

Projekt BIOTEAM

**Optymalizacja zrównoważonych systemów przetwarzania i
dostaw bioenergii na konkurencyjnych rynkach w Europie**

Część 2.5

**Analiza cyklu życia a zrównoważone ścieżki bioenergii
w Polsce i innych krajach projektu**

- Analiza porównawcza

Kluczowe zagadnienie: zrównoważoność ścieżek bioenergii



1 Wstęp

W ramach projektu BIOTEAM przeprowadzono ocenę zrównoważoności 36 ścieżek wytwarzania i wykorzystywania bioenergii oraz 6 ścieżek energii konwencjonalnej. Badania prowadzono w 6 krajach (Finlandii, Niemczech, Włoszech, Litwie, Holandii i Polsce). Dobór ścieżek bioenergii został przeprowadzony w taki sposób, aby zapewnić wystarczającą różnorodność analizowanych rodzajów biomasy, stosowanych technologii konwersji paliwa w energię oraz stanu skupienia biopaliwa (płynne, stałe lub gazowe). Alternatywne ścieżki wykorzystania biomasy wybierano wtedy, gdy dany rodzaj biomasy znajdował zastosowanie zarówno na cele energetyczne jak i inne (np. do produkcji płyt drzewnych lub jako karma dla zwierząt). Analiza zrównoważoności została przeprowadzona w oparciu o szereg kryteriów środowiskowych, społecznych i ekonomicznych.

Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie wyników wspomnianych analiz zrównoważoności w takiej formie, aby przedsiębiorcy i decydenci mogli lepiej zrozumieć możliwości płynące z zastępowania energii konwencjonalnej bioenergią oraz towarzyszące im korzyści ekonomiczne, ekologiczne oraz społeczne, oraz ułatwienie zrozumienia zasad opracowywania analizy cyklu życia LCA (tj. pojęć takich jak: granice systemu, wybór tła, alokacja wpływów) oraz domyślnych wskaźników dla porównywania różnych ścieżek bioenergii.

Ponadto, otrzymane wyniki pozwoliły konsorcjum projektowemu skonfrontować się z następującymi dylematami:

- Czy krajowe lub lokalne tendencje w zakresie zrównoważoności mają wpływ na wybory dokonywane między wykorzystaniem biomasy na cele bioenergii, a na inne cele?
- Z jakimi kompromisami należy się liczyć, lub jakich dodatkowych korzyści można się spodziewać kiedy położymy nacisk na określone rezultaty, np. maksymalizację zatrudnienia lub minimalizację emisji gazów cieplarnianych?
- Czy skutki wyboru poszczególnych ścieżek wynikające z uwarunkowań geograficznych (np. biomasa importowana kontra biomasa o lokalnym pochodzeniu) mają wpływ na nasze postrzeganie zrównoważonego rozwoju i nasze strategiczne wybory (w odniesieniu do decyzji politycznych i inwestycyjnych)?

Niniejsze opracowanie poszukuje odpowiedzi na te pytania w odniesieniu do poszczególnych ścieżek biomasy, zarówno w kontekście krajowym jak i międzynarodowym:

- 1) analiza porównawcza w kontekście krajowym,
- 2) analiza porównawcza w kontekście międzynarodowym, oraz
- 3) analiza porównawcza w kontekście krajowym dla energetyki konwencjonalnej oraz międzynarodowa dla ścieżek energetycznych ogółem.

2 Porównanie zrównoważoności ścieżek biomasy w Polsce

2.1 Kryteria zrównoważoności i rodzaje ścieżek bioenergii

Wybrane kryteria zrównoważoności mające zastosowanie dla porównania ścieżek bioenergii z danymi odniesienia dla paliw kopalnych przedstawiono w Tab. 1.

Tab. 1. Kryteria zrównoważoności w projekcie BIOTEAM.

Kryteria środowiskowe		Kryteria ekonomiczne		Kryteria społeczne	
Kryterium	Wskaźnik	Kryterium	Wskaźnik	Kryterium	Wskaźnik
Redukcja gazów cieplarnianych	g CO ₂ eq/MJ _{energii}	Wewnętrzna stopa zwrotu IRR	%	Zatrudnienie*	FTE/GJ _{energii}
Zakwaszenie	g SO ₂ -eq/MJ _{energii}	Okres spłaty	rok	Wpływ na gospodarkę regionalną	%
Jakość powietrza	g PM10/MJ _{energii}	Zmiana ceny gruntu	punkt	Jakość zatrudnienia	Liczba wypadków na 1.000 zatrudnionych ¹
Chemikalia	kg/MJ _{energii}	Wpływ na gospodarkę krajową	ppm		Poziom wynagrodzenia – roczne wynagrodzenie brutto[€/rok] ²
Wykorzystanie wody	m ³ /MJ _{energii}	Cena produktu dla użytkownika końcowego	€/MJ _{energii}		punkt
Eutrofizacja	kg N/MJ _{energii}	Koszt produkcji	€/MJ _{energii}	Zmiana cen nieruchomości	punkt
Bilans energii	kg P/MJ _{energii}			Zmiany w stanie środowiska (hałas, odór, estetyka)	punkt
Wykorzystanie gruntu	MJ/MJ _{energii}				

* Zatrudnienie jako liczba pełnych etatów FTE na wytworzoną energię (1000 GJ)

Podczas oceny ścieżek zauważono, że niektóre ze wskaźników łatwo obliczyć lub uzyskać od uczestników rynku, podczas gdy w przypadku innych ciężko uzyskać konkretne wartości liczbowe. Na przykład, początkowo „Wpływ na gospodarkę krajową” miał być podawany jako wartość procentowa, jednak ostatecznie zdecydowano, że wartości podawane w ppm lepiej opiszą uzyskiwane efekty. Również w czasie konsultacji w uczestnikami rynku okazało się, że w przeprowadzanej ewaluacji można zawrzeć więcej wskaźników. Zaktualizowana metodologia i wyselekcjonowane kryteria wykorzystane do oceny sześciu ścieżek bioenergii (dwie ścieżki dla biomasy w formie gazowej, dwie dla płynnej i dwie dla biomasy w formie stałej) oraz odpowiednich ścieżek odniesienia dla energii konwencjonalnej przedstawiono w Tab. 2.

Tab. 2. Ścieżki bioenergii w krajach partnerów projektu BIOTEAM.

