk price of energy from conventional energy sources could increase by about 30–35 PLN/MWh, and in the following years due to low annual allocation of emission allowances, the energy price will grow even more intensively (Bird & Bird 2011).

Currently the costs of production of 1 GJ of chemical energy enclosed in plant biomass are 1.5–2.5 times higher than the costs of 1 GJ of energy produced from coal. It could be explained not only by the price of biomass itself, but also by the costs of transportation, which depend on the distance to the place of fuel extraction. It is assumed that the distance from the producer or distributor of biomass to the consumer should not be larger than 30–35 km and in extreme situations not above 60 km (Lorenz and Grudziński 2009). Such distances are not too big considering that the annual demand for biomass for an 81 MW WP-70 boiler cofiring 20% of biomass is about 16–20 thousand tons, while an average forest area with the radius of 30 km produces annually about 8.5 thousand m<sup>3</sup> of fuel wood, or about 5–6 thousand tons of wood (Furtak 2004).

During the period until 2030, as a consequence of introduction of the EU climate policy in its current state and related

to that wider use of biomass and other renewable energy sources, there is expected growth in investments for the expansion of new production facilities by about 60 billion PLN. The average costs of electric energy production will also increase, which will directly result in an increase of household and enterprise expenses by 8–12 billion PLN annually. As a consequence, it could be expected that the total gross domestic product (GDP) in 2020 will be 7.5% lower compared to a hypothetical situation with no support for renewable energy sources. In 2030, the decrease could even reach 15% (EnergSys 2008). While Bukowski and Śniegocki (2011) estimate that in 2020, the GDP will be 1.1–1.7% lower compared to the scenario without ‘20–20–20’ targets, at the same time production in energy-intensive sectors will decrease by 1.9–4.4% and the unemployment rate will increase by 0.4–0.5%.

The ‘Report 2030’ prepared by EnergSys (2008) forecasts that by 2030, investments supporting renewable energy sources could increase by 58 billion PLN, and the price of electric energy by about 60%. According to another prognosis (Jurdziak 2012), the increase in wholesale energy price will be even higher and looking at the base scenario with no effect of allowance purchase, the price would grow by 100% until 2020 (from about 200 PLN/MWh to about 400 PLN/MWh). If the price of allowance purchase is considered, the energy price may reach about 580 PLN/MWh. In the case where power transmission and distribution costs are included, households will have to pay 600–800 PLN/MWh, which is 50 to 100% higher than in 2008. Assuming that a real household’s available income will grow by 30% until 2020 (with the growth rate of 3.3% per year), the share of expenses for energy appliances can increase from 10% in 2008 to 18.7%.

The above estimates concern only professional electric energy providers, since the comparison of energy costs from different sources indicates that using wood in individual heating systems is still a least expensive way of producing heat, especially when split firewood is used. The price of firewood with a moisture content of 20% is 230 PLN/m<sup>3</sup> and the price of electric energy is 21.9 PLN/GJ, while the price of heat produced by a boiler with 80% efficiency is 27.3 PLN/GJ. When pellets and briquettes are used (moisture content 10%), and sold at the price level of 700 PLN/m<sup>3</sup>, the prices of electricity and heat would be 41.2 PLN/GJ and 51.5 PLN/GJ. Those prices are significantly lower than the prices of energy produced from other sources. When fuel oil is used, the price reaches 90.29 PLN/GJ, coal — 29.64 PLN/GJ, liquefied gas — 114.07 PLN/GJ and electric energy — 121.11 PLN/GJ (Wach 2007).

