

Patrycjusz Zarębski¹
Politechnika Koszalińska

Analiza efektów zewnętrznych transportu biomasy

Wstęp

Rozwój odnawialnych źródeł energii w ostatnich latach jest efektem wzmożonego zainteresowania wielu państw i organizacji światowych ochroną środowiska przyrodniczego, które stanowi integralną część systemu bytowania człowieka. Środowisko to ulega nieustannym przemianom przy czym w dużej mierze sprawcą tych przemian jest człowiek i chęć zrealizowania jego nieograniczonych potrzeb. Wzmożona konsumpcja uruchamia coraz to nowsze procesy produkcyjne będące odpowiedzialne za wzrost zapotrzebowania na energię i zanieczyszczenie środowiska. W Polsce od roku 2010 zużycie energii pierwotnej na jednego mieszkańca wzrosło ze 101,2 GJ do 113,9 GJ w roku 2010, przy czym łączne zużycie energii pierwotnej w Polsce w tym roku wyniosło 4351,8 PJ².

Obserwacje wielu niezależnych środowisk naukowych wskazują na potrzebę przyjęcia nowej strategii w tworzeniu produkcji i dobrobytu światowego, w której nie tylko zwrócimy uwagę na efektywność ekonomiczną i społeczną procesów produkcyjnych i konsumpcyjnych ale jednocześnie podejmiemy próbę zminimalizowania niekorzystnych efektów zewnętrznych odnoszących się do zasobów przyrodniczych. Poszukuje się zatem takich rozwiązań, które będą przyjazne środowisku przyrodniczemu do tego stopnia, że nie będą ingerowały w jego potencjał i dadzą szansę zachowania jego walorów dla przyszłych pokoleń. Jednym z głównych wyzwań jakie pojawiają się w tworzeniu nowych rozwiązań to ograniczenie emisji gazów cieplarnianych w tym szczególnie emisji CO₂. Gospodarki różnych państw tworząc systemy produkcji opierają je głównie na tradycyjnych kopalnianych surowcach energetycznych przetwarzanych w elektrowniach i rafineriach. Przykładowo w Polskiej gospodarce występuje największe zapotrzebowanie na energię finalną z produktów naftowych (22,4 Mtoe) a następnie na energię z węgla (10,9), gazu ziemnego (9,5 Mtoe) oraz energię ze źródeł odnawialnych (4,6 Mtoe). Według prognoz do roku 2030 sytuacja ta ma ulec zmianie i zapotrzebowanie energetyczne ma być realizowane z większym udziałem produktów naftowych (27,9 Mtoe), gazu ziemnego (12,9 Mtoe) oraz energii odnawialnej (6,7 Mtoe)³. Przyglądając się prognozom energetycznym można zadać sobie pytanie o zmiany w emisji niepożądanych gazów cieplarnianych i wpływu polityki energetycznej na kształtowanie rozwoju zrównoważonego. Należy zwrócić uwagę na rozwój nowych nośników energii w tym ze źródeł odnawialnych, które jak się przyjmuje charakteryzują się zerowym bilansem emisji CO₂. Założenie to jednak jest możliwe przy niskim udziale

¹ dr P. Zarębski, adiunkt, Politechnika Koszalińska, Instytut Ekonomii, Zakład Polityki Ekonomicznej i Regionalnej

² Gospodarka paliwowo-energetyczna w latach 2009, 2010, GUS, www.stat.gov.pl. s. 52.

³ Prognoza zapotrzebowania na paliwa i energię do 2030 roku, Załącznik 2. Do „Polityki energetycznej Polski do 2030 roku”, Ministerstwo Gospodarki, Warszawa 2009.

paliw transportowych w produkcji energii. Dotyczy to głównie paliw zużywanych w procesie uprawy roślin energetycznych jak i ich transportu. Celem niniejszego opracowania jest ocena kosztów zewnętrznych produkcji energii ze źródeł odnawialnych ze szczególnym uwzględnieniem emisji CO₂ w procesie transportu biomasy do jednostki przemian energetycznych.

