

Zbigniew JUROSZEK*

Wpływ lokalnych uwarunkowań na koszty jednostkowe pozyskania paliw odnawialnych

STRESZCZENIE. Koszty jednostkowe pozyskania paliw odnawialnych do obiektów energetyki rozproszonej zależą w bardzo dużym stopniu od uwarunkowań lokalnych i cech obszarów, z których pozyskiwane jest paliwo. W niniejszej pracy zaproponowano metody uwzględniania miejscowych uwarunkowań i cech plantacji energetycznych przy obliczaniu kosztów jednostkowych pozyskania paliw na potrzeby lokalnych źródeł ciepła i energii elektrycznej. W artykule omówiono też wpływ kosztów korzystania ze środków produkcji rolniczej na wysokość kosztów jednostkowych pozyskania paliw odnawialnych. Rozważania przeprowadzono na przykładzie słomy, wierzby *Salix Viminalis* i biogazu rolniczego. Zawarte w artykule informacje mogą być przydatne przy planowaniu rozwoju infrastruktury energetycznej gminy.

SŁOWA KLUCZOWE: paliwa odnawialne, energetyka rozproszona, słoma, wierzba energetyczna, biogaz

1. Słoma

Słoma jest paliwem ekologicznym. Emisja szkodliwych dla środowiska gazów powstających przy spalaniu słomy jest (w porównaniu do tradycyjnych paliw kopalnych) bardzo niska. Pyły powstające podczas spalania słomy, ze względu na swój skład che-

* Mgr inż. – Energoaparatura SA, e-mail: zbigniew.juroszek@enap.com.pl

miczny, nie stanowią zagrożenia dla środowiska (Jesionek, Soliński I. 2004; Grzybek, Gradziuk, Kowalczyk 2001). Dzięki znikomym ilościom siarki zawartym w słomie, zastąpienie tym paliwem węgla praktycznie eliminuje emisję dwutlenku siarki (Denisiuk, Piechocki 2005). Również w przypadku tlenków azotu energetyczne wykorzystanie słomy przyniesie znaczne korzyści środowiskowe. Przejście lokalnego źródła ciepła z węgla na słomę spowoduje redukcję emisji tego szkodliwego związku z 200g/GJ do 130 g/GJ (Jesionek, Soliński I. 2004). Kolejną znaczącą korzyścią środowiskową osiągniętą dzięki wykorzystaniu energetycznemu słomy jest eliminacja emisji gazów cieplarnianych do atmosfery. Niewykorzystane nadwyżki słomy pozostawiane są zwykle na polach i podlegają procesom naturalnego rozkładu, bywa też, że są spalane. W obu tych przypadkach emisja gazów cieplarnianych do atmosfery jest porównywalna z emisją powstającą podczas energetycznego wykorzystania słomy. Zastępowanie biomasą (w tym słomą) węgla w kotłowniach indywidualnych jest jedną z podstawowych metod walki z problemem niskiej emisji (Klojzy-Karczmarczyk, Mazurek 2009).

Słomę jako paliwo stosuje się najczęściej w formie beli (sprasowane bryły o kształcie okrągłym) lub w formie balotów (kształt prostopadłościanu). Rzadziej wykorzystuje się słomę luźną (kłopotliwy transport i magazynowanie) lub w formie brykietów (droga produkcja). W przypadku beli i balotów proces przygotowania paliwa rozpoczyna się jeszcze na polu, gdzie pozostawiony po żniwach surowiec formuje się za pomocą specjalistycznych urządzeń. Wielkość beli oraz balotów może być różna i zależy parametrów kotła, w którym będą spalane. Sprasowanie pozostawionej po żniwach słomy konieczne jest ze względu na niską objętość właściwą luźnej słomy – około 20 m³/t (Denisiuk 2009). Sprasowaną słomę transportuje się w miejsce składowania, wykorzystując do tego celu ciągniki lub samochody ciężarowe. Kolejnym etapem procesu jest podawanie porcji słomy do kotła. Jest ono ręczne lub zmechanizowane, w zależności od wielkości kotła i wagi dozowanych porcji. Dozowanie zmechanizowane może przy tym być cykliczne lub ciągłe. Produktami spalania słomy w kotłach ciepłowniczych są: ciepło, spaliny i popiół, który może być wykorzystywany do nawożenia.

Ocena ilości i kosztów pozyskania słomy na cele energetyczne jest bardzo ważnym elementem planowania rozwoju lokalnych źródeł ciepła (Denisiuk 2008). Według B. Solińskiego (2008) ceny słomy na lokalnych rynkach wahają się od 100 zł/t do 150 zł/t. Koszty jednostkowe pozyskania słomy do lokalnego źródła ciepła stanowią sumę trzech następujących składników:

- ✧ koszty efektywnej pracy maszyn (sprasowanie luźnej słomy w bele lub baloty, załadunek bel lub balotów na przyczepę, rozładunek w rejonie ciepłowni i uformowanie sterty),
- ✧ koszty „pustych” przejazdów maszyn rolniczych (dojazd maszyn na pola i z powrotem),
- ✧ koszty transportu słomy z pól na miejsce składowania.

Konieczność wykorzystania przy zbiorze słomy specjalistycznych urządzeń wiąże się z następującymi kosztami: amortyzacja środków trwałych, paliwo, remonty, przeglądy, ubezpieczenie, koszt robocizny związany z obsługą maszyn, materiały zużywane przez maszyny w trakcie pracy (folia lub sznurek wiążalkowy).

Często maszyny wraz z obsługą i paliwem zostają wynajęte od specjalistycznych firm. Kosztem, który ponosi wtedy podmiot dokonujący zbioru słomy jest opłata (za wykonane prace lub przepracowane godziny). Oprócz prasy (zwijającej, średniogabarytowej lub

wielkogabarytowej) do prac polowych związanych ze zbiorem słomy wykorzystujemy również zwykle nośniki widłowe lub podajniki czołowe do załadunku i rozładunku beli lub balotów oraz formowania sterty (Denisiuk, Piechocki 2005). Na poziom kosztów przygotowania słomy do zwózki wpływają przede wszystkim ukształtowanie terenu oraz kształt geometryczny pól – tzw. rozłóg, który determinuje częstotliwość nawrotów kombajnu, a co za tym idzie utratę czasu pracy maszyn i plonów na obrzeżach pola (Gębska, Filipiak 2006).

Koszty „pustych” przejazdów maszyn rolniczych (dojazdy na pola i powroty do parku maszynowego) zależą głównie od położenia i koncentracji przestrzennej pól uprawnych, a także od plonu słomy (ilość surowca uzyskiwana z jednostki powierzchni pola, wyrażana zwykle w t/ha lub dt/ha). Obszary położone blisko parku maszynowego, o dużej powierzchni i wysokim plonie słomy, będą zapewniać znacznie niższe jednostkowe koszty operacji logistycznych niż obszary bardziej oddalone, rozproszone i charakteryzujące się niskim plonem słomy (Juroszek 2010). Wpływ odległości pól od parku maszynowego na koszt jednostkowy pozyskania słomy jest dość oczywisty – im dalej usytuowane pola, tym wyższe koszty przejazdów maszyn. Pozyskiwanie słomy z odległości większych niż 80–100 km w ogóle traci zasadność (Kowalczyk 2006; Jesionek, Soliński 2004). Istotność dwóch pozostałych wyżej wymienionych czynników (powierzchnia pól i plon słomy) wynika z faktu, że im większe i bardziej skupione są pola oraz im większym cechują się plonem słomy, tym na większą ilość surowca rozkładać się będą koszty „pustych” przejazdów maszyn rolniczych, a więc – tym niższy będzie koszt jednostkowy pozyskania słomy.

