

Rafał Pudełko

OCENA POTENCJAŁÓW BIOMASY
UBOCZNEJ I ODPADOWEJ
W UE-27 I SZWAJCARII
ORAZ ICH REGIONALIZACJA

Rozprawa habilitacyjna

MONOGRAFIE
I ROZPRAWY
NAUKOWE

39

INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY
INSTITUTE OF SOIL SCIENCE AND PLANT CULTIVATION
STATE RESEARCH INSTITUTE

Dyrektor: *prof. dr hab. Wiesław Oleszek*

Redaktor: *prof. dr hab. Janusz Podleśny*

Recenzent: *prof. dr hab. Stefan Szczukowski*

Opracowanie redakcyjne i techniczne: *mgr Katarzyna Mikulska*

Ocenę potencjałów biomasy ubocznej i odpadowej w UE-27 i Szwajcarii oraz ich regionalizację wykonano na potrzeby realizacji projektu badawczo-rozwojowego BioBoost: „Biomass based energy intermediates boosting biofuel production” (kontrakt nr 282873), finansowanego z funduszy 7 Programu Ramowego Komisji Europejskiej

ISBN 978-83-7562-135-8

Nakład 150 egz., B-5, zam. 42/E/13
Dział Upowszechniania i Wydawnictw IUNG-PIB w Puławach
tel. (81) 8863421 w. 301 i 307; fax (81) 8863421 w. 302
e-mail: duw@pulawy.pl; <http://www.iung.pulawy.pl>

MONOGRAFIE I ROZPRAWY NAUKOWE

Rafał Pudełko

OCENA POTENCJAŁÓW BIOMASY UBOCZNEJ I ODPADOWEJ
W UE-27 I SZWAJCarii ORAZ ICH REGIONALIZACJA

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP I CEL BADAŃ	7
2. POLITYKA ENERGETYCZNA UNII EUROPEJSKIEJ	10
2.1. POLITYKA ENERGETYCZNA POLSKI DO 2030 R.	14
2.2. KRAJOWY PLAN DZIAŁANIA.....	15
2.3. PROJEKT USTAWY O OZE	18
3. PRZEGLĄD ISTNIEJĄCYCH OSZACOWAŃ POTENCJAŁÓW BIOMASY NA CELE ENERGETYCZNE	18
4. ANALIZY PRZESTRZENNE POTENCJAŁÓW BIOMASY W EUROPIE	33
4.1. BIOMASA UBOCZNA Z ROLNICTWA	36
4.1.1. Biomasa uboczna z produkcji zwierzęcej.....	37
4.1.2. Słoma	48
4.1.3. Siano z trwałych użytków zielonych.....	57
4.1.4. Pozostałości z upraw sadowniczych.....	62
4.2. BIOMASA ODPADOWA Z GOSPODARKI LEŚNEJ.....	66
4.3. BIOMASA Z KONSERWACJI PRZYRODY.....	71
4.3.1. Zieleń miejska.....	71
4.3.2. Zieleń przy ciągach komunikacyjnych.....	75
4.4. ODPADY KOMUNALNE I PRZEMYSŁOWE	80
4.4.1. Biodegradowalne odpady komunalne	80
4.4.2. Organiczne odpady przemysłu spożywczego.....	84
4.4.3. Odpady przemysłu drzewnego	88
4.5. PODSUMOWANIE SZACUNKÓW POTENCJAŁU TECHNICZNEGO BIOMASY ODPADOWEJ	92
5. ANALIZA SKUPIEŃ ZASOBÓW BIOMASY UBOCZNEJ I ODPADOWEJ	102
6. ANALIZA RYZYKA, NIEPEWNOŚCI I LOKALIZACJI.....	121
6.1. ANALIZA RYZYKA.....	121
6.2. ANALIZA NIEPEWNOŚCI.....	125
6.3. ANALIZA LOKALIZACJI	128
7. DYSKUSJA.....	130

8. PODSUMOWANIE I WNIOSKI.....	140
9. LITERATURA	142
STRESZCZENIE/SUMMARY	152

1. WSTĘP I CEL BADAŃ

Energetyczne wykorzystanie biomasy wiąże się z polityką proekologiczną, która ma prowadzić do redukcji emisji gazów cieplarnianych, a przez to do ograniczenia niekorzystnych zmian klimatycznych (dyrektywa 2009/28/WE). Spalanie biomasy lub prowadzenie innych procesów jej przetwarzania do biopłynów lub biopaliw jest uważane za korzystniejsze niż spalanie paliw kopalnych, głównie dlatego, że dwutlenek węgla emitowany przy spalaniu biomasy został uprzednio zasymilowany przez rośliny z atmosfery w procesie fotosyntezy. Z tego powodu energetyczne wykorzystanie wszelkiego rodzaju biomasy oraz odpadów biodegradowalnych zostało wpisane w założenia polityki energetycznej Unii Europejskiej. O wdrożeniu wykorzystania biomasy w przemyśle energetycznym mówią następujące liczby (dane dla 2010 r. na podstawie raportu AEBIOM 2012):

- ogólny udział energii pochodzącej z biomasy wyniósł 8,16%;
- zużycie energii odnawialnej brutto w UE-27 było na poziomie 152 Mtoe (mln ton oleju ekwiwalentnego; ang. *tonne of oil equivalent*), z czego 118 Mtoe to energia z biomasy;
- 12,9% zapotrzebowania na ciepło jest pokrywane ze spalania biomasy, przy czym energia z biomasy stanowi 93% energii odnawialnej wykorzystywanej do produkcji ciepła;
- 16,8% energii elektrycznej uzyskiwane jest z zasobów odnawialnych, a energia elektryczna z kogeneracji stanowi 63,6% ogólnej energii uzyskiwanej z biomasy stałej;
- 13,2 Mtoe biopaliw jest wykorzystywane w sektorze transportowym (biopaliwa mają udział 78% w energii odnawialnej wykorzystywanej w transporcie);
- produkcja peletów z drewna wzrosła w Unii Europejskiej w latach 2008–2010 o 20,5%, osiągając poziom 9,2 Mt.

W tym kontekście biomasa pochodząca z odpadów poprodukcyjnych, konserwacji przyrody i odpadów komunalnych ma szczególne znaczenie, ponieważ jest dostępna bez konieczności angażowania dodatkowych środków na jej produkcję. W większości przypadków biomasa ta w dotychczasowych cyklach jej życia jest celowo utylizowana, co wymaga dodatkowego nakładu energetycznego (EEA 2002, 2006, 2007a, 2007b i 2007c). Dotyczy to głównie odpadów komunalnych i przemysłowych, biomasy z konserwacji przyrody, jak też w niektórych przypadkach odpadów z produkcji roślinnej. Biomasa odpadową najracjonalniej byłoby utylizować w „małej” energetyce wykorzystującej lokalne jej zasoby. W jednym cyklu produkcyjnym odpady można by pozyskiwać z najbliższego otoczenia zakładu i przetwarzać na „zieloną energię” (Voivontas i in. 2001, Edwards i in. 2005). Ze względu na założenie regionalizacji w obrocie biomasą analizy przedstawione w pracy wykonano dla podstawowych jednostek terytorialnych, dla których istnieje możliwość uzyskania danych statystycznych (Eurostat). Dodatkowo wielkość tych jednostek

i ich powiązanie z narodowymi podziałami administracyjnymi pozwala na przyjęcie założenia, że szacowane potencjały będą miały odniesienie do zwartych i jednorodnych regionów gospodarczo-politycznych oraz że dobrze będą się wpisywać w ogólne, krajowe i regionalne strategie rozwoju energetyki i wykorzystania odnawialnych źródeł energii (OZE).

Produkcja biomasy na terenach rolniczych jest konkurencyjna w stosunku do produkcji żywności. Rodzi to dylematy natury ekonomicznej, ale również moralnej. Dlatego też w ostatnich latach coraz większą uwagę przywiązuje się do rozpoznania źródeł biomasy ubocznej z produkcji rolniczej, ale też odpadów z gospodarki leśnej, przemysłu spożywczego i drzewnego czy też biomasy będącej biodegradowalnym odpadem komunalnym. Biomasa pochodzenia rolniczego teoretycznie stanowi największy potencjał dla energetyki odnawialnej (Ericsson i Nilsson 2006, RENEW 2008). Najchętniej w obrębie tego rodzaju biomasy wykorzystywana jest słoma (Scarlat i in. 2010). Należy jednak pamiętać, że część zasobów słomy jest wykorzystywana w rolnictwie, głównie na potrzeby wzbogacenia gleby w węgiel oraz jako pasza i ściółka w chowie zwierząt (Kuś i in. 2006, Kuś 2012). Niekiedy do celów energetycznych wykorzystywane są nadwyżki obornika i gnojowicy. Jednak z punktu widzenia założeń zrównoważonego rolnictwa, pozostałości z produkcji zwierzęcej stanowią wartościowy nawóz, który powinien być efektywnie i celowo stosowany w produkcji roślinnej (Igras 2012). Do mniej popularnych zasobów biomasy pochodzenia rolniczego, ale liczących się w potencjalnym wykorzystaniu na cele energetyczne, należą nadwyżki siana i odpady z pielęgnacji upraw wieloletnich. Wszystkie wymienione rodzaje biomasy zostały oszacowane jako zasoby produktów ubocznych, które są technicznie dostępne do ich wykorzystania na cele energetyczne, bez powodowania strat w produkcji żywności (Elbersen i in. 2012). Biomasa uzyskiwana z upraw roślin energetycznych prowadzonych na plantacjach wieloletnich oczywiście nie może być traktowana jako odpad z rolnictwa. W tym przypadku, ze względu na różne cele produkcji prowadzonej na obszarach wiejskich, plantacje te stanowią raczej konkurencję dla produkcji żywności niż uboczną produkcję rolniczą (Pudełko i in. 2012, Faber i in. 2012). Z tego powodu ten rodzaj biomasy wyłączono z prowadzonych analiz. Kolejnym ważnym źródłem biomasy stałej o charakterze ligninocelulozowym jest biomasa leśna. W niniejszej pracy przedstawiono szacunki możliwości pozyskiwania odpadów z gospodarki leśnej, głównie pozostałości porębowych (RENEW 2008, Mantau i in. 2010, Steierer 2010). Popyt na biomasę powoduje, że każda możliwość jej uzyskania staje się atrakcyjna. Z tego względu w przeprowadzonych analizach uwzględniono również zasoby o małym i rozproszonym potencjale. Należą do nich odpady z pielęgnacji zieleni miejskiej oraz biomasa usuwana z poboczy szlaków komunikacyjnych. Wyżej scharakteryzowane rodzaje zasobów mają charakter typowo przestrzenny. Ich źródła pokrywają się z rolniczą przestrzenią produkcyjną, kompleksami leśnymi i pozostałymi terenami otwartymi.

Odrębną grupę źródeł biomasy energetycznej stanowią biodegradowalne odpady komunalne oraz odpady przemysłu spożywczego i drzewnego. Grupa ta charaktery-

zuje się większą zwartością przestrzenną, a źródła odpadów biomasy mają charakter punktowy (wysypiska, przykładowe składowiska odpadów).

Głównym celem niniejszego opracowania jest ocena potencjału technicznego biomasy ubocznej i odpadowej pochodzącej z produkcji rolniczej, gospodarki leśnej, konserwacji przyrody oraz gospodarki komunalnej i wybranych gałęzi przemysłu (spożywczego i drzewnego). Przez „potencjał techniczny” rozumie się te zasoby biomasy, które bezpośrednio mogą być wykorzystane do produkcji energii (Hoogwijk i in. 2005, RENEW 2008, Elbersen i in. 2012). W szacunkach wszystkich potencjałów biomasy uwzględniono jedynie jej nadwyżki wykorzystywane w rolnictwie (słoma, siano oraz pozostałości z produkcji zwierzęcej), określone w pracy jako biomasa uboczna oraz odpady pozostające po produkcji (rolniczej lub przemysłowej), odpady z konserwacji przyrody i biodegradowalne odpady komunalne. W modelowaniu nie uwzględniono biomasy produkowanej bezpośrednio na cele energetyczne (np. wieloletnie uprawy energetyczne), biomasy będącej składową cykli produkcyjnych (np. części zasobów słomy i nawozów naturalnych), biomasy odpadowej mającej istotne znaczenie (jako produkt uboczny) w przemyśle przetwórczym (np. wywaru gorzelnianego) oraz pozostałych odpadów biomasy, dla których brak jest statystyk pozwalających na ich modelowanie w przyjętej skali (np. odpady z produkcji piwa, mąki itp.).

Analizy przestrzenne wykonano dla 27 krajów Unii Europejskiej i Szwajcarii. Szacunki przeprowadzono dla jednostek terytorialnych poziomu trzeciego (NUTS-3, Nomenclature of Territorial Units for Statistics) wyróżnionych do celów statystycznych przez Europejski Urząd Statystyczny (Eurostat, NUTS 2003 i 2011). Szwajcarię włączono do analiz głównie w celu zachowania spójności geograficznej opracowania. Dzięki dostępności danych statystycznych i przestrzennych możliwe było zastosowanie dla tego kraju identycznej metodyki w analizach potencjałów biomasy jak w przypadku krajów UE (Bossard i in. 2000, FSO 2012).

W pracy nie modelowano konkurencyjności wykorzystania potencjału technicznego nadwyżek i odpadów biomasy przeznaczonych do produkcji energii z innym ich wykorzystaniem, kosztów pozyskania tej biomasy oraz jej konwersji na energię (potencjał ekonomiczny).

Tematyka podjęta w pracy ma duże znaczenie ze względu na politykę energetyczną Unii Europejskiej. Obecnie planowana jest nowelizacja dyrektywy 2009/28/WE, która wyznacza główne założenia stosowania biomasy w produkcji energii. Nowelizacja, postulowana w europejskim programie ramowym Horyzont 2020, ma na celu zwiększenie udziału biomasy z odpadów i nadwyżek zwłaszcza w produkcji biopaliw i biopłynów wykorzystywanych w transporcie. Z tego względu presja na zagospodarowywanie biomasy pochodzącej z odpadów może w najbliższych latach wzrosnąć. Odpowiedzią na to zapotrzebowanie jest promocja rozwoju nowych technologii przetwarzania biomasy ubocznej i odpadowej na nośniki energii. Wyrazem tego jest także projekt BioBoost (2011), finansowany w ramach 7 Programu Ramowego (7FP).

2. POLITYKA ENERGETYCZNA UNII EUROPEJSKIEJ

Znaczącym aktem prawnym, który miał przeciwdziałać obserwowanym zmianom klimatu w skali globalnej był Protokół z Kioto wynegocjowany na konferencji w grudniu 1997 r. Został przyjęty jako akt wykonawczy Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu (United Nations Framework Convention on Climate Change). W Polsce dokument ten został ratyfikowany 16 lutego 2005 r. (Dz.U.05.203.1684). Protokół jest wyrazem polityki większości krajów europejskich dążących do globalnego ograniczenia emisji gazów cieplarnianych. Z tego względu kraje unijne podjęły rozszerzone zobowiązania na rzecz działań mitygacyjnych, głównie w sterowaniu polityką energetyczną. Pierwsza ogólna regulacja unijna dotycząca energii ze źródeł odnawialnych ukazała się w roku 1997, była to Biała Księga Komisji Europejskiej, Energia dla przyszłości – odnawialne źródła energii (EC 1997).

W Unii Europejskiej rozwój sektora energetycznego wykorzystującego biomasę jest zdeterminowany przez strategiczne dokumenty legislacyjne odnoszące się do wspólnej polityki energetycznej. Dokumenty te zakładają głównie potrzebę redukcji emisji gazów cieplarnianych i minimalny negatywny wpływ pozyskiwania biomasy na środowisko. W styczniu 2007 r. Komisja Europejska przedstawiła pakiet klimatyczno-energetyczny, który został przyjęty przez UE w grudniu 2008 r. W ramach zobowiązań ekologicznych Unia Europejska wyznaczyła na 2020 r. cele ilościowe, popularnie nazwane 3 x 20%, które oznaczają zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych o 20% w stosunku do roku 1990, zmniejszenie zużycia energii o 20% w porównaniu z prognozami dla UE na 2020 r. oraz zwiększenie udziału odnawialnych źródeł energii do 20% całkowitego zużycia, w tym zwiększenie wykorzystania odnawialnych źródeł energii w transporcie do 10%.

Podstawowym aktem legislacyjnym definiującym biomasę energetyczną oraz metody jej pozyskiwania i wykorzystywania jest Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z 24 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych. Dyrektywa ta zakłada kontrolę zużycia energii pozyskiwanej ze źródeł konwencjonalnych i zwiększone stosowanie energii odnawialnej. Dodatkowo podjęte zobowiązania mają na celu zwiększenie bezpieczeństwa w dostawach energii, wspieranie rozwoju techniki i innowacji, jak również tworzenie nowych miejsc pracy. Dotyczy to zwłaszcza obszarów wiejskich, bezpośrednio związanych z produkcją biomasy pochodzenia rolniczego i leśnego.

Dyrektywa 2009/28/WE, zwana dalej RED (Renewable Energy Directive), w artykule 2 definiuje podstawowe pojęcia z zakresu energetyki odnawialnej. Poniżej przytoczono najważniejsze definicje terminów stosowanych w niniejszej pracy:

- energia ze źródeł odnawialnych – energia z odnawialnych źródeł niekopalnych: energia wiatru, promieniowania słonecznego, aerothermalna, geothermalna i hydrothermalna oraz energia oceanów, hydroenergia, energia pozyskiwana z biomasy, gazu pochodzącego z wysypisk śmieci, oczyszczalni ścieków i ze źródeł biologicznych (biogaz);

- biomasa – ulegająca biodegradacji część produktów, odpadów lub pozostałości pochodzenia biologicznego z rolnictwa (łącznie z substancjami roślinnymi i zwierzęcymi), leśnictwa i związanych działów przemysłu, w tym rybołówstwa i akwakultury, a także ulegająca biodegradacji część odpadów przemysłowych i miejskich;
- końcowe zużycie energii brutto – towary energetyczne dostarczane do celów energetycznych przemysłowi, sektorowi transportowemu, gospodarstwom domowym, sektorowi usługowemu, w tym świadczącemu usługi publiczne, rolnictwu, leśnictwu i rybołówstwu, łącznie ze zużyciem energii elektrycznej i ciepła przez przemysł energetyczny na wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła oraz łącznie ze stratami energii elektrycznej i ciepła podczas dystrybucji i przesyłania;
- biopłyny – ciekłe paliwa do celów energetycznych, innych niż dla transportu, w tym do wytwarzania energii elektrycznej oraz energii ciepła i chłodu, produkowane z biomasy;
- biopaliwa – ciekłe lub gazowe paliwa dla transportu, produkowane z biomasy;
- gwarancja pochodzenia – elektroniczny dokument, który służy wyłącznie jako dowód dla odbiorcy końcowego, że dana część lub ilość energii została wyprodukowana ze źródeł odnawialnych zgodnie z wymogami art. 3 ust. 6, dyrektywy 2003/54/WE;
- system wsparcia – oznacza każdy instrument, system lub mechanizm stosowany przez państwo członkowskie lub grupę państw członkowskich, który promuje wykorzystanie energii ze źródeł odnawialnych, dzięki zmniejszeniu jej kosztów, zwiększeniu ceny, za którą można ją sprzedać, nałożeniu obowiązku stosowania energii odnawialnej itp. Systemy wsparcia obejmują także pomoc inwestycyjną, zwolnienia z podatków lub ulgi podatkowe, zwrot podatków, nałożenie obowiązku wykorzystywania energii ze źródeł odnawialnych, w tym również systemy posługujące się zielonymi certyfikatami oraz systemy bezpośredniego wsparcia cen (gwarantowane ceny zakupu, premie opcyjne itp.);
- obowiązek stosowania energii odnawialnej – krajowy system wsparcia zobowiązujący: producentów energii do wytwarzania jej części ze źródeł odnawialnych, dostawców energii do pokrywania części swoich dostaw energią ze źródeł odnawialnych lub użytkowników energii do pokrywania części swojego zapotrzebowania energią ze źródeł odnawialnych. Pojęcie to obejmuje systemy, w których wymogi te można spełnić, stosując zielone certyfikaty.

Dyrektywa RED zobowiązuje kraje członkowskie do podjęcia działań mających na celu osiągnięcie 20% udziału energii odnawialnej w zużyciu energii brutto w 2020 r. Wartość ta ma odpowiadać co najmniej krajowemu celowi ogólnemu (artykuł 3). Aby osiągnąć wyżej założone cele, państwa powinny opracować system wsparcia dla wykorzystywania energii odnawialnej i redukcji użycia energii konwencjonalnej. Krajowe cele ogólne powinny zostać osiągnięte przez współpracę między poszczególnymi państwami członkowskimi oraz państwami trzecimi. Dodatkowo każde z państw członkowskich powinno zapewnić do 2020 r. osiągnięcie

10% udziału energii ze źródeł odnawialnych we wszystkich rodzajach transportu. Dyrektywa RED zobowiązuje państwa członkowskie do przyjęcia „Krajowego planu działania”, który „...określa dla danego państwa członkowskiego krajowe cele w zakresie udziału energii ze źródeł odnawialnych w sektorze transportowym, sektorze energii elektrycznej, sektorze ogrzewnictwa i chłodzenia do 2020 r., uwzględniając wpływ innych środków polityki efektywności energetycznej na końcowe zużycie energii oraz odpowiednie środki, które należy podjąć dla osiągnięcia krajowych celów ogólnych, w tym współpracę między organami władzy lokalnej, regionalnej i krajowej, zaplanowane transfery statystyczne lub wspólne projekty, krajowe strategie ukierunkowane na rozwój istniejących zasobów biomasy i zmobilizowanie nowych zasobów biomasy do różnych zastosowań” (artykuł 4).

Z punktu widzenia możliwości zakwalifikowania energii pozyskanej z biomasy jako energii odnawialnej najważniejsze jest spełnienie kryteriów zrównoważonego rozwoju w odniesieniu do sposobu jej produkcji czy pozyskiwania, które definiuje artykuł 17 dyrektywy RED. W produkcji biopaliw i biopłynów z biomasy pochodzenia rolniczego najważniejsze z nich to:

- ust. 2: ograniczenie emisji gazów cieplarnianych dzięki wykorzystaniu biopaliw i biopłynów wynosi co najmniej 35%; a począwszy od dnia 1 stycznia 2017 r. ograniczenie emisji gazów cieplarnianych wynikających z wykorzystania biopaliw i biopłynów wynosi co najmniej 50%; od dnia 1 stycznia 2018 r. ograniczenie emisji gazów cieplarnianych wynosi co najmniej 60% dla biopaliw i biopłynów wytworzonych w instalacjach, które rozpoczęły produkcję w dniu 1 stycznia 2017 r. lub później;
- ust. 3: biopaliwa i biopłyny nie pochodzą z surowców uzyskanych z terenów o wysokiej wartości bioróżnorodności, czyli terenów, które w styczniu 2008 r. lub później posiadały taki status, niezależnie od tego, czy posiadają go nadal.

Zapisy zawarte w ustępie 3, artykułu 17 są kluczowe w modelowaniu baz surowcowych biomasy pochodzącej z produkcji dedykowanej biopaliwom lub biopłynom. Intencją prawodawcy jest ochrona obszarów cennych środowiskowo, które mogłyby ulec przeobrażeniu w procesie zmian użytkowania gruntów lub wprowadzania nowych upraw. Na mocy zapisów dyrektywy wyklucza się z pozyskiwania biomasy następujące rodzaje obszarów: lasy pierwotne (lub inne o niezaburzonych procesach ekologicznych), obszary chronione, obszary trawiaste o wysokiej bioróżnorodności, tereny zasobne w węgiel organiczny, takie jak: tereny podmokłe lub obszary stale zalesione, torfowiska. Ponadto surowce pochodzenia rolniczego wykorzystywane w UE do produkcji biopaliw i biopłynów muszą być uzyskiwane zgodnie z wymogami i normami określonymi w przepisach, o których mowa w pozycji „Środowisko naturalne” w części A w pkt. 9 załącznika II do Rozporządzenia Rady 73/2009/WE z dnia 19 stycznia 2009 r. Dokument ten ustanawia wspólne zasady dla systemów wsparcia bezpośredniego dla rolników w ramach wspólnej polityki rolnej oraz określa systemy wsparcia bezpośredniego dla rolników zgodne z minimalnymi wymogami dotyczącymi zasad dobrej kultury rolnej.

Oprócz nałożenia zobowiązań na kraje członkowskie oraz zdefiniowania obszarów dostępnych dla produkcji biomasy na cele energetyczne Komisja Europejska definiuje sposoby obliczania wpływu biopaliw na emisję gazów cieplarnianych (art. 19 dyrektywy RED). Współczynniki oraz algorytmy zawarto w załącznikach do tej dyrektywy. Tematy załączników istotnych z punktu widzenia niniejszej pracy zawiera poniższa lista:

- krajowe cele ogólne w zakresie udziału energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto w 2020 r. (RED, załącznik 1),
- wartość energetyczna w paliwach transportowych (RED, załącznik 3),
- zasady obliczania wpływu biopaliw, biopłynów i ich odpowiedników kopalnych na emisję gazów cieplarnianych (RED, załącznik 5).

Głównym celem dyrektywy RED było kompleksowe promowanie stosowania energii ze źródeł odnawialnych, dlatego część jej zapisów musiała być dodatkowo dopracowana. Z tego powodu Komisja Europejska wydała w czerwcu 2010 r. kilka komunikatów i decyzji, które zwiększyły precyzję zapisów, głównie postępowań i metodyk ocen stopnia zrównoważenia produkcji zdefiniowanych w tej dyrektywie:

- komunikat o dobrowolnych programach i wartościach standardowych dla programów zrównoważonej produkcji biopaliw i biopłynów w UE (COM, 2010/C 160/01);
- komunikat o praktycznym wprowadzeniu w życie programów zrównoważenia dla biopaliw i biopłynów produkowanych w UE oraz zasad obliczeń dla biopaliw (COM, 2010/C 160/02);
- decyzja komisji o sposobach szacowania zasobności gleby w węgiel na potrzeby aneksu V dyrektywy 2009/28/EC (OJ L151, 2010);
- raport Komisji na temat wymagań zrównoważenia w wykorzystywaniu biomasy stałej i gazowej w produkcji energii elektrycznej, ciepłej i chłodu (EC, 2010).

Polska jeszcze przed ogłoszeniem dyrektywy RED włączyła do prawodawstwa krajowego szereg ustaw związanych z odnawialnymi źródłami energii. Do ważniejszych aktów prawnych należą: wieloletni program promocji biopaliw lub innych paliw odnawialnych na lata 2008–2014 oraz prawo energetyczne (Dz. U. poz. 1059, 2012).

Wieloletni program promocji biopaliw lub innych paliw odnawialnych na lata 2008–2014 realizuje art. 37 ustawy z dnia 25 sierpnia 2006 r. o biokomponentach i biopaliwach ciekłych (Dz. U. nr 169, poz. 1199, 2006). Program ten był odpowiedzią Polski na dyrektywy 2003/30/WE z dnia 8 maja 2003 r. w sprawie wspierania użycia w transporcie biopaliw lub innych paliw odnawialnych w ilości 5,75% udziału biokomponentów w rynku paliw transportowych w 2010 r. oraz 10% udziału w 2020 r. (zgodnie z ustaleniami posiedzenia Rady Europejskiej w dniach 8–9 marca 2007 r.). Od roku 2012 założenia tego planu są już nieaktualne.

Nowelizacja ustawy „Prawo energetyczne” przewiduje wsparcie dla koncesjonowanych wytwórców energii z zasobów odnawialnych. W ustawie zapisano obo-

wiązek przedstawienia do umorzenia Prezesowi Urzędu Regulacji Energetyki odpowiedniej ilości świadectw pochodzenia energii elektrycznej wytwarzanej z OZE i kogeneracji. Świadectwa te to dokumenty potwierdzające wytworzenie energii ze źródeł odnawialnych wydawane w celu ułatwienia obrotu „zieloną energią” poprzez zagwarantowanie nabywcy wytworzenia tego produktu z surowców odnawialnych. Ostatnia nowelizacja prawa energetycznego, bardziej dostosowana do szybko zmieniających się realiów, pochodzi z 2012 r. i ukazała się jako Obwieszczenie Marszałka Sejmu RP (Dz. U. poz. 1059, 2012).

2.1. POLITYKA ENERGETYCZNA POLSKI DO 2030 R.

Polityka energetyczna Polski do 2030 r. jest dokumentem strategicznym opracowanym przez Ministerstwo Gospodarki, który został przyjęty przez Radę Ministrów w dniu 10 listopada 2009 r. (M.P. nr 21, poz. 11, 2010). Dokument ten wyznacza założenia polityki energetycznej w najdłuższym horyzoncie czasowym. Jest odpowiedzią na założenia przyjętego przez UE w 2008 r. pakietu klimatyczno-energetycznego, przez co w znaczący sposób odnosi się do wykorzystania OZE. Założenia polityki energetycznej sformułowano w rozdziałach dotyczących: 1) potrzeby poprawy efektywności energetycznej; 2) zapewnienia wzrostu bezpieczeństwa w dostawach paliw i energii; 3) wprowadzenia energetyki jądrowej jako struktury dywersyfikującej wytwarzanie energii; 4) rozwoju OZE; 5) polityki rozwoju konkurencyjnych rynków paliw i energii; 6) ograniczenia oddziaływania energetyki na środowisko; 7) podjęcia działań wspomagających oraz 8) opracowania systemu wdrażania polityki energetycznej.

Polityka energetyczna Polski do 2030 r. zakłada, że głównymi celami w zakresie rozwoju wykorzystania OZE będą:

- wzrost udziału odnawialnych źródeł energii w finalnym zużyciu energii co najmniej do poziomu 15% w 2020 r. oraz dalszy wzrost tego wskaźnika w latach następnych – w przypadku Polski unijne założenie wzrostu udziału OZE do 20% zostało ograniczone ze względu na kryterium równych wysiłków krajów członkowskich;
- osiągnięcie w 2020 r. 10% udziału biopaliw w rynku paliw transportowych oraz zwiększenie wykorzystania biopaliw II generacji – dokładnie według założeń pakietu klimatyczno-energetycznego;
- ochrona lasów przed nadmiernym eksploatowaniem w celu pozyskiwania biomasy oraz zrównoważone wykorzystanie obszarów rolniczych na cele pozyskiwania OZE, w tym biopaliw, tak aby nie doprowadzić do konkurencji pomiędzy energetyką odnawialną i rolnictwem oraz zachować różnorodność biologiczną. Może być to dość istotny zapis, ponieważ istnieje niebezpieczeństwo, iż konkurencja pomiędzy energetyką odnawialną i rolnictwem odbije się negatywnie na produkcji żywności,

- zwiększenie stopnia dywersyfikacji źródeł dostaw oraz stworzenie optymalnych warunków do rozwoju energetyki rozproszonej opartej na lokalnie dostępnych surowcach – w przypadku biomasy zapewnienie lokalnego wykorzystania bazy surowcowej jest celowe z wielu względów, przede wszystkim: logistycznych, środowiskowych i ekonomicznych.

Żeby zrealizować założone cele, dokument zakłada m.in. następujące działania:

- wypracowanie ścieżki dochodzenia do osiągnięcia 15% udziału OZE w zużyciu energii finalnej w sposób zrównoważony, w podziale na poszczególne rodzaje energii: elektryczną, ciepło i chłód oraz odnawialną w transporcie;
- utrzymanie mechanizmów wsparcia dla producentów energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych, np. poprzez system świadectw pochodzenia;
- utrzymanie obowiązku stopniowego zwiększania udziału biokomponentów w paliwach transportowych, tak aby osiągnąć zamierzone cele;
- wprowadzenie dodatkowych instrumentów wsparcia zachęcających do szerszego wytwarzania ciepła i chłodu z odnawialnych źródeł energii;
- wdrożenie budowy biogazowni rolniczych, przy założeniu powstania do roku 2020 średnio jednej biogazowni w każdej gminie;
- utrzymanie zasady zwolnienia z akcyzy energii pochodzącej z OZE;
- bezpośrednie wsparcie budowy nowych jednostek OZE i sieci elektroenergetycznych umożliwiających ich przyłączenie z wykorzystaniem funduszy europejskich oraz środków z funduszy ochrony środowiska, w tym środków pochodzących z opłat zastępczych i kar;
- stymulowanie rozwoju potencjału polskiego przemysłu produkującego urządzenia dla energetyki odnawialnej, w tym z wykorzystaniem funduszy europejskich;
- wsparcie rozwoju technologii oraz budowy instalacji do pozyskiwania energii odnawialnej z odpadów zawierających materiały ulegające biodegradacji (np. odpadów komunalnych zawierających frakcje ulegające biodegradacji).

2.2. KRAJOWY PLAN DZIAŁANIA

Głównym zobowiązaniem krajów UE wynikającym z dyrektywy RED jest opracowanie krajowych planów działania. Wytyczne do ich przygotowania umożliwiła decyzja Komisji z dnia 30 czerwca 2009 r. ustanawiająca schemat krajowych planów działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych (decyzja Komisji 2009/548/WE). W Polsce założono, że zasady unijne zostaną włączone do polskiego prawodawstwa przez nowelizację ustawy z 25 sierpnia 2006 r. o biokomponentach i biopaliwach ciekłych (Dz. U. nr 169, poz. 1199, 2006), zaś odwołanie do określonych w przedmiotowej ustawie kryteriów w odniesieniu do biopłynów znajdzie się w ustawie o energii ze źródeł odnawialnych, której przyjęcie przewidziano na początek 2013 r. (Dz. U. poz. 1059, 2012).

Krajowy Plan Działania (KPD) z 2010 r. bezpośrednio nawiązuje do dyrektywy RED i jest realizacją zobowiązania wynikającego z art. 4 ust. 1 tej dyrektywy (MG 2010). KPD zawiera podsumowanie dotychczasowej polityki krajowej w zakresie energii ze źródeł odnawialnych, prognozuje końcowe zużycie energii w latach 2010–2020, definiuje cele i kursy dotyczące wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych oraz środki służące osiągnięciu tych celów. Przy przygotowywaniu prognoz dotyczących poszczególnych rodzajów OZE do KPD w zakresie energii ze źródeł odnawialnych do 2020 r. przyjęto 12 założeń ogólnych. Najważniejsze, opatrzone komentarzem, dotyczące biomasy pochodzenia rolniczego przytoczono poniżej:

- według pkt. 1. – „W Polsce będzie istniało wsparcie dla producentów energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych w celu wypełnienia założeń Dyrektywy 2009/28/WE”. Jednak od pewnego czasu w Polsce wycofano się z dopłat do produkcji rolniczej roślin energetycznych. Dodatkowo w punkcie 4. założeń zapisano: „Założono, że w roku 2010 nie będą wprowadzone nowe lub dodatkowe formy wsparcia finansowego dla OZE, aczkolwiek zostaną poczynione starania w celu zaproponowania nowych regulacji legislacyjnych skutkujących zwiększeniem udziału energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto (z uwzględnieniem rozwoju wszystkich technologii OZE).”
- końcowe zużycie energii brutto w Polsce w latach: 2010, 2015 i 2020 przyjęto zgodnie z „Polityką Energetyczną Polski do 2030 roku” i przedstawiono dla dwóch scenariuszy: (1) referencyjny – uwzględniający środki służące efektywności energetycznej i oszczędności energii przyjęte przed rokiem 2009, (2) dodatkowej efektywności energetycznej – uwzględniający wszystkie środki przyjmowane od roku 2009 (pkt 2. i 3.).
- według pkt. 6. – „Przewiduje się także zachowanie tzw. współspalania jako stosowanej w Polsce do 2020 r. formy pozyskiwania OZE, z uwzględnieniem ograniczeń w spalaniu biomasy leśnej”, co będzie skutkowało wzrostem zainteresowania się energetyki systemowej pozyskiwaniem biomasy stałej pochodzenia rolniczego (wieloletnie uprawy roślin energetycznych) oraz wykorzystywaniem biomasy ubocznej z produkcji roślinnej i zwierzęcej, takich jak słoma i obornik. Większego znaczenia mogą też nabrać, dotychczas słabo wykorzystywane: biomasa z pielęgnacji sadów i upraw wieloletnich oraz siano. Jeżeli spełnione zostaną wskazania z dyrektywy RED ograniczające pozyskiwanie biomasy z zagranicy, głównie biomasy wymagającej długiego transportu oraz mogącej pochodzić z eksploatacji na terenach wykluczonych (art. 17), wówczas biomasa pochodzenia krajowego, pozyskiwana w bezpośrednim sąsiedztwie zakładów energetycznych, powinna stać się docelową bazą surowcową OZE polskiej energetyki.
- według pkt. 12. – „W zakresie rozwoju OZE w obszarze transportu zakłada się przede wszystkim zwiększenie udziału biopaliw i biokomponentów w paliwach transportowych. Z szacunków towarzystw branżowych wynika, że w perspek-

tywie do 2020 r. transport samochodowy nie będzie na dużą skalę wykorzystywał energii elektrycznej, co przełoży się na niewielki udział tej technologii w rynku paliwowym”. Oznacza to wzrost zapotrzebowania na produkcję bioetanolu i bioestrów, a tym samym zwiększenie konkurencyjności pomiędzy produkcją żywności i energii na terenach rolniczych. Stwarza to natomiast szansę nowym technologiom wykorzystującym odpady do produkcji biopaliw. Według dalszych prognoz, to właśnie transport spośród wszystkich sektorów gospodarki najbardziej zwiększy swoje zapotrzebowanie na energię z 15,5 Mtoe w 2010 r. do 23,3 Mtoe w 2020 r. Podobny wzrost prognozuje się jedynie w przypadku sektora usług, przy proporcjonalnie dużo mniejszym wzroście zapotrzebowania sektora przemysłowego (z 18,2 do 24,0 Mtoe) i spadku zapotrzebowania w rolnictwie z 5,1 do 4,2 Mtoe (poniżej roku 2006).

Przyjęte prognozy zakładają realizację podstawowych wymagań Unii Europejskiej w zakresie:

- poprawy efektywności energetycznej;
- wzrostu bezpieczeństwa dostaw paliw i energii;
- rozwoju wykorzystania odnawialnych źródeł energii, w tym biopaliw;
- rozwoju konkurencyjnych rynków paliw i energii;
- ograniczenia oddziaływania energetyki na środowisko.

Ważnym założeniem jest też dążenie do utrzymania zero-energetycznego wzrostu gospodarczego (rozwoju gospodarki następującego bez wzrostu zapotrzebowania na energię pierwotną) oraz konsekwentne zmniejszanie energochłonności polskiej gospodarki do poziomu UE-15. Krajowy Plan Działania nakreśla cele i kierunki dotyczące wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych. Krajowym celem ogólnym ma być wzrost do 15% udziału OZE w końcowym zużyciu energii brutto w 2020 r. KPD wskazuje cele sektorowe. Celem sektora rolniczego jest zapewnienie wzrostu wytwarzania surowców energetycznych w ilościach maksymalnie pokrywających zapotrzebowanie przemysłu biopaliwowego i paliwowego. Jednocześnie celem tego sektora jest spełnienie kryteriów zrównoważonego rozwoju w odniesieniu do całej puli surowców dostarczanych do wytwarzania biokomponentów i biopaliw. Jednak tak postawione cele nie zostały skonfrontowane z analizami zapewnienia bezpieczeństwa żywnościowego kraju, które powinny zostać przeprowadzone dla scenariuszy przyjmujących wyłączenie koniecznych arealów rolniczej przestrzeni produkcyjnej z produkcji żywności.

W KPD podsumowano wszystkie możliwe środki służące do osiągnięcia zamierzonych celów. W rozdziale 3. dokonano pełnego przeglądu wszystkich polskich regulacji prawnych i środków w zakresie promocji wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych, ze szczególnym uwzględnieniem środków służących wypełnieniu zobowiązań zawartych w artykułach: 13, 14, 16, 17 i 21 dyrektywy RED.

2.3. PROJEKT USTAWY O OZE

Z końcem 2012 r. Ministerstwo Gospodarki zakończyło prace nad przygotowaniem ustawy o odnawialnych źródłach energii (ustawa o OZE). Dokument zostanie przekazany na Komitet do Spraw Europejskich. Kolejnym etapem będzie skierowanie projektu pod obrady Komitetu Stałego Rady Ministrów i Rady Ministrów, a następnie do prac legislacyjnych w Parlamencie (www.mg.gov.pl).

Celem ustawy ma być określenie:

- 1) zasad i warunków wykonywania działalności w zakresie wytwarzania energii elektrycznej, ciepła lub chłodu z odnawialnych źródeł energii w instalacjach odnawialnego źródła energii;
- 2) zasad i warunków wykonywania działalności w zakresie wytwarzania energii elektrycznej, ciepła lub chłodu z biogazu rolniczego lub wytwarzania biogazu rolniczego w instalacjach odnawialnego źródła energii;
- 3) zasad i warunków przyłączenia do sieci instalacji odnawialnego źródła energii;
- 4) mechanizmów i instrumentów wspierających wytwarzanie energii elektrycznej, ciepła lub chłodu z odnawialnych źródeł energii w instalacjach odnawialnego źródła energii, wytwarzanie energii elektrycznej, ciepła lub chłodu z biogazu rolniczego oraz wytwarzanie biogazu rolniczego w instalacjach odnawialnego źródła energii;
- 5) zasad wydawania gwarancji pochodzenia energii elektrycznej wytwarzanej z odnawialnych źródeł energii w instalacjach odnawialnego źródła energii i energii elektrycznej wytwarzanej z biogazu rolniczego w instalacjach odnawialnego źródła energii;
- 6) zasad opracowania i realizacji Krajowego Planu Działania w zakresie odnawialnych źródeł energii oraz sposobu monitorowania rynku energii elektrycznej, ciepła lub chłodu.

3. PRZEGLĄD ISTNIEJĄCYCH OSZACOWAŃ POTENCJAŁÓW BIOMASY NA CELE ENERGETYCZNE

Uzgodnienia z Kioto zwróciły uwagę na odnawialne źródła energii. Stworzenie możliwości szerokiego wykorzystania OZE spowodowało potrzebę określenia ich zasobów. Podstawowym źródłem danych, w przypadku biomasy, wydawał się być FAOSTAT dla szacunków globalnych i Eurostat w przypadku oceny tych zasobów dla Europy. Jednak szybko zdano sobie sprawę, że dane statystyczne są niewystarczające, a dokładne modelowanie wymaga uzupełnienia bazy danych o dane przestrzenne, scenariusze prognostyczne oraz wiedzę dotyczącą możliwości przetwarzania biomasy z postaci surowej w biopaliwa.

Pracami, które zapoczątkowały badania nad ocenami zapotrzebowania na biomasę energetyczną oraz jej potencjalnymi bazami surowcowymi były analizy pu-

blikowane przez Lashofa i Tirpaka (1990), Halla i in. (1993), Fujino i in. (1999), Międzyrządowy Panel na temat Zmian Klimatu, IPCC (2000) i Rognera (2000).

W niniejszym rozdziale podsumowano najważniejsze opracowania dotyczące szacunków zasobów biomasy na cele energetyczne wykonanych głównie w Europie. Zestawiono szacunki, które opracowano w ostatnich latach na potrzeby polityki energetycznej UE.

Pierwsze wyniki modelowania wykonane były głównie na potrzeby państw UE-15. W latach następnych badania zostały rozszerzane o kolejne kraje zgłaszające akcesję do Unii Europejskiej. Z punktu widzenia pokrycia stwierdzonych potrzeb ważnymi partnerami w pozyskiwaniu biomasy są kraje byłego Związku Radzieckiego, a zwłaszcza Ukraina z wielkim potencjałem słomy i innych produktów pochodzenia rolniczego, jak również Białoruś mająca możliwość pozyskiwania biomasy leśnej. Fischer i Schrattenholzer (2001) opublikowali szacunki globalnych potencjałów biomasy z: ubocznej produkcji roślinnej i zwierzęcej, upraw roślin energetycznych, gospodarki leśnej oraz odpadów komunalnych. Modelowanie przeprowadzono w horyzoncie czasowym do 2050 r., przy uwzględnieniu prognozowanych zmian w użytkowaniu ziemi i założeniu unikania konfliktów między produkcją żywności i produkcją energii. Na podstawie danych oszacowano potencjał bioenergii w roku bazowym 1990 jako ekwiwalent 5,4 Gtoe, przy jej rzeczywistym zużyciu w roku bazowym na poziomie 1,1 Gtoe. Prognozowany wzrost tego potencjału w skali globalnej do 2050 r. powinien osiągnąć poziom 8,8–10,8 Gtoe. Modelowanie wykonano dla 12 regionów, w tym dwa regiony obejmowały Europę: Region Europy Zachodniej (WEU) oraz Region Europy Centralnej i Wschodniej (EEU) (bez krajów byłego Związku Radzieckiego). W regionach tych oceniono, że możliwości pozyskiwania biomasy są na poziomie 50 (EEU) i 110 (WEU) mln ha gruntów ornych oraz 20 (EEU) i 130 (WEU) mln ha użytków zielonych.

Europejska Agencja Środowiska (EEA) w 2002 r. opublikowała raport dotyczący gospodarowania odpadami komunalnymi (EEA 2002), w którym scharakteryzowano poszczególne rodzaje odpadów i wskazano strategię w ich zagospodarowywaniu. Szacunki ilości generowanych odpadów wykonano dla 15 krajów europejskich, głównie „starej” Unii. Na podstawie danych statystycznych oceniono je dla 1995 r. (roku bazowego) na 115,5 mln ton, które trafią na wysypiska. Według modelowania statystycznego produkcja odpadów ma wzrosnąć do 184,4 mln ton w 2016 r., a ok. 80% odpadów powinno być odzyskiwane na potrzeby recyklingu (w tym produkcji energii).

W 2003 r. ukazał się raport Centre for Renewable Energy Sources and Saving (CRES) opracowany na potrzeby unijnej polityki energetycznej (Nikolaou i in. 2003). Oceniono w nim możliwości wykorzystania energetycznego biomasy będącej produktem ubocznym z produkcji rolniczej oraz odpadów gospodarki leśnej czy komunalnej. Następnie oszacowano potencjalne zasoby dla wszystkich krajów ówczesnej Unii Europejskiej (UE-16) oraz 10 krajów zgłaszających do niej akcesję (AC). Na podstawie istniejących danych, głównie statystycznych i badań regionalnych,

zestawiono tabelarycznie następujące rodzaje biomasy pochodzenia rolniczego możliwej do pozyskania jako odpad w celu konwersji na energię użytkową: mokra biomasa ligninocelulozowa (głównie słoma i odpady z pielęgnacji upraw wieloletnich), mokra i sucha biomasa uboczna z produkcji zwierzęcej, rośliny energetyczne (ligninocelulozowe, oleiste do produkcji biodiesla i zboża do produkcji bioetanolu). Szacunki dostępności surowca zostały uzupełnione analizą kosztów dostarczenia biomasy oraz oceną trendu w dostępności biomasy w 2010 i 2020 r. Ogólny średni roczny potencjał biomasy z produkcji roślinnej w Europie został oceniony na 1064 PJ (ok. 25 Mtoe) dla krajów „starej” Unii i 306 PJ (ok. 7 Mtoe) dla pozostałych krajów. Odpowiednio dla biomasy z produkcji zwierzęcej uzyskano następujące wyniki: 514 i 132 PJ. Kalkulacja ta, obecnie odpowiadająca zasięgowi UE, w sumie wynosi około 2000 PJ energii, co stanowi odpowiednik ok. 49 Mtoe. Szacunki uzupełniono określeniem zasobów biomasy pochodzenia leśnego. Według autorów raportu, ogólny potencjał wynosi ok. 1600 PJ rocznie (UE-16 + 10 AC) z czego 650 PJ może pochodzić z odpadów. W przypadku biomasy pochodzącej z odpadów przemysłowych całkowity potencjał tego sektora został oszacowany na ok. 1117 PJ, a pozostałe odpady (komunalne i drewno rozbiórkowe) na 846 PJ. Łącznie, na podstawie tych szacunków, z biomasy w analizowanych 26 krajach można otrzymać 4579 PJ. Po roku raport Nikolaou i in. (2003) został uaktualniony i włączony do kolejnego raportu opracowanego na zlecenie Komisji Europejskiej (Siemons i in. 2004). Praca ta została po uszczegółowieniu analiz i parametrów jakościowych biomasy ponownie opublikowana (Panoutsou i in. 2009). Ostatecznie autorzy ocenili, że ogólny potencjał paliw z biomasy w krajach „nowej Unii” w 2010 r. powinien wynosić 160 Mtoe, a następnie wzrosnąć do 186 Mtoe w ciągu 10 lat. W przypadku biomasy pochodzenia rolniczego jej potencjał w roku 2010 został określony na 36,2 Mtoe dla odpadów stałych, 15,6 Mtoe dla gnojówki i gnojowicy oraz 2,5 Mtoe dla obornika. Według prognoz dla roku 2020 wartości te powinny się zwiększyć odpowiednio do: 39,9, 17,3 i 2,7 Mtoe.

Metodologia modelowania wykorzystania przestrzeni rolniczej i obszarów leśnych (Agroecological zoning approach) została przedstawiona przez van Velthuizena (2003) na warsztatach zorganizowanych w Isprze przez Wspólnotowe Centrum Badawcze (Join Research Center – JRC) i Komisję Europejską. W metodologii tej uwzględniono szereg kryteriów determinujących cechy przyrodnicze i produkcyjne: klimat, warunki glebowe, dotychczasowe użytkowanie terenu, zasady zrównoważonej produkcji oraz aspekty polityczne, socjoekonomiczne i demograficzne. Prezentacja zawierała szereg map tematycznych podsumowujących możliwości produkcji rolniczej w Europie, w tym mapy przydatności terenów do produkcji roślin energetycznych. W analizach tych po raz pierwszy posłużono się szczegółowymi materiałami kartograficznymi (Fischer i in. 2002). Jako podstawową mapę definiującą obszary produkcyjne przyjęto nowy produkt EEA – mapę pokrycia terenu o rozdzielczości 1ha w skali Europy (Corine Land Cover).

Odnawialne źródła energii dają możliwości rozwoju energetyki rozproszonej generującej energię elektryczną. Znajduje to odzwierciedlenie w lokalizowaniu zakładów energetycznych o mocy przystosowanej do potencjału energii wiatru, wody, słońca i zasobów biomasy w regionie. W 2004 r. ukazał się raport Energy Research Centre of the Netherlands (ECN) z realizacji projektu ADMIRE REBUS (de Noord i in. 2004), który poświęcono technologiom generowania energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii oraz potencjalnym zasobom OZE w: energii wietrznej na i poza wybrzeżem, fotowoltanice, energii wodnej i geotermalnej, biomasie oraz odpadach biodegradowalnych. Zasoby te oceniono w horyzoncie czasowym do 2050 r. (2000, 2030 i 2050). Szacowano również koszty poszczególnych asortymentów biomasy. Pomimo wykonania wielu analiz dla Holandii, Europy i Świata, raport ten jest mało spójny. Poszczególne rodzaje OZE szacowane są dla różnych jednostek, scenariuszy i horyzontów czasowych. Brak też w nim podsumowania wyników.

W 2005 r. na zlecenie niemieckiego Ministerstwa Środowiska, Ochrony Przyrody i Bezpieczeństwa Nuklearnego został opracowany raport dotyczący zrównoważonej strategii dla wykorzystania biomasy w kontekście europejskim (Thran i in. 2005). Dokument ten powstał jako wkład do debaty na temat niemieckiego planu opracowywania wytycznych polityki wykorzystywania biopaliw. Autorzy szczegółowo modelowali różne scenariusze pozyskiwania biomasy na cele energetyczne dla Niemiec, po czym porównali uzyskane rezultaty z szacunkami wykonanymi założonymi metodami dla pozostałych krajów Unii Europejskiej i krajów do niej kandydujących. W pracy tej został szczegółowo scharakteryzowany potencjał biomasy pochodzenia leśnego, rolniczego i biomasy odpadowej oraz obecne i przyszłe zapotrzebowanie na ten rodzaj energii odnawialnej. Zastosowano scenariusze ekonomiczne i prognostyczne dla szacowania możliwości pozyskiwania biomasy w horyzoncie czasowym do 2020 r. W rezultacie wykazano czasową stabilność leśnych i odpadowych zasobów biomasy na poziomie 7500 PJ dla krajów UE-27. W przypadku biomasy pochodzenia rolniczego wskazano jej niestabilność czasową. W tym przypadku o możliwości pozyskiwania tego rodzaju surowca decydować będzie wiele czynników, jak: ekonomia, polityka (głównie klimatyczna), postęp w technologii uprawy oraz ogólnoswiatowe zapotrzebowanie na żywność. W związku z tym możliwy potencjał biomasy rolniczej w 2020 r. może się wahać od 2600 do 7800 PJ, a 75% dostaw powinno pochodzić z krajów „starej piętnastki”.

W 2005 r. ukazały się też dwie prace (Edwards i in. 2005, Fischer i in. 2005), w których analizowano potencjał najważniejszych rodzajów biomasy stałej pochodzenia rolniczego, która może być produktem ubocznym lub docelowym. W obu pracach ważnym elementem jest wykorzystanie systemów informacji geograficznej jako narzędzia geoprzetwarzania danych. W pierwszym przypadku oszacowano dostępność słomy, w drugim możliwości produkcji wieloletnich roślin ligninocelulozowych. Słoma wydaje się najbardziej dostępnym źródłem biomasy pochodzącym z uprawy zbóż. Edwards i in. (2005) oszacowali jej nadwyżki, które mogą być wy-

korzystane do produkcji energii oraz wskazali najlepsze lokalizacje dla zakładów energetycznych o mocy 38 MW. Lokalizacje określono, kierując się bazą surowcową oraz kosztami transportu. Autorzy założyli, że dla jednego zakładu energetycznego o mocy 38 MW potrzeba rocznie 200 tys. ton słomy, która powinna być pozyskiwana z najbliższego otoczenia, w promieniu nie dalszym niż 50 km. Ogólnie potencjał energetyczny słomy w 27 krajach UE został określony na 820 PJ, przy czym kierując się powyższymi założeniami, efektywnie można wykorzystać tylko jej część, uzyskując 230 PJ energii. Analiza potencjału słomy została wykonana przez Instytut Środowiska i Zrównoważonego Rozwoju działający w ramach JRC jako naukowe i techniczne wsparcie polityki Unii Europejskiej w zakresie ochrony środowiska i zrównoważonego rozwoju. Obok słomy bogate źródło biomasy mogą stanowić rośliny energetyczne. Uprawa roślin energetycznych niesie jednak ze sobą poważne konsekwencje dla środowiska oraz lokalnej, a nawet globalnej ekonomii. Z powyższego względu szacunki potencjalnych możliwości uprawy roślin energetycznych muszą zakładać wiele ograniczeń zarówno środowiskowych, jak i ekonomicznych. Najbardziej zaawansowanym do chwili obecnej modelowaniem potencjału produkcji tego typu biomasy jest praca Fischera i in. (2005). Analizy oparto na założeniach wyznaczania stref agroekologicznych. Budowę bazy danych ukierunkowano na możliwości analiz przestrzennych z zastosowaniem narzędzi geoprocesingu. Jako warstwy tematyczne do systemu wprowadzono: mapę glebową, numeryczny model terenu, mapę fizjograficzną, mapę pokrycia terenu oraz mapy – osadniczą, komunikacyjną i administracyjną. Warstwy te pozwoliły na modelowanie scenariuszy dostępności przestrzeni dla lokalizowania upraw bioenergetycznych. Dane klimatyczne i scenariusze zmian klimatycznych pozwoliły na uszczegółowienie szacunków potencjalnych plonów oraz zmian możliwości uprawy związanych z prognozowanymi zmianami klimatu. Modelowanie uzupełniono o informacje agrotechniczne oraz restrykcje środowiskowe. W rezultacie otrzymano ocenę potencjału produkcji zbóż oraz wierzby, miskanta i topoli na cele energetyczne dla regionów Europy Wschodniej, krajów byłego Związku Radzieckiego i Mongolii. Modelowanie przeprowadzono w rozdzielczości przestrzennej siatki o rozmiarze 1 km dla Europy i 5 km dla pozostałych regionów. Dla 10 krajów Europy Wschodniej (Bułgarii, Czech, Estonii, Litwy, Łotwy, Polski, Rumuni, Słowacji, Słowenii, Węgier) oszacowano potencjał bioenergii roślin energetycznych na 2018 PJ, w tym dla Polski – 354 PJ. Ocenę możliwości produkcji biomasy w Europie Centralnej i Wschodniej uszczegółowiono o regionalne dane ze statystyk krajowych w kolejnej pracy współpracujących grup naukowych z Międzynarodowego Instytutu Stosowanej Analizy Systemowej (IIASA) oraz Instytutem Kopernika (van Dam i in. 2007). Szacunki przeprowadzono dla 9 państw (Bułgarii, Czech, Estonii, Litwy, Łotwy, Polski, Rumuni, Słowacji, Węgier), uwzględniając wykorzystanie odpadów z rolnictwa, leśnictwa, drewna i biomasy pochodzącej z upraw roślin energetycznych. Dla wybranych scenariuszy otrzymano wartości potencjałów bioenergii od 2 do 11,7 EJ. Współpracę grup kiero-

wanych przez Gunthera Fischera (IIASA) i Andrea Faaija (Instytut Kopernika) podsumowuje opublikowana przez nich praca (Fischer i in. 2010a i 2010b). W pierwszej jej części scharakteryzowano możliwości produkcji biopaliw z biomasy pochodzenia rolniczego, głównie o charakterze ligninocelulozowym, oraz pochodzącej z upraw roślin przemysłowych. Analizy przeprowadzono metodami geoprzetwarzania geograficznych baz danych z rozdzielczością 1 km² w skali paneuropejskiej. Wyniki zestawiono dla państw UE, Szwajcarii, Ukrainy i Białorusi. W drugiej części pracy przeprowadzono symulację możliwych potencjałów według 3 scenariuszy: 1) bazowy – odzwierciedlający założenia forsowanej przez Unię Europejską polityki energetycznej oraz respektujący trendy w ochronie środowiska; 2) prośrodowiskowy, w którym założono zasady rolnictwa zrównoważonego oraz potrzebę zachowania bioróżnorodności; 3) proenergetyczny – zakładający szersze wykorzystanie przestrzeni rolniczej, w tym pozyskiwanie biomasy z użytków zielonych.

Modelowanie globalnych zasobów biomasy zapoczątkowane przez Fischera i Schrattenholzera w 2001 r. uzupełnili cztery lata później Hoogwijk i in. (2005). Horyzont czasowy został rozciągnięty od 2050 do 2100 r. Modelowano potencjał roślin energetycznych dla trzech kategorii użytkowania terenu: nieuprawianych użytków rolnych, gruntów o niskiej produktywności oraz gruntów odlogowanych. Wykorzystano cztery scenariusze prognostyczne SRES (A1, A2, B1, B2) opracowane przez IPCC (2000), które zaimplementowano do modelu IMAGE 2.2 (Nakićenović i Swart 2000, de Vries i in. 2000). W pracy Hoogwijk zdefiniowano m.in. pojęcie „potencjału geograficznego”. Studium przeprowadzono przestrzennie dla siatki o rozdzielczości 0,5 x 0,5 stopnia szerokości i długości geograficznej. Wyznaczono potencjały:

- teoretyczny – odpowiadający górnemu pułapowi produktywności potencjalnej netto (Hall i in. 1993);
- geograficzny – przez który autorzy rozumieją biomasa uzyskaną z obszaru dostępnego dla produkcji roślin energetycznych z uwzględnieniem wykluczenia obszarów przeznaczonych dla innego rodzaju wykorzystania (np. produkcji żywności). Podstawową cechą symulacji jest modelowanie przestrzenne prowadzone z zastosowaniem danych kartograficznych, a rezultatem – mapa w założonej skali;
- techniczny – jako potencjał geograficzny zredukowany o straty związane z konwersją pierwotnych zasobów biomasy do półproduktów energetycznych. W konstrukcji algorytmów wykorzystano prace Dornburg i Faaija (2001) – w przypadku przetwarzania biomasy na energię elektryczną oraz van Hooijdonk (2002), Tijmensena i in. (2002) i Hamelincka i in. (2004) – w przypadku produkcji paliw;
- ekonomiczny – będący podzbiorem potencjału technicznego, spełniający kryteria ekonomicznej efektywności konwersji biomasy w energię (Hoogwijk i in. 2004);
- stosowany – maksymalny zasób potencjału ekonomicznego, który może być wykorzystany według zapotrzebowania oraz możliwości technicznych i logistycznych.

