

Kierunki rozwoju badań naukowych w obszarze bioenergetyki w Europie w świetle dokumentów i inicjatyw Unii Europejskiej

Autorzy: Mgr Maria Kaska, dr inż. Andrzej Sławiński, dr inż. Aneta Świercz
Centrum Integracji Badań Energetycznych CENERG, Instytut Energetyki

("Energetyka" - kwiecień 2016)

Polityka badawcza Unii Europejskiej w zakresie energetycznego wykorzystania biomasy jest elementem ogólnej strategii badań i rozwoju technologicznego w Europie. Strategia ta wyrażona jest w wielu dokumentach i programach UE, z których najważniejszym jest Strategiczny Program Technologii Energetycznych w Europie (*Strategic Energy Technology Plan*) SET--Plan.

Jednocześnie w Europie pojawiają się liczne inicjatywy w postaci stowarzyszeń, platform badawczych i przemysłowych mających na celu poszukiwanie konkretnych rozwiązań pozwalających na możliwie szybkie wdrożenie założeń SET--Planu. Analiza tych dokumentów i inicjatyw jest niezwykle ważna ze względu na kształtowanie priorytetów polskiej polityki energetycznej, które w wyniku przynależności Polski do UE muszą uwzględniać również uwarunkowania zewnętrzne. Jest to również niezwykle istotne z punktu widzenia wyznaczania kierunków badań naukowych w obszarze energetyki w Polsce, które nie są jak dotąd zdefiniowane w wystarczający sposób. Ogólne priorytety Polski w zakresie energetycznego wykorzystania biomasy, będące w dużym stopniu przedłużeniem polityki energetycznej UE, zawarte są w dokumencie „Polityka energetyczna Polski do roku 2030” przyjętym przez RM 10 listopada 2009 [1] i w projekcie „Polityki energetycznej Polski do 2050 roku” z sierpnia 2015 [2]. Zawarte tam sformułowania cechują się jednak dużym poziomem ogólności i w małym stopniu dotyczą aspektów badawczych. Niniejszy artykuł ma na celu dokonanie przeglądu europejskich programów i inicjatyw w obszarze energetycznego wykorzystania biomasy oraz próbę syntezy strategii badawczej UE w poszczególnych obszarach technologii bioenergetycznych.

Dokumenty, programy i inicjatywy UE wyznaczające kierunki polityki i strategii bioenergetycznej Europy

Główne zręby polityki klimatycznej Unii Europejskiej ukształtowane zostały w latach 90-tych XX wieku, kiedy to w roku 1992 w Rio de Janeiro podpisana została Konwencja Klimatyczna Narodów Zjednoczonych, określająca założenia międzynarodowej współpracy dotyczącej ograniczenia emisji gazów cieplarnianych odpowiedzialnych za zjawisko globalnego ocieplenia, a w roku 1997 UE została stroną Protokołu z Kioto, w którym określono główne zobowiązania krajów w zakresie redukcji emisji gazów cieplarnianych.

W ramach polityki klimatyczno-energetycznej UE wyznaczone zostały długoterminowe cele zrównoważonego rozwoju Europy, którymi są dekarbonizacja gospodarki i jej dynamiczny wzrost. Za warunek konieczny realizacji tych celów uznano stały rozwój niskoemisyjnych technologii energetycznych i ich szybkie wdrożenie w przemyśle.

Dyrektywy i dokumenty programowe UE

Polityka klimatyczno-energetyczna Unii Europejskiej znajduje odzwierciedlenie w wielu dokumentach UE, w szczególności w sukcesywnie publikowanych dyrektywach. Do najważniejszych dyrektyw w tym zakresie należy dyrektywa 2009/28/EC w sprawie promocji wykorzystania odnawialnych źródeł energii [3]. Dyrektywa ta ustanowiła wspólne ramy dla promowania energii ze źródeł odnawialnych, określiła obowiązkowe krajowe cele w odniesieniu do całkowitego udziału energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto i w odniesieniu do udziału energii ze źródeł odnawialnych w transporcie. Ustanowiła zasady dotyczące transferów statystycznych i wspólnych projektów między państwami członkowskimi oraz z krajami trzecimi, gwarancji pochodzenia, procedur administracyjnych, informacji i szkoleń oraz dostępu do sieci energii elektrycznej dla energii ze źródeł odnawialnych. Określiła ona kryteria zrównoważonego rozwoju dla biopaliw i biopłynów. Dyrektywa zobligowała również kraje członkowskie do opracowania Narodowych Planów Działań ws. Energii Odnawialnej.

Rola biomasy w przyszłej gospodarce została mocno podkreślona w strategicznym dokumencie *Strategy and Action Plan for Innovating for Sustainable Growth: a Bioeconomy for Europe* (COM(2012) 60), w którym stwierdzono, że biogospodarka jest kluczowym elementem inteligentnego i zielonego rozwoju Europy [4]. Zgodnie z tym dokumentem biogospodarka w Europie posiada wielki potencjał - może utrzymywać i tworzyć wzrost gospodarczy oraz miejsca pracy na obszarach wiejskich i przemysłowych, powodować zmniejszenie uzależnienia od paliw kopalnych oraz przyczyniać się do poprawy stabilności gospodarczej i środowiskowej w głównych branżach produkcyjnych i przetwórczych. W towarzyszącym powyższej strategii dokumencie roboczym SWD(2012) 11 zdefiniowano plan działań w obszarze biogospodarki, w którym istotne miejsce zajmują sektory przemysłowe wykorzystujące biozasoby (biorafinerie, odpady jako alternatywne źródło biomasy i biotechnologie) [5].

W opublikowanym w roku 2013 dokumencie COM(2013) 253 Komisja Europejska przedstawiła ocenę rozwoju różnych technologii energetycznych po roku 2020 z punktu widzenia transformacji sektora energetycznego do roku 2050 [6]. W dokumencie podkreśla się rolę paliw alternatywnych w transporcie europejskim, a w szczególności biopaliw, biometanu i wodoru. W towarzyszącym mu dokumencie roboczym SWD(2013) 157 przedstawiona została analiza inwestycji w badania i rozwój niskoemisyjnych technologii energetycznych ujętych w europejskim SET-Planie, w szczególności technologii bioenergetycznych [7]. Z kolei w towarzyszącym obu dokumentom opracowaniu SWD(2013) 158 zaprezentowana została ocena stanu dojrzałości poszczególnych niskoemisyjnych technologii energetycznych i związanych z nimi potrzeb technologicznych, w tym w zakresie generacji energii z biomasy i odpadów [8]. W roku 2014 Komisja Europejska opublikowała roboczy dokument SWD (2014) 259

poświęcony ocenie stanu działań w zakresie biomasy stałej i gazowej wykorzystywanej do produkcji energii elektrycznej, ogrzewania i chłodzenia w UE [9].

Strategiczny Plan Technologii Energetycznych (SET-Plan)

Głównym strategicznym planem UE w zakresie rozwoju technologii energetycznych w Europie jest *Strategic Energy Technology Plan* (SET-Plan) zaproponowany przez Komisję Europejską w 2006 roku i przyjęty przez państwa członkowskie i parlament UE w roku 2008 [10-12]. Główne cele SET-Planu to przyspieszenie rozwoju na szeroką skalę wybranych technologii niskoemisyjnych poprzez intensyfikację badań i rozwoju technologicznego oraz działań wdrożeniowych pozwalających na szybką komercjalizację nowych rozwiązań. Finalne korzyści wynikające z realizacji SET-Planu polegać mają na redukcji emisji gazów cieplarnianych, poprawie bezpieczeństwa energetycznego, zwiększeniu możliwości eksportu technologii, co w skali europejskiej przełoży się na wzrost gospodarczy i przyniesie wymierne korzyści społeczne (np. wzrost liczby nowych wysoko wykwalifikowanych miejsc pracy). W zakresie bioenergii priorytetem do roku 2020 jest sprawienie, aby druga generacja biopaliw stała się alternatywą dla paliw kopalnych (przy uwzględnieniu aspektów środowiskowych).

Wdrażanie SET-Planu jest stale monitorowane przez Komisję Europejską. Najnowszym dokumentem KE dotyczącym jego realizacji jest opublikowany we wrześniu 2015 komunikat KE w sprawie przyspieszenia transformacji europejskiego systemu energetycznego [13]. Dokument potwierdza ważność strategii zapisanej w SET-Planie. Podkreśla konieczność bardziej inteligentnego, elastycznego, zdecentralizowanego, zintegrowanego, zrównoważonego, bezpiecznego i konkurencyjnego dostarczania energii konsumentom. Wśród kluczowych czynników warunkujących realizację SET-Planu wymienia się innowacyjność i nowe zintegrowane podejście, lepsze określenie priorytetów i koordynację działań - lepszą synergię i unikanie dublowania działań. W dokumencie oceniono, że Europa jest liderem w obszarze biotechnologii i technologii konwersji biomasy, ale udział patentów w dziedzinie bioenergii w roku 2010 zmalał w porównaniu z rokiem 2000, a skala inwestycji przemysłowych w tym zakresie utrzymuje się na stałym poziomie. Dlatego Komisja potwierdza konieczność utrzymania wsparcia finansowego dla rozwoju nowych generacji technologii odnawialnych, w tym bioenergii. Wskazuje na ważność regionalnej współpracy w konkretnych regionach Europy, np. w przypadku alg i odpadów z biomasy - w regionie Południowej Europy, a w przypadku bioenergii i biopaliw - w Europie Północnej, Centralnej i Wschodniej. W dziedzinie biopaliw dla transportu podkreśla się konieczność współpracy władz krajowych, producentów i potencjalnych użytkowników w skali europejskiej. Potrzebne jest wzmocnienie rynku biopaliw, odblokowanie przemysłowych inwestycji w zakresie produkcji zaawansowanych biopaliw i stałe obniżanie kosztów.

System Informacyjny Komisji Europejskiej (SETIS)

Podstawowym źródłem informacji na temat SET-Planu jest System Informacyjny Komisji Europejskiej SETIS [14]. SETIS odgrywa kluczową rolę w budowaniu wiedzy i konsensusu wokół procesu wdrażania SET-Planu w Europie oraz identyfikowaniu możliwości i oceny

skuteczności nowych technologii. SETIS oferuje zintegrowane podejście do wymiany danych i informacji na temat technologii niskoemisyjnych, innowacji w państwach członkowskich i w sektorze energetycznym, a także wspiera uzgodnione metody monitorowania i przegląd postępów w realizacji SET-Planu na podstawie kluczowych wskaźników wydajności KPI (*Key Performance Indicators*). Innym ważnym aspektem systemu SETIS są własne, niezależne badania, publikacja najnowszych informacji na temat stanu i perspektyw technologii niskoemisyjnych (*Technology Maps*), jak również aktualnych planów i raportów. System SETIS uruchomiony został w roku 2009. Jest on prowadzony i zarządzany przez *JRC Institute for Energy and Transport*.

Program Ramowy Horyzont 2020

Programy Ramowe Badań i Rozwoju Technologicznego UE są podstawowym narzędziem finansowania badań i rozwoju technologicznego w Europie. Są to kilkuletnie programy realizacji międzynarodowych projektów badawczo-wdrożeniowych zgodnych z priorytetami badawczymi UE. W obszarze badań energetycznych Programy Ramowe są praktyczną implementacją priorytetów SET-Planu. Aktualnie realizowanym programem ramowym UE, obejmującym okres 2014-2020, jest Program Ramowy Badań i Rozwoju Technologicznego UE 2014-2020 pod nazwą *Horyzont 2020 (The EU Framework Programme for Research and Innovation Horizon 2020)* o całkowitym budżecie ok. 80 mld euro.

Tematyka bioenergetyczna zawarta jest w wielu częściach programu. W bloku działań pod wspólną nazwą *Wyzwania społeczne (Societal challenges)*, w obszarze tematycznym „Bezpieczna, czysta i wydajna energia” (*Secure, clean and efficient energy*) na lata 2016-2017 przewidziano wsparcie dla projektów obejmujących badania nad zrównoważonymi biopaliwami, w tym: dywersyfikację produkcji paliw odnawialnych poprzez nowe metody konwersji i nowe paliwa, rozwój następnej generacji technologii biopaliw płynnych, wdrażanie najbardziej obiecujących ścieżek rozwoju biopaliw płynnych, rozwój konkurencyjnej cenowo produkcji biopaliw dla lotnictwa, rozwój rynku zaawansowanych biopaliw ciekłych i płynnych odnawialnych paliw alternatywnych, współpracę międzynarodową z Brazylią w zakresie zaawansowanych biopaliw lignocelulozowych. Wspierane będą także projekty dotyczące rozwoju wysoko-sprawnych, niskoemisyjnych systemów kogeneracyjnych (CHP) na średnią i dużą skalę na bazie biomasy, a także procesy wychwytu i magazynowania CO₂ (CCS), w tym Bio-CCS [15].