Koszt transportu słomy do miejsca składowania (przy źródle ciepła) odbywa się na ogół z wykorzystaniem ciągnika wyposażonego w przyczepę. Wysokość tego kosztu zależy przede wszystkim od odległości między polami a ciepłownią. Znaczenie ma tu również jakość dróg dojazdowych. Przejazdy drogami o złym stanie technicznym lub niekorzystnie ukształtowanymi (np. stromizny, duża ilość zakrętów) wiążą się z mniejszymi prędkościami przejazdów, a co za tym idzie większymi kosztami sprzętu, paliwa i robocizny.

Wyżej opisane zjawiska opisać można w następujący sposób:

$$K_{jps} = K_{jepm} + K_{jpp} + K_{jt}$$

- gdzie: K_{jps} – koszt jednostkowy pozyskania słomy do lokalnego źródła ciepła [zł/t],
 K_{jepm} – koszt jednostkowy efektywnej pracy maszyn (przygotowanie słomy do zwózki z pola, załadunek, rozładunek w miejscu składowania, ułożenie sterty) [zł/t],
 K_{jpp} – koszt jednostkowy pustych przejazdów maszyn [zł/t],
 K_{jt} – koszt jednostkowy transportu słomy z pola w rejon źródła ciepła [zł/t],

Jednocześnie:

$$K_{jpp} = (L_m \cdot K_{hkm}) / (V_k \cdot S \cdot PS)$$

- gdzie: L_m – trasa, jaką muszą pokonać maszyny (prasa i ładowarka) z parku maszynowego na pola i z powrotem [km],

- K_{hkm} – koszt jednej godziny korzystania z maszyn [zł/h] (z uwzględnieniem obsługi oraz paliwa),
 V_k – średnia prędkość jazdy maszyn z parku maszynowego na pola i z powrotem [km/h],
 S – powierzchnia pola, wyrażona w ha (sąsiadujące lub bardzo blisko względem siebie położone arealy, które wymagają łącznie tylko jednego przejazdu maszyn traktowane są jako jeden areal),
 PS – plon słomy [t/ha].

Ponadto:

$$K_{jt} = (L_c \cdot K_{hc}) / (V_c \cdot \mathcal{L})$$

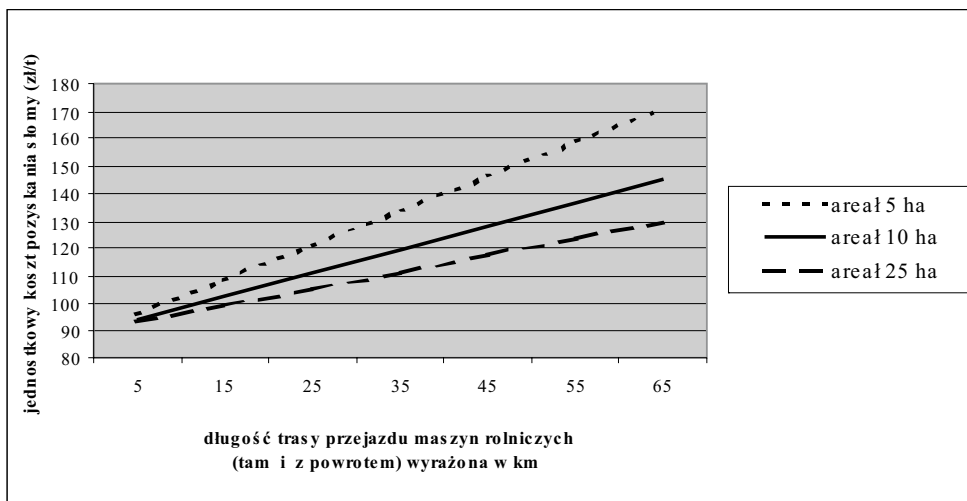
- L_c – trasa, jaką musi pokonać ciągnik zwożący słomę z pól (park maszynowy – pola – ciepłownia – park maszynowy) [km],
 K_{hc} – koszt godziny pracy ciągnika i przyczepy transportujących słomę (wraz z paliwem i obsługą) [zł/h],
 V_c – średnia prędkość jazdy ciągnika zwożącego bele lub baloty z pól [km/h],
 \mathcal{L} – ładunek słomy zabierany przez ciągnik za jednym kursem [t].

Należy nadmienić, że powierzchnia pola, z której możliwy jest zbiór słomy w ciągu jednej roboczej dniówki wynosi zwykle (w zależności od klasy sprzętu i organizacji prac) od 25 do 40 ha. W przypadku dużych i bardzo dużych pól, z których zbiór słomy trwa więcej niż jeden dzień, możliwe są trzy scenariusze. W pierwszym (powszechnym np. w Stanach Zjednoczonych, w Polsce jednak rzadko realizowanym) maszyny pracują 24 godziny na dobę. Wzór na koszt jednostkowy pustych przejazdów zachowuje wtedy słuszość. W drugim scenariuszu praca przerywana jest na noc, a maszyny pozostawiane na polu. Wzór na koszt jednostkowy pustych przejazdów zachowuje swą słuszość przy pominięciu kosztów dojazdu na pole personelu obsługującego maszyny. W trzecim scenariuszu maszyny codziennie pokonują dystans z parku maszynowego na pola (rano) i z powrotem (po zakończeniu roboczej dniówki). W tym scenariuszu w miejsce powierzchni pola przyjmując musimy powierzchnię, z której zebrana jest słoma w ciągu jednej roboczej dniówki.

Ilustracją graficzną przedstawionych powyżej zależności są rysunki 1 i 2. Przedstawiają one zależność kosztu pozyskania jednej tony słomy od odległości między parkiem maszynowym a polami (dla uproszczenia przyjęto, że park maszynowy i skład paliwa przy ciepłowni znajdują się w tym samym miejscu, a zatem $L_c = L_m$). Na rysunku 1 założono stały plon słomy – równy 2,5 t/ha oraz powierzchnię arealu przyjmującą (jako parametr funkcji) trzy różne wartości. Na rysunku 2 stała jest powierzchnia pola, natomiast zmienia się drugi z podstawowych parametrów funkcji – plon słomy.

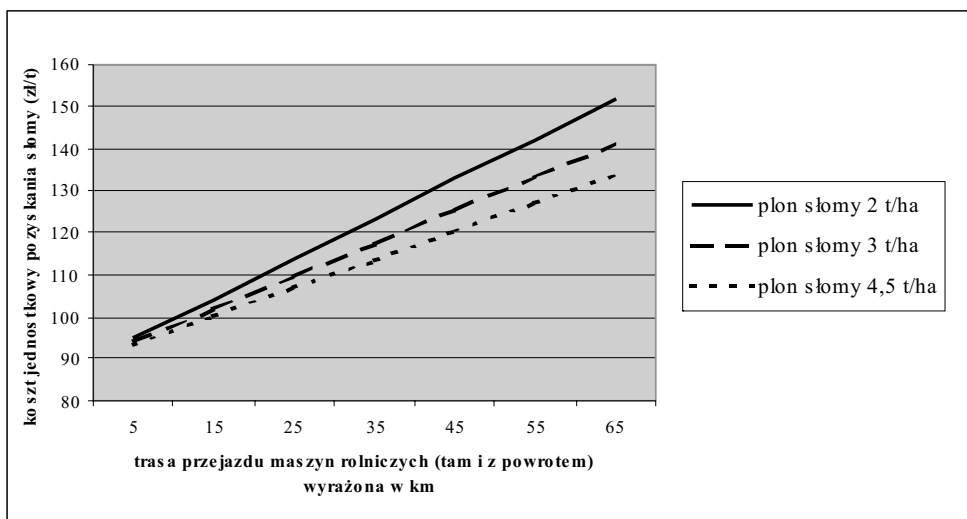
Do wykreślenia obu grup prostych przyjęto następujące założenia:

- ✧ średnia prędkość poruszania się ciągnika zwożącego słomę z pola oraz prasy pokonującej trasę park maszynowy – pola – park maszynowy wynosi 20 km/h,
- ✧ masa jednego transportu słomy z pól do ciepłowni wynosi 10 t.