Rezultaty podsumowano dla 17 regionów, w tym Europy Zachodniej i Europy Wschodniej (bez krajów b. ZSRR). Główną przesłanką badań był prognozowany brak opłacalności produkcji roślin energetycznych na gruntach rolniczych charakteryzujących się małą produktywnością. Największy potencjał wykazują tereny rolnicze nieuprawiane. W zależności od scenariusza w Europie Zachodniej będzie można z nich uzyskać 9–17, a w Europie Wschodniej 9–12 EJ energii rocznie. W przypadku gruntów odłogowanych w Europie Zachodniej potencjał oszacowano na 4–5 EJ (scenariusze A1 i A2) oraz 1 EJ (scenariusze B1 i B2). Kontynuacją powyższych badań była prognoza potencjału biomasy leśnej w 2050 r. przeprowadzona przez Smeetsa i Faaija (2007). Modelowano potencjały teoretyczne, techniczne, ekonomiczne, ekologiczne oraz ekologiczno-ekonomiczne dla 11 regionów (FAO 2013). Dostępne są także rezultaty dla poszczególnych państw. W tym samym roku ukazała się praca ujmująca kompleksowo modelowanie globalnego potencjału bioenergii do 2050 r. (Smeets i in. 2007). Zastosowano zaawansowane modelowanie interakcji między zapotrzebowaniem na biomasę a jej potencjałem, przy założeniu szeregu scenariuszy uwzględniających ekonomię, politykę, technologię, demografię, ekologię oraz scenariusze zmian klimatu. Analizy przeprowadzono z zastosowaniem modelu Quickscan.

Na początku pierwszej dekady XXI w. powstało szereg opracowań potencjałów biomasy i OZE. We wstępnej fazie opracowania te różniły się znacząco metodyką, co skutkowało otrzymywaniem różnych szacunków. W latach tych nastąpiło też otwarcie się Unii Europejskiej na kolejne kraje. W związku z tym założenia wspólnej strategii wykorzystania OZE wymagały przeprowadzenia ponownych szacunków możliwości „nowej” Unii w wykorzystaniu tych zasobów. Ericsson i Nilsson (2006) podjęli się próby usystematyzowania metodyki i przeprowadzenia bardziej szczegółowej oceny potencjału biomasy rolnej w Europie. Analizy przeprowadzono dla 15 krajów Unii Europejskiej, 8 nowych państw członkowskich (Estonii, Czech, Litwy, Łotwy, Polski, Słowacji, Słowenii, Węgier), 2 krajów kandydujących (Bułgarii i Rumuni) oraz dla Białorusi i Ukrainy. Założono pięć scenariuszy opisujących krótko-, średnio- i długoterminowe horyzonty wykorzystywania surowców pochodzenia rolniczego (resztek poźniwnych, roślin energetycznych) i nadwyżki gruntów rolnych możliwych do wykorzystania w produkcji biomasy. Autorzy wykazali możliwość pozyskiwania w krajach „nowej” Unii do 17,2 EJ energii rocznie. W świetle tych szacunków uzyskanie założonej przez Komisję Europejską produkcji 5,6 EJ „zielonej energii” rocznie nie powinno być problematyczne (EC 1997: plan do 2010). Jednak zwrócono uwagę również na opóźnienia we wdrażaniu polityki wykorzystania bioenergii dla osiągnięcia założonych celów.

W 2006 r. Europejska Agencja Środowiska opublikowała swój pierwszy kompletny raport dotyczący możliwości produkcji bioenergii w Europie (EEA 2006). Głównym celem raportu i podjętych analiz była ocena technicznego potencjału biomasy możliwej do uzyskania na cele energetyczne przy jednoczesnym założeniu

braku wzrostu negatywnego wpływu na środowisko. W modelowaniu założono szereg postulatów środowiskowych; główne z nich to:

- przynajmniej 30% terenów rolniczych będzie przeznaczony do produkcji rolniczej niezagrażającej środowisku;
- tereny zielone, pastwiska i gaje oliwne uprawiane ekstensywnie nie zostaną przekształcone w grunty orne;
- ok. 3% upraw intensywnych zostanie odłogowane dla ustanowienia siedlisk ekologicznych (do 2030);
- wdrażane będą uprawy energetyczne, które nie stanowią zagrożenia dla środowiska;
- nie zmniejszy się obszar lasów objętych ochroną jak również na ich obszarze nie będzie odbywać się pozyskiwanie biomasy odpadowej z wycinek i czyszczenia lasów;
- na pozostałych terenach leśnych odpady biomasy będą usuwane w sposób zrównoważony. Nie będą pozyskiwane liście i korzenie;
- wycinka drzew na obszarach leśnych ulegnie ograniczeniu, a zwiększy się powierzchnie terenów objętych ochroną;
- zostaną wdrożone strategie minimalnego generowania odpadów.

Zrealizowanie powyższych założeń pozwoli według autorów raportu na zwiększenie potencjału biomasy z prognozowanego 190 Mtoe na 2010 r. do około 295 Mtoe w 2030 r. Zwiększenie możliwości pozyskiwania biomasy ma się odbywać poprzez konwersję produkcji na terenach rolniczych (uprawy energetyczne) przy braku wzrostu eksploatacji lasów (ok. 40 Mtoe) i pozyskiwania innych odpadów (z rolnictwa, przemysłu i komunalnych) na stałym poziomie ok. 100 Mtoe. W analizach nie uwzględniono bilansu obiegu węgla i emisji gazów cieplarnianych związanych z eksploatacją i wykorzystaniem biomasy. Raport EEA z 2006 r. został uzupełniony w kolejnym roku przez 3 kolejne raporty dotyczące: zasobów biomasy leśnej, które mogą być pozyskiwane na cele energetyczne bez negatywnego wpływu na środowisko (EEA 2007a), zrównoważonego otrzymywania energii z rolnictwa (EEA 2007b) oraz prognoz wielkości generowanych odpadów komunalnych w latach 2005–2020 (EEA 2007c).

W 2008 r. opublikowano wyniki badań nad przestrzennym zróżnicowaniem produktywności biomasy na użytkach zielonych (Smit i in. 2008). Praca ta dała podstawy do geograficznego zróżnicowania potencjału teoretycznego biopaliw bazujących na nadwyżkach siana oraz do modelowania potencjałów technicznych i ekonomicznych pozyskiwania tego surowca.

Lasy stanowią ogromny rezerwuár biomasy. Jednak ze względów ekologicznych oraz konieczności pierwszoplanowego pozyskiwania wysokiej jakości drewna dla różnych gałęzi przemysłu (niezwiązanych z energetyką), eksploatacja lasów jako bazy surowcowej biomasy energetycznej musi być ograniczona i poddana wielu restrykcjom. Bezpośrednie spalanie drewna, podobnie jak pozyskiwanie biomasy ener-

getycznej z obszarów rolniczych czy jej import z krajów „trzeciego” świata, budzi wątpliwości natury moralnej. Znajduje to odzwierciedlenie w raportach organizacji humanitarnych oraz prawodawstwie europejskim i krajowym (raporty Action Aid, art. 17 dyrektywy RED). Z powyższych względów większość scenariuszy szacowania potencjałów biomasy leśnej uwzględnia pierwszoplanowy postulat zachowania dotychczasowej powierzchni lasów (lub systematycznego jej zwiększania) oraz pozyskiwania głównie odpadów i drewna pozaklasowego dla celów energetycznych. Do najważniejszych opracowań ostatnich lat poświęconych możliwości pozyskiwania biomasy leśnej należą prace: Asikainen i in. (2008), Mantau i in. (2008 i 2010), Steierer (2010). Szeroki zbiór danych dotyczących lasów i gospodarki leśnej znajduje się w bazach danych: TB FRA (2000 i 2005) i FORESTAT (FAO 2013).

Rozszerzenie Unii Europejskiej o nowe kraje członkowskie oraz bardziej zdecydowane prowadzenie polityki proekologicznej i wdrażanie OZE jako konkurenta dla dotychczasowych paliw konwencjonalnych stworzyło potrzebę bardziej kompletnych oszacowań zasobów odnawialnych źródeł energii, w tym szczególnie biomasy. Zostało to zrealizowane poprzez uruchomienie finansowania dużych projektów, głównie z funduszy 6 i 7 Programu Ramowego Unii Europejskiej oraz bezpośrednio przez Komisję Europejską w ramach mechanizmu Intelligent Energy – Europe: for a sustainable future (IEE). Do najbardziej znaczących projektów należą: RENEW, BEE, REFUEL, BiomassFuture.

Główną misją projektu RENEW, realizowanego w latach 2004–2007, było scharakteryzowanie różnych koncepcji produkcji paliw z biomasy. Polskim partnerem w tym projekcie było Europejskie Centrum Energii Odnawialnej (EC BREC), które koordynowało zadanie szacowania zasobów biomasy w Europie. Szacunki potencjałów słomy i roślin energetycznych wykonano dla jednostek NUTS-2. Potencjał leśnej biomasy odpadowej i odpadów z przemysłu drzewnego wykonano dla jednostek NUTS-0. Możliwości pozyskiwania biomasy scharakteryzowano również regionalnie dla poszczególnych krajów. Rezultaty uzyskane w wyniku realizacji projektu zostały opublikowane w serwisie internetowym (<http://www.renew-fuel.com>).

Celem projektu BEE, realizowanego w latach 2008–2010, była analiza i ujednoczenie istniejących metodologii oceny zasobów biomasy energetycznej w UE i krajach ościennych oraz istniejących baz danych (Böttcher i in. 2010). Rezultaty projektu opublikowane zostały w serwisie internetowym (<http://www.eu-bee.com>). Bliźniaczym projektem BEE był projekt CEUBIOM, w którym zebrano metody klasyfikacji danych geograficznych i danych uzyskiwanych zdalnie, służące do oceny potencjałów biomasy (<http://ceubiom.org>).

Projekt REFUEL miał na celu rozpoznanie rynku biopaliw, stworzenie biopaliwowej „mapy drogowej” spójnej z polityką unijną we współpracy z zainteresowanymi stronami z branży paliwowej i producentami biomasy. Jego rezultatem były również szacunki europejskiego potencjału produkcji biopaliw (de Wit i Faaij 2010, Fischer i in. 2010a i 2010b). Według wymienionych autorów w Europie można

wyprodukować od 1,7 do 12,8 EJ energii rocznie z biomasy pochodzącej z upraw energetycznych. Dodatkowo biomasa pochodząca z produkcji rolniczej i leśnictwa powinna dostarczyć paliwo o kaloryczności odpowiednio: 3,1–3,9 EJ i 1,4–5,4 EJ rocznie. W kalkulacjach tych uwzględniono również koszty tak uzyskiwanej energii: 5–15 euro·GJ⁻¹ w przypadku paliw pierwszej generacji; 1,5–4,5 euro·GJ⁻¹ dla paliw drugiej generacji; 1–7 euro·GJ⁻¹ za biomasę uboczną pochodzącą z rolnictwa i 2–4 euro·GJ⁻¹ za odpady z gospodarki leśnej. Podobnie jak w poprzednio przytaczanych szacunkach założono różne scenariusze, czego wynikiem są dość szerokie przedziały określonych potencjałów energetycznych i przewidywanych kosztów.

Celem projektu BiomassFuture, realizowanego w latach 2010–2012, było zdefiniowanie kluczowych czynników, które mogą wpływać na podaż, zapotrzebowanie i wykorzystanie biomasy w ciągu najbliższych dwudziestu lat (spełniające cele RED). Dodatkowo przeprowadzono rozpoznanie europejskiego rynku ciepła, energii z kogeneracji i rynków transportowych, dynamiki podaży i popytu, wpływu pośrednich zmian użytkowania gruntów, wykorzystania wody i społecznych aspektów dotyczących przyszłych dostaw biomasy itp. Jednym z ważnych rezultatów projektu jest „Atlas potencjału biomasy w Europie” (Elbersen i in. 2012), w którym zestawiono szereg opracowań kartograficznych prezentujących zróżnicowanie potencjałów biomasy zgeneralizowanych dla jednostek NUTS-2. Szacunki przeprowadzono dla horyzontów czasowych 2010, 2020 i 2030 r., przy założeniu różnych scenariuszy.

Analizując dotychczasowe zainteresowanie biomasą oraz jej wykorzystaniem na cele energetyczne, można zaobserwować tendencję odchodzenia od koncepcji lokalizowania plantacji i produkcji surowców przez rolnictwo i gospodarkę leśną. Obecnie wydaje się bardziej prawdopodobny scenariusz stworzenia rynku biomasy pochodzenia odpadowego. Kierunek ten jest najbardziej przyjazny środowisku i nie wywołuje kontrowersji natury moralnej, jak w przypadku spalania ziarna zbóż czy importu drewna z regionów tropikalnych i subtropikalnych w celach jego współspalania w kotłach węglowych. Opracowanie technologii efektywnej konwersji bioodpadów w biopłynny i biopaliwa wspierane jest przez Komisję Europejską, głównie w formie finansowania projektów badawczo-rozwojowych (np. BioBoost). Na zlecenie Komisji prowadzone są również oceny resztek biomasowych przez Wspólne Centrum Badawcze w Isprze (JRC). Efektem tych prac była wstępna ocena możliwości pozyskiwania słomy przeprowadzona przez Edwardsa i in. (2005), która została uzupełniona w pracy Scarlat i in. (2010). Analizy JRC dotyczyły oceny ilości generowania biomasy ubocznej z rolnictwa, ich pozyskiwania, wykorzystywania i dostępności na cele energetyczne. Badania uwzględniły produkcję zbóż, wieloletnią zmienność ich plonowania, różnice w stosunku plon – resztki pożniwne oraz potrzebę zachowania żyzności gleby poprzez pozostawianie koniecznej ilości resztek pożniwnych na polu. Wyniki wykazały znaczącą przestrzenną i czasową zmienność dostępności biomasy ubocznej na cele energetyczne. Średni potencjał tego asortymentu w 27 krajach UE oszacowano na 1530 PJ rocznie. Jednak w poszczególnych

latach wartości te mogą się wahać od 1090 do 1900 PJ, co średnio odpowiada 3,2% konsumowanej energii. Biorąc pod uwagę możliwą zmienność w dostawach biomasy, należy się spodziewać braku surowca w latach, w których plony zbóż będą znacząco niższe od średniej.

W tabeli 1 zestawiono chronologicznie prace zawierające szacunki potencjałów biomasy energetycznej. Ze względu na stosowanie przez autorów różnych kombinacji scenariuszy, asortymentów biomasy i horyzontów czasowych dla wykonywanych szacunków, zamieszczono w niej jedynie ogólną charakterystykę tych prac.

Tabela 1

Chronologiczna lista najważniejszych prac dotyczących szacunków potencjałów biomasy w Europie

Chronological list of the most important publications on the assessment of biomass potential in Europe

Rok; Year	Autorzy; Authors	Typ biomasy; Biomass type	Zakres czasowy; Period	Zakres przestrzenny; Spatial range
2001	Fischer i Schrattenholtzer	resztki z produkcji roślinnej, biomasa z użytków zielonych, biomasa leśna, biomasa uboczna z produkcji zwierzęcej, odpady komunalne; plant production residues, biomass from grasslands, forest biomass, animal production residues, municipal waste	1990, 2050	świat (11 regionów); world (11 regions)
2002	EEA	biodegradowalne odpady komunalne; biodegradable municipal waste	1995, 2016	AT*, BE, DK, FR, DE, EL, IE, IT, LU, NL, NO, PT, SP, SE, UK
2003	Nikolaou i in.	resztki z produkcji roślinnej, zwierzęcej, gospodarki leśnej, odpady przemysłowe i komunalne; crop production residues, livestock, forestry, industrial and municipal waste	2000	EU-16 + EE, LV, LT, PL, CZ, SK, SI, HU, RO, BG, CY
2003	van Velthuizen	biomasa rolnicza, wieloletnie plantacje roślin energetycznych; agricultural biomass, perennial energy plantations	2000	Europa
2004	Siemons i in.	resztki z produkcji roślinnej, zwierzęcej, gospodarki leśnej, odpady przemysłowe i komunalne; crop production residues, livestock, forestry, industrial and municipal waste	2000	EU-16 + EE, LV, LT, PL, CZ, SK, SI, HU, RO, BG, CY

cd. tab. 1

Rok; Year	Autorzy; Authors	Typ biomasy; Biomass type	Zakres czasowy; Period	Zakres przestrzenny; Spatial range
2004	de Noord i in.	rośliny energetyczne, biomasa leśna, obornik (bydło + drób, trzoda chlewna i owce), resztki z produkcji zbóż i roślin oleistych, odpady komunalne, odpady przemysłowe; energy crops, forest biomass, manure (cattle + poultry, pigs and sheep), cereals production residues and oilseeds, municipal waste, industrial waste	2000, 2030, 2050	UE-15 + NO
2005	Fischer i in.	ziarno zbóż, miskant, topola; cereals grain, miscanthus, poplar	2005	BG, CZ, EE, HU, LT, LV, PL, RO, SK, SI
2005	Edwards i in.	słoma; straw	2005	UE-27
2005	Thran i in.	potencjał biomasy pochodzenia leśnego, rolniczego i biomasy odpadowej; the potential of forest, agricultural and residues biomass	2000, 2010, 2030	UE-25 + BG, RO i TR
2005	Hoogwijk i in.	potencjał teoretyczny, geograficzny, techniczny, stosowany i ekonomiczny różnych rodzajów biomasy; theoretical, geographical, technical, implementation and economic potential of different types of biomass	2050, 2100	świat: raster 0,5°×0,5°, 17 regionów; world: raster 0,5°×0,5°, 17 regions
2006 2007 a/b/c	EEA	rośliny energetyczne, biomasa leśna i resztki z rolnictwa, odpady przemysłu i komunalne); energy crops, forest biomass and agricultural residues, industrial and municipal waste	2010, 2020, 2030	UE-15, UE-25
2006	Ericsson i Nilsson	odpady z leśnictwa, resztki z rolnictwa, rośliny energetyczne; waste from forestry and residues agriculture, energy crops	2000, 2010	UE-27 – (CY, MT) + UA
2007	Smeets i Faaij	biomasa leśna i odpady z gospodarki leśnej; forest biomass and forestry residues	2050	świat (11 regionów) world (11 regions)
2007	Smeets i in.	rośliny energetyczne, biomasa leśna, biomasa odpadowa energy crops, forest biomass, biomass waste	2050	świat (11 regionów) world (11 regions)

cd. tab. 1

Rok; Year	Autorzy; Authors	Typ biomasy; Biomass type	Zakres czasowy; Period	Zakres przestrzenny; Spatial range
2007	van Dam i in.	resztki z produkcji rolniczej i leśnictwa, drewno, rośliny energetyczne; residues from agricultural production and forestry, wood, energy crops	2007	EE, LT, LV, PL, RO, BG, HU, CZ i SK
2008	RENEW	odpady z gospodarki leśnej i przemysłu drzewnego, słoma, rośliny energetyczne; residues from forestry, wood, straw, and energy crops	2000, 2020	UE-27 + CH – (MT, CY)
2008	Mantau i in.	biomasa leśna; forestry biomass	2005, 2010, 2020	UE-27
2008	Asikainen i in.	biomasa leśna; forestry biomass	2007	UE-27
2008	Smit i in.	produktywność użytków zielonych; grassland productivity	2008	UE + TR
2009	Panoutsou i in.	resztki z produkcji roślinnej, zwierzęcej, gospodarki leśnej i odpady przemysłowe i komunalne; residues from production crops, livestock, forestry, industrial and municipal waste	2010, 2030	UE-27
2010 a/b	Fischer i in	biomasa pochodzenia rolniczego (rośliny energetyczne, rośliny przemysłowe, słoma); agricultural biomass (energy crops, industrial crops, straw)	2000, 2030	UE-27, NO, CH, UA
2010	De Wit i Faaij	szacunki kosztów i podaży biomasy ligninocelulozowej (SCR i trawy), roślin przemysłowych, resztek z rolnictwa (słoma), biomasy leśnej; estimates of the cost and supply of lignocellulose biomass (SCR and grass), industrial crops, agricultural residues (straw), forest biomass	2005, 2030	UE-27 + UA
2010	Mantau i in.	biomasa leśna; forest biomass	2005, 2010, 2020, 2030	UE-27
2010	Steierer	biomasa leśna; forest biomass	2005	UE-27
2010	Scarlat i in.	resztki z rolnictwa (słoma); agricultural residues (straw)	2010	UE-27
2011	Vis i in.	harmonizacja wszystkich publikowanych metod i szacunków zasobów biomasy; the harmonization of all published methods and estimates of biomass resources	2010	UE-27 + kraje ościennie EU-27 + neighboring countries

cd. tab. 1

Rok; Year	Autorzy; Authors	Typ biomasy; Biomass type	Zakres czasowy; Period	Zakres przestrzenny; Spatial range
2012	Elbersen i in.	rośliny energetyczne, obornik, słoma, pozostałe resztki rolnicze, biomasa leśna, odpady przemysłu drzewnego, biomasa przydrożna, odpady przemysłu spożywczego, odpady komunalne; energy crops, manure, straw, other agricultural residues, forest biomass, wood waste, biomass roadside, waste from the food industry, municipal waste,	2010, 2020, 2030	UE-27 (NUTS-2)

* AT – Austria; Austria	ES – Hiszpania; Spain	NL – Holandia; the Netherlands
BE – Belgia; Belgium	FI – Finlandia; Finland	NO – Norwegia; Norway
BG – Bułgaria; Bulgaria	FR – Francja; France	PL – Polska; Poland
CH – Szwajcaria; Switzerland	HU – Węgry; Hungary	PT – Portugalia; Portugal
CY – Cypr; Cyprus	IE – Irlandia; Ireland	RO – Rumunia; Romania
CZ – Czechy; Czech Republic	IT – Włochy; Italia	SE – Szwecja; Sweden
DE – Niemcy; Germany	LT – Litwa; Lithuania	SI – Słowenia; Slovenia
DK – Dania; Denmark	LU – Luksemburg; Luxembourg	SK – Słowacja; Slovakia
EE – Estonia; Estonia	LV – Łotwa; Latvia	TR – Turcja; Turkey
EL – Grecja; Greece	MT – Malta; Malta	UK – Wielka Brytania; United Kingdom

Przegląd prac modelujących i szacujących zasoby biomasy energetycznej w Europie wskazuje na istnienie czterech wiodących ośrodków naukowych, będących liderami w tej dziedzinie. Są to: Międzynarodowy Instytut Stosowanej Analizy Systemów w Wiedniu, Instytut Kopernika będący jednym z instytutów naukowych Uniwersytetu w Utrechcie, Wspólne Centrum Badawcze w Isprze oraz Europejska Agencja Środowiska w Kopenhadze.

Analiza zasobów biomasy w skali europejskiej jest istotna z uwagi na założenia wspólnej polityki rolnej. Jednak również duże znaczenie mają studia regionalne, które pozwalają weryfikować i uaktualniać modele paneuropejskie. Przykładami analiz prowadzonych metodami geoprzetwarzania mogą być prace: prezentujące łączne zastosowanie systemu modelowania i GIS (geograficzny system informacji) w szacowaniu zasobów biomasy (Parikka 2000); szacujące potencjał biomasy dla produkcji energii elektrycznej (Voivontas i in. 2001, Bravo i in. 2007); z zakresu ekonomiki produkcji i użycia biomasy (Ahtikoski i in. 2008); z zakresu logistyki (Frombo i in. 2009); szacujące możliwy potencjał biomasy pochodzącej z upraw energetycznych (Fiorese i Guariso 2010); szacujące możliwy potencjał biomasy pochodzącej z gospodarki leśnej (Vainio i in. 2009).

W Polsce kompleksową ocenę biomasy energetycznej pochodzącej z rolnictwa wykonano w IUNG-PIB w Puławach. Analiza dostępności słomy na cele energetyczne została wykonana na podstawie danych GUS w skali województw (Kuś i in. 2006). W kalkulacjach uwzględniono pierwszoplanowe wykorzystanie słomy

na potrzeby konserwacji gleby, chowu zwierząt i wykorzystania w przemyśle spożywczym (np. w procesie produkcji pieczarek). W pracy tej oszacowano, że ze zbiorów słomy w Polsce, które wahają się, według danych GUS-u z lat 2002–2005, od 23 do 30 mln ton (GUS 2013), na cele energetyczne można realnie przeznaczyć 4–5 mln ton słomy rocznie. Produkcja biomasy na cele energetyczne w rolnictwie wiąże się z konkurencyjnością w stosunku do produkcji żywności, co skutkuje koniecznością wydzielenia na ten cel części gruntów (Stuczyński i in. 2008). Realizacja przez Polskę regulacji prawnych (UE oraz krajowych) wymaga według szacunków Kusia i Fabera (2007) przeznaczenia ponad 400 tys. ha na produkcję rzepaku (przetwarzanego na estry), ok. 500 tys. ha na produkcję kukurydzy, pszenżyta, żyta (bioetanol) oraz ok. 660 tys. ha na plantacje wieloletnich roślin energetycznych. W IUNG-PIB Puławy wykonano również analizę obszarów potencjalnie przydatnych do uprawy wierzby i ślazuwca pensylwańskiego w Polsce (Jadczyński i in. 2008, Pudelko i Faber 2010). Prace te uszczegółowiono poprzez przeprowadzenie oceny potencjału produkcji biomasy z upraw roślin energetycznych (Pudelko i in. 2012). W analizie zastosowano metody geoprzetwarzania danych geograficznych i statystycznych (Faber i Pudelko 2010). Wyniki wizualizowano metodą kartodiagramu dla podstawowych jednostek administracyjnych (gmin wiejskich). Potencjał techniczny powierzchni upraw wieloletnich został określony na ok. 1,6 mln ha. Potencjały ekonomiczne biomasy roślin energetycznych w skali powiatów oszacował Faber i in. (2012). W IUNG-PIB Puławy prowadzone są również badania dotyczące wpływu zmian klimatycznych na możliwości uprawy roślin energetycznych (Syp i in. 2011, Borzęcka-Walker i in. 2012a) oraz skutków rolno-środowiskowych pozyskiwania biomasy energetycznej z rolniczej przestrzeni produkcyjnej (Borzęcka-Walker i in. 2011 i 2012b, Syp i in. 2012).

Ilość przemysłowej biomasy powstającej w polskim przemyśle drzewnym określił na podstawie opracowania Instytutu Energetyki Odnawialnej (EC BREC), Janowicz (2006). Analiza objęła następujące rodzaje biomasy: drewno kawałkowe, trociny i wióry, pył drzewny oraz korę. Łącznie potencjał ten został oceniony na 6,8 mln m³. Janowicz, powołując się na szacunki Generalnej Dyrekcji Lasów Państwowych, wykazał, że całkowity potencjał techniczny biomasy z leśnictwa możliwy do bezpośredniego wykorzystania na cele energetyczne wynosi ok. 6,1 mln m³ (41,6 PJ). Według analiz Instytutu Technologii Drewna w Poznaniu, potencjał techniczny drewna odpadowego z przemysłu drzewnego oraz innych źródeł szacować można na ok. 8,3 mln m³ (58,1 PJ). Natomiast potencjał techniczny biogazu szacuje się na ok. 34 PJ, w tym największy jest udział biogazu rolniczego (15,2 PJ) oraz wysypiskowego (11,5 PJ).

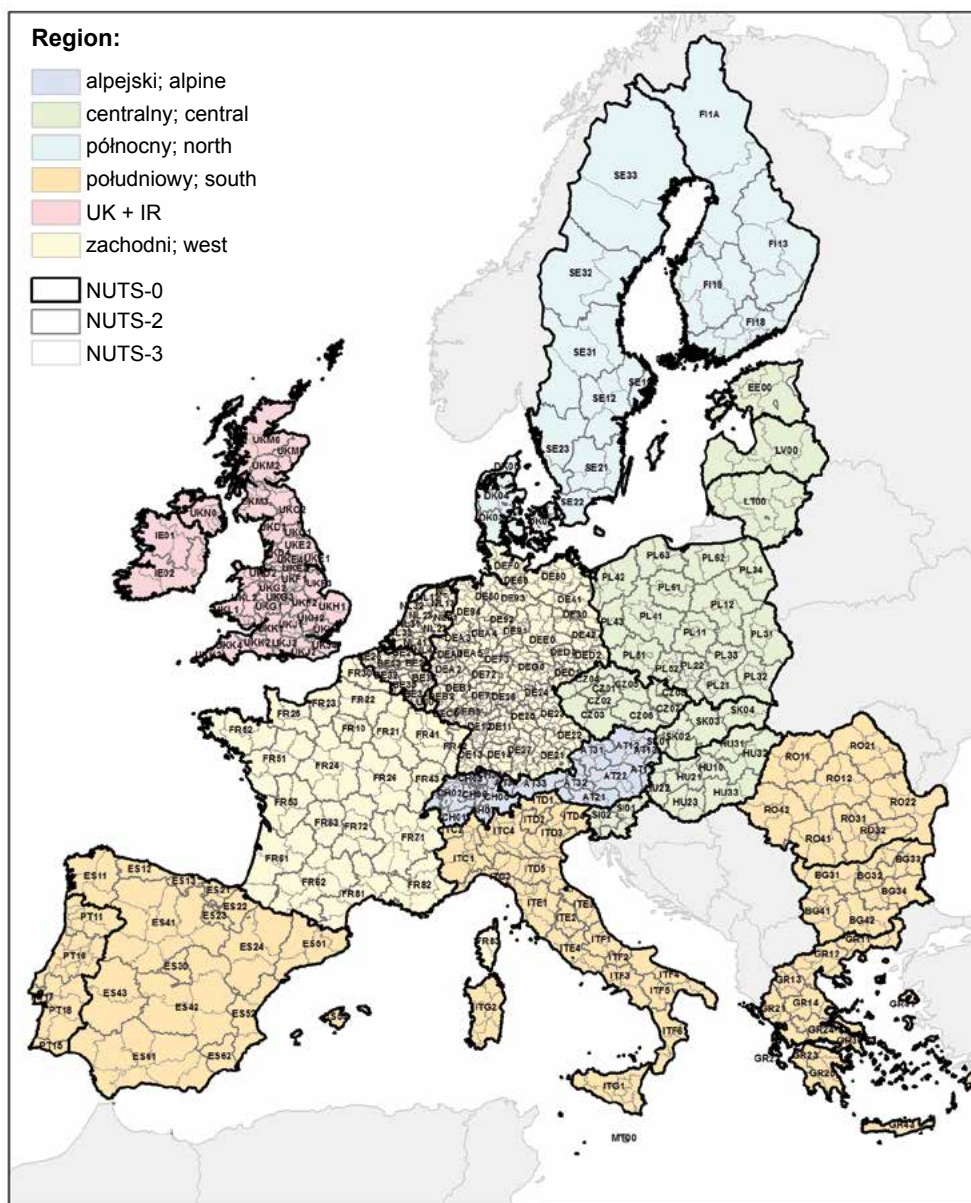
Szacunki dostępności biomasy w aspekcie polityki energetycznej Polski przedstawiono również w kluczowych dokumentach strategicznych. W Krajowym Planie Działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych (MG 2010) scharakteryzowano potencjał i planowane wykorzystanie zasobów OZE do 2020 r. Dokument „Polityka energetyczna Polski do 2030 roku” (M.P. 2010) rozszerza założenia krajowej polityki energetycznej o kolejną dekadę.

4. ANALIZY PRZESTRZENNE POTENCJAŁÓW BIOMASY W EUROPIE

Szacunki potencjałów biomasy możliwej do wykorzystania na cele energetyczne przeprowadzono dla następujących jej rodzajów: biomasy pochodzenia rolniczego, odpadów z leśnictwa, biomasy z konserwacji przyrody, odpadów komunalnych oraz odpadów poprodukcyjnych pochodzących z wybranych gałęzi przemysłu spożywczego i drzewnego.

Modelowanie przeprowadzono na podstawie ogólnie dostępnych baz danych statystycznych i przestrzennych, których charakterystyki przedstawiono w podrozdziałach odnoszących się do poszczególnych asortymentów biomasy. Przyjęto, że dane wynikowe przedstawione zostaną w postaci kartodiagramów dla najmniejszych jednostek terytorialnych, dla których dostępne są dane statystyczne. Regiony o zbliżonym potencjale ekonomicznym zostały ustalone w 2003 r. regulacją Parlamentu Europejskiego, w celach prowadzenia przez Eurostat zharmonizowanej statystyki Unii Europejskiej (NUTS 2003). Regiony te, nazwane „Terytorial Units for Statistics” (NUTS), tworzą 4 poziomy szczegółowości: NUTS-0, NUTS-1, NUTS-2 i NUTS-3. Najdokładniejsze przestrzennie statystyki dostępne są dla poziomu NUTS-3, dotyczy to jednak tylko wybranych zbiorów danych. Z tego względu modelowanie z użyciem danych statystycznych nie zawsze jest możliwe. W takich przypadkach jedyną możliwością jest wykorzystanie skorelowanych, z analizowaną zmienną, pomocniczych danych (posiadających format przestrzenny). Na ich podstawie możliwe jest wykonanie redystrybucji wartości z jednostek większych na jednostki mniejsze (w niej zawarte) – np. z NUTS-2 do NUTS-3.

Modelowanie przeprowadzono dla 27 państw Unii Europejskiej oraz Szwajcarii, z pominięciem jednostek administracyjnych znajdujących się geograficznie poza kontynentem europejskim (Mauritius, Wyspy Kanaryjskie, Gujana Francuska itp.). Zasięg analiz przedstawiono na mapie (rys. 1). Regiony NUTS-3 zdefiniowane jako jednostki terytorialne o populacji zawierającej się w przedziałach 150–800 tys. mieszkańców zostały wyodrębnione na bazie już istniejących podziałów administracyjnych w poszczególnych państwach (NUTS 2011). Z tego powodu posiadają zróżnicowaną powierzchnię, co szczególnie widoczne jest przy porównaniu krajów skandynawskich z Niemcami, krajami Beneluksu lub Wielką Brytanią. Ze względu na te różnice w pracy założono, że wyniki prezentowane będą również dla wartości znormalizowanych, czyli wyrażonych w jednostkach masy (t) na 1 km². Mapy potencjałów opracowano metodą kartodiagramu, przyjmując dla każdego z przypadków przedziały klasowe dobrane indywidualnie do wizualizowanej zmienności przestrzennej. Kierując się założeniami dotyczącymi wymaganych wielkości zasobów biomasy w regionach, koniecznych dla ich efektywnej konwersji w energię, przyjęto następujące przedziały: 10, 60 oraz 200 tys. ton (BioBoost 2011). Dla każdego szacowanego rodzaju potencjału biomasy podano liczebność regionów w danym przedziale.



Rys. 1. Granice NUTS-0, NUTS-2 i NUTS-3 oraz podział Europy na regiony według RENEW (2008). Na mapie przedstawiono obszar będący przedmiotem analizy. Boundaries of NUTS-0, NUTS-2, NUTS-3, and the division of Europe into regions according to RENEW (2008). Map shows the area subject to analysis

W przypadku modelowania nadwyżek słomy oraz odpadów z gospodarki leśnej i przemysłu drzewnego wykorzystano dane, które zostały opracowane w projekcie RENEW dla jednostek NUTS-0, NUTS-1 i NUTS-2. Dane te przeskalowywano do jednostek NUTS-3, a w ich aktualizacji wykorzystano przyjęty w projekcie RENEW podział regionalny Europy na sześć stref (rys. 1). Wyniki analiz, prezentowane w niżej przedstawionych podrozdziałach, zasiliły przestrzenną bazę danych GIS opracowywaną na potrzeby realizacji projektu BioBoost.

Wszystkie szacunki potencjałów biomasy wykonano dla jej średniej wilgotności, przy której jest pozyskiwana. Dzięki temu wyniki bezpośrednio odnoszą się do masy surowców, która musi być uwzględniona w procesie logistyki i transportu. Przy wyborze współczynnika pozwalającego na określenie kaloryczności biomasy (dla jej typowej wilgotności) wykorzystano głównie bazę danych o biomacie i odpadach opracowaną przez ECN. Ta interaktywna baza pozwala na obliczenie wartości opałowej wielu rodzajów substancji dla wprowadzonych do kalkulatora wartości wilgotności (Phyllis 2). W tabeli 2 zestawiono przyjęte w pracy wartości opałowe biomasy dla szacowanych potencjałów (kolumna 3), przy wilgotności jej pozyskiwania (kolumna 4). W kolumnie 2 podano maksymalne wartości opałowe dla stanu kompletnego wysuszenia biomasy (tzw. suchej masy).

Tabela 2

Wartość opałowa biomasy
Calorific value of biomass

Biomasa; Biomass	LHV dry ¹ (GJ·t ⁻¹)	LHV ar ² (GJ·t ⁻¹)	Wilgotność; Moisture (%)	Źródło informacji; Source
1	2	3	4	5
Kompostowany obornik bydłęcy; Composted pig manure	11,2–14,1	0,3–0,9	80	Phyllis 2
Kompostowany obornik trzody chlewnej; Composted cattle manure	13,4	1,2	77	Phyllis 2
Słoma; Straw	18,1 (daf) ³	13,1	15	Phyllis 2, RENEW (2008)
Siano; Hay	16,2	13,4	15	Phyllis 2
Odpady z przecinki plantacji wieloletnich; Biomass from maintenance of urban greenery	18,5	9,9	40	Phyllis 2, Voivonas i in. (2001)
Drewno odpadowe; Firewood	20,0	7,2	57	Phyllis 2, RENEW (2008)

cd. tab. 2

Biomasa; Biomass	LHV dry ¹ (GJ·t ⁻¹)	LHV ar ² (GJ·t ⁻¹)	Wilgotność; Moisture (%)	Źródło informacji; Source
Biomasa z pielęgnacji zieleni miejskiej; Biomass from maintenance of urban greenery	17,6	14,8	15	Phyllis 2
Biomasa z przydroży; Road side biomass	17,6	14,8	15	Phyllis 2
Biodegradowalne odpady komunalne; Biodegradable municipal waste	15,9	6,7	50	Phyllis 2, BIOBIB
Odpady przemysłu drzewnego; Wood industry waste	20,0	7,2	57	Phyllis 2, RENEW (2008)
Odpady przemysłu spożywczego /przetwórstwo oliwek – pestki/; Food industry waste /olive stones/	20,6	5,6	65	Phyllis 2, Mahro i Timm (2007)
Odpady przemysłu spożywczego /przetwórstwo winogron/; Food industry waste /grape processing/	20,5	2,2	80	Phyllis 2, Mahro i Timm (2007)

¹ LHV dry – wartość opałowa (ciepło spalania) dla suchej masy; energy value for dry matter

² LHV ar – wartość opałowa (ciepło spalania) dla określonej wilgotności; energy value for a specific humidity

³ daf – sucha masa, bez frakcji popiołu; dry matter, excluding the fraction of ash

4.1. BIOMASA UBOCZNA Z ROLNICTWA

Podstawowym celem rolnictwa jest roślinna i zwierzęca produkcja żywności. W obu przypadkach otrzymywana jest biomasa, którą można podzielić na trzy grupy:

1. Żywność (produkty lub półprodukty roślinne i zwierzęce);
2. Biomasa wtórnie wykorzystywana w rolnictwie (np. słoma przeznaczona dla chowu zwierząt, nawozy naturalne);
3. Biomasa możliwa do wykorzystania jako odnawialne źródło energii.

W ostatnich latach polityka energetyczna Unii Europejskiej stworzyła zapotrzebowanie na produkcję biomasy na cele energetyczne. W ten sposób powstał w rolnictwie trzeci kierunek produkcji.

W niniejszym opracowaniu przedstawiono szacunki możliwości pozyskania biomasy z czterech źródeł:

1. Chowu zwierząt;
2. Produkcji roślinnej (słoma);
3. Pielęgnacji sadów, plantacji drzew oliwkowych oraz winnic;
4. Potencjalnych plantacji wieloletnich roślin energetycznych.

4.1.1. Biomasa uboczna z produkcji zwierzęcej

Cel i definicje

Ocena ilości i dostępności biomasy ubocznej z produkcji zwierzęcej w Europie jest utrudniona ze względu na różnice w chowie zwierząt oraz w wykorzystaniu nawozów naturalnych w produkcji roślinnej poszczególnych państw europejskich. Różnice te wynikają zarówno z odmiennych warunków klimatycznych i geograficznych, jak też ekonomicznych i kultury rolnej. Kompleksową ocenę zagospodarowania obornika przeprowadzono w ramach sieci naukowej RAMIRAN (Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture) (Menzi 2002). Kolejne badania podjęte na zlecenie Komisji Europejskiej (Lyngsø i in. 2011) przeprowadzono na potrzeby wsparcia wdrażania dyrektywy azotanowej i ramowej dyrektywy wodnej (dyrektywa 91/676/EEC i 2008/32/WE). Dyrektywa azotanowa jest ściśle powiązana z polityką UE w zakresie ochrony wód, powietrza oraz przeciwdziałania zmianom klimatu. W przypadku rolnictwa założono, że hodowla i chów zwierząt gospodarskich przyczyniają się między innymi do emisji amoniaku, co ma wpływ na zdrowie ludzi i środowisko naturalne, ponieważ wraz z innymi substancjami zanieczyszczającymi (dwutlenkiem siarki, tlenkami azotu, lotnymi związkami organicznymi) powodują zakwaszanie gleb, eutrofizację wód i zanieczyszczenie ozonem warstwy przyziemnej atmosfery. Pełne wdrożenie dyrektywy azotanowej ma się przyczynić do zmniejszenia do 2020 r. emisji amoniaku o 14% w stosunku do poziomu z 2000 r., ponieważ środki ograniczające, głównie dotyczące ilości stosowanych nawozów, mają pozytywny wpływ zarówno na zmniejszenie ubytku azotanów przez spływy powierzchniowe i przenikanie do wód, jak również emisji amoniaku do powietrza (dyrektywa 91/676/EEC). Przyjęcie dyrektywy azotanowej nakłada na rolnictwo w każdym z krajów UE obowiązek opracowania kodeksu dobrych praktyk oraz nieprzekraczania dawki 170 kg N·ha⁻¹ wnoszonego w nawozach naturalnych.

Nawozy naturalne są źródłem substancji organicznej oraz bogatej i korzystnej flory bakteryjnej. Mają uniwersalne i wszechstronne zastosowanie, ponieważ zawierają wszystkie niezbędne w żywieniu roślin składniki pokarmowe, substancję organiczną oraz bogatą mikroflorę, która pozytywnie wpływa na aktywność mikrobiologiczną gleby. Jednakże w intensywnym systemie uprawy nawóz naturalny nie zawsze jest w stanie zastąpić szybko działające nawozy mineralne. Ponadto nawozy naturalne przed użyciem muszą być odpowiednio przefermentowane, a obornik nie powinien być zbyt słomiasty. Stosowanie nawozów naturalnych, zgodnie z założeniami zasad Dobrej Praktyki Rolniczej, może zmniejszyć dawki nawozów mineralnych (jest bardziej ekonomiczne).

Celem przeprowadzonych analiz była ocena potencjału technicznego nadwyżek biomasy ubocznej z produkcji zwierzęcej. Nadwyżki oszacowane zostały dla dwu scenariuszy zakładających maksymalne i intensywne wykorzystanie nawozów

naturalnych na użytkach rolnych. W przeprowadzonym modelowaniu założono priorytet stosowania nawozów naturalnych w stosunku do nawozów mineralnych. W pierwszym scenariuszu biomasa uboczną zdefiniowano jako nadwyżkę odchodów zwierzęcych, która pozostaje po ich wykorzystaniu jako nawóz naturalny, do granicy maksymalnej dawki określonej w dyrektywie azotanowej (170 kg N·ha⁻¹ UR). W drugim mniej restrykcyjnym scenariuszu założono, że rolnicy mogą być zainteresowani alternatywnym wykorzystaniem odpadów z produkcji zwierzęcej tam, gdzie produkcja azotu związanego z ilością odchodów zwierzęcych przekracza 85 kg N·ha⁻¹ UR. Wartość tę wyznaczono jako połowę maksymalnej dawki azotu na hektar. Według Elbersena i in. (2012), rolnicy zainteresowani są zbywaniem nadwyżek nawozów naturalnych już przy osiągnięciu progu 100 kg N·ha⁻¹. Jednak w regionach, gdzie intensywnie stosuje się nawozy mineralne, próg ten może być niższy. Dotyczy to zwłaszcza rejonów ukierunkowanych na produkcję zwierzęcą, gdzie w strukturze upraw dominują użytki zielone (wypasane lub na produkcję pasz). Regiony tego typu stanowią również bazę surowcową dla alternatywnych sposobów pozyskiwania energii odnawialnej (np. piroliza).

Potencjały oszacowano dla 3 najważniejszych typów tego rodzaju biomasy: z chowu bydła, trzody chlewnej oraz drobiu, z uwzględnieniem generowania w procesie produkcji czterech frakcji nawozów naturalnych: solid manure, liquid manure, slurry, deep litter. Podział ten został przyjęty według Lyngsø i in. (2011). Dla dokładnej charakterystyki tej klasyfikacji i stopnia jej powiązania z klasyfikacją polską zdefiniowaną w ustawie o nawozach i nawożeniu (Dz. U. nr 147, poz. 1033, 2007), niżej przedstawiono jej krótkie definicje.

Livestock manure – nawóz naturalny otrzymywany z chowu zwierząt gospodarskich. Organiczny materiał składający się głównie z mniej lub bardziej jednorodnej mieszanki kału i moczu zwierząt gospodarskich, ze ściółki, jak również z innego materiału, który byłby odrzucony jako odpad z produkcji zwierzęcej, np. pozostałości z roślin pastewnych, ścieki kiszonek, resztki wody. Nawóz może również być bardziej lub mniej rozcieńczony wodą deszczową wchłoniętą podczas przechowywania. *Livestock manure* dzieli się na cztery, poniżej zdefiniowane frakcje:

- *solid manure* – podgrupa surowców pochodzących z chowu zwierząt gospodarskich. Zazwyczaj o zawartości suchej masy 20–30%, usuwana z pomieszczeń hodowlanych codziennie, umieszczana na płytach obornikowych z kanałami do zbierania ścięków i wody deszczowej. Definicja *solid manure* najlepiej odpowiada polskiej definicji obornika.
- *liquid manure* – podgrupa surowców oddzielonych od obornika pochodzącego z chowu zwierząt gospodarskich. Zazwyczaj o zawartości suchej masy 2–10%, zbierana poprzez rurociągi grawitacyjnie lub poprzez pompowanie, umieszczana w zbiorniku z pokrywą w celu zmniejszenia emisji amoniaku. Definicja *liquid manure* najlepiej odpowiada polskiej definicji gnojówki.
- *slurry* – podgrupa surowców oddzielonych od obornika pochodzącego z chowu zwierząt gospodarskich. Zazwyczaj o zawartości suchej masy 2–10%. Mieszanka

ka kału i moczu zwierząt gospodarskich z małym dodatkiem (słoma, trociny) i znacznymi ilościami wody oraz ewentualnie z domieszką niewykorzystanych pasz. Zbierana poprzez rurociągi grawitacyjnie lub pompowanie, umieszczana w zbiorniku z pokrywą w celu zmniejszenia emisji amoniaku. Definicja *slurry* najlepiej odpowiada polskiej definicji gnojowicy.

- *deep litter* (głęboka ściółka) – podgrupa obornika z chowu zwierząt gospodarskich, pochodzi z pomieszczeń hodowlanych, gdzie zwierzęta trzymane są na stanowiskach pokrytych słomą lub podobnym materiałem, do 1 m głębokości. Obornik usuwany jest w odstępach maksymalnie do jednego roku, kiedy zwierzęta są wyprowadzane z pomieszczeń do uboju lub na wypas. Ulega on naturalnemu procesowi kompostowania, przy czym często jego temperatura wzrasta do 50°C lub więcej. Zawartość suchej masy wynosi zazwyczaj ponad 30%. Obornik z głębokiej obory jest stabilny i może być przechowywany na gołej ziemi w pryzmach polowych bez ryzyka wystąpienia wycieku. Definicja *deep litter* najlepiej odpowiada polskiej definicji obornika słomiastego (z głębokich pomieszczeń inwentarskich).

Potencjał techniczny biomasy ubocznej z produkcji zwierzęcej, możliwy do wykorzystania na cele energetyczne, zdefiniowano jako różnicę między potencjałem teoretycznym a zapotrzebowaniem na nawozy naturalne w rolnictwie (wg założonych scenariuszy).

Potencjał teoretyczny biomasy ubocznej z produkcji zwierzęcej zdefiniowano jako rzeczywistą produkcję obornika, obornika słomiastego, gnojówki i gnojowicy w chowie bydła, trzody chlewnej i drobiu.

Metody

Potencjał teoretyczny biomasy ubocznej z produkcji zwierzęcej oszacowany dla regionów NUTS-3 na podstawie wzoru opracowanego w projekcie BEE informuje o bezwzględnej ilości wytwarzanej biomasy. Ze względu na późniejsze analizy został on obliczony oddzielnie dla biomasy uzyskiwanej w chowie bydła (Formuła 1.1.1), trzody chlewnej (Formuła 1.1.2) i drobiu (Formuła 1.1.3). Wartości współczynników wzorów zestawiono w tabeli 3.

Formuła 1.1:

$$TCP_Manure = (M_cattle + M_pig + M_poultry)$$

$$\text{Formuła 1.1.1: } M_cattle = \sum NHeads_i \cdot LUs_i \cdot MpH_i \cdot AHD_i \cdot Avi \cdot UFi / 1000$$

$$\text{Formuła 1.1.2: } M_pig = \sum NHeads_i \cdot LUs_i \cdot MpH_i \cdot AHD_i \cdot Avi \cdot UFi / 1000$$

$$\text{Formuła 1.1.3: } M_poultry = \sum NHeads_i \cdot LUs_i \cdot MpH_i \cdot AHD_i \cdot Avi \cdot UFi / 1000$$

gdzie:

TCP_Manure = potencjał teoretyczny biomasy ubocznej w chowie zwierząt (t·rok⁻¹); theoretical potential of manure production (t·year⁻¹),

M_{cattle} = potencjał teoretyczny biomasy ubocznej w chowie bydła; theoretical potential of cattle manure production,

M_{pig} = potencjał teoretyczny biomasy ubocznej w chowie trzody chlewnej; theoretical potential of pig manure production,

$M_{poultry}$ = potencjał teoretyczny biomasy ubocznej w chowie drobiu; theoretical potential of poultry manure production,

$NHeads_i$ = pogłowie dla i rodzaju inwentarza (sztuki); number of heads for the i type of livestock,

LU_s_i = ilość jednostek przeliczeniowych na sztukę i rodzaju inwentarza; number of livestock units per head for the i type of livestock,

MpH_i = szacunkowa ilość obornika generowana przez jednostkę inwentarzową i , w kg·dzień⁻¹; amount of manure per livestock unit for the i type of livestock, in kg·day⁻¹,

AHD_i = liczba dni w roku chowu zwierząt w budynkach gospodarczych; number of animal housing days per year,

i = inwentarz; type of livestock,

Av_i = współczynnik dostępności; jest to część obornika, która może zostać pozyskana, ze względu na straty podczas składowania przyjęto $Av_i = 0,75$; availability factor: ratio of manure that can technically be collected from stables due to losses during storage is assumed that $Av_i = 0,75$,

UF_i = współczynnik wykorzystania (procent obornika, który nie jest istotny w wykorzystaniu alternatywnym), przyjęto $UF_i = 0,97$; use factor (percentage of manure that has no important alternative uses), is assumed $UF_i = 0,97$.

Tabela 3

Wartości współczynników Formuł 1.1.1–1.1.3
Initial values of Formulas 1.1.1–1.1.3

Rodzaj inwentarza (i)	Type of livestock (i)	LU _s	MpH _i	AHD _i
Krowy mleczne	Dairy cows	1	59,2	150
Cielęta < 1 roku	Bovine animals under 1 year old	0,4	6,4	150
Cielęta 1–2 roczne, byki	Bovine animals 1 year or over but under 2 years, male	0,7	29,6	150
Cielęta 1–2 roczne, jałówki	Bovine animals 1 year or over but under 2 years, female	0,7	29,6	150
Cielęta ponad 2 roczne, byki	Bovine animals 2 year old and over, male	1	32,1	150
Cielęta ponad 2 roczne, jałówki	Bovine animals 2 year old and over, heifers	0,8	32,1	150
Krowy inne	Other cows	0,8	31,5	150
Trzoda chlewna	Pigs	0,3	5,5	365
Drób	Poultry	0,02	0,13	365

źródła; sources: BEE (Böttcher i in. 2010), Eurostat

Zapotrzebowanie na nawożenie naturalne modelowano w następujących krokach:

1. Obliczenie zawartości azotu dla frakcji nawozów otrzymywanych z chowu bydła, trzody chlewnej i drobiu;
2. Oszacowanie możliwej intensywności nawożenia naturalnego, poprzez określenie maksymalnej dawki według zawartości azotu na 1 hektar użytków rolnych.

Krok 1

Na podstawie pracy Lyngsø i in. (2011) określono udział czterech frakcji nawozu organicznego z produkcji zwierzęcej, wytwarzanych przez bydło, trzodę chlewną i drób (tab. 4). W tabeli tej podano również zawartości azotu w każdej frakcji nawozu. Jednakże przyjęcie tych średnich wartości w analizach wykonywanych dla NUTS-3 prowadzi do znacznych błędów szacunkowych ze względu na duże różnicowanie w systemach produkcji zwierzęcej poszczególnych państw europejskich. Na podstawie prac wykonanych na zlecenie Organizacji Narodów Zjednoczonych do spraw Wyżywienia i Rolnictwa (FAO) przez sieć naukową Research Network on Recycling of Agricultural and Industrial Residues in Agriculture (RAMIRAM) można stwierdzić, że dotyczy to zwłaszcza proporcji frakcji płynnej z chowu trzody chlewnej (Menzi 2002). W Europie Zachodniej powszechne są chlewnie bezściółkowe. W tym systemie produkcji średnia krajowa frakcja płynna wynosi ponad 95%. Dotyczy to takich krajów, jak: Francja, Belgia, Irlandia, Holandia, Włochy i Hiszpania. W krajach Europy Środkowej wartości te wahają się od 65 do 80%, w Polsce nawet poniżej 50%. Również duże różnice, choć już nie tak znaczące regionalnie, występują w proporcjach frakcji z chowu bydła (Menzi i in. 1998).

Tabela 4

Frakcje nawozów naturalnych i zawartość w nich azotu
Fractions of natural fertilisers and their nitrogen content

Typ hodowli; Type of livestock	Obornik; Solid manure		Gnojówka; Liquid manure		Gnojowica; Slurry		Obornik; słomiasty Deep litter		Średnia zawartość azotu w nawozie; Average N content in manure kg N·t ⁻¹ **
	%*	kg N·t ⁻¹ **	%*	kg N·t ⁻¹ **	%*	kg N·t ⁻¹ **	%*	kg N·t ⁻¹ **	
Bydło; Cattle	27	6,39	5	4,61	41	5,3	27	9,74	6,75
Trzoda; Pigs	8	11,09	5	3,08	84	4,31	3	2,41	4,73
Drób; Poultry	0	0	0	0	3	6,18	97	19,86	19,45

źródła; sources: * Lyngsø i in. (2011) na podstawie badań Bioteau i in. (2010); ** Agro Technology Atlas (2013)

Bezwzględne zawartości azotu w oborniku, gnojówce i gnojowicy dla bydła, trzody chlewnej i drobiu obliczono, mnożąc potencjał teoretyczny (M_{cattle} , M_{pig} , $M_{poultry}$) w regionach przez średnią zawartość azotu w danym typie nawozu. Udział frakcji, dla poszczególnych państw, został określony na podstawie danych Menzi (2002). W publikacji tej przedstawiono jedynie proporcję między frakcją płynną i suchą, dlatego też, ze względu na brak bardziej szczegółowych danych, w opracowaniu własnym przyjęto taką proporcję między obornikiem i obornikiem słomiastym oraz gnojówką i gnojowicą, jak podano w tabeli 4. Poniższy przykład ilustruje sposób obliczenia zawartości azotu w gnojówce:

Zawartość azotu w gnojówce bydłowej (NUTS-3) = M_{cattle} (NUTS-3) · 4,61 kg N (w 1 tonie gnojówki) · %liquid · 100

gdzie:

%liquid = średni udział gnojówki w odchodach zwierzęcych w danym kraju opracowany na podstawie mapy publikowanej przez Menzi (2002).

Krok 2

Założono, że nawozy zostaną zastosowane w następującej kolejności: pomiot ptasi, gnojówka, gnojowica, obornik trzody chlewnej, obornik słomiasty i obornik bydłowy, obornik trzody chlewnej. O kolejności użycia poszczególnych typów obornika decyduje zawartość azotu podana w tabeli 4. W modelowaniu aplikacja nawozów naturalnych prowadzona jest do czasu osiągnięcia wartości krytycznych założonych w scenariuszu, tj. 85 kg N·ha⁻¹. Obliczenia przeprowadzono z użyciem algorytmu, który można opisać poniższym kodem skryptowym języka VB:

```
sumaN = 0
```

```
i = 1
```

```
Do While sumaN < scen_max
```

```
    If [N.i] < scen_max - sumaN
```

```
    Then    sumaN = sumaN + [N.i]
```

```
    Else    [P.i] = [N.i] - (scen_max - sumaN)
```

```
    sumaN = scen_max
```

```
    End If
```

```
    i = i+1
```

```
Loop
```

gdzie:

$sumaN$ = zmienna, sumująca wykorzystaną dawkę (kg N·ha⁻¹) na użytkach rolnych NUTS-3; variable, summing up the dose utilized (kg N·ha⁻¹) on agricultural land NUTS-3,

$scen_max$ = wartość maksymalna aplikacji azotu: scenariusz 1 = 170 kg N·ha⁻¹, scenariusz 2 = 85 kg N·ha⁻¹; maximum value of nitrogen application: Scenario 1 = 170 kg N·ha⁻¹, Scenario 2 = 85 kg N·ha⁻¹,

i = licznik, przyporządkowujący kolejne typy nawozu, według założonej kolejności obliczeń; counter, which assigns new types of fertilizer, according to the established order of calculation,

$[N.i]$ = maks. dawka N·ha⁻¹ osiągnięta przy aplikacji i typu nawozu ; max. dose of N·ha⁻¹ achieved with the application i the type of fertilizer,

$[P.i]$ = część dawki i typu nawozu będąca dopełnieniem do dawki maksymalnej: 170 kg N·ha⁻¹ w przypadku scenariusza 1 i 85 kg N·ha⁻¹ w przypadku scenariusza 2; part of the dose i the type of fertilizer, which is a supplement to a maximum of 170 kg N·ha⁻¹ in the case of scenario 1 and 85 kg N·ha⁻¹ in the case of scenario 2.

Zastosowanie powyższego skryptu pozwoliło na określenie użycia w rolnictwie nawozu naturalnego z produkcji zwierzęcej (według założonych scenariuszy). Pozostała nadwyżka może być traktowana jako dostępny potencjał techniczny dla produkcji energii. W celu przeliczenia modelowanej masy na energię przyjęto, na podstawie danych z Agro Technology Atlas (2013) oraz algorytmów kalkulatora Phyllis 2, że jednej tonie kompostowanego obornika bydłowego o wilgotności 80% odpowiada kaloryczność (wartość opałowa) równa 0,9 GJ, a tonie kompostowanego obornika trzody chlewnej o wilgotności 77% odpowiada kaloryczność (wartość opałowa) równa 1,2 GJ. Podane wartości są kalorycznościami netto (LHV – net calorific value). Przyjęte w kalkulacjach wartości zostały oszacowane na podstawie publikacji Sweetena i in. (1986), Annamalaiego i in. (1987), Xiao i in. (2010) oraz badań laboratoryjnych ECN. W tabeli 5 podano informację o danych źródłowych wykorzystanych w obliczeniach.