Państwo	Gazowa 1	Gazowa 2	Ciekła 1	Ciekła 2	Stała 1	Stała 2
Finlandia	Biogaz z odpadów i pozostałości	Biogaz z odpadów miejskich	Bioetanol z owsa	Bioetanol ze słomy zbożowej	Ciepłownictwo z biomasy drzewnej	Kogeneracja z biomasy leśnej
Niemcy	Biogaz z kukurydzy	Biometan z kukurydzy	Biodiesel z rzepaku	Bioetanol ze zbóż i buraków cukrowych	Pelety drzewne do ogrzewania	Kogeneracja z biomasy

¹ Krajowe dane statystyczne

² Krajowe dane statystyczne

Państwo	Gazowa 1	Gazowa 2	Ciekła 1	Ciekła 2	Stała 1	Stała 2
Włochy	Biogaz z gnojowicy i kiszonki kukurydzy i produkcja elektryczności	Biogaz z organicznych składników odpadów komunalnych i kogeneracja	Bioetanol II generacji ze słomy zbożowej	Pelety drzewne do ogrzewania	Zasilanie sieci ciepłowniczej z ciepłowni z zrębki drzewne	Gazyfikacja – pyroliza zrębków drzewnych i kogeneracja
Litwa	Biogaz z odpadów i pozostałości przemysłowych i rolniczych	Biogaz z osadów z oczyszczalni ścieków	Bioetanol z ziarna	Biodiesel z rzepaku	Elektrociepłownia na biomasę drzewną	Pelety drzewne do ogrzewania
Holandia	Wytwarzanie biogazu rolniczego w dużej skali i zasilanie sieci gazowej biometanem	Biogaz z gnojowicy w dużej skali i zasilanie sieci gazowej biometanem	Biodiesel z zużytego oleju roślinnego	Wykorzystanie gliceryny do wytwarzania biometanolu	Pelety drzewne wytwarzania energii elektrycznej we współspalaniu	Ciepłownictwo z biomasy leśnej
Polska	Kogeneracja z biogazu z kukurydzy i gnojowicy	Sprężony biometan z wysypiska dla transportu	Bioetanol z kukurydzy	Biodiesel z rzepaku	Pelety drzewne do ogrzewania	Kogeneracja z biomasy

2.2 Obecne wykorzystanie bioenergii w Polsce oraz przyszłe cele.

Całkowite zużycie energii brutto wynosiło w 2013 roku w Polsce około 3005 PJ (krajowe dane statystyczne)³. Z biomasy wyprodukowano ok. 297 PJ, co odpowiadało 80% energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych. Ponadto, 70% energii z OZE to energia cieplna (219 PJ), 19% to energia elektryczna (59 PJ) a 11% to biopaliwa (34 PJ).

Energia cieplna jest najczęściej (98,7%) produkowana przy wykorzystaniu biomasy stałej, pozostałe 2,3% pochodzi z elektrociepłowni biogazowych.

Biomasa wykorzystywana na cele grzewcze najczęściej znajduje zastosowanie w sektorze mieszkalnym (117 PJ, 48% energii końcowej pochodzącej z biomasy), w przemyśle (53 PJ, udział 21,7%) oraz w sektorze usługowym i rolnictwie (28 PJ i 11,5%). Szczegółowe dane dla sektora energetycznego i ciepłowniczego są podane w formie danych wejściowych dla procesu produkcji energii. Biorąc pod uwagę straty w procesie konwersji końcowa ilość energii cieplnej produkowanej z biomasy w sektorze ciepłowniczym i energetycznym wynosi 20.8 PJ, 8,5% energii z biomasy stałej.

Okolo 46% biogazu jest produkowane w biogazowniach, reszta pochodzi z oczyszczalni ścieków (34%) oraz składowisk odpadów (20%).

Energia elektryczna, podobnie jak cieplna, jest najczęściej produkowana z biomasa stałej (92%), przy czym połowa jest produkowana w procesie współspalania w węglem w elektrociepłowniach. Biogaz odpowiada jedynie za 8.25% wyprodukowanej energii elektrycznej. Energia elektryczna z biomasy stanowi około 50% energii elektrycznej z odnawialnych źródeł, 35% pochodzi z farm wiatrowych, a 14% to energetyka wodna.

Produkcja biopaliw to głównie biodiesel pierwszej generacji (80,6%), z czego bioetanol stanowi 19,4%.

³ Energia ze źródeł odnawialnych 2013, Główny Urząd Statystyczny, listopad 2014

Zakłada się, że biomasę stałą stanowi głównie drewno i w mniejszym stopniu słoma, wykorzystywane na lokalne cele grzewcze i do produkcji pelet. Substratami do produkcji biogazu i biometanu są odpady pochodzenia rolniczego (w tym gnojowica i inne). W Polsce 80,3% bioenergii jest produkowane z biomasy drzewnej, 18,2% z produktów pochodzenia rolniczego, a 1,6% z biomasy odpadowej (gaz wysypiskowy i osady ściekowe).

Zasoby biomasy w Polsce są obfite. Szacowane roczne zasoby biomasy wynoszą 680 PJ, podczas gdy obecnie wykorzystywana jest ich jedynie połowa. Około 30% kraju pokrywają tereny leśne, a wielkość rocznego wyrębu sięga 35 milionów m³. Obecnie obowiązuje stanowisko zgodnie z którym odpady leśne powinny być pozostawiane w lasach i ich wykorzystanie jest niewielkie (szacowana ilość dostępnych odpadów leśnych jest spora i wynosi 100 PJ).

Większość obszaru Polski pokrywają tereny rolnicze. Energia pochodzenia rolniczego to najbardziej obiecujące w przyszłości źródło bioenergii i szacuje się że większość wykorzystywanej biomasy będzie stanowiła agrobiomasa. Obecnie energia pochodzenia rolniczego jest produkowana głównie z wykorzystaniem słomy, ale stopień jej wykorzystania jest stosunkowo niewielki. Wraz z intensywnym rozwojem łańcuchów dostaw wykorzystanie słomy może wzrosnąć. Najważniejsze źródło powinny stanowić rośliny energetyczne (gatunki drzewiaste szybkiej rotacji) o potencjale ok. 500 PJ.

Wykorzystanie biomasy stałej do produkcji energii wyniosło w Polsce w 2013 r. 29 milionów ton, w tym:

- biomasa leśna – 26 milionów ton,
- agrobiomasa (słoma, odpady) – 1 milion ton,
- biomasa importowana (łupiny orzechów palmy olejowej, łuski) – 2 miliony ton⁴.

Poniższa tabela podsumowuje obecne wykorzystanie bioenergii w Polsce wraz z odniesieniem do celów na 2020 r.

Tab. 3. Obecny udział biomasy i cele do roku 2020 w Polsce.

(dane w PJ)	Energia finalnej brutto.	OZE	OZE w energii finalnej (%)	Biomasa łącznie	Biogaz	Ciepła	Stała
Obecny (2013) udział bioenergii w energii finalnej brutto	3005	312	10.4%	282	6.4	31.0	244.5
Cel - udział bioenergii w energii finalnej brutto w 2020	2897	449	15.5%	383	34.7	84.6	263.9
Dystans do celu	-108	137	5.1%	101	28	53.6	19.4

2.3 Wpływ istniejących ścieżek bioenergii na wybrane wskaźniki zrównoważoności w Polsce.

Zgodnie z Krajowym Planem Działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych Polska musi osiągnąć 15% udział OZE w końcowym zużyciu energii w roku 2010. Krajowe zasoby biomasy pozwalają na osiągnięcie wystarczającego poziomu produkcji bioenergii a w szczególności produkcji wymaganych ilości ciepła, energii elektrycznej oraz paliw transportowych biomasy.