Considering the advantages and disadvantages of wood use by large energy providers, it should be recognised, that with the unsatisfied demand for wood for industrial purposes, at least part of the wood that is being burned could be more

<sup>2</sup> External costs of electric energy production in Poland are the highest in the EU and reach 5.5–18 eurocents per 1 kWh (data from 2006). Incorporating those costs into the price of electric energy would result in its increase by 70–250%. Most significantly, they manifest in higher expenses on health protection, deteriorating infrastructure, higher costs of water purification and degradation of the natural environment (Graczyk 2010).

effectively utilised in the timber processing industry (higher total economic and social benefits). Czemko (2011) estimates that harvesting and processing of 10 thousand m<sup>3</sup> of large-size pine lumber wood with an average price of 202 PLN/m<sup>3</sup> (2010), would lead to the following economic consequences:

- From 10 thousand m<sup>3</sup> of wood (ecological renewable material) could be produced 117 thousand m<sup>2</sup> of floor surfaces and 1600 m<sup>3</sup> of yearly use industrial pellets.

- Total value of products produced from that timber would be 6.6 million PLN (328% of raw timber value), and an added value of 4.6 million PLN.

- Total employment during the processing of 10 thousand m<sup>3</sup> of wood would be on average 49 people.

- Value of residuals from timber processing would be about 0.37 million PLN; they could be used for the production of particle boards or as a source of energy corresponding in their energy value to 1800 tons of bituminous coal.

The European Panel Federation (EPF) estimates that processing one ton of dry wood in the paper industry on average takes 124 work-hours, the production of other wood products 54 work-hours, while the production of electric energy only 2 work-hours (EPF 2005). The added value of industrial timber processing equals 4176 PLN, and its combustion — 472 PLN (Czemko 2012).

According to EPF, the added value of wood products, even when the energy value at the end of the wood life cycle is not considered, is equal on average to 1044 euros per ton of dry raw material, while the value of timber used exclusively as fuel reaches 118 euros/ton.

One of the negative social and economic effects of the promotion of using wood for energy purposes is the shift of market equilibrium towards small- and medium-size timber and relocation of particle board production from Europe to ‘cheaper’ countries. For a dozen years, there was observed a shift of wood processing units to countries outside the EU (among others to Ukraine, Russia and also to China). If such a trend would continue, it could bring harmful effects on employment in the production of particle boards in EU countries and also weaken furniture production, which is easily affected by competition from cheap competitors outside Europe (EPF 2005). This problem could be especially stressful for furniture producers in Poland and national export (EU-Consult 2011).

## 5. Social aspects of forest biomass use for energy purposes

Labour market changes could be observed as a result of increased use of biomass in the production of energy. According to the EurObserv'ER report (a consortium monitoring the development of various sectors of renewable energies in the EU), in 2009 the solid biomass sector generated the

largest number of jobs among energy producing sectors (280 thousand in the whole EU). Its turnover reached 26 billion euros and beneficiaries included small- and medium-size enterprises, including forest and agricultural sectors (EurObserv'ER 2011). Zielińska (2011) gives an estimate according to which the increased share of energy from renewable sources of 20% could generate more than 600 thousand jobs, and in the case where average energy efficiency would be improved by EU countries by 20%, an additional 400 thousand jobs would be generated. Currently, the EU sector of ‘green technologies and services’ employs 3.5 million people.

Daly et al. (2011) note that an investment of 1 billion euro could allow the creation of 21.5 thousand jobs in renewable transport, 25.9 thousand in energy efficient modification of buildings, 29.0 thousand in nature protection (Natura 2000 areas) or 52.7 thousand jobs in renewable energy. In the EU budget plan for 2014–2020, the implementation of ‘green budget’ at the level of 14% of the total EU expenses (annual investments at the level of 14.7 billion euros according to current propositions of the European Commission) would allow the four sectors listed above to create more than half a million jobs. At present, investments within the framework of the common agricultural policy and cohesion policy, which cover about 78% of the actual budget (140 billion euros annually), generate a little above than two times more jobs. If such investments within those two policies could be replaced by investments in ‘green sectors’, the effect of job creation would grow more than threefold (320%).

The Institute for Sustainable Development (2009) evaluates that if the efficiency of renewable energy sources is secured, it would require the employment of at least 25 thousand people, and half of them should be of special qualification. Such an estimate does not consider the multiplier effect — additional jobs created in the non-traded sector (internal service and agriculture). The inclusion of the agricultural sector into the sector of renewable energy production through an energy-oriented management of about 0.5 million ha would allow employing another 44–70 people (with the average being 10–14 people/100 hectares).

