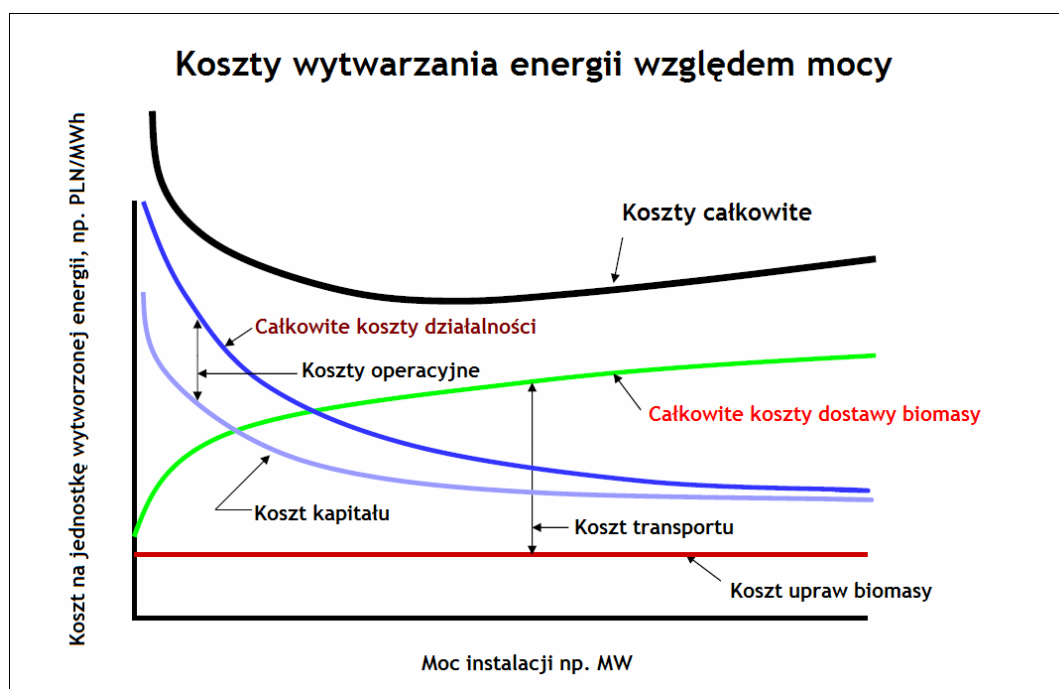


Dr inż. Maciej Sygit, mgr Piotr Chrobak, mgr inż. Marek Pielich

Na etapie przygotowania studium wykonalności projektu inwestycyjnego rozpatruje się różne warianty technologiczne (typ technologii, skala produkcji), organizacyjne, a także lokalizacyjne. Przyjęte rozwiązania technologiczne muszą wynikać z rodzajów dostępnych surowców (biomasy), z lokalnego zapotrzebowania na ciepło a także możliwości technicznych odbioru energii elektrycznej. W przypadku instalacji energetycznych na biomasę przy ustalaniu wielkości firmy konieczne jest uwzględnienie kilku istotnych czynników:

- koszty zakupu i transportu biomasy,
- ceny gruntów oraz związane z nimi podatki i opłaty;
- koszty siły roboczej;
- koszty przyłączy energetycznych (cieplnych i elektrycznych)
- inne koszty operacyjne

Zagadnienie to w przypadku wytwórców energii było wielokrotnie opisywane w literaturze, a przykładowe ujęcie graficzne rozkładu kosztów przedstawiono na poniższym rysunku.



Rysunek 1. Koszt wytwarzania energii względem zainstalowanej mocy jednostki.