Kluczowym zagadnieniem jest dla Polski racjonalne i efektywne wykorzystanie dostępnych zasobów biomasy leśnej i rolnej.

⁴ Importowane przez elektrownie i elektrociepłownie, nie ujęte w statystykach

Emisje gazów cieplarnianych stanowią jeden z głównych problemów, przed jakimi stoi współczesna cywilizacja. Unia Europejska, jako całość, jest zobowiązana do redukcji emisji gazów cieplarnianych i każdy z krajów członkowskich asygnował obligatoryjny poziom redukcji. Zatem wpływ różnych ścieżek bioenergii na poziom emisji gazów cieplarnianych stanowi kluczowy wskaźnik środowiskowy.

Wybór innych wskaźników zrównoważoności do oceny polskich ścieżek bioenergii uwzględnia sytuację środowiskową wynikającą z dominującej roli węgla, jako paliwa energetycznego, zarówno w sektorze energetycznym i ciepłowniczym, jak i w mieszkalnym.

Najnowszy raport Najwyższej Izby Kontroli⁵ zawiera alarmujące dane dotyczące jakości powietrza w polskich miastach. W wielu miastach stężenie związków toksycznych i rakotwórczych- PM10 i benzopirenu – wielokrotnie przekracza dopuszczalne limity. Szacuje się, że 45 tysięcy osób umiera co roku w naszym kraju w wyniku zanieczyszczenia powietrza. Polska od lat ma najbardziej zanieczyszczone powietrze w UE. Według danych Europejskiej Agencji Środowiska spośród 10 europejskich miast, w których najczęściej (największa ilość dni w ciągu roku) przekraczany jest dopuszczalny poziom PM10 znajduje się aż 6 miast z Polski.

Poziom emisji gazów cieplarnianych i inne wskaźniki środowiskowe właściwe dla poszczególnych ścieżek bioenergii zostały przedstawione w Tab. 4.

Tab. 4. Wpływ ścieżek bioenergii na parametry środowiskowe

Kryterium	Kogeneracja z biogazu z kukurydzy i gnojowicy	Sprężony biometan z wysypiska dla transportu	Bioetanol z kukurydzy	Biodiesel z rzepaku	Pelety drzewne do ogrzewania	Kogeneracja z biomasy	Jedn.
Redukcja gazów cieplarnianych	29.6	23.7	46.1	40.4	13.4	1.69	g CO ₂ eq/MJ _{energia}
Zakwaszenie	0.300	0.256	0.169	0.161	0.216	0.34	g SO ₂ -eq/MJ _{energia}
Jakość powietrza	7.53E-04	6.49E-04	0.0013	0.0012	0.059	0.033	g PM10/MJ _{energia}

Poziom emisji gazów cieplarnianych właściwy dla poszczególnych ścieżek zależy od wykorzystanych paliw kopalnych. Pośród analizowanych ścieżek najniższy poziom emisji zaobserwowano dla biomasy stałej. Szczególnie dobre rezultaty osiąga się przy produkcji energii cieplnej i elektrycznej ze zrębek w kogeneracji, w nowoczesnej elektrociepłowni, gdzie ewentualna dodatkowa potrzebna energia pochodzi ze źródeł odnawialnych. Paliwa kopalne wykorzystane do transportu odpadów drzewnych i ich rozdrabniania nie pociągają za sobą wysokiej emisji dwutlenku węgla. W przypadku ścieżki wykorzystującej pelety największy poziom emisji jest związany z procesem produkcji pelet i jest on różny dla różnych zakładów produkcyjnych. Ciepło do suszenia surowca pochodzi zazwyczaj ze spalania biomasy o niskiej jakości, ale energia elektryczna do pracy młynów pochodzi z krajowej sieci energetycznej, zaś energia w niej pochodzi głównie ze spalania węgla. Istnieją również zakłady wyposażone w jednostki kogeneracyjne dostarczające ciepło i energię elektryczną na własne potrzeby, co pozwala na zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych wzdłuż ścieżki o ok. 50%.

Na drugim miejscu pod względem emisji plasuje się ścieżka oparta na biogazie. Emisja dwutlenku węgla w przypadku sprężonego biometanu z gazu wysypiskowego wynika z obsługi strumienia odpadów i może być obniżona w przyszłości, przy zastosowaniu odnawialnych paliw transportowych.

⁵ Raport Najwyższej Izby Kontroli "Ochrona powietrza przed zanieczyszczeniami", grudzień 2014

Podobnie, potencjał do zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych istnieje w przypadku produkcji energii cieplnej i elektrycznej z biogazu, poprzez zwiększenie wykorzystania odpadów i produktów rolniczych oraz wykorzystanie wyprodukowanej energii cieplnej w lokalnej sieci ciepłowniczej.

Relatywnie wysoki poziom emisji towarzyszący ścieżce paliw płynnych wynika z procesów obecnie stosowanych w rolnictwie, opartych m.in. na wykorzystaniu nawozów czy transporcie uzależnionym od paliw kopalnych. Ulepszenie procesów produkcyjnych m.in. poprzez zmniejszenie wykorzystania paliw kopalnych może zmniejszyć poziom emisji dla każdej ścieżki.

Zakwaszenie środowiska jest wynikiem emisji SO_2 i NO_x , a te są powodowane głównie poprzez zastosowanie oleju napędowego jako paliwa w transporcie surowca roślinnego oraz ostatecznej dystrybucji produktu. Największy wpływ na zakwaszenie mają ścieżki biogazu i biomasy stałej na cele kogeneracji. Ścieżka biogazu wymaga zarówno transportu surowców do instalacji jak i pofermentu na pole. Elektrociepłownia biomasowa wymaga dostarczenia właściwego surowca roślinnego ze sporego obszaru. Najmniejsze zagrożenie zakwaszeniem towarzyszy ścieżce biopaliw płynnych. Surowiec jest w tym przypadku zakontraktowany z sąsiednich terenów, nie wymaga transportowania na spore odległości, ani wysokiego zużycia paliw kopalnych. Warto jednak pamiętać, że wszystkie wymienione ścieżki bioenergii pociągają za sobą dużo mniejsze ryzyko zakwaszenia, niż to towarzyszące zastępowanym w ten sposób paliwom kopalnym.

Ścieżki bioenergii nie są neutralne dla jakości powietrza. Emisje PM_{10} towarzyszą głównie wykorzystaniu oleju napędowego jako paliwa transportowego, ale są obecne też podczas spalania pelet w indywidualnych kotłowniach oraz spalaniu zrębek w elektrociepłowni. Jednakże, w Polsce ścieżki bioenergii zastępują ścieżki paliw kopalnych, o znacznie wyższych emisjach pyłów i szkodliwych gazów. Biogaz wykorzystywany w celach grzewczych na ścieżce biogazu zastępuje węgiel w lokalnym ciepłownictwie, którego wykorzystanie oznacza znacznie wyższe emisje zanieczyszczeń. Podobnie ciepło wyprodukowane ze spalania pelet lub zrębek oznacza poprawę jakości lokalnego powietrza.