W programie pracy obszaru tematycznego „Bezpieczeństwo żywnościowe, zrównoważone rolnictwo i leśnictwo, gospodarka morska, badania wód morskich i śródlądowych oraz bio-ekonomia” (*Food security, sustainable agriculture and forestry marine and maritime and inland water research and the bioeconomy*) na lata 2016-2017 przewidziano finansowanie projektów dotyczących m.in. całej grupy działań w zakresie zapewnienia bezpieczeństwa zaopatrzenia w biomasę do produkcji bioproduktów i usług (*Securing sustainable biomass supply for biobased goods and services*) oraz budowy przyszłych rynków opartych na bioproduktach i biosługach, np. metod zbierania danych statystycznych bioprzemysłu i bioproduktów, adaptacyjnych strategii i narzędzi uprawy drzew dla systemów produkcyjnych

lasów odpornych na zmiany klimatyczne i naturalne zagrożenia, a także inteligentnych rozwiązań i narzędzi w systemach produkcyjnych lasów promujących zrównoważoną podaż wysokiej jakości drewna dla rozwijającej się biogospodarki. Obok tego przewidziano wsparcie dla projektów bezpośrednio związanych z bioenergetyką, w tym wielkoskalowych zintegrowanych biorafinerii opartych na biomasie z glonów [16].

W opublikowanym na lata 2016-2017 programie pracy odnoszącym się do działań przekrojowych znalazły się tematy blisko związane z problematyką bioenergetyczną, w tym odnoszące się do projektowania pieców przemysłowych wykorzystujących biogaz i biomasę w kierunku poprawy ich efektywności energetycznej, a także wykorzystania potencjału organicznych odpadów komunalnych [17].

W bloku działań „Wiodąca pozycja w przemyśle” (*Industrial Leadership*), w dziale „Kluczowe technologie prorozwojowe” (*Leadership in enabling and industrial technologies*) znalazł się obszerny rozdział poświęcony problemom efektywności energetycznej budynków, zaawansowanym materiałom dla systemów energetycznych (m.in. systemów magazynowania energii w sieciach energetycznych, systemów energetyki słonecznej, systemów wychwytu CO₂) [18]. W dziale tym osobne miejsce zajmuje rozdział „Biotechnologia” (*Biotechnology*), gdzie na lata 2016-2017 przewidziano m.in. wsparcie dla projektów obejmujących biokonwersję odpadów nierolniczych w biomolekuły na potrzeby zastosowań przemysłowych, identyfikację luk i możliwości rozwoju biotechnologii z punktu widzenia przemysłu UE oraz badania mikrobiologiczne w kierunku ponownego wykorzystania CO₂ w gospodarce niskoemisyjnej.

Od początku funkcjonowania programu *Horyzont 2020*, tj. od roku 2014, przyznano już wsparcie wielu projektom badawczym, badawczo-wdrożeniowym i wspomagającym badania odnoszącym się do tematyki bioenergetycznej.

Europejskie Stowarzyszenie Badań Energetycznych (EERA)

Europejskie Stowarzyszenie Badań Energetycznych (*European Energy Research Alliance*, EERA) zrzesza europejskie instytucje prowadzące badania naukowe w obszarze energetyki. Stowarzyszenie EERA zainicjowane zostało w roku 2008 przez 10 wiodących europejskich centrów badań energetycznych z 10 krajów przy wsparciu Komisji Europejskiej. Do inicjatorów EERA w następnym roku dołączyło się 5 kolejnych instytucji badawczych, w tym polski Instytut Energetyki. W roku 2014 EERA została formalnie zarejestrowana jako stowarzyszenie instytucji badawczych i posiada osobowość prawną (Instytut Energetyki jest formalnie członkiem założycielem EERA). Głównym celem EERA jest wzmocnienie, rozwój i optymalizacja badań energetycznych w Unii Europejskiej i przyspieszenie rozwoju nowych technologii energetycznych poprzez wdrożenie Wspólnych Programów Badawczych EERA (*EERA Joint Programmes*, JP). Celem Programów jest wsparcie strategicznych technologii energetycznych zdefiniowanych w SET-Planie - łączenie i integracja działań i zasobów, łączenie krajowych i wspólnotowych źródeł finansowania oraz maksymalizacja komplementarności i synergii.

Dotychczas ogłoszonych zostało 17 Programów Badawczych EERA.

Jednym z nich jest ogłoszony w roku 2010 Wspólny Program Badawczy Bioenergii (EERA *Bicenergy Joint Programme*) [19]. Program ten został podzielony na 5 podprogramów.

Podprogram „Procesy termochemiczne” obejmuje procesy wzbogacania biomasy, konwersji (gazyfikację i oczyszczanie gazu) i procesy dalszego przetwarzania. W podprogramie „Procesy biochemiczne” znalazły się zagadnienia dotyczące dekonstrukcji biomasy, fabryk komórek i enzymów oraz problemy modelowania i skali pilotażowej. Podprogram „Biopaliwa z alg” obejmuje badania w zakresie rozwoju produkcji biomasy z makro- i mikroalg. W podprogramie „Zrównoważona biomasa” umieszczone zostały zagadnienia badawcze związane z innowacyjnymi systemami produkcji surowców rolnych i leśnych oraz łańcuchami dostaw, analizą wpływu systemów certyfikacji i ram politycznych oraz globalną analizą stabilności systemów bioenergetycznych, scenariuszy wdrażania i studia przypadków. Ostatni z pięciu podprogramów „Stacjonarna bioenergetyka” obejmuje ogrzewanie i chłodzenie domów i osiedli, w tym mikro--CHP, przemysłowe i komunalne skojarzone wytwarzanie ciepła, energii i chłodu oraz działanie urządzeń wielopaliwowych.

W 2013 roku opublikowany został wspólny raport „EERA--EIBI Workshop Report *Longer Term R&D Needs and Priorities on Bioenergy. Bioenergy beyond 2020*”, w którym przedstawiono scenariusz rozwoju zaawansowanych technologii bioenergetycznych do roku 2020, obejmujący ocenę przyszłego rozwoju technologii termochemicznej i biochemicznej konwersji biomasy oraz oceny rynku biomasy po roku 2020 [20].

Wspólnotowe Centrum Badawcze Komisji Europejskiej (JRC)

Wspólnotowe Centrum Badawcze (*Joint Research Centre, JRC*) jest jednym z Dyrektoriatów Generalnych Komisji Europejskiej z siedzibą w Brukseli. W skład JRC wchodzi siedem instytutów badawczych zlokalizowanych w różnych krajach Europy (Belgii, Włoszech, Hiszpanii, Holandii i w Niemczech). Za tematykę energetyczną odpowiada Instytut Energii i Transportu (*JRC Institute for Energy and Transport, IET*) mieszczący się w Petten, w Holandii i w Isprze, we Włoszech [21]. Misją IET jest wsparcie polityki Unii Europejskiej oraz innowacji technologicznych dla zapewnienia zrównoważonej, bezpiecznej i wydajnej produkcji, dystrybucji i wykorzystania energii oraz wspieranie zrównoważonego i efektywnego transportu w Europie. IET prowadzi m.in. badania oraz dostarcza analiz naukowych decydom politycznym w zakresie biomasy i biopaliw.

W roku 2013 opublikowany został raport JRC pt. *2013 Technology Map of the Strategic Energy Technology Plan* [22] zawierający opis aktualnego stanu i perspektyw rozwoju odnawialnych technologii energetycznych - w tym bioenergii na potrzeby generacji energii elektrycznej i ciepła oraz biopaliw dla sektora transportu. W roku 2015 JRC przedstawiło raport na temat ścieżek rozwoju bioenergetyki stałej i gazowej w kontekście wkładu do obniżenia emisji gazów cieplarnianych [23].

Narodowe Plany Działania (NREAP)

Komisja Europejska zdaje sobie sprawę, że poszczególne kraje UE mają różne zasoby i specyficzne rynki energii. Oznacza to, że kraje te będą musiały pójść w różnych kierunkach, jeśli chodzi o spełnianie obowiązków wynikających z dyrektywy w sprawie odnawialnych źródeł energii. W roku 2009 Komisja Europejska zobligowała kraje UE do przedstawienia swoich Narodowych Planów Działań ws. Energii Odnawialnej (*National Renewable Energy Action Plan*, NREAP) [24]. Plany te określają indywidualne cele dotyczące wykorzystania energii odnawialnej do produkcji energii elektrycznej, ogrzewania i chłodzenia oraz transportu, w tym krajowe polityki na rzecz rozwoju zasobów biomasy oraz środki dla zapewnienia, że biopaliwa stosowane dla spełnienia celów w zakresie odnawialnych źródeł energii są zgodne z kryteriami zrównoważonego rozwoju UE.

Krajowy Plan Działania dla Polski został przygotowany przez Ministerstwo Gospodarki w roku 2010 [25]. W dokumencie dokonano między innymi oceny bieżących i przyszłych polskich zasobów biomasy z leśnictwa, rolnictwa, rybołówstwa i odpadów oraz oszacowania łącznego wkładu biomasy w Polsce w realizację celów na rok 2020.

Europejska Platforma Technologiczna Biopaliw (EBTB)

Europejska Platforma Technologiczna Biopaliw (*European Biofuels Technology Platform*, EBTB) powołana została w roku 2006 [26]. EBTB przyjęła na siebie misję współtworzenia europejskiego przemysłu biopaliw, a w szczególności wspierania badań i rozwoju innowacyjnych, konkurencyjnych kosztowo, wysokiej klasy procesów produkcji biopaliw i ich komercyjnego wdrażania poprzez doradztwo, wyznaczanie priorytetów i promocję działań badawczo-wdrożeniowych w obszarze biopaliw. Platforma łączy wiedzę i doświadczenia zainteresowanych stron łańcucha biopaliw: dostawców biomasy, producentów biopaliw i bioenergii, dostawców technologii, reprezentantów sektora transportu biopaliw, instytucji badawczych i wdrażających badania oraz organizacji pozarządowych. Działania EBTB prowadzone są w ramach czterech grup roboczych: popyt i podaż biomasy, technologie konwersji i produkcja paliw, końcowe wykorzystanie i dystrybucja oraz polityka i zrównoważony rozwój. W działaniach Platformy funkcję obserwatora pełni Komisja Europejska. W roku 2010 EBTB opublikowała zmodyfikowaną wersję Strategicznej Agendy Badawczej [27], w której zaprezentowane zostały priorytety badawczo-wdrożeniowe oraz wnioski i rekomendacje dotyczące rozwoju sektora biopaliw w Europie. Platforma EBTB intensywnie uczestniczy w działaniach Europejskiej Bioenergetycznej Inicjatywy Przemysłowej (EIBI).

Europejska Bioenergetyczna Inicjatywa Przemysłowa (EIBI)

Europejska Bioenergetyczna Inicjatywa Przemysłowa (*European Industrial Bioenergy Initiative*, EIBI) jest jedną z powołanych w ramach SET-Planu inicjatyw przemysłowych, które mają na celu wdrożenie innowacyjnych technologii „czystej energii” w Europie [28]. Europejskie Inicjatywy Przemysłowe są wspólnym działaniem Komisji Europejskiej, państw

członkowskich i przemysłu w kierunku przyspieszenia komercjalizacji innowacyjnych technologii energetycznych o dużym znaczeniu społecznym.

Inicjatywa EIBI powołana została oficjalnie w roku 2010. Jej głównym celem jest wyłonienie i finansowanie demonstracyjnych projektów przemysłowych w obszarze technologii biopaliw/ bioenergii o dużym potencjale rynkowym. EIBI wspiera rozwój procesów termochemicznych, takich jak produkcja syntetycznych paliw/węglowodorów, biometanu i innych paliw gazowych oraz wysokosprawna generacja energii poprzez zgazowanie biomasy, a także produkcja nośników bioenergii z pomocą innych procesów termochemicznych (np. pirolizy i toryfikacji). W zakresie procesów biochemicznych EIBI wspiera rozwój procesów fermentacji do produkcji etanolu i wyższych alkoholi z cukru, procesów biologicznych i/lub chemicznych do produkcji odnawialnych węglowodorów z biomasy zawierającej cukry oraz procesów opartych na działaniu mikroorganizmów do produkcji nośników bioenergii z CO₂ i światła, wzbogaconych biopaliw do transportu i wartościowych bioproduktów.

W ramach inicjatywy EIBI opublikowany został Plan Implementacji na lata 2013-2017 (*Boosting the Contribution of Bioenergy to the EU Climate and Energy ambitions*) [29], w którym przedstawiono program osiągnięcia w UE zdolności produkcyjnej 6 mln toe biopaliw poprzez szereg działań i projektów prowadzących do uruchomienia ok. 30 dużych zakładów produkcyjnych biopaliw.