Moskalik et al. (2012) estimate that in Poland, harvesting and processing of medium-size fuel wood employ about 2750 people, while another 1400 people could be employed for the production of small-size fuel wood. Additional jobs could be created for further timber processing such as the production of charcoal or fireplace wood. The authors also cite research results of Danielson and Hektor (1992) as well as Strindberg (1998) according to whom the utilisation of 100 thousand m<sup>3</sup> of logging waste (which includes collection, chipping, transportation, burning and administration) requires the engagement of 25 people per year. Forest harvesting using chainsaws and heavy equipment or just heavy

equipment generates respectively, 73 and 35 jobs annually per every 100 thousand m<sup>3</sup> of timber.

Effective management of forest resources should give a special priority to forest products with a higher added value, creation of new jobs and contribution to improved carbon dioxide balance. The waterfall model, according to which wood is first of all used for the production of such products that after secondary use and recycling are in the end utilised for energy production and neutralised, could fulfil such criteria; see COM (2013) 659 and Oesten (2012).

## 6. Technological aspects of forest biomass use for energy purposes

The most important technological issues related to using forest biomass for energy purposes include the evaluation of energy efficiency of technologies used and the estimation of CO<sub>2</sub> quantities released from fuels used in processes of biomass preparation. From the point of biomass harvesting, logistic problems as well as processes improving its energy value and density should be of first priority.

Forest biomass could be utilised in different forms such as split firewood, wood chips as well as in the compressed form such as pellets or briquettes. In combination with the degree of wood processing, the unit costs of the final product and energy used per unit of biomass start to grow, while due to higher energy density, the costs of transportation and storage decrease.

Processing of forest biomass is done by compressing it into briquettes or pellets. In the first case, the energy value is equal to 19–21 GJ/t; moisture content 6–8%, ash content 0.5–1% of dry weight. The advantage of pellets is in their very low ash content (0.3–1% of dry weight) as well as a high energy value of 16.5–19.5 MJ/kg. However, the pellet production process is very energy consuming, since the production of one ton of final product uses about 1.3 tons of air-dry chips. Assuming that one ton of wood has a heating value at the level of 8.4 GJ/Mg (W = 50%), and energy expenditure including losses of chemical energy accumulated in biomass amount to approximately 3.2 GJ/Mg of final product, more than 25% of energy used for the processed fuel production is lost (Drobnik 2007).

The large variety of technological processes used makes it difficult to precisely estimate energy inputs necessary for processing forest biomass. In the study of Kusiak and Czechowski (2009) conducted in the Puszcza Notecka forests, the total CO<sub>2</sub> emissions from technologies with a low level of mechanisation (chainsaw and tractor) were equal to 1.11 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> of timber harvesting and skidding. Workforce productivity of the four-person crew was equal to 4.8 m<sup>3</sup> per hour, and hourly CO<sub>2</sub> emission was 2.64 kg. With the use of forestry machinery

for harvesting and skidding, CO<sub>2</sub> emission was 2.22 kg per 1 m<sup>3</sup> of harvested timber, while carbon dioxide emission related to skidding was 1.49 kg. The total CO<sub>2</sub> emission of high mechanisation technology (harvester and forwarder) was 3.71 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>. The hourly fuel emission during harvesting was 19.41 kg, while fuel emission during skidding was 10.41 kg.

In the research of Gałęzia (2013), the total energy input for harvesting and transportation of chips to an electric energy facility was 109.72 MJ/m<sup>3</sup> (p), and CO<sub>2</sub> emission from harvesting and transportation of chips to an electric energy facility was 7.89 kg/m<sup>3</sup> (p). The total energy input necessary for harvesting, processing and transportation of tree branch bales to an electric energy facility was 313.56 MJ/m<sup>3</sup> (p), while CO<sub>2</sub> emission from those activities was 22.14 kg/m<sup>3</sup> (p).

