

## Projekt BIOTEAM

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

#### Część 5.1

## STRATEGICZNE DECYZJE DLA BIOENERGII Z WYKORZYSTANIEM NARZĘDZIA DO OPTYMALIZACJI MIKRO-EKONOMICZNEJ - POLSKA

**Cel zadania: Pogłębienie zrozumienia wpływu dynamiki systemu rynkowego na zrównoważone wykorzystanie biomasy**



## 1 Wprowadzenie

Podczas gdy instalacje wykorzystujące bioenergię są zazwyczaj promowane ze względu na aspekty zrównoważoności, realizacja inwestycji tego rodzaju uzależniona jest od przewidywanej opłacalności przedsięwzięcia. W przypadku zakładów produkujących energię w oparciu o konwersję biomasy oprócz wielkości planowanej produkcji energii oraz kosztów zakupu paliwa istnieją jeszcze dwa inne czynniki decydujące o poziomie kosztów. Na skutek tego, że biomasa porasta stosunkowo równo większy obszar, a nie jest wydobywana w dużych ilościach w kilku miejscach tak jak w przypadku złóż mineralnych, przy określaniu zdolności produkcyjnej zakładu należy wziąć pod uwagę ekonomikę skali i koszty związane z transportem, jak również możliwe do zdobycia dotacje. Jak wykazują analizy ścieżek bioenergii inwestorzy z branży bioenergetycznej są w stanie zdefiniować optymalną wielkość zakładu produkcyjnego, należy jednak zweryfikować czy wielkości uzasadnione ekonomicznie mają zastosowanie w przypadku krajów partnerów projektu BIOTEAM<sup>1</sup>. W niniejszym dokumencie poddano analizie ścieżki bioenergii stosując modele mikro-ekonomicznej optymalizacji w celu

<sup>1</sup> Finlandia, Niemcy, Włochy, Litwa, Holandia Polska

przewidzenia możliwych reakcji inwestorów na ewentualne zmiany w obowiązujących przepisach prawnych.

## 2 Metodologia

Rentowność przedsięwzięcia może być określona poprzez oszacowanie zwrotu z inwestycji (ROI) lub wartość bieżącą netto (NPV) zakładu produkującego energię z biomasy. Uproszczony wskaźnik NPV, który przedstawia planowaną wartość dodaną inwestycji z uwzględnieniem wymaganej stopy zwrotu może być zastosowany do oszacowania efektywności ekonomicznej inwestycji w zakład zajmujący się przetwarzaniem biomasy w energię. Wskaźnik ten przedstawia wartość absolutną, jednakże sprawia to trudności we właściwym porównaniu wskaźników NPV dla zakładów znacznie różniących się wielkością.

Jako że wskaźnik zwrotu z inwestycji (ROI) jest wartością względną dla szacowanej wielkości inwestycji w zakład przetwarzania biomasy maksymalizacja stopy zwrotu z inwestycji jest głównym wyznacznikiem efektywności inwestycji, które omówione zostało w tym opracowaniu. Zastosowanie podejścia maksymalizacji ROI uważa się za wykonalne, jako iż decyzje inwestorów w branży bioenergii dotyczące mocy zakładu są często zbliżone do teoretycznie opracowanych modeli. Wynika to z faktu, iż chociaż lokalni inwestorzy nie korzystają z teoretycznych modeli optymalizacji, to podejmują decyzje inwestycyjne z dużą starannością mając na celu osiągnięcia zysku, co prowadzi do podobnych rezultatów, jakie daje zastosowanie wzorów optymalizacji.