Europejskie Stowarzyszenie Przemysłowe Biomasy (EUBIA)

Europejskie Stowarzyszenie Przemysłowe Biomasy (*Euro-pean Biomass Industry Association, EUBIA*) jest założoną w roku 1996 międzynarodową organizacją *non-profit* z siedzibą w Brukseli, skupiającą dostawców technologii, centra badawcze i uczestników rynku biomasy w Europie [30]. Jej celem jest wspieranie europejskiego przemysłu biomasy na wszystkich poziomach, promowanie wykorzystania biomasy jako źródła energii, rozwój innowacyjnych koncepcji bioenergii i wspieranie współpracy międzynarodowej w dziedzinie bioenergii. Członkami EUBIA są organizacje i firmy z wielu krajów UE. EUBIA współpracuje z partnerami w krajach trzecich, takimi jak Chiny, Brazylia, Rosja, Ameryka Łacińska i Kraje Karaibskie. EUBIA jest partnerem *Global Bioenergy Partnership* mającym na celu promocję dialogu politycznego i ułatwianie współpracy międzynarodowej w obszarze bioenergii. Wspiera aktywność małych i średnich przedsiębiorstw w dziedzinie bioenergii. Jest partnerem międzynarodowych projektów współfinansowanych przez Komisję Europejską i jednym z założycieli EREC (*European Renewable Energy Council*), organizacji zrzeszającej europejskie instytucje z branży energii odnawialnej.

W roku 2014 EUBIA wskazała trzy główne tematy zainteresowań: waloryzacja odpadów organicznych, mikro- i makroalgi (obiecujące perspektywy rynkowe) oraz plantacje szybkiego wzrostu jako kluczowe w strategii zwiększenia zapotrzebowania na zrębki drewniane w UE-28.

Europejskie Stowarzyszenie Biomasy (AEBIOM)

Europejskie Stowarzyszenie Biomasy (*European Biomass Association, AEBIOM*) [31] jest organizacją *non-profit* powstałą w roku 1990 z siedzibą w Brukseli, zrzeszającą 29 narodowych stowarzyszeń i 90 kompanii z całej Europy reprezentujących ponad 4000 firm i centrów badawczych. Celem stowarzyszenia jest rozwój, pogłębienie i upowszechnienie wiedzy naukowej, technologicznej, ekonomicznej, socjologicznej, prawnej, politycznej i innej na temat wykorzystania biomasy do produkcji energii, rozwijanie i promowanie jakości technicznej europejskiego przemysłu bioenergii, wspieranie krajowych i międzynarodowych inicjatyw mających na celu wykorzystanie bioenergii, informowanie decydentów o szansach i zagrożeniach dotyczących rozwoju bioenergii w Europie oraz promowanie znoszenia barier technicznych i handlowych utrudniających rozwój otwartego rynku bioenergii na poziomie europejskim.

Europejska Agencja Środowiska (EEA)

Europejska Agencja Środowiska (*European Environment Agency, EEA*) jest jedną z agencji Unii Europejskiej, której celem jest dostarczanie informacji dotyczących ochrony środowiska dla podmiotów związanych z opracowywaniem, przyjmowaniem, wdrażaniem i ocenianiem polityki ochrony środowiska oraz dla opinii publicznej. Głównymi odbiorcami usług Agencji są instytucje Unii Europejskiej - Komisja Europejska, Parlament Europejski, Rada - oraz jej kraje członkowskie. Jej działania służą również takim instytucjom UE jak Europejski Komitet Ekonomiczno-Społeczny oraz Komitet Regionów. Agencja powstała w roku 1993 na mocy Rozporządzenia UE z roku 1990 i jej siedzibą jest Kopenhaga. Agencja zrzesza obecnie 33 kraje członkowskie.

W 2013 roku EEA opublikowała Raport nr 6/2013 stanowiący ocenę potencjału bioenergetycznego Europy i skutków różnego typu czynników dla jego rozwoju [32].

Perspektywy energetycznego wykorzystania biomasy w Europie

Bioenergia to energia odnawialna otrzymywana z materiałów pochodzenia biologicznego/organicznego. Technologie bioenergetyczne mogą wykorzystywać różne postacie materiałów organicznych. W myśl definicji zawartej w dyrektywie 2009/28/ EC [3] „biomasa” oznacza ulegającą biodegradacji część produktów, odpadów i pozostałości pochodzenia biologicznego z rolnictwa (łącznie z substancjami roślinnymi i zwierzęcymi), leśnictwa i związanych z nimi gałęzi przemysłu, w tym rybołówstwa i akwakultury, a także ulegającą biodegradacji część odpadów przemysłowych i miejskich. Z kolei „biopłyny” oznaczają produkowane z biomasy ciekłe paliwa przeznaczone dla celów energetycznych (innych niż transportowe), w tym do produkcji energii elektrycznej, ciepła i chłodu, a „biopaliwa” to produkowane z biomasy ciekłe lub gazowe paliwa dla transportu.

We wszystkich dokumentach i programach UE ocenia się, że biomasa odgrywać będzie ważną rolę w generacji energii i w tworzeniu konkurencyjnej gospodarki niskoemisyjnej w UE. Rola biomasy w przyszłej gospodarce została mocno podkreślona w dokumencie *Strategy and Action Plan for Innovating for Sustainable Growth: a Bioeconomy for Europe* (COM(2012) 60) [4]. Celem przedstawionej w nim strategii i planu działań jest osiągnięcie bardziej innowacyjnej biogospodarki niskoemisyjnej opartej na spójnym, międzysektorowym i interdyscyplinarnym podejściu ku zrównoważonemu wykorzystaniu biologicznych zasobów lądu i morza, a także odpadów do produkcji żywności, pasz, materiałów i energii.

Zgodnie z oczekiwaniami zawartymi w Narodowych Planach Działań ws. Energii Odnawialnej (NREAP) [24] bioenergia ma stanowić około 11% energii pierwotnej zużywanej w UE w 2020 roku, czyli ponad 50% całkowitej energii pierwotnej ze źródeł odnawialnych. Ponadto udział biopaliw do 2020 roku powinien wynieść 10%, z czego połowa ma pochodzić z drugiej generacji (2G) biopaliw. Dodatkowo duża część oczekiwań w zakresie redukcji emisji gazów cieplarnianych w UE w perspektywie krótko- i długoterminowej odnosi się do bioenergii.

Kluczową sprawą dla energetycznego wykorzystania biomasy jest jej dostępność. Dostępność biomasy w roku 2020 oceniana jest w granicach 220-375 Mtoe w zależności od przyjętego źródła: 220 Mtoe wg AEBIOM, 236 Mtoe wg EEA i 375 Mtoe wg projektu *Biomass Futures* [33]. Dostępność biomasy w roku 2030 szacowana jest (w zależności od źródła) na poziomie 295 Mtoe wg EEA i 353 Mtoe wg projektu *Biomass Futures*. Ocenia się, że największy potencjał biomasy znajduje się w odpadach rolniczych (obornik, słoma i uprawy), a następnie w biomasie leśnej i odpadach komunalnych. Jednym z głównych problemów jest ograniczona ilość powierzchni rolnej, na której w odpowiedniej cenie i warunkach można uprawiać roślinność przeznaczoną wyłącznie do produkcji biomasy i biopaliw.

Biomasa odgrywa coraz ważniejszą rolę w produkcji energii elektrycznej w UE. Produkcja energii elektrycznej z biomasy wzrosła z 69 TWh w roku 2005 do 123 TWh w roku 2010 i przewiduje się, że w roku 2020 osiągnie 232 TWh. Wg uśrednionych danych NREAP udział biomasy w produkcji energii elektrycznej z OZE w roku 2020 będzie wynosił 19%. Znaczący wzrost produkcji energii elektrycznej z biomasy przewidywany jest również w perspektywie roku 2050. W zależności od przyjmowanego scenariusza rozwoju ocenia się, że produkcja ta będzie wynosić od 360 TWh do 460-494 TWh. Udział produkcji energii elektrycznej z biomasy może wzrosnąć z 2,6% w 2005 roku i 3,7% w 2010 roku do poziomu od 7,3% do 9,3-10,9% w roku 2050, w zależności od przyjętego scenariusza.

W 2010 roku moc zainstalowana bioenergii w UE wynosiła 29 GW i zgodnie ze wszystkim przewidywanymi scenariuszami będzie z czasem znacząco rosła. Oczekuje się, że zainstalowana moc bioenergii w UE w 2020 roku osiągnie 43 GW, a w roku 2050 od 87 GW do 163 GW (w scenariuszu wysokiego udziału OZE). Oznacza to od 3- do 5-krotny wzrost mocy wytwórczych z biomasy.

Jeszcze większe jest znaczenie biomasy w bilansie produkcji ciepła w UE. Obecnie produkcja ciepła z biomasy w UE wynosi 73 Mtoe, co stanowi 75% całkowitej produkcji bioenergii.

Ponad 90% ciepła ze źródeł odnawialnych i 13,5% całkowitej generacji ciepła w UE pochodzi z biomasy. Ocenia się, że w roku 2020 udział biomasy w bilansie wykorzystania OZE do produkcji ciepła będzie dalej utrzymywał się na wysokim poziomie i wyniesie 81 % (90 Mtoe). Przewiduje się umiarkowany wzrost wykorzystania biomasy w gospodarstwach domowych z 27 Mtoe w roku 2005 do 35 Mtoe w roku 2020, w tym 38% wzrost wykorzystania biomasy na cele grzewcze. Wg scenariusza wysokiego udziału OZE bezpośrednie wykorzystanie biomasy do produkcji ciepła powinno wzrosnąć z 13,5% w roku 2010 do 33% w roku 2050.

W odniesieniu do wykorzystania biomasy w sektorze transportu oczekuje się, że udział OZE w transporcie w roku 2020 wyniesie 11%, w roku 2030 wzrośnie do 19-20% i do 62-73% w roku 2050. Zużycie biopaliw ma wzrosnąć z 3,1 Mtoe w roku 2005 i 13 Mtoe w roku 2010 do około 18 Mtoe w 2030 roku i 37-39 Mtoe w roku 2050 roku. Wkład sektora biopaliw w transporcie wzrośnie do 25-36 Mtoe w roku 2030 i do 68-72 Mtoe w roku 2050. W Strategicznej Agencji Badawczej Europejskiej Platformy Technologicznej Biopaliw EBTB [27] jako cel postawiono osiągnięcie 25-procentowego udziału biopaliw w paliwach transportowych do roku 2030.

Bioenergia odgrywa zatem kluczową rolę w zaspokajaniu potrzeb energetycznych i celów EU zawartych w SET-Planie w perspektywie roku 2020. Podobna sytuacja będzie zachodzić prawdopodobnie w nadchodzących dekadach, jeśli będą zaadoptowane odpowiednie ramy i alternatywy dla wykorzystania całego potencjału biomasy.

Ocena i kierunki rozwoju technologii bioenergetycznych w Europie

Analiza stanu istniejącego i strategia rozwoju technologii energetycznych po roku 2020 z punktu widzenia transformacji sektora energetycznego do roku 2050 przedstawiona została w wielu dokumentach, a wśród nich - w opublikowanym w maju 2013 r. przygotowanym przez Komisję Europejską dokumencie roboczym *Energy Technologies and Innovation SWD(2013) 158* [8] oraz w opublikowanej w roku 2014 pracy 2073 *Technology Map of the European Strategic Energy Technology Plan* [22] przygotowanej przez JRC. Ważnym elementem strategii bioenergetycznej UE jest Strategiczna Agenda Badawcza Europejskiej Platformy Technologicznej Biopaliw EBTB [27] i Plan Implementacji Europejskiej Bioenergetycznej Inicjatywy Przemysłowej EIBI [29].

Technologie konwersji energii wykorzystujące biomasę mają charakter termochemiczny (spalanie, piroliza i zgazowanie) lub biochemiczny/biologiczny (rozkład i fermentacja). Technologie te znajdują się na różnych etapach rozwoju - od etapu badań laboratoryjnych do dojrzałej fazy komercyjnej. Charakteryzują się też różną sprawnością energetyczną. W wyniku procesów konwersji otrzymywana jest szeroka gama produktów, w tym energia, biopaliwa, biochemikalia i biomateriały. Poniżej przedstawiono syntezę analiz i strategii sformułowanych w powyższych dokumentach.

Spalanie biomasy

Technologie spalania biomasy są w dużej mierze oparte na dojrzałych systemach i procesach bezpośredniego spalania w blokach energetycznych do produkcji ciepła, energii elektrycznej lub w systemach kogeneracyjnych (*Combined Heat and Power, CHP*) do zastosowań przemysłowych i domowych. Skala elektrowni na biomasę jest uzależniona od dostępnych zasobów biomasy oraz lokalnego i sezonowego zapotrzebowania na ciepło.