Such results indicate that production of forest biomass either in the form of bales or chips is justifiable in terms of energy balance. Production of forest biomass in the form of chips is three times less energy consuming than production of bales. Combustion of energy chips in the boiler of an electric facility produces over 10 times more energy than the energy required for harvesting and transportation of biomass in the form of bales, while it is over 30 times higher than the energy required for harvesting and transportation of biomass in the form of chips (Gałęzia 2013).

In local electric facilities, the use of unprocessed biomass transported small distances up to 30 km away is more economically justifiable due to its costs and environmental effects (Piszczalka et al. 2007). Unprocessed biomass in the form of chips has low energy value depending on its moisture content (6–20 MJ/kg). It also has a low stowage factor (chips or bales), which indicates that the transportation of that material to longer distances is not justifiable due to high costs of transportation and its negative effect on the environment. Therefore, when biomass is transported long distances for co-combustion of biomass and coal in large electric power plants, such activity should be viewed with certain criticism. Such activities have a certain pretence in them, only in order to fulfil CO<sub>2</sub> emission norms (Jasiulewicz 2010).

It is estimated (Baum et al. 2012) that in Poland in the perspective to 2020 and further, production of energy from biomass would require collection, transportation, storage and additional transportation of up to 50 million tons of biomass annually. In order to avoid long-distance transportation of large biomass amounts, it is necessary to support the development of local biomass markets, balancing supply and demand as well as electronic logistics systems, which could minimise costs of harvesting, transportation and storage of biomass. An additional advantage of using biomass close to the place of its production is the possibility of using the existing heating infrastructure of small cities or the use of biomass in its raw state or after natural drying in local energy

production (Baum et al. 2012; Oesten 2012). Municipalities, which promote such solutions and invest in required equipment, could use their land potential (areas with low value management activities, fallow lands, degraded grasslands, etc.) for production of biomass, which would make them more energy self-sufficient (Baum et al. 2012).

In practice, energy could be produced from various annual and perennial plants as well as hay. Taking into account the climate conditions of Poland, the area theoretically available for growing willows and poplars is about 1.6 million hectares. Assuming that the average yield on less productive soils is about 10 dry tons annually, such an area could produce about 16 million dry tons per year. With the energy value of such a dry material being about 20 GJ/t, it would be possible to receive about 320 million GJ/year of energy, which corresponds to 36% of energy produced from burning bituminous coal (888 million GJ) and 62% of energy produced from brown coal (514 million GJ) (data for 2008; Jasiulewicz 2009).

Diversifying agricultural production, especially of plant origin, by the cultivation of plants used for food consumption and for energy purposes, could improve the income of the population working in the agricultural sector and bring new life to rural areas. It should also enhance natural environment and sustainable development of rural areas. The use of new technologies oriented to combined heating systems utilising waste biomass from agriculture, industry, municipal management and forestry in local power plants could be one of the most efficient solutions for heating energy producers as well as suppliers of energy resources (Jasiulewicz 2010).

The establishment of a local system of biomass utilisation (for electric and heating energy) is very energy efficient (70–90% efficiency). Moreover, it leads to the rise of employment in rural areas (creating new jobs) and more comprehensive use of land and cash flow within local communities. Such activities could bring a new momentum to the local economy.

## 7. Summary

The use of wood for energy production at the industrial scale is a new trend in the response of the economy to the global threat to the environment. Due to its large-scale use, such activities provoke many questions and oblige us to reflect upon the direction of changes occurring in our contemporary globalised world.

In the conditions of changing climate along with the growing demand for energy, the use of renewable energy sources including biomass coming from forests becomes indispensable. Utilisation of wood as a source of energy at the industrial scale is a very complex process having far-reaching environmental, social and economic consequences.

Benefits for climate change mitigation resulting from this process should not overshadow threats related to excessive exploitation of forest stands or ash utilisation. Biomass use for energy production purposes in a large degree positively affects and will affect the advance of agriculture and therefore should be considered as a vital element of agricultural policy. However, the wide use of forest wood biomass for the purposes of energy production could have negative consequences for the development of rural areas due to weakening various branches of the timber industry, which in different degrees contribute to economic development.