Źródło: Flynn Peter, „Biomass Energy: Cost and Scale Issues”, University of Alberta 2006

W przypadku małych podmiotów CHP<sup>1</sup> na biomasę najważniejsze są kryteria związane z zakupem surowca energetycznego, transportem surowca, zakupem gruntu oraz dostępnością do wykwalifikowanej kadry technicznej a także możliwościami do uzyskania przychodami ze sprzedaży ciepła oraz energii elektrycznej. Inwestor, a także instytucje finansowe wspierające inwestycję, koncentrują się w szczególności na wynikach zaprezentowanych w studium wykonalności, w tym na wskaźnikach określających ekonomiczną efektywność inwestycji. Dla różnych wariantów rozwiązań technologiczno-

<sup>1</sup> Combined Heat and Power - CHP

organizacyjnych z uwzględnieniem różnych źródeł finansowania, określa się wskaźniki typu NPV, IRR, ROE, ROI i inne. Umożliwiają one dokonanie wyboru wariantu najlepszego (optymalnego), który zostanie przyjęty do realizacji lub ze względu na niekorzystne wskaźniki inwestycja zostanie odrzucona jako nieefektywna. W wielu opracowaniach zwraca się uwagę, że jednym z najistotniejszych czynników, wpływających na efektywność przedsięwzięć typu CHP na biomasę, są koszty zakupu surowca energetycznego i transportu. Zwraca się tam uwagę na istotne znaczenie kosztów transportu biomasy. Problem kosztów transportu biomasy został nawet zauważony w 2004 r. przez Parlament Brytyjski. Podkreśla się, że drewno energetyczne nie powinno pochodzić z źródeł odległych od małych CHP więcej niż 10 mil. Przekroczenie tej odległości uniemożliwia otrzymywanie dotacji do upraw biomasy przez ich producentów.

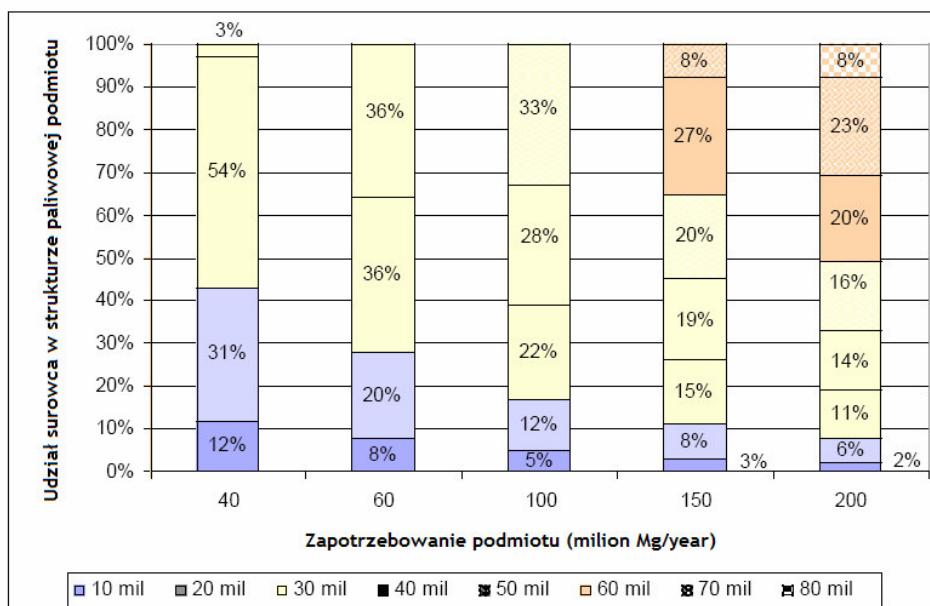
Przyjmijmy, że znamy parametry techniczno-ekonomiczne dla określonego, interesującego inwestora, rozwiązania technicznego CHP. Znane są również nakłady inwestycyjne związane z wybudowaniem „pod klucz” takiego obiektu oraz koszty eksploatacji, które nie zawierają kosztów zakupu i transportu biomasy oraz kosztów dystrybucji energii cieplej.

Na etapie inwestycji konieczne są do poniesienia dwa rodzaje nakładów:

- niezależne od wskazania lokalizacyjnego;
- zależne od wskazania lokalizacyjnego (nakłady inwestycyjne na wybudowanie sieci ciepłowniczej oraz nakłady inwestycyjne na wybudowanie przyłącza prądowego do sieci energetycznej).

Z punktu widzenia minimalizacji wartości tych nakładów należy wybudować obiekt możliwie blisko odbiorców ciepła oraz w dogodnym miejscu z punktu widzenia przyłącza prądowego. Jednak z drugiej strony należy mieć na uwadze koszty związane z eksploatacją obiektu.