Rozwój technologii spalania doprowadził do wydajnej na skalę przemysłową produkcji ciepła w lokalnych systemach ciepłowniczych (*District Heating, DH*). Mimo sprawdzonej technologii, efektywność systemów DH opartych na biomacie zależy od wielu złożonych parametrów techniczno-ekonomicznych, w tym od istnienia infrastruktury DH i niezawodnego źródła biomasy. Tradycyjne systemy grzewcze wykorzystujące bele drewna mają niską wydajność (10-30%) i emitują wysoki poziom cząstek stałych. Nowoczesne kotły na zrębki drzewne i pelety posiadają wydajność aż 90%. Koszty inwestycyjne ciepłowni na biomasę kształtują się w granicach 300-700 euro/kW. Dla elektrowni (o rusztach stałych lub ruchomych) o mocy 1-30 MW sprawność elektryczna mieści się w granicach 20-35%. Instalacje kogeneracyjne CHP mają zwykle moc 1 -50 MW i sprawność całkowitą 80-90%, a koszty inwestycyjne są na poziomie 2000-3000 euro/ kW. Kotły fluidalne (*Fluidized Bed Combustion, FBC*) pozwalają na osiągnięcie sprawności elektrycznej 30-40% przy koszcie inwestycji 2500-3500 euro/kW.

Wykorzystanie biomasy w małej i średniej skali wymaga dalszego rozwoju niskoemisyjnych systemów pieców i kotłów. Obiecującymi technologiami dla systemów CHP na małą i mikroskalę są silniki Stirlinga (10-100 kW) oraz systemy silników opartych na organicznym cyklu Rankina (*Organic Rankine Cycle, ORC*) (50-1500 kW), oferujące sprawność elektryczną na poziomie 16-20%. Silniki ORC mogą zaoferować techniczne i ekonomiczne korzyści dla małych elektrowni ze względu na niskie koszty operacyjne. Technologia silnika Stirlinga jest obecnie na etapie pilotażowym, a proces biomasowy ORC został wdrożony i jest już dostępny komercyjnie.

Współspalanie biomasy

Współspalanie biomasy z węglem w istniejących kotłach jest najbardziej opłacalną i efektywną opcją produkcji ciepła i energii elektrycznej z biomasy przy małych zmianach w systemach zasilania paliwem. To atrakcyjna opcja dla ograniczania emisji gazów cieplarnianych poprzez zastąpienie węgla biomasą. Bezpośrednie współspalanie zostało z sukcesem wdrożone dla szerokiego zakresu surowców. Z powodzeniem wdrożono bezpośrednie współspalanie w kotłach pyłowo-węglowych z udziałem 15% biomasy. W kotłach fluidalnych możliwe jest zastosowanie wyższego udziału biomasy. Jednak zasilanie, usuwanie zanieczyszczeń i popiołu stanowią problemy techniczne, które zmniejszają niezawodność i żywotność elektrowni węglowych. Wyższe udziały procentowe biomasy (50-80%) mogą być stosowane we współspalaniu po obróbce wstępnej (np. toryfikacji) i z odpowiednimi zmianami w systemie obsługi. Wyższa zawartość biomasy w procesie współspalania wymaga bardziej wyrafinowanego projektu kotła, kontroli procesu spalania i dostarczania paliwa oraz lepszego

systemu sterowania. Współspalanie biomasy z węglem w elektrowniach węglowych na dużą skalę ma znacznie wyższą sprawność elektryczną konwersji (35-45%) niż dedykowane instalacje na biomasę (zwykle 25-35%).

Współspalanie odpadów stanowi problem zarówno od strony prawnej, jak i wyzwań technicznych. Spalanie odpadów może odbywać się wyłącznie w zakładach działających zgodnie z wymaganiami dyrektywy w sprawie spalania odpadów 2000/76/EC [34].

Zgazowanie biomasy

Zgazowanie jest procesem termochemicznej konwersji biomasy w paliwo gazowe (gaz syntezowy) przez częściowe utlenianie w wysokich temperaturach. Gazyfikacja biomasy jest wciąż w fazie wdrażania i napotyka różnego typu wyzwania techniczne i ekonomiczne.

Dostępnych jest kilka koncepcji gazyfikacji biomasy w zależności od rodzaju biomasy i ciśnienia roboczego. Gaz syntezowy może być używany do ogrzewania i/lub produkcji energii elektrycznej lub do produkcji biopaliw dla transportu, na przykład wodoru, metanolu, DME (eteru dimetylowego), syntetycznego oleju napędowego za pomocą procesu Fischera-Tropscha, biometanu i substancji chemicznych w biorafineriach. Może być on stosowany w gazowych silnikach spalinowych pracujących ze sprawnością elektryczną 22-35%, w turbinach gazowych i parowych w cyklu kombinowanym (o sprawności do 42%) lub w ogniach paliwowych (50-55%). Paliwo gazowe zawiera szereg zanieczyszczeń w zależności od wsadu, a proces gazyfikacji wymaga skomplikowanego systemu oczyszczania gazów w celu zmniejszenia poziomów zanieczyszczeń.

Moc elektryczna typowej instalacji zgazowania biomasy waha się od kilkuset kW (dla instalacji do produkcji ciepła) do 100 kW - 1 MW (dla instalacji CHP z silnikiem gazowym). Obiecującą technologią jest technologia zintegrowanego zgazowania biomasy w cyklu kombinowanym (*Biomass Integrated Gasification Combined Cycle*, BIGCC) przeznaczona do generowania wysokojakościowego gazu w gazogeneratorach ciśnieniowych i jego konwersji na energię w turbinach gazowo-parowych o cyklu mieszanym. Moc BIGCC może sięgać 30-100 MW, a wydajność konwersji elektrycznej - 40-50%. Jest to technologia bardziej skomplikowana i kosztowna, wymagająca dalszego rozwoju. Podobną moc może osiągać technologia zintegrowanej biomasowej turbiny gazowej (*Biomass Integrated Gas Turbine*, BIG--GT). Zgazowanie biomasy w kierunku produkcji wodoru może być obiecującą technologią generacji energii w zintegrowanych systemach ogni w paliwowych IGFC (*Integrated Gasification Fuel Cell*, IGFC). Systemy zgazowania biomasy i ogni w paliwowych (SOFC) lub zintegrowane systemy ogni w paliwowych i zgazowania (IGFC) mogą zaoferować wysokowydajną produkcję energii elektrycznej (50-55%). Jednakże potrzebne są znaczące działania badawczo-wdrożeniowe dla rozwoju, wdrożenia i komercjalizacji tego typu systemów.

Chociaż technologie zgazowania są dostępne na rynku (w szczególności małe generatory gazu i silniki gazowe o mocy 100-500 kW), to niezbędne są dalsze badania, aby osiągnąć dużą skalę komercyjnego wykorzystania. Kluczowe wyzwania techniczne i potrzeby badawcze obejmują

integrację procesów i kontroli, wzbogacanie gazu, elastyczność paliwa, zmniejszenie złożoności i kosztów, poprawę wydajności i efektywności. Krytyczne czynniki zgazowania to niezawodność generatora gazu oraz koszt dostawy biomasy.

Zgazowanie biomasy połączone z oczyszczaniem gazu stanowi część podprogramu EERA dotyczącego procesów termo-chemicznych *Bioenergy JP* [19]. W podprogramie tym stwierdza się, że badania w tym zakresie powinny obejmować optymalizację procesów pod względem wydajności, jakości gazu syntezowego i redukcji kosztów. Niezbędna jest analiza wpływu różnych surowców, parametrów procesów (ciśnienia, temperatury) i katalizatorów. W szczególności prace badawcze powinny dotyczyć inteligentnych kombinacji etapów procesu oczyszczania gazu, nowych koncepcji oczyszczania surowego gazu syntetycznego dla usunięcia lub konwersji smół, pyłów i trujących związków katalizatora (np. związków chloru i siarki), kontroli popiołów w konwencjonalnej gazyfikacji, kontroli i separacji soli w gazyfikacji hydrotermalnej, analizy termodynamiki i modelowania procesów, rozwoju nowych katalizatorów, badań ich deaktywacji (w procesie syntezy i oczyszczania gazu), rozwoju i testowania nowych materiałów (dla stałego i fluidalnego podłoża, katalizatorów, materiałów konstrukcyjnych odpornych na korozję), analizy próbek *on-line* i *off-line* oraz inteligentnego mieszania paliw.

Kogeneracja (CHP) z udziałem biomasy

Układy kogeneracyjne (CHP) to systemy skojarzonego wytwarzania ciepła i energii elektrycznej. Systemy CHP pozwalają wykorzystać ciepło, które w układach stosowanych w rozdzielnym wytwarzaniu energii elektrycznej jest rozpraszane do otoczenia. Wykorzystanie technologii kogeneracji umożliwia obniżenie w istotny sposób zużycia paliw pierwotnych oraz ograniczenie emisji do otoczenia produktów spalania, w tym dwutlenku węgla.

W roku 2004 kraje UE przyjęły dyrektywę 2004/8/EC [35] w sprawie wspierania kogeneracji na podstawie zapotrzebowania na ciepło użytkowe na wewnętrznym rynku energii. Dyrektywa zobowiązuje kraje członkowskie do wspierania wysokosprawnej kogeneracji, tj. skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej i ciepła, które pozwala zaoszczędzić minimum 10% paliwa. W programie pracy tematu *Energia* programu *Horyzont 2020* [15] stwierdza się, że układy CHP posiadają ogromny potencjał generacji ciepła i energii elektrycznej, szczególnie w układach zdecentralizowanych. Biomasa i inne odpadowe surowce odnawialne mają znaczny, nieodkryty potencjał jako źródła energii odnawialnej w zintegrowanych systemach.

Dużym wyzwaniem jest zwiększenie wydajności technologicznej i efektywności wykorzystania zasobów przy jednoczesnym zmniejszeniu wpływu technologii na środowisko. Zadaniem na rok 2016 jest opracowanie efektywnych ekonomicznie, trwałych i niskoemisyjnych (w zakresie CO₂, NO_x i pyłów) systemów przemysłowych CHP na średnią i dużą skalę (>1 MW) charakteryzujących się wysoką efektywnością cieplną i elektryczną, zwiększonym wysokotemperaturowym potencjałem cieplnym (do 600°C) i szerokim zakresem stosowanych paliw biomasowych (stałych, ciekłych i gazowych) oraz surowców odpadowych. Konieczne jest również zwrócenie uwagi na wykorzystanie popiołów i innych odpadów

procesu. Zadaniem na rok 2017 jest rozwój procesów przekształcających energię odnawialną w nośniki energii (*power-to-gas* i/lub *power-to-liquid*) dla zastosowań w sektorze transportu i do magazynowania energii. Poprawa metod magazynowania wzbogaconej biomasy i innych odpadowych surowców odnawialnych będzie elementem uelastycznienia produkcji ciepła i energii elektrycznej, poprawy stabilności sieci energetycznych i zaspokajania potrzeb w sektorze transportu. Możliwe jest zastosowanie w tym celu wodoru, gazu syntezowego lub ciekłych nośników energii odnawialnej otrzymywanych poprzez zgazowanie lub upłynnienie biomasy lub odpadów z wykorzystaniem nadmiaru energii produkowanej w systemach PV lub wiatrowych.

Piroliza

Piroliza jest konwersją biomasy w ciekły bioolej, stałe i gazowe komponenty bez dostępu powietrza, w temperaturze około 450-600°C. Przedmiotem szczególnego zainteresowania jest szybka piroliza (w temperaturze 450-500°C) i z krótkim czasem reakcji (<5 s) do produkcji biooleju. Sprawność konwersji biomasy do biooleju sięga 80%. Bioolej może być stosowany jako surowiec dla zaawansowanych biopaliw oraz przyszłych rafinerii. Piroliza może być również stosowana jako etap obróbki wstępnej w procesie gazyfikacji oraz do produkcji biopaliw.

Istnieje wiele wyzwań technicznych w obszarze wykorzystywania biooleju. Niezbędne są badania prowadzące do poprawy jego jakości. Biooleje muszą być ulepszone przed użyciem jako paliwo. Mogą też być wzbogacane do paliw o wyższej wartości. Technologie pirolizy i wzbogacania bio-olejów nie są dostępne komercyjnie na rynku, chociaż działa już kilka pilotażowych i demonstracyjnych instalacji. Potrzebne są jednak badania procesu konwersji, kontrola składu biooleju zawierającego setki związków, badania stabilności termicznej i niezawodności procesu. Główne wyzwania dotyczą rozwoju nowych technik i katalizatorów do wzbogacania biooleju. Potrzebny jest dalszy rozwój integracji procesów, maksymalizacja wydajności biooleju, maksymalizacja odzysku energii, redukcja emisji ze spalania oleju z pirolizy oraz zwiększenie efektywności kosztowej.