Rys. 1. Jednostkowy koszt pozyskania słomy jako funkcja długości trasy przejazdu maszyn rolniczych. Plon słomy – 2,5 t/ha, areały – 5, 10, 25 ha
 Źródło: Opracowanie własne

Fig. 1. Unit cost of straw supply as a function of the distance between farmer equipment harbor and fields (there and back). Yield equal to 2,5 t/ha, surfaces – 5, 10, 25 ha
 Source: own calculations



Rys. 2. Jednostkowy koszt pozyskania słomy jako funkcja długości trasy przejazdu maszyn rolniczych. Areal 10 ha, plon słomy – 2, 3 i 4,5 t/ha
 Źródło: Opracowanie własne

Fig. 2. Unit cost of straw supply as a function of the distance between farmer equipment harbor and fields (there and back). Surface of the field equal to 10 ha, yield equal to 2, 3, 4,5 t/ha
 Source: own calculations

Ponadto, do obliczeń przyjęto następujące ceny jednostkowe wykorzystania środków produkcji rolniczej:

- ✧ koszt jednostkowy prac polowych (przygotowanie słomy do zwózki z pola, rozładunek i uformowanie sterty) wynosi 90 zł/t,
- ✧ koszt jednej godziny korzystania z prasy, ciągnika i ładowarki (z obsługą i paliwem) wynosi 200 zł,
- ✧ koszt jednej godziny korzystania z ciągnika i przyczepy wynosi 90 zł (z obsługą i paliwem).

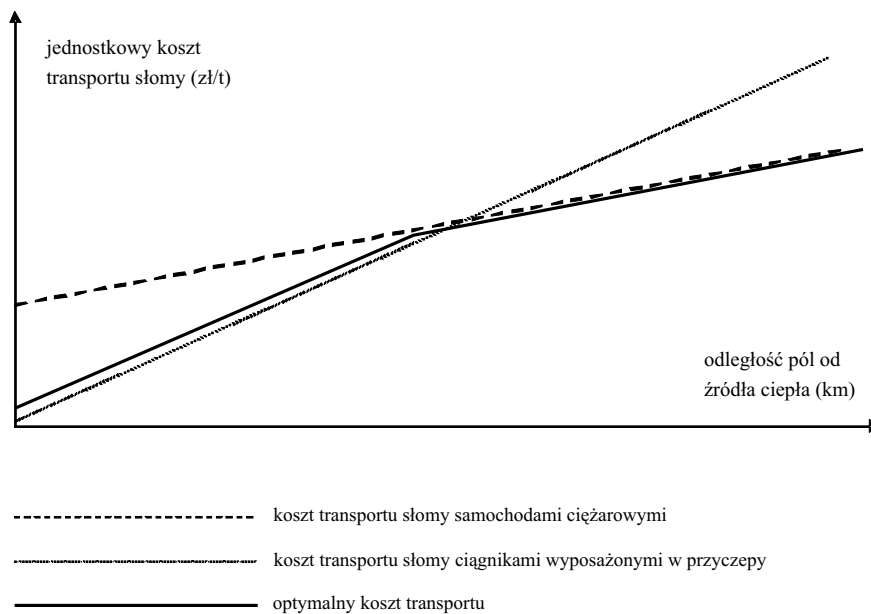
Dane dotyczące kosztów środków produkcji rolniczej zgromadzono na podstawie cennika Polskiego Związku Pracodawców i Usługodawców Rolnych, informacji udostępnionych w internecie przez Wielkopolską Izbę Rolniczą, informacji udostępnionych w internecie przez Dolnośląską Izbę Rolniczą, informacji udostępnionych w internecie przez Opolski Ośrodek Doradztwa Rolniczego w Łosiowie, dyskusji prowadzonych na forach internetowych przez podmioty zajmujące się działalnością rolniczą oraz wywiadu dokonanego przez autora z ekspertami ze Śląskiego Ośrodka Doradztwa Rolniczego w Mikołowie.

Wyżej wymienione źródła podają na temat cen czynników produkcji rolniczej nieco rozbieżne informacje. Dzieje się tak, ponieważ ceny te mogą być w różnych gminach, różnych okolicznościach i różnych latach rzeczywiście znacząco różne. Warto więc przeanalizować, jak wpływają one na zależność kosztu jednostkowego pozyskania słomy od długości trasy przejazdu maszyn rolniczych. Można spostrzec, że wzrost (spadek) kosztu jednostkowego prac polowych (K_{jpp}) powoduje przesunięcie całej prostej w górę (w dół). Można również zauważyć, że wzrost (spadek) kosztów jednostkowych pracy maszyn objawi się po pierwsze przesunięciem całej prostej w górę (w dół) na skutek wzrostu (spadku) wartości K_{jpp} , a ponadto rotacją prostej w górę (w dół) wokół punktu początkowego (wartość na osi odciętych równa zero). Możemy ponadto zauważyć, że wzrost (spadek) średniej prędkości przejazdu maszyn rolniczych lub wzrost (spadek) tonażu jednego transportu słomy również spowoduje rotację prostej w górę (w dół) wokół punktu początkowego.

Zwózka słomy jest również często organizowana z wykorzystaniem samochodów ciężarowych (Grzybek, Gradziuk, Kowalczyk 2001). Najważniejsze czynniki decydujące o wyborze między transportem słomy samochodami ciężarowymi a ciągnikiem wyposażonym w przyczepę są następujące:

- ✧ odległość pól od źródła ciepła (im większa, tym bardziej opłacalny będzie transport samochodowy ze względu na niższy koszt tonokilometra),
- ✧ odległość gminy od bazy transportu samochodowego (jeśli baza transportu samochodowego jest położona poza gminą, w cenę transportu wejdzie nie tylko koszt przewozu ładunku z pól na miejsce przeznaczenia, ale również koszt dojazdu samochodów ciężarowych do gminy),
- ✧ stan dróg dojazdowych (im lepsza jakość dróg dojazdowych, tym bardziej preferowany będzie transport samochodami ciężarowymi),
- ✧ ilość słomy (im większa ilość słomy, tym bardziej opłacać się będzie sprowadzenie do gminy aut ciężarowych).

Ilustracją wpływu pierwszych dwu, z wyżej wymienionych czynników na wybór środka transportu słomy jest rysunek 3.



Rys. 3. Wpływ odległości pól od źródła ciepła na wybór środka transportu słomy
Źródło: opracowanie własne

Fig. 3. Influence of the distance between field and local heat plant on the choice between truck and tractor as a mean of transport of straw
Source: own calculations

2. Wierzba energetyczna *Salix Viminalis*

Wśród roślin, które najlepiej nadają się do uprawy w warunkach europejskich, znajdują się przede wszystkim drzewa szybko rosnące (np. wierzba), byliny (np. topinambur), trawy wieloletnie (np. miskant olbrzymi) oraz ślazowate (np. ślazowiec pensylwański). Wydajność plantacji może osiągać nawet do 50 ton świeżej masy z jednego hektara rocznie (Dubas, Grzybek, Kotowski, Tomczyk 2004). Wartość opałowa zebranego surowca to około 16 GJ/t (Strzelczyk, Wawrzczak 2008). Techniki kultywacji roślin energetycznych są dość zróżnicowane i zależą od gatunku uprawianej rośliny. W Polsce coraz powszechniej do celów energetycznych wykorzystuje się wierzbę energetyczną *Salix Viminalis*. Bardzo ważnym atutem drewna wierzby jako paliwa jest fakt, że zawiera ona znikome ilości siarki (Zwierzchowski 2005; Szczukowski, Stolarski, Tworkowski, Przyborowski 2004). Dzięki temu emisje dwutlenku siarki towarzyszące procesowi spalania wierzby są znikome (w dostępnej literaturze szacowane są między zero a kilkanaście g/GJ). Współczynnik emisji tlenków azotu, dla technologii spalania wierzby w formie nieprzetworzonej w indywidualnych kotłach wsadowych, może się wahać od kilkudziesięciu do stukilkudziesięciu g/GJ energii pierwotnej (Jabłoński, Wnuk 2004; Kubica 2007). Według badań przeprowadzonych przez Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrzu wskaźnik emisji pyłów dla technologii

spalania wierzby w formie nieprzetworzonej w indywidualnych kotłach wsadowych wynosi około 75 g/GJ energii finalnej. Biorąc pod uwagę cały cykl obiegu materii można stwierdzić, że spalanie wierzby nie powoduje emisji dwutlenku węgla do atmosfery (Fuksa 2008; Jabłoński, Wnuk 2004; Zwierzchowski 2005).