Zrównoważoność ścieżek bioenergii jest oparta nie tylko o wskaźniki środowiskowe, ale także o skutki ekonomiczne i społeczne. Istotnym wskaźnikiem z punktu widzenia inwestorów jest opłacalność przedsięwzięcia, wewnętrzna stopa zwrotu (IRR). IRR różnych systemów produkcji bioenergii można porównać między sobą, jak również z innymi rodzajami inwestycji. Uważa się, że wewnętrzna stopa zwrotu to jeden z ważniejszych wskaźników ekonomicznej zrównoważoności. Innym ważnym wskaźnikiem jest koszt produkcji jednostki energii końcowej wzdłuż ścieżki, odzwierciedlający strukturę kosztów na poszczególnych rynkach lokalnych.

W Tab. 5 zamieszczono wartości IRR i koszty produkcji właściwe dla różnych ścieżek bioenergii.

Tab. 5. IRR i koszty produkcji dla różnych ścieżek bioenergii.

Kryterium	Kogeneracja z biogazu z kukurydzy i gnojowicy	Sprężony biometan z wysypiska dla transportu	Bioetanol z kukurydzy	Biodiesel z rzepaku	Pelety drzewne do ogrzewania	Kogeneracja z biomasy	Jedn.
IRR	2.5%	16.0%	13.0%	11.5%	12.9%	1.7%	%
Koszty produkcji	0.025	0.0037	0.032	0.035	0.0095	0.009	€/MJ _{energy}

W odniesieniu do wskaźników ekonomicznych, w związku z najniższymi kosztami produkcji, IRR dla ścieżki biometanu ze składowiska odpadów na cele transportowe jest najwyższa i wynosi 16%. Na taki wynik wpływają niskie koszty wzdłuż ścieżki, w tym koszty zagospodarowania odpadów ponoszone przez producentów odpadów. Również koszty inwestycyjne i operacyjne dla technologii wzbogacania gazu wysypiskowego do biometanu są stosunkowo niskie.

Niskie koszty produkcji energii są charakterystyczne dla ścieżek biomasy stałej, gdzie jako surowiec wykorzystywane są odpady drzewne. Mimo tego, opłacalność ekonomiczna wyrażana jako IRR jest niska dla inwestycji w elektrociepłownię na biomasę ze względu na duże potrzeby kapitałowe, niewielki poziom wsparcia dla energii elektrycznej z odnawialnych źródeł oraz niewielkie przychody z dostarczania energii cieplnej do sieci ciepłowniczej, wynikające z konkurencji z tanim ciepłem z węgla.

Ścieżki biopaliw płynnych charakteryzują się nieco wyższymi kosztami produkcyjnymi, spowodowanymi zapotrzebowaniem na agro-surowce. Opłacalność w postaci IRR jest stosunkowo wysoka- 11%, co wynika z faktu, że zapotrzebowanie na biokomponenty oraz ich cena są regulowane poprzez wprowadzenie Krajowego Celu Indykatoryjnego w zakresie udziału biokomponentów w bilansie paliw transportowych.

Wskaźniki dla ścieżek biogazu pokazują wysokie koszty produkcji ze względu na koszty pozyskania surowca roślinnego oraz niską IRR, ze względu na wysokie koszty kapitałowe. Szerszy wybór substratów (gnojówka, odpady z przemysłu przetwórstwa żywności), rozpowszechnienie technologii biogazowych, skutkujące obniżeniem kosztów kapitałowych, oraz lepsze wykorzystanie produkowanej energii cieplnej wpłyną na poprawę opłacalności ekonomicznej tejsze ścieżki.

Patrząc na ścieżki bioenergii pod kątem korzyści społecznych, wpływ na wzrost zatrudnienia jest oceniany jako najważniejszy. Poziom bezrobocia w Polsce przekracza średni poziom w Unii i jest oceniany jako zbyt wysoki, zwłaszcza w przypadku ludzi młodych. Tradycyjne gałęzie przemysłu i rolnictwo nie wymagają dużych nakładów pracy. Tworzenie nowych miejsc pracy ma zatem kluczowe znaczenie dla obywateli i krajowej gospodarki. Kolejną korzyścią jest stymulujący wpływ na gospodarkę regionalną poprzez wydatki ponoszone na zakup surowca, logistykę i wynagrodzenia oraz część wydatków kapitałowych pozostawionych w regionie (Tab. 6).

Tab. 6. Wpływ ścieżek bioenergii na zatrudnienie i gospodarkę regionalną.

Kryterium	Kogeneracja z biogazu z kukurydzy i gnojowicy	Sprężony biometan z wysypiska dla transportu	Bioetanol z kukurydzy	Biodiesel z rzepaku	Pelety drzewne do ogrzewania	Kogeneracja z biomasy	Jedn.
Zatrudnienie	0.20	1.83	0.38	0.26	0.16	0.13	FTE/ 1000 GJ
Wpływ na gospodarkę regionalną	83%	97%	99%	94%	96%	80%	%

Zachowanie miejsc pracy jest postrzegane jako istotny wskaźnik społecznej zrównoważoności bioenergii. Ścieżka biopaliw płynnych oferuje lepsze możliwości zatrudnienia niż inne przez nas analizowane. Wszystkie ścieżki oferują miejsca pracy na różnych etapach procesu, od uprawy roślin i zbioru surowca, aż do dostaw końcowego produktu. Analizując możliwości zatrudnienia wzdłuż ścieżki biomasy stałej, elektrociepłownia na zrębki drzewne wypada pod tym względem najgłębiej. Nie ma w tym przypadku zapotrzebowania na pracę przy strumieniu dostaw surowca, gdyż zrębki są wytwarzane poza granicami rozpatrywanej ścieżki.

Wszystkie ścieżki mają korzystny wpływ na lokalną gospodarkę. Obie ścieżki biopaliw płynnych (bioetanol z kukurydzy i biodiesel z rzepaku), biometan ze składowiska odpadów na cele transportowe oraz pelety drzewne na potrzeby ogrzewania mają szczególnie stymulujący wpływ na lokalny rynek, gdyż około 94- 99% zaangażowanych zasobów finansowych pozostaje na rynku lokalnym. Niższe wskaźniki (ponad 80%) dla elektrociepłowni na biogaz lub na zrębki drzewne wynikają z wysokich nakładów kapitałowych przeznaczonych na import wyposażenia.

Analiza wykazała, że elektrownia na zrębki wypada najlepiej pod względem emisji gazów cieplarnianych, podczas gdy najmniejszy wpływ na zakwaszenie mają ścieżki biopaliw płynnych, a na jakość powietrza- ścieżka biogazu.