Tabela 5

Dane źródłowe wykorzystane w analizach biomasy ubocznej z produkcji zwierzęcej
Data source of livestock residues used in the analyzes

Wskaźnik; Indicator	Źródło; Source	Referencje; Location
NHeads _i	Eurostat	Structure of agricultural holdings by NUTS-3 regions-main indicators [ef_r_nuts], IND_FARM. Protokół dostępu: http://epp.eurostat.ec.europa.eu [01.04.2013]
LU _{s_i}	Eurostat	Protokół dostępu: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Glossary:LSU [01.04.2013]
MpH _i , AHD _i	BEE	Böttcher i in. 2010
UF _i	Raport	Weiser i in. 2012
Pow. UR; Agricultural area	Eurostat	Structure of agricultural holdings by NUTS-3 regions-main indicators [ef_r_nuts], IND_FARM. Protokół dostępu: http://epp.eurostat.ec.europa.eu [01.04.2013]

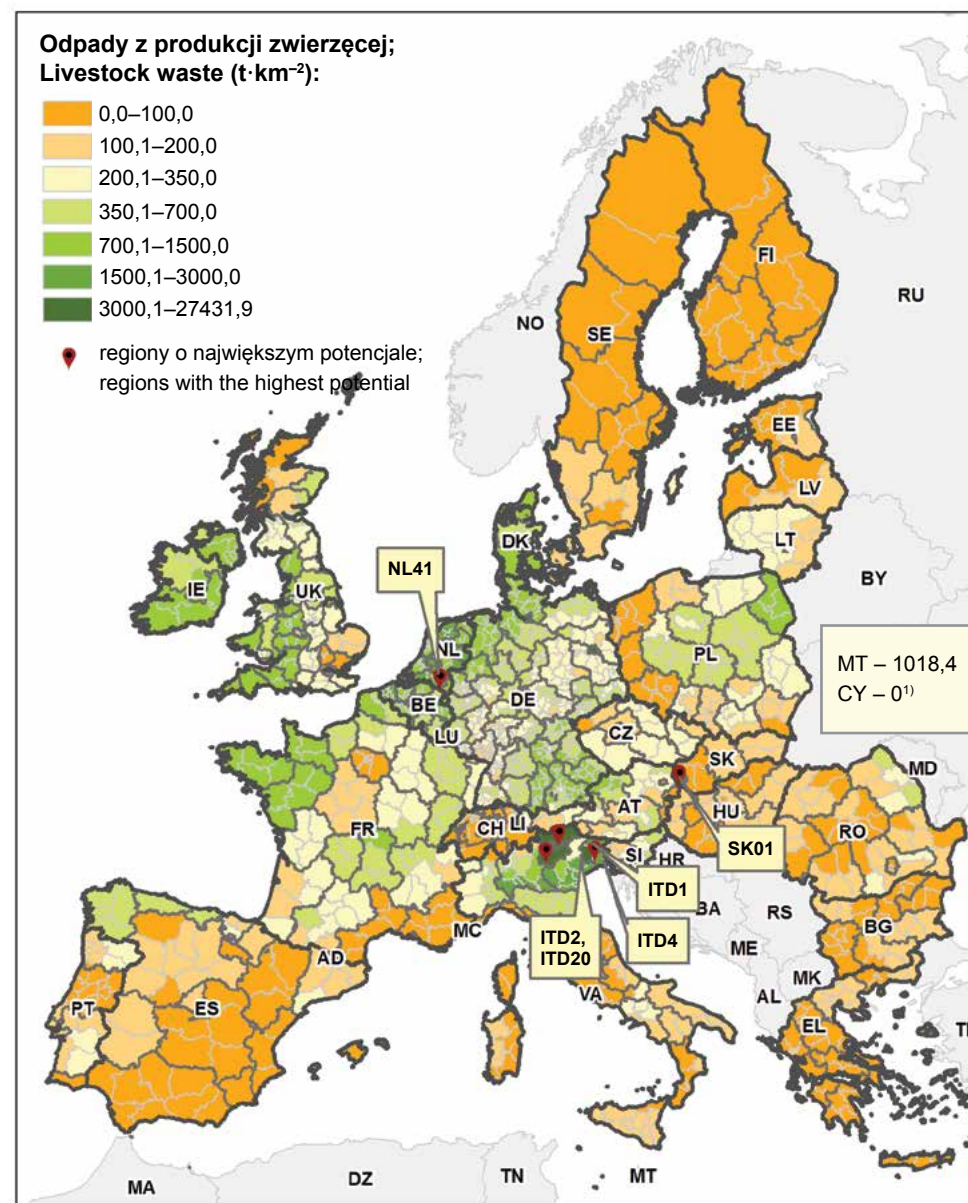
Wyniki

Całkowity potencjał teoretyczny biomasy ubocznej z produkcji zwierzęcej w Europie wynosi ok. 1,23 Gt. Średnia wartość dla jednostki NUTS-3 wynosi 935 kt. Na obszarze badań stwierdzono 1249 jednostek NUTS-3 o potencjale większym niż 10 kt, 1116 o potencjale większym niż 60 kt oraz 930 o potencjale większym niż 200 kt. Do najbardziej zasobnych regionów w biomasę uboczną z produkcji zwierzęcej należą: ITD2 – Trento; ITD1 – South Tyrol; ITD4 – Friuli-Venezia Giulia; NL41 – Noord-Brabant; SK01 – Bratislavský kraj. Najwyższy potencjał został oszacowany dla NUTS-3: ITD20 (Trento) – 24,6 Mt (rys. 2).

Pomimo tak wysokiego potencjału teoretycznego, przyjmując założenie o pierwszeństwie wykorzystywania tej biomasy jako nawozu w rolnictwie, stwierdzono jednak praktyczny brak szerszych możliwości pozyskiwania tego rodzaju surowca na cele energetyczne (rys. 3). Jedynie w 3 regionach istnieje nadwyżka przekraczająca, w przeliczeniu na azot, możliwości całkowitego zużycia w rolnictwie (wg scenariusza 1). Są to obszary w regionie Noord-Brabant (Holandia), gdzie na hektar użytków rolnych przypada do 254 kg N (NL414 i 413), NW Belgii (> 223 kg N·ha⁻¹) i Portugalii (region Pinhal Litoral, 180 kg N·ha⁻¹).

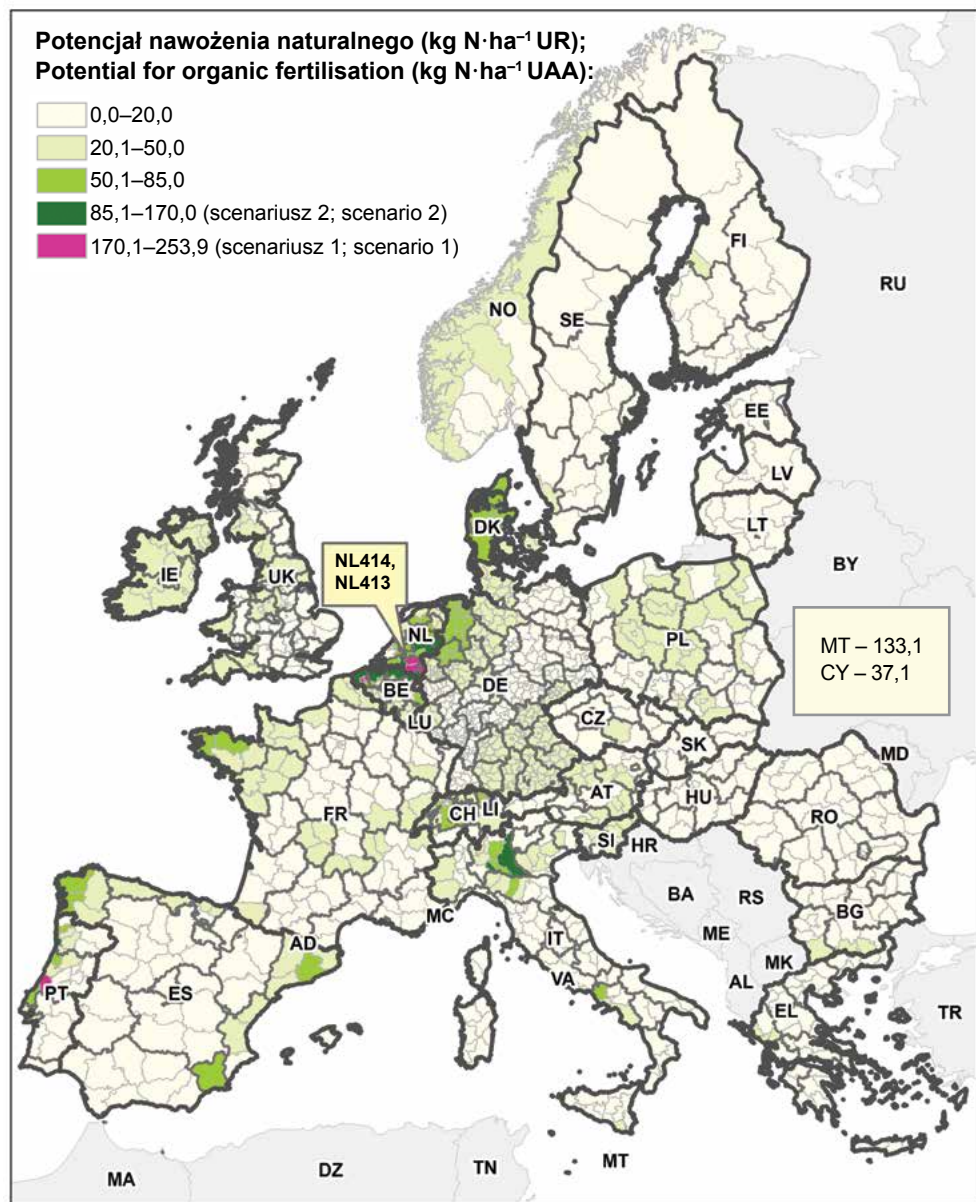
Analizy przestrzenne wykazały 36 jednostek NUTS-3, w których szacowana dawka przekracza 85 kg N·ha⁻¹ UR, co wskazuje na istnienie tam nadwyżek w produkcji nawozów naturalnych, które można oszacować na 21,4 Mt (21 PJ), średnio 580 kt/NUTS. Nadwyżki te (wg scenariusza 2) mogą zostać wykorzystane w celach energetycznych. Jednostki tworzące skupienia znajdują się w Holandii (9 NUTS o potencjale 8,4 Mt, co odpowiada 8,3 PJ energii – marker nr 1 na rys. 4), północnej i północno-zachodniej Belgii (13 NUTS o potencjale 5,1 Mt; 4,9 PJ – marker nr 2), we Włoszech w regionie Brescia, Mantova (3 NUTS o potencjale 3,5 Mt; 3,4 PJ – marker nr 3), w Niemczech (8 NUTS o potencjale 3,4 Mt; 3,3 PJ – marker nr 1). Regionalną, lecz dużo mniejszą nadwyżkę nawozów naturalnych stwierdzono również w Portugalii (344 kt; 0,3 PJ) oraz na Malcie (96 kt; 0,1 PJ).

O fakcie ograniczonego zastosowania nawozów naturalnych jako bazy surowcowej do celów energetycznych świadczy też ich niska kaloryczność wynikająca głównie z dużej wilgotności, co w zestawieniu z niskim i okazjonalnie występującym potencjałem technicznym powoduje brak możliwości wykorzystania tego rodzaju biomasy jako powszechnego OZE.

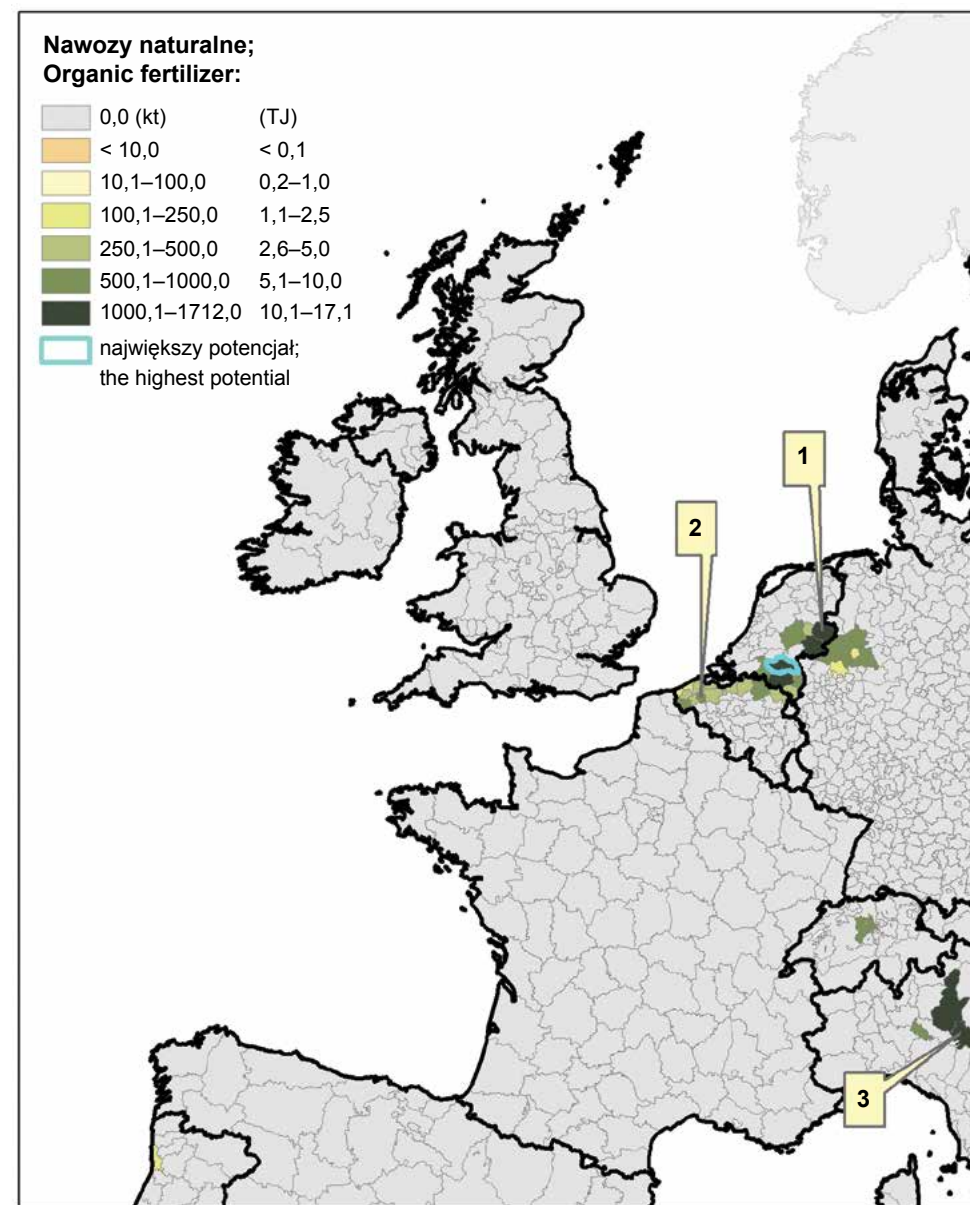


Rys. 2. Potencjał teoretyczny biomasy ubocznej z produkcji zwierzęcej w NUTS-3 wraz ze wskazaniem regionów o największym potencjale. Skrótów nazw państw jak w tab. 1
The theoretical potential of animal residues production in NUTS-3, indicating the regions with the highest potential. Abbreviations of country names as in table 1

¹⁾ Ze względu na zbyt małą powierzchnię Malty (MT) oraz położenie Cypru (CY) poza zasięgiem mapy wartości podano liczbowo w wyróżnionym oknie.



Rys. 3. Potencjał nawożenia naturalnego (kg N·ha⁻¹ UR). Ilość azotu z odchodów zwierzęcych w stosunku do powierzchni użytków rolnych (UR). Skróty nazw państw jak w tab. 1
The potential for natural fertilisation (kg N·ha⁻¹). The amount of nitrogen from animal manure in relation to the utilised agricultural area (UAA). Abbreviations of country names as in table 1



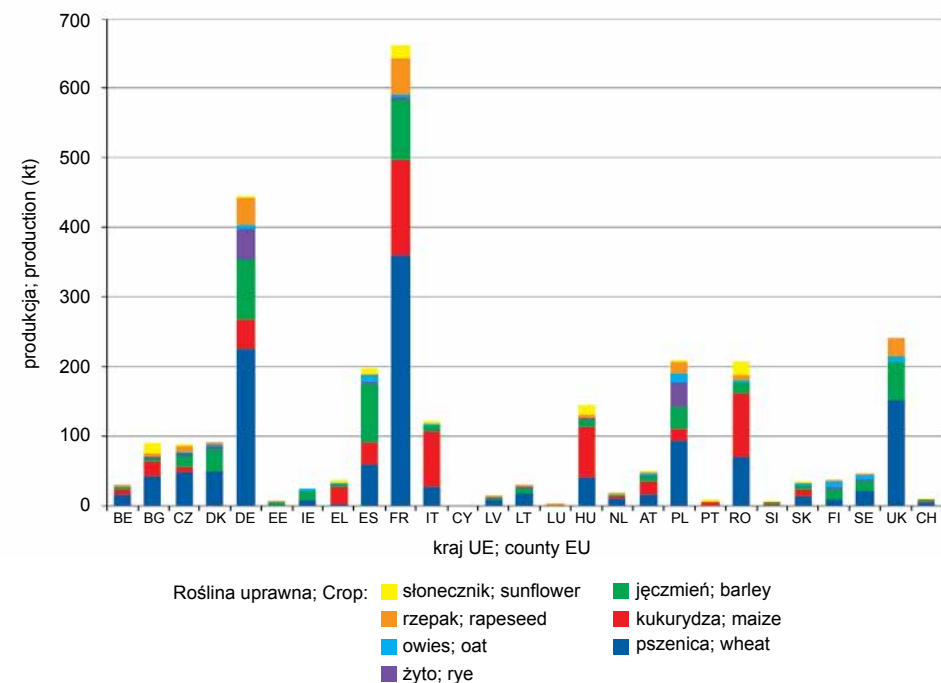
Rys. 4. Potencjał techniczny nadwyżek nawozów naturalnych
The technical potential of manure surplus

4.1.2. Słoma

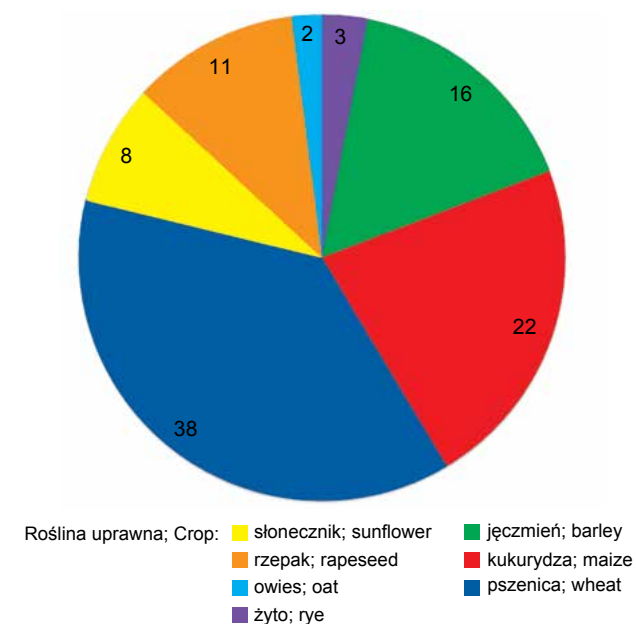
Cel i definicje

Słoma stanowi najbardziej dostępne źródło biomasy z produkcji rolniczej, które może zostać wykorzystane na cele energetyczne. Po uwzględnieniu wtórnego wykorzystania części zasobów słomy w rolnictwie, jej nadwyżki mogą być traktowane jako odpad i wykorzystane do produkcji „zielonej energii” (Edwards i in. 2005). Całkowite zasoby słomy (potencjał teoretyczny) są łatwe do oszacowania na podstawie danych statystycznych o produkcji zbóż (Eurostat) oraz wiedzy o proporcjach między plonem głównym i ubocznym (Tum i Gunther 2011). Jednak potencjał techniczny słomy dostępny dla celów energetycznych jest dużo niższy ze względu na potrzebę wykorzystania części słomy w produkcji rolniczej. Najważniejsze cele zastosowania słomy w rolnictwie to: przyorywanie słomy w celu zwiększenia reprodukcji substancji organicznej w glebie i jej wzbogacenia w substancje pokarmowe oraz przeznaczenie słomy na ściółkowanie i paszę dla zwierząt (Scarlat i in. 2010). Stopień powtórnego wykorzystania słomy w rolnictwie jest uzależniony od systemów produkcji w regionach. Jednakże ze względu na konieczność prowadzenia zrównoważonej gospodarki rolnej modelowanie potencjału odpadów z produkcji roślinnej musi zakładać pełną kompensację zapotrzebowania rolnictwa na słomę (Kuś i in. 2006). Natomiast wykorzystywanie nadwyżek słomy (np. w przemyśle spożywczym, budownictwie) może stanowić pewną konkurencję z jej przeznaczaniem na cele energetyczne (Kuś 2012). W tej sytuacji o finalnym zużyciu nadwyżek słomy powinna decydować ekonomia.

Strukturę produkcji roślinnej w UE przedstawiono na rysunku 5. Ze względu na wartość współczynnika proporcji słomy do ziarna zbliżoną do jedności (tylko dla rzepaku = 2 i dla słonecznika = 3,3) wykres ten przedstawia również obraz potencjału teoretycznego słomy w poszczególnych krajach oraz udziału poszczególnych upraw, z których można pozyskiwać słomę. Udział słomy w ogólnej strukturze produkcji roślinnej przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 5. Produkcja roślinna w krajach UE-27 w 2011 r. (plon w kt)
Crop production in EU-27 in 2011 (yield in kt) (Eurostat)



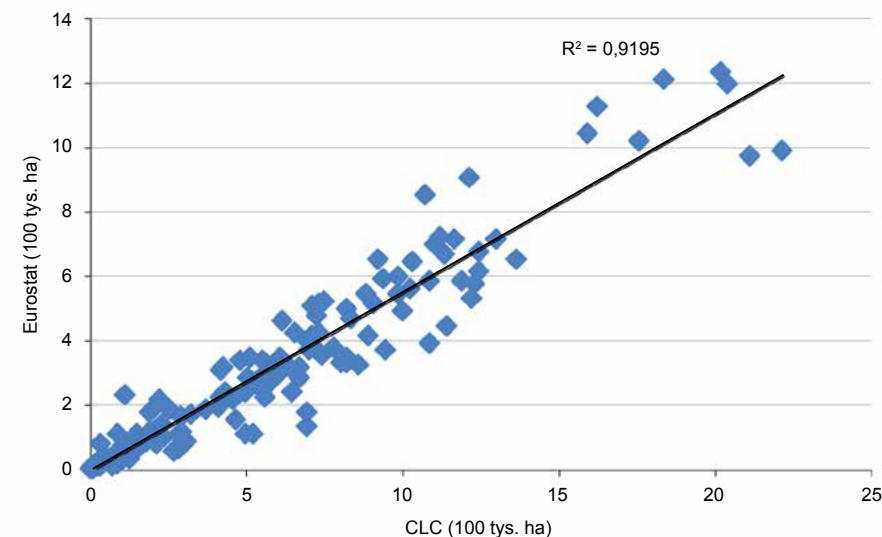
Rys. 6. Udział poszczególnych rodzajów słomy (%) w produkcji roślinnej UE-27 w 2011 r.
Share of each type (%) of crop straw EU-27 in 2011 (Eurostat)

Celem analiz była ocena potencjału technicznego biomasy słomy zbóż oraz roślin oleistych dla regionów NUTS-3. Założono, że szacowane zasoby słomy stanowią nadwyżkę, po odliczeniu od nich części słomy na potrzeby jej powtórnego wykorzystania w produkcji rolniczej. W modelowaniu oparto się na wynikach otrzymanych w projekcie RENEW (2008), gdzie potencjał techniczny słomy został oszacowany dla regionów Europy (NUTS-0, NUTS-1, NUTS-2). W projekcie tym oszacowano zasoby słomy z produkcji: zbóż (pszenicy, jęczmienia, żyta, kukurydzy na ziarno) i roślin oleistych, na podstawie danych statystycznych z lat 2000–2004 oraz dwu scenariuszy prognostycznych dla 2020 r. Szacunki oparto na bazach danych Eurostat. Ilość słomy uzyskano, mnożąc plon zbóż przez odpowiedni współczynnik określający proporcję między plonem ziarna i plonem słomy. Słoma na cele energetyczne została zdefiniowana jako całkowita produkcja słomy pomniejszona o słomę wykorzystywaną w produkcji zwierzęcej na paszę i ściółkę (Burton i Turner 2003) konieczną w procesie konserwacji gleby (Börjesson i Gustavsson 1996, Smagacz 2003) oraz na inne potrzeby, głównie w pieczarkarstwie i ogrodnictwie (ściółkowanie gleby). Metodyka jest szerzej opisana w raportach projektu RENEW (2008).

Metody

Podstawowym problemem w przypadku modelowania zasobów nadwyżek słomy, w jednostkach mniejszych powierzchniowo niż NUTS-2, w skali Europy, jest brak danych szczegółowo charakteryzujących produkcję rolniczą. Jediną możliwością w tym wypadku jest wykorzystanie danych pomocniczych charakteryzujących się większą skalą mapy (większą szczegółowością) oraz podobieństwem rozkładu cech w przestrzeni geograficznej, czyli istnieniem korelacji między cechą modelowaną a przynajmniej jedną cechą charakteryzowaną przez dane pomocnicze (Chakir 2009, Verburg i in. 2006). W omawianym przypadku do dezagregacji wyników RENEW wykorzystano mapę pokrycia terenu Corine Land Cover (CLC) z 2006 r. W brakujących regionach (Grecja) została ona uzupełniona wersją wcześniejszą z 2000 r. Mapa CLC została opracowana pod nadzorem Europejskiej Agencji Środowiska (EEA), w ramach rozwijanego systemu informacji o środowisku Co-ordination of Information on the Environment (CORINE). Mapa ta charakteryzuje użytkowanie terenu z rozdzielczością 100 m w skali Europy (Bossard i in. 2000). W kategorii terenów rolnych wydzielonych zostało 11 klas użytkowania, w tym grunty orne stanowiące przestrzeń bezpośrednio związaną z produkcją słomy.

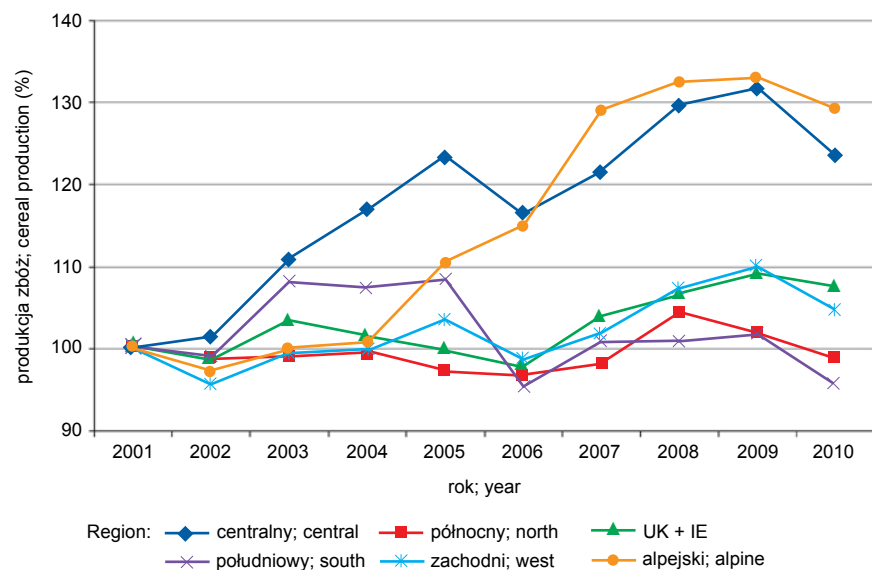
Przeprowadzona analiza regresji między użytkowaniem gruntów w jednostkach administracyjnych NUTS-2 (wg CLC) a powierzchnią upraw zbóż (Eurostat) wykazała wysokie korelacje przestrzenne tych cech (rys. 7). Wartość współczynnika determinacji ($R^2 = 0,92$) świadczy o ścisłej zależności między tymi zbiorami danych. Na tej podstawie można przyjąć założenie, że podobne zależności będą prawdziwe dla tych relacji w przypadku jednostek NUTS-3.



Rys. 7. Korelacja między powierzchnią upraw zbóż (wg Eurostat) a powierzchnią gruntów ornych (wg CLC) w NUTS-2
Correlation between the area of cereal crops (according to Eurostat) and the area of arable land (according to CLC) the NUTS-2

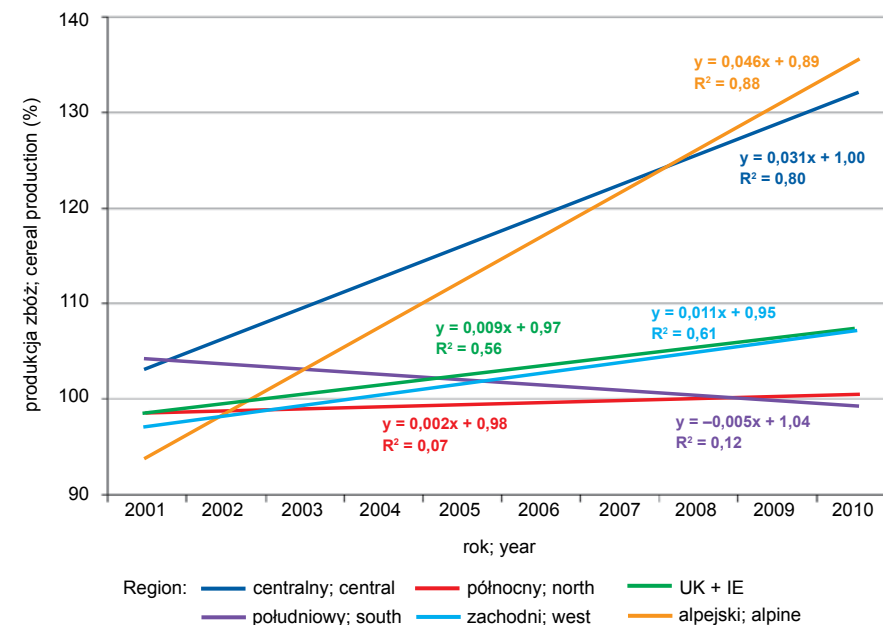
W modelu RENEW do szacowania nadwyżek słomy oprócz danych o produkcji zbóż z Eurostat wykorzystano inne dane pomocnicze. Podobnie jak powierzchnie upraw, są one również niedostępne w skali NUTS-3. Jednak ze względu na regionalność prowadzonej dezagregacji można założyć, że dla wszystkich podzbiorów NUTS-3 w obrębie NUTS-2 istnieją podobne warunki, na podstawie których był modelowany potencjał w jednostce nadrzędnej. Czyli istnieją podobne systemy w chowie zwierząt (ściółkowanie i przeznaczanie słomy na paszę), uprawia się podobne odmiany zbóż (proporcja słomy do ziarna), istnieje zbliżona struktura w proporcji uprawy zbóż do uprawy roślin oleistych i kukurydzy, panują zbliżone warunki glebowe i klimatyczne oraz wykorzystywana jest porównywalna agrotechnika. Powyżej przyjęte założenie istnienia przestrzennej stacjonarności danych umożliwia wykorzystanie metod deterministycznych dla redystrybucji wartości z NUTS-2 do NUTS-3 (Isaaks i Srivastava 1989). Z powyższych względów mapa CLC jest szeroko wykorzystywana w skali europejskiej do prowadzenia analiz przestrzennych, w tym również wykonywanych na potrzeby modelowania zasobów biomasy (Beccali i in. 2009, Esteban i in. 2010, Fischer i in. 2010a i 2010b, Gobin i in. 2011, Pudelko i in. 2012).

Aktualizację wyników RENEW przeprowadzono na podstawie danych statystycznych Eurostat z lat 2006–2011, wprowadzając dla regionów (wyznaczonych w RENEW jako regiony o zbliżonych warunkach geograficznych i klimatycznych) poprawkę wynikającą z trendu w produkcji zbóż zarejestrowanej po 2004 r. Potencjał słomy w latach 2000–2011 zagregowano do sześciu regionów. Następnie dane wygładzono za pomocą średniej ruchomej: dla każdego roku wyciągnięto średnią arytmetyczną z potencjału w danym roku i latach sąsiednich (jeden rok wcześniejszy i jeden późniejszy). Ta procedura dała szereg czasowy od 2001 do 2010 r. (lata 2000 i 2011, jako skrajne i nieposiadające dwóch sąsiadów, zostały pominięte). Kolejnym krokiem było znormalizowanie otrzymanych wyników, aby uzyskać porównywalność pomiędzy regionami. W tym celu średnie ruchome podzielono dla każdego regionu przez wartość z roku 2001, który przyjęto za początek szeregu czasowego i przypisano mu wartość 1. Otrzymane wyniki przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 8. Produkcja zbóż w regionach według RENEW (dane dla lat 2000–2011)
Cereal production in regions by RENEW (data for the years 2000–2011)

Obliczone serie czasowe opisano trendami liniowymi (rys. 9). Dla zwiększenia czytelności pominięto oryginalne szeregi czasowe.



Rys. 9. Trend w produkcji zbóż w regionach według RENEW (dane dla lat 2000–2011)
Trend in grain production in regions by RENEW (data for the years 2000–2011)

Standardowa analiza istotności współczynników regresji powyższych trendów wskazuje, że istotne ($P = 0,05$) są jedynie współczynniki związane z regionami centralnym i alpejskim. Mimo względnie dużych współczynników determinacji dla regionów zachodniego oraz Wielkiej Brytanii i Irlandii zbyt mała liczba punktów (lat) powoduje, że nie można wyciągnąć istotnych statystycznie wniosków na ich temat. Zatem można powiedzieć, że istotny przyrost w latach 2001–2010 występował w regionach alpejskim i centralnym, czego nie możemy powiedzieć o czterech pozostałych regionach. W związku z tym, tylko w tych dwóch regionach przyjęto poprawkę mającą na celu uaktualnienie danych. W przypadku regionu alpejskiego średni roczny przyrost wartości oszacowany z regresji wynosił 3,1%, zaś w przypadku regionu CEE – 2,8%. Dane zaktualizowano, zakładając zmianę sześcioletnią. W ostatnim etapie modelowania przeprowadzono geoprzetwarzanie danych prowadzące do redystrybucji wartości potencjału słomy do docelowych jednostek administracyjnych NUTS-3. W tym celu użyto Formuły 1.2. Źródła danych podano w tabeli 6.

Formuła 1.2:

$$BM_N3 = BM_N2 \cdot CLC_{12,13} \cdot N3 / CLC_{12,13} \cdot N2$$

gdzie:

BM_N3 = nadwyżka słomy szacowana dla NUTS-3 ($t \cdot rok^{-1}$); assessed biomass feedstock for NUTS-3 ($t \cdot rok^{-1}$),

BM_N2 = aktualizowane szacunki RENEW dla NUTS-0 lub NUTS-2 (t); biomass feedstock assessed by RENEW for NUTS-0 or NUTS-2 (t),

CLC_{12_13_N3} = powierzchnia gruntów ornych NUTS-3 (podzbiory CLC_{12_13_N2}) (ha); area of arable lands in NUTS-3 (subset of CLC_{12_13_N2}) (ha),

CLC_{12_13_N2} = powierzchnia gruntów ornych NUTS-0 lub NUTS-2 na podstawie CLC (ha); area of arable land in NUTS-0 or NUTS-2, based on CLC (ha).

Tabela 6

Źródła danych – słoma
Data sources – straw

Wskaźnik; Indicator	Źródło; Source	Dostępne pod adresem; Location
BM_N2	RENEW Project	Protokół dostępu: http://www.renew-fuel.com/fs_documents.php [01.04.2013]
CLC _{12_13_N3} CLC _{12_13_N2}	EEA	CORINE. Protokół dostępu: http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2006-raster-2 [01.04.2013]
Produkcja zbóż; Crop production	Eurostat	Regional agricultural statistic (reg_agr). Protokół dostępu: http://epp.eurostat.ec.europa.eu [01.04.2013]
Stosunek słomy do ziarna; Ratio straw to corn	Publikacja; Publication	Tum i Gunther 2011, Scarlat i in. 2010

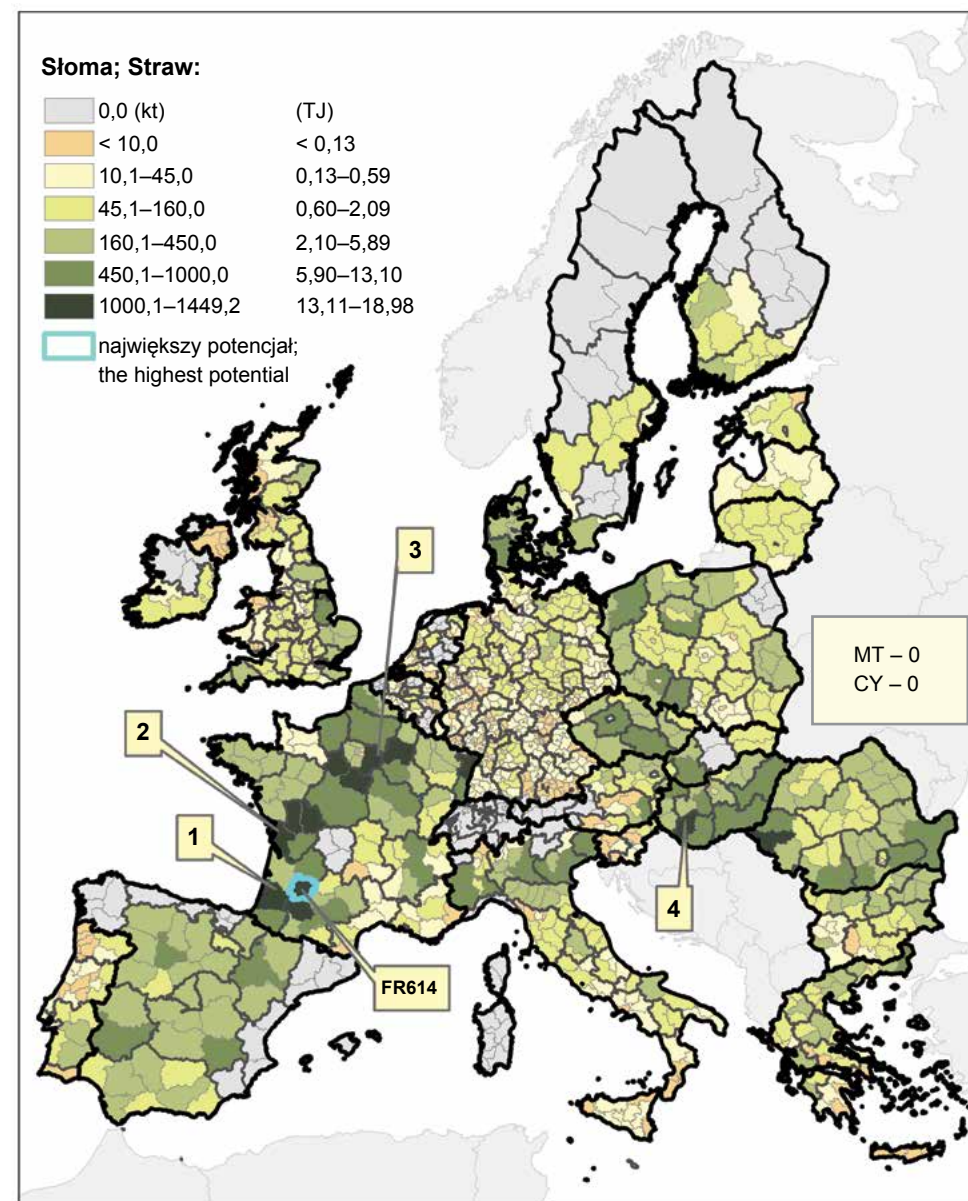
W celu przeliczenia modelowanej masy na energię przyjęto na podstawie RENEW (2008), że jednej tonie słomy o wilgotności 15% odpowiada kaloryczność (wartość opałowa) równa 13,1 GJ.

Wyniki

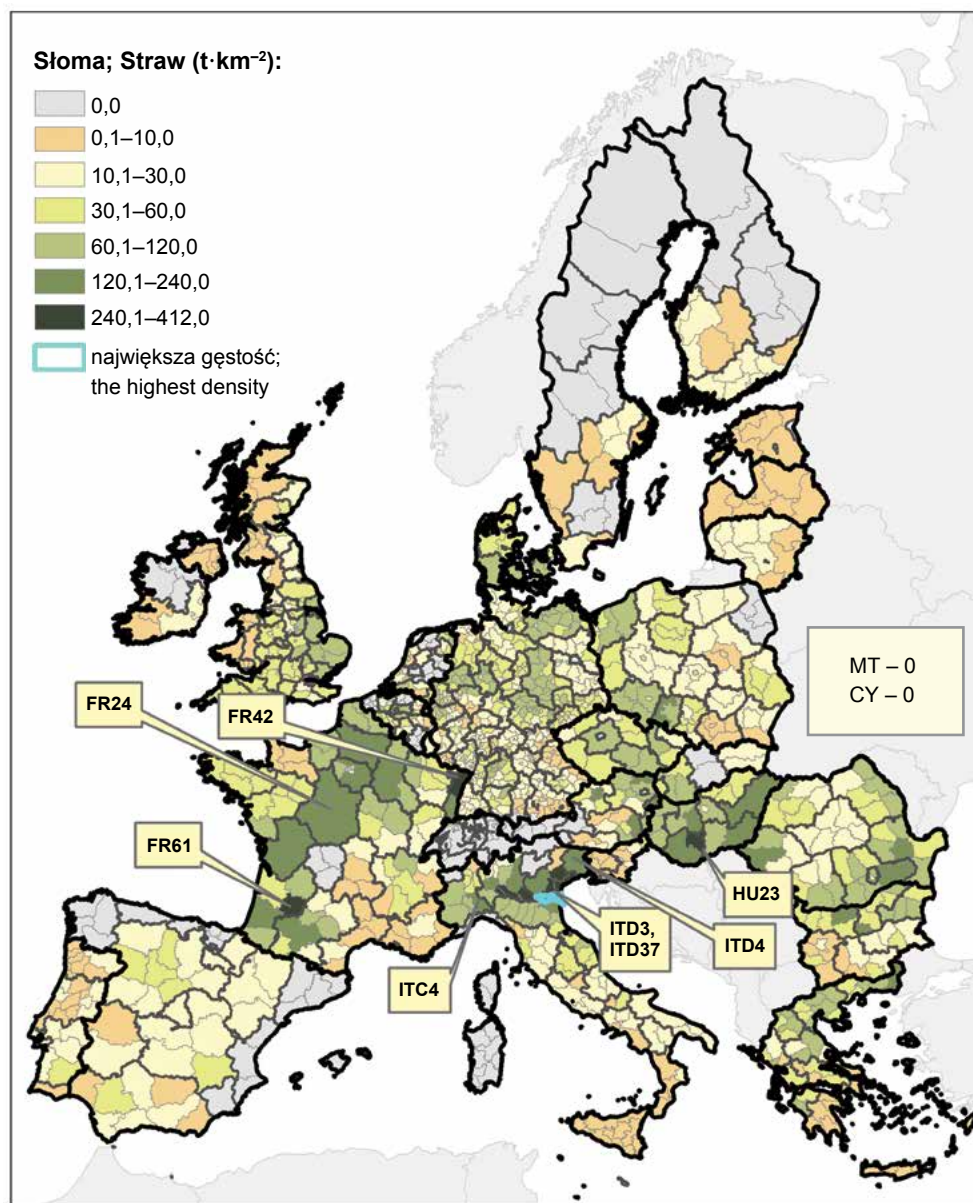
Całkowity potencjał słomy, która może zostać wykorzystana na cele energetyczne, wynosi: 144 Mt (1,9 EJ). Średnią wartość dla jednostki NUTS-3 oszacowano na 109 kt. Na obszarze badań stwierdzono 851 jednostek NUTS-3 o potencjale większym niż 10 kt, 468 o potencjale większym od 60 kt oraz 210 NUTS-3 o potencjale większym niż 200 kt. Najwyższy potencjał został oszacowany dla NUTS-3: FR614 (Lot-et-Garonne) – 1,45 Mt, jednak najwyższą gęstość przestrzenną tego surowca stwierdzono w jednostce ITD37 (Rovigo) – 411 t·km⁻² (rys. 10 i 11).

Niżej przedstawione mapy charakteryzują wielkości masy, energii oraz gęstości przestrzennych nadwyżek słomy. Na mapie potencjałów biomasy i energii zaznaczono regiony najbardziej zasobne w słomę, do których należą kompleksy NUTS-3 we Francji (markery 1, 2 i 3) i na Węgrzech (marker 4) (rys. 10).

Do regionu o największej gęstości przestrzennej tego surowca należy Dolina Padu, gdzie na 1 km² przypada ponad 300 ton nadwyżek słomy. Regionami o porównywalnej zasobności (> 200 t·km⁻²) są: ITD3 – Veneto; ITD4 – Friuli-Venezia Giulia; ITC4 – Lombardia; FR42 – Alsace; FR24 – Centre (FR); FR61 – Aquitaine; HU23 – Dél-Dunántúl (rys. 11).



Rys. 10. Potencjał techniczny biomasy i energii – nadwyżek słomy w NUTS-3
The technical potential of biomass and energy – straw surplus in NUTS-3



Rys. 11. Gęstość przestrzenna biomasy – nadwyżek słomy w NUTS-3
Biomass spatial density – straw surplus NUTS-3

4.1.3. Siano z trwałych użytków zielonych

Cel i definicje

Siano uzyskiwane z trwałych użytków zielonych (TUZ), ze względu na duże areały, stanowi teoretycznie znaczący potencjał biomasy. W regionach o dużym udziale pastwisk i łąk prowadzona jest intensywna produkcja zwierzęca, głównie chów bydła. W regionach tych pastwiska wykorzystywane są do wypasania zwierząt, zaś ruń łąkowa do skarmiania w formie zielonki i do produkcji pasz (siano, sianokiszonka).

Celem analizy była ocena potencjału technicznego biomasy będącej nadwyżką siana dla regionów NUTS-3. Założono, że nadwyżka siana zostanie oszacowana jako różnica między potencjalną produktywnością biomasy na trwałych użytkach zielonych a popytem na siano związanym z chowem przeżuwaczy.

Potencjalna produktywność została zdefiniowana jako średni plon siana (Smit i in. 2008) przeliczony na powierzchnię trwałych użytków zielonych. Dla 27 państw UE wykorzystano dane z Eurostat, zaś powierzchnię użytków zielonych dla Szwajcarii określono na podstawie mapy pokrycia terenu (CLC) i statystyk krajowych (FSO 2012).

Popyt na siano określono dla sztuk dużych zwierząt przeżuwających na podstawie danych z Eurostat. Ze względu na brak europejskich danych regionalnych charakteryzujących bazę paszową zwierząt przyjęto scenariusz optymalny. Założono w nim, że zwierzęta przeżuwające aktywnie korzystają z bazy surowcowej jaką oferują łąki i pastwiska. Bez względu na to, czy w danym regionie przeważa wypasanie zwierząt, czy też karmienie sianem lub sianokiszonkami, przyjęto dzienną dawkę siana na poziomie 20 kg na Dużą Jednostkę Przeliczeniową (DJP), co w skali roku, przyjmując 20% rezerwę, daje 8,76 t siana. Szacunki te przyjęto na podstawie pracy Winnickiego i in. (2012) oraz zaleceń ośrodków doradztwa rolniczego (Kwiatkowski 2010).

Metody

Potencjał techniczny nadwyżek siana w każdej jednostce NUTS-3 oszacowano na podstawie poniższego algorytmu:

Formuła 1.3:

$$PTNS = (PS_s \cdot PowUZ) - (LU_{si} \cdot SK)$$

gdzie:

PTNS = potencjał techniczny nadwyżek siana (t); technological potential of hay surplus (t),
PS_s = średnie plony siana w regionie (t·ha⁻¹); average yields of hay in the region (t·ha⁻¹),
PowUZ = powierzchnia użytków zielonych (ha); grassland area (ha),

LU_{si} = ilość jednostek przeliczeniowych na sztukę *i* rodzaju inwentarza (przeżuwacze: bydło, owce, kozy); number of livestock units per head for the *i* type of livestock (cows, sheeps, goats),

SK = ilość siana przeznaczona na LU_{si} (bydło, owce, kozy); amount of hay intended for LU_{si} (cattle, sheep, goats).

W przypadku braku danych dla niektórych jednostek NUTS-3 potencjał techniczny nadwyżek siana szacowany był dla jednostek wyższego rzędu i rozdystrybuowany proporcjonalnie do udziału użytków zielonych w NUTS-3 na podstawie CLC. Źródła danych wykorzystanych w modelowaniu zestawiono w tabeli 7.

Tabela 7

Źródła danych – modelowanie potencjału siana
Data sources – hay potential model

Wskaźnik; Indicator	Źródło; Source	Dostępne pod adresem; Location
PS _s	Mapa w publikacji Map in publication	Smit i in., 2008
PowUZ	Eurostat	Regional agricultural statistic (reg_agr). Protokół dostępu: http://epp.eurostat.ec.europa.eu [01.04.2013]
LU _{si}	Eurostat	Regional agricultural statistic (reg_agr). Protokół dostępu: http://epp.eurostat.ec.europa.eu [01.04.2013]
SK	Plan bazy paszowej Plan for fodder base	Winnicki i in. 2012; Kwiatkowski 2010

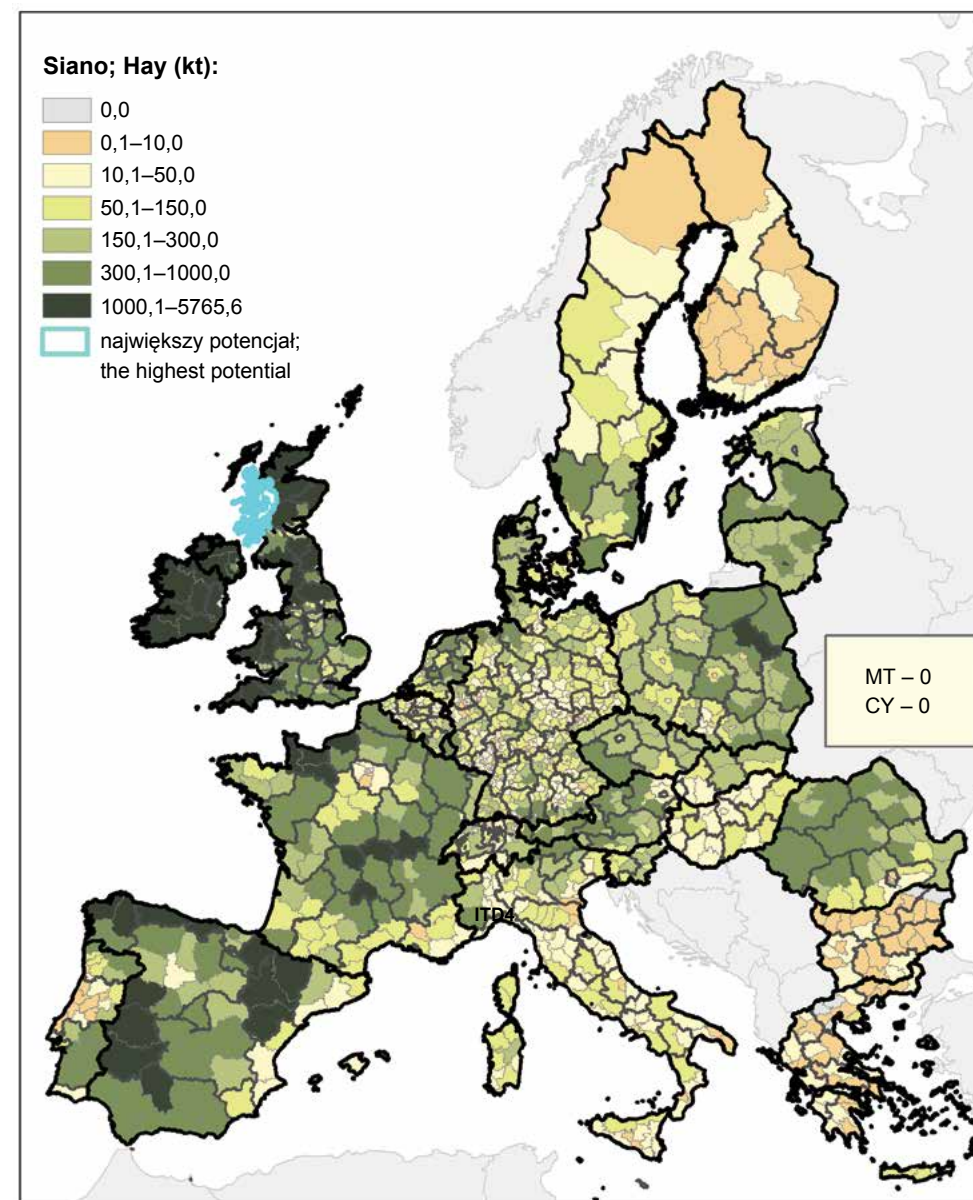
W celu przeliczenia modelowanej masy siana na energię przyjęto na podstawie kalkulatora Phyllis 2, że jednej tonie siana o wilgotności 15% odpowiada kaloryczność = 13,4 GJ.

Wyniki

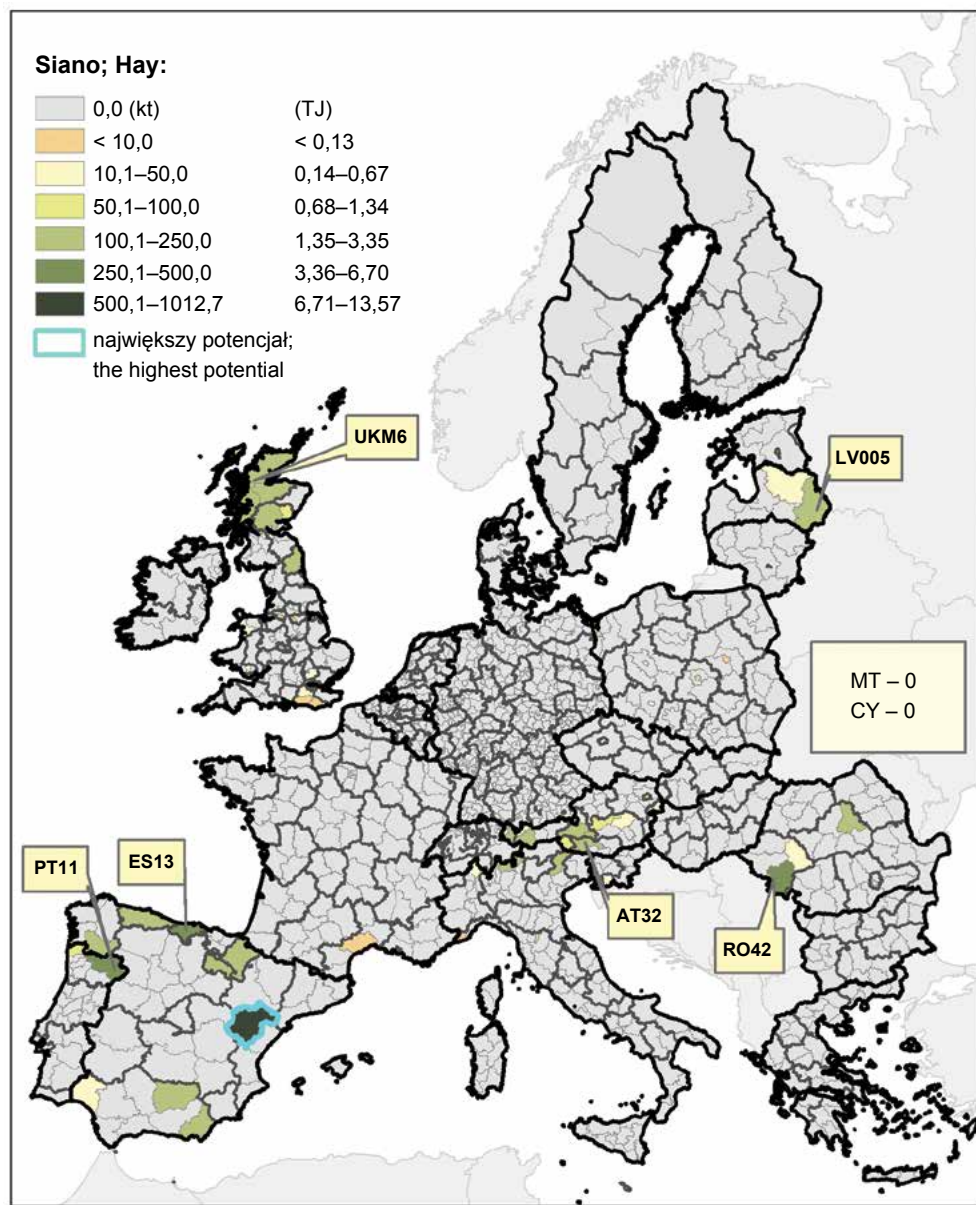
Siano stanowi obok roślin uprawianych na gruntach ornych i biomasy leśnej największy zasób biomasy, która jest bezpośrednio uprawiana i pozyskiwana. Jednak podobnie jak w przypadku słomy o pierwszoplanowym wykorzystaniu siana decyduje zapotrzebowanie na nie w rolnictwie. Ogólny teoretyczny potencjał siana szacowany jest na 116,2 Mt. W ujęciu przestrzennym potencjał ten w regionach NUTS-3 przedstawiono na rysunku 12.

W wyniku modelowania nadwyżek siana, które mogą być przeznaczone na cele energetyczne otrzymano mapy potencjału technicznego i gęstości przestrzennej (rys. 13 i 14). Nadwyżki siana podobnie jak nadwyżki nawozów naturalnych występują małymi skupieniami, przy czym generalnie można mówić o braku możliwości wykorzystania siana w Europie jako znaczącej i dostępnej bazy surowcowej. Całkowity potencjał nadwyżek siana, który może zostać wykorzystany na cele energetyczne wynosi zaledwie 6,9 Mt (92,6 PJ). Średnia wartość dla jednostki NUTS-3 wynosi 80,3 kt. Na obszarze badań stwierdzono 50 jednostek NUTS-3 o potencjale większym niż 10 kt, 29 jednostek o potencjale większym niż 60 kt oraz 12 NUTS-3 o potencjale większym niż 200 kt. Ważniejsze regiony, w których można pozyskiwać siano na cele energetyczne oznaczono markerami na rysunku 13.

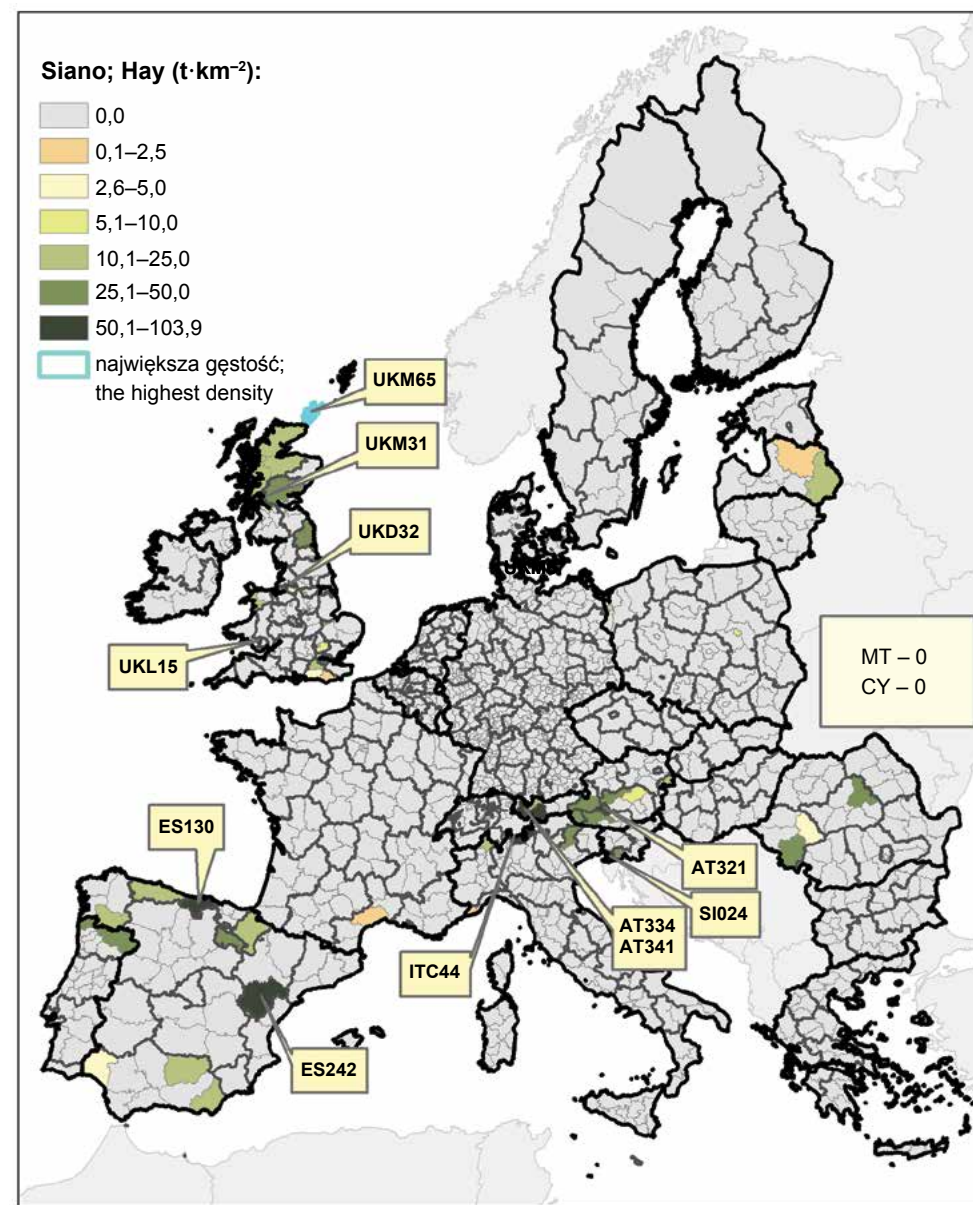
Największy potencjał został oszacowany dla regionu Teruel w Hiszpani (ES242) – 1012 kt, co odpowiada 13,6 PJ energii. Najwyższą gęstość przestrzenną tego surowca, wynoszącą ponad 100 t·km⁻², stwierdzono w Szkocji dla regionów: UKM65 i UKM31 (rys. 14).