Z jednej strony są to koszty względnie stałe, niezwiązane bezpośrednio z lokalizacją, tj. koszty eksploatacji, które nie zawierają kosztów zakupu i transportu biomasy oraz kosztów dystrybucji energii cieplej.



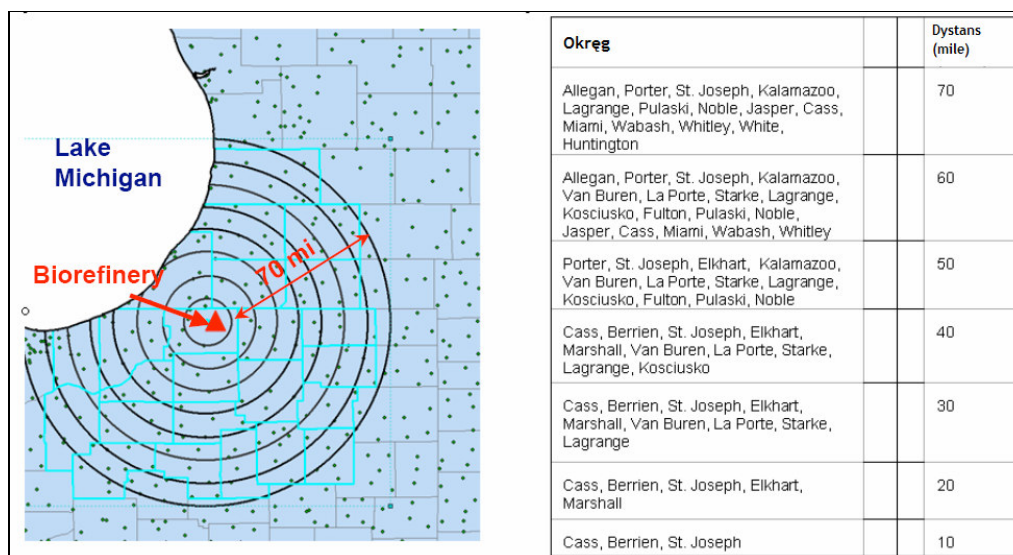
Rysunek 2. Struktura odległości transportu biomasy względem zapotrzebowania podmiotu na surowiec.

Źródło: Ileleji Klein, „Transportation logistics of Biomass for Industrial Fuel and Energy Enterprises”, 7<sup>th</sup> Annual Conference on Renewable Energy from Organic Recycling, Indianapolis 2007

Jak wspomniano wcześniej, w przypadku przedsięwzięć energetycznych na biomase jedną z najważniejszych pozycji kosztowych są koszty jej zakupu i transportu surowca. Ceny biomasy są zróżnicowane i mogą ulegać w przyszłości zmianom. Z tego względu istotne jest zawieranie z dostawcami umów długoterminowych, gwarantujących stabilność dostaw i cen w długich horyzontach czasowych kosztem nawet nieco większych wartości w momencie podpisywania tych umów. Dla uproszczenia możemy obecnie przyjąć, że w rozpatrywanym przez nas modelu ceny biomasy „loco dostawca” są względnie stałe. Oznacza to, że koszty transportu, które są funkcją lokalizacji, będą mniejsze, gdy obiekt CHP będzie zlokalizowany bliżej bazy surowcowej lub gdy będzie wystarczająca podaż surowca w niewielkiej odległości. Koszty transportu będą wzrastać wraz odległościami do najbliższych baz surowcowych.

Na rysunku nr 2 przedstawiono strukturę, w której udział surowca w zapotrzebowaniu podmiotu uzależniony jest od odległości jaką transport musi pokonać oraz od wielkości zapotrzebowania podmiotu na surowiec. Wynika z niego, iż im większe zapotrzebowanie podmiotu, tym z większych odległości sprowadzono biomasę. Ma to bezpośredni wpływ na koszty ponoszone przez podmiot.

W niniejszym opracowaniu przedstawiono próbę uchwycenia relacji pomiędzy kosztami transportu surowca a mocą zainstalowaną jednostki CHP. Relacja ta jest proporcjonalna - im większa moc jednostki (zapotrzebowanie na surowiec), tym większy koszt transportu surowca (z dalszej odległości należy go zwozić).