Wykorzystanie wzbogaconego gazu wysypiskowego jako paliwa transportowego charakteryzuje najwyższa wewnętrzna stopa zwrotu z inwestycji i najniższe koszty produkcji. Elektrociepłownie na biogaz i na zrębki są najmniej atrakcyjne ekonomicznie, biorą pod uwagę IRR dla obu ścieżek.

Wszystkie rozpatrywane ścieżki mają korzystny wpływ na rozwój lokalnych gospodarek i zatrudnienia, zwłaszcza na obszarach wiejskich, gdzie istnieje mniej miejsc pracy. Największe możliwości zatrudnienia generuje produkcja biometanu ze składowiska odpadów, zwłaszcza na etapie zagospodarowania odpadów.

3 Porównanie zrównoważoności ścieżek bioenergii i paliw kopalnych na poziomie międzynarodowym

W niniejszym rozdziale porównane zostaną ścieżki bioenergii występujące w krajach pozostałych partnerów projektu BIOTEAM z omówionymi ścieżkami polskimi. Poza porównaniem ścieżek bioenergii między sobą, zostaną one też porównane z danymi odniesienia dla paliw kopalnych, gdyż mają one ogromne znaczenie dla właściwej oceny ostatecznych wyników dla bioenergii.

3.1 Wpływ różnych czynników na wybrane wskaźniki zrównoważoności w Polsce i innych krajach

3.1.1 Paliwa stałe

Pelety drzewne na potrzeby ogrzewania zostały przeanalizowane w trzech krajach należących do projektu: w Polsce, Niemczech i na Litwie. We wszystkich krajach uzyskano podobne wyniki, co potwierdza wiarygodność przeprowadzonych ocen. Wartości emisji gazów cieplarnianych są w przypadku Niemiec nieco niższe niż dla pozostałych krajów. Wynika to prawdopodobnie z charakterystyki rozpatrywanego zakładu, w którym wykorzystywana jest wyłącznie energia odnawialna, pochodząca z elektrociepłowni spalającej zrębki drzewne. Z pewnością jest to przykład dobrych praktyk, jednak nie wszystkie niemieckie zakłady produkcyjne działają w oparciu o takie rozwiązanie. W przypadku zakładów wykorzystujących paliwa kopalne w procesie produkcyjnym uzyskane wartości będą zbliżone do danych polskich. W przypadku polskich zakładów produkcyjnych niezbędna energia elektryczna pochodzi z krajowej sieci energetycznej, uzależnionej od spalania węgla, ale energia cieplna jest pozyskiwana z biomasy niskiej jakości.

Ponadto, przykład fińskiego systemu ciepłowniczego opartego na spalaniu zrębki, pozwala zauważyć, że ścieżki polegające na wykorzystaniu drewna na potrzeby ogrzewania charakteryzują podobne otrzymane wartości wyników. Zwłaszcza wskaźniki środowiskowe kształtują się na podobnym poziomie. Na przykład, wskaźnik stosowany do oceny jakości powietrza wynosi 0,07 g/MJ dla Niemiec i 0,06 g/MJ w przypadku Finlandii i Polski.

Innym wskaźnikiem służącym do oceny ścieżek, który przyjmuje podobne wartości i jest porównywalny między krajami jest okres zwrotu inwestycji. We wszystkich analizowanych krajach wynosi on 6- 7 lat. Mając na uwadze fakt, że obliczenia wskaźników ekonomicznych opierają się zazwyczaj na pewnych założeniach, zbieżność otrzymanych wyników potwierdza, że pelety drzewne są popularnym przedmiotem handlu w Europie.

Elektrociepłownie spalające zrębki także występują w różnych krajach, w tym w Polsce, Finlandii i Niemczech. Zaobserwowane wartości dla emisji gazów cieplarnianych przyjmują dwa przedziały: 15 g CO_{2Eq}/MJ w Niemczech oraz 1.5-2.0 g CO_{2Eq}/MJ w Finlandii i w Polsce (gdzie zarówno energia

elektryczna jak i ciepła mają odnawialny charakter). Okazuje się jednak, że elektrociepłowniom na zrębki w Polsce ciężko jest zapewnić opłacalność inwestycji. Wewnętrzna stopa zwrotu nie przekracza 2% a okres zwrotu inwestycji wynosi ponad 20 lat, razem czyniąc inwestycję niezbyt opłacalną. W Niemczech okres zwrotu inwestycji również jest dłuższy niż w przypadku innych technologii, ale wynosi on około 10 lat, a IRR – 12,3%. Sytuacja ta może być spowodowana przez ustawę o odnawialnych źródłach energii, która zapewnia w Niemczech wypłatę świadczeń przez okres 20 lat. Jedynym źródłem ryzyka inwestycyjnego jest niestabilna cena początkowa oraz rosnący popyt na drewno w ciągu ostatnich lat. Inaczej wygląda sytuacja w Polsce, gdzie niskie ceny energii z węgla kamiennego oraz istniejący system wsparcia energetyki odnawialnej zapewniają opłacalność współspalania biomasy w węglu, ale elektrociepłowni spalających zrębki już nie.

Rynek pelet drzewnych ma charakter międzynarodowy, obrót transgraniczny przyjmuje duże wielkości. Różnice między ścieżkami w różnych krajach nie są znaczące. Inna sytuacja ma miejsce w przypadku elektrociepłowni spalających zrębki. Ścieżka ta jest mocno uzależniona od lokalnych dostaw biomasy oraz krajowych regulacji prawnych i jest bardziej interesująca pod względem zrównoważoności. Tab. 7 zawiera porównanie wybranych wskaźników dla ścieżki spalania zrębek w elektrociepłowniach.

Tab. 7. Porównanie wybranych wskaźników dla kogeneracji z biomasy drzewnej

Kryterium	Polska	Niemcy	Finlandia	Jedn.
Redukcja gazów cieplarnianych	1.69	15.0	3.42	g CO ₂ eq/ MJ _{energia}
Zakwaszenie	0.34	9.80E-05	0.125	g SO ₂ -eq/ MJ _{energia}
Jakość powietrza	0.033	5.60E-05	0.289	g PM10/ MJ _{energia}
IRR	1.7%	12.3%	9.4%	%
Koszty produkcji	0.009	0.006	0.019	€/MJ _{energia}
Zatrudnienie	0.130	0.039	0.130	FTE/ 1000 GJ
Wpływ na gospodarkę regionalną	80%	60%	85%	%

3.1.2 Biopaliwa ciekłe

Aby porównać ścieżki biopaliw ciekłych wybrano kraje o podobnych danych wejściowych, tj. Polskę, Litwę i Niemcy. We wszystkich wymienionych krajach do produkcji biodiesela wykorzystuje się rzepak. Wartości wskaźników środowiskowych nie różnią się zbytnio między krajami, tj. emisja gazów cieplarnianych wynosi 41- 46 g CO_{2eq}/MJ energii końcowej.