Podstawową zaletą tej rośliny jest możliwość jej kultury na mało żyznych lub nawet skażonych terenach. Cały cykl upraw trwa około 20 lat i obejmuje sadzenie, pielęgnację oraz 5–8 zbiorów w ciągu cyklu (Jesionek, Soliński I. 2004). Zebraną masę drzewną formuje się w zrębki (kawałki o długości kilku cm) lub polana (kawałki o długości kilkudziesięciu cm), a następnie suszy. Bywa, że surowiec przerabia się na pelety lub brykiety. Tak przygotowane paliwo jest droższe, posiada jednak nieco lepsze własności fizykochemiczne i jest znacznie wygodniejsze w transporcie, przez co może stać się paliwem ponadlokalnym.

Koszty pozyskania wierzby energetycznej podzielić możemy na trzy kategorie:

- ✧ koszty proporcjonalne są do uprawianej powierzchni (amortyzacja założenia plantacji, podatek gruntowy, nawożenie, pielęgnacja, ścinka),
- ✧ koszty proporcjonalne do ilości pozyskanego surowca (transport wewnętrzny, rozdrobnienie, załadunek),
- ✧ koszty transportu zewnętrznego – proporcjonalne do ilości tonokilometrów niezbędnych dla dostarczenia paliwa do źródła ciepła.

Całkowity koszt pozyskania jednej tony wierzby energetycznej opisać można więc następującym wzorem:

$$K_{jp\ w} = k_{ha}/p + k_t + k_{tonokilometr} \cdot l$$

- gdzie: $K_{jp\ w}$ – koszt jednostkowy pozyskania świeżej masy wierzby do lokalnego źródła ciepła [zł/t],
- k_{ha} – roczny koszt kultury jednego hektara [zł/ha],
- p – roczny plon wierzby [t śm /ha],
- k_t – koszt jednostkowy transportu wewnętrznego, rozdrobnienia i załadunku [zł/ t śm],
- $k_{tonokilometr}$ – cena jednostkowa transportu – cena jednego tonokilometra [zł/tonokilometr],
- l – odległość plantacji od źródła ciepła (km)

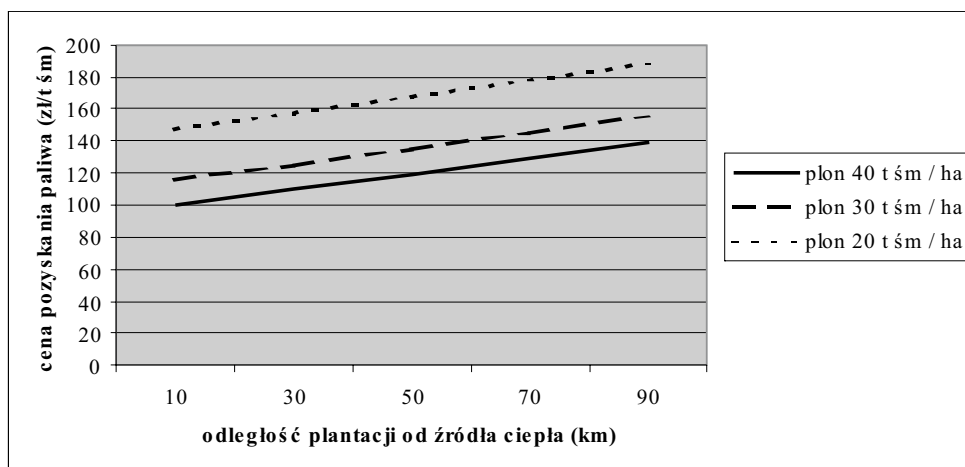
Dwoma najważniejszymi czynnikami decydującymi o atrakcyjności terenów, które przeznacza się na plantacje roślin energetycznych są zatem:

- ✧ odległość od źródła ciepła,
- ✧ możliwy do osiągnięcia plon (zależny głównie od poziomu wód gruntowych, w mniejszym stopniu od klasy gleby).

Ilustracją graficzną tego zjawiska jest rysunek 4.

Do sporządzenia wykresów przedstawionych na rysunku 4 przyjęto następujące dane:

- ✧ roczny koszt jednostkowy uprawy wierzby – część proporcjonalna do powierzchni plantacji (amortyzacja założenia plantacji, podatek gruntowy, koszty pielęgnacji, nawożenia i ścinki) – 1930 zł/ha · rok (Krawiec 2010),



Rys. 4. Koszt pozyskania jednej tony świeżej masy wierzby energetycznej jako funkcja odległości plantacji od źródła ciepła

Źródło: Opracowanie własne

Fig. 4. Unit cost of salix viminalis supply as a function of the distance between plantation and local heat plant

Source: own calculations

- ✧ roczny koszt jednostkowy uprawy wierzby – część proporcjonalna do zebranej ilości świeżej masy plonu – 46 zł/t śm (Krawiec 2010),
- ✧ cena jednostkowa transportu – 0,5 zł/tonokilometr – wyniki kilku przeanalizowanych przez autora artykułu przetargów publicznych na wykonanie usług transportowych dla gmin w latach 2008–2010 wahały się od 0,30 zł netto do 1,00 zł netto / tonokilometr, K. Krawiec ocenia (2010), że transport 22 ton wierzby na odległość 100 km kosztuje 700 zł, co daje poziom 0,32 zł/tonokilometr.

Ponieważ między różnymi źródłami danych istnieją pewne rozbieżności co do wysokości kosztów poszczególnych czynności związanych z uprawą wierzby, warto zastanowić się, jak zmiana kosztów wpływać będzie na przebieg funkcji zilustrowanych na rysunku 4. Można zauważyć, że wzrost kosztów jednostkowych uprawy wierzby (dotyczy zarówno kosztów proporcjonalnych do powierzchni uprawy, jak i kosztów proporcjonalnych do zebranej ilości surowca) spowoduje przesunięcie całej prostej w górę. Ponadto, wzrost ceny jednego tonokilometra (np. na skutek wzrostu cen paliwa) spowoduje rotację prostej w górę wokół punktu początkowego.