Rysunek 3. Struktura odległości transportu biomasy względem zapotrzebowania podmiotu na surowiec.

Źródło: Ileleji Klein, „Transportation logistics of Biomass for Industrial Fuel and Energy Enterprises”, 7<sup>th</sup> Annual Conference on Renewable Energy from Organic Recycling, Indianapolis 2007

Aby odnieść się do teoretycznego modelu opisującego relację pomiędzy kosztem transportu M ton biomasy a mocą zainstalowaną należy przyjąć pewne założenia, które pozwolą na wyabstrahowanie indywidualnych przypadków lokalizacyjnych.

Należy założyć, iż środek transportu transportujący surowiec porusza się w obszarze bazy surowcowej po dowolnych ścieżkach dlatego, że siatka możliwych dróg dostępna byłaby dopiero po uwzględnieniu konkretnej lokalizacji.

Należy również wyjaśnić, iż z danego obszaru można pozyskać pewną ilość biomasy, którą można wykorzystać na cele energetyczne. Ilość surowca zależy od lokalizacji

jednostki, np. na rysunku nr 3, przedstawiono lokalizację podmiotu, który ze względu na bliskość jeziora traci ok. 20% obszaru w promieniu 70 mil, z którego teoretycznie mógłby dowozić biomasę.

W każdym indywidualnym przypadku można określić średni uzysk biomasy z danej powierzchni jaki podmiot gospodarczy potencjalnie może wykorzystać. Parametr ten nazywamy gęstością bazy surowcowej  $q = \text{ilość biomasy [Mg]} / \text{powierzchnia [km}^2\text{]}$ . Gęstość bazy surowcowej może również być przedstawiona w postaci stosunku powierzchni, z której można zwieźć biomasę do powierzchni, na której brak jest użytecznego surowca. **Zapotrzebowanie  $M$  [Mg]** na biomasę wynika z wielkości mocy zainstalowanej  $Q$  [kW] w jednostce wytwórczej oraz z wartości energetycznej dostępnej biomasy. Jeśli przyjmujemy, że znane jest zapotrzebowanie  $M$  na biomasę to **promień bazy surowcowej** liczony od źródła energii  $r_0$  [km], można obliczyć z następującego równania:

$$M = \pi \times r_0^2 \times q \quad (1)$$

Stąd promień powierzchni bazy surowcowej  $r_0$  jest pierwiastkiem stosunku mocy jednostki do gęstości bazy surowcowej pomnożonej przez liczbę  $\pi$ .

$$r_0 = \sqrt{\frac{M}{\pi \times q}} \quad (2)$$

Szacując ogólne koszty transportu należy je uzależnić przede wszystkim od zapotrzebowania na surowiec, a wypadkową zapotrzebowania jest właśnie promień bazy surowcowej. Środek transportu, przewozi surowiec z obszaru wytyczonego promieniem  $r_0$ . Zakłada się, iż środki transportu (np. ciężarówki) muszą wyjeżdżać z zakładu energetycznego przerabiającego biomasę i wrócić z surowcem, czyli pokonują dystanse od bardzo małych (blisko zakładu przetwórczego) do maksymalnie dwukrotności promienia bazy surowcowej. **Jednostkowy koszt transportu  $k_0$**  (tonokilometr) jest również kosztem statym, a jego wpływ na całkowity koszt transportu zależy od wielkości zapotrzebowania na biomasę. Aby oszacować całkowity koszt transportu surowca należy zbadać powierzchnię bazy surowcowej uzależnioną od omówionych wcześniej czynników.

$$K = \int_0^{r_0} (2\pi \times r \times q \times k_0 \times 2r) dr \quad (3)$$

Rozwiązaniem powyższego równania jest całkowity koszt transportu  $K$  [PLN]. Scałkowano funkcję uzależniającą całkowite koszty transportu od promienia bazy surowcowej, jednostkowego kosztu transportu i faktu, iż transport musi pokonać dwukrotnie ten sam dystans długości promienia. Po przekształceniach otrzymujemy:

$$K = \frac{4}{3} k_0 \times q \times \pi \times r_0^3 \quad (4)$$

Podstawiając we wzorze (4)  $r_0$  obliczone w (2) otrzymamy równanie odnoszące całkowity koszt transportu względem zainstalowanej mocy elektrycznej jednostki wytwórczej.