Rys. 12. Potencjał teoretyczny plonu siana w NUTS-3
The theoretical potential of hay yield in NUTS-3



Rys. 13. Potencjał techniczny biomasy i energii – nadwyżek siana w NUTS-3
The technical potential of biomass and energy – hay surplus in NUTS-3



Rys. 14. Gęstość przestrzenna biomasy – nadwyżek siana w NUTS-3
Biomass spatial density – hay surplus in NUTS-3

3.1.4. Pozostałości z upraw sadowniczych

Cel i definicje

Celem analizy była ocena potencjału technicznego biomasy stanowiącej pozostałość po wycinie zbędnych gałęzi i pędów w plantacjach wieloletnich: sadach owocowych i oliwnych oraz winnicach. Głównym składnikiem tego typu biomasy jest frakcja zdrewniała (gałęzie drzew i krzewów). Składnikiem mniej znaczącym są pozostałe odpady usuwane z plantacji, do których można zaliczyć wycięte pędy krzewów i trawę. W analizie przyjęto, że usuwalna frakcja biomasy odpowiada wartości produktywności potencjalnej netto.

Metody

Tereny upraw sadowniczych wyznaczone zostały na podstawie mapy pokrycia terenu (CLC), w rozdzielczości 100 x 100 m. Mapa CLC definiuje uprawy trwałe (permanent crops) jako: klasa 15 – winnice (vineyards), klasa 16 – drzewa owocowe i plantacje jagodowe (fruit trees and berry plantations), klasa 17 – gaje oliwne (olive groves).

Geoprzetwarzanie przeprowadzono w środowisku systemów informacji geograficznej. Przyjęto rozdzielczość przestrzenną analiz odpowiadającą skali mapy pokrycia terenu. Dla lokalizacji upraw trwałych określono produktywność potencjalną netto (NPP). Na podstawie badań własnych stwierdzono, że potencjał techniczny biomasy uzyskiwanej z pielęgnacji analizowanych upraw wynosi 50% wartości NPP. Wynika to z rzeczywistego pokrycia terenu plantacjami, które zwykle jest mniejsze niż 1ha dla piksela CLC o rozmiarach 100 x 100 m. Ponadto część roślin jest w fazie wzrostu, więc bilans biomasy w tym przypadku nie może być zerowy. Dodatkowo część biomasy nie jest technicznie dostępna ze względu na lokalizację lub wielkość plantacji (Tum i Gunther 2011). Specyfika upraw winorośli i oliwek, charakterystyczna dla krajów basenu Morza Śródziemnego, była konsultowana z ekspertami z Agricultural University of Athens (AUA) i Mediterranean Agronomic Institut of Chania (MAICh) oraz określona na podstawie danych z literatury (Voivontas i in. 2001, Bernetti i in. 2004, Esteban i in. 2010).

Na podstawie powyższych założeń w procesie geoprzetwarzania zastosowano Formułę 1.4 (format zapisu wg języka VBA). W tabeli 8 podano wykaz danych źródłowych wykorzystanych w modelowaniu.

Formuła 1.4:

IF CLC = 15 OR 16 OR 17 **THAN** RoP = (0.5 · NPP) **ELSE** RoP = NoData

gdzie:

RoP = potencjał techniczny pozostałości z pielęgnacji sadów (t·rok⁻¹); residuals of pruning (t·year⁻¹),

CLC = mapa pokrycia terenu Corine, klasy: 15, 16, 17 (numer); corine land cover, classes: 15, 16, 17 (number),

NPP = produktywność potencjalna netto w lokalizacjach: 15, 16, 17 wg CLC (t·rok⁻¹); net primary productivity in location of 15, 16, 17 class of CLC (t·year⁻¹).

Na podstawie wynikowej mapy rastrowej obrazującej techniczny potencjał biomasy odpadowej z pielęgnacji sadów wykonano tabularyzację wartości dla regionów NUTS-3. W celu przeliczenia modelowanej masy na energię przyjęto na podstawie Voivontas i in. (2001), że jednej tonie biomasy o wilgotności 40% odpowiada kaloryczność (wartość opałowa) wynosząca 9,9 GJ.

Tabela 8

Źródła danych dla plantacji wieloletnich
Data sources of permanent crops

Wskaźnik; Indicator	Źródło; Source	Dostępne pod adresem; Location
CLC	EEA	CORINE. Protokół dostępu: http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2006-raster-2 [01.04.2013]
NPP	WDC-RSAT	Protokół dostępu: http://wdc.dlr.de/data_products/SURFACE/ [01.04.2013]

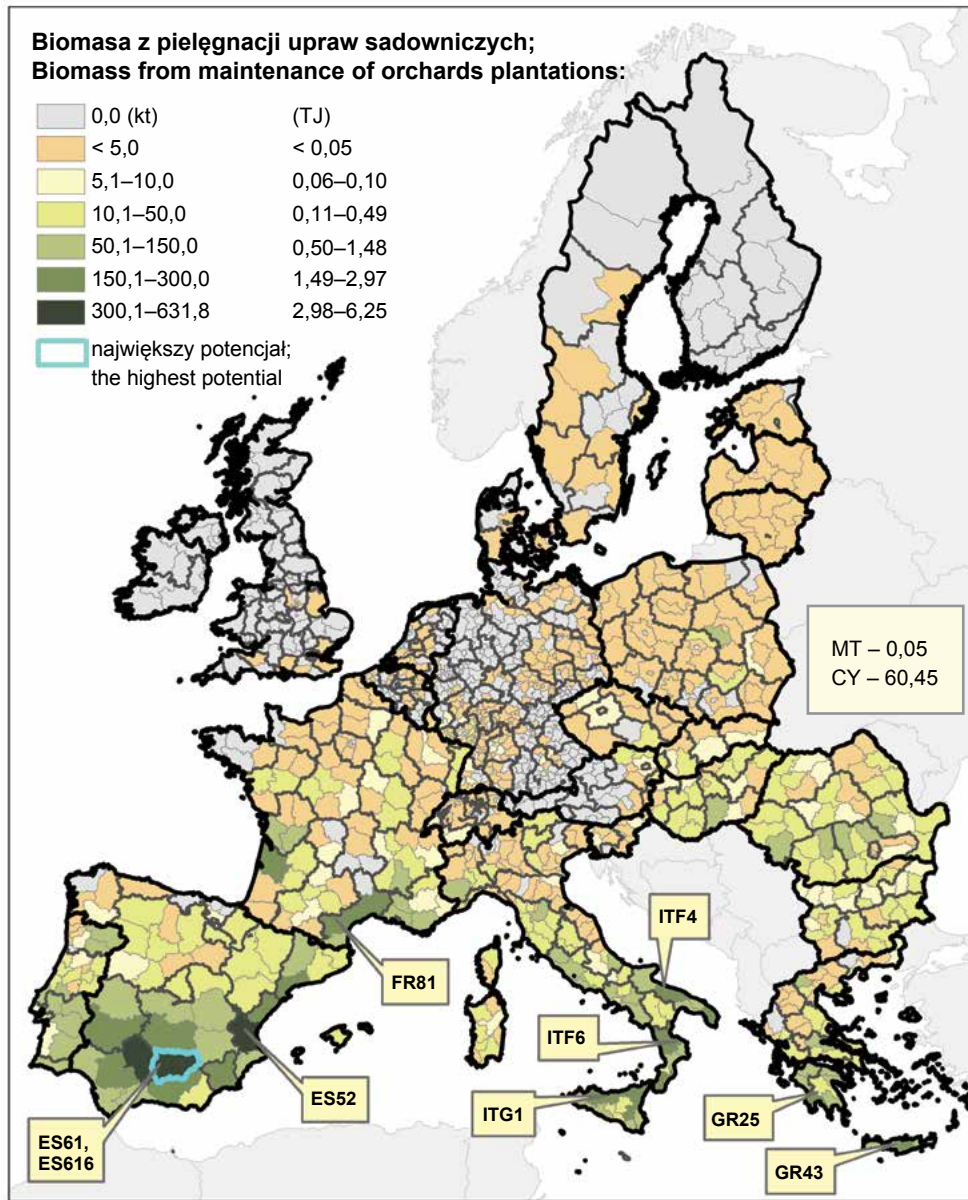
Wyniki

Całkowity potencjał biomasy z pielęgnacji sadów, który może zostać wykorzystany na cele energetyczne wynosi: 15,4 Mt (152 PJ). Średnią wartością dla jednostki NUTS-3 oszacowano na 11 kt. Na obszarze badań stwierdzono 234 jednostki NUTS-3 o potencjale większym niż 10 kt, 68 o potencjale większym niż 60 kt oraz 13 NUTS-3 o potencjale większym niż 200 kt.

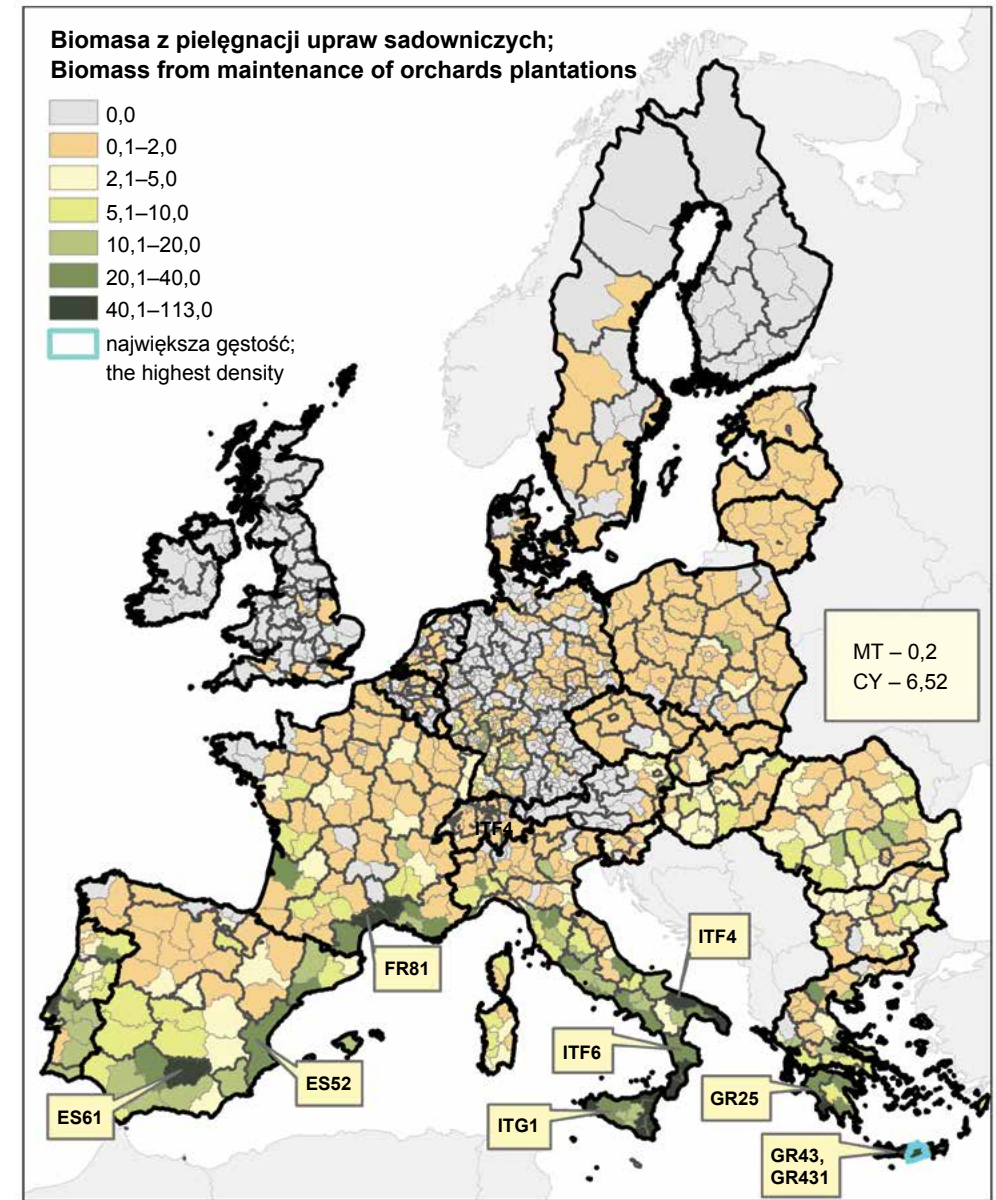
Do najbardziej zasobnych w odpady z pielęgnacji sadów należą regiony (rys. 15 i 16): ES61 (Andalucía), ES52 (Valencia), GR43 (Kriti); GR25 (Peloponnisos); ITF6 (Calabria); ITF4 (Puglia); ITG1 (Sicilia); FR81 (Languedoc-Roussillon).

Największy potencjał został oszacowany dla NUTS-3: ES616 (Jaen) – 631 kt (6,3 PJ), jednak największa gęstość przestrzenna tego surowca znajduje się w jednostce GR431 (Irakleio Prefecture) – 112 t·km⁻².

Ze względu na warunki klimatyczne oraz typy upraw wieloletnich regiony o największych plantacjach zlokalizowane są na południu Europy. Położony najbardziej na północ region mogący mieć znaczenie w pozyskiwaniu biomasy pochodzącej z pielęgnacji sadów znajduje się w Polsce, na Mazowszu (okolice Grójca).



Rys. 15. Potencjał techniczny biomasy i energii z pielęgnacji upraw sadowniczych w NUTS-3
The technical potential of biomass and energy from maintenance of orchards plantations in NUTS-3



Rys. 16. Gęstość przestrzenna biomasy z pielęgnacji upraw sadowniczych w NUTS-3
Biomass spatial density from maintenance of orchards plantations in NUTS-3

4.2. BIOMASA ODPADOWA Z GOSPODARKI LEŚNEJ

Cel i definicje

Celem analizy jest ocena potencjału technicznego odpadów z gospodarki leśnej, które mogą być wykorzystane na cele energetyczne. Jako dane podstawowe użyto wyników projektu RENEW. W projekcie tym oceniono odpady z gospodarki leśnej dla 25 krajów Europy. Szacunki wykonano na podstawie danych TB FRA (2000 i 2005) i Forestat (FAO 2013). Modelowano potencjał dostępności biomasy leśnej w 2004 r. oraz dwa scenariusze z horyzontem czasowym 2020 r.

Odpady obejmują następujące frakcje:

- pozostałości po wyrębie – niewykorzystywane kawałki drewna i kory, biomasa może zawierać odcięte wierzchołki drzew, gałęzie (zawierające liście lub igły) oraz gatunki drzew i krzewów nieprzedstawiające wartości użytkowej;
- pozostałości po przecinkach – biomasa może pochodzić z przecinek i czyszczenia wstępnego upraw leśnych i młodników, wówczas biomasa ta ma charakter czysto odpadowy, może też być pozyskiwana z pielęgnacji drzew gatunków lasotwórczych, wówczas część frakcji przecinkowej może mieć charakter komercyjny i być wykorzystywana: opałowo, w przemyśle celulozowym lub nawet jako drewno techniczne;
- pozostałości pozrębowe – w skład tej frakcji wchodzi cała biomasa podziemna możliwa do pozyskania oraz pień (do poziomu ścięcia drzewa);
- bilans masy drzewnej – frakcja szacowana jako różnica między rocznym przyrostem netto a wyrębem.

Potencjały techniczne były szacowane poprzez redukcję potencjałów teoretycznych, na podstawie trzech czynników: potencjału przemysłowego, ekologicznego oraz potencjałów o lokalnym lub globalnym znaczeniu. Metodę oparto na pracach charakteryzujących pozostałości po wyrębie (Kubiak i Laurow 1994, Savolainen i Berggren 2000, Rządowski 2000, Hakkila 2004), pozostałości po przecinkach (Kubiak i Laurow 1994, Rządowski 2000, Różański i Jabłoński 2003, Hakkila 2004, UNECE 2005), pozostałości pozrębowe (Kubiak i Laurow 1994, Hakkila 2004) oraz bilans masy drzewnej (Kubiak i Laurow 1994, TB FRA 2000, Hakkila 2004, UNECE 2005, TB FRA 2005).

Metody

Wyniki uzyskane w projekcie RENEW zostały dezagregowane do regionów NUTS-3 poprzez użycie mapy użytkowania terenu (CLC). Na jej podstawie określono procentowy udział lasów dla każdej jednostki NUTS-3 będącej odpowiednio podzbiorem jednostki nadrzędnej (NUTS-0 lub NUTS-2), w której określone zostały potencjały techniczne biomasy z gospodarki leśnej. Wykonano zmianę jednostki szacującej potencjał, konwertując szacunki RENEW wyrażone w metrach sześciennych na tony (Mantau i in. 2010, Phyllis 2). W geoprzetwarzaniu danych zastosowano Formułę 2.0. Źródła danych zestawiono w tabeli 9.

Formuła 2.0:

$$FR_N3 = (FR_N0 \cdot CLC_{Forest_N3} / CLC_{Forest_N0})$$

gdzie:

FR_N3 = potencjał techniczny odpadów biomasy leśnej w NUTS-3 (t); assessed technical potential of forestry residues for NUTS-3 (t),

FR_N0 = potencjał techniczny odpadów biomasy leśnej według RENEW dla NUTS-0 (t); technical potential of forestry residues by RENEW for NUTS-0 (t),

CLC_{Forest_N3} = powierzchnie lasów w NUTS-3 (podzbiór CLC_{Forest_N2}) (ha); area of forest in NUTS-3 (subset of CLC_{Forest_N2}) (ha),

CLC_{Forest_N2} = powierzchnie lasów w NUTS-0 lub NUTS-2 (ha); area of forest in NUTS-0 or NUTS-2 (ha),

CLC_{Forest} = klasa 23 (lasy liściaste) + klasa 24 (lasy iglaste) + klasa 25 (lasy mieszane) – według nomenklatury CLC; class 23 (Broad-leaved forest) + class 24 (Coniferous forest) + Class 25 (Mixed forest) of CLC.

Tabela 9

Źródła danych dla modelowania odpadów z gospodarki leśnej
Data sources of forestry residues

Wskaźnik; Indicator	Źródło; Source	Dostępne pod adresem; Location
FR_N0	RENEW Project	Protokół dostępu: http://www.renew-fuel.com/fs_documents.php [01.04.2013]
CLC_{Forest_N3} CLC_{Forest_N0}	EEA	CORINE. Protokół dostępu: http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2006-raster-2 [01.04.2013]

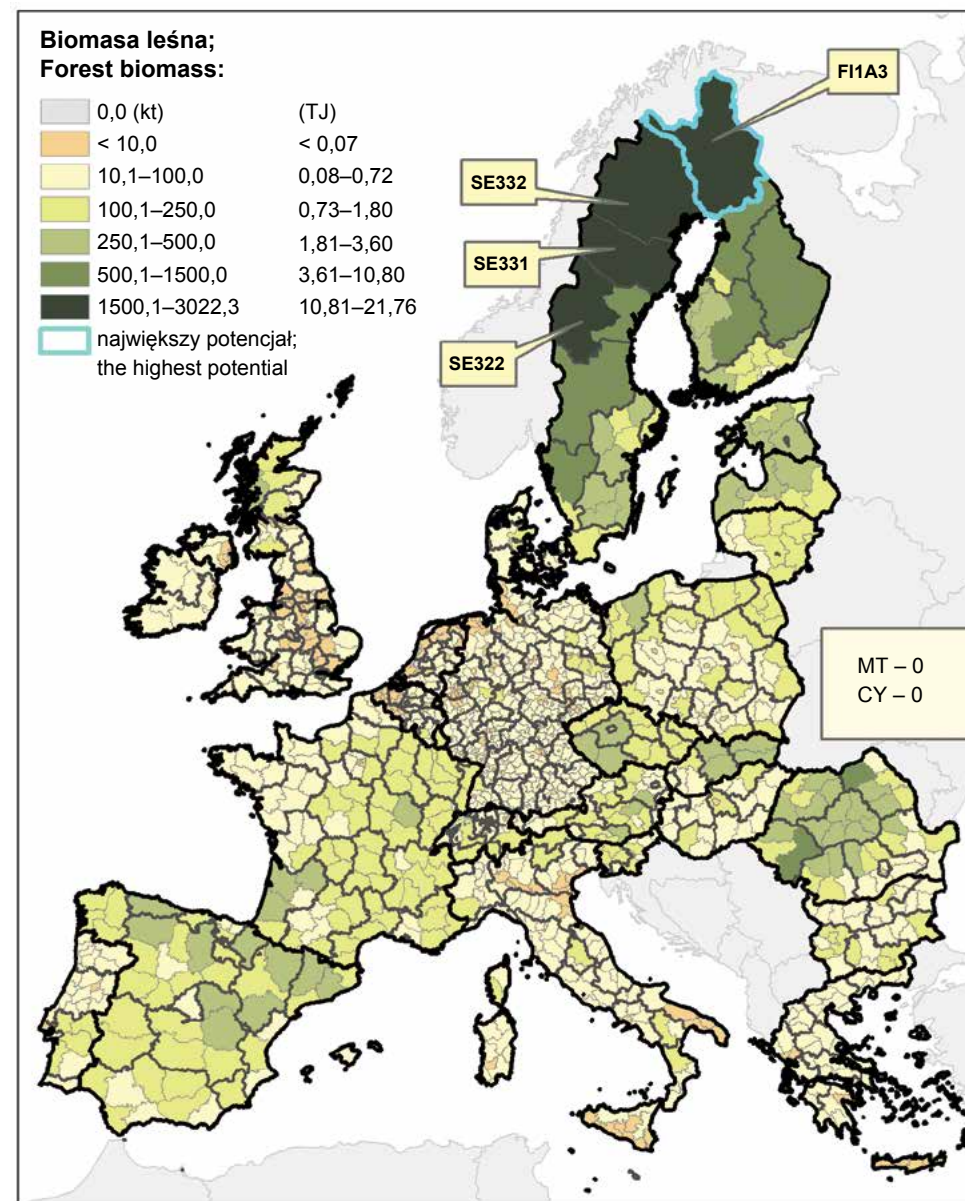
W celu przeliczenia modelowanej masy na energię przyjęto na podstawie RENEW (2008), że jednej tonie biomasy leśnej o wilgotności 55–60% odpowiada kaloryczność wynosząca 7,2 GJ.

Wyniki

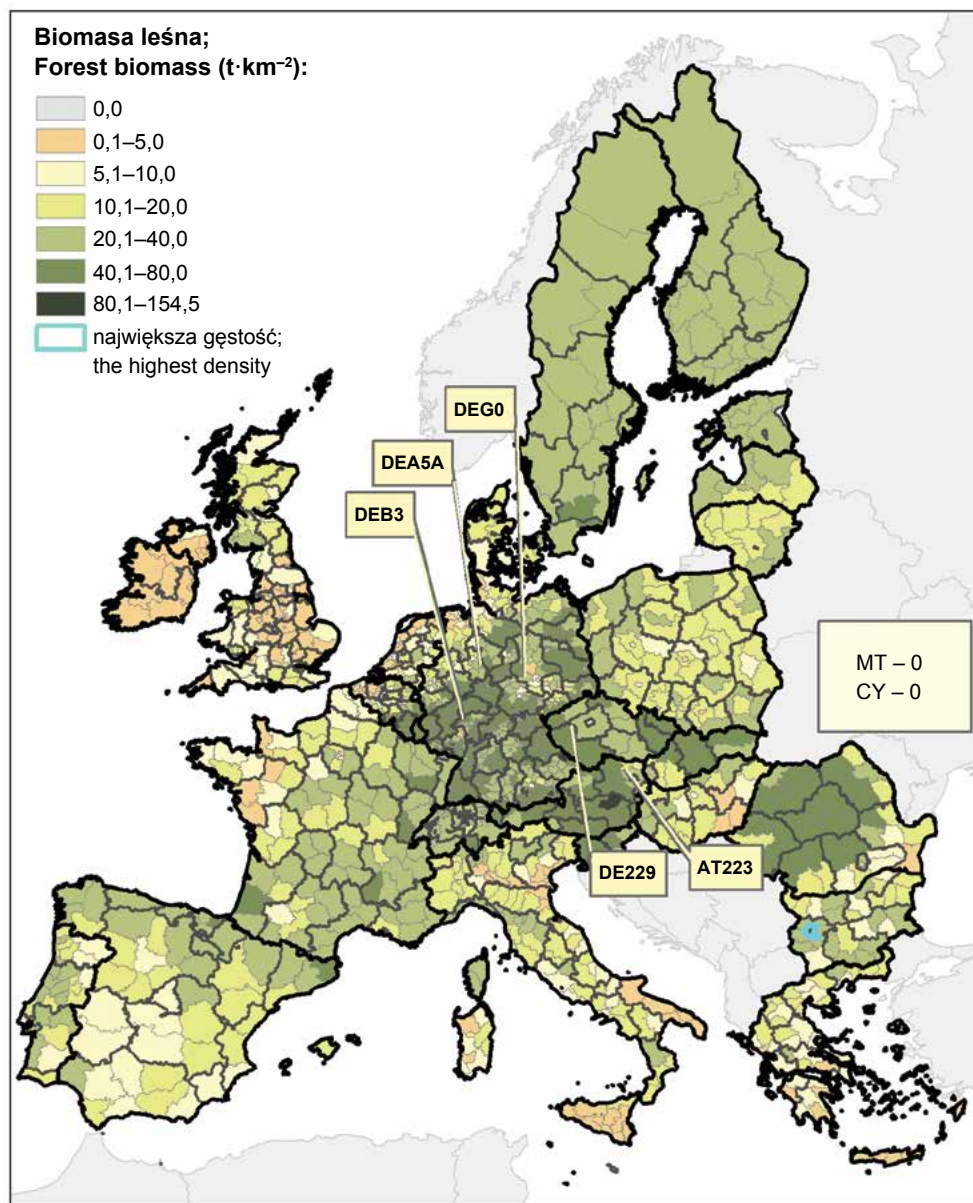
Całkowity potencjał odpadów biomasy leśnej, który może zostać wykorzystany na cele energetyczne wynosi 104,4 Mt (751 PJ), a średnia wartość dla jednostki NUTS-3 jest równa 80 kt. Na obszarze badań stwierdzono 963 jednostek NUTS-3 o potencjale większym niż 10 kt, 460 NUTS-3 o potencjale większym niż 60 kt oraz 124 NUTS-3 o potencjale większym niż 200 kt.

Największy potencjał biomasy leśnej został oszacowany dla FI1A3 (Lapland) – 3,0 Mt (21,8 PJ), co związane jest głównie z wielkością tej jednostki terytorialnej. Podobna sytuacja występuje w sąsiadujących z nią regionach: SE332, SE331, SE322 należących do Szwecji (rys. 17).

Największą gęstość przestrzenną tego surowca stwierdzono dla NUTS-3 BG411 (Sofia) – 154,4 t·km⁻², jednak ze względu na małą powierzchnię tego NUTS i dużo mniejsze wartości w jego otoczeniu, wynik ten nie jest znaczący dla tego rejonu Europy. Dużo ważniejszym wynikiem jest uzyskanie wyraźnej rejonizacji gęstości przestrzennej biomasy leśnej w Niemczech, Austrii, Słowacji i Rumunii. Normalizacja wartości przeprowadzona przez oszacowanie gęstości przestrzennej biomasy leśnej w powyższych regionach, co ze względu na dużą dysproporcję powierzchni między regionami NUTS w Europie centralnej i północnej nie było widoczne na mapie potencjału technicznego poszczególnych NUTS-3, którą zobrazowano na rysunku 18. Do regionów najbardziej zasobnych w odpady z leśnictwa należą: DEG0 (Thüringen), DEB3 (Rhein Hessen-Pfalz), DEA5A (Arnsberg), DE229 (Niederbayern), AT223 (Obersteiermark).



Rys. 17. Potencjał techniczny biomasy i energii z odpadów biomasy leśnej w NUTS-3
The technical potential of biomass and energy from forest residues in NUTS-3



Rys. 18. Gęstość przestrzenna biomasy – odpadów biomasy leśnej w NUTS-3
Biomass spatial density – forest residues in NUTS-3

4.3. BIOMASA Z KONSERWACJI PRZYRODY

4.3.1. Zieleń miejska

Cel i definicje

Celem analiz była ocena potencjału technicznego odpadów z pielęgnacji zieleni miejskiej, który może być wykorzystany na cele energetyczne. Biomasa tę stanowią resztki z pielęgnacji drzew (parkowych, przydrożnych, osiedlowych), przecinki krzewów oraz usuwania skoszonej trawy i opadających liści. Analizy potencjałów biomasy odpadowej pozyskiwanej na miejskich terenach zielonych są pierwszym tego typu opracowaniem w skali Europy.

Metody

Potencjał techniczny biomasy z konserwacji zieleni miejskiej został oszacowany na podstawie mapy pokrycia terenu (CLC). Zieleń miejska jest kodowana dwoma klasami użytkowania: 1) tereny zielone (green urban areas, klasa 10) oraz 2) tereny sportowe i wypoczynkowe (port and leisure facilities, klasa 11). Wyselekcjonowanym pikselom tych klas przyporządkowano wartości produktywności biomasy. Analizę przeprowadzono dla mapy o rozdzielczości terenu 100 x 100 m. Jako potencjał techniczny przyjęto, podobnie jak w przypadku szacowania odpadów z pielęgnacji upraw sadowniczych, wartość 50% NPP dla każdego z pikseli. Obliczenia wykonano na podstawie Formuły 3.1 (format zapisu wg języka VBA). W tabeli 10 zestawiono dane źródłowe wykorzystane w modelowaniu.

Formuła 3.1:

IF CLC = 10 OR 11 **THAN** GUA = (0.5·NPP) **ELSE** GUA = NoData

gdzie:

GUA = odpady z konserwacji zieleni miejskiej; residuals of natural conservation of green urban areas,

CLC = klasa 10 i 11 według Corine Land Cover; Corine Land Cover, classes: 10, 11,

NPP = produktywność potencjalna netto dla klas 10, 11 CLC; net primary productivity in location of 10, 11 class of CLC.

Tabela 10

Źródła danych dla modelowania odpadów biomasy z konserwacji zieleni miejskiej
Data sources of green urban areas

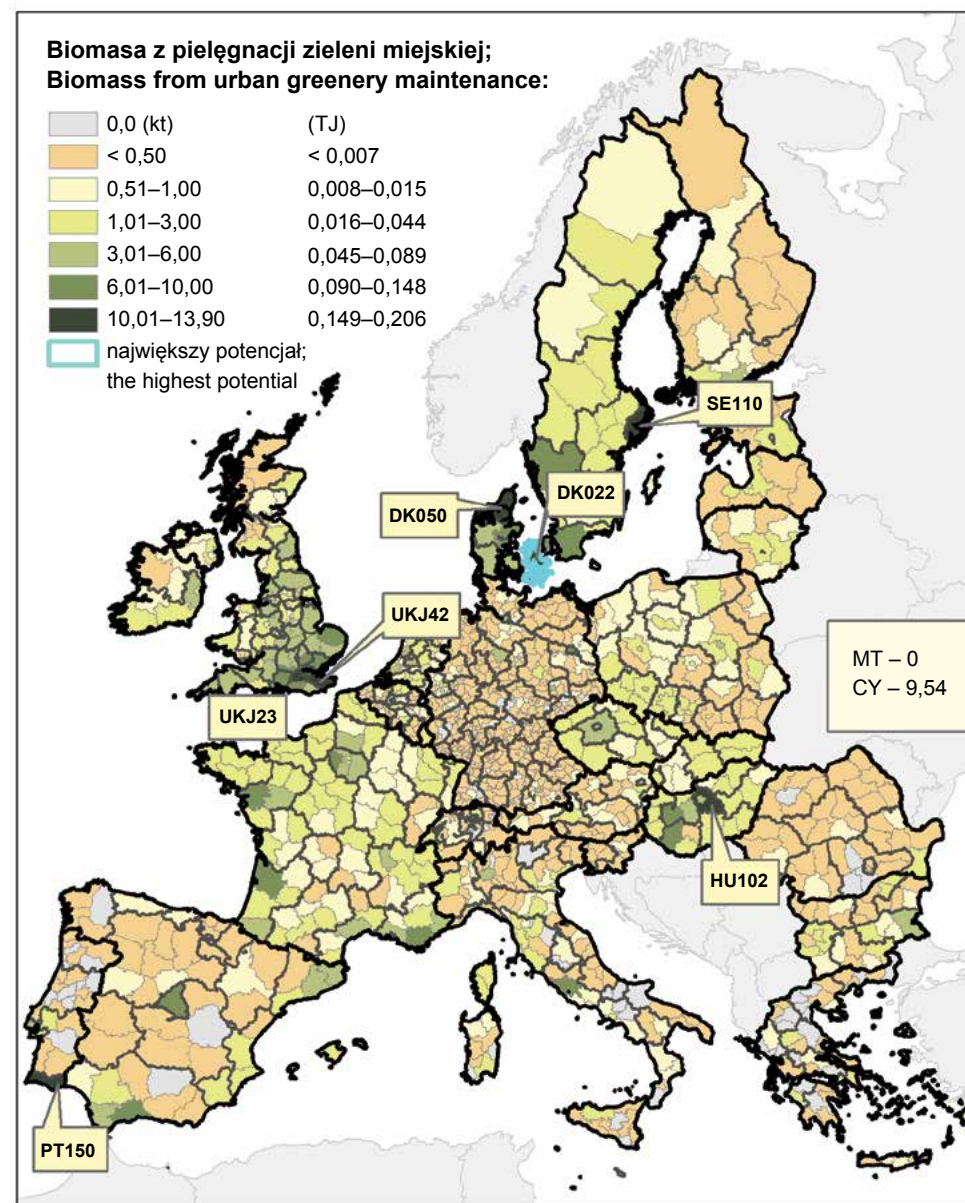
Wskaźnik; Indicator	Źródło; Source	Dostępne pod adresem; Location
CLC	EEA	CORINE. Protokół dostępu: http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2006-raster-2 [01.04.2013]
NPP	WDC-RSAT	Protokół dostępu: http://wdc.dlr.de/data_products/SURFACE/ [01.04.2013]

W celu przeliczenia modelowanej masy na energię przyjęto na podstawie kalkulatora Phyllis 2, że jednej tonie biomasy z konserwacji zieleni miejskiej o wilgotności 15% odpowiada kaloryczność równa 14,8 GJ.

Wyniki

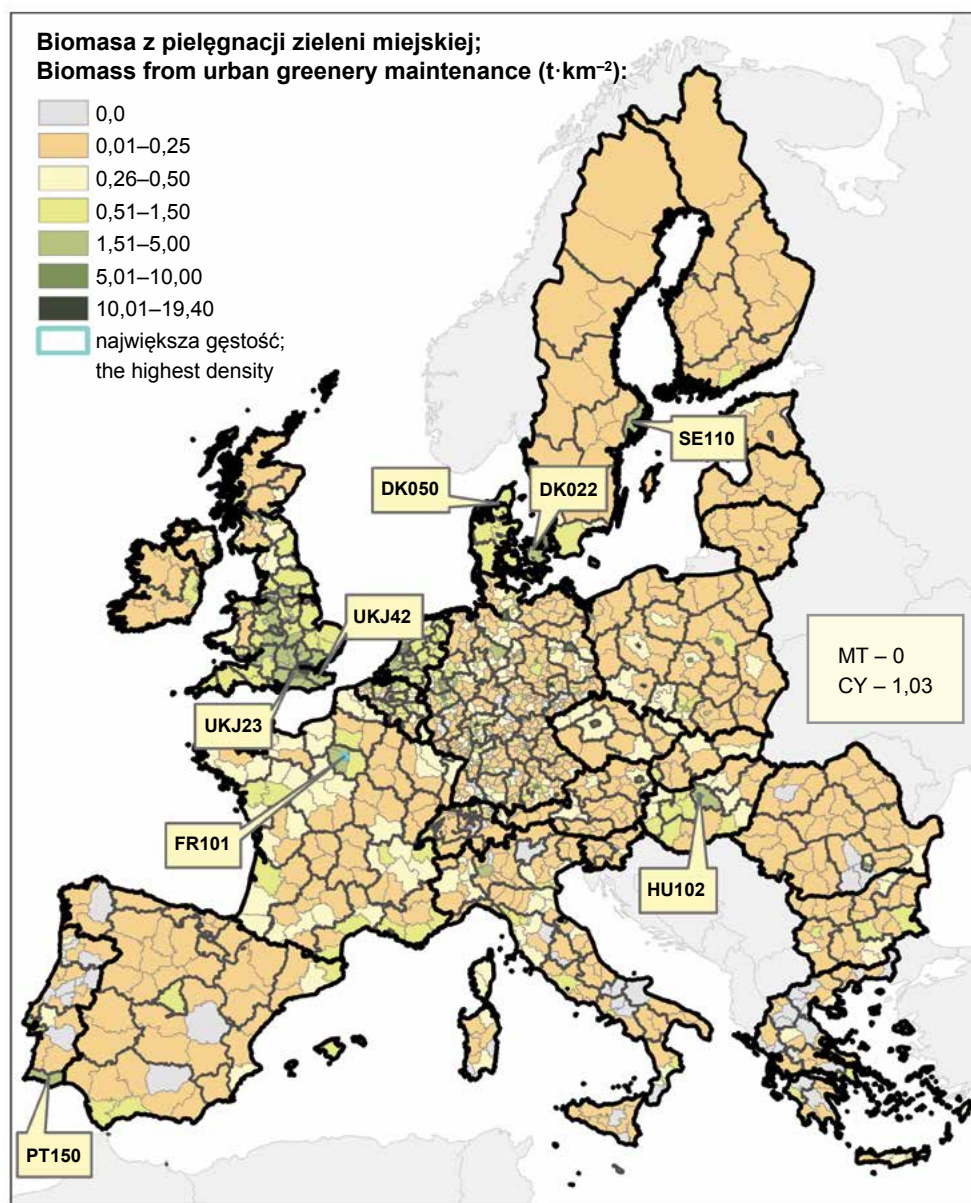
Całkowity potencjał biomasy z zieleni miejskiej, który może zostać wykorzystany na cele energetyczne wynosi 1,2 Mt. Średnia wartość dla jednostki NUTS-3 wynosi 0,9 kt. Na obszarze badań stwierdzono 7 jednostek NUTS-3 o potencjale większym niż 10 kt: DK022 (Vest-og Sydsjælland) – największe zasoby: 13,8 kt; PT150 (Algarve); HU102 (Pest); DK050 (Nordjylland); UKJ23 (Surrey); SE110 (Stockholms); UKJ42 (Kent) (rys. 19). Są to jedyne regiony, w których można zakładać lokalizację zakładu energetycznego opartego na tym rodzaju biomasy.

Największą gęstość przestrzenną tego surowca stwierdzono dla NUTS-3 FR101 (Paryż) – 19,3 t·km⁻². W 13 regionach gęstość przestrzenna przekroczyła 10 t·km⁻²; są to przeważnie małe jednostki o charakterze aglomeracji (rys. 20).



Rys. 19. Potencjał techniczny biomasy i energii z wykorzystania odpadów z pielęgnacji zieleni miejskiej w NUTS-3

The technical potential of biomass and energy from urban greenery maintenance in NUTS-3



Rys. 20. Gęstość przestrzenna biomasy – odpadów z zieleni miejskiej w NUTS-3
 Biomass spatial density – urban greenery residues in NUTS-3

4.3.2. Zielen przy ciągach komunikacyjnych

Cel i definicje

Celem analiz była ocena potencjału technicznego biomasy, który można uzyskać przy pielęgnacji pasów zieleni ciągnących się wzdłuż szlaków komunikacyjnych. Do biomasy tego typu można zaliczyć drewno z wycinki drzew i krzewów oraz trawę i krzewy, które powinny być regularnie usuwane z pasów bezpośrednio przylegających do ciągów komunikacyjnych.

Obecnie biomasa tego typu nie jest powszechnie wykorzystywana na potrzeby energetyczne, choć znane są przypadki zainteresowania przez duże zakłady energetyczne drewnem pochodzącym z wycinek alei przydrożnych. Biomasa przydrożna ze względu na dużą gęstość sieci komunikacyjnych stanowi teoretycznie znaczący potencjał. Wykorzystywaniu tej biomasy sprzyjają:

- logistyka transportu; biomasa znajduje się bezpośrednio przy trasach komunikacyjnych, dlatego też jej składowanie i przewożenie nie powinno stwarzać większych trudności, nie występują utrudnienia związane z transportem na odcinku pole – droga;
- nie jest wymagany wieloetapowy transport;
- nie ponosi się nakładów na produkcję biomasy;
- pielęgnacja jest konieczna – w większości przypadków biomasa przydrożna, ze względu na bezpieczeństwo kierujących, jest celowo usuwana podczas wykonywania sezonowych prac konserwacji szlaków komunikacyjnych; dotyczy to przede wszystkim autostrad i dróg szybkiego ruchu. Wówczas resztki zielone ze względu na objętość i ciężar są szczególnie uciążliwym odpadem;
- rosnące zapotrzebowanie na surowce do produkcji biopaliw i biopłynów;
- przewidywalne niskie wskaźniki emisji gazów cieplarnianych szacowane metodą LCA (Live Cycle Assessment).

Głównym problemem w logistyce biomasy uzyskiwanej przy szlakach komunikacyjnych jest brak gotowych rozwiązań technologicznych, które pozwalałyby na synchronizację procesu koszenia (w przypadku trawy), załadunku i wywożenia bezpośrednio do zakładów utylizujących. Ze względów bezpieczeństwa konserwacja pasów przydrożnych musi odbywać się z zachowaniem szczególnej ostrożności. Prace powinny być prowadzone w terminach zmniejszonego ruchu drogowego.

Jedyny dotychczasowy szacunek potencjału biomasy przydrożnej przedstawiono w pracy, która ukazała się w raporcie z projektu BiomassFuture (Elbersen i in. 2012). Natomiast prezentowana analiza własna potencjałów biomasy odpadowej możliwej do uzyskania podczas wykonywania pielęgnacji pasów zieleni przy ciągach komunikacyjnych jest pierwszym tego typu opracowaniem w skali NUTS-3.

Metody

Analizę przestrzenną oparto na cyfrowych danych wektorowych pochodzących z bazy danych OSM (Open Street Map). Baza ta zawiera informację o globalnym przebiegu ciągów komunikacyjnych (dróg i kolei). Udostępniona jest na licencji „open source”, dzięki czemu można z niej korzystać bezpłatnie. Dane grupowane są w szereg kategorii, co pozwala wyselekcjonować szlaki komunikacyjne określonych typów. Na potrzeby analiz wybrano drogi główne (motor way, primary way i trunk way) oraz linie kolejowe.

Z tak przygotowanej bazy danych wejściowych usunięto szlaki komunikacyjne biegnące przez tereny zabudowane, które zdefiniowano przestrzennie na podstawie mapy pokrycia terenu CLC.

Założono, że biomasa będzie pozyskiwana z pasów o szerokości 10 m, przyległych do szlaków komunikacyjnych. Jedynie dla dróg niższej kategorii „trunk” szerokość pasa zmniejszono do 5 m. Założono produktywność biomasy odpowiadającą produktywności potencjalnej netto w regionie, na podstawie mapy NPP. Obliczenia wykonano przy zastosowaniu Formuły 3.2. Źródła danych podano w tabeli 11. Szacowaną biomasa tabularyzowano dla regionów NUTS-3.

Formuła 3.2:

$$RSV = 2 \cdot NPP \cdot Wsp \cdot ((LR1_km \cdot 10m) + (LR2_km \cdot 5m) + (LR3_km \cdot 10m) + (LRw_km \cdot 10m))$$

gdzie:

RSV = potencjał techniczny biomasy z pielęgnacji szlaków komunikacyjnych (kt); biomass of road side vegetation for NUTS-3 (kt),

NPP = produktywność potencjalna netto, średnia wartość w NUTS-3 ($t \cdot ha^{-1}$); net primary productivity, mean value of NUTS-3 ($t \cdot ha^{-1}$),

Wsp = 10^4 , współczynnik przeliczający wartości na 1000 ton; 10^4 , it lets to obtain value as 1000 tones, (dimensionless),

LR1 = autostrady (km w NUTS-3); motor way (km per NUTS-3),

LR2 = drogi główne pierwszego rzędu (km w NUTS-3); primary way (km per NUTS-3),

LR3 = drogi główne drugiego rzędu (km w NUTS-3); trunk way (km per NUTS-3),

LRw = linie kolejowe (km w NUTS-3); railway (km per NUTS-3).

Tabela 11

Źródła danych dla modelowania biomasy usuwanej z poboczy szlaków komunikacyjnych
Data sources for modelling road side vegetation

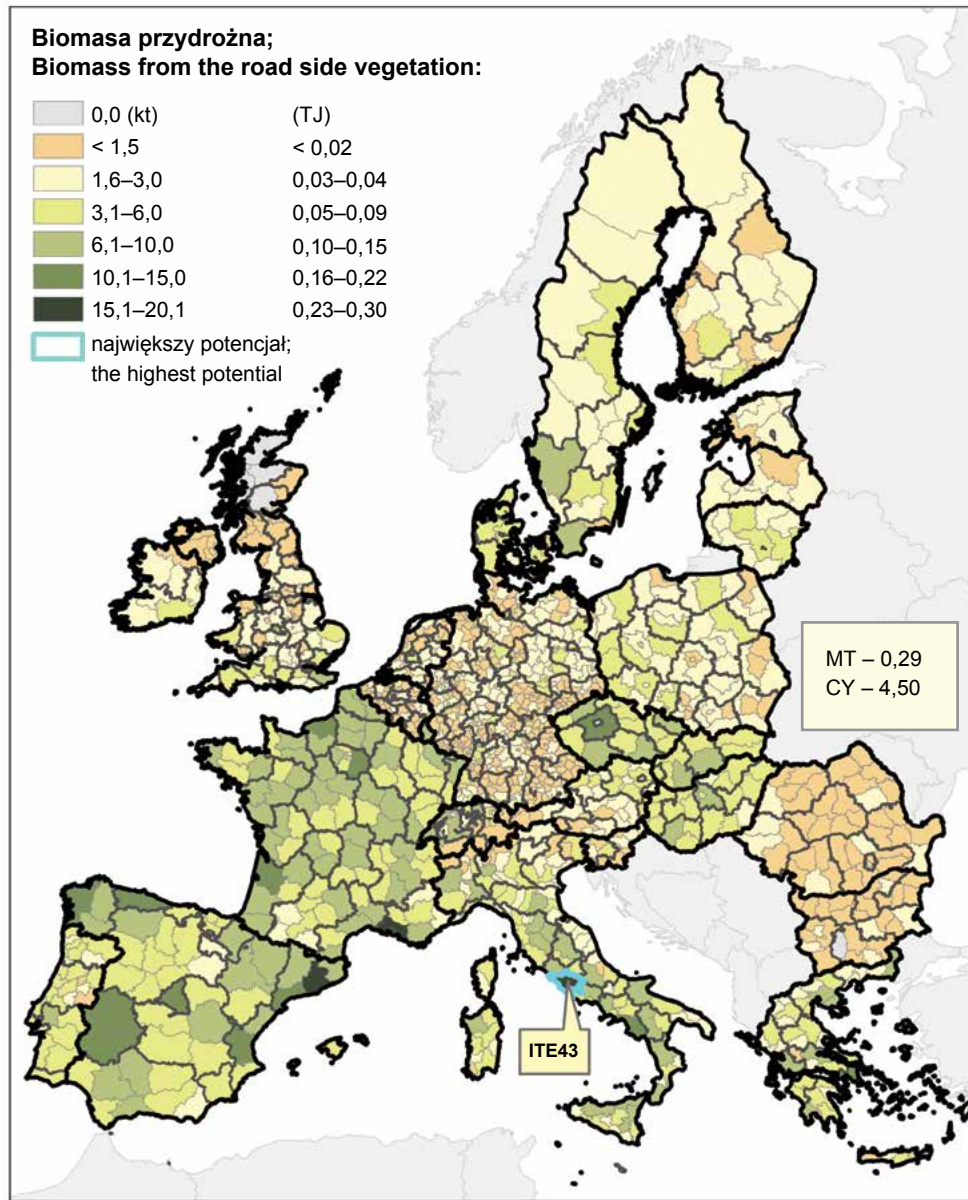
Wskaźnik; Indicator	Źródło; Source	Dostępne pod adresem; Location
LR1, LR2, LR3, LRw	OpenStreetMap	Protokół dostępu: http://planet.openstreetmap.org/ [01.04.2013]
CLC	EEA	CORINE. Protokół dostępu: http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2006-raster-2 [01.04.2013]
NPP	WDC-RSAT	Protokół dostępu: http://wdc.dlr.de/data_products/SURFACE/ [01.04.2013]

W celu przeliczenia modelowanej masy na energię przyjęto na podstawie kalkulatora Phyllis 2, że jednej tonie biomasy pozyskanej z konserwacji szlaków komunikacyjnych, o wilgotności 15%, odpowiada kaloryczność równa 14,8 GJ.

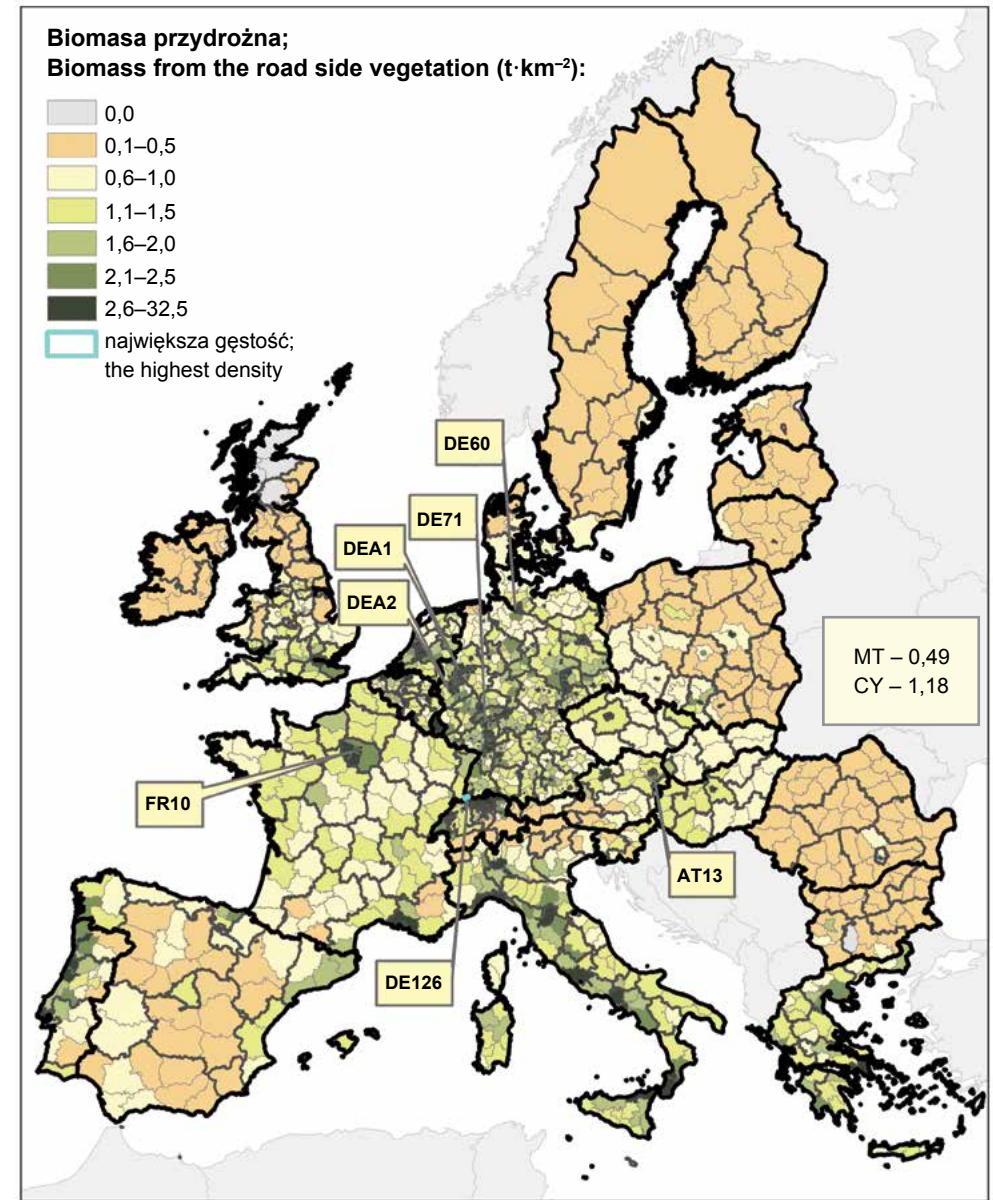
Wyniki

Całkowity potencjał biomasy, która może zostać wykorzystana na cele energetyczne wynosi 3,2 Mt (47,0 PJ). Średnią wartością dla jednostki NUTS-3 jest 2,4 kt. Na obszarze badań stwierdzono jedynie 17 jednostek NUTS-3 o potencjale większym niż 10 kt. Najwyższy potencjał został oszacowany dla NUTS-3 ITE43 (Roma) – 20 kt, jednak najwyższa gęstość przestrzenna tego surowca znajduje się w jednostce DE126 (Mannheim, Stadtkreis) – $18 t \cdot km^{-2}$ (rys. 21 i 22).

Do najbardziej zasobnych regionów NUTS-2 w biomasa odpadową z pielęgnacji pasów zieleni przy ciągach komunikacyjnych należą regiony: DEA1 – Düsseldorf; DEA2 – Köln; DE71 – Darmstadt; DE60 – Hamburg; FR10 – Île de France; AT13 – Wien (rys. 22).



Rys. 21. Potencjał techniczny biomasy i energii z pielęgnacji pasów zieleni w NUTS-3
The technical potential of biomass and energy from the road side vegetation maintenance in NUTS-3



Rys. 22. Gęstość przestrzenna biomasy z pielęgnacji pasów zieleni w NUTS-3
Biomass spatial density road side vegetation maintenance in NUTS-3

4.4. ODPADY KOMUNALNE I PRZEMYSŁOWE

W rozdziale przedstawiono ocenę potencjału komunalnej i przemysłowej biomasy odpadowej. Ze względu na dostępność danych analizowano trzy kategorie odpadów: biodegradowalne odpady komunalne, organiczne odpady przemysłu spożywczego oraz odpady przemysłu drzewnego. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 19 listopada 2008 r. (dyrektywa 2008/98/WE) w sprawie odpadów, definiuje „bioodpady” jako ulegające biodegradacji odpady ogrodowe i parkowe, odpady spożywcze i kuchenne z gospodarstw domowych, restauracji, placówek zbiorowego żywienia i handlu detalicznego oraz porównywalne odpady z zakładów przetwórstwa spożywczego.

4.4.1. Biodegradowalne odpady komunalne

Cel i definicje

Celem analiz było oszacowanie potencjału technicznego biodegradowalnych odpadów komunalnych, które zdefiniowano jako frakcję organiczną w odpadach powstających na jednego mieszkańca (Eurostat). Z frakcji organicznej wykluczono takie odpady, jak: papier i tektura oraz odpady tekstylne.

Metody

Analizę potencjału technicznego odpadów biodegradowalnych przeprowadzono na podstawie danych Eurostat, z których wykorzystano informację o ilości produkowanych odpadów na jednego mieszkańca w przekroju NUTS-2. Procent frakcji organicznej w ogólnej ilości wytwarzanych odpadów określono na podstawie bazy danych OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development – Environmental Data Compendium). Procent odbieranych śmieci przez firmy komunalne pozyskano z bazy danych United Nations Statistics Division. Ludność w regionach NUTS-3 przyjęto za bazę danych firmy ESRI (Environmental Systems Research Institute). Algorytm obliczeniowy szacujący potencjał techniczny przyjęto za metodą opracowaną w projekcie BEE. Potencjał techniczny obliczono, stosując formułę (4.1) podaną przez Visa i in. (2011).

Formuła 4.1:

$$TP_{BMW_{x,y}} = MSW_{x,y} \cdot POP_{x,y} \cdot ACC_{x,y} \cdot OC_{x,y} \cdot 10^{-6}$$

gdzie:

$TP_{BMW_{x,y}}$ = potencjał techniczny biodegradowalnych odpadów komunalnych (kt·rok⁻¹);
biomass potential of biodegradable municipal waste (kt·year⁻¹),

$MSW_{x,y}$ = produkcja odpadów na osobę (t·osoba⁻¹·rok⁻¹); municipal waste production per capita (t·person⁻¹·year⁻¹),

$POP_{x,y}$ = populacja (osób); population of NUTS-3 (persons),
 $ACC_{x,y}$ = procent populacji korzystającej z serwisu komunalnego przy odbiorze odpadów (%); percentage of the population served by municipal waste services (%),
 $OC_{x,y}$ = zawartość frakcji organicznej (%); organic content (%).

Tabela 12

Źródła danych dla modelowania komunalnych odpadów biodegradowalnych
Data sources for modelling of municipal waste

Wskaźnik; Indicator	Źródło; Source	Dostępne pod adresem; Location
$MSW_{x,y}$	Eurostat	Generation of waste (env_wasgen). Protokół dostępu: http://epp.eurostat.ec.europa.eu [01.04.2013]
$POP_{x,y}$	ESRI	Protokół dostępu: http://www.arcgis.com/home/item.html?id=cf3c8303e85748b5bc097cd5d39c31 [01.04.2013]
$ACC_{x,y}$	ONZ	Protokół dostępu: http://unstats.un.org/unsd/environment/municipalwaste.htm [01.04.2013]
$OC_{x,y}$	OECD	Protokół dostępu: http://www.oecd.org/document/40/0,3746,en_2649_34283_39011377_1_1_1_1,00.html [01.04.2013]
LHV_{BMW}	IPCC 2006	Protokół dostępu: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_1_Ch1_Introduction.pdf [01.04.2013]

W celu przeliczenia modelowanej masy na energię przyjęto na podstawie raportu IPCC oraz BIOBIB – Reisinger i in. (1996), że jednej tonie odpadów biodegradowalnych o wilgotności 50% odpowiada kaloryczność (wartość opałowa) równa 6,7 GJ.

Wyniki

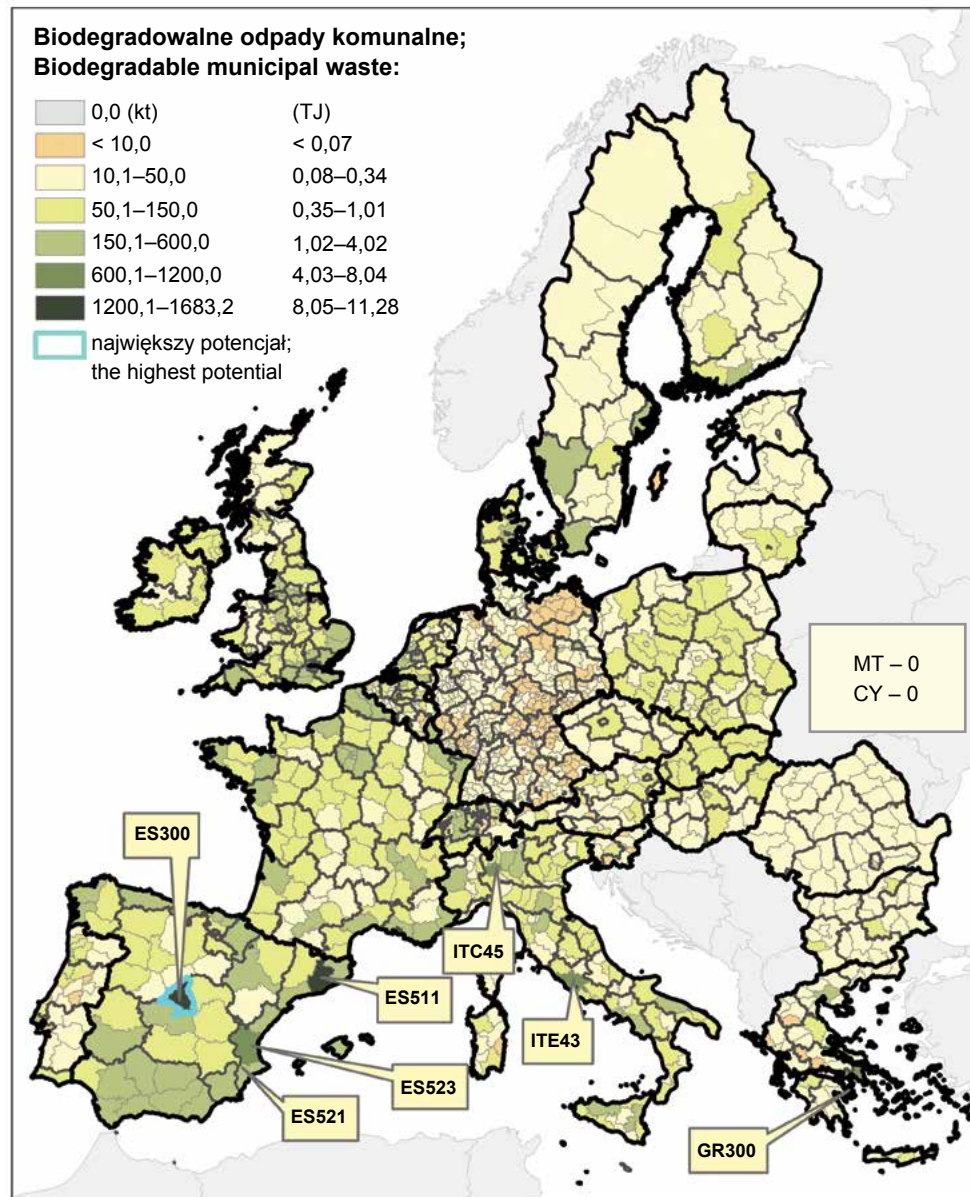
Całkowity potencjał odpadów biodegradowalnych, który może zostać wykorzystany na cele energetyczne wynosi 77,2 Mt (517,3 PJ). Średnia wartość dla jednostki NUTS-3 równa się 58,9 kt. Na obszarze badań stwierdzono 1101 jednostek NUTS-3 o potencjale większym niż 10 kt, 368 NUTS-3 o potencjale większym niż 60 kt oraz 67 NUTS-3 o potencjale większym niż 200 kt.