W podprogramie EERA dotyczącym procesów termochemicznych *Bioenergy JP* [19] zdefiniowany został pakiet pracy poświęcony wzbogacaniu biomasy do produkcji stałych i ciekłych nośników energii. Jedną z dwóch priorytetowych (obok torfyfikacji) technologii w tym zakresie jest technologia pirolizy. Prace badawcze w tym zakresie powinny dotyczyć adaptacji warunków pirolizy do zastosowanego rodzaju biomasy i wymagań końcowego nośnika energii. Głównym celem badań powinien być rozwój różnych wariantów procesu (dostarczania ciepła, katalizy, odzysku produktów) i integracja etapów procesu (hydropiroliza, reforming itp.). W odniesieniu do pirolizy, jako technologii wzbogacania biomasy i produkcji nośników energii, wymienia się trzy ścieżki rozwoju:

- wolna piroliza - optymalizacja produkcji nośników energii w postaci stałej (wykorzystanie grubo mielonego surowca, przygotowanie peletów jako nośników energii, wykorzystanie powstałej w procesie pary do produkcji energii elektrycznej i ciepła);

- średnia i szybka piroliza - optymalizacja produkcji nośników energii w postaci ciekłej (wykorzystanie materiału drobno zmielonego, separacja i spalanie na miejscu zwęglonych produktów do produkcji energii elektrycznej i ciepła);
- szybka piroliza - optymalizacja produkcji specyficznych stałych i ciekłych nośników energii (wykorzystanie surowca drobno zmielonego, wytwarzanie stabilnej zawiesiny paliwa przez mieszanie drobno zmielonego zwęglonego materiału i oleju z pirolizy - tzw. *biosyncrude* - połączone ze spalaniem niekondensującego gazu z pirolizy dla pokrycia zapotrzebowania procesu na ciepło).

Fermentacja beztlenowa (anaerobowa)

Fermentacja beztlenowa (*Anaerobic Digestion, AD*) jest konwersją materiału organicznego do biogazu przez działanie bakterii bez dostępu powietrza (w warunkach beztlenowych). Biogaz jest mieszaniną metanu (50-70%) i CO₂ z niewielkimi ilościami innych gazów, np. H₂S. Proces ten szczególnie nadaje się do mokrych surowców, takich jak pozostałości rolnicze, komunalne, przemysłowe i odpady organiczne, osady ściekowe, tłuszcze zwierzęce i pozostałości uboju. Wstępna obróbka odpadów umożliwia wyższą wydajność otrzymywania gazu oraz wykorzystanie nowych surowców (takich jak słoma i inne pozostałości rolne). Fermentacja anaerobowa jest technologią komercyjną i odpowiednią dla wielu surowców biomasowych. Jednak opłacalność technologii zależy od dostępności taniego surowca lub odpadów. Kilka technologii wzbogacania biogazu działa komercyjnie, na przykład wodna/chemiczna absorpcja i adsorpcja zmiennociśnieniowej (*Pressure Swing Adsorption, PSA*). Nowe systemy wykorzystujące membrany i kriogeniki są na etapie wdrażania. Szacuje się, że koszt inwestycyjny mocy elektrycznej biogazowni z silnikiem gazowym lub turbiną kształtuje się od 2500 do 5000 euro/kW. Moc elektryczna biogazowni z kogeneracją może wahać się od poniżej 250 kW do powyżej 2,5 MW przy sprawności konwersji energii elektrycznej pomiędzy 32% a 45%.

Główne wyzwania technologii fermentacji beztlenowej dotyczą wymagań w zakresie czystości gazu, infrastruktury, dostarczania i standaryzacji jakości gazu. Dla rozwoju technologii konieczne jest zwiększenie wydajności i efektywności kosztowej, powiększenie podstawy surowcowej, poprawa biodegradacji, optymalizacja konwersji, poprawa projektowania i integracja procesów. Niezbędne są dalsze badania nad metodami przetwarzania trudnych do degradacji surowców i rozwój nowych technik, enzymów i substratów, takich jak mikro- i makroalgi słodkowodne i morskie. Fermentacja beztlenowa i wzbogacanie biogazu mogą być zintegrowane z nowymi koncepcjami biorafinerii.

Toryfikacja

Toryfikacja jest procesem wzbogacania termiczno-chemicznego biomasy składającego się z ogrzewania biomasy (zwykle w zakresie temperatur od 240°C do 320°C, pod ciśnieniem bliskim atmosferycznemu), bez obecności tlenu powodującego uwalnianie wody i związków lotnych. Produktem procesu toryfikacji jest wyższej jakości surowiec stały (*bio-char*) o wysokiej gęstości energii i bardziej jednorodnym składzie. Zastosowanie toryfikacji obniża

koszty obsługi, przechowywania i transportu. Toryfikowana biomasa może być stosowana w małych i dużych aplikacjach, a także - w większych ilościach - we współpalaniu z węglem. Toryfikowana biomasa jako paliwo towarowe może otworzyć nowe rynki i przepływy handlowe oraz zwiększyć bazę surowcową. Wadą jest to, że procesy toryfikacji i peletowania powodują straty surowca i wzrost kosztów.

Obecnie istnieją różne technologie toryfikacji, obejmujące różne typy reaktorów (w tym opartych na bębnie obrotowym, łożu ruchomym, ślimakowym i z wielokrotnym paleniskiem). Najbardziej zaawansowane technologie są na etapie pilotażowych wdrożeń. Nie istnieją komercyjne instalacje toryfikacji, ale pierwsze projekty demonstracyjne są już wdrażane. Konieczne jest dalsze rozwijanie technologii toryfikacji dla przezwyciężenia istniejących problemów technicznych i handlowych. W standardowym produkcie toryfikacji muszą być zdefiniowane dodatkowe właściwości paliwa (np. stopień toryfikacji, ścieralność, właściwości hydrofobowe, odporność na biodegradację). Do oceny wyników końcowych potrzebny jest rozwój i standaryzacja dedykowanych metod analizy i testowania.

W podprogramie EERA dotyczącym procesów termochemicznych *Bioenergy JP* [19], w pakiecie pracy poświęconym wzbogacaniu biomasy do produkcji stałych i ciekłych nośników energii, jedną z dwóch wymienionych technologii (obok pirolizy) jest technologia toryfikacji. Według programu prace badawcze w tym zakresie powinny dotyczyć optymalizacji warunków toryfikacji w celu produkcji nośników energii dla różnych użytkowników końcowych. Badania powinny przynieść nową wiedzę w zakresie modelowania cząstek, a także pomóc w rozwoju innowacyjnych strategii przygotowania paliwa, umożliwiających wykorzystanie «trudnych» surowców, takich jak odpady rolnicze.

Konwersja energetyczna odpadów

Dostępnych jest kilka technologii konwersji energetycznej odpadów, w tym przetwarzanie termiczne (spalanie, zgazowanie i piroliza) i biologiczne (fermentacja tlenowa i beztlenowa). Odzysk energii z odpadów wymaga kilku kroków, w tym obróbki wstępnej, konwersji odpadów i energii.

Spalanie odpadów komunalnych jest technologią komercyjną, skutecznie ograniczającą emisje. Główne wyzwania w zakresie spalania odpadów związane są z różnorodnym charakterem odpadów, niską wartością opałową (*Lower Heating Value, LHV*) i wysokim ryzykiem korozji w kotłach. Odpady komunalne (*Municipal Solid Waste, MSW*) charakteryzują się wysoką zawartością wilgoci, co powoduje, że dobrą opcją jest odzysk energii poprzez fermentację beztlenową. Poprawa odzysku ciepła i zwiększenie sprawności elektrycznej są niezbędne dla dalszego rozwoju technologii.

Zgazowanie odpadów wraz z oczyszczaniem gazów odlotowych umożliwia wytwarzanie energii z podwyższoną efektywnością - w cyklu kombinowanym lub z reformowaniem gazu syntezowego.

Zgazowanie odpadów jest obiecującym rozwiązaniem dla produkcji energii elektrycznej i ciepła, a także produkcji zaawansowanych paliw (m.in. poprzez wzbogacanie gazu syntezowego, syntezy Fischera-Tropscha, syntezy metanolu, ekstrakcji wodoru).

Instalacje przetwarzania odpadów na energię stanowią ważny element w bilansie dostaw energii. W roku 2010 instalacje typu *waste-to-energy* miały znaczący wkład w produkcję energii (95 TWh z 452 instalacji w Europie). Typowa sprawność przemiany energii w spalarniach przetwarzających odpady w energię waha się pomiędzy 20% a 25% dla energii elektrycznej i 10-15% sprawności elektrycznej dla systemów kogeneracyjnych. Oczekuje się, że nowe elektrociepłownie wykorzystujące odpady komunalne osiągną sprawność elektryczną 25-30% i sprawność całkowitą 85-90%.

Wśród tematów przekrojowych programu *Horyzont 2020* [17] znalazł się temat poświęcony wykorzystaniu potencjału organicznych odpadów komunalnych poprzez lokalne biorafinerie, które mogą wykorzystywać odpady z pobliskich zakładów przemysłowych i składowisk komunalnych. Zadaniem dla przyszłych projektów jest stworzenie katalogu sprawdzonych innowacyjnych rozwiązań gromadzenia, przetwarzania i wykorzystania organicznych odpadów, osadów i ścieków komunalnych. Konieczne jest zidentyfikowanie barier technologicznych i prawnych utrudniających korzystanie z odpadów ulegających biodegradacji.

Wykorzystanie gazu składowiskowego

Wysypiska śmieci są specyficznym źródłem gazu bogatego w metan. Emisja CH_4 ze składowisk komunalnych (*Municipal Solid Wastes*, MSW) waha się od 50 do 100 kg/t. Składowiska odpadów mogą produkować gaz w ciągu 20-25 lat swojego życia. Odbieranie tego gazu może znacznie przyczynić się do zmniejszenia emisji CH_4 , a po oczyszczeniu, zapewnić paliwo do ogrzewania i/lub produkcji energii elektrycznej. Zdolność pozyskania gazu składowiskowego z instalacji waha się w zależności od wielkości wysypiska od kilkudziesięciu kW do 4-6 MW, a efektywność konwersji do energii elektrycznej wynosi 25-35%.

Gaz wysypiskowy miał znaczny udział w produkcji biogazu w UE i stanowił około 37 TWh z 117 TWh w 2011 roku. Jednakże, ze względu na wymagania dotyczące minimalizowania składowania odpadów organicznych i zwiększenia poziomu ich ponownego wykorzystania, recyklingu i odzysku energii (dyrektywa w sprawie składowania odpadów 1999/31/EC [36]), oczekuje się stopniowego zmniejszenia ilości gazu wysypiskowego w UE.

Wodór z biomasy

Wodór może być stosowany do zasilania pojazdów lub do produkcji ciepła i energii elektrycznej za pomocą ogniw paliwowych, silników i turbin. Istnieje wiele metod produkcji wodoru, w tym termiczno-chemiczna, elektrolityczna, przy pomocy foto-lizy, procesów biologicznych - wszystkie na różnych poziomach rozwoju i jeszcze ekonomicznie nieopłacalne. Procesy produkcji wodoru to zgazowanie, piroliza i fotoliza biologiczna. Metody

biologiczne oparte są na mikroorganizmach, takich jak zielone glony jednokomórkowe, sinice i bakterie zdolne do przeprowadzenia procesu fermentacji w ciemności. Metody fotobiologiczne są na bardzo wczesnym etapie rozwoju i na razie cechują się niską wydajnością konwersji. Potrzebne jest lepsze zrozumienie enzymatycznych ścieżek powstawania wodoru. Niezbędne są też badania w celu identyfikacji większej liczby enzymów tolerujących tlen i nowych szczepów bakterii produkujących wodór. Istnieje zapotrzebowanie na znaczną poprawę wydajności konwersji, trwałości i zmniejszenie kosztów kapitałowych. Szczególnie potrzebne są dalsze badania separacji gazu wodorowego i jego oczyszczania - rozwój katalizatorów, materiałów adsorpcyjnych i membran do separacji gazu. Możliwości magazynowania wodoru obejmują sprężony gaz, ciecze (kriogeniczne, borowodorki, płyny organiczne) i składowanie w postaci stałej (nanorurki, nanowłókna, zeolity i wodororki). Rozwój technologii magazynowania wodoru wymaga nakładów na badania nad nowymi materiałami, adsorpcją i desorpcją. Główne wyzwania odnoszą się do kwestii bezpieczeństwa i rozwoju infrastruktury wodorowej. Magazynowanie wodoru w postaci gazowej i ciekłej jest komercyjnie dostępne na rynku, ale nie jest opłacalne. Magazynowanie w postaci stałej jest na bardzo wczesnym etapie rozwoju.