Due to the scale of wood biomass being used for energy production, the significance of wood is given a new meaning characterising forest economy as a sector supporting the implementation of climate policy. Climate change prevention policy still calls for careful consideration of all the gains and losses, so that its implementation would not conflict with the development of other wood utilisation methods and would not endanger timber, cellulose and paper industries.

## Conflict of interest

None declared.

## Acknowledgement and financial support

The current publication presents the results of research implemented within the framework of the project ‘Possibilities, natural, technological and economic conditions necessary for increased supply of wood for energy purposes’ financed by the National Science Center under the agreement number N N309 110940.

## References

- Bartoszewicz-Burczy H., Soliński J. 2013. Wykorzystanie biomasy leśnej w energetyce – stan i perspektywa do roku 2030 i dalej do 2080 roku. Narodowy Program Leśny, Panel Eksperatów „Klimat – Las i drewno a zmiany klimatyczne: zagrożenia i szanse”, 18 czerwca 2013 r., Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary.
- Baum R., Wajszczuk K., Wawrzynowicz J. 2012. Modelowe rozwiązanie logistyczne dla lokalnego rynku biomasy. *Logistyka* 4: 846–854.
- Bernasiński R. 2011. Energetyka – czy warto marnować drewno na produkcję energii? *plytameblowa.pl* <http://www.plytameblowa.pl/rozmowy/energetyka-czy-warto-marnowa%C4%87-drewno-na-produkcj%C4%99-energii-0> [12.03. 2012].
- Bird & Bird. 2011. Analiza skutków prawnych wprowadzenia zmian w mechanizmie wsparcia dla producentów energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych, w kontekście zachowania praw nabytych inwestorów korzystających ze wsparcia na do-