Największy potencjał został oszacowany dla NUTS-3: ES300 (Madryt) – 1,7 Mt, jednak największą gęstość przestrzenną tego surowca stwierdzono w jednostce FR101 (Paryż) – 3,6 kt·km⁻².

Do regionów o największym potencjale biodegradowalnych odpadów komunalnych, gdzie potencjał techniczny jest większy niż 0,5 Mt, należą: ES300 (Madryt), ES511 (Barcelona), GR300 (Attiki), ES523 (Valencia), ITE43 (Roma), ITC45 (Milano), ES521 (Alicante) (rys. 23).

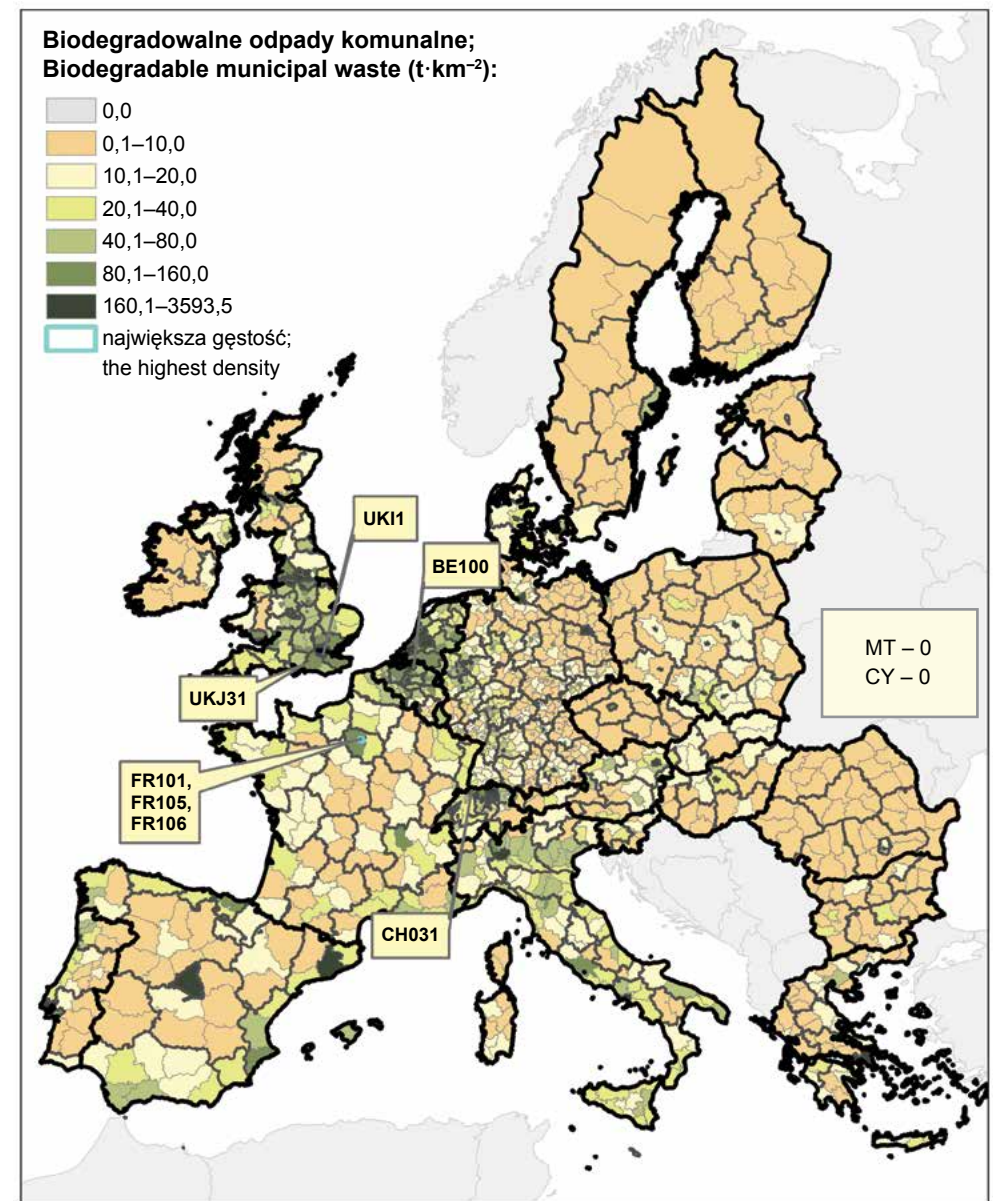
Do regionów o największej gęstości przestrzennej biodegradowalnych odpadów komunalnych, gdzie gęstość tego rodzaju biomasy jest większa niż 1 kt·km⁻² należą:

UKI1 (Londyn), FR101 (Paryż), FR105 (Hauts-de-Seine), BE100 (Bruksela), FR106 (Seine-Saint-Denis), UKJ31 (Portsmouth), CH031 (Basel/Bazylea) (rys. 24).



Rys. 23. Potencjał techniczny biomasy i energii z biodegradowalnych odpadów komunalnych w NUTS-3

The technical potential of biomass and energy from biodegradable waste in NUTS-3



Rys. 24. Gęstość przestrzenna biomasy z biodegradowalnych odpadów komunalnych w NUTS-3
Biomass spatial density of biodegradable municipal waste in NUTS-3

4.4.2. Organiczne odpady przemysłu spożywczego

Cel i definicje

Celem analizy było oszacowanie potencjału technicznego biodegradowalnych odpadów przemysłu spożywczego. Ze względu na ograniczoną dostępność danych oraz możliwości prowadzenia na ich podstawie analiz przestrzennych w skali regionów NUTS-3 wytypowano dwa rodzaje odpadów: powstających w procesie produkcji oliwy z oliwek oraz przetwarzania winogron (najczęściej w procesie produkcji wina). Przestrzenne modelowanie potencjału technicznego tych typów biomasy jest możliwe dzięki szczegółowym informacjom o lokalizacji upraw winogron i oliwek, które daje mapa użytkowania terenu (CLC). Dodatkowo, jak wynika z przeglądu literatury (Blasi i in. 1997, Mahro i Timm 2007), przetwórstwo tego surowca odbywa się przeważnie lokalnie.

Odpady przemysłu spożywczego innego rodzaju, tj.: wysłodki buraczane, melaś, odpady słodownicze, wywar gorzelniany, śruta, serwatka, odpady przetwórstwa owoców i warzyw, są trudne do oszacowania ze względu na brak danych regionalnych lub ich rozproszenie oraz wykorzystywanie tych odpadów jako produkt uboczny w postaci paszy dla zwierząt (brak statystyk). Ponadto w ostatnich latach zachodzą zmiany struktury produkcji, które są skutkiem Wspólnej Polityki Rolnej. Dotyczy to zwłaszcza produkcji cukru i mleka (Eurostat).

Metody

Potencjał techniczny odpadów z przetwórstwa oliwek i winogron został oszacowany na podstawie statystycznych danych o plonie tych roślin w skali regionów NUTS-2 (Eurostat). Wyniki dezagregowano do regionów NUTS-3, zakładając proporcjonalny rozkład danych według udziału powierzchni winnic i gajów oliwnych, które zostały określone na podstawie CLC. Biorąc pod uwagę wielkość produkcji oliwek i winogron, określono procentowo frakcję odpadową z procesu ich przetwarzania. Użyte współczynniki zostały przyjęte jako średnie wartości przytoczone w publikacji Mahro i Timm (2007). Otrzymane wartości zredukowano procentowo o odsetek z całkowitej produkcji winogron i oliwek, które są eksportowane bez fazy przetwarzania. W celu oceny proporcji między przetwórstwem lokalnym a eksportem użyto danych Eurostat. Analizę geoprzetwarzania przeprowadzono według formuły 4.2. Źródła baz danych zestawiono w tabeli 13.

Formuła 4.2:

$$BFI_N3 = ((WSP_G \cdot BFI_G \cdot WSPpeG) + (WSP_O \cdot BFI_O \cdot WSPpeO)) \cdot (CLC_{FI_N3} / CLC_{FI_N2})$$

gdzie:

BFI_N3 = potencjał techniczny odpadów przemysłu przetwórczego w NUTS-3; technical potential of food industry biowaste for NUTS-3,

WSP_G = udział frakcji suchej odpadów w przetwarzaniu winogron; dry biowaste percentage from industry processing of grapes,
 WSP_O = udział frakcji suchej odpadów w przetwarzaniu oliwek (produkcja oliwy); dry biowaste percentage from industry processing of olives (oil production),
 BFI_G = produkcja winogron w NUTS-2; grapes harvest for NUTS-2,
 BFI_O = produkcja oliwek w NUTS-2; olives harvest for NUTS-2,
 CLC_{FI_N3} = pow. winnic i gajów oliwnych w NUTS-3 (podzbiór CLC_{FI_N2}); area of vineyards and olive groves in NUTS-3 (subset of CLC_{FI_N2}),
 CLC_{FI_N2} = pow. winnic i gajów oliwnych w NUTS-2; area of vineyards and olive groves in NUTS-2,
 WSPpeO = stosunek lokalnego przetwarzania i eksportu oliwek; ratio local processing/export of olives,
 WSPpeG = stosunek lokalnego przetwarzania i eksportu winogron; ratio local processing/export of grapes.

Tabela 13

Źródła danych dla modelowania odpadów z przemysłu spożywczego
 Data sources for modelling of food industry waste

Wskaźnik; Indicator	Źródło; Source	Dostępne pod adresem; Location
WSP_G, WSP_O	Publication	Mahro i Timm 2007
BFI_N2	Eurostat	General and regional statistic/Regional statistic/Regional agricultural statistic/Animal populations (December) by NUTS 2 regions (agr_r_animal). Protokół dostępu: http://epp.eurostat.ec.europa.eu [01.04.2013]
CLC _{pc_N3} CLC _{pc_N2}	EEA	CORINE. Protokół dostępu: http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2006-raster-2 [01.04.2013]
WSPpeO WSPpeG	Eurostat	Regional agriculture statistics (reg_agr). Protokół dostępu: http://epp.eurostat.ec.europa.eu [01.04.2013]

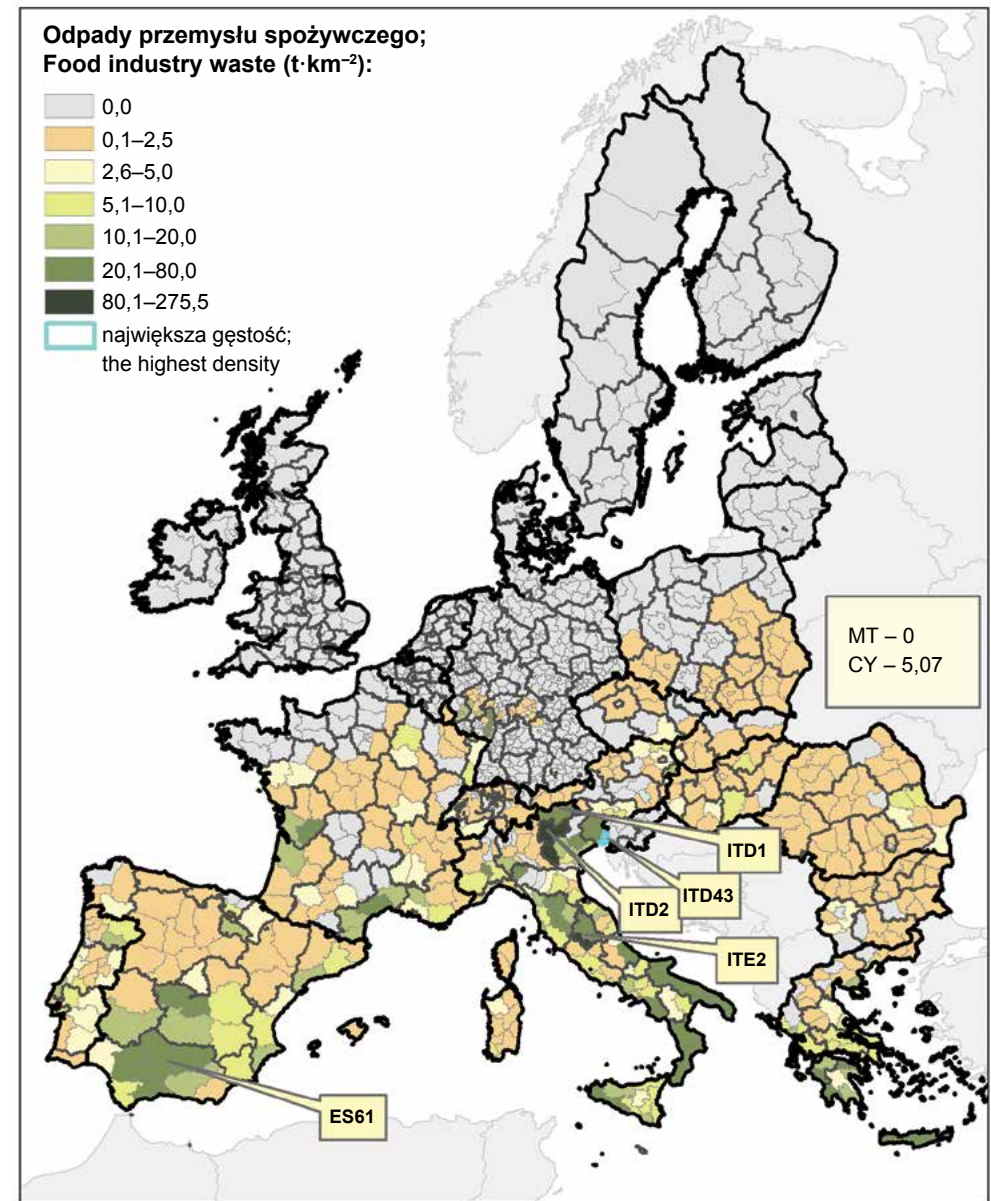
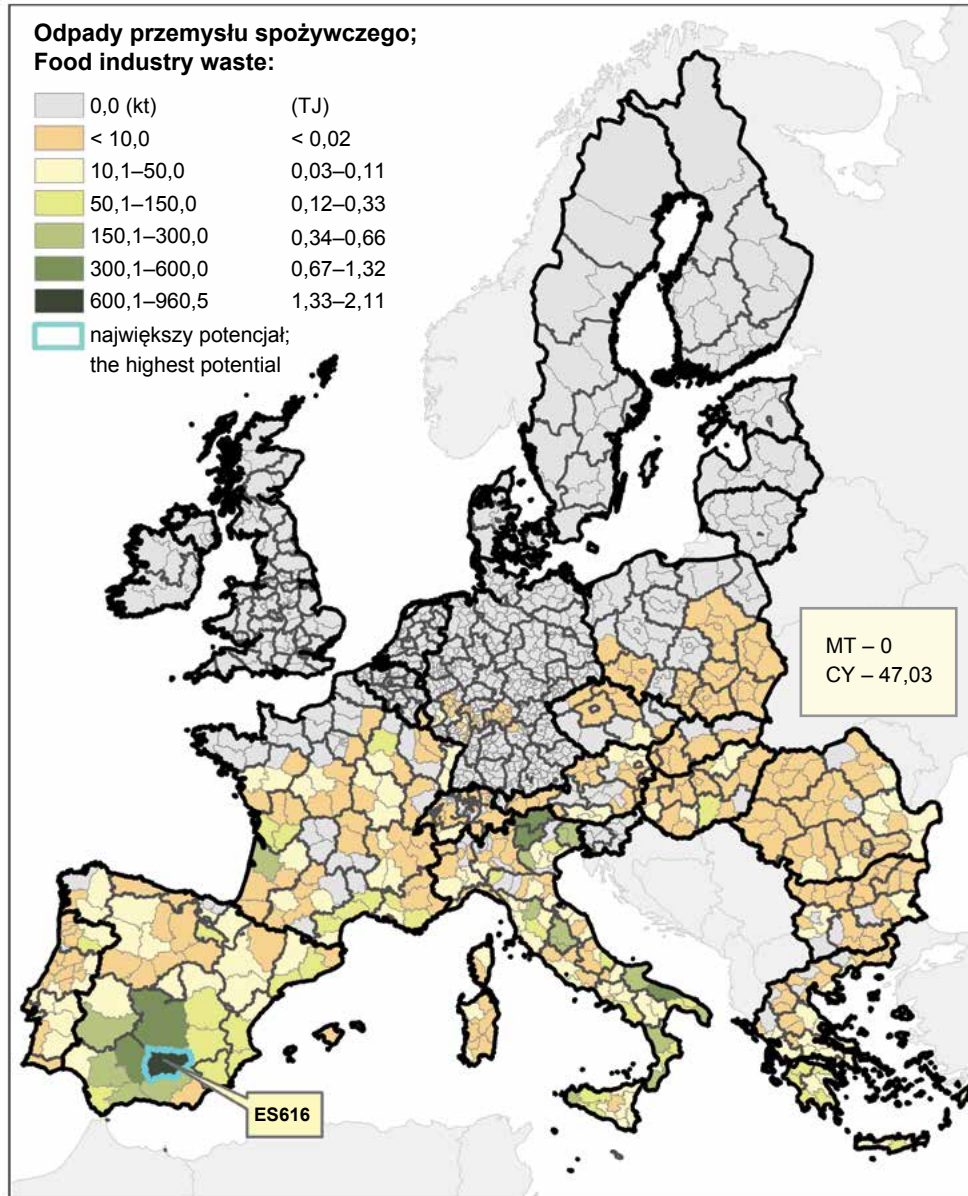
W celu przeliczenia modelowanej masy na energię przyjęto, że jednej tonie biomasy odpadowej z wyciżyn winogron, o wilgotności 80%, odpowiada kaloryczność (wartość opałowa) wynosząca 2,2 GJ, a jednej tonie wyciżyn z oliwek, o wilgotności 65%, odpowiada kaloryczność równa 5,6 GJ (Phyllis 2, Mahro i Timm 2007).

Wyniki

Całkowity potencjał odpadów z przemysłu spożywczego, który może zostać wykorzystany na cele energetyczne wynosi 14,3 Mt (51,1 PJ). Średnia wartość dla jednostki NUTS-3 wynosi 10,9 kt. Na obszarze badań stwierdzono 193 jednostek NUTS-3 o potencjale większym niż 10 kt, 58 o potencjale większym niż 60 kt oraz 15 NUTS-3 o potencjale powyżej 200 kt.

Do najbardziej zasobnych NUTS-2 w analizowane odpady przemysłu spożywczego należą regiony: ITD4 – Friuli-Venezia Giulia; ITE2 – Umbria; ITD2 – Trento; ITD1 – South Tyrol; ES61 – Andalucia.

Największy potencjał został oszacowany dla NUTS-3: ES616 (Jaen) – 960 kt, jednak największa gęstość przestrzenna tego surowca znajduje się w jednostce ITD43 – 275 t·km⁻² (rys. 25 i 26).



Rys. 26. Gęstość przestrzenna biomasy odpadów przemysłu spożywczego w NUTS-3
Biomass spatial density of food industry waste in NUTS-3

Rys. 25. Potencjał techniczny biomasy i energii odpadów przemysłu spożywczego w NUTS-3
The technical potential of biomass and energy from food industry waste in NUTS-3

4.4.3. Odpady przemysłu drzewnego

Cel i definicje

Celem analizy było określenie potencjału technicznego odpadów biomasy z przemysłu drzewnego. Odpady tego typu zostały zdefiniowane w projekcie RENEW i oszacowane dla poszczególnych krajów UE. Przyjmuje się, że odpady wytwarzane są w procesie uzyskiwania następujących półproduktów: kłody tartacznej i okleinowej, miazgi drzewnej (papierówki), drewna przemysłowego (w tym okrągłego) i drewna opałowego. Oceny potencjalnych możliwości przemysłu drzewnego w poszczególnych krajach, a tym samym wielkości odpadów, oparte są na szacunkach przyrostów biomasy leśnej i danych o skali jej pozyskiwania. W projekcie RENEW oceniono potencjał teoretyczny odpadów z przemysłu drzewnego na poziomie krajów, przyjmując powierzchnie leśne oraz odpowiednie współczynniki szacujące teoretyczne możliwości pozyskiwania drewna oraz jego przetwarzania. Zastosowano głównie dane TB FRA (2000 i 2005). Bazując na tak określonym potencjale teoretycznym, można określić ilość odpadów i produktów ubocznych generowanych w sektorze przemysłu drzewnego. Po uwzględnieniu przeznaczenia części odpadów na powtórne przetworzenie w innych branżach przemysłu biomasa ta stanowi potencjał techniczny możliwy do wykorzystania na cele energetyczne.

Biomasa odpadowa z przemysłu drzewnego jest grupowana w 4 frakcjach: tartaczna (trociny), odpady przemysłu papierniczego (miazga), odpady z produkcji płyt wiórowych, pozostałe odpady (np. stolarstwo, produkcja mebli). Przyjmuje się, że odpady i produkty uboczne z przetwarzania drewna mają następujące udziały: 40% odpady tartaczne, 30% przemysł papierniczy, 20% produkcja płyt wiórowych oraz 30% inne (Kubiak i Laurow 1994, RENEW 2008).

Metody

Dane RENEW o technicznym potencjale odpadów z przemysłu drzewnego, szacowane dla krajów europejskich, zostały dezagregowane do poziomu NUTS-3 na podstawie mapy pokrycia terenu CLC. Proces ten uwzględnił udział terenów leśnych w regionach NUTS-3 i na tej podstawie rozdystrybuował wartości krajowe. Podstawą tej metodyki są szacunki potencjału teoretycznego przyjęte w RENEW, gdzie podstawową informacją determinującą szacunki masy odpadowej była informacja o lesistości analizowanych państw. Zastosowanie tego samego podejścia przy dezagregacji danych polega na przyjęciu najbardziej prawdopodobnego rozmieszczenia przestrzennego podmiotów przetwórstwa. Do obliczenia potencjału technicznego biomasy odpadowej z przemysłu drzewnego zastosowano poniższą Formułę (4.3). Źródła baz danych zestawiono w tabeli 14.

Formuła 4.3:

$$WI_N3 = FR_N0 \cdot CLC_{Forest_N3} / CLC_{Forest_N0}$$

gdzie:

WI_N3 = techniczny potencjał odpadów z przemysłu drzewnego dla NUTS-3; technical potential of residues of wood industry for NUTS-3,

FR_N0 = odpady przemysłu drzewnego według RENEW (NUTS-0); wood industry by RENEW for NUTS-0,

CLC_{Forest_N3} = powierzchnie lasów w NUTS-3 (jako podzbiór CLC_{Forest_N2}); area of forest in NUTS-3 (subset of CLC_{Forest_N2}),

CLC_{Forest_N2} = powierzchnie lasów w NUTS-0; area of forest in NUTS-0,

CLC_{Forest} = klasa 23 (lasy liściaste) + klasa 24 (lasy iglaste) + klasa 25 (lasy mieszane) – według nomenklatury Corine Land Cover (CLC); class 23 (Broad-leaved forest) + class 24 (Coniferous forest) + Class 25 (Mixed forest) of Corine Land Cover.

Tabela 14

Źródła danych dla modelowania odpadów z przemysłu drzewnego
Data sources for modelling of wood industry residues

Wskaźnik; Indicator	Źródło; Source	Dostępne pod adresem; Location
WI_N0	RENEW Project	Protokół dostępu: http://www.renew-fuel.com/fs_documents.php [01.04.2013]
CLC_{Forest_N3} CLC_{Forest_N0}	EEA	CORINE. Protokół dostępu: http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2006-raster-2 [01.04.2013]

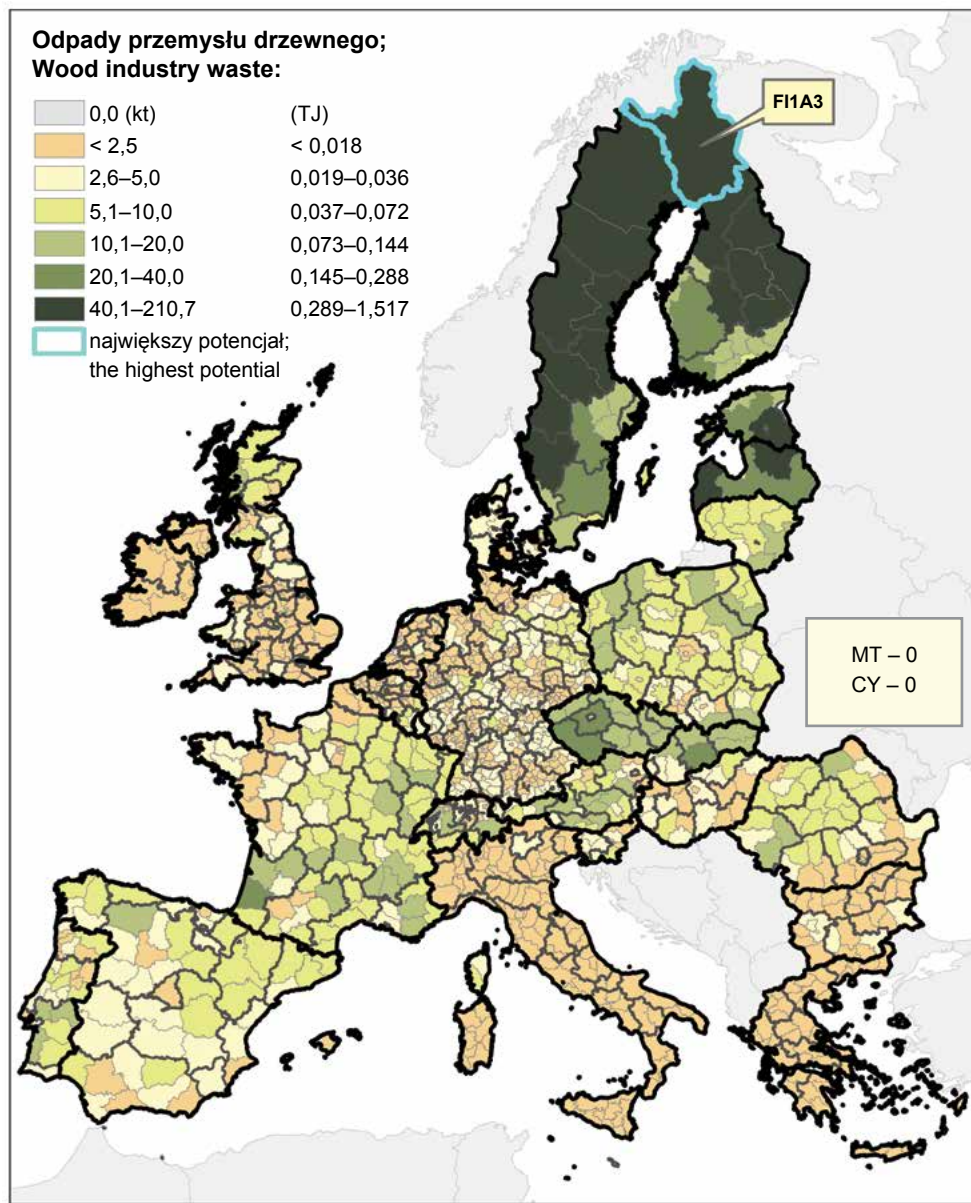
W celu przeliczenia modelowanej masy na energię przyjęto na podstawie RENEW (2008), że jednej tonie odpadów z przemysłu drzewnego, o wilgotności 55–60%, odpowiada kaloryczność (wartość opałowa) równa 7,2 GJ.

Wyniki

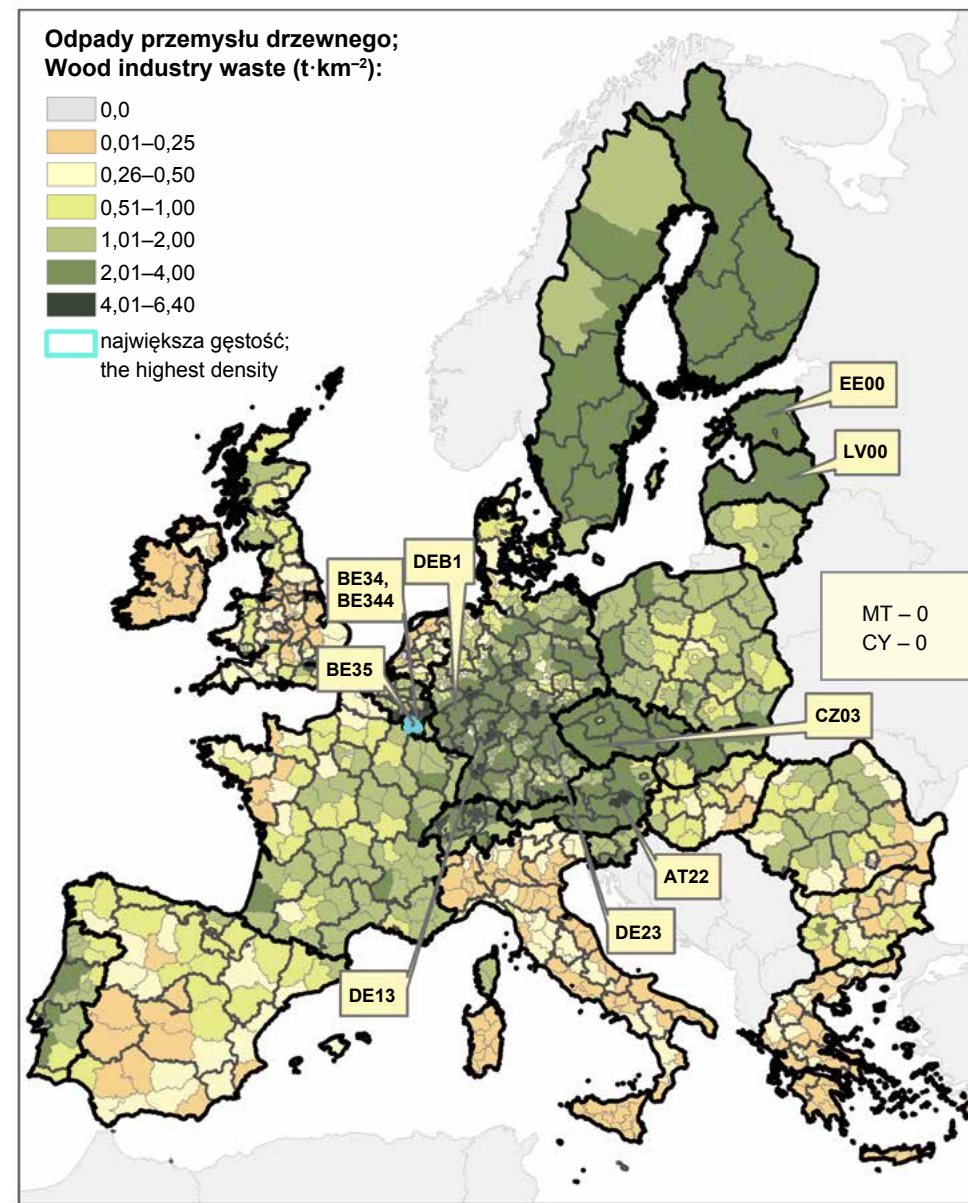
Całkowity potencjał odpadów z przemysłu drzewnego, który może zostać wykorzystany na cele energetyczne wynosi 5,6 Mt (40,2 PJ). Średnia wartość dla jednostki NUTS-3 wynosi 4,3 kt. Na obszarze badań stwierdzono 112 jednostek NUTS-3 o potencjale większym niż 10 kt, 8 NUTS-3 o potencjale większym niż 60 kt oraz jedynie 1 NUTS-3 o potencjale większym niż 200 kt.

Największy potencjał został oszacowany dla NUTS-3: FI1A3 (Lapland) – 211 kt, jednak największą gęstość przestrzenną tego surowca stwierdzono w jednostce BE344 (Arr. Neufchateau) – 6,34 t·km⁻² (rys. 27 i 28).

Do najbardziej zasobnych regionów (NUTS-2) w odpady przemysłu drzewnego należą: BE34 – Prov. Luxembourg (BE); BE35 – Prov. Namur; DE13 – Freiburg; DEB1 – Koblenz; DE23 – Oberpfalz; CZ03 – Jihozápad; AT22 – Steiermark; LV00 – Latvija; EE00 – Eesti.



Rys. 27. Potencjał techniczny biomasy i energii odpadów przemysłu drzewnego w NUTS-3
 The technical potential of biomass and energy from waste of wood industry in NUTS-3

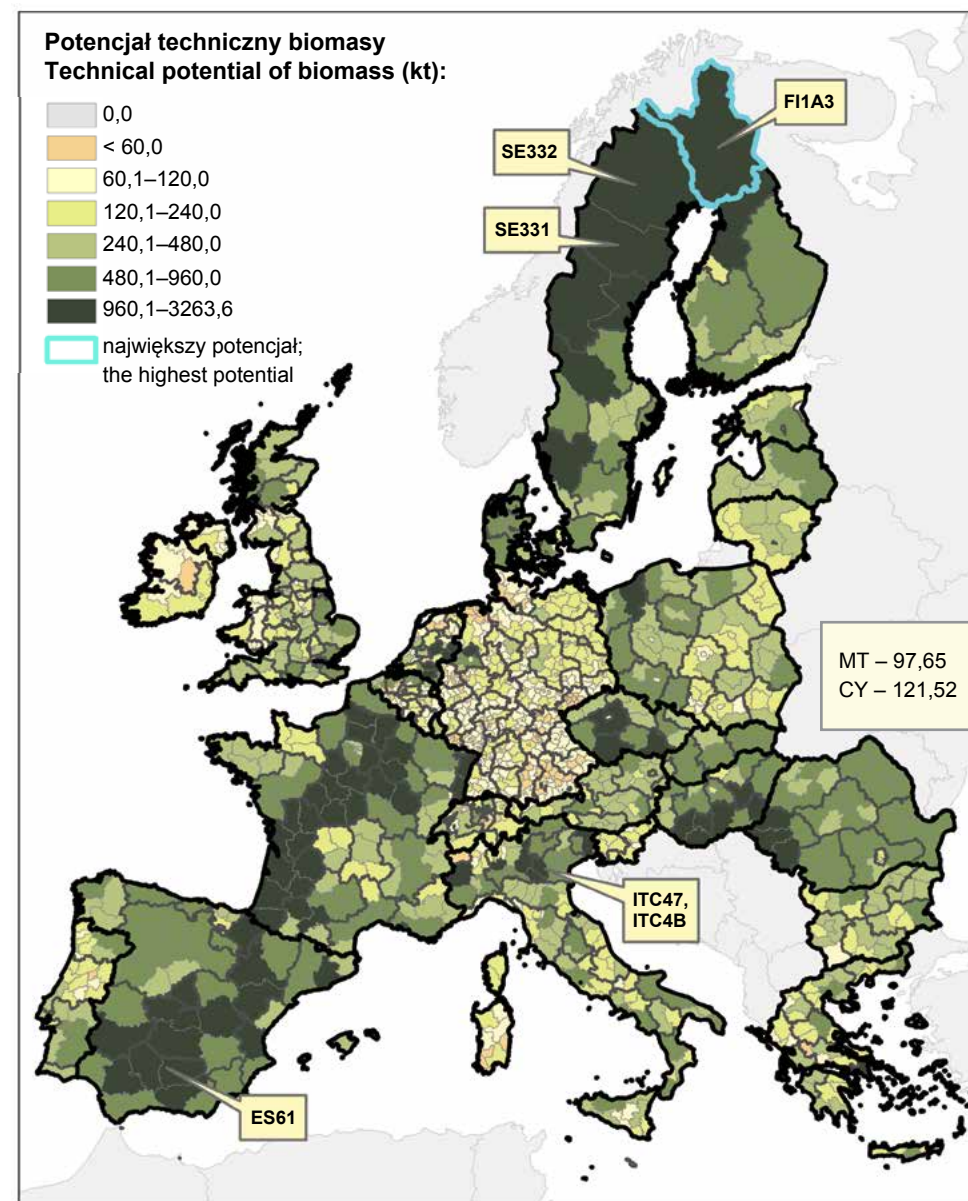


Rys. 28. Gęstość przestrzenna biomasy odpadowej z przemysłu drzewnego w NUTS-3
 Biomass spatial density waste from wood industry in NUTS-3

4.5. PODSUMOWANIE SZACUNKÓW POTENCJAŁU TECHNICZNEGO BIOMASY ODPADOWEJ

W wyniku wykonanego modelowania uzyskano oszacowanie 10 rodzajów potencjałów technicznych biomasy ubocznej i odpadowej możliwych do wykorzystania na cele energetyczne. Ze względu na brak konkurencyjności między tymi bazami surowcowymi potencjały mogą być rozpatrywane łącznie, w każdym z NUTS-3. Obrazuje to mapa przedstawiona na rysunku 29. Do NUTS-3 o największych zasobach biomasy należą największe powierzchniowo jednostki północnej Finlandii (FI1A3) i Szwecji (SE332, SE331). O ich zasobności w biomasę (> 2 Mt) decyduje obecność rozległych kompleksów leśnych. Gospodarka leśna i przemysł przetwórczy należą do jednych z bardziej liczących się źródeł biomasy odpadowej. W przypadku tego regionu odpady komunalne stanowią mniej niż 2% wszystkich odpadów, a inne rodzaje biomasy praktycznie nie występują. Drugim pod względem zasobności regionem jest Brescia i Mantova (ITC47, ITC4B – Włochy), gdzie na potencjał biomasy (2,5 Mt) wpływają głównie możliwości wykorzystania obornika (1,6–1,4 Mt) oraz słomy (0,8–0,6 Mt). W porównaniu ze Skandynawią region ten jest nieproporcjonalnie mniejszy powierzchniowo, co dodatkowo zwiększa jego atrakcyjność pod względem logistyki biomasy. Trzecim regionem pod względem szacowanego potencjału jest Andaluzyja w Hiszpanii (ES61). W regionie tym obserwuje się wysoką różnorodność rodzajów biomasy pochodzenia rolniczego. Z podregionu Jaen pochodzi ok. 25% światowej produkcji oleju z oliwek. Ze względu na występujące tam liczne plantacje drzew oliwnych i tłocznie oleju najwięcej biomasy pochodzi z odpadów z przemysłu spożywczego (1,0 Mt) oraz z pielęgnacji upraw sadowniczych (0,6 Mt). Oprócz tych źródeł liczącymi się są: nadwyżki siana, odpadów z gospodarki leśnej, odpady komunalne i słoma. Listę NUTS o potencjale większym od 2 Mt zamyka Madryt, w którym ze względu na charakter miejski dominującym źródłem odpadów biomasowych są odpady komunalne (84%).

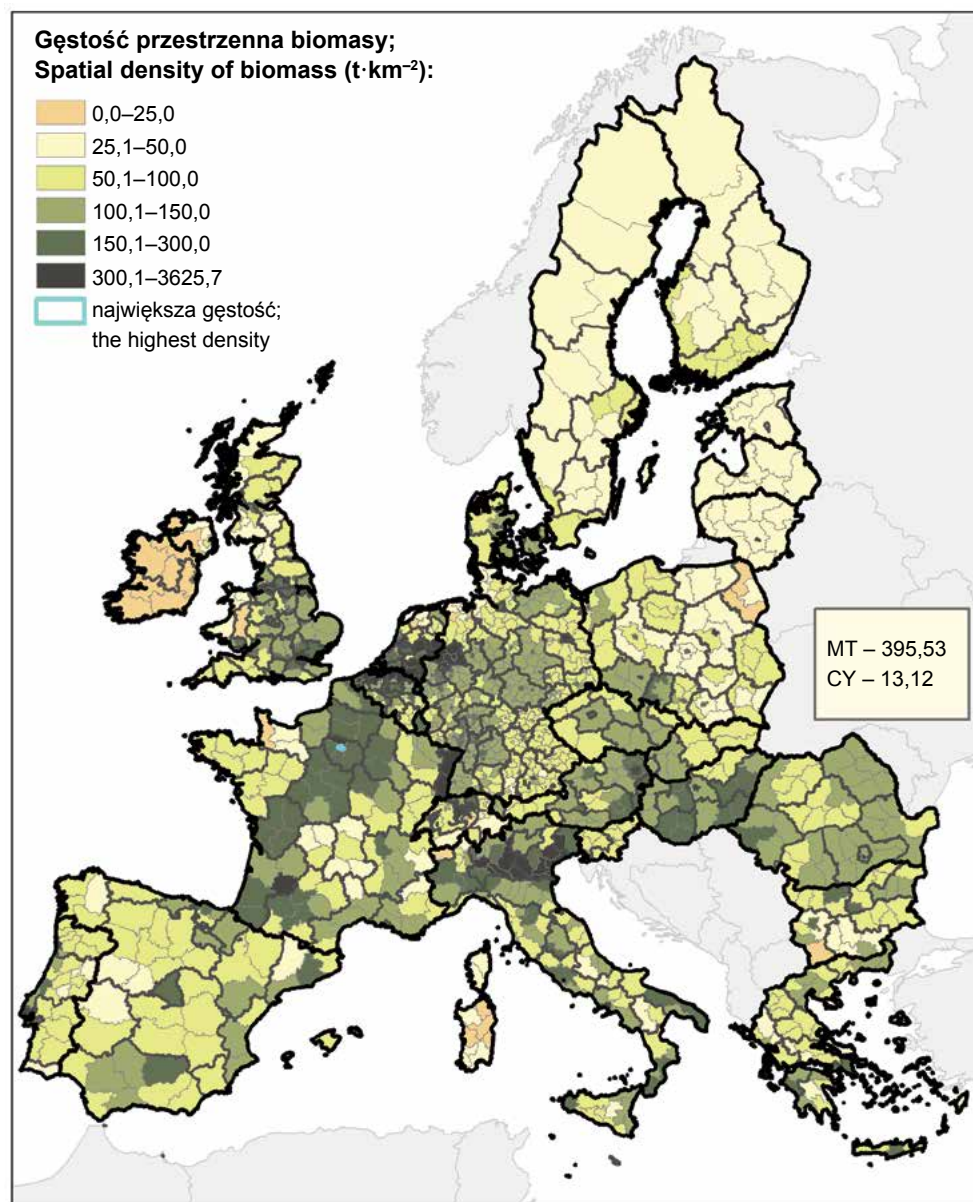
Do pozostałych regionów tworzących skupiska NUTS-3 o znaczącym potencjale technicznym (>1Mt) należą: w Hiszpanii – północno-zachodnia Andaluzyja, la Mancha i Aragonia; we Francji – Akwitania, Poitou-Charentes, Region Centralny, Ile-de-France, Pikardia i Szampania oraz Alzacja; południowa Holandia, południowe Czechy oraz jednostki terytorialne zlokalizowane na terenie Wielkiej Niziny Węgierskiej wraz z przylegającymi do nich jednostkami należącymi do Rumuni.



Rys. 29. Całkowity potencjał techniczny biomasy ubocznej i odpadowej w NUTS-3
The total technical potentials of residues and bio-waste in NUTS-3

Duże dysproporcje powierzchni NUTS wpływają na wygenerowanie dość niepoprawnego obrazu przestrzennego zróżnicowania zasobów biomasy, co może być skorygowane poprzez normalizację wartości potencjałów względem powierzchni

jednostek administracyjnych. Tak otrzymane mapy pełniej obrazują rozkład przestrzenny zasobów surowcowych (rys. 30).



Rys. 30. Całkowita gęstość biomasy ubocznej i odpadowej w NUTS-3
The total density of waste biomass in NUTS-3

Korekta obrazu potencjału dotyczy głównie Niemiec, gdzie małe powierzchniowo NUTS-3 nie wykazywały dużych potencjałów oraz Skandynawii, gdzie wprost przeciwnie powierzchnie NUTS-3 decydowały o nadmiarowej możliwości pozyskiwania biomasy. Po znormalizowaniu danych zmienność przestrzenna badanych potencjałów uwolniła się od granic administracyjnych i przyjęła rozkład geograficzny. W porównaniu do mapy potencjału technicznego NUTS-3 wyraźnie zmieniły się regiony, które można wskazywać jako „energetyczne”. Oprócz Skandynawii i Niemiec różnice występują w Hiszpanii, a także w Krajach Nadbałtyckich. Status lidera w możliwościach pozyskiwania odpadów z biomasy zachowały: Francja, Węgry i Rumunia. W przypadku Holandii i północnych Włoch można mówić o umocnieniu się tych regionów w hierarchii najbardziej zasobnych w biomasę regionów Europy. W liczbach bezwzględnych największe gęstości przestrzenne biomasy występują w NUTS-3, które są aglomeracjami lub dzielnicami aglomeracji (Paryż, Londyn, Wiedeń), w regionach tych gęstość biomasy przekracza 1 kt·km⁻². Jednak w ogólnym bilansie biomasy najważniejsze są duże i zasobne regiony. Dwadzieścia najbardziej znaczących NUTS-3, uszeregowanych według gęstości przestrzennej biomasy i powierzchni (tylko > 1000 km²), zestawiono w tabeli 15. Porównanie ich z mapą na rysunku 30 wykazuje, że do najbardziej „energetycznych” regionów należą NUTS w północnych Włoszech oraz rolniczych regionach Francji i Węgier.

Tabela 15

Zestawienie 20 jednostek terytorialnych NUTS-3 o największej gęstości przestrzennej biomasy

Summary of 20 territorial units NUTS-3 with the highest spatial density of biomass

NUTS ID	Nazwa; Name	Powierzchnia; Area (km ²)	kt	PJ	ktoe	t·km ⁻²	TJ·km ⁻²
ITD37	Rovigo	1821	791,1	10,116	249	434	5,55
ITD36	Padova	2142	944,6	11,302	278	441	5,28
ITC4B	Mantova	2341	2271,4	12,232	301	970	5,23
ITC4A	Cremona	1772	680,9	8,544	210	384	4,82
ITC45	Milano	1984	1012,8	9,291	229	511	4,68
ITD35	Venezia	2472	901,4	10,532	259	365	4,26
FR421	Bas-Rhin	4795	1588,2	18,457	455	331	3,85
ITD34	Treviso	2477	925,4	9,482	233	374	3,83
FR614	Lot-et-Garonne	5385	1641,2	20,414	503	305	3,79
FR422	Haut-Rhin	3533	1105,8	12,652	312	313	3,58
HU233	Tolna	3705	1051,2	13,173	324	284	3,56
ITD41	Pordenone	2277	752,3	7,395	182	330	3,25
ITF33	Napoli	1175	535,3	3,794	93	456	3,23

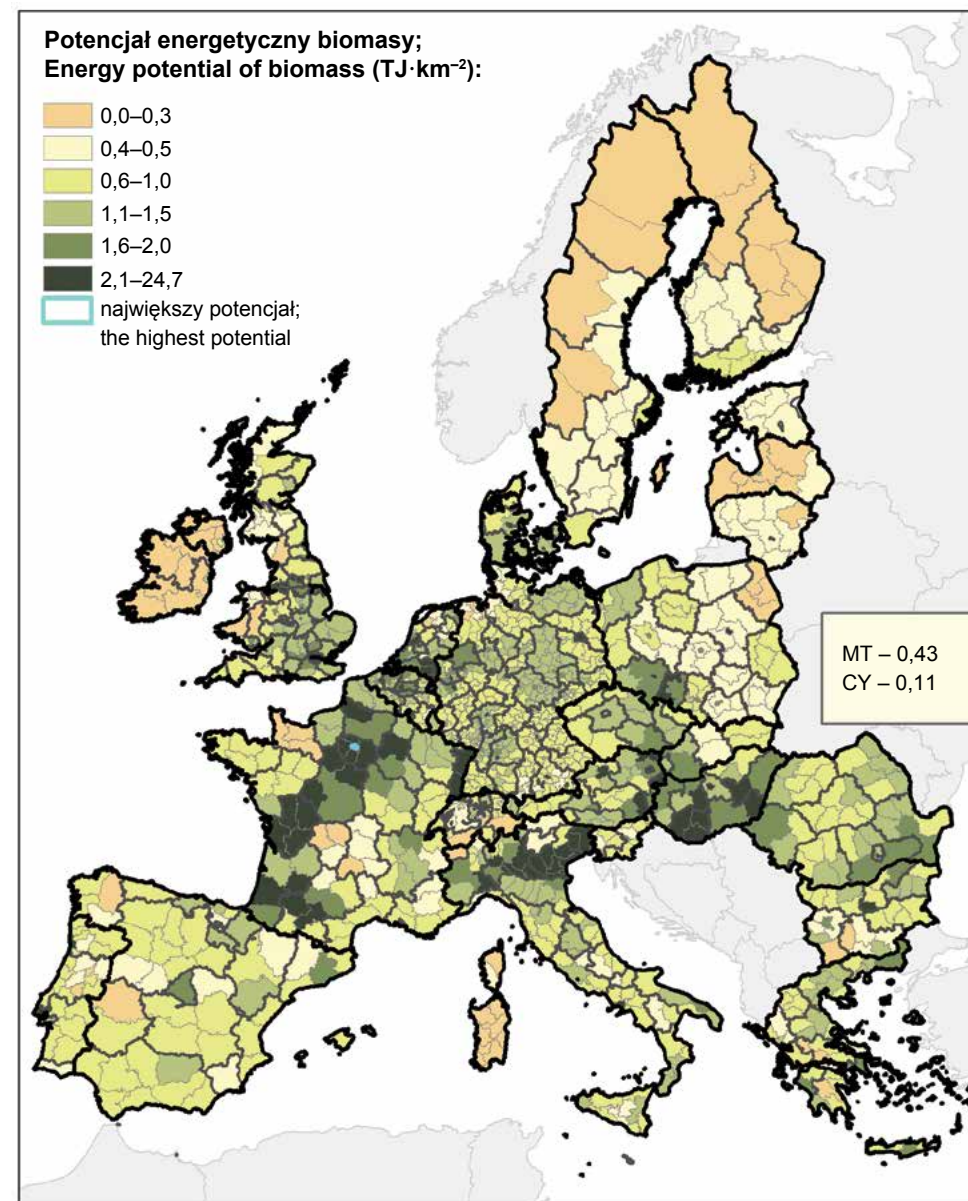
cd. tab. 15

NUTS ID	Nazwa; Name	Powierzchnia; Area (km ²)	kt	PJ	ktoc	t·km ⁻²	TJ·km ⁻²
HU231	Baranya	4429	1147,6	14,128	348	259	3,19
FR242	Eure-et-Loir	5930	1457,6	18,287	450	246	3,08
ITD31	Verona	3099	1038,0	9,367	231	335	3,02
FR108	Val-d'Oise	1256	396,2	3,793	93	315	3,02
BG322	Gabrovo	2023	478,1	5,953	147	236	2,94
FR104	Essonne	1822	515,2	5,224	129	283	2,87

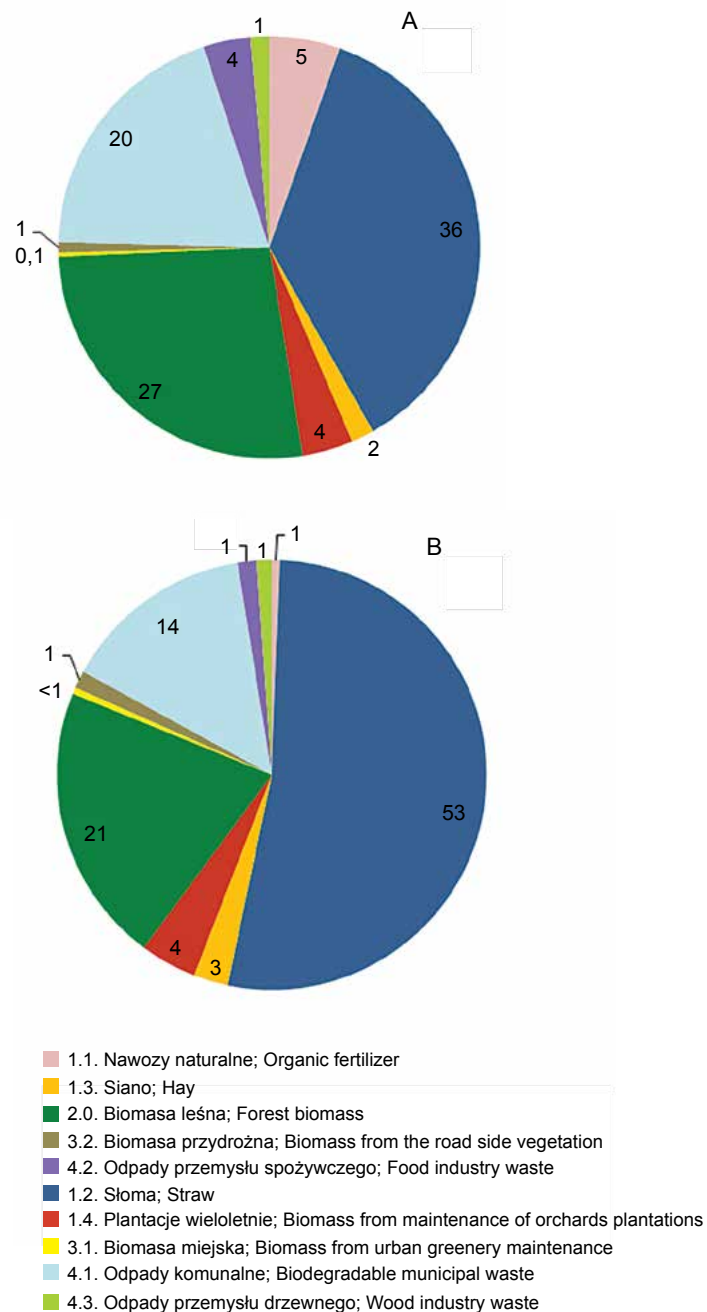
Na podstawie mapy gęstości przestrzennej biomasy wykonano mapę ogólnego potencjału energetycznego (rys. 31). Mapa ta jeszcze mocniej uwypukla regiony rolnicze (głównie we Francji i na Węgrzech), co jest związane z potencjalnie wysoką kalorycznością słomy. Z tego samego powodu Skandynawia i Kraje Nadbałtyckie sklasyfikowane zostały mniej korzystnie, ponieważ przyjęte wartości energetyczne wilgotnego drewna są dużo mniejsze.

Ogólnie w skali Europy różnicę wynikającą ze zróżnicowania wartości opałowych biomasy pokazują diagramy przedstawione na rysunku 32. Pierwszy z nich obrazuje udziały analizowanych rodzajów biomasy w strukturze potencjału teoretycznego. Największy udział w strukturze biomasy mają: słoma (36%), biomasa leśna (27%) oraz odpady komunalne (20%). Pozostałe rodzaje biomasy mają mniejsze znaczenie. Porównując potencjały techniczne biomasy z potencjałem energetycznym wyraźnie zaznacza się dominacja słomy, z której można uzyskać 53% całej energii pochodzącej z modelowanych potencjałów. W stosunku do potencjału biomasy potencjał energii biomasy leśnej i komunalnej zmniejszył się odpowiednio do 21 i 14%. Ze względu na dużą wilgotność nawozów naturalnych ich potencjał energetyczny szacowany jest na ok. 1% w stosunku do całkowitych możliwości produkcji bioenergii.

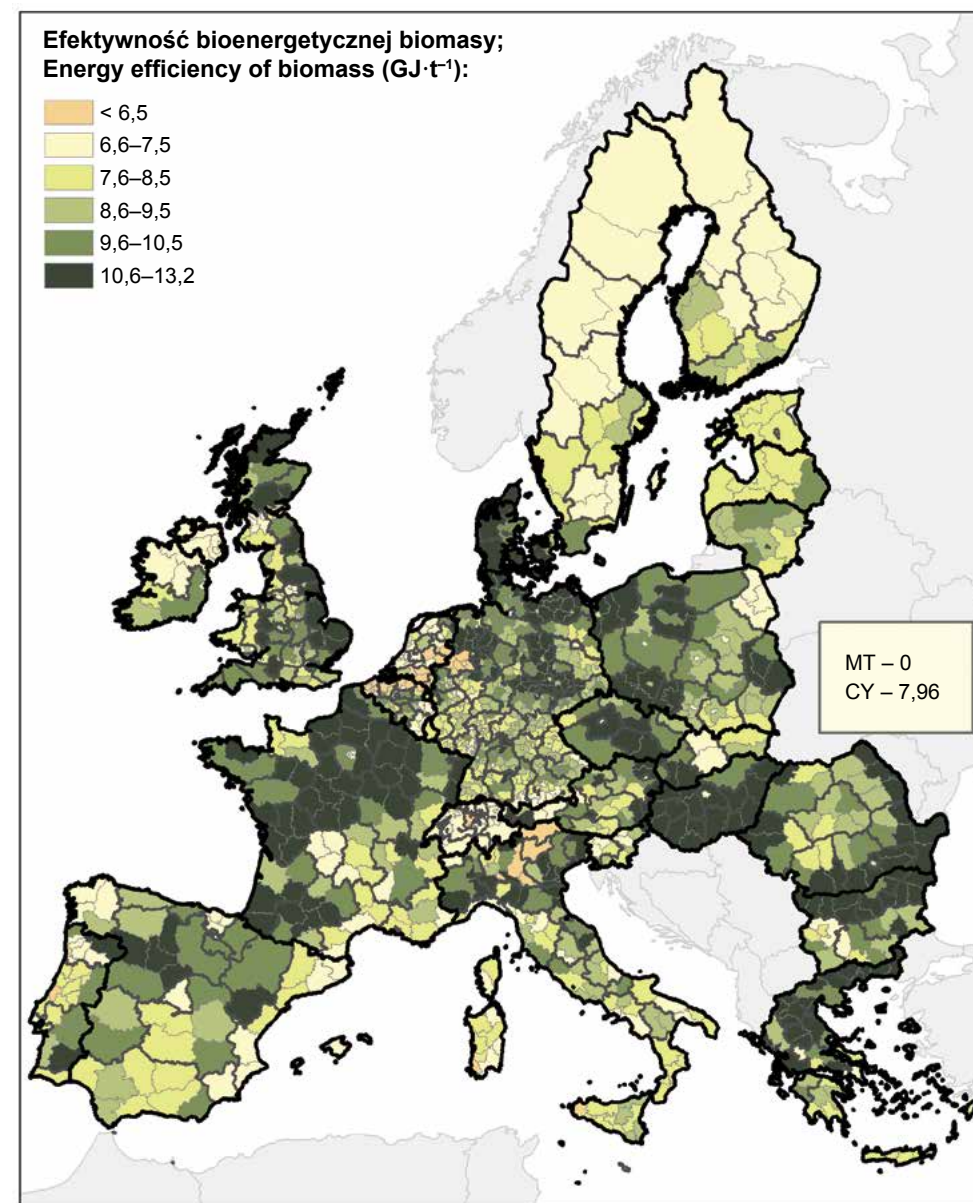
Duża regionalizacja poszczególnych potencjałów w Europie wpływa na zróżnicowanie efektywności energetycznej biomasy, która może być rozumiana jako średnia wartość energetyczna 1 tony w danym regionie. Na rysunku 33 przedstawiono mapę charakteryzującą efektywność energetyczną w jednostkach NUTS-3. Zależy ona od procentowego udziału poszczególnych rodzajów biomasy ubocznej i odpadowej w tych regionach. Wartości teoretycznie zawierają się między 1,0 a 14,8 GJ, co odpowiada wartości opałowej nawozów naturalnych (min.) i biomasy miejskiej o wilgotności 15% (maks.). Osiągnięcie w regionie wartości skrajnych byłoby możliwe w sytuacji stwierdzenia jedynie potencjału nawozu naturalnego dla wartości najmniejszej lub biomasy miejskiej dla wartości największej. Ze względu na występowanie wszystkich (lub prawie wszystkich) rodzajów biomasy w każdym z NUTS-3 w praktyce zróżnicowanie to oszacowano w przedziale 1,08–13,14 GJ.



Rys. 31. Całkowity potencjał energetyczny biomasy ubocznej i odpadowej w NUTS-3
Summarised energy potentials (density) of residues and waste biomass potential in NUTS-3



Rys. 32. Udziały poszczególnych rodzajów biomasy (%) w całkowitym jej potencjale (A) i energii (B)
 Shares of individual types of biomass (%) in total biomass (A) and energy (B) potential



Rys. 33. Mapa efektywności energetycznej biomasy
 Map of biomass energy efficiency

Na podstawie wyników modelowania potencjału technicznego nadwyżek i odpadów biomasy w NUTS-3 wykonano podsumowanie zasobów dla wszystkich krajów UE-27 i Szwajcarii (tab. 16). Ogólnie dla analizowanych krajów oszacowano łączny potencjał techniczny biomasy na 394,9 Mt, co odpowiada energii = 3,57 EJ. Średnia europejska gęstość biomasy wynosi 155,6 t·km⁻². Jednak, jak to zostało pokazane na wcześniejszych mapach, wartość ta jest zmienna i ma charakter regionalny nawiązujący głównie do warunków geograficznych. Do krajów o największych zasobach biomasy zaliczyć można: Francję, Włochy, Hiszpanię i Niemcy. Największe gęstości przestrzenne biomasy występują w Holandii, Belgii i na Węgrzech. Duże wartości tego wskaźnika w krajach takich jak Malta i Luksemburg, ze względu na ich małą powierzchnię, nie są znaczące w skali Europy, ale mogą być istotne dla energetyki lokalnej mającej zapewnić niezależność energetyczną tych krajów.