Biorafinerie

Kluczowym czynnikiem w procesie przechodzenia do gospodarki opartej na biosurowcach będzie rozwój biorafinerii pozwalających na bardzo wydajny i opłacalny sposób przetwarzania biomasy w szeroki zakres bioproduktów (chemikaliów, materiałów, żywności i paszy) i bioenergii (biopaliwa, biogazu, ciepła i/lub energii elektrycznej) za pomocą procesów termicznych, biologicznych i chemicznych. Biorafinerie pozwalają na bardziej zrównoważone i efektywne wykorzystanie zasobów biomasy. Stan rozwoju biorafinerii waha się od koncepcyjnego do demonstracji na dużą skalę, z naciskiem na chemikalia/surowce lub biopaliwa jako główne produkty. Obecnie rozważane są różne konfiguracje biorafinerii z identyfikacją różnych produktów i rozwiązań. Biorafinerie często opierają się na koncepcji kaskadowego użytkowania, gdzie produkty najwyższej wartości są pobierane w pierwszej kolejności, a bioenergia i biopaliwa są produktami końcowymi. Wdrożenie nowych koncepcji biorafinerii będzie zależeć od dojrzałości technicznej wielu procesów produkcji biomateriałów, biochemikaliów i energii. Głównym kierunkiem rozwoju biorafinerii jest efektywna kosztowo produkcja zaawansowanych biopaliw lignocelulozowych (lignocelulozowy etanol, Fischer-Tropsch diesel itd.). Rozwój biorafinerii będzie wymagać także prac badawczych w zakresie poszukiwania nowych biosurowców (nowych gatunków roślin, np. morskich, lub nowych metod upraw), nowych dróg przetwarzania surowców (np. kombinacji procesów termochemicznych i biochemicznych) oraz identyfikacji najbardziej obiecujących bioproduktów.

Biopaliwa pierwszej generacji

Najczęściej wykorzystywanymi w transporcie biopaliwami są bioetanol (produkowany z cukrów i uprawianych zbóż) oraz biodiesel. W bardziej ograniczonym zakresie stosowane są również inne biopaliwa, na przykład czysty olej roślinny i biogaz. Stosowanie biopaliw w transporcie jest promowane jako sposób przeciwdziałania zmianom klimatycznym,

dywersyfikacji źródeł energii i bezpiecznych dostaw energii. Ponadto biopaliwa są traktowane jako opcja pozwalająca przyczynić się do zmniejszenia uzależnienia od importu ropy i oleju, rozwoju rolnictwa i ograniczenia emisji gazów cieplarnianych.

Mimo że produkcja biopaliw oferuje nowe opcje korzystania z upraw rolnych, istnieją ważne kwestie środowiskowe, społeczne i gospodarcze związane z produkcją biopaliw. Różnorodność surowców, duża liczba ścieżek produkcji biopaliw i ich złożoność prowadzą do dużej niepewności w zakresie redukcji emisji gazów cieplarnianych z biopaliw w porównaniu z paliwami kopalnymi. Dodatkowa niepewność występuje, jeśli rozważyć skutki pośrednie, takie jak pośrednia zmiana wykorzystania terenów rolniczych (*Indirect Land Use Change, ILUC*), wpływ na żywność i pasze, lokalne zaopatrzenia w energię i biomateriały. Przyszłość rozwoju biopaliw zależy w dużym stopniu od wsparcia polityki i technologii poprawy nowych obiecujących opcji, na przykład biomasy lignocelulozowej lub biomasy wodnej.

Pierwsza generacja (konwencjonalnie wytwarzanie) biopaliw obejmuje biopaliwa wytwarzane z roślin jadalnych, takich jak cukier, skrobia i oleje roślinne. Bioetanol wytwarzany jest z szerokiej gamy surowców - głównie z cukru trzcinowego (Brazylia), pszenicy i buraków cukrowych (UE) oraz z kukurydzy (USA). Rośliny te są uprawiane na terenach rolniczych, które mogą być używane do produkcji żywności i pasz. Produkcja biopaliw pierwszej generacji z roślin zawierających skrobię, cukier i upraw roślin oleistych jest dobrze rozwiniętą, dojrzałą komercyjnie technologią.

Wydajność produkcji bioetanolu w UE jest rzędu 42-84 GJ (1-2 toe) etanolu/ha dla zbóż jako surowca i 84-126 GJ (2-3 toe) etanolu/ha dla buraków cukrowych. Jednak jednym z głównych problemów w produkcji bioetanolu jest dostępność surowców. Dostępność ta może się znacznie różnić w zależności od sezonu i od lokalizacji geograficznej. Dlatego też rośliny stosowane do wytwarzania bioetanolu powinny być dobierane w zależności od rodzaju gleby oraz warunków klimatycznych.

Produkcja biodiesla z oleju i tłuszczów roślinnych jest oparta na stosunkowo prostej i dojrzałej rynkowo technologii - trans-estryfikacji. Surowcem może być olej roślinny pochodzący z roślin oleistych (np. rzepakowy, słonecznikowy, sojowy, palmowy), olej (np. ze smażenia w oleju) lub tłuszcz zwierzęcy.

Głównym surowcem do produkcji biodiesla w UE jest rzepak, w USA i Brazylii - soja, a w Malezji i Indonezji - olej palmowy. Wydajność biodiesla z powierzchni ziemi uprawnej z różnych roślin oleistych w UE wynosi 33-50 GJ (0,8-1,2 toe) biodiesla/ha, podczas gdy olej palmowy daje około 160-170 GJ (3,8-4 toe) biodiesla/ha.

Limity dodawania biopaliw w UE są ustalone zgodnie z tradycyjnymi normami paliw mającymi na celu zapewnienie zgodności napędów i infrastruktury tankowania.

Biogaz wzbogacony do jakości gazu ziemnego, tj. syntetyczny gaz ziemny (*Synthetic Natural Gas, SNG*) lub biometan produkowany przy pomocy technologii AD może również być

stosowany jako biopaliwo do zmodyfikowanych silników gazowych. Jednakże niezbędne jest dodatkowe czyszczenie i wzbogacenie biogazu.

Wiele nowoczesnych technologii wzbogacania działa komercyjnie, np. absorpcja i adsorpcja zmiennociśnieniowa (*Pressure Swing Adsorption*, PSA). Nowe systemy wykorzystujące membrany i kriogeniki są na etapie wdrażania. Biogaz jest obecnie używany głównie do produkcji ciepła i energii elektrycznej, a tylko niewielka część jest stosowana jako paliwo dla transportu. Przyszłość wykorzystania biogazu w transporcie będzie zależeć od wsparcia politycznego.

Głównym czynnikiem kosztu konwencjonalnych biopaliw jest surowiec, który stanowi 45-70% całkowitych kosztów produkcji, a głównym czynnikiem dla zaawansowanych biopaliw są koszty kapitałowe (35-50%), a następnie surowiec. W dłuższej perspektywie zmienność cen surowców będzie bardziej niekorzystna dla biopaliw tradycyjnych niż dla zaawansowanych biopaliw. Chociaż koszt produkcji biopaliw może spaść jako efekt skali i wzrostu efektywności, to ceny ropy mogą mieć wpływ na koszty surowców i produkcji biopaliw. Aby stanowić konkurencję w stosunku do paliw kopalnych, koszty produkcji biopaliw muszą spaść poniżej ceny ekwiwalentu ropy naftowej.

Innym kluczowym czynnikiem, który może wpłynąć na rentowność biopaliw, jest alternatywne wykorzystanie surowca (żywności, pasz itp.). Koszty produkcji etanolu i biodiesla pozostają obecnie wyższe niż benzyny i oleju napędowego, z wyłączeniem bioetanolu z trzciny cukrowej w Brazylii, gdzie koszt jest niższy. Jednak jest mało prawdopodobne, aby niski koszt produkcji etanolu z trzciny cukrowej w Brazylii mógł być replikowany w innych krajach, ze względu na niższe plony oraz wyższe koszty i popyt przekraczający podaż.

Ceny etanolu i biodiesla u producentów w UE w 2012 roku wynosiły odpowiednio 109 euro/MWh i 95 euro/MWh. Koszty inwestycyjne instalacji bioetanolu w UE stanowią około 640-2200 euro za kW transportu paliwa (kWtrans). Koszty inwestycyjne dla instalacji biodiesla wynoszą około 210-860 euro/kWtrans.

Mimo dużej dojrzałości komercyjnej biopaliw pierwszej generacji, w komunikacie Komisji Europejskiej COM(2014) 15 [37] stwierdzono, że z dotychczasowych doświadczeń wynika, że biopaliwa pierwszej generacji mają ograniczoną rolę w dekarbonizacji sektora transportu oraz że biopaliwa na bazie surowców konkurencyjnych dla żywności nie powinny otrzymać wsparcia publicznego po 2020 roku.

W ogłoszonym na lata 2016-2017 programie pracy tematu *Energia* programu *Horyzont 2020* [15] zamieszczonych jest szereg zadań badawczych w zakresie biopaliw, ale wielokrotnie podkreśla się, że biopaliwa produkowane ze skrobi, cukru i frakcji olejów upraw przeznaczanych do produkcji żywności i paszy są wyłączone z rozważań.

Biopaliwa drugiej generacji

Biopaliwa drugiej generacji to wszelkiego rodzaju biopaliwa lignocelulozowe otrzymywane z materiałów niebędących konkurencją dla produkcji żywności i upraw rolniczych, a więc z materiałów pochodzenia drzewnego, słomy i innych odpadów produkcji rolnej, a także z organicznych odpadów komunalnych. Biopaliwa drugiej generacji nie mają związku z produkcją żywności i w związku z tym nie pociągają za sobą problemów charakterystycznych dla biopaliw pierwszej generacji.

Przetwarzanie surowców lignocelulozowych jest bardziej skomplikowane niż przetwarzanie surowców na bazie cukru i skrobi. Technologie dostępne dla biopaliw lignocelulozowych obejmują biochemiczną enzymatyczną hydrolizę i termochemiczne procesy przekształcania biomasy w ciecz (*Biomass-to-Liquid*, BTL). W procesach biochemicznych z pomocą enzymów i innych mikroorganizmów dokonywana jest konwersja celulozy i hemicelulozy do cukrów, a następnie przeprowadza się fermentację w celu produkcji etanolu.

Procesy termochemiczne są oparte na wysokotemperaturowej obróbce cieplnej (na przykład pirolizie w atmosferze obojętnej lub zgazowywaniu w obecności środka utleniającego w ilości niższej niż stechiometryczna) w celu maksymalizacji wytwarzania ciekłego produktu (substancji smolistych) oraz gazu syntezowego, które mogą być również przekształcone w ciekłe lub gazowe paliwa syntetyczne, takie jak olej diesla Fischera--Tropscha, biometan (SNG) i biometanol.

W komunikacie Komisji Europejskiej COM(2014) 15 [37] stwierdzono, że druga generacja biopaliw (obok trzeciej generacji i innych zrównoważonych paliw alternatywnych) powinna znaleźć się w centrum polityki rozwoju sektora transportu. Wskazano ponadto, co powinno być wzięte pod uwagę przy następnych zmianach legislacyjnych UE dla okresu po roku 2020. Priorytetem badawczym w zakresie biopaliw jest rozwój nowych technologii o wysokiej wydajności. Konieczne są dalsze badania w celu poprawy sprawności procesów konwersji, integracji systemów, efektywności kosztowej i elastyczności wykorzystania różnych surowców. Rozwój technologii biopaliw musi uwzględniać aspekty środowiskowe (redukcja emisji gazów cieplarnianych), ekonomiczne i społeczne (zdrowie i bezpieczeństwo). Rozwój koncepcji biorafinerii, produkcji różnych produktów końcowych o wysokiej wartości może znacząco poprawić konkurencyjność produkcji bioenergii i biopaliw.

Istnieje pilna potrzeba poprawy niezawodności i wydajności procesów i zwiększenia skali technologii bioenergii do skali przemysłowej. Rozwój kilku demonstracyjnych lub flagowych instalacji do biopaliw drugiej generacji ma kluczowe znaczenie dla rozwoju procesu, powiększenia skali technologii i walidacji realizacji technicznych i ekonomicznych. Wiele wskazań zawartych jest w propozycjach działań EIBI, mających doprowadzić do komercyjnego wykorzystania na dużą skalę najbardziej obiecujących technologii bioenergii. Istnieje potrzeba, między innymi, powiększenia bazy surowcowej w celu opracowania nowych surowców (SRF/SRC, traw energetycznych, biomasy wodnej itp.) o wysokiej wydajności, zwiększonej zawartości oleju i cukru, o szybkim wzroście i niskim koszcie, poprawy

dostępności biomasy i zmniejszenia kosztów oraz zmniejszenia konkurencji z rynkiem żywności, pasz i włókienniczym.

Konieczne są dalsze wysiłki w celu opracowania sprawnych łańcuchów dostaw i logistyki biomasy. Ulepszone w różnych skalach wysiłki badawczo-wdrożeniowe powinny być ukierunkowane na całe zintegrowane łańcuchy dostaw biomasy, w tym skuteczne i zrównoważone uprawy, zbiory, obróbkę wstępną, logistykę, konwersję i wykorzystanie produktów ubocznych.