Efekty zewnętrzne w transporcie

Efekty zewnętrzne polegają na przeniesieniu części kosztów lub korzyści pojawiających się w wyniku działalności gospodarczej na podmioty trzecie bez odpowiedniej rekompensaty. Dzieje się tak na skutek niedoskonałości rynkowych, kiedy w kalkulacji działania nie uwzględnia się wszystkich jego efektów. Określa się je często zjawiskiem występującym poza rynkiem czyli nie podlegającym regulacjom rynku. Nieuwzględnienie tych kosztów w cenie produktu nie sprawia, że koszty te nie są ponoszone. Przeciwnie, ponoszą je podmioty bądź osoby często nie związane bezpośrednio z produkcją oraz konsumpcją finalną. Dość często za przykład negatywnych efektów zewnętrznych podaje się zanieczyszczenie środowiska przyrodniczego, które powstaje w wyniku produkcji niektórych dóbr przemysłowych.

W przypadku transportu w wyniku eksploatacji pojazdów samochodowych możemy wyróżnić kilka istotnych efektów, które traktujemy jako negatywne czynniki wpływające na sferę społeczną i ekonomiczną oraz środowisko przyrodnicze, są to:

- koszty wypadków,
- koszty emisji hałasu,
- koszty kongestii,
- koszty zanieczyszczenia powietrza.

Wszystkie wymienione elementy są ważne, przy czym ze względu na analizę roli transportu w rozwoju energetyki odnawialnej warto szczególnie przyjrzeć się zmianom jakie wywołuje emisja spalin w środowisku przyrodniczym a przede wszystkim emisja CO₂.

W tworzeniu polityki rozwoju zrównoważonego poszukujemy takich rozwiązań, które przyczynią się do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych, które w dużej mierze powstają wyniku spalania paliw kopalnianych używanych m.in. w transporcie jak i w energetyce przy produkcji energii elektrycznej oraz ciepła. Gospodarka oparta na wyżej wymienionych surowcach w myśl wspomnianej filozofii nie spełnia warunków dla trwałego rozwoju zrównoważonego. Poszukuje się zatem takich źródeł energii, które będą przyjazne środowisku a ich używanie przy produkcji energii nie jest obarczone wysoką emisją CO₂. Przyjmuje się, iż takie kryteria niskiej emisji CO₂ spełniają odnawialne źródła energii np. geotermia, farmy wiatrowe fotowoltaika. Sporną sprawą są natomiast rośliny energetyczne i produkcja energii na drodze ich spalania, gdzie występuje znaczna emisja CO₂. To co przemawia jednak za ich wykorzystaniem to fakt, iż w fazie wzrostu pochłaniają znaczne ilości CO₂ na potrzeby procesu fotosyntezy co pozwala przyjąć założenie o zerowym bilansie emisji gazu. To co może jednak zakłócić pozytywny obraz odnawialnych

źródeł energii to system transportu biomasy w energetyce rozproszonej. Przewożenie biomasy na duże odległości przy jednoczesnej wysokiej emisji CO₂ stoi w sprzeczności z ideą budowania gospodarki i systemu energetycznego wolnego od gazów cieplarnianych.

Transport biomasy w energetyce rozproszonej

Odległość na jaką transportujemy biomasę ma wpływ na cenę biomasy oraz emisję CO₂, przy czym z technologicznego punktu widzenia biomasa musi zarówno być przechowywana jak i transformowana często w specjalnych warunkach ze względu na jej wilgotność. Wysoka wilgotność biomasy powoduje pewne utrudnienia w procesie produkcji energii oraz wpływa na wzrost kosztów transportu .

Dostawy biomasy prowadzi się głównie za pomocą transportu samochodowego. Transportowana biomasa może mieć postać:

- prasowaną (kostki i bale słomy),
- sypką (trociny, zrębki, wióry, otręby, łuski, ziarno, granulaty luzem) (patrz. rys. 1),
- litą (deski, zrżyny tartaczne pręty wierzby),
- pakowaną – przewóz na europaletach po 750, 800, 880, 960, 1000 kg (pelety, brykiety).

Do przewozu biomasy ze względu na odległość można stosować:

- na dalekich dystansach transport prowadzony z użyciem pojazdów wysokotonażowych (24 – 28 ton ładowności, 30–90 m³),
- na odległościach do około 100 km zwykle pojazdy niskotonażowe (tzw. transport lekki, 7–16 t ładowności).

Przewozy materiałów o małej gęstości nasypowej, takich jak biomasa, mogą być prowadzone w naczepach o dużych gabarytach, a względnie małej ładowności.

Biomasę można przewozić:

- kontenerami (zwykle po dwa kontenery w jednym ładunku),
- wywrotkami,
- lub samochodami z urządzeniami samowyładowczymi.