Tabela 16

Potencjał techniczny zasobów biomasy ubocznej i odpadowej w krajach UE-27 i Szwajcarii
The technical potential of biomass resources from residues and waste in the EU-27 and Switzerland

Kraj; Country	kt	t·km ⁻²	ktoe	PJ
Austria; Austria	10868	129	2543	103
Belgia; Belgium	8615	281	878	36
Bułgaria; Bulgaria	8288	75	2133	87
Cypr; Cyprus	122	13	24	1
Czechy; Czech Republic	8386	106	2118	86
Dania; Denmark	4316	101	1142	46
Estonia; Estonia	1813	42	346	14
Finlandia; Finland	13891	41	2627	107
Francja; France	65925	120	17178	698
Grecja; Greece	11710	89	2845	116
Hiszpania; Spain	39595	79	8545	347
Holandia; The Netherlands	13076	350	1135	46
Irlandia; Ireland	2657	38	217	9
Litwa; Lithuania	2584	40	583	24
Łotwa; Latvia	2320	36	476	19
Luksemburg; Luxembourg	399	154	74	3
Malta; Malta	98	396	3	0
Niemcy; Germany	37976	106	8075	328
Polska; Poland	20661	66	5200	211

cd. tab. 16

Kraj; Country	kt	t·km ⁻²	ktoe	PJ
Portugalia; Portugal	6928	78	1445	59
Rumunia; Romania	26677	112	6815	277
Słowacja; Slovakia	4383	89	1020	41
Słowenia; Slovenia	1607	79	336	14
Szwajcaria; Switzerland	3630	91	519	21
Szwecja; Sweden	17454	39	3243	132
Węgry; Hungary	14376	155	4198	171
Wielka Brytania; United Kingdom	23622	97	5289	215
Włochy; Italia	42932	142	9012	366
Razem; Total	394909	91	88019	3577

Ze względu na różnice powierzchni w NUTS-3 oraz regionalizację lub rozproszenie potencjałów biomasy występują duże różnice w ogólnych szacunkach zasobów biomasy w Europie. Z naturalnych względów małe jednostki NUTS-3 w Niemczech będą charakteryzowały się dużo mniejszymi potencjałami niż sąsiadujące z nimi NUTS-3 we Francji. Różnice występują też pod względem specyfiki regionów i odpowiadającej jej struktury szacowanych zasobów biomasy. Przykładami mogą być regiony o wyłącznym potencjale biomasy leśnej na północy Europy czy regiony śródziemnomorskie charakteryzujące się dużym udziałem odpadów z przemysłu spożywczego i pielęgnacji upraw wieloletnich. Ogólny obraz zróżnicowania potencjałów poszczególnych rodzajów biomasy scharakteryzowano statystyczną analizą opisową (tab. 17). Uwagę zwracają duże różnice w wartościach średnich. W każdym przypadku notuje się nieproporcjonalnie duże wartości średniej w stosunku do mediany, co świadczy o prawostronnej asymetrii rozkładu (pozytywna skośność). O istnieniu lokalnych „ognisk” biomasy świadczy też duża różnica między wartościami maksymalnymi a średnią. Regiony te są wyraźnie widoczne na mapach i zostały wcześniej wyszczególnione jako regiony o największym potencjale. Stwierdzone skośności rozkładów utrudniają zastosowanie rutynowych metod statystycznych w badaniach struktury potencjałów oraz analizie błędów. Z tego względu rozpoznanie bazy surowcowej, jej struktury oraz niepewności szacunków wartości potencjałów, przeprowadzono w dalszej części pracy metodami matematycznymi.

Tabela 17

Potencjał techniczny w NUTS-3 (kt). Statystyka opisowa
 Technical potential in NUTS-3 (kt). Summary statistic

Miara; Measure	b.1.1*	b.1.2	b.1.3	b.1.4	b.2.0	b.3.1	b.3.2	b.4.1	b.4.2	b.4.3
Średnia; Average	16,3	109,5	5,3	11,7	79,5	0,9	2,4	58,8	10,9	4,3
Mediana; Mediana	0,0	28,5	0,0	0,1	35,3	0,4	1,7	33,2	0,0	1,6
Odch. Stand.; SD	121,2	201,9	39,7	39,2	170,6	1,5	2,3	95,7	48,7	11,6
Min.; Min	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Maks.; Max	1711,9	1449,1	1012,6	631,7	3022,2	13,8	20,0	1683,1	960,4	210,6
Kwartył dolny; Lower quartile	0,0	3,2	0,0	0,0	8,4	0,1	0,8	13,6	0,0	0,4
Kwartył górny; Upper quartile	0,0	107,6	0,0	4,1	89,2	0,9	3,1	64,9	1,4	4,1
Rozpiętość kwartyli; Interquartile range	0,0	104,4	0,0	4,1	80,8	0,8	2,3	51,2	1,4	3,7

* b.1.1 – biomasa uboczna z produkcji zwierzęcej; livestock residues, b.1.2 – słoma; straw, b.1.3 – siano; hay, b.1.4 – odpady z pielęgnacji upraw sadowniczych; pruning of permanent crop plantations, b.2.0 – odpady z gospodarki leśnej; forestry biomass, b.3.1 – odpady z pielęgnacji zieleni miejskiej; nature conservation waste (green urban areas), b.3.2 – biomasa pozyskiwana przy ciągach komunikacyjnych; biomass of roadside vegetation, b.4.1 – biodegradowalne odpady komunalne; biodegradable municipal wastes, b.4.2 – organiczne odpady przemysłu spożywczego; biowaste of food industry, b.4.3 – odpady przemysłu drzewnego; biowaste of wood industry

5. ANALIZA SKUPIEŃ ZASOBÓW BIOMASY UBOCZNEJ I ODPADOWEJ

Szacunki potencjałów biomasy ubocznej i odpadowej możliwej do wykorzystania na cele energetyczne przeprowadzono dla jednostek NUTS-3, aby rozpoznać bazy surowcowe i ich strukturę oraz zgromadzić dane niezbędne do dalszych studiów nad rozkładem potencjałów w przestrzeni geograficznej. W skali Europy wielkości zasobów obciążone są wpływem warunków regionalnych (głównie geograficznych i ekonomicznych), co widoczne jest na mapach potencjałów poszczególnych rodzajów biomasy przedstawionych w poprzednim rozdziale (rys. 2–4 i 10–28). Aby wzbogacić treści tych map, podjęto próbę ogólnego scharakteryzowania regionalizacji oszacowanych zasobów poprzez zgrupowanie NUTS w większe skupienia o podobnych wartościach cech. Zastosowano w tym celu analizę skupień, która jest metodą eksploracji danych wywodzącą się z pojęcia klasyfikacji bezwzorcowej, czyli tzw. nienadzorowanej (Jain i in. 1999). Jej celem jest: 1) uzyskanie jednorodnych poligonów badań, 2) redukcja dużej liczby danych pierwotnych do kilku podsta-

wowych kategorii, 3) wykazanie dotychczas nieoczywistej struktury analizowanych danych oraz 4) porównanie danych wielocephowych.

Założony scenariusz badań miał na celu głównie redukcję dużej ilości danych pierwotnych (1313 regionów NUTS-3 oraz 10 rodzajów biomasy) do mniejszej liczby wydzielen. Zakładano, że uzyskanie zredukowanej liczby wydzielen umożliwi bardziej ogólną charakterystykę bazy surowcowej oraz da podstawy do dalszych analiz zależności między poszczególnymi rodzajami biomasy. Poszukiwano więc metodą analizy skupień zależności umożliwiających wykazanie dotychczas nieoczywistej struktury danych, głównie poprzez syntezę rozkładu przestrzennego wszystkich rodzajów potencjałów biomasy. Ich wizualizacja na mapach wykazała, że wśród regionów występuje pewna struktura klasowa. Kierując się tą merytoryczną przesłanką zrezygnowano z formalnego testowania hipotezy o występowaniu lub braku takiej struktury (Gordon 1999). Według Milligana (1996) i Gordona (1999), w analizie skupień można wyróżnić cztery podstawowe problemy decydujące o skali trudności klasyfikacji: 1) wybór liczby klasyfikowanych obiektów, 2) liczba zmiennych opisujących badane obiekty, 3) rozmieszczenie obiektów w przestrzeni klasyfikacji i brak powszechnie akceptowalnej definicji klas, 4) brak szeroko akceptowalnej i ujednoczonej teorii klasyfikacji. Powyżej przedstawione problemy i ich wpływ na podjęte decyzje przy wyborze metod i narzędzi do identyfikacji i delimitacji regionów zostały omówione przy opisie kolejnych etapów analiz. W literaturze przedmiotu wyodrębnia się siedem etapów typowej analizy skupień (Milligan 1996, Walesiak 2004):

1. Wybór obiektów i zmiennych;
2. Wybór formuły normalizacji wartości zmiennych;
3. Wybór miar odległości;
4. Wybór metody klasyfikacji;
5. Ustalenie liczby klas;
6. Ocena wyników klasyfikacji;
7. Opis (interpretacja) klas.

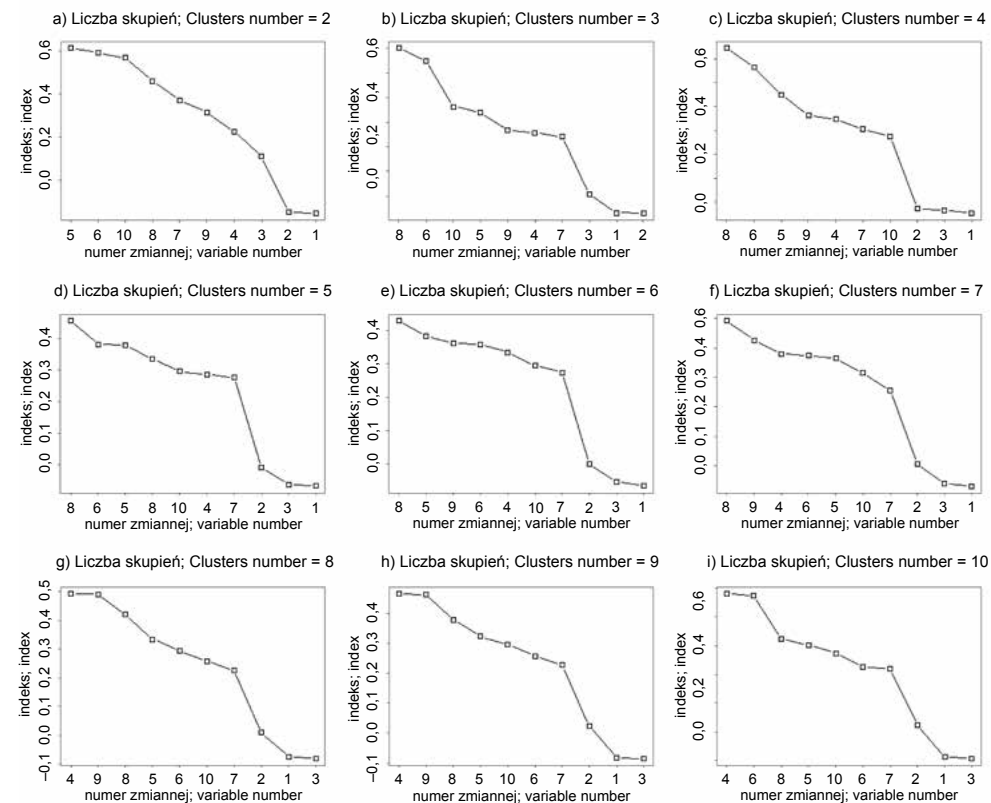
Etap 1. Wybór obiektów i zmiennych

Ze względu na możliwości obliczeniowe zdecydowano się na objęcie analizą całego zbioru danych czyli 1313 NUTS-3. To podejście uznano za zasadne ze względów geograficznych oraz samej istoty analizy nastawionej na wyznaczenie regionów składających się z jednostek NUTS-3 o podobnej strukturze potencjałów (na co znaczący wpływ ma czynnik geograficzny). W związku z tym wybrano podejście opisowe (niestochastyczne), czyli takie, w którym obiektem analiz jest cała populacja, a zmienne nie są losowe, lecz są zmiennymi w zwykłym sensie (Walesiak i Gatnar 2009). W poprzedniej części pracy oszacowano 10 rodzajów potencjałów biomasy możliwej do wykorzystania na cele energetyczne: biomasa uboczna z produkcji zwierzęcej, słoma, siano, biomasa z upraw sadowniczych, odpady z gospodarki leśnej,

biomasa z zieleni miejskiej, biomasa z ciągów komunikacyjnych, biodegradowalne odpady komunalne, organiczne odpady przemysłu spożywczego i odpady przemysłu drzewnego. Potencjały te są atrybutami każdego z rozpatrywanych NUTS-3, czyli w przypadku analizy skupień stają się zmiennymi obiektów.

Z punktu widzenia metodyki wybór zmiennych jest jednym z najważniejszych i najtrudniejszych zagadnień, ponieważ od ich jakości zależy wiarygodność ostatecznych wyników (Guyon i Elisseeff 2003, Walesiak i Gatnar 2009). Z tego względu w kolejnym kroku analizy dokonano wyboru ze zbioru wszystkich zmiennych opisujących badane obiekty takiego podzbioru zmiennych, który dawałby największy potencjał dyskryminujący obiekty, a co za tym idzie – najlepsze wyniki przeprowadzanej analizy (najbardziej jednorodne i odseparowane od siebie skupienia). Do tego celu posłużono się metodą HINoV (Heuristic Identification of Noisy Variables) i algorytmem tej metody zawartym w pakiecie clusterSim programu R (Carmone i in. 1999, Walesiak i Gatnar 2009). Jest to heurystyczna procedura powiązana z metodą k-średnich lub k-medoidów i skorygowanym indeksem Randa (Walesiak i Gatnar 2009). Jeden z kroków tej metody nie jest zautomatyzowany i wymaga oceny przeprowadzonej przez analityka. W wygenerowanym wykresie „osypiska”, gdzie na osi poziomej w kolejności malejącej indeksu umieszczane są poszczególne zmienne, należy zidentyfikować miejsce największego spadku i odrzucić zmienne znajdujące się po prawej stronie (rys. 34). W metodzie tej poddano testowi wszystkie rodzaje potencjałów (10 rodzajów biomasy). Biorąc pod uwagę fakt, że na tym etapie nie została jeszcze określona liczba skupień, a metoda HINoV jako danej wejściowej potrzebuje tej informacji, procedura została przeprowadzona dla zbioru liczb od 2 do 10. Ponieważ w analizowanym przypadku, zgodnie z wiedzą ekspercką, w tym przedziale znajduje się najbardziej odpowiednia liczba klastrów. Wykresy „osypiska” dla różnych liczb skupień zilustrowano na rysunku 34.

Wykresy dla liczby klastrów od 4 do 10 wskazują, że należy z dalszej analizy wykluczyć zmienne 3, 1 i 2 (siano, biomasę uboczną z produkcji zwierzęcej i słomę). Wynikającą z wykresu dla liczby klastrów równej 3 sugestią, że należy zostawić tylko zmienne 8 i 6 można uznać za przesadzoną, zaś przypadek 2 skupień można przyjąć jako graniczny, czyli do pominięcia. W przypadku zmiennej numer 2 należy stwierdzić, że potencjał słomy jest najbardziej liczącym się zasobem biomasy (rys. 10, 11 i 32), a w związku z tym jego pominięcie miałooby zbyt duży wpływ na otrzymany wynik oraz jego praktyczną interpretację. Zatem dalszą analizę zdecydowano się przeprowadzić z pominięciem zmiennych 1 (biomasa uboczna z produkcji zwierzęcej) i 3 (siano).



Rys. 34. Wykresy „osypiska” – rezultat analizy prowadzonej metodą HINoV.

Zmienne (rodzaje biomasy): 1 – biomasa uboczna z produkcji zwierzęcej, 2 – słoma, 3 – siano, 4 – pozostałości z upraw sadowniczych, 5 – odpady z gospodarki leśnej, 6 – zieleni miejska, 7 – zieleni przy ciągach komunikacyjnych, 8 – biodegradowalne odpady komunalne, 9 – organiczne odpady z przemysłu spożywczego, 10 – organiczne odpady z przemysłu drzewnego

Scree plots – the result of the analysis carried out with HINoV method.

Variables (kinds of biomass): 1 – livestock residues, 2 – straw, 3 – hay, 4 – residues of orchard's pruning, 5 – forestry residues, 6 – urban maintenance of green areas, 7 – biomass roadside, 8 – biodegradable municipal wastes, 9 – organic wastes from food industry, 10 – organic wastes from wood industry

Etap 2 i 3. Wybór formuły normalizacji wartości zmiennych oraz miar odległości

Normalizację przeprowadzono przez klasyczną standaryzację, czyli od wartości poszczególnych cech każdego obiektu odjęto średnią danej cechy i podzielono przez odchylenie standardowe tej cechy. Niektórzy autorzy jako godną uwagi wymieniają standaryzację rozumianą jako iloraz cechy i rozpiętości zbioru wartości poszczególnych cech ($\text{maks}[X] - \text{min}[X]$). Jednakże ta metoda nie jest właściwa w przypadku stwierdzonego w pracy występowania elementów odstających (Milligan i Cooper 1985). Wybrano powszechnie stosowaną miarę odległości, metrykę euklidesową, gdyż nie znaleziono przesłanek do stosowania innych miar.

Etap 4. Wybór metody klasyfikacji

Wstępną próbę grupowania wykonano za pomocą metod aglomeracyjnych, jednak efekty nie były satysfakcjonujące. Jako metodę analizy skupień przyjęto metodę k-średnich poprzedzoną algorytmiczną i ekspercką analizą ilości klastrów (Hartigan i Wong 1979). Analizę wykonano w środowisku R. Otrzymywano skupienia o bardzo nierównomiernej liczebności i będące słabo od siebie odseparowane. Jako że algorytm k-średnich wymaga podania skupień startowych, które służą do inicjalizacji metody, zbadano również możliwość wstępnego ustalenia klastrów metodą aglomeracyjną. Jednakże i w tym przypadku otrzymano wyniki o niepożądanych cechach. Lepsze efekty dało zastosowanie algorytmu k-średnich do wstępnie losowo wybranych skupień przez ten algorytm.

Etap 5. Ustalenie liczby klas

Jednym z kluczowych problemów w analizie skupień jest dobranie właściwej liczby klas (z punktu widzenia wniosku i interpretacji wyników). Jest to szczególnie istotne w wybranej metodzie (k-średnich). Analizując dane, oczekuje się otrzymania takiego podziału na skupienia, w którym będą one zwarte i odseparowane od siebie. Przewiduje się również, że rezultaty będą możliwe do zinterpretowania w specyficznym konkretnym problemie badawczym. Wobec powyższego zastosowano podejście, które rozpoczyna się od zastosowania automatycznych algorytmów, których wyniki potraktowano jako wskazówkę do następującej w kolejnym kroku analizy eksperckiej opartej między innymi na wcześniej wygenerowanych mapach indywidualnych potencjałów. Do znalezienia potencjalnej liczby skupień wybrano 5 popularnych algorytmów (Walesiak i Gatnar 2009):

1. Algorytm oparty na indeksie Calińskiego i Harabasz, dany wzorem (Caliński i Harabasz 1974):

$$CH(u) = \frac{\text{tr}(\mathbf{B}_u)/(u-1)}{\text{tr}(\mathbf{W}_u)/(n-u)}$$

gdzie:

\mathbf{B}_u – macierz kowariancji międzyklasowej; interclass covariance matrix,
 \mathbf{W}_u – macierz kowariancji wewnątrzklasowej; intraclass covariance matrix,
 n – liczba punktów; number of points,
 u – liczba skupień; number of clusters,
 $\text{tr}(\mathbf{A})$ – ślad macierzy \mathbf{A} ; trace of matrix \mathbf{A} .

Procedura polega na wyliczeniu indeksu dla wybranego zbioru potencjalnej liczby skupień i wybraniu takiej liczby skupień, dla której indeks przyjmuje maksimum, czyli:

$$\hat{u} = \arg \max_u \{CH(u)\}$$

2. Algorytm oparty na indeksie Huberta i Levina, dany wzorem (Milligan i Cooper 1985):

$$HL(u) = \frac{D(u) - I_w D_{min}}{I_w D_{max} - I_w D_{min}}$$

gdzie:

$D(u)$ – suma wszystkich odległości międzyklasowych; sum of all interclass distances,
 I_w – liczba odległości wewnątrzklasowych; number of intraclass distances,
 $D_{min}(u)$ – najmniejsza odległość wewnątrzklasowa; the smallest intraclass distance,
 $D_{max}(u)$ – największa odległość międzyklasowa; the largest interclass distance.

W odróżnieniu od punktu 1 należy wybrać:

$$\hat{u} = \arg \min_u \{HL(u)\}$$

3. Algorytm oparty na indeksie Krzanowskiego i Lai, dany wzorem (Krzanowski i Lai 1985, Tibshirani i in. 2001):

$$KL(u) = \left| \frac{(u-1)^{2/m} \text{tr}(\mathbf{W}_{u-1}) - u^{2/m} \text{tr}(\mathbf{W}_u)}{(u)^{2/m} \text{tr}(\mathbf{W}_u) - (u+1)^{2/m} \text{tr}(\mathbf{W}_{u+1})} \right|$$

gdzie:

m – liczba zmiennych; number of variables,
 pozostałe symbole – jak wyżej; remaining symbols – as above.

Podobnie jak w punkcie 1 należy wybrać:

$$\hat{u} = \arg \max_u \{KL(u)\}$$

4. Algorytm oparty na indeksie Daviesa i Bouldina, dany wzorem (Davies i Bouldin 1979):

$$DB(u) = \frac{1}{u} \sum_{r=1}^u \max_{s, r \neq s} \left(\frac{S_r + S_s}{d_{rs}} \right)$$

gdzie:

$$S_r = \left(\frac{1}{n_r} \sum_{i \in P_r} \sum_{j=1}^m |x_{ij}^r - z_{rj}|^q \right)^{1/q}$$

$$d_{rs} = \sqrt[p]{\sum_{j=1}^m |z_{rj} - z_{sj}|^p}$$

x_{ij}^r – j -ta współrzędna i -tego elementu klasy r ; j -th coordinate of i -th element of class r ,

z_{rj} – j -ta współrzędna środka ciężkości r -tej klasy; j -th coordinate of centroid of class r ,

P_r – zbiór obiektów r -tej klasy; set of objects constituting class r ,

q i p – parametry, zazwyczaj przyjmuje się 1 lub 2; parameters, usually assumed to be 1 or 2.

W tym punkcie, tak jak w przypadku metody Huberta i Levina, należy wybrać:

$$\hat{u} = \arg \min_u \{DB(u)\}$$

5. Algorytm oparty na indeksie Hartigana, dany wzorem (Hartigan 1975):

$$H(u) = \left(\frac{\text{tr}(\mathbf{W}_u)}{\text{tr}(\mathbf{W}_{u+1})} - 1 \right) (n - u - 1)$$

Dla tego algorytmu optymalną liczbą klas jest najmniejsze u , którego $H(u) \leq 10$.

W wyniku przeprowadzonych testów otrzymano wiele zbyt różniących się przesłanek do wyboru liczby klas skupień (tab. 18).

Tabela 18

Sugerowana liczba klas przez testowane algorytmy
The suggested number of classes by the tested algorithms

Lp.	Algorytm; Algorithm	Liczba klas; Number of classes
1	oparty na indeksie Calińskiego i Harabasa based on the Caliński and Harabasz Index	3–4
2	oparty na indeksie Huberta i Levina based on the Huberta i Levina Index	10
3	oparty na indeksie Krzanowskiego i Lai based on the Krzanowskiego i Lai Index	4–10
4	oparty na indeksie Daviesa i Bouldina based on the Daviesa i Bouldina Index	5
5	oparty na indeksie Hartigana based on the Hartigana Index	≥ 10

Ostatnim algorytmicznym etapem wyboru klas do analizy skupień była walidacja liczby klastrów za pomocą indeksu Silhouette przyjmującego wartości z przedziału $[-1; 1]$ (Kaufman i Rousseeuw 1990). Otrzymane wyniki zestawiono w tabeli 19. Miernik siły struktury klasowej oparty na indeksie Silhouette dany jest poniższym wzorem:

$$S(u) = \frac{1}{u} \sum_{i=1}^n \frac{b(i) - a(i)}{\max\{a(i), b(i)\}}$$

gdzie:

$$a(i) = \sum_{k \in \{P_r\}^i} \frac{d_{ik}}{(n_r - 1)}$$

$$b(i) = \min_{s \neq r} \{d_{iP_s}\}, \quad d_{iP_s} = \sum_{k \in P_s} \frac{d_{ik}}{n_s}, \quad P_r \text{ i } P_s - \text{to zbiór obiektów odpowiednio klasy } r \text{ i } s;$$

set of objects constituting class r and s respectively.

Tabela 19

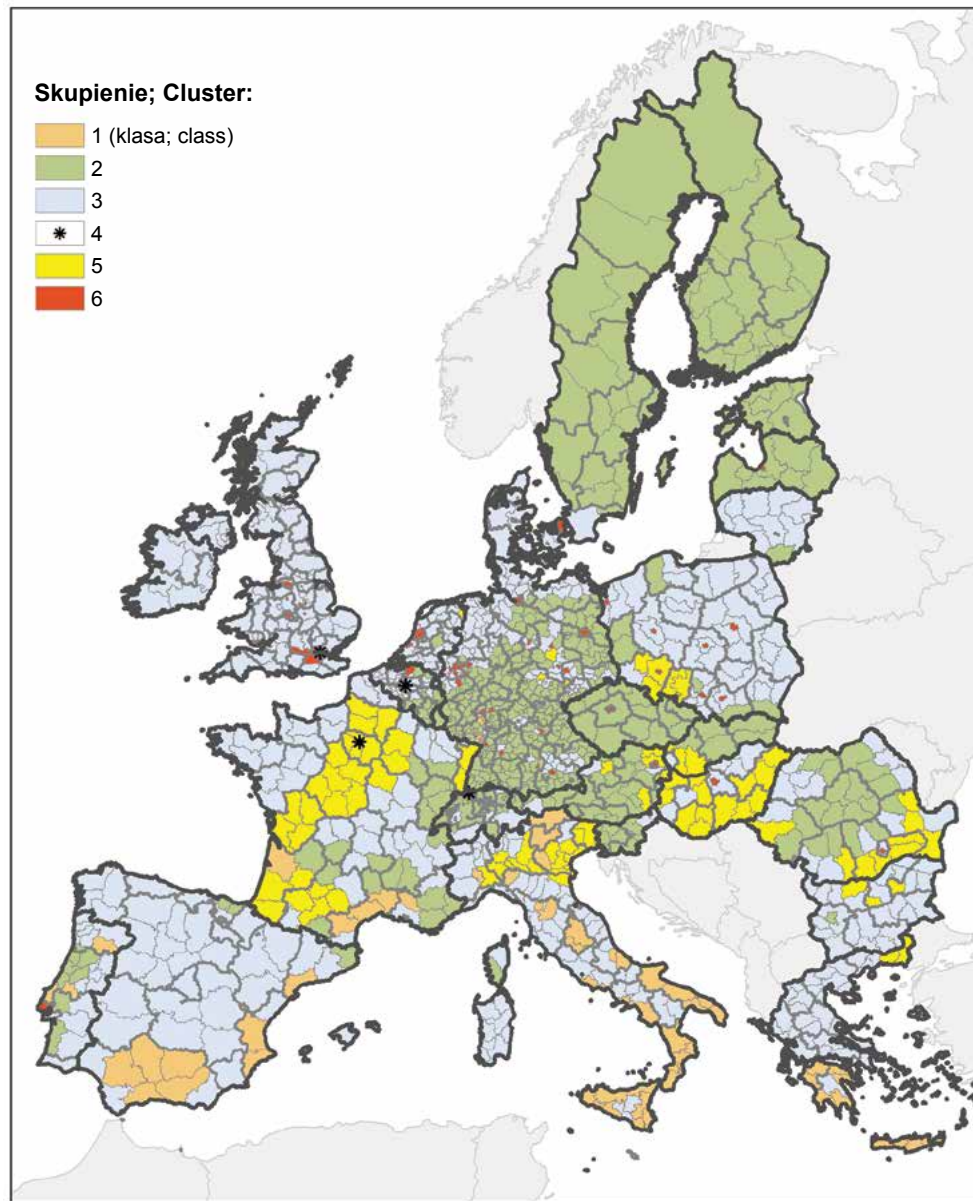
Walidacja liczby klas przy pomocy indeksu Silhouette
Validation of the number of classes using Silhouette index

Liczba skupień; Number of clusters	Indeks Silhouette; Silhouette index
1	NA
2	0,24
3	0,29
4	0,33
5	0,33
6	0,34
7	0,27
8	0,28
9	0,29
10	0,27

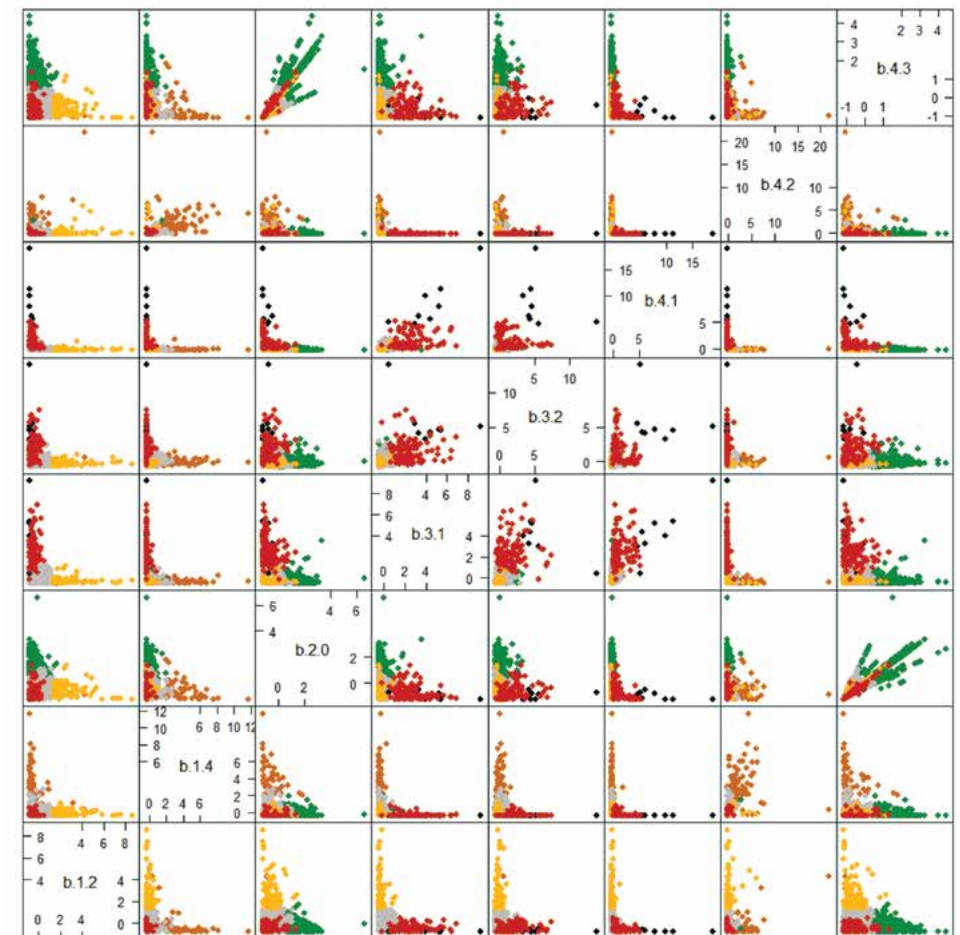
Kierując się wynikami testów oraz indeksem Silhouette, wybrano 6 klas do wykonania analizy skupień. Otrzymane wyniki przedstawiono na mapie (rys. 35).

Etap 6. Ocena wyników klasyfikacji

W przypadku powyższej klasyfikacji indeks Silhouette wynosi 0,34, a więc znajduje się on w przedziale $[0,25; 0,5]$, co według autorów metody (Kaufmana i Rousseeuwa 1990) świadczy o słabej, ale występującej strukturze klas. Autorzy ci zalecają w takim przypadku rozważenie dodatkowych metod analizy danych. Jednak, jak wskazuje porównanie rozkładu przestrzennego (rys. 35) z wcześniej osiągniętymi rezultatami (dot. map potencjałów przedstawionych na rys. 2–33), struktura klas może być uznana za wystarczającą do interpretacji regionalizacji potencjałów biomasy. Potwierdzają to również wykresy obrazujące separację skupień (rys. 36–38). Do pogłębienia oceny wyników wizualizowano ośmiowymiarową przestrzeń analizy skupień na wykresach punktowych rozłożonych w symetrycznej macierzy. Na rysunku 36 przedstawiono rozkład skupień wszystkich zmiennych dla regionów NUTS-3.

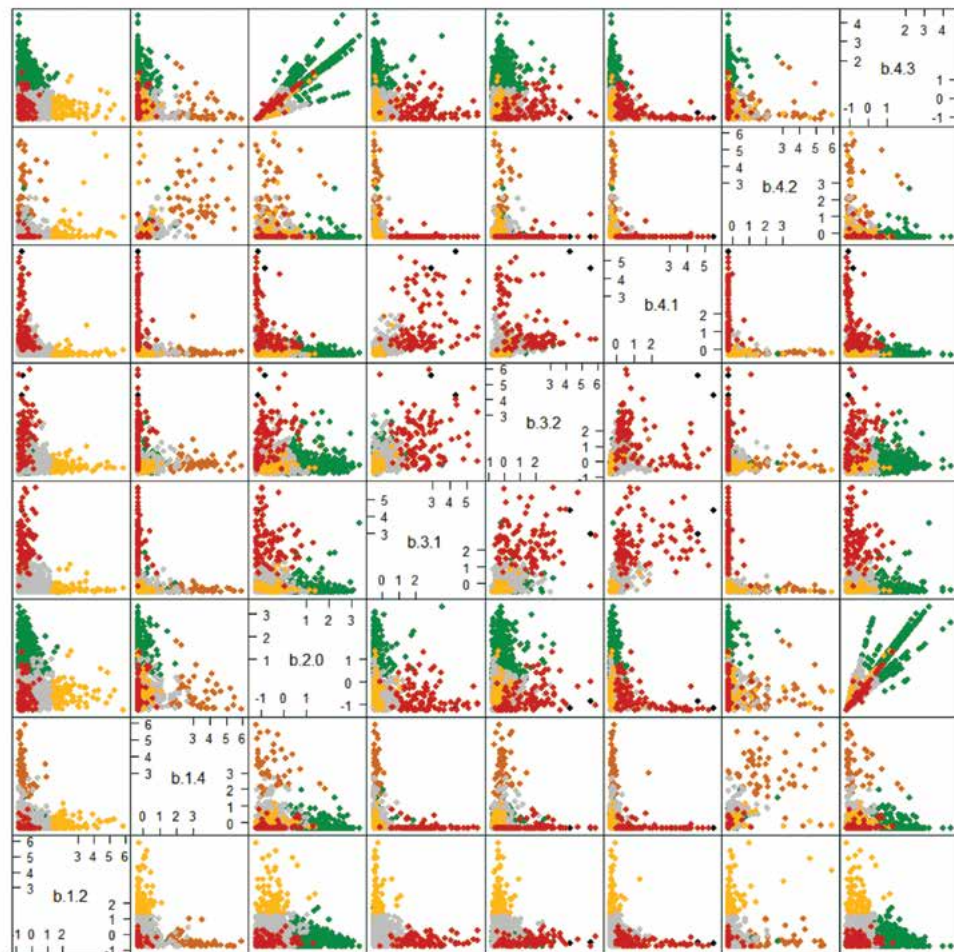


Rys. 35. Mapa analizy skupień
Map of cluster analysis

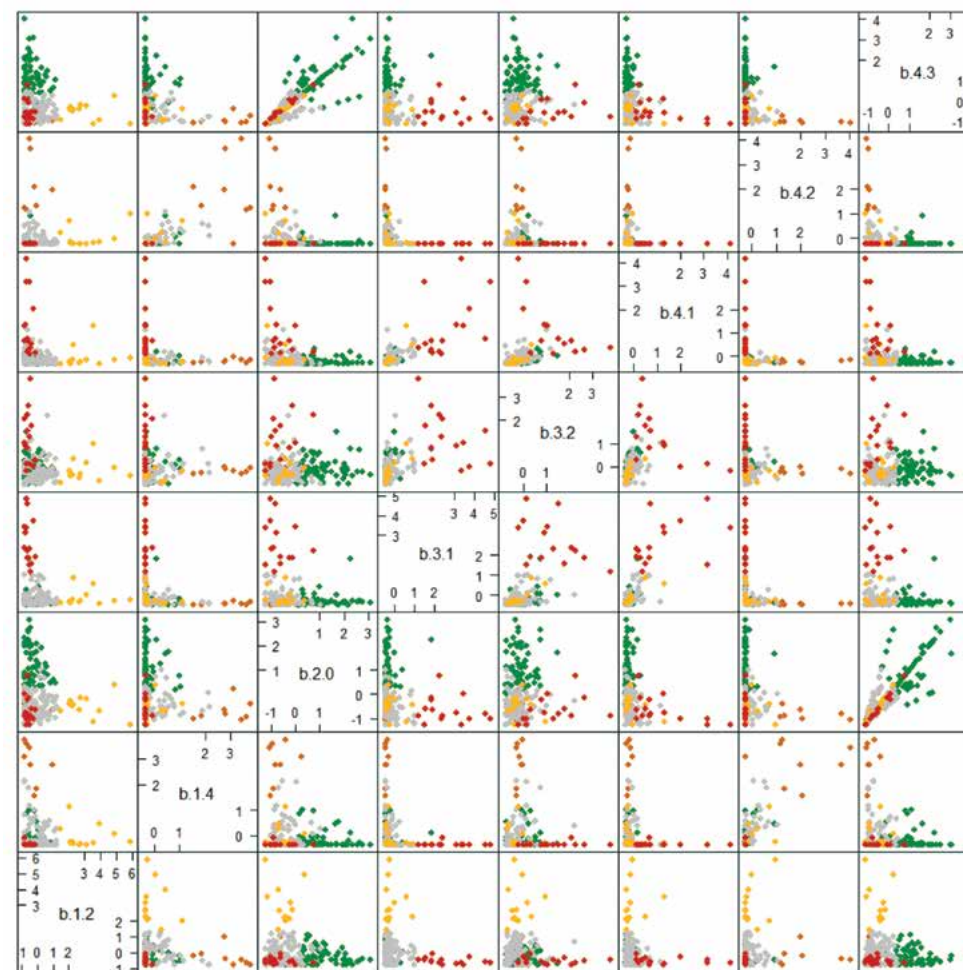


Rys. 36. Ośmiowymiarowa przestrzeń analizy skupień wizualizowana dla wszystkich klas w symetrycznej macierzy. Kolory punktów klas jak na mapie (rys. 35), kody typów biomasy jak w tabeli 17

Eight-dimensional space of cluster analysis visualised for all classes in the symmetric matrix. Colours of points as presented on the map (rys. 35), biomass type codes as in table 17



Rys. 37. Powiększony obraz przestrzeni analizy skupień, w których żadna cecha nie odchyła się od średniej o więcej niż 6 odchyżeń standardowych. Kolory punktów klas jak na mapie (rys. 35), kody typów biomasy jak w tabeli 17
 Enlarged image of the cluster analysis, in which no feature deviates from the average by more than six standard deviations. Colours of points as presented on the map (rys. 35), biomass type codes as in table 17



Rys. 38. Losowo wybrana próba 200 NUTS-3 dla sytuacji opisanej na rysunku 37. Kolory punktów klas jak na mapie (rys. 35), kody typów biomasy jak w tabeli 17
 Randomly selected sample of 200 NUTS-3 for the situation described in figure 37. Colours of points as presented on the map (rys. 35), biomass type codes as in table 17

Na każdej macierzy wykresów daje się zaobserwować istnienie przynajmniej jednego skupienia każdej klasy. Jest to wystarczający wymóg dla przeprowadzenia wydzielenia skupień. Wykresy potwierdzają także istnienie, wcześniej oszacowanej, słabej lecz występującej struktury klas w pełnym zbiorze danych. Jedynym niebudzącym wątpliwości wyróżnieniem jest skupienie klasy 4 (supermiejskiej), najlepiej widoczne na wykresie b.3.2–b.4.1 (czarne kropki). Liniowy układ zielonych kropek na wykresie b.2.0–b.4.3 wynika z korelacji liniowej między biomasa pochodząca z gospodarki leśnej a biomasa odpadową z przemysłu drzewnego. Relacja ta została założona w modelu RENEW. Wizualizacja wszystkich danych na rysunku 36 wykazuje również obecność małych liczebnie populacji charakteryzujących się wartościami znacznie większymi od przeciętnych, np.: b.2.0–b.3.1; b.1.2–b.4.1. Sugeruje to wystąpienie pozytywnej skośności w rozkładzie danych. Dla większej czytelności wykresów punktowych przedstawiono wynik jedynie dla NUTS, dla których każda cecha zawierała się w przedziale 6 odchylen standardowych od średniej. Dzięki temu wyraźniejsze stają się podziały na strefy dla wydzielonych klas. Jednak ze względu na dużą liczebność danych istnieje niebezpieczeństwo zamaskowania części skupień jednej klasy przez część skupień innej (-ych), a tym samym zafałszowania obrazu występującej separacji między klasami. Z tego powodu wylosowano 200 NUTS-3 i wizualizowano wynik według założeń przyjętych dla przypadku opisanego na rysunku 37. Rozkład skupień wybranych losowo zmiennych potwierdza opisane powyżej prawidłowości i utwierdza o celowości wykonanej analizy skupień (rys. 38).

Analiza skupień metodą k-średnich dla liczby klas równej 6 oraz 8 zmiennych dała wyniki, które scharakteryzowane są w tabeli 20, gdzie podane są środki ciężkości otrzymanych klastrów. Pogrubioną czcionką wyróżniono znaczące wartości zmiennych dla opisu danych skupień. Szerszą interpretację charakterystycznych cech poszczególnych klas opisano w etapie 7.

Tabela 20

Zestawienie wartości środków ciężkości klastrów dla zmiennych
(w nawiasach wartości wystandaryzowane)
Summary of the clusters' centroids for variables (standardised values in parentheses)

Typ biomasy; Biomass type	Słoma; Straw	Uprawy sadownicze; Permanent crop plantations	Biomasa leśna; Forestry biomass	Biomasa miejska; Urban biomass	Biomasa przydrożna; Road side vegetation	Odpady komunalne; Municipal waste	Odpady przem. spoż.; Food industry waste	Odpady przem. drzew.; Wood industry waste
Zmienna; Variable	b.1.2	b.1.4	b.2.0	b.3.1	b.3.2	b.4.1	b.4.2	b.4.3
Klasa; Class								
1	19,1 (-0,3)	35,3 (3,4)	12,5 (-0,6)	0,2 (-0,4)	1,6 (-0,1)	33,2 (-0,2)	38,0 (2,8)	0,4 (-0,8)
2	20,2 (-0,3)	1,0 (-0,2)	47,0 (1,1)	0,3 (-0,3)	1,4 (-0,2)	20,1 (-0,3)	0,5 (-0,2)	2,6 (1,2)
3	32,6 (0,0)	1,9 (-0,1)	14,4 (-0,5)	0,6 (-0,2)	1,2 (-0,2)	42,4 (-0,1)	1,3 (-0,1)	0,7 (-0,6)
4	3,0 (-0,7)	0,0 (-0,3)	5,5 (-1,0)	9,7 (4,3)	14,1 (5,7)	1682,3 (8,7)	0,0 (-0,2)	0,4 (-0,8)
5	154,1 (2,7)	2,4 (-0,1)	14,0 (-0,5)	0,4 (-0,3)	1,1 (-0,3)	24,8 (-0,2)	4,3 (0,1)	0,6 (-0,6)
6	13,8 (-0,5)	0,6 (-0,3)	10,8 (-0,7)	6,1 (2,5)	5,4 (1,7)	329,5 (1,4)	0,5 (-0,2)	0,6 (-0,6)

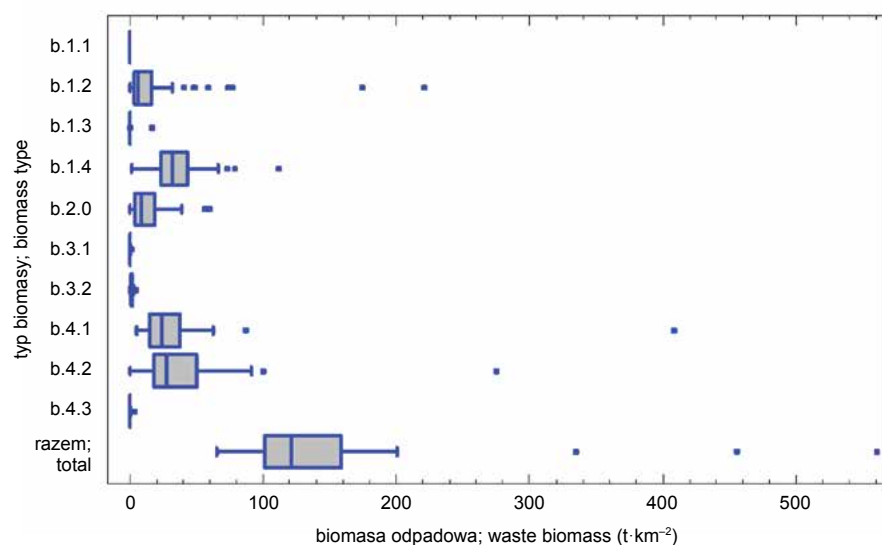
Etap 7. Opis (interpretacja) klas

Przed wykonaniem interpretacji klas należy zauważyć, że część odpadów biomasy pochodzących z rolnictwa (oprócz słomy i biomasy z upraw sadowniczych) została wykluczona z analizy skupień na podstawie analizy HINoV (etap 1). Ich rozkład przestrzenny w stosunku do innych rodzajów biomasy charakteryzuje się wystąpieniem kilku, małych obszarowo skupień, które same w sobie tworzą swoiste klastry nadwyżek nawozów naturalnych i siana (rys. 4 i 13).

Zarys charakterystycznych cech klas otrzymanych w analizie skupień można opisać już na podstawie wyników otrzymanych w tabeli 20, gdyż wyznaczenie skupień daje możliwość badań wpływu poszczególnych potencjałów na ogólną strukturę biomasy w każdej z klas. Klasy z założenia grupują podobne NUTS, dzięki czemu wydzielone rejony są bardziej homogeniczne niż cały obszar badań. Charakterystyki rozkładu dla wszystkich klas zaprezentowano graficznie na wykresie Box-and-Whisker, który przedstawia empiryczny rozkład zmiennych (potencjałów). Ze względu

na asymetrię rozkładów właściwą wartością przeciętnej z próby jest mediana (oznaczona jako pionowa kreska dzieląca prostokąt). Prostokąt obrazuje zakres rozpiętości między pierwszym i trzecim kwartylem (rys. 39–44).

Klasa pierwsza reprezentuje głównie regiony śródziemnomorskie, w których dominują plantacje oliwek i winnice, a surowce z nich pozyskiwane przetwarzane są lokalnie (wysokie wartości środków ciężkości i gęstości przestrzennej biomasy dla zmiennych b.1.4 i b.4.2). Klasa składa się z 68 jednostek NUTS-3. W porównaniu z pozostałymi klasami charakteryzuje się największym zrównoważeniem potencjałów biomasy. Aż pięć rodzajów potencjałów może znaleźć praktyczne zastosowanie. Biomasa komunalna ma potencjał niewiele mniejszy niż dwie najbardziej znaczące – biomasa z pielęgnacji upraw sadowniczych i przemysłu spożywczego. Słoma i biomasa z gospodarki leśnej mają mniejsze, lecz w ogólnej strukturze znaczące potencjały. W sumie gęstość przestrzenną biomasy odpadowej w regionach klasy pierwszej można szacować średnio na $121,4 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$, co lokuje tę klasę na 4 pozycji. W regionach klasy pierwszej nawozy naturalne, siano, biomasa miejska i przydrożna oraz odpady przemysłu drzewnego są nieznaczające jako biomasa odpadowa (niskie wartości środków ciężkości i ujemne wartości dla ich postaci standaryzowanej).

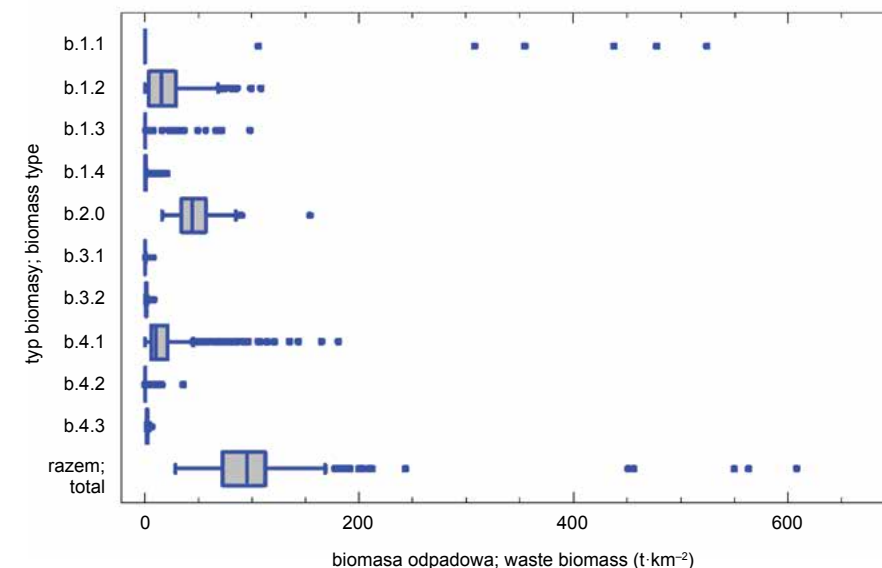


Rys. 39. Wykres Box-and-Whisker dla rozkładu potencjałów w klasie 1 (z 6 skupień).

Kody typów biomasy (oś pionowa) jak w tabeli 17

Box-and-Whisker chart for potential distribution in class 1 (of 6 clusters). Biomass type codes (vertical axis) as in table 17

Klasa druga może być interpretowana jako region z dominacją biomasy pochodzącej głównie z gospodarki leśnej. Klasa składa się z 434 NUTS-3. Średnie gęstości przestrzennej biomasy razem w jednostkach NUTS-3 tej klasy wynoszą $99 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, a najważniejszego potencjału (biomasy leśnej) – $44 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Oprócz biomasy leśnej znaczący udział w strukturze asortymentów ma słoma i odpady z gospodarki komunalnej. Klasa druga wraz z klasą trzecią są regionami najuboższymi w biomase odpadową ($< 100 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$). W porównaniu z mapami potencjałów, można stwierdzić, że klasa druga najlepiej odpowiada mapie gęstości przestrzennej biomasy leśnej. Dotyczy to głównie krajów Europy Centralnej i Wschodniej (Niemiec, Austrii, Słowenii, Czech, Słowacji i Rumunii). W przypadku Szwecji, Finlandii i Estonii ważnym kryterium przynależności tych państw do tej klasy są małe potencjały pozostałych źródeł biomasy. W klasie tej lokuje się też część NUTS-3 posiadająca duże potencjały siana.



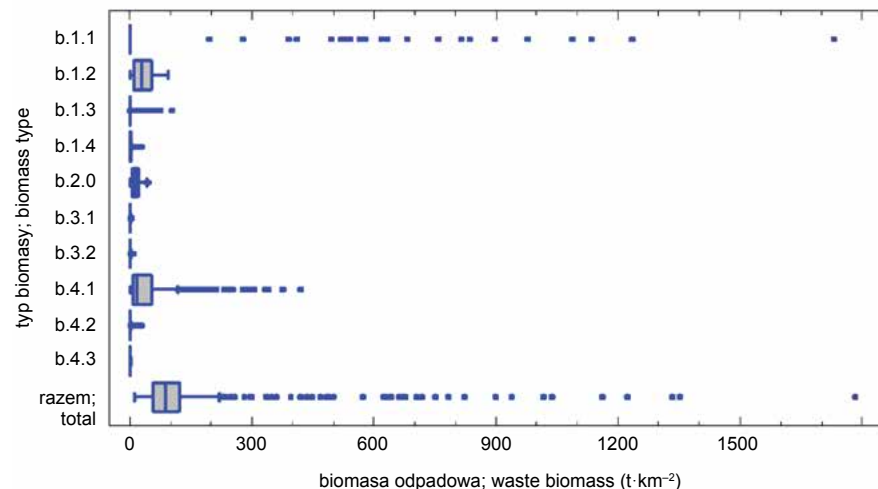
Rys. 40. Wykres Box-and-Whisker dla rozkładu potencjałów w klasie 2 (z 6 skupień).

Kody typów biomasy (oś pionowa) jak w tabeli 17

Box-and-Whisker chart for potential distribution in class 2 (of 6 clusters). Biomass type codes (vertical axis) as in table 17

Klasa trzecia jest klasą najliczniejszą (607 NUTS-3) oraz posiadającą największą powierzchnię. Reprezentuje najmniejsze ($88 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$) oraz najbardziej uśrednione wartości potencjałów, bez wyraźnej przewagi któregoś z rodzajów biomasy. Ich środki ciężkości w tej klasie układają się poniżej przeciętnej (ujemne wartości wystandaryzowane). Jedynie w przypadku słomy można zauważyć wpływ tego rodzaju biomasy na strukturę klasy. Klasa trzecia, oprócz Skandynawii, występuje we wszystkich rejonach Europy. Nie preferuje konkretnego położenia geograficznego,

tworząc dominujące skupienia zarówno w Hiszpanii, Wielkiej Brytanii, Danii, jak i Polsce, Litwie czy w południowo-wschodniej Europie. W klasie tej lokuje się też część NUTS-3 posiadająca duże potencjały siana oraz większość NUTS-3 o znaczącym potencjale nawozów naturalnych, które mogą być przeznaczone na cele energetyczne. Z uwagi na brak cech szczególnych klasa trzecia powinna być traktowana jako punkt odniesienia dla pozostałych klas.

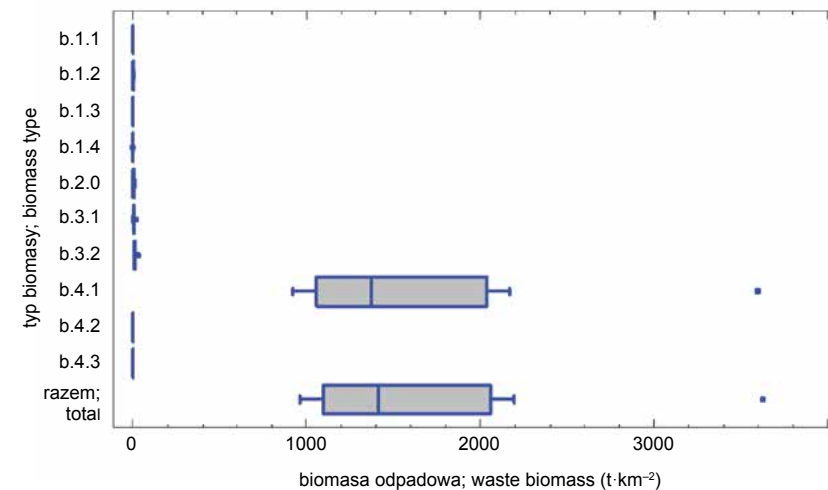


Rys. 41. Wykres Box-and-Whisker dla rozkładu potencjałów w klasie 3 (z 6 skupień).

Kody typów biomasy (oś pionowa) jak w tabeli 17

Box-and-Whisker chart for potential distribution in class 3 (of 6 clusters). Biomass type codes (vertical axis) as in table 17

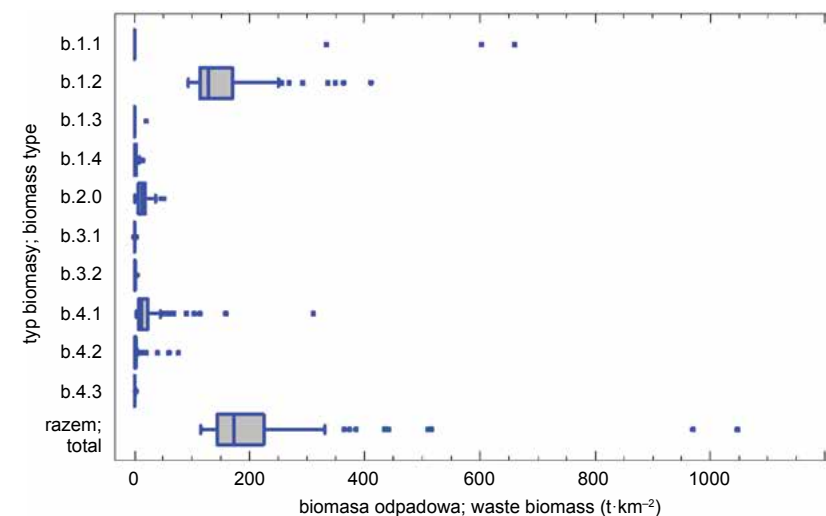
Klasa czwarta, którą można nazwać „supermiejską”, wydziela jedynie 8 jednostek NUTS-3 w dużych i zwartych aglomeracjach miejskich, w których dominuje biomasa z odpadów komunalnych. Ze względów geograficznych klasa ta dotyczy jedynie 4 regionów, ponieważ w przypadku Paryża kilka niewielkich jednostek NUTS-3 o atrybucie klasy czwartej sąsiaduje ze sobą. Podobna sytuacja ma miejsce w przypadku okolic Londynu. Średnia gęstość przestrzenna biomasy w NUTS wynosi $1,4 \text{ kt} \cdot \text{km}^{-2}$, a maksimum w aglomeracji Paryża – $3,6 \text{ kt} \cdot \text{km}^{-2}$. W porównaniu z innymi klasami wydzielone regiony posiadają największe potencjały biomasy. Jednak ze względu na ich małą liczebność nie stanowią regionów o specjalnym znaczeniu. Klasa ta może być połączona z klasą szóstą ze względu na identyczną strukturę.



Rys. 42. Wykres Box-and-Whisker dla rozkładu potencjałów w klasie 4 (z 6 skupień)

Box-and-Whisker chart for potential distribution in class 4 (of 6 clusters)

Klasa piąta reprezentuje regiony z dominacją słomy: środkowa i zachodnia Francja, dolina Padu, Nizina Węgierska, Dolny Śląsk, regiony dolnego Dunaju. Składa się z 89 NUTS-3 o dość wysokim potencjale biomasy ($174 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$). Ze względu na badania struktury biomasy klasa ta jest bardzo ważna, ponieważ definiuje regiony typowo rolnicze, z małym udziałem biomasy leśnej i komunalnej. W regionach tych najważniejszym zasobem OZE jest słoma ($130 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$), która w skali Europy stanowi największy potencjał biomasy pochodzącej z odpadów lub nadwyżek.

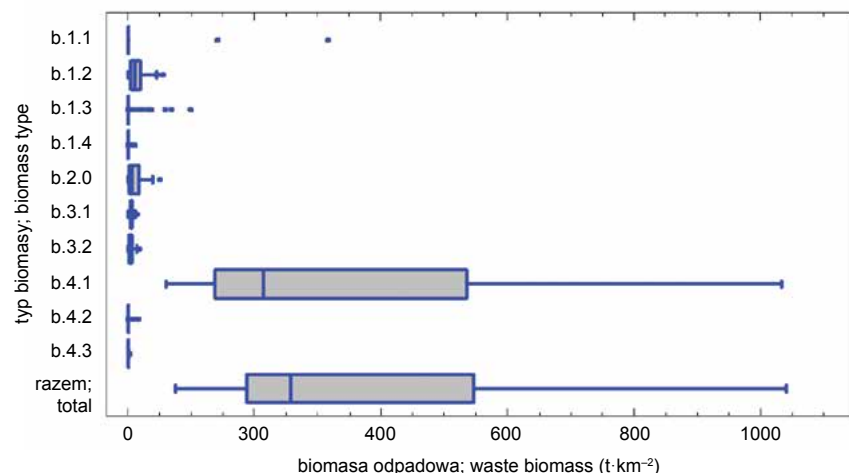


Rys. 43. Wykres Box-and-Whisker dla rozkładu potencjałów w klasie 5 (z 6 skupień).

Kody typów biomasy (oś pionowa) jak w tabeli 17

Box-and-Whisker chart for potential distribution in class 5 (of 6 clusters). Biomass type codes (vertical axis) as in table 17

Klasa szósta jest klasą o dominacji odpadów komunalnych. Średnia ich gęstość w tych regionach wynosi $257 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$. Klasa ta wydziela 107 NUTS-3 o charakterze typowo miejskim, lecz nie są to aż tak zwarte aglomeracje jak w przypadku klasy czwartej. Charakterystyczną cechą jest jej brak w Europie Południowej. Jest to związane z niewystępowaniem tam małych jednostek NUTS obejmujących swoim zasięgiem jedynie obszary miejskie. Z tego też względu NUTS-3 zaliczane do tej klasy najczęściej występują w Niemczech, gdzie wszystkie jednostki administracyjne są mniejsze powierzchniowo na tle podziału w Europie.