3. Biogaz rolniczy

Biogaz rolniczy wytwarzany jest najczęściej z odchodów zwierzęcych (np. obornik, gnojowica), roślin (np. kukurydza) lub odpadów po procesach stosowanych w sektorze rolno-spożywczym. Substraty te (lub ich mieszanka) poddane fermentacji beztlenowej

w specjalnych komorach dają biogaz. Biogaz składa się głównie z metanu (CH_4) – 50–70%, dwutlenku węgla (CO_2), tlenku węgla (CO), azotu (N) i siarkowodoru (H_2S). Biogaz wykorzystywany jest najczęściej miejscowo – do produkcji energii elektrycznej i ciepła. Stosowane są tu zwykle agregaty kogeneracyjne o sprawności brutto przetwarzania energii pierwotnej na ciepło i elektryczność około 85% (Dużyński 2008; Ziębik, Hoinka, Stanek, Budnik 2010; Górski 2007). Wziąwszy pod uwagę, że około 8% energii elektrycznej i około 25% ciepła wykorzystywane jest na potrzeby własne procesu (Popczyk 2010), otrzymujemy nieco niższą sprawność netto układu (ok. 71%). Produkcja energii z biogazu za pomocą układów kogeneracyjnych wykorzystujących spalinowe silniki tłokowe praktycznie nie powoduje emisji dwutlenku siarki i pyłów (Skorek, Kalina, 2005). Dość dużym problemem związanym z eksploatacją spalinowych silników tłokowych (dotyczy zarówno biogazu jak i gazu sieciowego) był jeszcze do niedawna wysoki poziom emisji tlenków azotu. Może on dochodzić nawet do kilkunastu gramów na jedną kilowatogodzinę wyprodukowanej energii (Górski 2007). Współczesne zespoły kogeneracyjne posiadają jednak układy redukcji powstających ilości tlenków azotu, dzięki czemu emisja tego szkodliwego związku została skutecznie obniżona. Oprócz ograniczenia szkodliwego wpływu na środowisko, biogazownie (podobnie jak inne obiekty generacji rozproszonej), przyczyniają się do eliminacji strat przesyłu i zmniejszenia strat dystrybucji energii elektrycznej. Zwiększają też niezawodność sieci elektroenergetycznych z punktu widzenia odbiorcy (Malko 2004). Zdaniem ekspertów, coraz powszechniejsze będzie się również stawać zatłaczanie oczyszczonego w odpowiedni sposób biometanu do sieci gazu ziemnego (Popczyk 2009).

Potencjał energetyczny 1 ha gruntów rolnych średniej klasy to obecnie około 5000 m³ czystego metanu rocznie. Jak przewidują eksperci, na skutek postępów w rozwoju agrotechniki potencjał ten wzrośnie między 2020 i 2030 rokiem do około 8000 m³ rocznie (Popczyk 2008). Całkowity potencjał energetyczny istniejących w Polsce nieużytków oceniany jest na 80 TWh (Popczyk 2010). Jeśli dodatkowo weźmiemy pod uwagę (w związku z nadprodukcją żywności) możliwość wykorzystania do produkcji biogazu części gruntów obecnie uprawianych (według Polskiej Izby Biomasy około 10% z 16 mln ha tj. 1,6 mln ha), potencjał ten może być oceniony jeszcze nieco wyżej.

Koszt biogazu z substratów pochodzenia zwierzęcego

Do produkcji biogazu wykorzystuje się najczęściej następujące substraty pochodzenia zwierzęcego:

- ✧ gnojówka (mocz zwierzęcy),
- ✧ gnojowica (mieszanka moczu i odchodów stałych zwierząt),
- ✧ obornik (mieszanka odchodów zwierząt oraz ściółki),
- ✧ pomiot kurzy.

Produkcja biogazu z substratów zwierzęcych może odbywać się w sposób centralny lub rozproszony. Biogazownie centralne korzystają z substratów lokalnych gospodarstw rolnych. Dostarczanie substratów z gospodarstw do biogazowni odbywa się zwykle z wykorzystaniem transportu kołowego. W Austrii i Niemczech można również spotkać przypadki

transportu substratów płynnych rurociągami. Biogazownie centralne współpracują często z lokalnymi sieciami ciepłowniczymi.

Biogazownie rozproszone zlokalizowane są przy pojedynczych gospodarstwach rolnych. Uzyskiwane w nich ciepło wykorzystywane jest na potrzeby samego gospodarstwa. W tym przypadku mogą się jednak pojawić niewykorzystane nadwyżki ciepła. Wytworzona energia elektryczna zasila gospodarstwo, a jej nadmiar odprowadzany jest do sieci elektroenergetycznej. W przypadku biogazowni rozproszonych znikają problemy logistyczne związane z transportem substratu, pojawiają się jednak nieco wyższe koszty jednostkowe inwestycji. Zalety i wady biogazowni centralnych i rozproszonych przedstawia tabela 1.

TABELA 1. Ekonomiczne różnice między funkcjonowaniem biogazowni centralnych oraz biogazowni rozproszonych (z dominującym substratem pochodzenia zwierzęcego)

TABLE 1. Differences between economic aspects of central and distributed biogas plants

Parametry ekonomiczne biogazowni	Charakter biogazowni	
	biogazownie centralne	biogazownie rozproszone
Koszt transportu substratów	wysoki	nie występuje lub jest bardzo niski
Jednostkowy koszt inwestycyjny	niski	wysoki (za wyjątkiem biogazowni rozproszonych dużej mocy)
Możliwość wykorzystania ciepła	dobra	słaba lub średnia

Źródło: Opracowanie własne

Najważniejsze czynniki wpływające na koszty pozyskiwania substratów zwierzęcych do biogazowni centralnych są następujące (Juroszek 2010):

- ✧ wielkość gospodarstw dostarczających substrat,
- ✧ odległość gospodarstw dostarczających substrat od biogazowni i od siebie nawzajem,
- ✧ jakość dojazdu do gospodarstw dostarczających substrat.

Możemy stwierdzić, że w przypadku biogazowni centralnej koszt krańcowy pozyskiwania paliwa będzie rósł wraz z wielkością produkcji biogazu, gdyż zmuszeni będziemy sięgać po substrat do coraz mniejszych, coraz bardziej niedostępnych, coraz bardziej oddalonych i rozproszonych gospodarstw. Wraz z tym rosnać będą wszystkie rodzaje kosztów transportu substratów. Bardzo dużą rolę w opłacalności produkcji biogazu odgrywają też koszty inwestycyjne. Jednostkowe koszty inwestycyjne dla biogazowni początkowo spadają wraz ze wzrostem mocy obiektu, a następnie po osiągnięciu około 0,5 MW_{el} stabilizują się na poziomie około 14 mln zł za 1 MW_{el} netto (Gajewski 2010). Tak więc efekt coraz droższego substratu (dla coraz większej produkcji biogazu) będzie się nakładał na efekt spadających kosztów jednostkowych inwestycji.

Najważniejsze czynniki decydujące o koszcie jednostkowym produkcji biogazu w biogazowniach indywidualnych to (Juroszek 2010):

- ✧ wielkość gospodarstwa,
- ✧ możliwość zagospodarowania ciepła,

- ✧ predyspozycje gospodarstwa do budowy biogazowni (ukształtowanie terenu, rodzaj gruntu itp.),
- ✧ odległość miejsca powstawania substratu od biogazowni.

Aby budowa biogazowni indywidualnej była opłacalna gospodarstwo powinno być odpowiednio duże. Minimalna wielkość hodowli, przy której produkcja biogazu zaczyna być opłacalna to około 20 SD (sztuki duże – 1 sztuka bydła lub 5 tuczników lub 20 sztuk drobiu). Projekty szczególnie rentowne to te, w których do produkcji biogazu wykorzystuje się substrat z gospodarstw większych niż 100 SD (Jesionek, Soliński I. 2004). Możliwość zagospodarowania ciepła jest dla opłacalności produkcji biogazu również szalenie istotna. Niepełne wykorzystanie ciepła powstałego w czasie spalania biogazu w agregatach kogeneracyjnych powoduje obniżkę sprawności układu. Zjawisko to może być szczególnie odczuwalne w biogazowniach indywidualnych w okresie letnim (Juroszek 2010).