Z kolei dane dotyczące zakwaszenia różnią się między krajami, co może wynikać m.in. z różnych praktyk rolniczych, intensywności upraw oraz zastosowania nawozów. W Niemczech zaobserwowano wyższe zakwaszenie niż w Polsce, dane dotyczące biodiesela z Litwy nie są porównywalne.

Znaczne różnice występują między wskaźnikami ekonomicznymi. Wewnętrzna stopa zwrotu dla ścieżki biodiesela wynosi między 13% w Polsce do 38,4% na Litwie. W Niemczech jako siła napędowa oddziałują ulgi podatkowe, kwoty ilościowe oraz sprzedaż produktów ubocznych. W przeszłości, w Polsce również istniały podobne zachęty, obecnie pozostał jedynie wymóg 7% udziału biokomponentów w paliwach. Opłacalność ekonomiczna została obliczona w oparciu o niższe koszty inwestycyjne oraz mniejszy potencjał rynkowy, przez co otrzymano zaniżoną wartość zgodnie z malejącymi korzyściami skali. Ceny surowców są zbliżone do cen na rynkach europejskich.

Pod względem wskaźników społecznych ścieżki biopaliw mają bardzo pozytywny wpływ na lokalne gospodarki, najbardziej widoczny jest on w Polsce. Wpływ na zatrudnienie zależy od zastosowanego systemu dostaw surowca i technologii. Szczegółowe dane umieszczono w poniższych tabelach.

Tab. 8. Porównanie wybranych wskaźników dla biodiesla

Kryterium	Polska	Niemcy	Litwa	Jedn
Redukcja gazów cieplarnianych	46.1	41.5	48.7	g CO ₂ eq/MJ _{energia}
Zakwaszenie	0.17	0.60	0.01	g SO ₂ -eq/ MJ _{energia}
IRR	13	23	38.4	%
Okres spłaty	10	5.1	4	Years
Cena dla odbiorcy	0.030	0.047	0.016	€/MJ
Redukcja gazów cieplarnianych	99%	90%	90%	%
Zatrudnienie	0.38	0.19	0.01	FTE/ 1000 GJ

Tab. 9. Porównanie wybranych wskaźników dla bioetanolu

Kryterium	Polska	Niemcy	Litwa	Jedn
Redukcja gazów cieplarnianych	40.4	42.2	66.6	g CO ₂ eq/MJ _{energia}
Zakwaszenie	0.16	0.28	0.34	g SO ₂ -eq/ MJ _{energia}
IRR	11.5	17	26	%
Okres spłaty	15	7.8	7	Years
Cena dla odbiorcy	0.036	0.044	0.021	€/MJ
Redukcja gazów cieplarnianych	94%	80%	65%	%
Zatrudnienie	0.26	0.31	0.64	FTE/ 1000 GJ

3.1.3 Biogaz

Analiza ścieżek biogazu w Polsce, Włoszech i Niemczech pod względem emisji gazów cieplarnianych uwidacznia znaczące różnice między krajami. Głównym źródłem różnic jest produkt docelowy. W Niemczech, w celu maksymalizacji efektywności energetycznej, produkuje się zarówno energię elektryczną jak i ciepłą. W Włoszech natomiast produkuje się wyłącznie energię elektryczną, podczas gdy w Polsce koncentrujemy się na energii cieplnej.

Ze względu na istniejące różnice, porównanie ścieżek biogazu pozwala określić wpływ wyboru produktu na różne wskaźniki zrównowagości. Energia cieplna jest mniej wartościowym produktem niż elektryczna, co jest widoczne w poziomie cen, zwłaszcza w Niemczech gdzie istnieją taryfy feed-in dla energii elektrycznej. Taryfy te i wynikające z nich różnice w cenach produktów w analizowanych trzech krajach są powodem opłacalności ekonomicznej niemieckiej ścieżki biogazu w porównaniu z polską. Warto jednak mieć na uwadze, że poza wyższą efektywnością kogeneracji w Niemczech, najbardziej ekonomiczna jest ścieżka włoska, gdyż wymaga najmniejszych nakładów inwestycyjnych, w związku z brakiem lokalnych sieci ciepłowniczych. Można zatem stwierdzić, że chociaż elektrociepłownie na biomasę mogą być korzystne z punktu widzenia ochrony środowiska, gdy istnieje w pobliżu odbiornik ciepła, skutki ekonomiczne wydają się być mniej korzystne.

W odniesieniu do wskaźników społecznych biogazownie z jednostką kogeneracyjną mają bardzo korzystny wpływ regionalny, najmniej widoczny w Polsce ze względu na potrzebę importu rozwiązań technologicznych. We wszystkich rozpatrywanych krajach wpływ na zatrudnienie jest podobny.

Trudniej porównywać ścieżkę biometanu, gdyż znaczące różnice występują w surowcach wejściowych.

Porównanie wybranych wskaźników dla biogazowni z jednostkami kogeneracyjnymi zamieszczono w Tab. 10.

Tab. 10. Porównanie wybranych wskaźników dla kogeneracji z biogazu

Kryterium	Polska	Niemcy	Włochy	Jedn
Redukcja gazów cieplarnianych	29.6	21.0	24.5	g CO ₂ eq/MJ _{energia}
IRR	2.5%	7.9%	4.9%	%
Cena produktu dla odbiorcy	0.007	0.01-0.12	0.05	€/MJ
Koszty produkcji	0.025	0.025	0.0012	€/MJ _{energia}
Wpływ na gospodarkę regionalną	83%	95%	90%	%
Zatrudnienie	0.20	0.22	0.23	FTE/ 1000 GJ

3.2 Porównanie ścieżek bioenergii z danymi odniesienia dla paliw kopalnych w Polsce oraz w innych krajach

Porównanie ścieżek bioenergii z danymi referencyjnymi dla paliw kopalnych ma kluczowe znaczenie dla określenia ich rzeczywistego wpływu.

System energetyczny w Polsce jest oparty w większości na spalaniu węgla (90% elektrowni i 75% ciepłowni). Węgiel jest również najczęściej wybieranym paliwem przez indywidualnych użytkowników urządzeń grzewczych. Jest on najtańszym paliwem, a cena ciepła jest bezkonkurencyjna w porównaniu z ciepłem wyprodukowanym ze spalania innych paliw kopalnych, czy odnawialnych. Elektrociepłownie węglowe są przestarzałe a ich stan techniczny jest zły. Pociąga to za sobą konieczność wsparcia systemów energii odnawialnej i kogeneracji.

3.2.1 Biogaz

Biogazownia kogeneracyjna wykorzystująca pozostałości rolnicze (gnojowicę, kiszonkę kukurydzianą, kiszonkę z traw) może zastąpić energię cieplną i elektryczną, produkowaną obecnie w Polsce w 90% w oparciu o węgiel. Wzbożony gaz wysypiskowy czy biogaz z odpadów pościekowych mogą zastąpić sprężony gaz ziemny CNG wykorzystywany w transporcie. Poniższa tabela przedstawia porównanie wpływu ścieżek biogazu i referencyjnych danych dla paliw kopalnych na wskaźniki zrównoważoności w Polsce.