Podczas analizy rezultatów wprowadzenia zmiany mocy produkcyjnych zakładu oszacowanie niektórych kluczowych kosztów wymaga zastosowania funkcji nieliniowych. Dotyczy to zarówno nakładów inwestycyjnych jak i kosztów transportu, które pozostają w związku nieliniowym z mocą produkcyjną zakładu. W przypadku szacowania kosztów inwestycyjnych niezbędnych do określenia kosztów produkcji, przybliżona moc produkcyjna wyliczana jest z uwzględnieniem korzyści skali.

$$C_2 = \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^n \cdot C_1 \quad (1)$$

Gdzie:

$C_i$  = koszty inwestycyjne dla projektu  $i$

$S_i$  = moc produkcyjna dla projektu  $i$

Tabele dla każdej ze ścieżek bioenergii przedstawiają najważniejsze parametry stosowane do obliczenia zoptymalizowanej mocy produkcyjnej. Podczas gdy krańcowe koszty inwestycyjne wskazują na obniżające się wartości przy rosnącej mocy zakładu, odległości, z których transportowana jest biomasa rosną w wyższym tempie. Jako że zarówno zmienny koszt transportu jak i koszt emisji gazów cieplarnianych wynikających z transportu zależą od średniej odległości transportowej, podejście oparte na odległości może być użyte do oszacowania obu w/w czynników. Zakładając, iż obszar, z którego pozyskiwana jest biomasa ma kształt okręgu dookoła zakładu, odległości można oszacować z wielkości mocy produkcyjnej stosując współczynnik z wykładnikiem potęgi 1.5. W ten sposób można w przybliżeniu obliczyć koszty transportu dla danej mocy produkcyjnej zakładu ( $x$ ):

$$C_{transport} = v_1 \cdot \frac{\theta^{1.5}}{\sqrt{\pi \cdot \psi \cdot \lambda}} \cdot x^{1.5} \quad (2)$$

Odmienne sposób obliczenia tych dwóch rodzajów kosztów zależnych od mocy produkcyjnej oznacza, że wynikowa funkcja celu jest wklęsła, jako że inne kluczowe czynniki (sprzedaż i koszty zakupu biomasy) pozostają w stosunku liniowym do mocy zakładu. Funkcje wklęsłe mają dokładnie jedno optimum, co oznacza istnienie jednej optymalnej wartości mocy produkcyjnej, dla której zwrot z inwestycji (ROI) jest najwyższy. Dla mocy optymalnej odpowiednie średnie odległości decydują o zmiennych kosztach transportu i związanych z transportem emisjach gazów cieplarnianych. W celu zdefiniowania optymalnej mocy produkcyjnej zakładu w danym regionie lub dla danego scenariusza należy zdefiniować lub określić w przybliżeniu wartości szeregu kluczowych parametrów. Zakładając, iż całość produkcji zakładu może podlegać zbytowowi, sprzedaż można obliczyć przez pomnożenie mocy produkcyjnej (t/y) przez przewidywaną cenę produktu (np. €/t). Podobnie jak przy obliczeniu wartości sprzedaży, koszty zakupu biomasy można w przybliżeniu wyliczyć mnożąc cenę biomasy (c) przez wymaganą ilość biomasy ( $\theta \cdot x$ ).

Dla obliczenia kosztów inwestycyjnych niezbędna jest znajomość dwóch innych parametrów: bazowego kosztu inwestycji (a), który jest mnożona przez moc produkcyjną  $x^n$  w celu uzyskania przybliżonych kosztów inwestycyjnych dla zakładu o mocy produkcyjnej x, oraz współczynnika kosztów inwestycyjno-pochodnych (f). Współczynnik ten określa kilka rodzajów kosztów, które zakłada się, że rosną proporcjonalnie ze zwiększeniem nakładów inwestycyjnych (Vogel et al., 2008). Koszty te zawierają roczną amortyzację (wynoszącą 6.67 % rocznie przy amortyzacji liniowej w okresie 15 lat), koszty operacyjne (przymiowane na poziomie 8 %) oraz zakładaną stopę inflacji.