Rys. 1. Proces zrębkowania wierzby i przygotowania biomasy do transportu

Źródło: zdjęcia wykonane w trakcie zbioru wierzby energetycznej z jednoczesnym zrębkowaniem na plantacji doświadczalnej wierzby energetycznej Politechniki Koszalińskiej.

Analiza wpływu odległości na efektywność ekonomiczną i ekologiczną dostaw biomasy wymaga odniesienia się do dwóch istotnych elementów: emisji zanieczyszczeń oraz kosztów transportu. Jedną z głównych przesłanek wzrostu zainteresowania energią odnawialną jest założenie zerowy bilans emisji CO₂ do atmosfery przy produkcji energii w odróżnieniu do tradycyjnych paliw kopalnianych np. węgla brunatnego czy kamiennego. Zatem CO₂ powstaje zarówno przy produkcji energii z biomasy tj. uprawy i zbiór roślin oraz transporcie biomasy.

Planowanie dostaw biomasy powinno uwzględniać powyższe ograniczenia transportu co może znacząco poprawić efektywność dostaw i przyczynić się do mniejszej emisji CO₂. Można w tym celu przeprowadzić analizę udziału emisji CO₂ przypadającej na 1GJ transportowanej energii biomasy. Analiza taka jest konieczna ze względu na zróżnicowane formy transportu ze względu na ładowność oraz poziom zużycia paliwa (patrz tab. 2.)

Aby wyznaczyć emisję CO₂ dla transportu biomasy w pierwszej kolejności należy określić ilość CO₂ jaką uzyskujemy przy spalaniu benzyn silnikowych jak i oleju napędowego (tab. 1). Następnie przy wykorzystaniu danych o zużyciu paliwa poszczególnych rodzajów samochodów dostawczych oraz emisji CO₂ (tabela 2) obliczamy ilość CO₂ przypadająca na 1km dla różnych typów samochodów dostawczych. Jeżeli przyjmiemy, że biomasa (zrębki wierzby energetycznej) jest transportowana z wykorzystaniem

benzyn silnikowych to przy pozyskaniu na potrzeby samochodu 1 GJ energii emitujemy do atmosfery 68,61 kg CO₂, natomiast w przypadku oleju napędowego 73,33 kg (tab. 1).

Tabela 1. Wartości opałowe (WO) i wskaźniki emisji CO₂ (WECO₂)

RODZAJ PALIWA	WO	WECO ₂
	MJ/kg	kg/GJ
Węgiel kamienny	21,8	94,78
Węgiel brunatny	8,88	107,25
Drewno opałowe i odpady pochodzenia drzewnego	15,6	109,76
Benzyny silnikowe	44,8	68,61
Olej napędowy	43,33	73,33

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Krajowy Administrator Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji, *Wartości opałowe (WO) i wskaźniki emisji CO₂ (WE) w roku 2008 do raportowania w ramach Wspólnotowego Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji za rok 2011.*

Po przeliczeniu odpowiednich danych uzyskujemy wskaźnik ukazujący emisję CO₂ przypadającej na 1 kilometr pokonywanej trasy (tabela 2 i 3). W celu uzyskania porównywalności metod transportu i efektywności energetycznej w połączeniu z emisją CO₂ obliczono ilość CO₂ na 1GJ transportowanej energii biomasy wg różnych odległości. W tym celu przyjęto, że kaloryczność wierzby zbieranej co roku wynosi średnio 18,55 MJ/kg s.m. (suchej masy) a co 3-lata 19,56 MJ/kg s.m. Jednak najczęściej dostarczane zrębki mają wilgotność na poziomie 45% co znacznie obniża ich wartość opałową do 10 MJ/kg.

Tabela 2. Podstawowe parametry techniczne pojazdów wykorzystywanych do transportu biomasy stałej oraz emisja CO₂