Tab. 11. Porównanie wpływu ścieżek biogazu i referencyjnych danych dla paliw kopalnych w Polsce na wybrane wskaźniki zrównoważoności.

Kryterium	Kogeneracja z biogazu rolniczego	Generacja bazowa (ciepło i elektryczność z węgla)	Wpływ netto	Sprężony biometan (CBG) dla transportu	Wpływ bazowy - CNG jako paliwo w transporcie	Wpływ netto	Jedn.
Redukcja gazów cieplarnianych	29.6	192.7	-163.1	23.70	62.57	-38.87	g CO ₂ eq/MJ _{energia}
Zakwaszenie	0.30	1.30	-1.00	0.26	3.0E-05	0.26	g SO ₂ -eq/MJ _{energia}
Jakość powietrza	0.001	0.150	-0.149	0.001	0.000	0.001	g PM10/ MJ _{energia}
IRR	2.5%	16.0%	-13.5%	16.0%	6.0%	10.0%	%
Koszty produkcji	0.025	0.01	0.015	0.0037	0.01	-0.0063	€/MJ _{energia}
Zatrudnienie	0.20	0.16	0.04	1.83	0.595	1.77	FTE/1000 GJ
Wpływ na gospodarkę regionalną	83%	5%	78%	97%	10%	87%	%

Biogazownia kogeneracyjna posiada przewagę nad elektrociepłownią węglową- jej praca wywiera o wiele mniejszy wpływ na efekt cieplarniany i stan środowiska (zakwaszenie i jakość powietrza). Koszty produkcji energii z biogazu są wyższe, jednak obecnie koszty produkcji energii z węgla w Polsce nie uwzględniają kosztów społecznych i środowiskowych, zatem rachunek kosztów ścieżki węglowej jest niepełny. Ścieżka biogazu oferuje liczniejsze możliwości zatrudnienia i ma bardzo pozytywny wpływ na rozwój regionalny.

Obecny system wsparcia biogazu w Polsce nie zapewnia opłacalności projektów biogazowych i wpływa na ich niską wewnętrzną stopę zwrotu. Rozpowszechnianie technologii biogazu na obszarach wiejskich powinno otrzymywać efektywne wsparcie.

Sprężony biometan ze składowiska odpadów w porównaniu z gazem ziemnym wypada korzystniej pod względem poziomu emisji gazów cieplarnianych i wskaźników ekonomicznych. Szkodliwy wpływ na środowisko jest powiązany z emisjami towarzyszącymi zbiórce odpadów i z gospodarką odpadami. Wykorzystanie biogazu z oczyszczalni ścieków pozwala wyeliminować te wady, ponieważ nie towarzyszy mu wykorzystanie energii z paliw kopalnych. Jest to ścieżka atrakcyjna dla lokalnych rynków i pozwala stworzyć więcej miejsc pracy niż sektor gazu ziemnego.

Miasta rozwijające floty autobusów miejskich na sprężony gaz ziemny (CNG) powinny skierować swoją uwagę na zamianie paliwa na sprężony biometan (CBG).

3.2.2 Biopaliwa ciekłe

Polskie przedsiębiorstwa handlujące paliwami ciekłymi wypełniają swoje zobowiązania dotyczące mieszania biokomponentów z olejem napędowym i benzyną do wymaganego poziomu, ostatnio podniesionego poprzez unijne regulacje. Poniższa tabela przedstawia porównanie wpływu ścieżki biopaliw i referencyjnych danych dla paliw kopalnych na wskaźniki zrównoważoności w Polsce.

Tab. 12. Porównanie wpływu ścieżek biopaliw ciekłych i referencyjnych danych dla ciekłych paliw kopalnych w Polsce na wybrane wskaźniki zrównoważoności.

Kryterium	Biodiesel z rzepaku	Paliwo bazowe- olej napędowy	Wpływ netto	Bioetanol z kukurydzy	Paliwo bazowe- benzyna	Wpływ netto	Jedn.
Redukcja gazów cieplarnianych	46.1	84.3	-38.2	40.4	78.89	-38.49	g CO ₂ eq/ MJ energia
Zakwaszenie	0.169	0.031	0.138	0.161	0.031	0.13	g SO ₂ -eq/ MJ energia
Jakość powietrza	0.0013	0.0012	0.0001	0.0012	0.0012	0.0	g PM10/ MJ energia
IRR	13.0%	>15%	-2.0%	11.5%	>15%	> - 3%	%
Koszty produkcji	0.032	0.02	0.012	0.035	0.02	0.015	€/MJ energia
Zatrudnienie	0.38	0.07	0.31	0.26	0.07	0.18	FTE/1000 GJ
Wpływ na gospodarkę regionalną	99%	10%	89%	94%	10%	84%	%

Obecnie korzysta się z biokomponentów pierwszej generacji, o umiarkowanym poziomie emisji gazów cieplarnianych. Uprawa surowca służącego do produkcji biopaliw z jednej strony wywiera szkodliwy wpływ na środowisko, ale z drugiej pozwala na tworzenie nowych miejsc pracy, napędzając lokalną gospodarkę.

3.2.3 Biomasa stała

Ścieżki biomasy stałej mają duży udział w rynku bioenergii i są uzależnione od regulacji obowiązujących sektor energetyczny. Poniższa tabela przedstawia porównanie wpływu biomasy stałej i referencyjnych danych dla paliw kopalnych na wskaźniki zrównowagości w Polsce.

Tab. 13. Porównanie wpływu ścieżek biomasy stałej i referencyjnych danych dla ciekłych paliw kopalnych w Polsce na wybrane wskaźniki zrównowagości.

Kryterium	Pelety na ogrzewanie	Bazowy – olej opałowy	Wpływ netto	Elektrociepłownia na biomasę	Generacja bazowa (ciepło i elektryczność z węgla)	Wpływ netto	Jedn.
Redukcja gazów cieplarnianych	13.4	96.8	-83.4	1.69	142.7	-141.01	g CO ₂ eq/MJ _{energia}
Zakwaszenie	0.216	0.42	-0.204	0.34	0.60	-0.26	g SO ₂ -eq/MJ _{energia}
Jakość powietrza	0.059	0.011	0.048	0.033	0.051	-0.018	g PM10/ MJ _{energia}
IRR	12.9%	15.0%	-2.1%	1.7%	16.0%	-14.3%	%
Koszty produkcji	0.0095	0.019	-0.0095	0.009	0.008	0.001	€/MJ _{energia}
Zatrudnienie	0.16	0.07	0.09	0.13	0.16	-0.03	FTE/1000 GJ
Wpływ na gospodarkę regionalną	96%	10%	86%	80%	2%	78%	%

Ścieżka pelet drzewnych na cele grzewcze posiada liczne zalety nad wykorzystaniem lekkiego oleju opałowego, ale niestety nie należą do nich poprawa jakości powietrza i wysoka wewnętrzna stopa zwrotu. Rynek pelet powiązany z rynkami zagranicznymi zapewnia stałe dostawy paliwa i niższą cenę ciepła dla użytkowników końcowych. Kotły olejowe można zmodernizować poprzez wymianę palnika na inny, przystosowany do spalania pelet. Takie działanie pozwala obniżyć koszty inwestycyjne nowej instalacji. Ta ścieżka może się rozwijać bez specjalnych dodatkowych zachęt.