W programie pracy tematu *Energia* programu *Horyzont 2020* [15] znalazły się zadania badawcze ukierunkowane na rozwój nowych generacji biopaliw i ich szybszego komercyjnego wdrażania. W ramach tych zadań przewiduje się wsparcie dla projektów obejmujących badania nad biopaliwami parafinowymi (np. olej napędowy - diesel i paliwa do silników odrzutowych) otrzymywanymi metodami chemicznymi i biochemicznymi lub poprzez kombinację tych metod, biopaliwami produkowanymi metodą pirolizy lub przy pomocy hydrotermalnych procesów upłynniania (*Hydrothermal Liquefaction*, HTL) zintegrowanymi z istniejącymi rafineriami biodiesla lub ropy naftowej, a także biopaliwami syntetycznymi/węglowodorami otrzymywanymi metodą gazyfikacji. W zakresie biopaliw drugiej generacji przewidziano finansowanie badań procesów wytwarzania biopaliw z CO₂ znajdującego się w przemysłowych gazach odlotowych -metodą konwersji biochemicznej przez mikroorganizmy autotroficzne (chemo- i fotoautotrofy) oraz biopaliw z frakcji organicznej odpadów miejskich i przemysłowych metodą termochemiczną, chemiczną lub biochemiczną.

W zadaniu kładącym większy nacisk na działania wdrożeniowe przewiduje się finansowanie projektów w zakresie zgazowania biomasy do gazu syntezowego, pirolizy i toryfikacji biomasy w kierunku otrzymywania pośrednich nośników energii (olej pirolityczny i biomasa toryfikowana) oraz biochemicznej konwersji cukrów biomasy lignocelulozowej do węglowodorów o zastosowaniu w silnikach Diesla i lotniczych. Finansowane będą projekty obejmujące biopaliwa pochodzące z przemysłowych gazów odlotowych otrzymywane drogą biochemicznej i biologicznej konwersji, biopaliwa pochodzące z biomasy wodnej oraz biopaliwa płynne z odpadów i pozostałości (leśnych, rolniczych, frakcji organicznych odpadów komunalnych i przemysłowych). Jako kryterium kwalifikowalności projektów przyjmuje się sformułowany w Planie Implementacji EIBI [29] warunek minimalnej zawartości bioenergii: co najmniej 70% bioproduktów produkowanych w instalacjach powinno stanowić produkt bioenergetyczny (biopaliwa, ciepło, energia) obliczany na bazie zawartości energii w sprzedawanych produktach.

We wspomnianym programie pracy przewidziano wsparcie dla przedkomercyjnych działań w zakresie produkcji zaawansowanych biopaliw dla lotnictwa. Przewiduje się wspieranie skoordynowanej współpracy z Brazylią w zakresie zaawansowanych biopaliw lignocelulozowych. Przewidziano także finansowanie projektów dotyczących zgazowania wytlóków z trzciny cukrowej do gazu syntezowego w kierunku zaawansowanej produkcji paliw płynnych, badań stosowanych w zakresie logistyki produkcji biomasy oraz dywersyfikacji surowców dla zaawansowanych biopaliw, badań w zakresie rozwoju nowych technologii fermentacji i

separacji dla zaawansowanych biopaliw ciekłych, a także badań stosowanych w celu zwiększenia efektywności energetycznej zaawansowanych procesów biopaliw.

Biopaliwa trzeciej generacji

Trzecia generacja biopaliw to biopaliwa otrzymywane z alg (glonów). Glony mogą być uprawiane na gruntach nieprodukcyjnych (tj. zdegradowanych, nieornych), które nie nadają się do wykorzystania w rolnictwie lub w słonej wodzie, soli i ściekach z oczyszczalni ścieków. Glony mogą być też produkowane w otwartych oczkach wodnych, stawach, zamkniętych fotobiore-aktorach, zamkniętych systemach fermentorów i morskich systemach makroalg. Potencjalna produkcja oleju (w l/ha) z glonów jest znacznie wyższa niż z roślin oleistych. Wydajność fotosyntezy alg wynosi 6%, podczas gdy wydajność innych rodzajów biomasy - 3 - 4%. Teoretycznie algi mogą wytwarzać do 50 000 litrów biodiesla/ha/rok. Uważa się, że wysoka wydajność w otwartych stawach jest w zakresie 15-30 g/dzień/m² powierzchni stawu. Jednocześnie ocenia się, że algi mogą pochłaniać 1,7 tony CO₂ na tonę mikroalg.

Glony w biorafinerii mogą produkować biodiesel, bioetanol i biometan, a także cenne produkty uboczne, w tym oleje, białka i węglowodany. Produkcja biopaliw z alg jest obecnie na etapie badawczo-wdrożeniowym, a pilotażowe instalacje są uruchamiane na całym świecie. Istnieją wyzwania techniczne oraz potrzeba innowacji i postępu technicznego na wszystkich etapach produkcji biopaliw z alg. Konieczne są dalsze wysiłki w celu opracowania optymalnych szczepów alg o szybkim tempie wzrostu i/lub łatwych w uprawie i o wydajnej ekstrakcji oleju. W Strategicznej Agendzie Badawczej EBTB [27], w rozdziale poświęconym biopaliwom z alg, jako najważniejsze zadania badawcze w tym zakresie wymienia się rozwój efektywnych zintegrowanych metod uprawy, zbiorów, logistyki, procesów konwersji i wykorzystania produktów ubocznych (podobnie jak w przypadku biorafinerii). Niezbędna jest ocena zalet i wad systemów otwartych (stawów) i systemów pracujących w zamkniętej pętli bioreaktora. Oprócz tego potrzebna jest szersza identyfikacja szczepów glonów, gdyż wiedza o dotychczas sklasyfikowanych 30000-40000 gatunkach glonów jest bardzo niewielka. Ponadto niezbędna jest optymalizacja szczepów w kierunku zwiększenia wydajności produkcji, ale również w kierunku zwiększonej tolerancji zanieczyszczeń. Pożądane jest także zwiększanie skali produkcji biopaliw z alg. W sferze problemów społeczno-środowiskowych związanych z trzecią generacją biopaliw potrzebna jest ocena korzyści i zagrożeń związanych z GMO, potencjalnego jej wpływu na różnorodność biologiczną i ogólną akceptowalność społeczną.

W programie pracy tematu *Energia* programu *Horyzont 2020* [15] zamieszczone zostały zadania badawcze ukierunkowane na rozwój trzeciej generacji biopaliw. Między innymi przewiduje się wsparcie dla badań procesów wytwarzania biopaliw z fototropicznych alg i bakterii.

Badania w zakresie trzeciej generacji biopaliw są mocno wspierane przez Europejskie Stowarzyszenie Przemysłowe Biomasy EUBIA. Rozwój technologii opartych na makro- i mikroalgach uznany został za jeden z kluczowych kierunków rozwoju bioenergetyki [38].

Produkcja biopaliw z mikro- i makroalg jest również tematem jednego z głównych podprogramów EERA *Bioenergy JP*. W zakresie makroalg program wspiera rozwój technologii wzbogacania surowca, upraw, zbiorów i konwersji biochemicznej oraz aspektów ekologicznych połączonych z analizą cyklu życia. W obszarze produkcji biopaliw z mikroalg priorytetem programu jest wzrost efektywności produkcji alg i konwersji biomasy w nośniki energii. Oparte na algach biorafinerie mogą integrować różne technologie konwersji dla produkcji biodiesla, zielonego diesla, zielonej benzyny, paliwa lotniczego, etanolu, metanu i wodoru, a także wartościowych produktów, takich jak tłuszcze, wielonienasycone kwasy tłuszczowe, oleje naturalne, barwniki, cukry, pigmenty (beta-karoten i astaksantyny) oraz przeciwutleniacze.

Koszt produkcji energii z alg pozostaje zbyt wysoki, aby być konkurencyjny dla produkcji energii z biomasy drzewnej lub olejowych upraw, przede wszystkim ze względu na wysokie koszty dostarczanej energii niezbędnej w procesie uprawy. Działalność badawcza powinna być więc ukierunkowana na opracowania nowych, tańszych technologii - o mniejszym zużyciu energii i niższych kosztach eksploatacji, lepszym wykorzystaniu oleju z alg o zróżnicowanej wartości (np. w postaci bionawozów, biochemikaliów itp.).

Podsumowanie

Jak wynika z przedstawionej analizy, bioenergia spełnia w Europie kluczową rolę w bilansie energii ze źródeł odnawialnych. Przewidywany do 2050 roku 3-5-krotny wzrost potencjału wytwórczego energii z biomasy wskazuje, że bioenergia spełniać będzie ogromną rolę również w przewidywalnej przyszłości. Warunkiem tego jest jednak zapewnienie dostępności biomasy, stały rozwój technologii bioenergetycznych (szczególnie wzrost sprawności konwersji), obniżanie kosztów całego łańcucha wytwórczego (od wytworzenia surowca, jego transportu, procesów konwersji i wykorzystania produktów procesu) i minimalizacja wpływu technologii na środowisko.

Każda z przedstawionych technologii bioenergetycznych charakteryzuje się innym stopniem dojrzałości. Część z nich to technologie dojrzałe komercyjnie (jak spalanie i współspalanie biomasy z węglem). Technologie takie jak trzecia generacja produkcji biopaliw czy metody fotobiologiczne produkcji wodoru z biomasy są na wczesnym etapie rozwoju. Jednakże we wszystkich przypadkach istnieją zagadnienia jeszcze nierozwiązane, które mogą i powinny stać się przedmiotem badań. Zestawienie stanu dojrzałości i problemów badawczych dla poszczególnych technologii zostało przedstawione w tabeli 1.

Zainteresowanie rozwojem technologii bioenergetycznych znajduje odzwierciedlenie w wielu pojawiających się w Europie inicjatywach - zarówno oddolnych, jak i inspirowanych przez Komisję Europejską. Ważną rolę w tym zakresie spełnia SET-Plan, który tworzy główne założenia polityki energetycznej UE w perspektywie lat 2020-2050. SET-Plan jest punktem odniesienia dla większości stowarzyszeń, platform i inicjatyw aktywnych w obszarze bioenergetyki. Duży nacisk w tym zakresie kładziony jest na konkretne wdrożenia przemysłowe nowych rozwiązań technologicznych, co znalazło wyraz w powołanych Europejskich Inicjatywach Przemysłowych.

Tabela 1 Stan dojrzałości i problemy badawcze technologii bioenergetycznych

Technologia	Stan dojrzałości	Problemy badawcze
Spalanie biomasy	dojrzałe systemy i procesy bezpośredniego spalania w kotłach i turbinach parowych do produkcji ciepła, energii elektrycznej lub w systemach kogeneracyjnych	<ul style="list-style-type: none"> • rozwój niskoemisyjnych systemów pieców i kotłów • rozwój silników Stirlinga (10-100 kW) oraz systemów silników opartych na organicznym cyklu Rankina dla systemów CHP
Współspalanie biomasy z węglem	bezpośrednie współspalanie zostało z sukcesem wdrożone dla szerokiego zakresu surowców	<ul style="list-style-type: none"> • zasilanie, usuwanie zanieczyszczeń i popiołu • wyższe udziały procentowe biomasy (50-80%) • bardziej wyrafinowane projekty kotła, kontrola procesu spalania i dostarczania paliwa oraz lepszy system sterowania • współspalanie odpadów
Zgazowanie biomasy	w fazie wdrażania i napotyka różnego typu wyzwania techniczne i ekonomiczne	<ul style="list-style-type: none"> • integracja procesów i systemów kontroli • analiza wpływu różnych surowców, parametrów procesów (ciśnienia, temperatury) • rozwój nowych katalizatorów • oczyszczanie i wzbogacanie gazu • elastyczność paliwa • zmniejszenie złożoności i redukcja kosztów • poprawa jakości gazu syntezowego • poprawa wydajności i efektywności • poprawa niezawodność generatora gazu
Kogeneracja	w fazie wdrażania i napotyka różnego typu wyzwania techniczne i ekonomiczne	<ul style="list-style-type: none"> • zwiększenie wydajności technologicznej i efektywności wykorzystania zasobów • zmniejszenie wpływu technologii na środowisko • opracowanie efektywnych ekonomicznie, trwałych i niskoemisyjnych systemów przemysłowych CHP na średnią i dużą skalę charakteryzujących się wysoką efektywnością cieplną i elektryczną, zwiększonym wysokotemperaturowym potencjałem cieplnym • szeroki zakres stosowania paliw biomasowych (stałych, ciekłych i gazowych) oraz surowców odpadowych • wykorzystanie popiołów i innych odpadów procesu • poprawa metod magazynowania wzbogaconej biomasy i innych odpadowych surowców odnawialnych