- tychczasowych zasadach. Opinia kancelarii Bird & Bird Maciej Gawroński sp.k., Warszawa, p. 88.
- Birler A. S. 1998. The opportunity of forest plantation investment and its expected impact to national economy in Turkey, in: Recycling, energy, and market interactions. Proceedings of UNECE TC Workshop, Istanbul, Turkey.
- Borecki T., Dawidziuk J. 2011. Ocena rozwoju, produktywności, struktury i przeznaczenia zasobów leśnych, in: Strategia rozwoju lasów i leśnictwa w Polsce do roku 2030. Zimowa Szkoła Leśna przy Instytucie Badawczym Leśnictwa. III Sesja. Sękocin Stary, 15–17 marca 2011 r. Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary, p. 121–136.
- Borecki T., Stepień E. 2013. Prognoza rozwoju i użytkowania zasobów leśnych do 2070 roku w warunkach zmian klimatycznych. Narodowy Program Leśny, Panel Ekspertów „Klimat – Las i drewno a zmiany klimatyczne: zagrożenia i szanse”, 18 czerwca 2013 r., Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary.
- Budzyński W., Bielski S. 2004. Surowce energetyczne pochodzenia rolniczego, cz. II. Biomasa jako paliwo stałe. *Acta Scientiarum Polonorum - Agricultura* 3(2): 15–26.
- Bukowski M., Śniegocki A. 2011. Mix energetyczny 2050. Analiza scenariuszy dla Polski. Raport opracowany na zlecenie Ministerstwa Gospodarki przez Instytut Badań Strukturalnych i demosEUROPA – Centrum Strategii Europejskiej, Warszawa.
- Czemko B. 2011. Gospodarcze i społeczne znaczenie drewna jako materiału. Konferencja „Pachnica dębowa (*Osmoderma eremita*), jako przykład gatunku parasolowego. Martwe drewno a bioróżnorodność biologiczna ekosystemów leśnych”. 27–28 kwietnia 2011 r., Puszczykowo.
- Czemko B. 2012. Rola biomasy leśnej w przemyśle drzewnym. Konferencja „Biomasa leśna. Produkcja – Dystrybucja – Konsumpcja”, Łągów, 5–6 czerwca 2012 r.
- Daly E., Pieterse M., Medhurst J. 2011. Evaluating the Potential for Green Jobs in the Next Multi-Annual Financial Framework. Final Report. London, GHK.
- Dawidziuk J., Neroj B. 2012. Stan aktualny oraz prognozy rozwoju użytkowania zasobów drzewnych w PGL Lasy Państwowe oraz w lasach prywatnych do 2040 r. Konferencja „Biomasa leśna. Produkcja – Dystrybucja – Konsumpcja”, Łągów, 5–6 czerwca 2012 r.
- Dixon R. K., Solomon A. M., Brown S., Houghton R. A., Trexler M. C., Wisniewski J. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* 263: 185–190.
- Drobnik P., 2007. Analiza wydatków energetycznych niezbędnych do wytworzenia biopaliw formowanych. II Krakowska Konferencja Młodych Uczonych, Kraków, p. 97–103.
- Dyrektiva 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. OJ L 140, 05.06.2009.
- EnergSys 2008. Raport 2030. Wpływ proponowanych regulacji unijnych w zakresie wprowadzenia europejskiej strategii rozwoju energetyki wolnej od emisji CO<sub>2</sub> na bezpieczeństwo energetyczne Polski, a w szczególności możliwości odbudowy mocy wytwórczych wykorzystujących paliwa kopalne oraz poziom cen energii elektrycznej. Badanie Systemowe. Warszawa, EnergSys.
- EPF 2005. Sustainable use of wood for products and energy: conflict or opportunity? (View of the European wood-based panel industry). European Panel Federation, Brussels. <http://www.europanel.org/> [25.11.2013].