Elektrociepłownię spalającą zrębki, w porównaniu z węglem, charakteryzują korzystne wartości wskaźników środowiskowych. Ma ona również korzystny wpływ na lokalną gospodarkę. Niestety, nie jest ona opłacalna z ekonomicznego punktu widzenia. Działanie systemu świadectw pochodzenia zostało zakłócone poprzez działania dużych elektrowni współpalających biomasę z węglem i wynikowa cena świadectw nie pozwala na utrzymanie opłacalności elektrociepłowni spalającej wyłącznie biomasę. Dostępna technologia wysoce efektywnej konwersji biomasy w energię elektryczną i ciepłą (ORC- Organiczny Cykl Rankine'a dla małych i średnich instalacji) jest kosztowna i tak duży wydatek inwestycyjny wymaga szczególnego finansowania. Oczekiwany od lat przełom technologiczny- dostępna rynkowo technologia gazyfikacji biomasy stałej w silnikach spalinowych, pozwoliłby na znacznie szersze wykorzystanie systemów produkcji energii z biomasy w przyszłości.

3.2.4 Ścieżki bioenergii a dane odniesienia dla paliw kopalnych

Dwa kluczowe wskaźniki pokazują skalę korzystnego efektu częściowego zastąpienia węgla bioenergią. Poziom emisji gazów cieplarnianych jest znacznie niższy niż w przypadku paliw kopalnych. Wpływ na lokalną gospodarkę jest również bardziej pozytywny w przypadku ścieżki opartej o wykorzystanie lokalnych surowców i pracy. Zalety ścieżki bioenergii w kontekście wspomnianych wyżej zalet wypunktowano w poniższej tabeli.

Tab. 14. Efekt netto wykorzystania ścieżek bioenergii w odniesieniu do paliw kopalnych dla kluczowych kryteriów zrównoważoności.

	G1	G2	L1	L2	S1	S2
Kryterium	Kogeneracja z biogazu z kukurydzy i gnojowicy	Sprężony biometan z wysypiska dla transportu	Bioetanol z kukurydzy	Biodiesel z rzepaku	Pelety drzewne do ogrzewania	Kogeneracja z biomasy
Redukcja gazów cieplarnianych	-85%	-62%	-45%	-49%	-86%	-99%
Wpływ na gospodarkę regionalną	78%	87%	89%	84%	86%	78%

3.2.5 Analiza porównawcza z innymi państwami europejskimi

Wyniki otrzymane dla ścieżek biogazu i biomasy stałej w Polsce różnią się od danych dla innych krajów europejskich. Polski sektor energetyczny i ciepłowniczy są oparte na węglu i dostarczają zupełnie innych danych odniesienia. Wykorzystanie węgla pociąga za sobą znaczące skutki dla środowiska. Z drugiej strony niska cena energii elektrycznej i ciepłej opartych na węglu utrudnia osiągnięcie opłacalności ekonomicznej bioenergii, zwłaszcza że istniejące mechanizmy wsparcia utrwalają dominującą pozycję sektora węglowego.

Biopaliwa płynne częściowo zastępują w Polsce kopalne paliwa transportowe i dane referencyjne są podobne jak w przypadku innych krajów. Pelety drzewne porównywane są z lekkim olejem opałowym, oba stanowią towary międzynarodowe.

4 Wnioski

Poniżej wypunktowano główne spostrzeżenia i różnice/ trendy geograficzne.

- Najlepiej funkcjonującymi ścieżkami bioenergii w Polsce, pod względem wskaźników zrównoważoności, są te które zastępują produkcję energii elektrycznej i ciepłej z węgla. Niestety, zakłócony system świadectwa pochodzenia nie wspiera opłacalności instalacji bioenergetycznych. Wszystkie ścieżki są atrakcyjne dla lokalnych rynków, wpływają pozytywnie na poziom zatrudnienia, zwłaszcza na terenach wiejskich.
- Produkcja energii elektrycznej i ciepłej oparta na współpalaniu biomasy z węglem w starych elektrowniach i elektrociepłowniach stała się najbardziej opłacalna. W powyższej sytuacji oraz w wyniku wpływu współpalania na lokalne rynki surowca elektrociepłownie biomasowej oraz biogazownie kogeneracyjne odgrywają niewielką rolę. Nie przewidziano takiego zjawiska, gdy wdrażano system świadectw pochodzenia. Ponadto, współpalanie pozwala stopniowo zbliżać się do celu ustanowionego w Krajowym Planie w zakresie energii ze źródeł odnawialnych.
- Porównanie wybranych ścieżek bioenergii w Polsce ze ścieżkami istniejącymi na rozwiniętych rynkach europejskich pozwala na wyciągnięcie następujących wniosków:
 - o Ścieżka, w której znajduje się elektrociepłownia spalająca zrębki w Polsce emituje mniej gazów cieplarnianych niż w Niemczech i Finlandii i posiada podobny wpływ na środowisko. Koszty produkcji energii są wyższe niż w Niemczech, ale niższe niż w Finlandii, a ogólny wpływ na zatrudnienie i lokalną gospodarkę jest podobny do sytuacji fińskiej. Największa różnica dotyczy opłacalności ekonomicznej (wyrażanej jako wewnętrzna stopa zwrotu IRR, dużo niższej niż w przypadku zarówno Niemiec jak i Finlandii), na co wpływa istniejący system wsparcia energii ze źródeł odnawialnych oraz konkurencja z tanim węglem.
 - o Ścieżki biopaliw płynnych są podobne do tych istniejących w Niemczech. Litwa, na której istnieją inne mechanizmy wsparcia, zapewnia lepszą opłacalność przedsięwzięć.

- Polska ścieżka z biogazownią rolniczą i kogeneracyjną w porównaniu z najlepiej rozwiniętym rynkiem niemieckim wykazuje dużo gorsze parametry ekonomiczne. Podobnie jak w przypadku omówionej powyżej ścieżki biomasy stałej wynika to z regulacji prawnych obowiązujących w naszym kraju. Wskaźniki ekonomiczne we Włoszech również są bardziej korzystne niż w przypadku Polski. Wskaźniki klimatyczne i środowiskowe kształtują się na podobnym poziomie, w zależności od technik rolniczych i gospodarki surowcowej.
- W polskich warunkach niemal wszystkie wskaźniki potwierdzają korzystny wpływ zastąpienia węgla bioenergią. Obniżeniu ulega poziom emisji gazów cieplarnianych. Pozytywne skutki dla lokalnej gospodarki są rezultatem wyboru ścieżki opartej o lokalne surowce i zasoby robocze.