Piroliza	technologie pirolizy i wzbogacania bioolejów nie są dostępne komercyjnie na rynku, chociaż działa już kilka pilotażowych i demonstracyjnych instalacji	<ul style="list-style-type: none"> • badania procesu konwersji, kontrola składu biooleju • badania stabilności termicznej i niezawodności procesu • rozwój nowych technik i katalizatorów do wzbogacania biooleju • integracja procesów • maksymalizacja wydajności biooleju, maksymalizacja odzysku energii • redukcja emisji ze spalania oleju z pirolizy • zwiększenie efektywności kosztowej
Fermentacja beztlenowa	technologia komercyjna i odpowiednia dla szeregu surowców biomasowych	<ul style="list-style-type: none"> • wymagania w zakresie czystości gazu, infrastruktury, dostarczania i standaryzacji jakości gazu • zwiększenie wydajności i efektywności kosztowej • powiększenie podstawy surowcowej • poprawa biodegradacji, optymalizacja konwersji • poprawa projektowania i integracja procesów • przetwarzanie trudnych do degradacji surowców i rozwój nowych technik, enzymów i substratów • włączenie do nowych koncepcji biorafinerii
Toryfikacja	nie istnieją komercyjne instalacje toryfikacji; najbardziej zaawansowane technologie są na etapie pilotażowych wdrożeń	<ul style="list-style-type: none"> • zdefiniowanie dodatkowych właściwości paliwa (np. stopień toryfikacji, ścieralność, właściwości hydrofobowe, odporność na biodegradację) • rozwój i standaryzacja dedykowanych metod analizy i testowania • optymalizacja warunków toryfikacji w celu produkcji nośników energii dla różnych użytkowników końcowych • modelowanie cząstek • rozwój innowacyjnych strategii przygotowania paliwa umożliwiających wykorzystanie „trudnych” surowców, takich jak odpady rolnicze
Konwersja energetyczna odpadów	spalanie odpadów komunalnych jest technologią komercyjną, skutecznie ograniczającą emisje	<ul style="list-style-type: none"> • różnorodny charakter odpadów • niska wartość opałowa • wysokie ryzyko korozji w kotłach • wysoka zawartość wilgoci • poprawa odzysku ciepła • lokalne biorafinerie • stworzenie katalogu sprawdzonych innowacyjnych rozwiązań gromadzenia, przetwarzania i wykorzystania organicznych odpadów, osadów i ścieków komunalnych • identyfikacja barier technologicznych i prawnych
Wykorzystanie gazu składowiskowego	gaz wysypiskowy ma znaczny udział w produkcji biogazu w UE	• ze względu na wymagania dotyczące minimalizowania składowania odpadów organicznych i zwiększenia poziomu ich ponownego wykorzystania, recyklingu i odzysku energii oczekuje się stopniowego zmniejszenia ilości gazu wysypiskowego w UE

Wodór z biomasy	istnieje wiele metod produkcji wodoru, w tym termiczno-chemiczna, elektrolityczna, przy pomocy fotolizy, procesów biologicznych - wszystkie na różnych poziomach rozwoju i jeszcze ekonomicznie nieopłacalne; metody fotobiologiczne są na bardzo wczesnym etapie rozwoju i uzyskały niską wydajność konwersji; magazynowanie wodoru w postaci gazowej i ciekłej jest komercyjnie dostępne na rynku, ale jest nieopłacalne; magazynowanie w postaci stałej jest na bardzo wczesnym etapie rozwoju	<ul style="list-style-type: none"> • lepsze zrozumienie enzymatycznych ścieżek powstawania wodoru • identyfikacja większej liczby enzymów tolerujących tlen i nowych szczepów bakterii produkujących wodór • poprawa wydajności konwersji, trwałości i zmniejszenie kosztów kapitałowych • separacja gazu wodorowego i jego oczyszczania • rozwój katalizatorów, materiałów adsorpcyjnych i membran do separacji gazu • magazynowanie wodoru • nowe materiały • adsorpcja i desorpcja • bezpieczeństwo i rozwój infrastruktury wodorowej
Biorafinerie	stan rozwoju biorafinerii waha się od koncepcyjnego do demonstracji na dużą skalę	<ul style="list-style-type: none"> • poszukiwanie nowych biosurowców (nowych gatunków roślin, np. morskich, lub nowych metod upraw) • nowe drogi przetwarzania surowców (np. kombinacji procesów termochemicznych i biochemicznych) • identyfikacja najbardziej obiecujących bioproduktów
Biopaliwa pierwszej generacji	dojrzała komercyjna technologia	<ul style="list-style-type: none"> • dostępność i koszt surowców • wyłączenie z prac badawczych biopaliw produkowanych ze skrobi, cukru i frakcji olejów upraw przeznaczanych do produkcji żywności i paszy z prac badawczych
Biopaliwa drugiej generacji	druga generacja biopaliw powinna znaleźć się w centrum polityki rozwoju sektora transportu	<ul style="list-style-type: none"> • rozwój nowych technologii o wysokiej wydajności • poprawa sprawności procesów konwersji, integracji systemów, efektywności kosztowej i elastyczności wykorzystania różnych surowców • aspekty środowiskowe (redukcja emisji gazów cieplarnianych), ekonomiczne i społeczne (zdrowie i bezpieczeństwo) • rozwój koncepcji biorafinerii, produkcji różnych produktów końcowych o wysokiej wartości • poprawa niezawodności i wydajności procesów • zwiększenie skali technologii do skali przemysłowej • powiększenie bazy surowcowej • opracowanie sprawnych łańcuchów dostaw i logistyki biomasy
Biopaliwa trzeciej generacji	produkcja biopaliw z alg jest obecnie na etapie badawczo-wdrożeniowym, a pilotażowe instalacje są uruchamiane na całym świecie	<ul style="list-style-type: none"> • opracowanie optymalnych szczepów alg z szybkim tempem wzrostu i/lub łatwą uprawą i wydajną ekstrakcją oleju • rozwój efektywnych zintegrowanych metod uprawy, zbiorów, logistyki, procesów konwersji i wykorzystania produktów ubocznych • ocena zalet i wad systemów otwartych (stawów) i systemów pracujących w zamkniętej pętli bioreaktora • zwiększona tolerancja zanieczyszczeń • zwiększanie skali produkcji biopaliw z alg

		<ul style="list-style-type: none"> • ocena korzyści i zagrożeń związanych z GMO • potencjalny wpływ na różnorodność biologiczną • ogólna akceptowalność społeczna • nowe tańsze technologie - zmniejszenia zużycia energii i obniżenie kosztów eksploatacji • lepsze wykorzystanie oleju z alg o zróżnicowanej wartości (np. w postaci bionawozów, biochemikaliów itp.)
--	--	--

W obszarze badań naukowych ważną rolę spełnia Europejskie Stowarzyszenie Badań Energetycznych EERA, a w szczególności EERA *Bioenergy Joint Programme* skupiający najważniejsze instytucje badawcze Europy wokół zdefiniowanego wspólnego programu badań zgodnego z priorytetami SET-Planu. Praktyczną jego implementację stanowi program *Horyzont 2020* finansujący w obszarze energii projekty o tematyce zgodnej z priorytetami SET-Planu.

Jak wspomniano we wstępie, analiza strategii badawczej UE i europejskiego środowiska naukowego i przemysłowego w obszarze bioenergetyki jest niezwykle ważna dla kształtowania priorytetów polskiej polityki energetycznej, a co za tym idzie kierunków rozwoju badań prowadzonych przez polskie zespoły naukowe. Jest rzeczą oczywistą, że polskie instytucje naukowe nie mogą prowadzić badań w oderwaniu od polityki badawczej UE, gdyż w przeciwnym wypadku utraciłby kontakt z przodującymi centrami badawczymi w Europie. Jest to również ważne z punktu widzenia możliwości poszukiwania finansowania projektów z udziałem polskich zespołów badawczych.

PIŚMIENNICTWO

[1] *Polityka energetyczna Polski do 2030 roku*, Ministerstwo Gospodarki, Załącznik do uchwały nr 202/2009 Rady Ministrów z dnia 10.11.2009.

[2] Projekt *Polityki energetycznej Polski do 2050 roku* (wersja 0.6), Ministerstwo Gospodarki, Warszawa, sierpień 2015.

[3] Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC.

[4] Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, *Innovating for Sustainable Growth: A Bio-economy for Europe*, COM(2012) 60, Brussels, 13.02.2012.

[5] Commission Staff Working Document accompanying the document Communication on Innovating for Sustainable Growth: A Bioeconomy for Europe, SWD(2012) 11, Brussels, 13.02.2012.

[6] Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Energy Technologies and Innovation, COM(2013) 253, Brussels, 2.05.2013.

[7] Commission Staff Working Document, JRC Scientific and Policy Reports R & D Investment in the Technologies of the European Strategic Energy Technology Plan, SWD(2013) 157, Brussels, 2.05.2013.

[8] Commission Staff Working Document, Technology Assessment SWD(2013) 158, Brussels 2.05.2013.

[9] Commission Staff Working Document, State of play on the sustainability of solid and gaseous biomass used for electricity, heating and cooling in the EU, SWD(2014) 259, Brussels, 28.07.2014.

[10] Communication from the Commission to the Council and the European Parliament, Sustainable power generation from fossil fuels: aiming for near-zero emissions from coal after 2020, COM(2006) 843, Brussels, 10.01.2007.

[11] Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, A European Strategic Energy Technology Plan (SET-Plan), Towards a low carbon future, COM(2007) 723, Brussels, 22.11.2007.

[12] Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Investing in the Development of Low Carbon Technologies (SET-Plan), COM(2009) 519, Brussels, 7.10.2009.

[13] Communication from the Commission, Towards an Integrated Strategic Energy Technology (SET) Plan: Accelerating the European Energy System Transformation, C(2015) 6317, Brussels, 15.09.2015.

[14] <https://setis.ec.europa.eu/>(Dostęp 15.02.2016).

[15] *Horizon 2020. Work Programme 2016-2017. 10. Secure, Clean and Efficient Energy* European Commission Decision C (2015) 6776, 13.10.2015.

[16] *Horizon 2020. Work Programme 2016-2017. 9. Food security, sustainable agriculture and forestry, marine and maritime and inland water research and the bioeconomy*, European Commission Decision C (2015) 6776, 13.10.2015.

[17] *Horizon 2020. Work Programme 2016-2017. 17. Crosscutting activities (Focus Areas)*, European Commission Decision C (2015) 6776, 13.10.2015.

[18] *Horizon 2020. Work Programme 2016-2017. 5.H. Nanotechnologies, Advanced Materials, Biotechnology and Advanced Manufacturing and Processing*, European Commission Decision C (2015)6776, 13.10.2015.

[19] <http://eera-bioenergy.eu/home/sub%20programmes> (Dostęp 15.02.2016).

[20] EERA-EIBI Workshop Report „*Longer Term R&D Needs and Priorities on Bioenergy*”. *Bioenergy beyond 2020*, 27.11.2013.

[21] <https://ec.europa.eu/jrc/en/institutes/iet> (Dostęp 15.02.2016).

[22] *2013 Technology Map of the European Strategic Energy Technology Plan (SET-Plan). Technology Descriptions*, JRC Science and Policy Reports, EC JRC Institute for Energy and Transport, 2014.

[23] *Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions*, JRC Science and Policy Reports, EC JRC Institute for Energy and Transport, 2015.

[24] <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/renewable-energy/national-action-plans> (Dostęp 15.02.2016).

[25] Krajowy Plan Działania w Zakresie Energii ze Źródeł Odnawialnych, Ministerstwo Gospodarki, Warszawa 2010.

[26] <http://biofuelstp.eu/> (Dostęp 15.02.2016).

[27] European Biofuels Technology Platform, *Strategie Research Agenda, 2010 Update, innovation driving sustainable biofuels*, July 2010.

[28] <http://www.biofuelstp.eu/eibi.html> (Dostęp 15.02.2016).

[29] European Industrial Bioenergy Initiative (EIBI), *Boosting the Contribution of Bioenergy to the EU Climate and Energy ambitions*, Implementation Plan 2013-2017, Version of 24 January 2014.

[30] <http://www.eubia.org/> (Dostęp 15.02.2016).

[31] <http://www.aebiom.org/>(Dostęp 15.02.2016).

[32] *EU bioenergy potential from a resource-efficiency perspective*, EEA Report No 6/2013.

[33] <http://www.biomassfutures.eu/>(Dostęp 15.02.2016).

[34] Directive 2000/76/EC of the European Parliament and of the Council of 4 December 2000 on the incineration of waste.

[35] Directive 2004/8/EC of the European Parliament and of the Council of 11 February 2004 on the promotion of cogeneration based on a useful heat demand in the internal energy market and amending Directive 92/42/EEC.

[36] Council Directive 1999/31/EC of April 1999 on the landfill of waste.

[37] Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions A policy framework for climate and energy in the period from 2020 to 2030, COM(2014) 15, Brussels, 22.01.2014.

[38] <http://www.eubia.org/>(Dostęp 15.02.2016).