- EU-Consult 2011. Analiza potencjału rozwoju sektora drzewno-meblarskiego w powiecie bytowskim. Gdańsk, EU-Consult.
- EurObserv'ER 2011. The state of renewable energies in Europe. *EurObserv'ER Report* 11: 1-248 [http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat\\_baro/barobilan/barobilan11.pdf](http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/barobilan/barobilan11.pdf) [25.04.2012].
- Frühwald A. 1998. Wood products at the end of their life: material recycling, energy generation, or landfill? Technical, economical, and ecological aspects, in: Recycling, energy, and market interactions. Proceedings of UNECE TC Workshop, Istanbul, Turkey.
- Furtak D. 2004. Czy pozyskiwanie energii z biomasy w dużych kotłach energetycznych ma szansę w Polsce? *Energetyka* 4(598): 235–240.
- Gałęzia T. 2013. Analiza efektywności wybranych metod pozyskiwania biomasy leśnej na cele energetyczne na przykładzie Puszczy Białowieskiej, in: Gołos P., Kaliszewski A. (eds.), Biomasa leśna na cele energetyczne, Sękocin Stary, Instytut Badawczy Leśnictwa, p. 127–137.
- Gołaszewski J., Szczukowski S., Stolarski M. 2013. Plantacje drzew i krzewów szybkoorosnących jako alternatywa biomasy z lasu czy nie wykorzystane i nowe źródła odnawialne oraz szansa dla „zielonej energii” – stan obecny, możliwości, bariery i perspektywa rozwoju. Narodowy Program Leśny, Panel Ekspertów „Klimat – Las i drewno a zmiany klimatyczne: zagrożenia i szanse”, 18 czerwca 2013 r., Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary.
- Gornowicz R., Pilarek Z. 2013. Wpływ pozyskania biomasy na wycofywanie pierwiastków biogenych ze środowiska leśnego, in: Gołos P., Kaliszewski A. (eds.), Biomasa leśna na cele energetyczne, Sękocin Stary, Instytut Badawczy Leśnictwa, p. 138–146.
- Gostomczyk W. 2010. Odnawialne źródła energii jako nowy element rozwoju społeczno-ekonomicznego regionu, in: Strzelecki Z. (ed.), Oblicza współczesnego kryzysu a polskie regiony, Warszawa, Ministerstwo Rozwoju Regionalnego.
- Graczyk A. 2010. Ekologiczne aspekty rozwoju energetyki odnawialnej. Prezentacja wygłoszona podczas panelu ekspertów pt. „Badania ankietowe wśród ekspertów oraz analiza ankiet i ich weryfikacja” w ramach projektu pt. „Strategia rozwoju energetyki na Dolnym Śląsku metodami foresightowymi. Politechnika Wrocławska, 11 czerwca 2010 r. <http://energia.pwr.wroc.pl/index.php?jez=pol&s=panel> [12.11.2013].
- GUS 2012. Leśnictwo 2012. Warszawa, Główny Urząd Statystyczny.
- Guzenda R., Świigoń J. 1997. Techniczne i ekologiczne aspekty energetycznego wykorzystania drewna i odpadów drzewnych. *Gospodarka Paliwami i Energią* 45, 1, 10–12.
- Informacja Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki (nr 15/2014) w sprawie średniej ceny sprzedaży energii elektrycznej na rynku konkurencyjnym za rok 2013. Warszawa, Urząd Regulacji Energetyki.
- Instytut na Rzecz Ekorozwoju 2009. Alternatywna polityka energetyczna Polski do 2030 roku. Raport dla osób podejmujących decyzje. Warszawa, Instytut na Rzecz Ekorozwoju.