Koszt biogazu z kiszonki kukurydzy

Proces produkcji i wykorzystywania biogazu roślinnego podobny jest do tego, z jakim mamy do czynienia w przypadku substratów zwierzęcych. Różnice występują jedynie w sposobie pozyskiwaniu substratu. Dalej proces technologiczny jest już ten sam. Często zresztą substraty zwierzęce i roślinne są ze sobą mieszane. Biogazownie, w których dominuje substrat roślinny, będą raczej biogazowniami centralnymi (większa moc – a zatem niższe koszty jednostkowe budowy, lepsze możliwości zagospodarowania ciepła). Podobnie jak w przypadku substratów zwierzęcych, koszt krańcowy paliwa produkowanego z kiszonki kukurydzy będzie rósł wraz ze wzrostem udziału biogazu w bilansie energetycznym gminy. Coraz większa skala produkcji biogazu zmusi nas do wykorzystywania coraz mniej urodzajnych oraz coraz bardziej oddalonych, rozproszonych i niedostępnych plantacji. Rośliną o najlepszych predyspozycjach do produkcji biogazu wydaje się być kukurydza. Jest ona uprawiana, potem (w odpowiedniej fazie dojrzewania) zbierana z pola, a następnie przyzrywana (najczęściej pod folią). W czasie składowania zebranej z pola kukurydzy zielonej tworzy się kiszonka, która następnie może być podawana do komór fermentacyjnych.

Najważniejsze rodzaje kosztów ponoszonych przy uprawie i zbiorze kukurydzy to:

- ✧ ziarno,
- ✧ nawozy,
- ✧ środki ochrony roślin,
- ✧ praca sprzętu,
- ✧ wynagrodzenia.

Czynnikami decydującymi o kosztach pozyskania kiszonki kukurydzy są przede wszystkim:

- ✧ klasa bonitacyjna pól, na których uprawiana jest kukurydza, uwzględniająca m.in. skład gleby, stosunki wodne, ukształtowanie terenu, klimat, miąższość terenu (Gębska, Filipiak 2006; Zawadzki 2002),
- ✧ odległość plantacji od miejsca składowania kukurydzy i produkcji biogazu,
- ✧ koncentracja przestrzenna terenów plantacji (wielkość pól i odległość jednego od drugiego),

- ✧ rozłóg czyli cechy kształtu geometrycznego pola (np. wydłużenie, regularność granic) poprzez wpływ na m. in. straty zbiorów przy granicy terenu uprawnego oraz koszty nawrotów maszyn rolniczych (Gębska, Filipiak 2006),
- ✧ dostępność plantacji (stan dróg dojazdowych itp.).

Do oceny przydatności terenów dla upraw rolniczych często stosuje się „wskaźnik waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej”. Jest on tak zdefiniowany, że może osiągnąć maksymalnie wartość 125 (tereny idealne). Stanowi on sumę punktów przyznawanych za:

- ✧ wskaźnik bonitacji jakości i przydatności rolniczej gleb (0–100 punktów),
- ✧ agroklimat (1–15 punktów),
- ✧ rzeźbę terenu i warunki wodne (1–10 punktów).

Podstawową jednostką terytorialną jest tu powiat lub gmina. W Polsce wskaźnik waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej nie osiąga nigdzie wartości większych niż 100 punktów. Regionem, dla którego jest on największy jest Dolnośląskie (74,9 punkty). Najniższą wartość przyjmuje w Podlaskim (55 punktów). W regionach Małopolskim i Śląskim przyjmuje on odpowiednio wartości 69,3 i 64,2 punktu (Gębska, Filipiak 2006). Wskaźnik ten może być pomocny w szacunkach kosztów pozyskiwania paliw odnawialnych, nie uwzględnia jednak specyfiki upraw energetycznych (np. kosztów zwożenia z pól dużych ilości surowca o niskiej wartości energetycznej w jednostce masy).

Całkowity koszt pozyskania jednej tony kukurydzy w celu poddania jej fermentacji podzielić możemy na trzy grupy kosztów:

- ✧ koszt uprawy (materiał siewny, praca maszyn, nawozy, środki ochrony),
- ✧ koszt transportu zebranej kukurydzy w rejon biogazowni,
- ✧ koszty „pustych” przejazdów maszyn rolniczych na pola i z powrotem do parku maszynowego (dziewięciokrotnie – celem dokonania podorywki, bronowania po podorywce, orki, bronowania po orce, wysiewu nawozów, uprawy przedsiewnej, siewu, bronowania, oprysków oraz jednokrotny przejazd kombajnu w czasie żniw).

A zatem jednostkowy koszt pozyskania kukurydzy na potrzeby biogazowni wyrazić możemy w następujący sposób:

$$K_{jpk} = K_{jpp}/PK + K_{jt} + K_{jpm}$$

- gdzie: K_{jpk} – koszt jednostkowy pozyskania kukurydzy [zł/t],
 K_{jpp} – koszt jednostkowy prac polowych [zł/ha],
 PK – plon kiszonki [t/ha],
 K_{jt} – koszt jednostkowy transportu kukurydzy w rejon biogazowni [zł/t],
 K_{jpm} – koszt jednostkowy „pustych” przejazdów maszyn rolniczych [zł/t].

Przy tym:

$$K_{jt} = (L_1 \cdot K_{hc}) / (V_c \cdot \dot{L})$$

- gdzie: L_1 – trasa jaką musi pokonać ciągnik zwożący kiszonkę z pól (park maszynowy – pola – biogazownia – park maszynowy) [km],
 K_{hc} – koszt godziny pracy ciągnika (wraz z przyczepą, paliwem i obsługą) [zł/h],

- V_c – średnia prędkość jazdy ciągnika zwożącego kukurydzę z pól lub dojeżdżającego na pola w celu wykonania prac polowych [km/h],
 L – ładunek zabierany przez ciągnik za jednym kursem [t].

Jednocześnie:

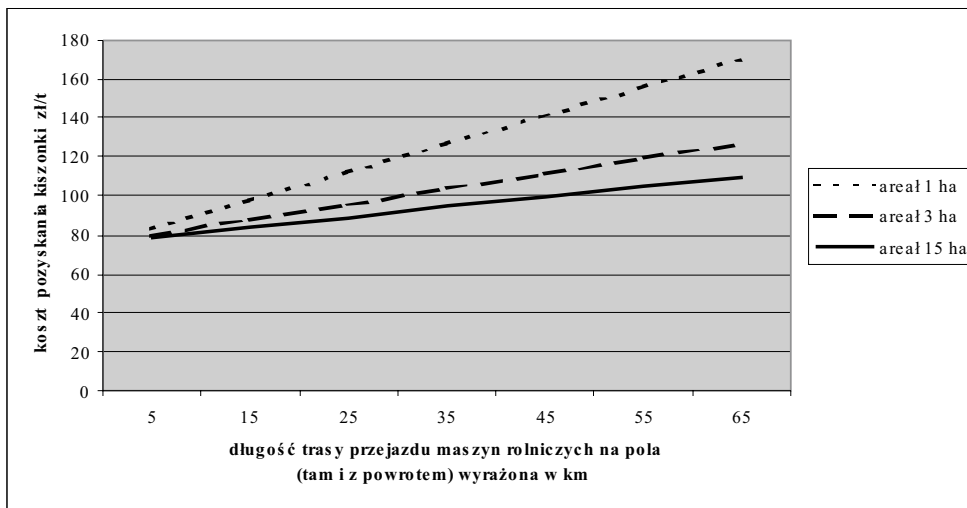
$$K_{jpm} = (9 \cdot L_2 \cdot K_{hc}/V_c + L_2 \cdot K_{hk}/V_k)/(S \cdot PK)$$

- gdzie: L_2 – trasa, jaką musi dziewięciokrotnie pokonać ciągnik wyposażony w maszyny rolnicze jadąc z parku maszynowego na pola i z powrotem [km] (wszystkie dziewięć etapów prac polowych wyliczono wyżej),
 K_{hk} – koszt jednej godziny pracy kombajnu żniwnego, wyrażony w zł/h (z uwzględnieniem obsługi oraz paliwa spalane przy przejazdach),
 V_k – średnia prędkość jazdy kombajnu żniwnego z parku maszynowego na pola i z powrotem [km/h],
 S – powierzchnia upraw, jaką za jednym przejazdem na pola i z powrotem obsłużyć może ciągnik wyposażony w maszyny rolnicze lub kombajn [ha] (dla pól małych np. kilku hektarowych jest to powierzchnia pola, dla pól dużych będzie to raczej taka powierzchnia, jaka może być obsłużona przez maszyny rolnicze w ciągu jednej roboczej dniówki).