$$K = \frac{4}{3} k_0 \times q \times \pi \left( \frac{M}{q} \times \frac{1}{\pi} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (5)$$

W podanym równaniu wyróżnić można parametry, które liniowo wpływają na przedstawioną zależność.

$$\alpha = \frac{4}{3\sqrt{\pi \times q}} k_0 \quad (6)$$

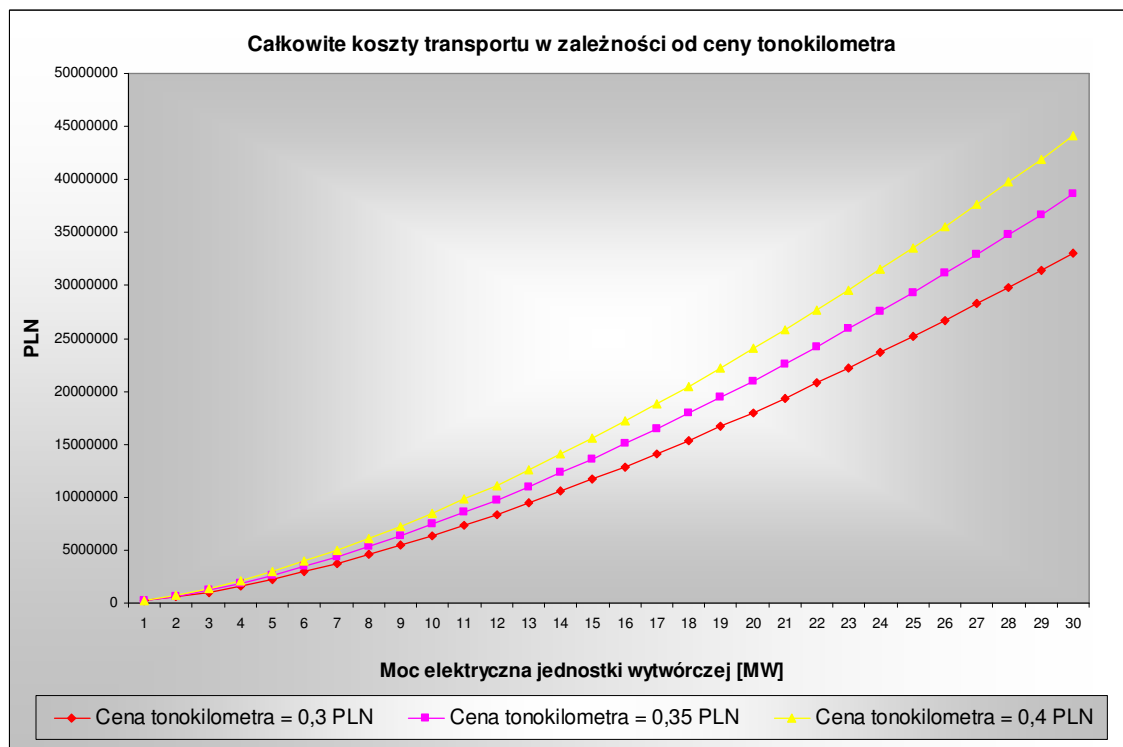
Stosując podstawienie (6) w którym obliczona  $\alpha$  (Alfa) jest współczynnikiem stałym dla danego wariantu inwestycyjnego, możemy podać podstawową zależność pomiędzy zapotrzebowaniem na surowiec energetyczny (przyjęty rodzaj biomasy) a kosztami jej transportu (7)

$$K = \alpha \sqrt{M^3} \quad (7)$$

Próbując podać przykład zastosowania równania, należy odnieść się do rzeczywistego wariantu inwestycyjnego. Przyjmijmy, iż:

- gęstość  $q$  biomasy w otoczeniu jednostki wytwórczej wynosi w przybliżeniu 1,5%,
- jednostkowy koszt transportu  $k_0$  wynosi 4 PLN.