Ostatni zestaw parametrów obejmuje wartości związane z dostępnością biomasy i jej transportem. Zmienne koszty transportu i emisje gazów cieplarnianych powinny być zdefiniowane dla danego rodzaju środka transportu i pomnożone przez średnią odległość. Określenie tej odległości z kolei wymaga przyjęcia założeń, co do wysokości plonów oraz udziału powierzchni upraw biomasy w całkowitej powierzchni regionu, z którego pozyskuje się ją dla danego zakładu. Kompletna funkcja celu modelu optymalizacji,  $g(x)$ , zawiera takie elementy jak wielkość produkcji, koszty zakupu biomasy, koszty inwestycyjne oraz koszty transportu. Dla tej funkcji dla obliczenia zwrotu z inwestycji suma kosztów jest dzielona przez początkowy nakład inwestycyjny, co przedstawia poniższe równanie Eq (3):

$$g(x) = \frac{(b - c \cdot \theta)}{a} \cdot x^{0.33} - f - v_1 \cdot \frac{\theta^{1.5}}{a \cdot \sqrt{\pi \cdot \psi \cdot \lambda}} \cdot x^{0.83} \quad (3)$$

### 3 Elektrociepłownia na biomasę stałą

Poniższa kalkulacja optymalizacji opiera się na wartościach dla konkretnego zakładu uzyskanych podczas rozmowy z właścicielem znajdującej się w północnej Polsce elektrociepłowni (EC) opalanej zrębkami drzewnymi o rocznej mocy produkcyjnej 8.0 GWh<sub>el</sub> i 34.7 GWh<sub>t</sub>.

#### 3.1 Przyjęte wartości parametrów

Zgodnie z Prawem Energetycznym obowiązującym w czasie powstania elektrociepłowni energia elektryczna z uwzględnieniem zielonych i czerwonych certyfikatów (z kogeneracji) jest sprzedawana za cenę 10.5 cent/kWh<sub>el</sub>, natomiast ciepło za cenę 2.16 eurocent/kWh<sub>t</sub>, co daje średnią ważoną cenę energii 3.72 eurocent/kWh dla omawianego zakładu (Patrz Tablica nr 1).

**Tab. 1. Wartości parametrów EC na biomasę**

Współczynnik dla nakładów inwestycyjnych (f)	0.20
Wartość bazowa dla korzyści skali ( dla produkcji 1 MWh)	234.1 €/MWh
Cena produktu ( średnia ważona cena energii elektrycznej i ciepłej)	3.72 cent/kWh
Cena biomasy (zrębki drzewne)	14.4 €/MWh
Koszty zmienne transportu ( $v_1$ )	0.12 €/t km
Współczynnik konwersji ( $\theta$ )	0.63 m <sup>3</sup> biomasy/MWh
Wielkość plonów ( $\psi$ )	9.55 m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup>
Udział potencjalnych zasobów ( $\lambda$ )	ok. 40 %
Optymalna moc produkcyjna zakładu / Rzeczywista moc produkcyjna zakładu (x)	1,034,390 / 42,722 MWh/a

W trakcie wywiadów przeprowadzonych z interesariuszami uzyskano informacje na temat łańcucha dostaw biomasy. Warunki podaży i cena zrębków drzewnych zależą od sytuacji w przemyśle drzewnym, popytu na odpady drzewne z zakładów produkujących sklejkę drewnianą oraz sytuacji w przemyśle energetycznym. Do roku 2012 cena odpadów drzewnych rosła, a od tego czasu ma tendencje spadkową.