Lp.	Nazwa pojazdu	Objętość ładunku m ³	Masa ład. DMC	Długość pojazdu	Postać biomasy	Zużycie paliwa l/km
1	Samochód wywrotka 2osie	15	7t14t	6,5 m8,0 m	sypka	0,13
2	Samochód wywrotka 2osie	20	8t16t	7,0 m8,5 m	sypka pakowana	0,14
3	Samochód wywrotka do materiałów sypkich 3osie.	53	17 t24t	9,0 m10,5 m	sypka	0,22
4	Ciągnik. z naczepą wywrotną, otwarty z planką 5 osi	80	24t38 t	13,6 m16,0 m	sypka	0,36
5	Samochód z prasą, zamknięty wywrotka 5 osi	63	25 t40t	12,5 m 10,0 m	sypka luzem	0,38
6	Kontenerowiec 4osie: dwa kontenery po 36 m ³	72	20t32 t	16,0 m17,5 m	trociny, sypkie	0,3
7	Samochód z chwytakiem do drewna i tarcicy, 4 osie	48	22 t32 t	12,5 m14,0 m	zrzyny, deski, pręty	0,3
8	Ciągnik z naczepą z ruchomą podłogą, 4 osie	90	20t32 t	13,6 m16,0 m	sypka	0,3
9	Ciągnik z naczepą z ruchomą podłogą, 5 osi	90	26t40t	13,6 m16,0 m	sypka 33Europał.	0,36
10	Platforma do przewozu słomy i siana	80	14t22 t	10,5 m15,0 m	kostki lub baloty	0,15

Źródło: Duda-Kękuś A.: Transport biomasy w logistyce dostaw paliw dla elektrowni systemowych realizujących program zielonej energetyki, *Logistyka* 2/2011.

Tabela 3. Emisja CO₂ przy transporcie jednego GJ energii (kg/km⁻¹GJ⁻¹)

Lp.	Nazwa pojazdu	Ilość emisji CO ₂ kg/km	Ilość CO ₂ na GJ transportowanej energii wg odległości w km									
			15	30	50	100	200	300	400	500	600	700
1	Samochód wywrotka 2osie (objętość ładunku 15m ³)	0,34	2,7	5,4	9,0	18,1	36,1	54,2	72,3	90,3	108,4	126,5
2	Samochód wywrotka 2osie (objętość ładunku 20m ³)	0,36	2,2	4,4	7,3	14,6	29,2	43,8	58,4	73,0	87,5	102,1
3	Samochód wywrotka do materiałów sypkich 3osie.	0,57	1,3	2,6	4,3	8,7	17,3	26,0	34,6	43,3	51,9	60,6
4	Ciągnik. z naczepą wywrotną, otwarty z plandeką 5 osi	0,94	1,4	2,8	4,7	9,4	18,8	28,1	37,5	46,9	56,3	65,7
5	Samochód z prasą, zamknięty wywrotka 5 osi	0,99	1,9	3,8	6,3	12,6	25,1	37,7	50,3	62,9	75,4	88,0
6	Kontenerowiec 4osie: dwa kontenery po 36 m ³	0,78	1,3	2,6	4,3	8,7	17,4	26,1	34,7	43,4	52,1	60,8
7	Samochód z chwytnikiem do drewna i tarcicy, 4 osie	0,78	2,0	3,9	6,5	13,0	26,1	39,1	52,1	65,1	78,2	91,2
8	Ciągnik z naczepą z ruchomą podłogą, 4 osie	0,78	1,0	2,1	3,5	6,9	13,9	20,8	27,8	34,7	41,7	48,6
9	Ciągnik z naczepą z ruchomą podłogą, 5 osi	0,94	1,3	2,5	4,2	8,3	16,7	25,0	33,3	41,7	50,0	58,4
10	Platforma do przewozu słomy i siana	0,39	0,6	1,2	2,0	3,9	7,8	11,7	15,6	19,5	23,4	27,4

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych zawartych tabeli 1 i 2.

Z obliczeń wynika, iż najniższa emisja CO₂ do atmosfery w przeliczeniu na km ma miejsce w przypadku samochodu z wywrotką 2osie (objętość ładunku 15 m³), samochodu z wywrotką 2osie (objętość ładunku 20 m³) oraz platformy do przewozu słomy i siana (objętość ładunku 80 m³) (tab. 2). Największa ilość CO₂ powstaje przy wykorzystaniu ciągnika z naczepą wywrotną, otwartą z plandeką 5 osi oraz samochodu z prasą, zamkniętą wywrotką 5 osi. Przykładowo przy przewozie 80 m.p. biomasy ciągnikiem z naczepą wywrotną, otwartą z plandeką 5 osi (paliwo olej napędowy) na odległość 100 km efektem ubocznym jest wytworzenie 94 kg CO₂ co odpowiada emisji CO₂ przy spalaniu węgla kamiennego dla uzyskania 1GJ energii.