Rys. 44. Wykres Box-and-Whisker dla rozkładu potencjałów w klasie 6 (z 6 skupień).

Kody typów biomasy (oś pionowa) jak w tabeli 17

Box-and-Whisker chart for potential distribution in class 6 (of 6 clusters). Biomass type codes (vertical axis) as in table 17

Podsumowując wyniki otrzymane po przeprowadzeniu analizy skupień, można stwierdzić, że na podstawie badań rozpatrywanych z punktu widzenia czystej analizy danych struktura klasowa jest słaba. Jednak po przeprowadzeniu głębszej analizy struktury danych (HINoV), wyborze optymalnej liczby klas (indeks Silhouette) i metody klasyfikacji, struktura stała się czytelna i możliwa do interpretacji. Jeśli dołączyć do tego wiedzę ekspercką, można być przekonanym, że zastosowanie analizy skupień do analizy danych jest uzasadnione. Dzięki analizie skupień:

- uzyskano 6 poligonów o zbliżonej charakterystyce struktury potencjałów biomasy;
- zredukowano dużą liczbę danych pierwotnych (10 odrębnych map dla poszczególnych rodzajów biomasy) do 6 podstawowych kategorii;
- sklasyfikowano trudne do jednoznacznej interpretacji obszary; przy czym szczególnie korzystne jest wydzielenie skupień o dominacji jednego z trzech najważniejszych potencjałów: słomy, biomasy z gospodarki leśnej i komunalnych odpadów biodegradowalnych;
- przygotowano wejściowy zbiór danych wielocechowych do dalszych analiz.

Analiza przestrzenna potencjałów wykazała duże ich zróżnicowanie geograficzne oraz występowanie NUTS-3 o bardzo specyficznych cechach, wyraźnie odstających od całej populacji. Sytuacja ta jest szczególnie widoczna w przypadku jednostek NUTS o charakterze miejskim, w których dominujący udział mają odpady komunalne. To globalne zróżnicowanie struktury potencjałów z obecnością lokalnych ekstremów decyduje o tym, że Europa jest obszarem wysoce heterogenicznym z punktu widzenia modelowanych potencjałów biomasy. Potwierdza to analiza statystyczna zbiorów uzyskanych podczas prowadzenia analiz przestrzennych. Wszystkie otrzymane szacunki charakteryzują się rozkładem odbiegającym od rozkładu Gaussa, wykazując skośność pozytywną.

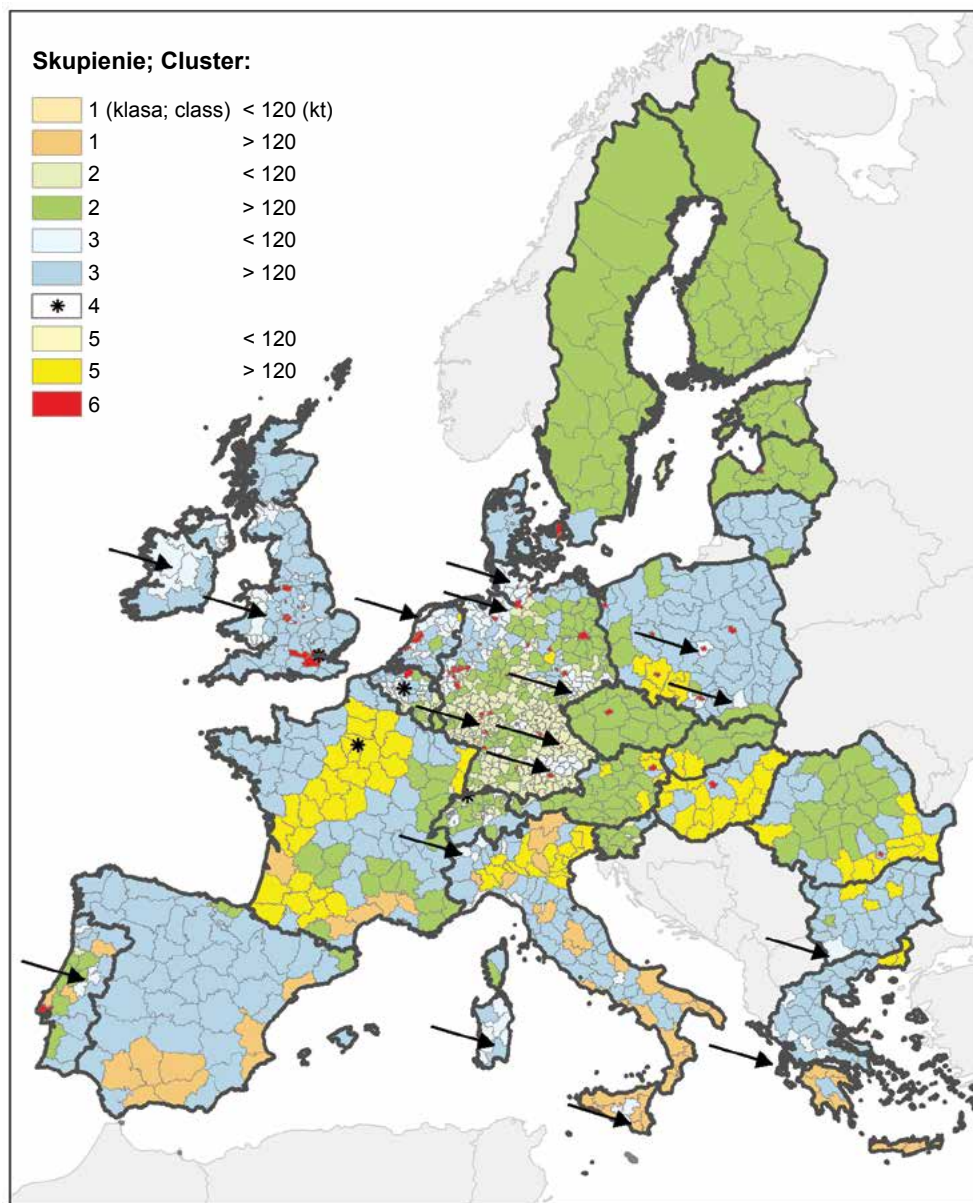
6. ANALIZA RYZYKA, NIEPEWNOŚCI I LOKALIZACJI

Analizy potencjału technicznego biomasy pozwoliły oszacować wszystkie dostępne rodzaje biomasy odpadowej w jednostkach terytorialnych NUTS-3. Dzięki analizie skupień uzyskano wydzielenia jednostek bardziej homogenicznych pod względem struktury biomasy. W większości NUTS można stwierdzić zasoby pozwalające lokalizować zakład lub zakłady energetyczne. Na rysunku 45 pokazano, że w większości regionów potencjał biomasy jest wyższy niż 120 kt (na podstawie założeń projektu BioBoost), co jest wysoce sprzyjające lokalizacji punktu przetwarzania biomasy lub produkcji energii. Potencjały mniejsze występują jedynie w jednostkach o małej powierzchni (oznaczone strzałkami), ale często są to jednostki o dużym względnym potencjale (gęstości przestrzennej biomasy). Umożliwia to efektywne pozyskiwanie biomasy na cele energetyczne z takiego klastra sąsiadujących ze sobą NUTS-3. Dlatego ze względów praktycznych zasadne jest wykonanie oceny ryzyka popełnienia błędów w dotychczas przeprowadzonym modelowaniu oraz wykazanie potencjalnych możliwości pozyskania biomasy na cele energetyczne przy założeniu największej ostrożności w szacunkach. Z powyższych względów przeprowadzono: analizę ryzyka możliwości przeszacowania najwyższych potencjałów; analizę niepewności szacunków w wydzielonych skupieniach oraz analizę bezpiecznej lokalizacji zakładów energetycznych.

6.1. ANALIZA RYZYKA

W wyniku modelowania baz surowcowych oraz analizowania ich skupień otrzymano zbiory danych charakteryzujące się dużą prawostronną skośnością rozkładu. Prawidłowość tę przedstawiono już wcześniej, przy podsumowaniu wyników modelowania potencjału technicznego biomasy, gdzie niesymetryczności rozkładów scharakteryzowano statystyką opisową zbiorów (tab. 17). Po wydzieleniu skupień wykazano występowanie specyficznych regionów, o nieproporcjonalnie dużych wartościach, w każdej z klas (rys. 39–44). W związku z powyższym przeprowa-

dzono analizę ryzyka mającą na celu wyznaczenie górnej wartości, powyżej której wyniki powinny być weryfikowane niezależnymi danymi (Hertz i Thomas 1983, Sienkiewicz 2005). Ma to uzasadnienie szczególnie przy praktycznym wykorzystaniu uzyskanych wyników badań, ponieważ regiony o nieprzeciętnym dużym potencjale są najbardziej atrakcyjne dla lokowania w nich inwestycji i rozbudowy infrastruktury przemysłu energetycznego.



Rys. 45. Podział NUTS na klasy z wyszczególnieniem jednostek o potencjale wyższym niż 120 kt
NUTS breakdown detailing the class of individuals with the potential of more than 120 kt

Ze względu na duże różnice w powierzchniach NUTS-3 do analiz wybrano wynik standaryzowany przez ten atrybut poligonu ($\text{kt} \cdot \text{km}^{-2}$). Analizy ryzyka zostały wykonane w programie @Risk (Risk Analysis and Simulation Add-In for Microsoft®Excel), który jest częścią składową Palisade Decision Tools. Wykonano dwa rodzaje analiz. W pierwszym przypadku poszukiwano najlepszego rozkładu statystycznego dla każdej z klas (D'Agostino i Stephens 1986, Walpole i Myers 1993). Jako górną wartość, powyżej której wynik może być obciążony błędem przyjęto percentyl 95%. Wyniki analizy zestawiono w tabeli 21, gdzie pierwsza kolumna zawiera zestawienie sześciu klas wydzielonych w analizie skupień, w kolumnie drugiej podano liczebność NUTS-3 w każdym skupieniu, a w kolumnie 3 – wartości górnego decyla w każdym ze zbiorów. Wartości graniczne dla analizy ryzyka zawiera kolumna 4, a procentowy udział podzbioru obciążonego ryzykiem zestawiono w ostatniej kolumnie.

Tabela 21

Analiza ryzyka wystąpienia przeszacowania wartości w modelowaniu gęstości przestrzennej potencjału technicznego biomasy według najlepszego z rozkładów statystycznych dla każdej z klas

Risk analysis of overestimating of the technical potential in modelling biomass spatial density according to the best of statistical distributions for each class

Skupienie; Cluster	n	Górny decyl; Upper decile (10%)	Granica ryzyka; Risk boundary	%
1	68	194	200	12,3
2	434	137	165	6,3
3	607	374	396	2,7
4	8	3626	3626	2,6
5	89	365	441	5,2
6	107	821	867	6,8
Cały zbiór; All set	1313	252	515	2,1

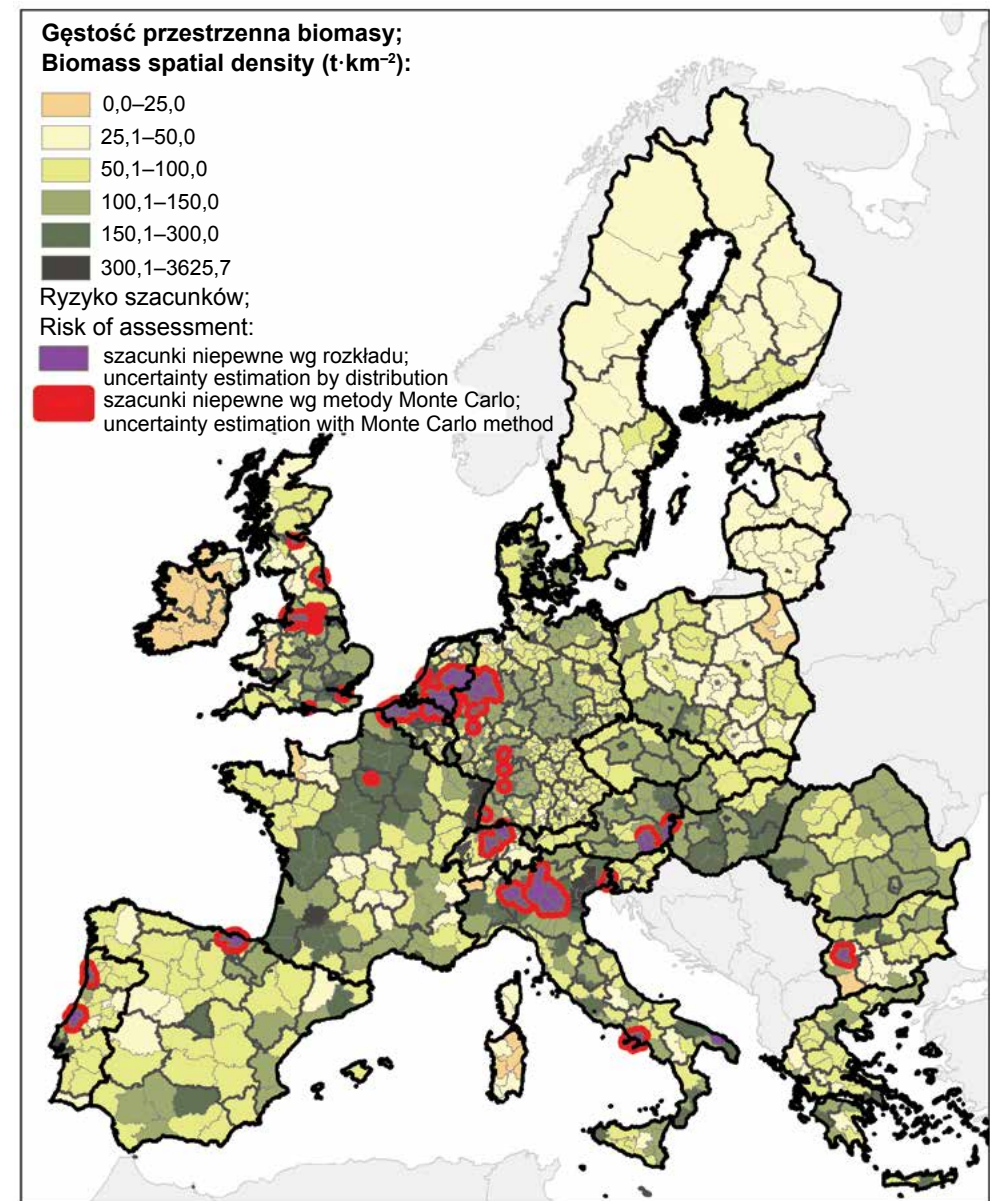
Drugą z analiz ryzyka przeprowadzono metodą Monte Carlo dla 10 tys. iteracji (n). Próbkując dane techniką „Latin Hypercube”, wyznaczono górny poziom, od którego można mówić o ryzyku w szacunkach potencjałów (Fishman 1996, Rubinstein i Kroese 2007). Poziom ten stanowi 5% największych wartości w każdej klasie (tab. 22).

Tabela 22

Analiza ryzyka wystąpienia przeszacowania wartości w modelowaniu gęstości przestrzennej potencjału technicznego biomasy przeprowadzona metodą Monte Carlo
Risk analysis of overestimating of the technical potential in modelling biomass spatial density performed using Monte Carlo

Skupienie; Cluster	n	Górny decył; Upper decile (10%)	Granica ryzyka; Risk boundry	%
1	10 000	212	257	5
2	10 000	148	174	5
3	10 000	216	300	5
4	10 000	2601	3120	5
5	10 000	345	448	5
6	10 000	720	1000	5
Cały zbiór; All set	10 000	254	350	5

Wyznaczenie NUTS według rozkładów jest mniej restrykcyjne dla klasy 3 (najbardziej licznej) i 4. Oznacza to, że mniej tych jednostek terytorialnych zostanie zaliczonych do mających ekstremalnie wysokie gęstości przestrzenne. Wskazane analizą ryzyka NUTS należy poddać dodatkowym badaniom, aby dociec, czy wysoki potencjał jest ich właściwością, czy też jest on efektem niedoskonałości danych lub algorytmów. W każdym przypadku NUTS o potencjałach większych od podanych krytycznych wartości według rozkładów powinny być traktowane jako te, w których wyszacowano potencjały z wysoką niepewnością statystyczną. Oznacza to, że dla zmniejszenia niepewności szacunków należałoby w tych NUTS przeprowadzić studia przypadków. Regiony te zostały wyróżnione na mapie ryzyka (rys. 46).



Rys. 46. NUTS-3 obarczone ryzykiem przeszacowania wartości
NUTS-3 at the risk of overestimating

6.2. ANALIZA NIEPEWNOŚCI

Z przeprowadzonych badań i studiów literaturowych wynika, że produkcja biomasy jest regionalnie zróżnicowana i nierówno rozłożona przestrzennie (Bossard

i in. 2000). Zróznicowanie to, zależne głównie od zmieniających się warunków produkcyjnych, homogenizowano do pewnego stopnia poprzez wydzielenie w analizie skupień regionów o zbliżonych potencjałach biomasy. Wyniki tej analizy nie doprowadziły jednak do regionalizacji w pełni homogenicznej. Dlatego też, wykorzystując te szacunki, należy założyć, że modelowane potencjały regionalne mieszczą się w pewnych zakresach wartości (Morgan i Henrion 1990, Frey i Burmaster 1999). W zasadniczej części zmienność tych zakresów wynika z obiektywnych uwarunkowań produkcyjnych. Jednakże część tej zmienności może być rezultatem tego, że w szacunkach potencjałów biomasy zostały wykorzystane dane statystyczne i geograficzne, które obciążone są jakąś niepewnością. Jest ona pochodną różnego rodzaju błędów, na przykład takich jak: błędy pomiaru (masy, powierzchni), błędy związane z niereprezentatywnością prób danych czy nie dość precyzyjnymi lub niereprezentatywnymi wartościami współczynników, które uwzględniono w algorytmach szacowania biomasy. Błędy te kreują niepewność, która z definicji oznacza brak wiedzy o prawdziwej wartości oszacowanego potencjału. W konsekwencji powoduje to, że szacunki nie mogą być uznane ani traktowane jako dokładne. Jednakże analitycznie można założyć, że prawdziwa, lecz nieznaną wartość potencjału biomasy zawarta jest w pewnym zakresie wartości replikowanych szacunków. Jeśli z szacunków tych policzona zostanie średnia, na przykład dla skupień, to różnicą pomiędzy średnią z wielu szacunków a nieznaną wartością prawdziwego potencjału jest błąd systematyczny szacunku. Jeśli ten błąd jest znany, to może być zastosowany dla indywidualnych szacunków biomasy dokonanych dla NUTS-3, leżących w danym skupieniu, w celu uzyskania bardziej dokładnych oszacowań prawdziwych, lecz nieznanymi wartościami potencjałów biomasy. W zastosowanej procedurze niepewność jest definiowana jak zakres $\pm U$, który, jak się oczekuje, będzie zawierać prawdziwą wartość według wzoru:

$$x_{sr} - U \leq x \text{ prawdziwe} \leq x_{sr} + U$$

Niepewność średnich potencjałów biomasy (kt) oraz gęstości biomasy ($t \cdot km^{-2}$) w skupieniach potencjałów biomasy oszacowano metodą wartości krytycznych t (t-factor), która uwzględnia rozkład t-Studenta (Castrup 2010). Metoda ta definiuje niepewność średniej Um wyszacowanego potencjału biomasy jako tę wartość, dla której z 95% ufnością można przyjąć, że $\pm Um$ zbliża średnią do „wartości prawdziwej” potencjału. Dla dostatecznie licznych danych, w skupieniach potencjałów biomasy, definicja ta oznacza operacyjnie, że $\pm Um$ powinno zawierać prawdziwą wartość w 95% wyliczonych średnich. Um szacowano ze wzoru:

$$Um = ts/N^{0,5}$$

gdzie:

s – odchylenie standardowe; standard deviation,

t – wartość z rozkładu t-Studenta; values from t-Student distribution.

Oszacowane w podany sposób niepewności mają dwie istotne właściwości. Z pierwszej z nich wynika, że niepewność średniej dla skupienia będzie mniejsza

niż niepewność dla pojedynczego szacunku w skupieniu (o wartość $1/N^{0,5}$). Druga zaś stanowi, że im więcej szacunków w skupieniu, tym średnia staje się lepszym oszacowaniem prawdziwej wartości potencjału w tym skupieniu.

Wyniki analizy niepewności przedstawiono w tabeli 23 dla biomasy (kt) i w tabeli 24 dla jej gęstości ($t \cdot km^{-2}$) w obrębie wydzielonych 6 klas skupień (C1–C6) potencjałów biomasy.

Tabela 23

Niepewności szacunków biomasy w sześciu wyodrębnionych skupieniach jej potencjałów
Uncertainty of estimates of biomass in six separate clusters of its potential

Statystyki dla biomasy; Statistics for biomass (kt)	Skupienie; Cluster					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Średnia; Mean	270	293	274	256	863	86,6
Odchylenie standardowe; Standard deviation	261	385	284	113	454	102
Liczebność danych; Quantity of data	68	434	607	8	89	107
Wartość krytyczna t (t-factor); Critical value t (t-factor)	2,01	1,96	1,96	2,36	2,01	1,98
Niepewność dla 95% CI*; Uncertainty at 95% CI*	63,7	36,3	22,6	94,3	96,8	19,5
% Niepewności; % Uncertainty	24	12	8	37	11	23

* – przedział ufności

Tabela 24

Niepewności szacunków przestrzennej gęstości biomasy w sześciu wyodrębnionych skupieniach jej potencjałów
Uncertainty of estimates of biomass spatial density in six separate clusters of its potential

Statystyki dla gęstości biomasy; Statistics for biomass density ($t \cdot km^{-2}$)	Skupienie; Cluster					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Średnia; Mean	141	99,6	128	1716	220	377
Odchylenie standardowe; Standard deviation	78,3	57,8	175	887	148	258
Liczebność danych; Quantity of data	68	434	607	8	89	107
Wartość krytyczna t (t-factor); Critical value t (t-factor)	2,01	1,96	1,96	2,36	2,01	1,98
Niepewność dla 95% CI*; Uncertainty at 95% CI*	19,1	5,44	13,9	740	31,5	49,3
% Niepewności; % Uncertainty	14	5	11	43	14	13

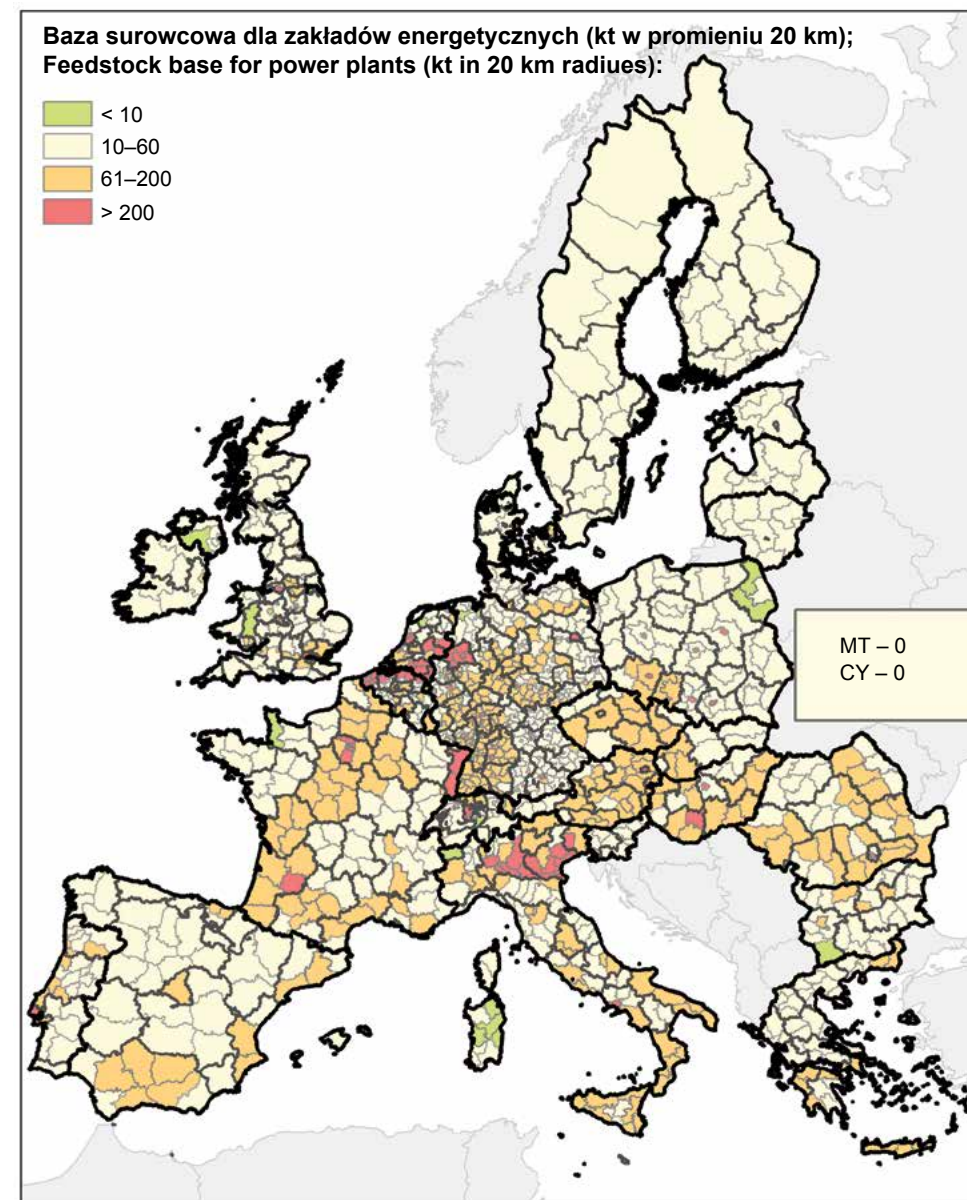
* – przedział ufności

Oszacowane niepewności uwzględniono przy kartowaniu potencjalnych lokalizacji zakładów przetwarzających biomasę na energię lub półprodukty energetyczne. Podstawą lokalizacji było deklarowane zapotrzebowanie na biomasę oraz istniejący potencjał biomasy, który zwiększono o wartość oszacowanej niepewności. W ten sposób minimalizowano ryzyko niepokrycia zapotrzebowania na biomasę. Dla przykładu, jeśli zakład do pokrycia zapotrzebowania na biomasę w regionie C1 potrzebował gęstości przestrzennej biomasy $60 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$, to gęstość tę zwiększano o wartość niepewności, która wynosiła 14%.

6.3. ANALIZA LOKALIZACJI

Analizę niepewności oraz mapę gęstości przestrzennej biomasy wykorzystano w optymalizacji dotychczas otrzymanych wyników pod kątem możliwości lokalizacji zakładów przetwarzających biomasę. W analizie tej założono wyznaczenie jednostek NUTS-3, w których można pozyskać wystarczającą ze względów technologicznych ilość biomasy, w jak najbardziej korzystnym ze względów logistycznych promieniu. Przedziały wielkości potencjałów technicznych przyjęto na podstawie założeń projektu BioBoost, którego głównym celem jest opracowanie praktycznych technologii konwersji odpadów i nadwyżek biomasy w półprodukty energetyczne. Na podstawie tych założeń określono przedziały zapotrzebowania na biomasę jako: 10, 60, 120 i 200 kt. W optymalizacji baz surowcowych równie ważny jest obszar, z którego pozyskuje się biomasę, ponieważ przy przewozie na odległość 80–100 km zużycie energii na transport dorównuje wartości energetycznej przewożonej biomasy (Sokhansanj i Fenton 2006, Castillo i in. 2010, Strasil i Kara 2010, Kowalczyk-Juško 2012). Natomiast najbardziej racjonalny promień transportu biomasy nie powinien przekraczać 20 km (Börjesson 1996). Z powyższych przyczyn przyjęto, że jednostki NUTS-3 zostaną podzielone na cztery klasy, w których założone przedziały zapotrzebowania na biomasę możliwe są do uzyskania w promieniu 20 km. Potencjał dostępności biomasy w regionach został obliczony jako średni potencjał techniczny całkowitych zasobów biomasy w kole o promieniu 20 km, przy uwzględnieniu poprawki na niepewność. W obliczeniach zastosowano mapę gęstości przestrzennej oraz mapę skupień. Wynikiem analizy jest mapa regionów optymalnej lokalizacji zakładów energetycznych wykorzystujących biomasę (rys. 47). Ze względu na skalę opracowania podstawową jednostką na mapie jest NUTS-3, a sytuacja przedstawia wartości średnie, które wynikają z zastosowania mapy gęstości potencjału biomasy. Dlatego też rzeczywiste lokalizacje oparte na studiach lokalnego zróżnicowania zasobów biomasy w jednostce będą prowadziły do wyboru jeszcze korzystniejszych miejsc sytuowania zakładów energetycznych, czyli takich, które są w bezpośredniej bliskości źródeł biomasy wybranych do konwersji. Na podstawie mapy można stwierdzić, że w Europie istnieją dwa regiony szczególnie korzystne dla produkcji bioenergii; są to sąsiadujące ze sobą skupiska NUTS-3 w Holandii, Belgii i Niemczech oraz północnych Włoszech. Należy jednak zauwa-

żyć, że regiony te należą też do najbardziej obciążonych ryzykiem przeszacowania górnych potencjałów technicznych dostępności biomasy (rys. 46). Do regionów Europy o najmniej korzystnych lokalizacjach należą: Skandynawia, Kraje Nadbałtyckie i północno-wschodnia Polska.



Rys. 47. Regiony optymalnej lokalizacji zakładów energetycznych wykorzystujących biomasę
Optimal location for biomass-based power plants

7. DYSKUSJA

Zasoby biomasy ubocznej i odpadowej

Szacunki biomasy energetycznej prowadzone w pierwszej dekadzie XXI w. wykazywały duże potencjalne możliwości pozyskiwania zarówno biomasy już dostępnej, jak i dedykowanej (Fischer i Schnattenhalzer 2001, Fisher i in. 2005). Bardzo często jako główne źródło zasobów biomasy pochodzenia rolniczego i leśnego wskazywana była Polska i inne kraje Europy Wschodniej (van Velthuizen 2003, Thran i in. 2005, Ericsson i Nilsson 2006). Przedstawiane opracowania kartograficzne wyraźnie sugerowały podział na kraje zachodnie o wysokiej kulturze rolnej, w których powinno się pozostać przy intensywnej produkcji żywności i kraje Europy Wschodniej, które, będąc w transformacji ustrojowej, nie posiadają możliwości konkurencji z krajami byłej „piętnastki” europejskiej w produkcji surowców na cele żywnościowe. W krajach tych wskazywano potencjalne możliwości lokowania upraw roślin energetycznych czy pozyskiwania biomasy leśnej (Pudelko i in. 2012). Założenia te, nie do końca pozbawione racji z punktu widzenia ogólnej polityki i ekonomii Europy, mogły jednak doprowadzić do braku zrównoważonego rozwoju krajów starających się o akcesję do UE oraz zagrozić bezpieczeństwu żywnościowemu poszczególnych państw. W ostatnich latach obserwuje się zmianę tej tendencji. Rozpatrywane są możliwości produkcji biomasy na gruntach obecnie wyłączonych z produkcji rolnej, jak odłogi i nieużytki rolne. Wskazuje się również na to, że odpady i nadwyżki biomasy będą ważnym źródłem „zielonej energii” (Elbersen i in. 2012). Finansowane są projekty ukierunkowane na energetyczne wykorzystanie odpadów nadwyżek biomasy, a nie na jej dedykowaną produkcję (RENEW, BEE, BioBoost). Coraz większe zainteresowanie biomasą uboczną i odpadową wymaga bardziej szczegółowych opracowań dotyczących jej zasobów. Zwiększenie dokładności modelowania tego typu bazy surowcowej można uzyskać jedynie przez zastosowanie systemów informacji geograficznej jako narzędzia analiz przestrzennych (Edwards i in. 2005, RENEW 2008, Fischer i in. 2010a i 2010b). Z tego względu narzędzia geoprosessingu i metody ich wykorzystania stanowią ważny aspekt tej pracy, w której podjęto próbę szczegółowej i kompletnej oceny zasobów biomasy pochodzącej z nadwyżek w produkcji rolnej, gospodarce leśnej, konserwacji przyrody, gospodarce komunalnej oraz wybranych gałęziach przemysłu spożywczego.

W wyniku przeprowadzonych analiz stwierdzono 3 główne źródła zasobów biomasy. Są to: słoma, biomasa pochodząca z gospodarki leśnej oraz biodegradowalne odpady komunalne. Razem zasoby te stanowią ekwiwalent 77,6 Mtoe. Potencjał ten jest w stanie pokryć ok. 7% europejskiego zapotrzebowania na energię (Eurostat). W porównaniu do ogólnego udziału energii już pochodzącej z biomasy jest to 85% (AEBIOM 2012). Świadczy to o tym, że same zasoby biomasy ubocznej i odpadowej nie są w stanie spełnić wymaganych celów zwiększenia udziału odnawial-

nych źródeł energii do poziomu 20% całkowitego zużycia energii (dyrektywa RED). Pozostałe rodzaje biomasy odpadowej i ubocznej mogą mieć znaczenie lokalne (np. w regionach z uprawami sadowniczymi, okolicach dużych aglomeracji, w bezpośrednim sąsiedztwie zakładów przetwórczych). Jednak w ogólnej strukturze surowców energetycznych pochodzących z biomasy, w skali europejskiej, mają one znaczenie marginalne.

Szacowany potencjał biomasy Szwajcarii (jedynego państwa spoza UE, które w niniejszej pracy objęte zostało analizami zasobów biomasy odpadowej) nie stanowi większego znaczenia w ogólnoeuropejskim systemie wykorzystania tego rodzaju energii odnawialnej. Główną tego przyczyną są warunki geograficzne (obszary góryste) niesprzyjające wegetacji roślin, pozyskiwaniu biomasy i jej logistyce. Natomiast inne państwa sąsiadujące z UE mogą mieć duże znaczenie w paneuropejskim systemie obrotu biomasą energetyczną, co związane jest z zasobami i możliwością ich eksploatacji (głównie Białoruś, Ukraina i Norwegia) (Fischer i Schrattenholtzer 2001, de Noord i in. 2004, Hoogwijk i in. 2005, Ericsson i Nilsson 2006, Smeets i Faaij 2007, Smeets i in. 2007, Fischer i in. 2010a i 2010b).

Zasoby słomy oszacowane w niniejszej pracy odpowiadają wynikom projektu RENEW (2008). Jediną różnicą jest ich przeskalowanie do jednostek regionalnych (NUTS-3) oraz wprowadzenie poprawki wynikającej z trendu czasowego. Zasoby nadwyżek słomy, które mogą być dostępne na cele energetyczne szacuje się na 144 Mt, co odpowiada energii = 1,9 EJ. W porównaniu do szacunków RENEW jest to wynik o 2,1% większy. Dla porównania, Edwards i in. (2005) oszacowali ten potencjał na 820 PJ, jednak w tych kalkulacjach brano pod uwagę jedynie słomę pszenną i jęczmienną. Biorąc pod uwagę fakt, że pszenica i jęczmień stanowią 53% udziału w produkcji zbóż, a stosunek ziarna do słomy jest mniejszy w porównaniu z pozostałymi gatunkami (Scarlat i in. 2010, Tum i Gunther 2011), można stwierdzić, że szacunki te są dość bliskie. Natomiast w obrazie rozkładu przestrzennego potencjału widoczne są różnice. W niniejszej pracy większe potencjały oszacowano dla regionów północnych Włoch, na Węgrzech i w Rumunii.

Szacunki możliwości energetycznego wykorzystania nadwyżek słomy prowadzone w JRC (Edwards i in. 2005) zostały uszczegółowione przez Scarlat i in. (2010). W rezultacie otrzymano wynik 1530 PJ·rok⁻¹, przy czym rozpiętość przedziału określono na 1090–1900 PJ·rok⁻¹. Przedział ten jest zgodny z wynikami osiągniętymi w niniejszej pracy dotyczącymi trudności w szacowaniu tych zasobów, głównie ze względu na duże zróżnicowanie plonów i powierzchni upraw w czasie.

Porównując uzyskane wyniki w jednostkach NUTS-3 z przestrzennym zróżnicowaniem potencjałów (grunty orne na mapie CLC), można stwierdzić, że bardziej szczegółowe szacunki regionalne możliwe są do przeprowadzenia metodami GIS. Do tej pory takie podejście zaprezentowano w pracach prowadzonych w JRS (Edwards i in. 2005) oraz w IIASA (Fischer i in. 2010a i 2010b). Ze względu na to, że rozpoznanie dostępności słomy dla energetyki jest wyjątkowo istotne, w projekcie BioBoost założono wykonanie modelowania jej zasobów w rastrze o rozdziel-

czości 5 km (w wybranych regionach – 1 km) (Bioboost). Wyniki modelowania będą ogólnie dostępne dzięki rozwijanemu geoportalowi.

Odpady pochodzące z gospodarki leśnej stanowią drugi pod względem wielkości potencjał biomasy. Zasoby te w skali Europy oszacowano w niniejszej pracy na 104 Mt (przy 57% wilgotności), co odpowiada 751 PJ. Porównując te dane z zasobami słomy, wyraźnie widoczna jest różnica w możliwościach uzyskania energii z tych surowców przy zbliżonym ich potencjale masy, ale różnej wilgotności. W porównaniu z innymi szacunkami przeprowadzone modelowanie zawiera się między optymistycznymi a zachowawczymi szacunkami. Na przykład Asikainen i in. (2008) oszacowali dostępność odpadów biomasy leśnej na 150 Mt (wilgotność 40%), a Mantau i in. (2008) na 50–75 Mt s.m. Dokładne porównanie dotychczasowych szacunków biomasy leśnej i potencjału jej odpadów jest trudne do przeprowadzenia, ponieważ poszczególni autorzy szacują biomasę dla różnych jej rodzajów, różnymi metodami (scenariusze), z wyróżnieniem (lub nie) charakterystycznych stref oraz zakładają różne horyzonty czasowe (Thran i in. 2005, Smeets i Faaij 2007, Steierer 2010). Często też łączą szacunki potencjałów biomasy leśnej z innymi jej rodzajami (Fischer i Schrattenholtzer 2001, Nikolaou i in. 2003, De Wit i Faaij 2010).

Biodegradowalne odpady komunalne stanowią trzeci pod względem wielkości potencjał biomasy. Zasoby te w skali Europy oszacowano na 77 Mt, co odpowiada 517 PJ. Porównując uzyskane wyniki z szacunkami EEA (2006) oraz Elbersena i in. (2012), można stwierdzić, że są one dwukrotnie mniejsze, pomimo że w ich kalkulacji zastosowano algorytm BEE i dane z Eurostatu (Vis i Dees 2011). Na ten fakt mogło wpłynąć włączenie, w tych opracowaniach, do ogólnych szacunków biomasy pochodzącej z pielęgnacji zieleni miejskiej. Należy podkreślić, że w porównaniu ze słomą i biomasą leśną potencjały komunalnych odpadów biodegradowalnych mają zupełnie odmienny rozkład przestrzenny. Fakt ten może być wyjątkowo sprzyjający dla ich przetwarzania ze względów logistycznych, co bezpośrednio przekładać się może na potencjał ekonomiczny tego surowca. O ile słoma i biomasa leśna muszą być w przemyślny sposób pozyskiwane, składowane i transportowane do centrów przetwarzania, to biodegradowalne odpady komunalne znajdują się w bezpośredniej bliskości odbiorców energii. Dodatkowo w większości krajów unijnych już istnieje wyspecjalizowana logistyka obrotu odpadami i odzysku z nich surowców lub energii. W Polsce na gospodarowanie odpadami biodegradowanymi największy wpływ będzie miała ustawa wdrażana od 2012 r., dotycząca utrzymania czystości i porządku w gminach (Dz. U. nr 152, poz. 897, 2011). Reguluje ona wykorzystywanie tych odpadów na podstawowym szczeblu administracyjnym oraz wymusi zapewne m.in. segregację odpadów. Według zapisu art. 3 tej ustawy, gminy zobowiązane są do ograniczania masy odpadów komunalnych ulegających biodegradacji oraz przekazywanych do składowania:

1) do dnia 16 lipca 2013 r. – do nie więcej niż 50% wagowo całkowitej masy odpadów komunalnych ulegających biodegradacji przekazywanych do składowania,

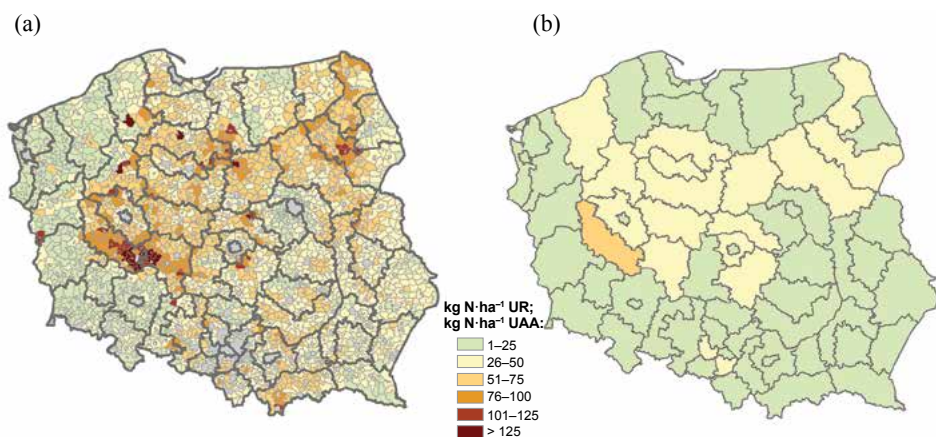
2) do dnia 16 lipca 2020 r. – do nie więcej niż 35% wagowo całkowitej masy odpadów komunalnych ulegających biodegradacji przekazywanych do składowania – w stosunku do masy tych odpadów wytworzonych w 1995 r.

Zapis ten może oznaczać konieczność biodegradacji tych odpadów poprzez ich konwersję do bioenergii.

Pozostałe szacowane zasoby biomasy pochodzące z odpadów mają w porównaniu ze słomą, biomasą leśną i odpadami komunalnymi niewspółmiernie niski potencjał. Jak wykazano, potencjały odpadów z pielęgnacji upraw wieloletnich oraz analizowanych odpadów z przemysłu spożywczego tworzą pewne regiony, przeważnie na południu Europy. Regiony bogate w odpady przemysłu drzewnego w dużej mierze są skorelowane z regionami o wysokim potencjale biomasy odpadowej z gospodarki leśnej. Nadwyżki siana podobnie jak nadwyżki nawozów naturalnych występują rzadko i w specyficznych regionach. Jak wykazano w pracy, zasoby siana nie stanowią istotnego potencjału energetycznego, ponadto ze względów technologicznych nie są faworyzowane przez energetykę. Dzieje się tak głównie z powodu możliwości samozapłonu wilgotnej biomasy na składowiskach. Inaczej może się przedstawiać sytuacja z wykorzystaniem nawozów naturalnych. Nadwyżki z produkcji zwierzęcej, jak już podkreślono, mają nieznaczny udział w szacowanym potencjale technicznym biomasy. Jednak ze względu na duży potencjał teoretyczny tego surowca (> 1,2 Gt) warto poświęcić mu pewną uwagę. W przeprowadzonych analizach założono wykorzystanie obornika głównie w rolnictwie, zgodnie z wymogami dyrektywy azotanowej (2010). Na podstawie przeglądu literatury można stwierdzić, że tak określone kryteria należą do najbardziej restrykcyjnych (Fischer i Schrattenholtzer 2001, Nikolaou i in. 2003, de Noord i in. 2004, Zheliezna i Eleftheriadis 2011). W porównaniu do aktualnych analiz przeprowadzonych dla regionów NUTS-2, w ramach projektu BiomassFuture (Elbersen i in. 2012), otrzymane wyniki korespondują ze względną regionalną ich zmiennością. Jednakże dla niektórych regionów potencjały wydają się mocno przeszacowane. W celu wyjaśnienia tych różnic przeprowadzono dodatkowe analizy dla rolniczej przestrzeni produkcyjnej Polski. Wykorzystano dane statystyczne GUS-u z 2002 r. i na podstawie informacji o produkcji zwierzęcej oraz powierzchni gruntów ornych i użytków zielonych oszacowano ilość nawozów naturalnych przypadającą na powierzchnie użytków rolnych w gminach. Analizy potwierdziły brak nadwyżek obornika na cele pozarolnicze, przy założeniu jego intensywnego wykorzystania w nawożeniu gruntów ornych i użytków zielonych (nawozowe wykorzystanie do 170 lub 100 kg N·ha⁻¹ UR). Pomimo istniejącej sytuacji biomasa uboczna z produkcji zwierzęcej jest rozpatrywana jako biopaliwo energetyczne, głównie ze względu na korzystne właściwości w produkcji biogazu. Biogazownie ulokowane, ze względów ekonomicznych i logistycznych, w pobliżu dużych gospodarstw ukierunkowanych na produkcję zwierzęcą efektywniej wykorzystują nadwyżki nawozów naturalnych. Ponadto założenia polityki energetycznej promują ten kierunek zagospodarowania biomasy rolniczej, czego rezultatem jest mechanizm dopłat i finansowania ze środków unijnych bu-

dowy infrastruktury energetyki lokalnej. Przykładem może być pomysł wdrożenia budowy biogazowni rolniczych, przy założeniu powstania do roku 2020 średnio jednej biogazowni w każdej gminie (M.P. 2009). Analizy prowadzone w skali regionów NUTS-3, ze względu na brak bardziej szczegółowych danych, nie umożliwiają modelowania uwzględniającego punktową lokalizację produkcji zwierzęcej. Z tego względu nie można wykluczyć punktowych skupisk potencjałów odpadów, które efektywnie można wykorzystać do produkcji bioenergii. Dotyczy to np. biogazowni przy fermach drobiu, dzięki którym można na miejscu zagospodarować wytworzone ciepło do ogrzewania budynków inwentarskich. W tym przypadku zagospodarowanie pozostałości pofermentacyjnych sprawia znacznie mniej problemów niż utylizacja odpadów świeżych, ponieważ odpady pofermentacyjne są lepiej przyswajane przez rośliny, emitują mniej amoniaku oraz nie są tak uciążliwe zapachowo (Igras 2012). Ponadto odpady te mają nadal dużą wartość nawozową (Jadczyński 2011).

O punktowym charakterze skupisk produkcji zwierzęcej świadczy porównanie wyników modelowania dla NUTS-3 i dla gmin w Polsce (rys. 48).



Rys. 48. Porównanie wyników modelowania potencjału technicznego nawozów naturalnych dla gmin w Polsce (a) i NUTS-3 (b)

Comparison of the results for technical potential modelling of natural fertilisers for local district in Poland (a) and NUTS-3 (b)

Energetyczne wykorzystanie nawozów naturalnych jest racjonalne również w strefach zagrożonych zanieczyszczeniem wód azotanami i fosforanami. Na mocy dyrektywy azotanowej w tych też strefach należy zapewnić nawozom naturalnym (szczególnie o konsystencji płynnej) odpowiednie warunki przechowywania (dyrektywa 91/676/EEC).

Z powyższych względów dostępność nawozów naturalnych w praktyce może być dużo lepsza niż to wynika z przeprowadzonych analiz. W regionach tych bioenergia uzyskiwana z tego rodzaju surowca może mieć znaczenie regionalne.

Szacunki potencjałów biomasy ubocznej i odpadowej prowadzone w niniejszej pracy dotyczą stanu na rok 2011. Konsekwentna polityka Unii Europejskiej w pro-

mowaniu „zielonej energii” z pewnością w kolejnych latach będzie sprzyjać również wykorzystaniu odpadów i nadwyżek biomasy (dyrektywa RED). Zakładane scenariusze z reguły przewidują coraz większy jej udział w ogólnej strukturze energetyki europejskiej (de Noord i in. 2004, Thran i in. 2005, Hoogwijk i in. 2005, EEA 2006, 2007a, 2007b i 2007c, Smeets i Faaij 2007, RENEW 2008, Panoutsou i in. 2009, Fischer i in. 2010a i 2010b, Elbersen i in. 2012). Oprócz uwarunkowań politycznych na możliwości pozyskiwania biomasy wpływ będą miały również zmiany klimatu. Przewiduje się zwiększanie produktywności biomasy na północy Europy oraz zmniejszenie na południu Europy z powodu występowania zjawisk ekstremalnych (Kirilenko i Sedjo 2007, Olesen i in. 2011, Trnka i in. 2011, Kozyra i in. 2012).

Nowelizacja polityki energetycznej

Dnia 7 września 2012 r. rozpoczęły się konsultacje między służbami KE odnośnie projektu dyrektywy zmieniającej dyrektywę RED oraz dyrektywę 2009/30/WE (dot. jakości paliw). Do głównych elementów zmian mających związek z wykorzystaniem odpadów jako biomasy energetycznej należą (BI (12)6230):

1. Uwzględnienie wskaźników iLUC przy obliczaniu redukcji emisji gazów cieplarnianych z paliw o 6% (dyrektywa 2009/30/WE art. 7a) oraz w sprawozdaniach państw członkowskich (dyrektywa 2009/28/WE art. 22).

Zaproponowano uwzględnienie wskaźników iLUC (pośredniej zmiany sposobu użytkowania gruntów) szacowanych dla grup upraw oraz wskaźnika iLUC równego zero dla surowców niezwiązanych z gruntami (odpady i pozostałości) przy obliczaniu emisji gazów cieplarnianych z biopaliw w całym cyklu życia (dyrektywa 2009/30/WE).

- Zboża i inne uprawy o wysokiej zawartości skrobi: 12 g CO₂ eq·MJ⁻¹;
- Uprawy o wysokiej zawartości cukru: 13 g CO₂ eq·MJ⁻¹;
- Uprawy o wysokiej zawartości olejów: 55 g CO₂ eq·MJ⁻¹;
- Pozostałości rolnicze, odpady z akwakultur, rybołówcze i leśne: 0 g CO₂ eq·MJ⁻¹.

Wprowadzenie tego zapisu spowoduje znaczący wzrost zainteresowania odpadami. Natomiast uprawy o wysokiej zawartości olejów ze względu na wysokie emisyjności mogą stracić na znaczeniu jako paliwa produkowane docelowo.

2. Ograniczenie stosowania biopaliw pochodzących z upraw żywieniowych (dyrektywa 2009/28/WE art. 3).

W programie Horyzont 2020 zaproponowano ograniczenie ostatecznej ilości biopaliw wykorzystywanych w transporcie i pochodzących z upraw żywieniowych do 5%. Ograniczenie to jest równoznaczne z tym, że 5% biopaliw trzeba wyprodukować z biomasy odpadowej.

Ponadto postuluje się: **Zwiększenie roli biopaliw wytworzonych z odpadów i pozostałości w celach energetycznych.** W tym celu nowelizacji ma ulec artykuł 3(4)d dyrektywy 2009/28/WE.

Projekt przewiduje przyznanie poczwórnej wartości (wyrażonej w wartości energetycznej) biopaliwom wyprodukowanym z odpadów i pozostałości. Wartość energetyczna stałych odpadów miejskich, pozostałości morskich, rolniczych, z rybołówstwa i leśnictwa oraz odnawialnych paliw płynnych i gazowych będzie uznana za czterokrotnie wyższą. Jest to kolejny wniosek promujący odpady i pozostałości. Dzięki temu istnieje szansa na pełne wykorzystanie wszystkich istniejących potencjałów biomasy, zwłaszcza w ujęciu regionalnym, gdzie istnieją skupiska różnych rodzajów biomasy odpadowej, które obecnie nie są znaczące w strukturze energetycznego wykorzystywania w Europie. Polityka ta może również przyczynić się do rozwoju technologii pozyskiwania i przetwarzania biomasy, które obecnie nie są wykorzystywane. Dotyczyć to może na przykład biomasy z konserwacji przyrody na obszarach chronionych, siana z trwałych użytków zielonych objętych pakietami rolno-środowiskowymi oraz biomasy możliwej do pozyskania z poboczy dróg lokalnych.

W złożonych propozycjach zmian postuluje się dodanie definicji odpadów i pozostałości. Brak tych definicji w dyrektywie RED wydaje się dużym zaniedbaniem prawodawcy. Definicje te mają przyjąć następujące brzmienie:

- odpady – dowolne substancje lub przedmioty wyrzucane przez właściciela, którego właściciel ma zamiar wyrzucić lub do których wyrzucenia jest zobowiązany, w tym materiały wycofane z rynku ze względów zdrowotnych lub bezpieczeństwa. Surowce wymagające celowej modyfikacji nie są objęte tą definicją;
- pozostałości – dowolne substancje niebędące końcowym produktem celowo wytworzonym w procesie produkcji, których wytworzenie nie jest głównym celem procesu produkcji oraz dla których wytworzenia proces produkcji nie został celowo zmieniony.

Rodzaje biomasy przyjęte do szacowania potencjałów w niniejszej pracy w pełni odpowiadają powyższym definicjom. W tabeli 25 zestawiono całkowite, prognozowane na 2020 r. zużycie energii w krajach Unii Europejskiej z szacowanymi potencjałami biomasy oraz ogólnymi celami określonymi w załączniku nr 1 dyrektywy RED definiującymi w każdym z państw udział energii ze źródeł odnawialnych, które muszą zostać spełnione do 2020 r. Z prezentowanego zestawienia wynika, że dla wielu krajów odpady i nadwyżki biomasy mogą mieć istotne znaczenie w ogólnej wielkości generowanej energii odnawialnej. Kraje, takie jak: Węgry, Bułgaria i Rumunia, mogą wykorzystywać głównie te źródła paliwa. Wykorzystanie biomasy staje się jeszcze korzystniejsze, jeżeli spełnione zostaną cele 20% efektywności w wykorzystaniu energii. Wśród krajów Europy Polska zajmuje przeciętne miejsce w możliwościach energetycznego wykorzystania biomasy odpadowej. Mogłaby mieć udział 48,2% w ogólnej strukturze OZE, ewentualnie 60,3% w przypadku spełnienia kryterium efektywności energetycznej. Wśród grupy państw o najniższych

zasobach biomasy ubocznej i odpadowej są Malta i Cypr. Jednak ze względu na udział tych państw w ogólnej gospodarce europejskiej nie stanowi to zagrożenia dla wspólnotowej polityki energetycznej. Państwa te mają też inne możliwości produkcji „zielonej energii” (głównie energia słoneczna).

Tabela 25

Całkowite, prognozowane zużycie energii w UE-27 oraz krajowe cele ogólne w zakresie udziału energii ze źródeł odnawialnych i możliwości ich spełnienia na bazie biomasy ubocznej i odpadowej

The total projected energy consumption in the EU-27 and the national overall targets for the share of energy from renewable sources and the possibility of meeting them on the basis of residue and waste biomass

Kraj; Country	E 2020 ¹	E 2020 – 20% ²	Biomasa; Biomass ³	% EB ⁴	% EB – 20% ⁵	RED ⁶	% RED ⁷	%RED – 20% ⁸
Austria; Austria	28118	22494	2543	9,0	11,3	34	26,6	33,2
Belgia; Belgium	38383	30707	878	2,3	2,9	13	17,6	22,0
Bułgaria; Bulgaria	10459	8368	2133	20,4	25,5	16	127,5	159,3
Cypr; Cyprus	2042	1633	24	1,2	1,5	13	9,0	11,2
Czechy; Czech Republic	27647	22118	2118	7,7	9,6	13	58,9	73,6
Dania; Denmark	15594	12475	1142	7,3	9,2	30	24,4	30,5
Estonia; Estonia	2987	2390	346	11,6	14,5	25	46,4	58,0
Finlandia; Finland	26585	21268	2627	9,9	12,4	38	26,0	32,5
Francja; France	157070	125656	17178	10,9	13,7	23	47,6	59,4
Grecja; Greece	20729	16583	2845	13,7	17,2	18	76,3	95,3
Hiszpania; Spain	92370	73896	8545	9,3	11,6	20	46,3	57,8
Holandia; The Netherlands	52581	42065	1135	2,2	2,7	14	15,4	19,3
Irlandia; Ireland	12026	9621	217	1,8	2,3	16	11,3	14,1
Litwa; Lithuania	5102	4082	583	11,4	14,3	23	49,7	62,1
Łotwa; Latvia	4430	3544	476	10,7	13,4	40	26,9	33,6
Luksemburg; Luxembourg	4943	3954	74	1,5	1,9	11	13,6	17,0
Malta; Malta	486	389	3	0,5	0,7	10	5,3	6,7
Niemcy; Germany	218709	174968	8075	3,7	4,6	18	20,5	25,6
Polska; Poland	71885	57508	5200	7,2	9,0	15	48,2	60,3
Portugalia; Portugal	18754	15003	1445	7,7	9,6	31	24,9	31,1
Rumunia; Romania	25584	20467	6815	26,6	33,3	24	111,0	138,7

cd. tab. 25

Kraj; Country	E 2020 ¹	E 2020 – 20% ²	Biomasa; Biomass ³	% EB ⁴	% EB – 20% ⁵	RED ⁶	% RED ⁷	%RED – 20% ⁸
Słowacja; Slovakia	11958	9566	1020	8,5	10,7	14	60,9	76,1
Słowenia; Slovenia	5793	4635	336	5,8	7,2	25	23,2	29,0
Szwecja; Sweden	34869	27895	3243	9,3	11,6	49	19,0	23,7
Węgry; Hungary	18309	14647	4198	22,9	28,7	13	176,4	220,5
Wielka Brytania; United Kingdom	146695	117356	5289	3,6	4,5	15	24,0	30,0
Włochy; Italia	125364	100291	9012	7,2	9,0	17	42,3	52,9

¹ prognozowane zużycie energii w 2020 r. (ktoe); projected energy consumption in 2020 (ktoe),

² prognozowane zużycie energii w 2020 r., z uwzględnieniem 20% zwiększenia efektywności jej wykorzystania (ktoe); projected energy consumption in 2020, taking into account 20% increase in the efficiency of its utilization (ktoe),

³ szacowane zasoby odpadów i nadwyżek biomasy (ktoe); estimated resources and surplus biomass waste (ktoe),

⁴ udział procentowy zasobów odpadów i nadwyżek biomasy w prognozowanym zużyciu energii w 2020 r.; percentage of waste resources and surplus biomass energy forecast in 2020,

⁵ udział procentowy zasobów odpadów i nadwyżek biomasy w prognozowanym zużyciu energii w 2020 r., z uwzględnieniem 20% zwiększenia efektywności jej wykorzystania; percentage of waste resources and surplus biomass energy forecast in 2020 (taking into account the 20% efficiency of its use),

⁶ docelowy udział energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto w 2020 r., według dyrektywy RED; target share of energy from renewable sources in gross final energy consumption, in 2020, according to RED Directive,

⁷ potencjalny udział biomasy z odpadów i nadwyżek w osiągnięciu celu wykorzystania energii odnawialnej w 2020 r. (wg dyrektywy RED); potential contribution of biomass from waste and surplus in the achievement of renewable energy in 2020 (according to RED Directive),

⁸ potencjalny udział biomasy z odpadów i nadwyżek w osiągnięciu celu wykorzystania energii odnawialnej w 2020 r. (wg dyrektywy RED), z uwzględnieniem 20% zwiększenia efektywności wykorzystania energii; potential contribution of biomass from waste and surplus in the achievement of renewable energy in 2020 (according to RED Directive), including the 20% increase in energy efficiency.

W tabeli 26 zestawiono prognozowane na 2020 r. zużycie energii przez transport w UE-27 oraz krajowe cele ogólne w zakresie udziału energii ze źródeł odnawialnych i możliwości ich spełnienia na bazie biomasy z odpadów. Dane zamieszczone w tej tabeli dają pogląd na temat proporcji szacowanych zasobów w stosunku do praktycznego zapotrzebowania na (min. 5%) energię wykorzystywaną w transporcie. Jak wynika z prezentowanych danych, jedynie na Malcie, Cyprze, w Luksemburgu i Irlandii zasoby biomasy odpadowej są mniejsze niż 5% zapotrzebowania na energię w transporcie. Pozostałe kraje mają wystarczające zasoby tego rodzaju surowców dla produkcji biopaliw i biopłynów.