Powyższa zależność została zilustrowana na rysunku 5. Przy sporządzaniu rysunku przyjęto następujące dane:

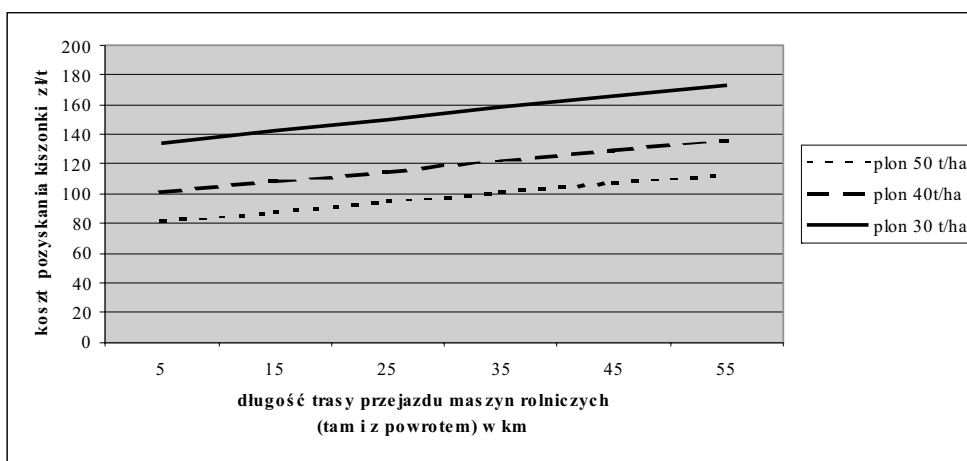
- ✧ średnia prędkość poruszania się po drogach publicznych ciągnika oraz kombajnu wynosi 20 km/h,
- ✧ ładunek zabierany przez ciągnik z przyczepą wynosi 10 t,
- ✧ koszt pracy ciągnika (wraz z obsługą i paliwem) wynosi 90 zł/h,
- ✧ koszt korzystania z kombajnu rolniczego (wraz z obsługą i paliwem) wynosi 275 zł/h,
- ✧ średni całkowity koszt uprawy i zbioru kukurydzy energetycznej z jednego hektara wynosi 3900 zł – jak szacują eksperci, koszt uprawy kukurydzy energetycznej jest o około 30% wyższy niż koszt uprawy pszenicy (Popczyk 2009), jednocześnie koszt uprawy 1 ha pszenicy ozimej waha się zwykle od około 2200 zł/ha do 4000 zł/ha (do obliczeń przyjęto 3000 zł),
- ✧ park maszyn rolniczych i biogazownia znajdują się w jednym miejscu tzn. $L_1 = L_2$.

Dane dotyczące kosztów środków produkcji rolniczej zgromadzono na podstawie danych publikowanych na stronie internetowej przez Opolski Ośrodek Doradztwa Rolniczego w Łosiu, danych publikowanych na stronie internetowej Dolnośląskiej Izby Rolniczej, cennika Polskiego Związku Pracodawców i Usługodawców Rolnych, informacji opublikowanych w internecie przez Wielkopolską Izbę Rolniczą, wywiadu dokonanego przez autora z ekspertami z Ośrodka Doradztwa Rolniczego w Mikołowie oraz dyskusji prowadzonych na forach internetowych przez podmioty zajmujące się działalnością rolniczą. Ponieważ parametry te mogą być znacząco różne w różnych gminach i w różnych okresach czasu, warto przyjrzeć się jak ich zmiana wpłynie na położenie prostych przedstawionych na rysunku 6. Spadek średniej prędkości poruszania się ciągnika lub kombajnu po drogach



Rys. 5. Koszt pozyskania kiszonki kukurydzy jako funkcja długości trasy przejazdu maszyn rolniczych na pola i z powrotem, dla plonu 50 t/ha oraz arealów 1 ha, 3 ha, 15 ha
Źródło: opracowanie własne

Fig. 5. Unit cost of maize supply as a function of the distance between farmer equipment harbor and fields (there and back). Yield equal to 50t/ha, surface equal to 1ha, 3 ha, 15 ha
Source: own calculations



Rys. 6. Koszt pozyskania kukurydzy jako funkcja długości trasy przejazdu maszyn rolniczych na pola i z powrotem, dla plonów 30 t/ha, 40 t/ha, 50 t/ha
Źródło: opracowanie własne

Fig. 6. Unit cost of maize supply as a function of the distance between farmer equipment harbor and fields (there and back). Yield equal to 30t/ha, 40t/ha, 50t/ha
Source: own calculations

publicznych (np. ze względu na zły stan nawierzchni lub stromiznę) spowoduje rotację prostych w górę wokół punktu początkowego. Podobny efekt będzie miał spadek wielkości ładunku zabieranego jednorazowo przez ciągnik podczas zwózki plonów w rejon biogazowni. Koszt pracy maszyn rolniczych spowoduje podniesienie prostych w górę (poprzez wzrost kosztu uprawy) oraz rotację w górę wokół punktu początkowego (droższy dojazd). Sam wzrost średniego kosztu uprawy i zbioru kukurydzy z jednego hektara (np. wyższa cen nawozów) spowoduje przesunięcie prostych w górę.

Podsumowanie

Koszty jednostkowe pozyskania paliw odnawialnych do lokalnych źródeł energii zależą w dużym stopniu od położenia, cech i parametrów terenów, z których zbierane jest paliwo. Znając ceny jednostkowe i podstawowe parametry techniczne czynników produkcji rolniczej, możemy za pomocą liniowych modeli konstruować zależności między kosztami jednostkowymi pozyskania lokalnych paliw odnawialnych a parametrami plantacji energetycznych. Zmiany kosztów jednostkowych czynników produkcji rolniczej powodują przesunięcie lub rotację (wokół punktu początkowego) prostych ilustrujących zależność kosztów jednostkowych pozyskania paliwa odnawialnego od dystansu między plantacją a źródłem energii finalnej. Do najistotniejszych parametrów plantacji, które determinują koszt jednostkowy pozyskania paliwa odnawialnego należą:

- ✧ dla słomy: odległość pól od źródła energii finalnej, powierzchnia pól, plon słomy,
- ✧ dla wierzby energetycznej: odległość plantacji od źródła energii finalnej, plon wierzby z hektara,
- ✧ dla kukurydzy energetycznej: plon kukurydzy z hektara, odległość pól od biogazowni.

Literatura

- [1] DENISIUK W., 2008 – Słoma – potencjał masy i energii. Inżynieria Rolnicza nr 2(100), s. 23–30.
- [2] DENISIUK W., 2009 – Słoma jako paliwo. Inżynieria Rolnicza nr 1(109), s. 83–89.
- [3] DENISIUK W., PIECHOCKI J., 2005 – Techniczne i ekologiczne aspekty wykorzystania słomy na cele grzewcze. Olsztyn, Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego.
- [4] Dolnośląska Izba Rolnicza, 2010 – Kalkulacja uprawy 1 ha pszenicy ozimej. www.izbarolnicza.pl/kalkulacje/pszenicaozima.xls
- [5] DUBAS J., GRZYBEK A., KOTOWSKI W., TOMCZYK A., 2004 – Wierzba energetyczna – uprawa i technologie przetwarzania. Wydawnictwo Wyższej Szkoły Ekonomii i Administracji w Bytomiu.
- [6] DUŻYŃSKI A., 2008 – Analiza rzeczywistych parametrów techniczno-eksploatacyjnych gazowych zespołów kogeneracyjnych. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej.
- [7] FUKSA D., 2008 – Wierzba energetyczna jako alternatywna forma energii cieplnej dla gospodarstw domowych. Małopolsko-Podkarpacki Klaster Czystej Energii, Kraków.