Z przedstawionych obliczeń wynika, iż przy wzroście odległości na jaką transportujemy biomasę maleje jej ekologiczny charakter i pojawiają się efekty zewnętrzne w postaci zwiększonej emisji CO₂. Przy optymalnym wariantcie transportu możemy uzyskać 8,7 kg CO₂ na 1 GJ transportowanej biomasy na odległość 100 km przy czym już przy odległości 30 km emisja zmniejsza się do 2,6 kg na 1 GJ. Wskazuje to na konieczność planowania systemów energetycznych, w których możemy ograniczyć do minimum drogę jaką transportujemy biomasę. Jest to możliwe jeśli będziemy planować produkcję energii w systemie rozproszonym, na bazie lokalnych surowców dostarczanych do 30 km. Dodatkowo przy wykorzystaniu układów kogeneracyjnych możliwa będzie obok produkcji energii elektrycznej produkcja energii cieplnej na potrzeby lokalnej społeczności lub przedsiębiorstw. Układy kogeneracyjne pozwalają na uzyskanie wysokiej sprawności przemian energetycznych co dodatkowo wpływa na efektywność ekonomiczną takich przedsięwzięć. Niewątpliwie rozwój energetyki rozproszonej będzie możliwy tylko w oparciu o sprawne

i przemyślane systemy logistyczne z zachowaniem filozofii rozwoju zrównoważonego jak i minimalnej ingerencji w środowisko przyrodnicze. Innym ważnym czynnikiem, który należy brać pod uwagę w rozważaniach nad ekologicznym charakterem transportu są biopaliwa zasilające silniki samochodów. Mogą one w znaczący sposób przyczynić się do zmiany podejścia w spojrzeniu na efekty zewnętrzne w transporcie przyjmując, iż produkcję biopaliw charakteryzuje zerowy bilans emisji CO₂.

Wnioski

1. Do przewozu biomasy możemy wykorzystać różne środki transportu, w tym szczególnie transport samochody, który jest zróżnicowany ze względu na efektywność ekologiczną jak i ekonomiczną.
2. Przy wyborze transportu musimy uwzględniać nie tylko pojemność ładunku jaki możemy przewieźć, ale również warunki przewozu biomasy, szczególnie przy przewozie biomasy suchej, jak i możliwości szybkiego załadunku i rozładunku przewożonego materiału.
3. Ze względu na emisję CO₂ do atmosfery najkorzystniejszy jest transport z wykorzystaniem samochodu z wywrotką 2osie (objętość ładunku 15 m³), samochodu z wywrotką 2osie (objętość ładunku 20 m³) oraz platformy do przewozu słomy i siana (objętość ładunku 80 m³). Najwyższą emisję CO₂ odnotowano przy użytkowaniu samochodu wywrotka 2osie o pojemności 15 m³ oraz 20 m³.
4. Optymalnym rozwiązaniem są dostawy biomasy do 50 km, gdzie emisja CO₂ nie przekracza 5 kg na 1GJ wartości energetycznej przewożonej biomasy.

Streszczenie

W publikacji podjęto próbę oceny wpływu transportu na rozwój odnawialnych źródeł energii ze szczególnym uwzględnieniem efektów zewnętrznych w postaci emisji CO₂. Wskazano źródła efektów zewnętrznych w transporcie przy czym analizie poddano emisję zanieczyszczeń. Skoncentrowano się na emisji CO₂ przez typowe pojazdy wykorzystywane w transporcie biomasy. Wyniki badań wskazały na konieczność budowania systemu energetyki rozproszonej w oparciu o lokalne źródła energii co w dużym stopniu może ograniczyć emisję CO₂ podczas transportu biomasy.

Abstract

The paper attempts to assess the impact of transport on the development of renewable energy sources with particular reference to externalities in the form of CO₂ emissions. Indicated the source of externalities in transport being analyzed emissions. The focus is on CO₂ emissions from conventional vehicles used to transport the biomass. The results showed the necessity of building a distributed energy system based on local sources of energy which can greatly reduce CO₂ emissions during transport of biomass.

Literatura

- [1] Duda-Kękuś A.: Transport biomasy w logistyce dostaw paliw dla elektrowni systemowych realizujących program zielonej energetyki, *Logistyka* 2/2011.
- [2] Gospodarka paliwowo-energetyczna w latach 2009, 2010, GUS.
- [3] Krajowy Administrator Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji, *Warto ci opałowe (WO) i wskaźniki emisji CO₂ (WE) w roku 2008 do raportowania w ramach Wspólnotowego Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji za rok 2011*.
- [4] Prognoza zapotrzebowania na paliwa i energię do 2030 roku, Załącznik 2. Do „Polityki energetycznej Polski do 2030 roku”, Ministerstwo Gospodarki, Warszawa 2009.