Zależność całkowitego kosztu transportu  $K$  od zapotrzebowania na biomasę  $M$  przedstawiono na rysunku poniżej. Zaprezentowano trzy warianty krzywej kosztowej różniące się jednostkowym kosztem transportu, tj. 0,3 PLN, 0,35 PLN oraz 0,4 PLN za tonokilometr, w przypadku, gdy biomasę przewozi ciężarówka o ładowności 10 [Mg].

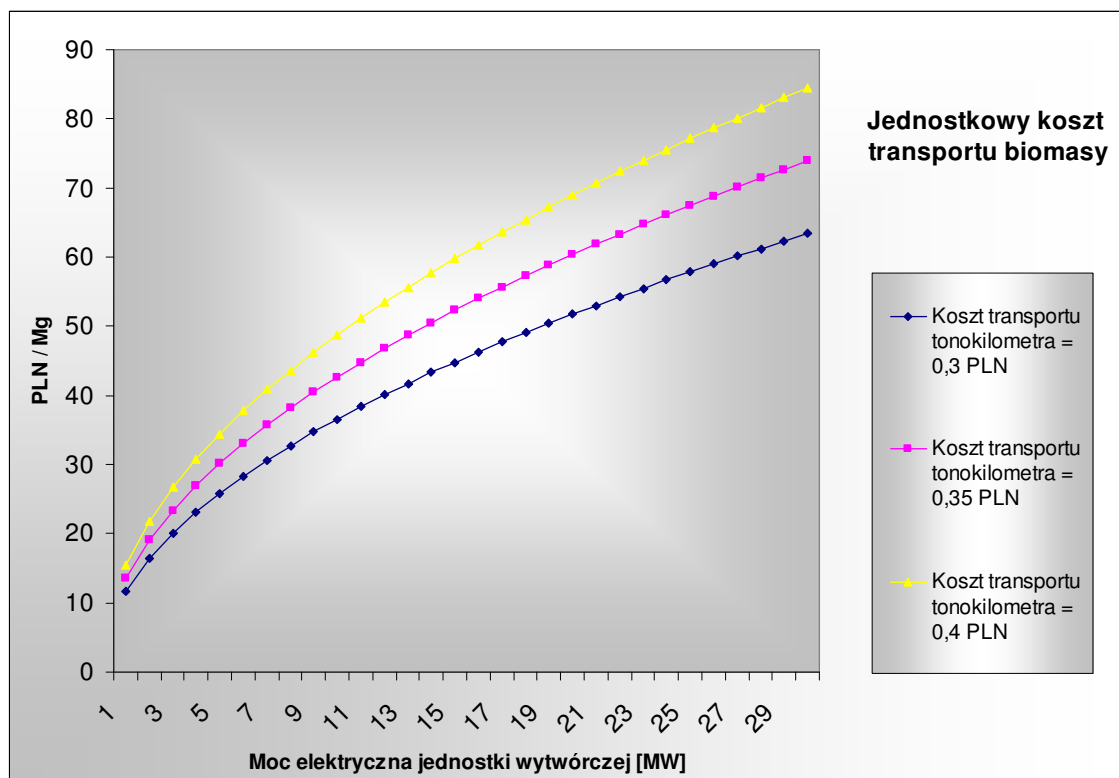


Rysunek 4. Całkowite koszty transportu biomasy względem mocy elektrycznej jednostki wytwórczej.

Źródło: opracowanie własne

Przedstawione na powyższym wykresie dane udowadniają nieliniową zależność kosztów transportu od wielkości zainstalowanej mocy. Interpretując uzyskany rezultat względem ilości biomasy potrzebnej do przewiezienia można przedstawić wykres uzależniający całkowity koszt transportu biomasy od wielkości zapotrzebowania na

biomasę. W ten sposób osiągnięto rezultat obrazujący rozkład kosztu transportu na jednostkę biomasy.



Rysunek 5. Jednostkowy koszt transportu biomasy względem mocy elektrycznej jednostki wytwórczej.

Źródło: opracowanie własne

Wyznaczone w niniejszym opracowaniu równanie może posłużyć potencjalnym inwestorom jako narzędzie wspomagające podejmowanie decyzji przy inwestycjach i eksploatacji jednostek wytwórczych wykorzystujących biomasę jako surowiec.