Tabela 26

Prognozowane zużycie energii przez transport w UE-27 oraz krajowe cele ogólne w zakresie udziału energii ze źródeł odnawialnych i możliwości ich spełnienia na bazie biomasy ubocznej i odpadowej

The projected energy consumption by transport in the EU-27 and the national overall targets for the share of energy from renewable sources and the possibility of meeting them on the basis of residues and waste biomass

Kraj; Country	E 2020 ¹	E 2020 – 20% ²	Biomasa; Biomass ³	% EB ⁴	%EB – 20% ⁵
Austria; Austria	9879	7904	2543	25,7	32,2
Belgia; Belgium	11689	9351	878	7,5	9,4
Bułgaria; Bulgaria	3825	3060	2133	55,8	69,7
Cypr; Cyprus	1189	951	24	2,0	2,5
Czechy; Czech Republic	8128	6502	2118	26,1	32,6
Dania; Denmark	5554	4443	1142	20,6	25,7
Estonia; Estonia	927	741	346	37,3	46,7
Finlandia; Finland	5608	4486	2627	46,8	58,6
Francja; France	49497	39598	17178	34,7	43,4
Grecja; Greece	8626	6901	2845	33,0	41,2
Hiszpania; Spain	39577	31662	8545	21,6	27,0
Holandia; The Netherlands	16249	12999	1135	7,0	8,7
Irlandia; Ireland	4867	3894	217	4,5	5,6
Litwa; Lithuania	2016	1613	583	28,9	36,1
Łotwa; Latvia	1574	1259	476	30,2	37,8
Luksemburg; Luxembourg	3314	2651	74	2,2	2,8
Malta; Malta	304	243	3	1,0	1,2
Niemcy; Germany	59735	47788	8075	13,5	16,9
Polska; Poland	25648	20518	5200	20,3	25,3
Portugalia; Portugal	7483	5987	1445	19,3	24,1
Rumunia; Romania	6447	5157	6815	105,7	132,1
Słowacja; Slovakia	3411	2728	1020	29,9	37,4
Słowenia; Slovenia	2559	2047	336	13,1	16,4
Szwecja; Sweden	9880	7904	3243	32,8	41,0

cd. tab. 26

Kraj; Country	E 2020 ¹	E 2020 – 20% ²	Biomasa; Biomass ³	% EB ⁴	%EB – 20% ⁵
Węgry; Hungary	5415	4332	4198	77,5	96,9
Wielka Brytania; United Kingdom	52841	42272	5289	10,0	12,5
Włochy; Italia	41337	33070	9012	21,8	27,3

¹ prognozowane zużycie energii przez transport w 2020 r. (ktoe); projected energy consumption by transportation in 2020 (ktoe),

² prognozowane zużycie energii przez transport w 2020 r., z uwzględnieniem 20% zwiększenia efektywności jej wykorzystania (ktoe); projected energy consumption in transport in 2020, taking into account the 20% increase in the efficiency of its utilization (ktoe),

³ szacowane zasoby odpadów i nadwyżek biomasy (ktoe); estimated resources and surplus biomass waste (ktoe),

⁴ udział procentowy zasobów odpadów i nadwyżek biomasy w prognozowanym zużyciu energii przez transport w 2020 r.; percentage of waste resources and surpluses projected biomass energy consumption in transport by 2020,

⁵ udział procentowy zasobów odpadów i nadwyżek biomasy w prognozowanym zużyciu energii przez transport w 2020 r., z uwzględnieniem 20% zwiększenia efektywności jej wykorzystania; percentage of waste resources and surplus biomass energy projected by transport in 2020 (taking into account the 20% increase in the efficiency of its use).

8. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

1. W pracy przedstawiono analizy potencjałów biomasy ubocznej i odpadowej w krajach Unii Europejskiej i Szwajcarii oraz możliwości ich wykorzystania na cele energetyczne. Szacunki wykonano dla jednostek przestrzennych NUTS-3. Jest to pierwsza praca, w której dokonano kompleksowego przeglądu możliwości pozyskiwania różnych asortymentów biomasy ubocznej i odpadowej w tej skali przestrzennej. Jednostki NUTS-3 ze względu na reprezentowanie zbliżonych potencjałów ekonomicznych są odpowiednimi regionami dla tworzenia scenariuszy rozwoju energetyki rozproszonej. Głównymi założeniami modelowania potencjałów dla tych regionów było wykorzystanie jedynie biomasy ubocznej i odpadowej niestanowiącej konkurencji z produkcją żywności oraz respektowanie zasad zrównoważonej produkcji i ochrony środowiska. Podejście to odpowiada aktualnym trendom w wykorzystywaniu biomasy, jak na przykład wdrażanie produkcji paliw drugiej generacji i rozwój metod optymalizacji produkcji bioenergii.
2. Podsumowując wyniki modelowania potencjału technicznego biomasy ubocznej i odpadowej, w przyjętej skali można stwierdzić, że do najbardziej zasobnych regionów należą: region północnych Włoch (dolina Padu), regiony rolnicze we Francji: Akwitania, Poitou-Charentes, Region Centralny, Ile-de-France oraz Alzacja, region wschodniej Holandii, północnej Belgii wraz z przylegającymi landami niemieckimi, południowe i wschodnie Węgry.

3. Największy udział w strukturze biomasy zarówno ze względu na ilość (36%), jak też na wartość energetyczną (53%) ma słoma. Drugim pod względem wielkości potencjałem są odpady z gospodarki leśnej (27% w strukturze biomasy i 21% w strukturze energii). Trzecią pozycję stanowią biodegradowalne odpady komunalne (20% w strukturze biomasy i 14% w strukturze energii). Pozostałe rodzaje biomasy nie mają większego znaczenia w skali energetyki europejskiej, jednak, jak to wykazano na mapach poszczególnych rodzajów zasobów, mogą mieć istotne znaczenie lokalne w regionach.
4. Geograficzny charakter zbudowanej bazy danych pozwolił na szerszą analizę struktury zasobów oraz wykazanie ich przestrzennych podobieństw lub różnic. W rezultacie otrzymano sześć skupień reprezentujących bardziej homogeniczny obraz regionalnych potencjałów. W wyznaczonych regionach analizowano ryzyko przeszacowania maksymalnych wartości potencjałów oraz ogólnej niepewności ich szacunków. Szacunki ryzyka i niepewności wykorzystano do optymalizacji lokalizacji zakładów energetycznych wykorzystujących biomasę. Analiza ta jest podsumowaniem i jednocześnie praktycznym rezultatem pracy. Wynik ten łączy ze sobą wszystkie przeprowadzone wcześniej analizy w syntetyczny obraz rzeczywistych możliwości wykorzystania biomasy ubocznej i odpadowej dla generowania bioenergii. Do regionów, w których istnieją optymalne warunki lokowania dużych zakładów wykorzystujących ten rodzaj zasobów w celach energetycznych należą: północne Włochy (dolina Padu), wschodnia Holandia, północna Belgia wraz z przylegającymi landami niemieckimi, Francja: środkowa Akwitania, Ile-de-France oraz Alzacja, południowe i wschodnie Węgry, bezpośrednio sąsiedztwo wielkich aglomeracji.
5. Dokonane rozpoznanie zasobów biomasy, a zwłaszcza jej rodzajów, które mogą być traktowane jako odpad lub nadwyżka, daje obraz znaczenia tego paliwa w porównaniu z innymi zasobami energii odnawialnej. Informacja ta jest istotna w przypadku regulacji politycznych, które stwarzają zapotrzebowanie w Europie na alternatywne sposoby pozyskiwania energii. Wykonane analizy bezpośrednio można odnieść do planowanej nowelizacji dyrektywy RED proponowanej w programie Horyzont. Jak wynika z porównania prognozowanego zużycia energii w transporcie z postulowanymi zmianami mającymi na celu uzyskanie 5% paliw użytych w transporcie z odnawialnych źródeł energii pochodzących z biomasy ubocznej i odpadów, cel ten może zostać osiągnięty w większości państw UE.
6. Przeprowadzone analizy będą praktycznie wykorzystane na potrzeby realizacji projektu BioBoost, mającego na celu opracowanie nowych technologii produkcji biopaliw i biopłynów poprzez wdrożenie innowacyjnych metod przetwarzania odpadów biodegradowalnych. Wynikiem modelowania potencjałów biomasy jest rozwijanie systemu informacji geograficznej oraz tworzenie cyfrowego atlasu dostępności biomasy. Atlas ten według założeń projektu ma stanowić powszechnie dostępny geoportal (BioBoost 2011). Pozwoli to na pełne upowszechnienie informacji o potencjale technicznym biomasy oraz dostarczy narzędzi i danych do bardziej szczegółowego modelowania.

7. W praktyce, przy planach lokalizacji zakładów energetycznych konieczne jest rozpoznanie lokalnych możliwości budowy infrastruktury energetyki rozproszonej, sytuowania pośrednich punktów składowania biomasy lub jej przetwarzania. Tak skonstruowana baza danych o zasobach OZE będzie użyteczną platformą informacyjną dla dalszego modelowania pełnego cyklu produkcji bioenergii. Dotyczy to zwłaszcza logistyki transportu oraz oceny możliwości redukcji emisji gazów cieplarnianych przy zastąpieniu energii konwencjonalnej energią odnawialną.
8. W pracy modelowano potencjały techniczne biomasy ubocznej i odpadowej, zakładając najbardziej prawdopodobne scenariusze możliwości ich pozyskania. Jednak wraz ze zmianami ekonomicznymi, rozwojem technologii i zmianami trendów w polityce energetycznej i rolnej może dojść do sytuacji, w której pewne poczynione założenia nie będą już aktualne. Wówczas system, zbudowany na potrzeby tych analiz, będzie przygotowany na przeprowadzenie obliczeń w celu aktualizacji danych w oparciu o nowe scenariusze i wymagania.

9. LITERATURA

1. Action Aid: Biofuelling the global food crisis: why the EU must act at the G20. 2012. Protokół dostępu: <http://www.actionaid.org>. [13.09.2013]
2. AEBIOM: European bioenergy Outlook 2012. Statistical report, European Biomass Association, 2012, ss. 123. Protokół dostępu: <http://www.aebiom.org> [10.02.2013]
3. Agro Technology Atlas: Baltic Sea Programme 2007–2013. BalticCOMPASS Project, 2013. Protokół dostępu: <http://agro-technology-atlas.eu> [10.02.2013]
4. Ahtikoski A., Heikkilä J., Alenius V., Siren M.: Economic viability of utilizing biomass energy from young stands – The case of Finland. *Biomass Bioenerg.*, 2008, **32(11)**: 988-996.
5. Annamalai K., Ibrahim M.Y., Sweeten J.M.: Experimental studies on combustion of cattle manure in a fluidized bed combustor. *J. Eng. Res. Technol.*, 1987, p. 49-57.
6. Asikainen A., Liiri H., Peltola S., Karjalainen T., Laitila J.: Forest energy potential in Europe (EU-27). Working papers of the Finnish Forest Research Institute 69., 2008. Protokół dostępu: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2008/mwp069.htm> [01.04.2013]
7. BEE – Biomass Energy Europe (7FP), Grant Agreement N° 213417. Protokół dostępu: <http://www.eu-bee.com> [01.04.2013]
8. Beccali M., Columba P., D'Alberti V., Franzitta V.: Assessment of bioenergy potential in Sicily: a GIS-based support methodology. *Biomass Bioenerg.*, 2009, **33(1)**: 79-87.
9. Bernetti I., Fagarazzi C., Fratini R.: A methodology to analyse the potential development of biomass- energy sector: an application in Tuscany. *Forest Policy Econ.*, 2004, **6**: 415-432.
10. BIOBIB, a data base for biofuels. Protokół dostępu: <http://www.vt.tuwien.ac.at/biobib> [01.04.2013]
11. BioBoost: Biomass based energy intermediates boosting biofuel production, 7FP, Grant Agreement N° 282873. Protokół dostępu: <http://bioboost.eu> [01.04.2013]

12. BiomassFuture – projekt finansowany przez Komisję Europejską w ramach Europejskiego Projektu Inteligentnej Energii (the Intelligent Energy – Europe Project). Protokół dostępu: <http://www.biomassfutures.eu> [01.04.2013]
13. Bioteau T., Burton C., Guiziou Martinez J.: Assessment of manure management practices across the EU-27. Université Européenne de Bretagne, France, 2010. Protokół dostępu: http://www.ramiran.net/ramiran2010/docs/Ramiran2010_0101_final.pdf [24.01.2013]
14. BI(12)6230: Pośrednie zmiany użytkowania gruntów związane z biopaliwami. Nota informacyjna UE z dnia 13 września 2012, Bruksela.
15. Börjesson P.: Energy analysis of biomass production and transportation. *Biomass Bioenerg.*, 1996, **11(4)**: 305-318.
16. Börjesson P., Gustavsson L.: Regional production and utilization of biomass in Sweden. *Energy*, 1996, **21**: 747-764.
17. Borzęcka-Walker M., Faber A., Pudełko R., Kozyra J., Syp A., Borek R.: Life cycle assessment (LCA) of crops for energy production. *J. Food Agric. Environ.*, 2011, **9(3&4)**: 698-700.
18. Borzęcka-Walker M., Faber A., Kozyra J., Pudełko R., Mizak K., Syp A.: Modelling the impact of climate change on miscanthus and willow for their potential productivity in Poland. *J. Food Agric. Environ.*, 2012a, **10(3&4)**: 1437-1440.
19. Borzęcka-Walker M., Faber A., Syp A., Pudełko R., Mizak K.: Simulation of greenhouse gases from miscanthus cultivation in Poland using the DNDC model. *J. Food Agric. Environ.*, 2012b, **10(2)**: 1187-1190.
20. Bossard M., Ferenc J., Otahel J.: CORINE land cover technical guide – Addendum 2000. EEA, Technical report No. 40, Copenhagen, 2000, pp. 105.
21. Böttcher H., Dees M., Fritz S.M., Goltsev V., Gunia K., Huck I., Lindner M., Paappanen T., Pekkanen J.M., Ramos C.I.S., Schneider U.A., Thebaud A., Toren C.J.M., Van Brusselen J., Vesterinen P., Vis M.V., Woynowski A.: Illustration case for Europe, BEE, FP No. 213417, Report, D 6.1. 2010. Protokół dostępu: <http://www.eu-bee.info> [24.01.2013]
22. Bravo J.D., Casals X.G., Pascua I.P.: GIS approach to the definition of capacity and generation ceilings of renewable energy technologies. *Energ. Policy*, 2007, **35(10)**: 4879-4892.
23. Burton C.H., Turner C.: Manure management, Treatment strategies for sustainable agriculture. Editions Quae, Silsoe Research Institute, UK, 2003, pp. 451.
24. Caliński R.B., Harabasz J.: A dendrite method for cluster analysis. *Communications in Statistics*, 1974, **3**: 1-27.
25. Carmone F.J., Kara A., Maxwell S.: HINoV: A new model to improve market segment definition by identifying noisy variables. *J. Marketing Res.*, 1999, **36(4)**: 501-509.
26. Castillo A., Panoutsou C., Bauén A.: Report on biomass market segments within the transport, heat and electricity – CHP sectors for EU-27 and Member States. 2010. Protokół dostępu: http://www.biomassfutures.eu/work_packages/WP2 [08.01.2013]
27. Castrup S.: Comparison of methods for establishing confidence limits and expanded uncertainties. Measurement Science Conference. Pasadena, CA, USA, 2010, pp. 23.
28. Chakir R.: Spatial downscaling of agricultural land-use data: an econometric approach using cross entropy. *Land Econ.*, 2009, **85**: 238-251.
29. CEUBIOM – Classification of European Biomass Potential for Bioenergy Using Terrestrial and Earth Observations, (7FP), Grant Agreement N° 213634. Protokół dostępu: <http://www.ceubiom.org> [01.04.2013]

30. COM, 2010/C 160/01: Communication on voluntary schemes and default values in the EU biofuels and bioliquids sustainability scheme. Komunikat o dobrowolnych programach i wartościach standardowych dla programów zrównoważonej produkcji biopaliw i biopłynów w UE. Vol. 53, 19 June 2010, p. 1-17.
31. COM, 2010/C 160/02: Communication on the practical implementation of the EU biofuels and bioliquids sustainability scheme and on counting rules for biofuels. Komunikat o praktycznym wprowadzeniu w życie programów zrównoważenia dla biopaliw i biopłynów produkowanych w UE oraz zasad obliczeń dla biopaliw. Vol. 53, 19 June 2010, p. 8-16.
32. D'Agostino R.B., Stephens M.A.: Goodness of fit techniques. Marcel Dekker, New York, 1986, pp. 521.
33. Davies D.L., Bouldin D.W.: A cluster separation measure. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1979, PAMI-1 (2): 224227.
34. De Noord M., Beurskens L.W.M., de Vries H.J.: Potentials and costs for renewable electricity generation. A data overview. Report, project ECN No. 7.7476. ECN-C-03-006, 2004, pp. 105.
35. De Vries H.J., Bollen J., Bouwman L., den Elzen M., Janssen M., Kreileman E.: Greenhouse-gas emissions in a equity-, environment- and service-oriented world: an IMAGE-based scenario for the next century. Technol. Forecast. Soc., 2000, 63(2-3): 137-174.
36. De Wit M., Faaij A.: European biomass resource potential and costs. Biomass Bioenerg., 2010, 34(2): 188-202.
37. Decyzja Komisji (2009/548/WE) z dnia 30 czerwca 2009 r. ustanawiająca schemat krajowych planów działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych na mocy dyrektywy 2009/28/WE Parlamentu Europejskiego i Rady (notyfikowana jako dokument nr C(2009) 5174).
38. Di Blasi C., Tanzil V., Lanzetta M.: A study on the production of agricultural residues in Italy. Biomass Bioenerg., 1997, 1(5): 321-331.
39. Dornburg V., Faaij A.: Efficiency and economy of woodfired biomass energy systems in relation to scale regarding heat and power generation using combustion and gasification technologies. Biomass Bioenerg., 2001, 21(2): 91-108.
40. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (2009/30/WE) z dnia 23 kwietnia 2009 r. zmieniająca dyrektywę 98/70/WE odnoszącą się do specyfikacji benzyny i olejów napędowych oraz wprowadzającą mechanizm monitorowania i ograniczania emisji gazów cieplarnianych oraz zmieniającą dyrektywę Rady 1999/32/WE odnoszącą się do specyfikacji paliw wykorzystywanych przez statki żeglugi śródlądowej oraz uchylającą dyrektywę 93/12/EWG (tekst mający znaczenie dla EOG).
41. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (2003/30/WE) z dnia 8 maja 2003 roku w sprawie wspierania użycia w transporcie biopaliw lub innych paliw odnawialnych.
42. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (2003/54/WE) z dnia 26 czerwca 2003 r. dotycząca wspólnych zasad rynku wewnętrznego energii elektrycznej i uchylająca dyrektywę 96/92/WE.
43. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (2008/32/WE) ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej, w odniesieniu do uprawnień wykonawczych przyznanych Komisji (tzw. dyrektywa wodna).
44. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (2008/98/WE) w sprawie odpadów (tekst mający znaczenie dla EOG).
45. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (2009/28/WE) (RED – Renewable Energy Directive) w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE.

46. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (91/676/EEC), Council directive of 12 December 1991, concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources (tzw. dyrektywa azotanowa).
47. Dz. U. nr 169. poz. 1199, 2006: Ustawa z dnia 25 sierpnia 2006 r. o biokomponentach i biopaliwach ciekłych.
48. Dz.U. nr 147, poz. 1033, 2007: Ustawa z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu.
49. Dz.U. nr 152, poz. 897, 2011: Ustawa z dnia 1 lipca 2011 r. o zmianie ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach oraz niektórych innych ustaw.
50. Dz.U. poz. 1059, 2012: Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 15 czerwca 2012 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy – Prawo energetyczne.
51. Dz.U.05.203.1684 z dnia 17 października 2005 r. Protokół z Kioto do ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu, sporządzony w Kioto dnia 11 grudnia 1997 r.
52. EC, 1997. Biała Księga Komisji Europejskiej: Energia dla przyszłości – odnawialne źródła energii (Energy for the future: renewable sources of energy, White Paper for a Community Strategy and Action Plan). COM(97)599, Bruksela.
53. EC, 2010. Sprawozdanie Komisji Dla Rady i Parlamentu Europejskiego dotyczące wymagań w odniesieniu do zrównoważonego zastosowania biomasy stałej i gazowej do celów produkcji energii elektrycznej, ciepła i chłodzenia, COM(2010)11, Bruksela.
54. Edwards R.A.H., Šuri M., Huld M.A., Dallemand J.F.: GIS-based assessment of cereal straw energy resource in the European Union. Proceedings of the 14th European Biomass Conference & Exhibition, Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 17–21 October 2005, Paris.
55. EEA, 2002: Biodegradable municipal waste management in Europe. Topic report, No. 15/2001.
56. EEA, 2006: How much bio-energy can Europe produce without harming the environment? EEA Report, No. 7/2006.
57. EEA, 2007a: Environmentally compatible bio-energy potential from European forests.
58. EEA, 2007b: Estimating the environmentally compatible bioenergy potential from agriculture. EEA Technical report, No. 12/2007.
59. EEA, 2007c: Environmental outlooks: municipal waste. ETC/RWM working paper 2007/1.
60. Elbersen B., Startisky I., Hengeveld G., Schelhaas M.J., Naeff H., Bottcher H.: Atlas of EU biomass potentials, Spatially detailed and quantified overview of EU biomass potential taking into account the main criteria determining biomass availability from different sources. Report, Biomass Futures, Deliverable 3.3., 2012, pp. 138.
61. Ericsson K., Nilsson L.: Assessment of the potential biomass supply in Europe using a resource-focused approach. Biomass Bioenerg., 2006, 30(1): 1-15.
62. Esteban L.S., Ciria P., Maletta E., Garcia R., Carrasco J.: Biomass resources and costs in Spain and Southern EU Countries, Clean Hydrogen-rich Synthesis Gas. Report No. 1, Deliverable number 36, 2010, pp. 82 (extended version).
63. ESRI – Environmental Systems Research Institute, Redland, Kalifornia, USA. Protokół dostępu: <http://www.esri.com> [01.04.2013]
64. Eurostat – Europejski Urząd Statystyczny (Statistical Office of the European Union), Luksemburg. Protokół dostępu: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu> [01.04.2013]
65. Faber A., Pudełko R.: Potencjał biomasy rolnej dla celów energetycznych w Polsce. Nowa-Energia, 2010, 5(17): 47-48.
66. Faber A., Pudełko R., Borek R., Borzęcka-Walker M., Syp A., Krasuska E., Mathiou P.: Economic potential of perennial energy crops in Poland. J. Food Agric. Environ., 2012, 10(3&4): 1178-1182.

67. FAO, 2013: FAO Stat Database. United Nations Food Agricultural Organisation. Protokół dostępu: <http://faostat3.fao.org/home/index.html> [08.03.2013]
68. Fiorese G., Guariso G.: A GIS-based approach to evaluate biomass potential from energy crops at regional scale. *Environ. Modell. Softw.*, 2010, **25(6)**: 702-711.
69. Fischer G., Prieler S., van Velthuisen H.: Biomass potentials of miscanthus, willow, and poplar: results and policy implications for Eastern Europe, Northern, and Central Asia. *Biomass Bioenerg.*, 2005, **28(2)**: 119-132.
70. Fischer G., Prieler S., van Velthuisen H., Lensink S.M., Londo M., de Wit M.: Biofuel production potentials in Europe: Sustainable use of cultivated land and pastures, I. Land productivity potentials. *Biomass Bioenerg.*, 2010a, **34(2)**: 159-172.
71. Fischer G., Prieler S., van Velthuisen H., Berndes G., Faaij A., Londo M., de Wit M.: Biofuel production potentials in Europe: Sustainable use of cultivated land and pastures, II. Land use scenarios. *Biomass Bioenerg.*, 2010b, **34(2)**: 173-187.
72. Fischer G., Schrattenholzer L.: Global bioenergy potentials through 2050. *Biomass Bioenerg.*, 2001, **20**: 151-159.
73. Fischer G., van Velthuisen H., Shah M., Nachtergaele F.: Global agro-ecological assessment for agriculture in the 21 Century. IIASA Research Report, IIASA, Laxenburg, 2002, pp. 119.
74. Fishman G.S.: Monte Carlo: concepts, algorithms, and applications. Springer-Verlag, New York 1996, pp. 698.
75. Frey H.C., Burmaster D.E.: Methods for characterization of variability and uncertainty: comparison of bootstrap simulation and likelihood-based approaches'. *Risk Anal.*, 1999, **19(1)**: 109-129.
76. Frombo F., Minciardi R., Robba M., Rosso F., Sacile R.: Planning woody biomass logistics for energy production: A strategic decision model. *Biomass Bioenerg.*, 2009, **33(3)**: 372-383.
77. FSO, 2012: Federal Statistical Office, 07 Agriculture and Forest, 1112-1200, Neuchâtel. Protokół dostępu: <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/en/index/themen/07.html> [08.03.2013]
78. Fujino J., Yamaji K., Yamamoto H.: Biomass-balance table for evaluating bioenergy resources. *Appl. Energ.*, 1999, **63(2)**: 75-89.
79. Gobin A., Campling P., Janssen L., Desmet N., van Delden H., Hurkens J., Lavelle P., Berman S.: Soil organic matter management across the EU – best practices, constraints and trade-offs. Final Report for the European Commission's DG Environment, September 2011, pp. 140.
80. Gordon A.: Classification (2nd ed.). London: Chapman and Hall/CRC Press, 1999, pp. 272.
81. GUS, 2013: Główny Urząd Statystyczny. Protokół dostępu: <http://www.stat.gov.pl> [02.09.2013]
82. Guyon I., Elisseeff A.: An introduction to variable and feature selection. *J. Mach. Learn. Res.*, 2003, **3**: 1157-1182.
83. Hakilla P.: Developing technology for large-scale production of forest chips. Final report, Helsinki, 2004, pp. 99.
84. Hall D.O., Rosillo-Calle F., Williams R.J., Woods J.: Biomass for energy: supply prospects. In: Renewable energy: sources for fuels and electricity, T.B. Johansson, H. Kelly, A.K.N. Reddy and R.H. Williams (eds). Washington, DC: Island Press, 1993, pp. 593-652.
85. Hamelinck C., Faaij A., den Uil H., Boerrigter H.: Production of FT transportation fuels from biomass; technical options, process analysis and optimisation and development potential. *Energy*, 2004, **29(11)**: 1743-1771.

86. Hartigan J.A., Wong M.A.: A k-means clustering algorithm. *Appl. Stat.*, 1979, **28.1**: 100-108.
87. Hartigan J.A.: Clustering algorithms. (Probability & Mathematical Statistics). John Wiley & Sons Inc., 1975, pp. 124.
88. Hertz D.B., Thomas H.: Risk analysis and its applications: John Wiley & Sons, New York, NY, 1983, pp. 340.
89. Hoogwijk M., Faaij A., de Vries H.J.M., Turkenburg W.C.: Exploration of regional and global cost-supply curves of biomass under four land-use scenarios. *Global Environ. Chang.*, submitted for publication, 2004, p. 26-43.
90. Hoogwijk M., Faaij A., Eickhout B., de Vries B., Turkenburg W.: Potential of biomass energy out to 2100, for IPCC SRES land-use scenarios. *Biomass Bioenerg.*, 2005, **29**: 225-257. Protokół dostępu: <http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/nitrates/pl.pdf>. [26.08.2013]
91. Igras J.: Nawozy naturalne. Wykorzystanie do produkcji energii odnawialnej produktów ubocznych rolnictwa i przemysłu spożywczego. W: Odnawialne źródła energii. Rolnicze surowce energetyczne, B. Kołodziej i M. Matyka (red.). PWRiL, Poznań, 2012, s. 467-471.
92. IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (Międzynarodowy Panel na temat Zmian Klimatu): Nakicenovic N., Swart R. (eds): Special Report Emissions Scenarios. A Special Report of IPCC Working Group III Cambridge University Press, UK, 2000, pp. 570.
93. Isaaks E.H., Srivastava R.M.: An introduction to applied geostatistics. Oxford Univ. Press, 1989, pp. 592.
94. Jadczyzyn J., Faber A., Zaliwski A.: Obszary potencjalnie przydatne do uprawy wierzby i ślazuwca w Polsce. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2008, **11**: 55-66.
95. Jadczyzyn T.: Zagospodarowanie pozostałości po produkcji biogazu w myśl przepisów prawa polskiego. W: Energetyka alternatywna, J. Popczyk (red.). Wyd. Dolnośląskiej Wyższej Szkoły Przedsiębiorczości i Techniki, Polkowice, 2011, s. 53-58.
96. Jain A.K., Murty M.N., Flynn P.J.: Data clustering: a review. *ACM Computing Surveys*, 1999, **31(3)**: 264-323.
97. Janowicz L.: Biomasa w Polsce. *Energetyka i Ekologia*, 2006, s. 601-604.
98. Kaufman L., Rousseeuw P.J.: Finding groups in data: an introduction to cluster analysis. Wiley, New York, 1990, pp. 368.
99. Kirilenko A.P., Sedjo R.A.: Climate change impacts on forestry. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2007, **104(50)**: 19697-19702.
100. Kowalczyk-Jusko A.: Zasady sporządzania bilansu odnawialnych źródeł energii i oceny zasobów biomasy. Nawozy naturalne. W: Odnawialne źródła energii. Rolnicze surowce energetyczne, B. Kołodziej i M. Matyka (red.). PWRiL Warszawa, 2012, s. 436-456.
101. Kozyra J., Nieróbca A., Mizak K., Pudełko R., Świtaj Ł., Kozak M.: Diagnoza i prognoza warunków produkcji rolniczej w Polsce w wyniku oddziaływania ekstremalnych zjawisk meteorologicznych i hydrologicznych. W: Wpływ zmian klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo. Zmiany, skutki i sposoby ich ograniczenia, wnioski dla nauki, praktyki inżynierskiej i planowania gospodarczego. T. 3. Klęski żywiołowe a bezpieczeństwo wewnętrzne kraju, H. Lorenc (red.). IMGW-PIB, Warszawa 2012, s. 265-277.
102. Krzanowski W.J., Lai Y.T.: A criterion for determining the number of groups in a data set using sum-of-squares clustering. *Biometrics*, 1985, **44**: 23-34.
103. Kubiak M., Laurow Z.: Surowiec drzewny. Fundacja rozwój SGGW, Warszawa 1994, ss. 493.

104. Kuś J.: Słoma. Wykorzystanie do produkcji energii odnawialnej produktów ubocznych rolnictwa i przemysłu spożywczego. W: Odnawialne źródła energii. Rolnicze surowce energetyczne, B. Kołodziej i M. Matyka (red.). PWRiL, Poznań 2012, s. 457-496.
105. Kuś J., Faber A.: Alternatywne kierunki produkcji rolniczej. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2007, **7**: 139-150.
106. Kuś J., Mądej A., Kopieński J.: Bilans słomy w ujęciu regionalnym. *Raporty IUNG-PIB*, 2006, **3**: 211-226.
107. Kwiatkowski M.: Planujemy bazę paszową. KPODR w Minikowie. 2010, Protokół dostępu: <http://www.kpodr.pl/index.php/produkcja-zwierzca/44-bydo/362-planujemy-baz-paszow> [01.04.2013]
108. Lashof D.A., Tirpak D.A.: Policy options for stabilizing global climate. United States Environmental Protection Agency, Hemisphere, New York, USA, 1990, pp. 825.
109. Lyngsø F.H., Flotats X., Blasi A.B., Palatsi J., Magri A., Schelde K.M.: Inventory of manure processing activities in Europe. Technical Report No. I concerning "Manure Processing Activities in Europe" to the European Commission, Directorate-General Environment, 2011, pp. 137.
110. M.P. nr 21, poz. 11, 2010: Ministerstwo Gospodarki z dnia 10 listopada 2009, Polityka energetyczna Polski do 2030 roku.
111. Mahro B., Timm M.: Potential of biowaste from the food industry as a biomass resource. *Eng. Life Sci.*, 2007, **7(5)**: 457-468.
112. Mantau U., Saal U., Prins K., Steierer F., Lindner M., Verkerk H., Eggers J., Leek N., Oldenburger J., Asikainen A., Anttila P.: EUwood – Real potential for changes in growth and use of EUforests. Final report, Hamburg Germany, June 2010, pp. 126.
113. Mantau U., Steierer F., Hetsch S., Prins K.: Wood resources availability and demands II – future wood flows in the forest and energy sector. European countries in 2010 and 2020, Report UNECE-FAO, 2008, pp. 22.
114. Menzi H.: Manure management, In Europe: results of a recent survey. Proceedings of the 10th International Conference of the RAMIRAN Network, Strbskie Pleso, High Tatras, Slovak Republic, May 14–18, 2002, p. 93-102.
115. Menzi H., Pain B., Smith K.: Solid manure in Europe. Results of a survey by the Working group on solid manure of RAMIRAN. Proceedings of the 8th International Conference on the FAO ESCORENA Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture (Formerly Animal Waste Management). Rennes, France, May 26–29, 1998, p. 383-399.
116. MG, 2010: Ministerstwo Gospodarki z dnia 7 grudnia 2010 r., Krajowy plan działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych.
117. Milligan G.W.: Clustering validation: results and implications for applied analyses. In: Clustering and Classification, P. Arabie, L.J. Hubert and G. de Soete (eds). Word Sci., Singapore, 1996, p. 341-376.
118. Milligan G.W., Cooper M.C.: An examination of procedures for determining the number of cluster in data set. *Psychometrica*, 1985, **2**: 159-179.
119. Morgan M.G., Henrion M.: Uncertainty: a guide to dealing with uncertainty in quantitative risk and policy analysis. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1990, pp. 346.
120. Nakićenović N., Swart R.: Special report on emission scenarios. a special report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge: Cambridge University Press, 2000, pp. 570.

121. Nikolaou A., Remrova M., Jeliazkov I.: Biomass availability in Europe. CERT, Greece, 2003.
122. NUTS, 2003: Regulation (EC) No. 1059/2003 of the European Parliament and of the Council, of 26 May 2003 on the establishment of a common classification of territorial units for statistics (NUTS) (OJ L 154, 21.6.2003, p. 1).
123. NUTS, 2011: Regions in the European Union. Nomenclature of territorial units for statistics NUTS 2010/EU-27, Luxembourg: Publications Office of the European Union.
124. OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development. Protokół dostępu: <http://www.oecd.org> [01.04.2013]
125. OJ L151, 2010: Commission decision on guidelines for the calculation of land carbon stocks for the purpose of Annex V of Directive 2009/28/EC. Decyzja komisji o sposobach szacowania zasobności gleby w węgiel na potrzeby Aneksu V Dyrektywy 2009/28/EC. Vol. 53, 17 June 2010.
126. Olesen J.E., Trnka M., Kersebaum K.C., Skjelvåg A.O., Seguin B., Peltonen-Sainio P., Rossi F., Kozyra J., Micale F.: Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. *Eur. J. Agron.*, 2011, **34**: 96-112.
127. OSM – Open Street Map. Protokół dostępu: <http://www.openstreetmap.org> [01.04.2013]
128. Panoutsou C., Eleftheriadis J., Nikolaou A.: Biomass supply in EU-27 from 2010 to 2030. *Energ. Policy*, 2009, **37(12)**: 5675-5686.
129. Parikka M.: Biosims – a method for the calculation of woody biomass for fuel in Sweden. *Ecol. Eng.*, 2000, **16**: S73-S82.
130. Phyllis 2: database for biomass and waste. Energy Research Centre of the Netherlands (ECN). Protokół dostępu: <http://www.ecn.nl/phyllis2> [01.04.2013]
131. Pudełko R., Borzęcka-Walker M., Faber A., Borek R., Jarosz Z., Syp A.: The technical potential of perennial energy crops in Poland. *J. Food Agric. Environ.*, 2012, **10(2)**: 781-784.
132. Pudełko R., Faber A.: Dobór roślin energetycznych dostosowanych do uprawy w wybranych rejonach kraju. Nowoczesne technologie pozyskiwania i energetycznego wykorzystania biomasy. Instytut Energetyki, Warszawa, 2010, s. 50-68.
133. Reisinger K., Haslinger C., Herger M., Hofbauer H.: BIOBIB – a database for biofuels, THERMIE- Conference: Renewable Energy Databases, Harwell, United Kingdom, 1996. Protokół dostępu: <http://cdmaster2.vt.tuwien.ac.at/biobib/oxford.html> [01.04.2013]
134. RENEW, 2008: Scientific report: Residue biomass potential inventory results, Deliverable D5.01.03. Protokół dostępu: <http://www.renew-fuel.com> [01.04.2013]
135. Rogner H.H.: Energy resources. In: World Energy Assessment, J. Goldemberg (ed.), UNPD, Washington, USA, 2000, p.135-171.
136. Rozporządzenie Rady (73/2009/WE) z dnia 19 stycznia 2009 r. ustanawiające wspólne zasady dla systemów wsparcia bezpośredniego dla rolników w ramach wspólnej polityki rolnej i ustanawiające określone systemy wsparcia dla rolników.
137. Różański H., Jabłoński K.: Wykorzystanie zasobów drewna energetycznego w leśnictwie. Konferencja naukowo-techniczna w Malinówce, 16–17 października 2003.
138. Rubinstein R.Y., Kroese D.P.: Simulation and the Monte Carlo method. John Wiley – Interscience, 2007, pp. 372.
139. Zardkowski S.: Możliwości i technologie pozyskania drewna do celów energetycznych w lasach Polski. Materiały III Konferencji Leśnej, Sękocin Las, Warszawa, 2000.
140. Savolainen V., Berggren H.: Wood Fuels Basic Information Pack. BENET Bioenergy Network, Energidalen & Jyväskylä Polytechnic, 2000, pp. 191.

141. Scarlat N., Martinov M., Dallemand J.F.: Assessment of the availability of agricultural crop residues in the European Union: Potential and limitations for bioenergy use. *Waste Manage.*, 2010, **30**: 1889-1897.
142. Siemons R., Vis M., van den Berg D., McChesney I., Whiteley M., Nikolaou N.: Bio-energy's role in the EU energy market: a view of developments until 2020. Enshcede, the Netherlands: Biomass Technology Group (BTG), Energy for Sustainable Development, Centre for Renewable energy (CRES), 2004, pp. 270.
143. Siemień P.: Analiza ryzyka w zarządzaniu projektami systemów. *Problemy techniki uzbrojenia*, 2005, **95**: 9-18.
144. Smagacz J.: Możliwości energetycznego wykorzystania biomasy w Polsce (Possibilities for energetical biomass use in Poland.). *Pamiętnik Puławski – Materiały konferencyjne*, IUNG Puławy, 2003, **132**: 395-402.
145. Smets E.M.W., Faaij A.P.C.: Bioenergy potentials from forestry in 2050: an assessment of the drivers that determine the potentials. *Climatic Change*, 2007, **81**: 353-390.
146. Smets E.M.W., Faaij A.P.C., Lewandowski I.M., Turkenburg W.C.: A bottom-up assessment and review of global bio-energy potentials to 2050. *Prog. Energ. Combust.*, 2007, **33**: 56-106.
147. Smit H.J., Metzger M.J., Ewert F.: Spatial distribution of grassland productivity and land use in Europe. *Agr. Syst.*, 2008, **98(3)**: 208-219.
148. Sokhansanj S., Fenton J.: Cost benefit of biomass supply and preprocessing. *Research Integration Program – BIOCAP Synthesis Paper*, 2006, pp. 32.
149. Steierer F.: Current wood resources availability and demands, National and regional wood resource balances, EU/EFTA countries. *Geneva timber and forest study paper 51*, UNECE-FAO, 2010, pp. 60.
150. Strasil Z., Kara J.: Study of knotweed (*Reynoutria*) as possible phytomass resource for energy and industrial utilization. *Res. Agr. Eng.*, 2010, **56**: 85-91.
151. Stuczyński T., Łopatka A., Faber A., Czaban P., Kowalik M., Koza P., Korzeniowska-Puculek R., Siebielec G.: Prognoza wykorzystania przestrzeni rolniczej dla produkcji roślin na cele energetyczne. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2008, **11**: 25-42.
152. Sweeten J.M., Korenberg J., Lepori W.A., Annamalai K.: Combustion of cattle feedlot manure for energy production. *Energ. Agr.*, 1986, **5**: 55-72.
153. Syp A., Jarosz Z., Faber A., Borzęcka-Walker M., Pudelko R.: Greenhouse gas emissions from winter wheat cultivation for bioethanol production in Poland. *J. Food Agr. Environ.*, 2012, **10(3&4)**: 1169-1172.
154. Syp A., Faber A., Kozyra J., Borek R., Pudelko R., Borzęcka-Walker M., Jarosz Z.: Modeling impact of climate change and management practices of greenhouse gas emission from arable soils. *Pol. J. Environ. Stud.*, 2011, **20(6)**: 1593-1602
155. TB FRA: Temperate and boreal forest resources assessment of the UN/ECE-FAO 2000.
156. TB FRA: Temperate and boreal forest resources assessment of the UN/ECE-FAO 2005.
157. Thran D., Weber M., Scheuermann A., Frohlich N., Zeddies J., Henze A., Thoroe C., Schweinle J., Fritsche U., Jenseit W., Rausch L., Schmidt K.: Sustainable strategies for biomass use in the European context. *Institute for Energy and Environment, Leipzig*, 2005, pp. 346.
158. Tibshirani R., Walter G., Hastie T.: Estimating the number of cluster in data set via the gap statistic. *J. Roy. Stat. Soc.*, 2001, ser. **B**, **63(2)**: 411-423.

159. Tijmensen M.J.A., Faaij A., Hamelinck C., Hardeveld M.: Exploration of the possibilities for production of Fischer Tropsch liquids and power via biomass gasification. *Biomass Bioenerg.*, 2002, **23(2)**:129-152.
160. Trnka M., Olesen J.E., Kersebaum K.C., Skjelvåg A.O., Eitzinger J., Seguin B., Peltonen-Sainio P., Rötter R., Iglesias A., Orlandini S., Dubrowski M., Hlavinka P., Balek J., Eckersten H., Cloppet E., Gobin A., Vučetić V., Nejedlik P., Kumar S., Lalic B., Mestre A., Rossi F., Kozyra J., Alexandrov V., Semerádová D., Žalud Z.: Agroclimatic conditions in Europe under climate change. *Glob. Change Biol.*, 2011, **17**: 2298-2318.
161. Tum M., Gunther K.P.: Validating modelled NPP using statistical yield data. *Biomass Bioenerg.*, 2011, **35**: 4665-4674.
162. UNECE – United Nations Economic Commission for Europe: European Forest Sector Outlook Study Main Report ECE/TIM/SP/20. 2005. Protokół dostępu: <http://www.unecce.org/fileadmin/DAM/timber/docs/sp/sp-20.pdf> [25.01.2013]
163. Vainio P., Tokola T., Palander T., Kangas A.: A GIS-based stand management system for estimating local energy wood supplies. *Biomass Bioenerg.*, 2009, **33**: 1278-1288.
164. Van Dam J., Faaij A.P.C., Lewandowski I., Fischer G.: Biomass production potentials in Central and Eastern Europe under different scenarios. *Biomass Bioenerg.*, 2007, **31**: 345-366.
165. Van Hooijdonk G.: Future prospects for ethanol production from ligno-cellulosic biomass. *Utrecht: Utrecht University, Copernicus Institute, Department Science and Technology Society*, 2002, pp. 71.
166. Van Velthuisen H.: Agro-ecological zoning of Europe, IRENA Workshop on land-use/cover change, landscape state and characterisation of rural areas. *JRC and EC, Ispra, Italy*, 2003.
167. Verburg P.H., Schulp C.J.E., Witte N., Veldkamp A.: Downscaling of land use change scenarios to assess the dynamics of European landscapes. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 2006, **114(1)**: 39-56.
168. Vis M.W., van den Berg D., Koppen S., Schorb A.: Organic waste. In: *Biomass resource assessment handbook, Harmonization of biomass resource assessments, best practices and methods handbook*, M.W. Vis and M. Dees (eds). *Biomass Energy Europe*, Publisher VDM Verlag, Germany, 2011, p. 115-141.
169. Voivontas D., Assimacopoulos D., Koukios E.G.: Assessment of biomass potential for power production: a GIS based method. *Biomass Bioenerg.*, 2001, **20(3)**: 101-112.
170. Walesiak M.: *Problemy decyzyjne w procesie klasyfikacji zbioru obiektów*. W: *Prace Naukowe AE we Wrocławiu*, 2004, **1010**: 52-71.
171. Walesiak M., Gatnar E.: *Statystyczna analiza danych z wykorzystaniem programu R*. PWN Warszawa, 2009, ss. 468.
172. Walpole R.E., Myers R.H.: *Probability and statistics for engineers and scientists*, 9 ed.: Pearson, 1993, pp. 816.
173. Weiser C., Vetter A., Reinicke F.: Information on sustainable use of agricultural residues for bioenergy supply. 2nd International Symposium „Energy from Straw” Berlin, 29th–30th March 2012.
174. Winnicki S., Jugowar J.L., Nawrocki L.: Analiza możliwości organizacji bazy paszowej na glebach o niskiej bonitacji dla stada krów o wysokiej wydajności. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 2012 (I–III), t. **12**, **1(37)**: 239-248.

175. Xiao X., Le D.D., Li L., Meng X., Cao J., Morishita K., Takarada T.: Catalytic steam gasification of biomass in fluidized bed at low temperature: Conversion from livestock manure compost to hydrogen-rich syngas. *Biomass Bioenerg.*, 2010, **34(10)**: 1505-1512.
176. Zheliezna T.A., Eleftheriadis I.: Agricultural residues. In: Biomass resource assessment handbook, Harmonization of biomass resource assessments, best practices and methods handbook, M.W. Vis and M. Dees (eds). Biomass Energy Europe. Publisher VDM Verlag, Germany, 2011, pp. 91-114.

OCENA POTENCJAŁÓW BIOMASY UBOCZNEJ I ODPADOWEJ W UE-27 I SZWAJCARII ORAZ ICH REGIONALIZACJA

Streszczenie

Słowa kluczowe: bioenergia, biomasa uboczna, biomasa odpadowa, polityka energetyczna UE, modelowanie potencjałów, regionalizacja zasobów

Protokół z Kioto (1997), będący aktem wykonawczym Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu, zdeterminował postawę krajów Unii Europejskiej dążących do stania się światowym liderem w ograniczeniu emisji gazów cieplarnianych. Kraje te podjęły rozszerzone zobowiązania, głównie w sterowaniu polityką energetyczną, na rzecz działań mitygacyjnych. Dlatego też rozwój sektora energetycznego wykorzystującego biomasę w Unii Europejskiej jest zdeterminowany przez strategiczne dokumenty legislacyjne odnoszące się do wspólnej polityki energetycznej. Dokumenty te zakładają głównie potrzebę redukcji emisji gazów cieplarnianych i minimalny negatywny wpływ pozyskiwania biomasy na środowisko. Zasoby biomasy ubocznej i odpadowej mają w strategii tej specjalne miejsce, dzięki przyjęciu wskaźnika równego zeru przy obliczaniu emisji gazów cieplarnianych z biopaliw wytworzonych z tych surowców w całym cyklu ich życia.

W pracy przedstawiono analizy potencjałów biomasy ubocznej i odpadowej w 27 krajach UE i Szwajcarii. Szacunki wykonano dla NUTS-3, które reprezentują wydzielone dla celów statystycznych regiony o zbliżonym potencjale ekonomicznym. Dzięki temu są one najmniejszymi jednostkami terytorialnymi Unii Europejskiej, dla których istnieje możliwość tworzenia kompletnych w tej skali scenariuszy rozwoju energetyki rozproszonej. Głównymi założeniami modelowania bazy surowcowej dla tych regionów było wykorzystanie jedynie biomasy ubocznej i odpadowej niestanowiącej konkurencji dla produkcji żywności oraz respektowanie zasad zrównoważonej produkcji i ochrony środowiska. Szacunki wykonano dla następujących rodzajów biomasy:

- biomasa uboczna z rolniczej produkcji roślinnej (nadwyżki słomy, siana, drewno z przecinek sadów) i zwierzęcej (nadwyżki obornika);
- odpady pozrębowe z gospodarki leśnej (związane głównie z wyrębem lasów);
- odpady z konserwacji przyrody (biomasa przydrożna, biomasa z konserwacji terenów zielonych w miastach);

- biodegradowalne odpady komunalne;
- wybrane odpady przemysłu spożywczego (produkcja oleju z oliwek i wina) oraz przemysłu drzewnego.

W drugiej części pracy przeprowadzono badania regionalizacji skupień zasobów biomasy, ryzyka i niepewności wykonanych szacunków oraz przeprowadzono modelowanie optymalizacji lokalizacji zakładów przetwarzania i wykorzystania biomasy na cele energetyczne.

Podsumowując wyniki modelowania potencjału technicznego biomasy ubocznej i odpadowej, można stwierdzić, że do najbardziej zasobnych regionów (skupień NUTS-3) należą:

- region północnych Włoch (dolina Padu);
- regiony rolnicze we Francji: Akwitania, Poitou-Charentes, Region Centralny, Ile-de-France oraz Alzacja;
- region wschodniej Holandii, północnej Belgii wraz z przylegającymi landami niemieckimi;
- południowe i wschodnie Węgry.

Ze względu na wysokie potencjały w regionach tych oraz w bezpośrednich sąsiedztwach wszystkich wielkich aglomeracji istnieją optymalne warunki lokowania dużych zakładów przetwarzających lub wykorzystujących biomasę na cele energetyczne.

Największy udział w strukturze biomasy mają trzy rodzaje jej asortymentu:

- słoma: 36% w strukturze biomasy i 53% w strukturze energii;
- odpady z gospodarki leśnej: 27% w strukturze biomasy i 21% w strukturze energii;
- biodegradowalne odpady komunalne: 20% w strukturze biomasy i 14% w strukturze energii.

Pozostałe rodzaje biomasy nie mają większego znaczenia w skali energetyki europejskiej, jednak, jak to zostało wykazane w pracy, mogą mieć istotne znaczenie lokalne w poszczególnych regionach.

THE ASSESSMENT OF RESIDUES AND WASTE BIOMASS POTENTIAL IN THE EU-27 AND SWITZERLAND AND THEIR REGIONALISATION

Summary

Key words: bioenergy, residuals and waste of biomass, UE energy policy, modelling of potentials and regionalization of biomass resources

The Kyoto Protocol (1997), which is an executive act of the United Nations Framework Convention on Climate Change, has determined the road map for the European Union, aiming to become a world leader in reducing greenhouse gas emissions. These countries have made expanded commitments, especially in the control of energy policies for mitigation actions. Therefore, the development of a biomass energy sector in the European Union is determined by strategic legislative documents relating to the common energy policy. These documents have been established mainly for a need to reduce greenhouse gas emissions as well as a negative impact of biomass production on the environment. Secondary biomass

resources and waste management strategies that have a special place with the adoption rate of zero when calculating the greenhouse gas emissions of biofuels made from these materials throughout their life cycle.

The work presents the analysis of the potential of waste biomass in the European Union and Switzerland, and the possibility of their use for energy purposes. Estimates were made for NUTS-3, which represent separate statistical purposes for regions of similar economic potential. This makes them the smallest territorial unit of the European Union, for which it is possible to create and complete at this scale, distributed energy scenarios.

The main assumption for the potential modelling of these regions was to use only waste biomass, thus not competing with food production and to respect the principles of sustainable production and environmental protection. Estimates were made for the following types of biomass:

- waste from agricultural crop production (straw, hay surplus, orchard's pruning) and animal (manure surplus);
- wastes from forestry, mainly due to deforestation;
- nature conservation waste (biomass roadside, urban maintenance of green areas);
- biodegradable municipal waste;
- selected waste from the food (production of olive oil and wine), and wood industry.

The second part of this study focused on cluster regionalisation of biomass resources, risks and uncertainties analyses and estimates of modelling optimisation for plant location for energy purposes.

In conclusion, of evaluating the potential of biomass in Europe, it can be said that the most prosperous regions (clusters of the NUTS-3) include:

- northern Italy region (Po Valley);
- regions in France: Aquitaine, Poitou-Charentes, Loire, Ile-de-France and Alsace;
- eastern region of the Netherlands, northern Belgium along with the adjacent German Länder;
- southern and eastern Hungary;
- immediate vicinity of large cities.

Due to the high potentials of these regions and the immediate neighbourhoods of all big cities, there are optimal conditions for the placement of large processing plants or biomass for energy purposes.

The largest shares have three kinds of the feedstock:

- straw: 36% of the amount, and 53% of the energy content;
- waste from forestry: 27% of the amount, and 21% in the structure of energy;
- biodegradable municipal waste: 20% of the amount, and 14% in the structure of energy.

Other types of biomass do not have much significance in the European energy sector. However, individual types of resources, may be important in particular regions.

WSKAZÓWKI DLA AUTORÓW

W serii wydawniczej IUNG „**Monografie i Rozprawy Naukowe**” publikowane są recenzowane prace o charakterze monografii i oryginalne rozprawy naukowe (w tym prace habilitacyjne) z zakresu agronomii oraz ochrony i kształtowania środowiska rolniczego.

Wydruk tekstu do recenzji czcionką 11 p., z odstępem 1,5-wierszowym.

Przygotowanie do druku:

- tekst i tabele w programie Word, wersja 6.0 lub wyższa
- czcionka – Times New Roman
- układ pracy: spis treści, wstęp, metodyka, omówienie wyników i dyskusja, wnioski lub podsumowanie, literatura, streszczenie
- objaśnienia tabel, podpisy i opisy do rysunków oraz streszczenie pracy wraz ze słowami kluczowymi w językach polskim i angielskim

tekst

- czcionka – 11 p. (spis pozycji literatury – 9 p.)
- wcięcie akapitowe – 0,5 cm

tabele

- podział na wiersze i kolumny (z funkcji tworzenia tabel)
- szerokość dokładnie 13 cm (tabele w pionie) lub 19 cm (tabele w poziomie)
- czcionka 9 p., pojedyncze odstępy międzywierszowe
- umieszczone w oddzielnych plikach

rysunki

- czarno-białe
- wykresy w programie Word lub Excel
- wymiary w zakresie 13 cm × 19 cm
- dołączony wydruk w odpowiednich wymiarach, bardzo dobrej jakości, na białym papierze lub na folii
- w podpisach czcionka 9 p.
- na dyskietce w oddzielnych plikach

jednostki miary

- system SI
- jednostki zapisywać potęgowo (np. t·ha⁻¹)

literatura

- spis literatury w układzie alfabetycznym wg nazwisk autorów, w kolejności: nazwisko (pismo rozstrzelone), pierwsza litera imienia, tytuł pracy, miejsce publikacji: tytuł wydawnictwa (wg ogólnie przyjętych skrótów tytułów czasopism), rok, numer (pismo pogrubione), strony
- cytowanie w tekście – jako nazwisko autora (autorów) i rok wydania (w nawiasach okrągłych).

Pracę do recenzji należy składać w 2 egzemplarzach. Po recenzji oryginalny egzemplarz recenzowany i ostateczną wersję pracy, uwzględniającą uwagi recenzenta i redaktora, należy dostarczyć do Redakcji w 1 egzemplarzu oraz na dyskietce (lub przesłać e-mailem) na adres:

Dział Upowszechniania i Wydawnictw
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
e-mail: kmikulska@iung.pulawy.pl

W serii wydawniczej IUNG „**Monografie i Rozprawy Naukowe**” ukazały się następujące pozycje:

1. Adam Harasim – *Kompleksowa ocena plodozmianów z różnym udziałem roślin zbożowych i okopowych*. Puławy, 2002.
2. Stanisław Wróbel – *Określenie potrzeb nawożenia buraka cukrowego mikroelementami*. Puławy, 2002.
3. Janusz Podleśny – *Studia nad oddziaływaniem światła laserowego na nasiona, wzrost i rozwój roślin oraz plonowanie lubinu białego (*Lupinus albus* L.)*. Puławy, 2002.
4. Czesław Józefaciuk, Anna Józefaciuk, Eugeniusz Nowocień, Rafał Wawer – *Przeciwerozyjne zagospodarowanie zlewni wyżynnej potoku Grodarz z uwzględnieniem ograniczania występowania powodzi*. Puławy, 2002.
5. Jerzy Księżak – *Dynamika gromadzenia składników pokarmowych w organach roślin tradycyjnych i samokończących odmian bobiku w okresie od kwitnienia do dojrzałości pełnej*. Puławy, 2002.
6. Franciszek Pistelok – *Analiza zależności pomiędzy zanieczyszczeniem ze źródeł komunalnych a jakością powierzchniowych wód płynących na obszarach silnie zurbanizowanych na przykładzie zlewni Górnej Wisły*. Puławy, 2002.
7. Ewa Stanisławska-Głubiak – *Analiza wybranych czynników determinujących efekty dolistnego nawożenia molibdenem w uprawie rzepaku ozimego*. Puławy, 2003.
8. Kazimierz Noworolnik – *Wpływ wybranych czynników agrotechnicznych na plonowanie jęczmienia jarego w różnych warunkach siedliska*. Puławy, 2003.
9. Teresa Doroszewska – *Krzyżowanie oddalone i transformacja genetyczna w uzyskiwaniu odporności tytoniu (*Nicotiana tabacum* L.) na wirusa Y ziemniaka (PVY)*. Puławy, 2004.
10. Eugeniusz K. Chylek – *Uwarunkowania procesu modernizacji rolnictwa i obszarów wiejskich w Polsce*. Puławy, 2004.
11. Zbigniew Samoń – *Studia nad metodami energooszczędnego suszenia chmielu*. Puławy, 2004.
12. Ryszard Weber – *Zmienność plonowania odmian pszenicy ozimej w zależności od przedplonu i sposobu uprawy roli*. Puławy, 2004.
13. Janusz Igras – *Zawartość składników mineralnych w wodach drenarskich z użytków rolnych w Polsce*. Puławy, 2004.
14. Mariusz Kucharski – *Odporność chwastów na herbicydy z grupy inhibitorów fotosyntezy PSII na polach uprawnych południowo-zachodniej Polski*. Puławy, 2005.
15. Maria J. Król – *Azospirillum – asocjacyjne bakterie wiążące wolny azot*. Puławy, 2006.
16. Jerzy Grabiński – *Studia nad potencjałem allelopatycznym żyta ozimego*. Puławy, 2006.
17. Krzysztof Domaradzki – *Efektywność regulacji zachwaszczenia zbóż w aspekcie ograniczenia dawek herbicydów oraz wybranych czynników agroekologicznych*. Puławy, 2006.
18. Anna Stochmal – *Flawonoidy lucerny siewnej (*Medicago sativa* L.) – budowa chemiczna, właściwości spektralne, zawartość w zależności od odmiany i terminu zbioru*. Puławy, 2007.
19. Tomasz Stuczyński – *Assessment and modelling of land use change in Europe in the context of soil protection*. Puławy, 2007.
20. Jolanta Korzeniowska – *Potrzeby nawożenia pszenicy cynkiem, miedzią i borem w warunkach glebowo-klimatycznych Polski*. Puławy, 2008.
21. Maria J. Król, Janusz Smagacz – *Rozkład resztek pozbiorowych w glebie*. Puławy, 2008.
22. Agnieszka Klimkowicz-Pawlas – *Oddziaływanie wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych na siedliskową funkcję gleby*. Puławy, 2009.
23. Janusz Czaban – *Fitogeniczne dodatki do paszy świń ze szczególnym uwzględnieniem ich roli jako zamienników antybiotykowych stymulatorów wzrostu*. Puławy, 2009.
24. Maria J. Król – *Bakterie endofityczne*. Puławy, 2009.
25. Ryszard Weber – *Przydatność uprawy konserwującej w rolnictwie zrównoważonym*. Puławy, 2010.
26. Józefa Harasim, Adam Harasim – *Produkcyjność mieszanek pastwiskowych z udziałem koniczyny białej (*Trifolium repens* L.) w różnych warunkach siedliskowych*. Puławy, 2010.
27. Maria J. Król – *Bakterie utleniające siarkę elementarną i redukujące siarczany*. Puławy, 2010.
28. Andrzej Doroszewski – *Skład spektralny promieniowania jako czynnik kształtujący pokrój i plon pszenicy*. Puławy, 2011.
29. Jerzy Bieńkowski – *Wielokryterialna analiza możliwości zrównoważonego rozwoju gospodarstw rolniczych z uwzględnieniem czynników środowiskowych i ekonomicznych*. Puławy, 2011.
30. Hanna Gołębiowska – *Dynamika występowania flory segetalnej w uprawie kukurydzy na Dolnym Śląsku w latach 1972–2008 i obecne możliwości jej regulacji*. Puławy, 2011.
31. Maria J. Król – *Przemiany mikrobiologiczne żelaza w glebie*. Puławy, 2011.
32. Franciszek Woch, Krzysztof Wierzbicki, Andrzej Eymontt, Anna Dziadkowicz-Ilkowska, Alina Syp, Jerzy Kopiński, Czesław Pietruch, Mirosław Nierubca, Antoni Miklewski, Piotr Maśloch – *Efektywność gospodarcza i ekonomiczna scalania gruntów w Polsce*. Puławy, 2011.
33. Maria J. Król – *Przemiany mikrobiologiczne fosforu w glebie*. Puławy, 2012.
34. Adam Harasim – *Ocena produkcji roślinnej na gruntach ornych w gospodarstwie rolniczym w ujęciu długookresowym*. Puławy, 2012.

35. Mariusz Matyka – *Produkcyjne i ekonomiczne aspekty uprawy roślin wieloletnich na cele energetyczne*. Puławy, 2013.
36. Beata Feledyn-Szewczyk – *Wpływ użytkowania gruntów na różnorodność gatunkową flory segetalnej*. Puławy, 2013.
37. Anna Podleśna – *Studia nad rolą siarki w kształtowaniu gospodarki mineralnej oraz wielkości i jakości plonu wybranych roślin uprawnych*. Puławy, 2013.
38. Mariola Staniak – *Reakcja wybranych gatunków i odmian traw pastewnych na niedobory wody w glebie*. Puławy, 2013.