- Jasiulewicz M. 2009. Znaczenie rolnictwa w rozwoju energetyki rozproszonej jako formy rozwoju zrównoważonego obszarów wiejskich, in: Komornicki T., Kulikowski R. (eds.), Miejsce obszarów wiejskich w zagospodarowaniu przestrzennym. *Studia Obszarów Wiejskich* 18: 157–169.
- Jasiulewicz M. 2010. Potencjał biomasy w Polsce. Koszalin, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, p. 169.
- Jurdiak L. 2012. Czy grozi nam ubóstwo? Analiza potencjalnych skutków unijnej polityki walki z globalnym ociepleniem dla gospodarstw domowych w Polsce. *Polityka Energetyczna* 15, 3: 23–50.
- Köhl M., 2013. Zielona gospodarka – nurt przyszłego rozwoju?, in: Planowanie w gospodarstwie leśnym XXI wieku. Zimowa Szkoła Leśna przy Instytucie Badawczym Leśnictwa, V Sesja, Sękocin Stary, 19–21 marca 2013 r. p. 69–73.
- COM (2013) 659. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Nowa strategia leśna UE na rzecz lasów i sektora leśno-drzewnego. COM(2013) 659 final z dn. 20.09.2013 r.
- Kowalkowski A., Olejarski I. 2013. Możliwości wykorzystania popiołów z biomasy leśnej jako źródła elementów odżywczych, in: Gołos P., Kaliszewski A. (eds.), Biomasa leśna na cele energetyczne, Sękocin Stary, Instytut Badawczy Leśnictwa, p. 147–176.
- Kusiak W., Czechowski M. 2009. Ocena wydajności obciążenia środowiska emisją dwutlenku węgla przy maszynowym pozyskaniu i zrywce drewna. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 543: 181–194.
- Lis W. 2013. Akceptowalna przez przemysł drzewny zmiana struktury podaży oraz cen drewna – wpływ wzrostu udziału biomasy drzewnej na cele energetyczne, in: Gołos P., Kaliszewski A. (eds.), Biomasa leśna na cele energetyczne, Sękocin Stary, Instytut Badawczy Leśnictwa, p. 84–106.
- Lorenz U., Grudziński Z. 2009. Współspalanie węgla i biomasy w energetyce – ceny koszty na przykładzie węgla brunatnego. *Rocznik Ochrona Środowiska* 11: 1245–1256.
- Mantau U. (eds.) 2010. EUwood – Real potential for changes in growth and use of EU forests. Final report. Hamburg, Germany, p. 160.
- MCPFE 2011. State of Europe's Forests 2011. Status and Trends in Sustainable Forest Management in Europe. Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe (Forest Europe), Oslo, Liaison Unit, p. 337.
- Moskalik T., Nowacka W., Sadowski J., Zastocki D. 2012. Rynek drewna energetycznego w Polsce jako element rozwoju regionalnego. *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej w Rogowie* 14, 32/3: 222–230.
- Oosten G. 2012. Przesłanki, dynamika i efekty wykorzystania drewna na cele energetyczne w Niemczech, in: Przyrodnicze i gospodarcze aspekty produkcji oraz wykorzystania drewna – stan obecny i prognoza. Zimowa Szkoła Leśna przy Instytucie Badawczym Leśnictwa, IV Sesja, Sękocin Stary, 20–22 marca 2012 r. p. 251–256.
- Piszczalka J., Korenko M., Rutkowski K. 2007. Ocena energetyczno-ekonomiczna ogrzewania dendromasą. *Inżynieria Rolnicza* 6(94): 189–196.
- Polityka energetyczna Polski do 2030 roku. 2009. Dokument przyjęty przez Radę Ministrów w dniu 10 listopada 2009 roku. Warszawa, Ministerstwo Gospodarki.
- Ratajczak E., Bidzińska G. 2013. Rynek biomasy drzewnej na cele energetyczne – aspekty ekonomiczne i społeczne, in: Gołos P., Kaliszewski A. (eds.), Biomasa leśna na cele energetyczne, Sękocin Stary, Instytut Badawczy Leśnictwa, p. 59–76.
- Rykowski K. 2012. Czynniki środowiska przyrodniczego determinujące produkcję drewna. Zimowa Szkoła Leśna przy Instytucie Badawczym Leśnictwa. IV Sesja. Sękocin Stary, 20–22 marca 2012 r. Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary, p. 47–63.
- Sadowski K. 2013. Problematyka użytkowania biomasy leśnej na przykładzie rozwiązań w Elektrociepłowni Białystok S.A., in: Gołos P., Kaliszewski A. (eds.), Biomasa leśna na cele energetyczne, Sękocin Stary, Instytut Badawczy Leśnictwa, p. 225–245.
- Streck C., O'Sullivan R., Janson-Smith T., Tarasofsky R. (eds.) 2010. Climate change and forests. Emerging policy and market opportunities. London, Chatham House.
- Uslu A., Bole T., Londo M., Pelkmans M., Berndes G., Prieler S., Fischer G., Cabal H. C. 2010. Reconciling biofuels, sustainability and commodities demand. Pitfalls and policy options. Energy Research Centre of the Netherlands, Petten, p. 37.
- Wach E., 2007. Ekonomiczne aspekty wytwarzania ciepła i energii elektrycznej z biomasy. Bałtycka Agencja Poszanowania. Energii S.A., Poznań 2007, [http://www.czystaenergia.pl/pdf/poleko2007\\_34.pdf](http://www.czystaenergia.pl/pdf/poleko2007_34.pdf) [25.11.2013].
- Zajczkowski S. 2013. Prognozy pozyskania drewna w Polsce w perspektywie 20 lat oraz możliwości ich wykorzystania do szacowania zasobów drewna na cele energetyczne, in: Gołos P., Kaliszewski A. (eds.), Biomasa leśna na cele energetyczne, Sękocin Stary, Instytut Badawczy Leśnictwa, p. 21–31.
- Zielińska M. 2011. Rola energii odnawialnej w zrównoważonym rozwoju obszarów wiejskich – przegląd unijnych strategii. S.71. Ekspertyza. [http://ksow.pl/fileadmin/user\\_upload/ksow.pl/pliki/ANALIZY\\_ekspertyzy/Energia\\_odnawialna\\_i\\_jej\\_znaczenie\\_dla\\_rozwoju\\_obszar%C3%B3w\\_wiejskich.pdf](http://ksow.pl/fileadmin/user_upload/ksow.pl/pliki/ANALIZY_ekspertyzy/Energia_odnawialna_i_jej_znaczenie_dla_rozwoju_obszar%C3%B3w_wiejskich.pdf) [19.08.2013].

## Authors' contribution

PG – study conception and design, project leader, acquisition of data and literature, analysis and interpretation of data, drafting of manuscript; AK – additional literature and data acquisition, critical revision of the manuscript, manuscript proof-reading.