- [8] GAJEWSKI R., 2010 – Potencjał rozwoju biogazowni w Polsce. Polska Izba Biomasy, Referat z konferencji „Biogazownie”, Wrocław, 22.04.2010.
- [9] GĘBSKA M., FILIPIAK T., 2006 – Podstawy ekonomiki i organizacji gospodarstw rolniczych. Warszawa, Wydawnictwo SGGW.
- [10] GRZYBEK A., GRADZIUK P., KOWALCZYK K., 2001 – Słoma energetyczne paliwo. Instytut Nauk Rolniczych w Zamościu, Polskie Towarzystwo Biomasy, Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa.
- [11] GÓRSKI J., 2007 – Skojarzone wytwarzanie ciepła i chłodu w systemach ciepłowniczych w okresie letnim. Nowoczesne ciepłownictwo nr 08/07 (179), s. 14–24.
- [12] JABŁOŃSKI W., WNUK J., 2004 – Odnawialne źródła energii w polityce energetycznej Unii Europejskiej i Polski. Wydawnictwo Wyższej Szkoły Zarządzania i Marketingu w Sosnowcu.
- [13] JESIONEK J., SOLIŃSKI I., 2004 – Biomasa – ekologiczne i odnawialne paliwo XXI wieku. Polityka Energetyczna t. 7, z. 1, s. 37–116.
- [14] JUROSZEK Z., 2010 – Czynniki warunkujące wysokość kosztów krańcowych pozyskania paliw odnawialnych. Rynek Energii nr 6 (91).
- [15] KŁOJZY-KARCZMARCZYK B., MAZUREK J., 2009 – Zadania samorządów lokalnych w procesie likwidacji niskiej emisji. Polityka Energetyczna t. 12, z. 2/2, s. 277–284.
- [16] KOWALCZYK K., 2006 – Aktualne zasoby i możliwości pozyskania biomasy na obszarze Dolnego Śląska. Materiały z konferencji „Wdrażanie przepisów UE regulujących wykorzystanie odnawialnych źródeł energii w wybranych krajach członkowskich, ze szczególnym uwzględnieniem zagadnienia wykorzystania biomasy”. Urząd Marszałkowski Województwa Dolnośląskiego oraz Dolnośląska Agencja Energii i Środowiska.
- [17] KRAWIEC F., 2010 – Odnawialne źródła energii w świetle globalnego kryzysu energetycznego. Difin, Warszawa.
- [18] KUBICA K., 2007 – Efektywne i przyjazne środowisku źródła ciepła – ograniczenie niskiej emisji. Polski Klub Ekologiczny – Okręg Górnośląski. Katowice.
- [19] MALKO J., 2004 – Energetyka rozproszona – uwarunkowania i perspektywy. Polityka Energetyczna t. 7, z. spec., s. 257–265.
- [20] Opolski Ośrodek Doradztwa Rolniczego w Łosiu, 2010 – Kalkulacja kosztów produkcji pszenicy ozimej wg. cen z maja 2010. www.oodr.pl/pdf.pov10
- [21] Polski Związek Pracodawców Usługodawców Rolnych, 2010 – Ceny usług PZPUR. www.uslugirolne.pl/_ceny.htm
- [22] POPCZYK J., 2007 – Działania na 2008 oraz strategia na okres przejściowy (do 2020) uwzględniająca perspektywę 2050. Elektroenergetyka, Raport roczny 2007.
- [23] POPCZYK J., 2009 – W kierunku wielkiej syntezy energii z otoczeniem. Energetyka Ciepła i zawodowa nr 10/2009, s. 5–8.
- [24] POPCZYK J., 2010 – Kto zarobi a kto straci na handlu energią. Referat z VIII Konferencji „Odbiorcy na rynku energii”, Legnica 31 marca 2010.
- [25] POPCZYK J., 2010 – Badania nad stosowaniem mikrokogeneracji oraz technologii zintegrowanych z wykorzystaniem OZE (z uwzględnieniem mikrobiogazowni i innych technologii OZE) w różnych kategoriach budynków. Referat z konferencji „Zintegrowany system zmniejszania eksploatacyjnej energochłonności budynków”, Instytut Techniki Ciepłej Politechniki Śląskiej, Gliwice 10.12.2010.
- [26] SKOREK J., KALINA J., 2005 – Gazowe układy kogeneracyjne. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa.

- [27] SOLIŃSKI B., 2008 – Analiza struktury kosztów wytwarzania energii cieplnej w lokalnych ciepłowniach opalanych biomasą. Małopolsko-Podkarpacki Klaster Czystej Energii.
- [28] STRZELCZYK F., WAWRZCZAK A., 2008 – Efektywność biomasy jako paliwa energetycznego. Rynek Energii nr 5(78), s. 51–57.
- [29] SZCZUKOWSKI S., STOLARSKI M., TWORKOWSKI J., PRZYBOROWSKI J., 2004 – Wykorzystanie biomasy wierzby krzewiastej do produkcji energii cieplnej. Problemy Inżynierii Rolniczej, nr 2/2004, s. 31–40.
- [30] Wielkopolska Izba Rolnicza, 2010 – Kalkulacja uprawy 1 ha pszenicy ozimej. www.wir.org.pl/kalk/pszenica.htm
- [31] Zawiadomienie o wyborze oferty na świadczenie usług transportowych. Gmina Świlcza, 07.05.2010, www.swilcza.i-gmina.pl.
- [32] Zawiadomienie o wyborze najkorzystniejszej oferty na usługi transportowe w latach 2008–2009. Gmina Opoczno, 06.12.2007, www.um.opoczno.pl/bip/index.xml?menuId=31390
- [33] Zawiadomienie o wyborze najkorzystniejszej oferty na świadczenie usług transportowych. Gmina Klimontów, 22.05.2009, <http://klimontow.pl/index.php/20090507413/Przetarg-transport-materialow-drogowych.html>
- [34] ZIĘBIK A., HOINKA K., STANEK W., BUDNIK M., 2010 – Analiza systemowa gospodarki energetycznej kompleksu budowlanego użyteczności publicznej. Referat z konferencji „Zintegrowany system zmniejszania eksploatacyjnej energochłonności budynków”, Instytut Techniki Ciepłej Politechniki Śląskiej, Gliwice 10.12.2010.
- [35] ZAWADZKI S., 2002 – Podstawy gleboznawstwa. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa.
- [36] ZWIERZCHOWSKI R., 2005 – Technologie energetycznego wykorzystania biomasy w aspekcie budowy elektrociepłowni małej lub średniej mocy. Materiały z konferencji „IX Forum Ciepłowników Polskich w Międzyzdrojach”, Izba Gospodarcza Ciepłownictwo Polskie, 19–21.09.2005, Międzyzdroje.

Zbigniew JUROSZEK

Impact of local conditions on unit prices of renewable fuels

Abstract

Unit cost of supply of local energy source with renewable fuel depends in high degree on features and characteristics of the area. In this article author proposes how to consider local specificity in estimation of unit cost of renewable fuel. It is also discussed how unit prices of applying of farmer equipment affect unit price of renewable fuel. As examples of renewable fuels author proposes straw, *Salix Viminalis* and biogas. Information presented in this article may be useful in planning of municipal energy infrastructure development.

KEY WORDS: renewable fuels, local energy sources, straw, willow, biogas