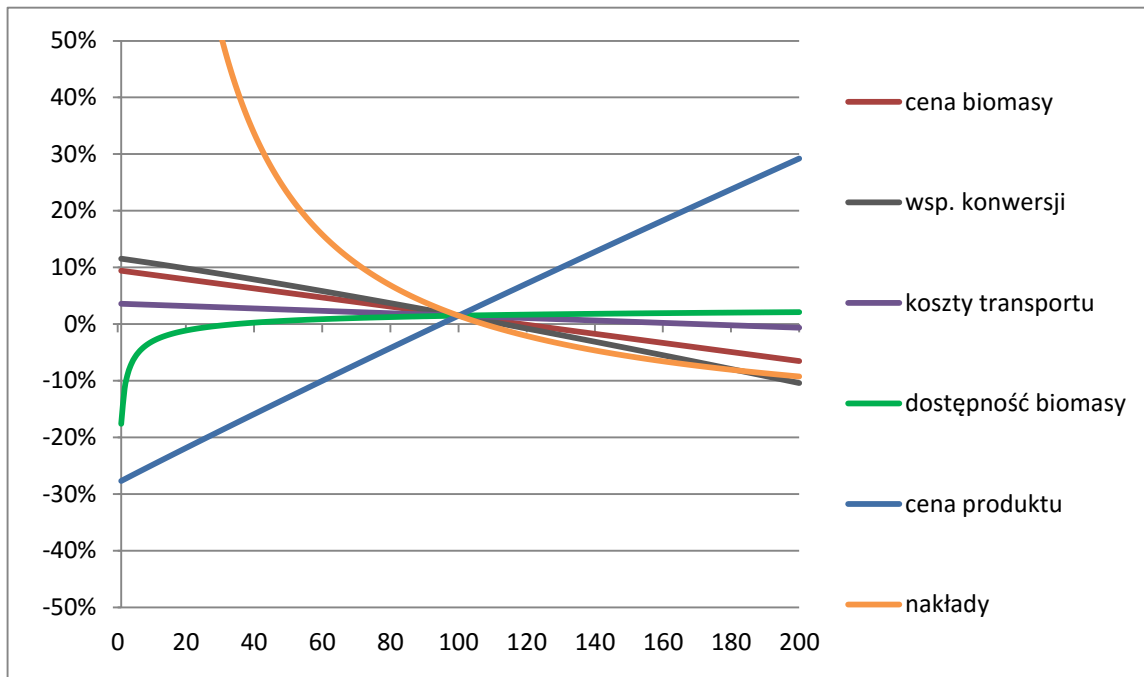
Zrębki drzewne i trociny pozyskiwane są na potrzeby zakładu z kilkunastu tartaków i zakładów przetwórstwa drzewnego. Wymagana ilość odpadów drzewnych wynosi 35 800 m<sup>3</sup>/rok. Potencjał podaży zrębków drzewnych, trocin i drewna kawałkowego z okolicznych zakładów przetwórstwa drzewnego oszacowano na 90 000 m<sup>3</sup>/rok, a zapotrzebowanie EC na biomasę wynosi 40% podaży.

## 3.2 Wyniki

Stosując wzór na optymalizację wielkości mocy produkcyjnej z tablicy 1 otrzymujemy wynik 1 034 390 MWh/rok. Zakład o optymalnej mocy produkcyjnej jest około 24 razy większy niż analizowana EC. Wstępne obliczenia wykazały, że dla osiągnięcia dodatnich wartości zwrotu z inwestycji (ROI) niezbędne jest subsydiowanie inwestycji. Dla osiągnięcia dodatniego zwrotu z inwestycji na poziomie 2% dla zakładu o optymalnej mocy produkcyjnej wymaga się 5% udziału dotacji w finansowaniu; zwrot z inwestycji dla zakładu o rzeczywistej mocy produkcyjnej i takim samym poziomem subsydiowania byłby ujemny (około -8%). Zakład o mniejszej rzeczywistej mocy produkcyjnej może być finansowany wyższą dotacją - ok. 50%, co pozwala na osiągnięcie podobnego poziomu zwrotu z inwestycji, tj. ok. 2%. Analizowana elektrociepłownia zużywa biomasę z obszaru o promieniu 30 km i zaspokaja potrzeby cieplne sieci ciepłowniczej. Większe elektrociepłownie budowane na potrzeby bardziej rozległych sieci ciepłowniczych wymagają dostaw biomasy z dalszych odległości. W typowym przypadku bez co najmniej 30% udziału finansowania dotacyjnego ekonomicznie uzasadniona działalność EC jest niemożliwa.

Analiza struktury kosztów zakładu wykazuje, że przy przyjętych założeniach koszty będące pochodną kosztów inwestycyjnych stanowią 66% kosztów rocznych. Aby osiągnąć zwrot z inwestycji na poziomie 0 (pokryć jedynie koszty inwestycyjne) zmieniając tylko jeden paramet, konieczne byłoby uzyskanie finansowania inwestycji na poziomie 52% lub podniesienie o 70% średniej ceny produktu, lub jednoczesna zmiana obu parametrów. Rysunek nr 1 pokazuje, że projekt inwestycyjny jest najbardziej wrażliwy na zmiany obu omówionych wyżej parametrów (wartość inwestycji i cena

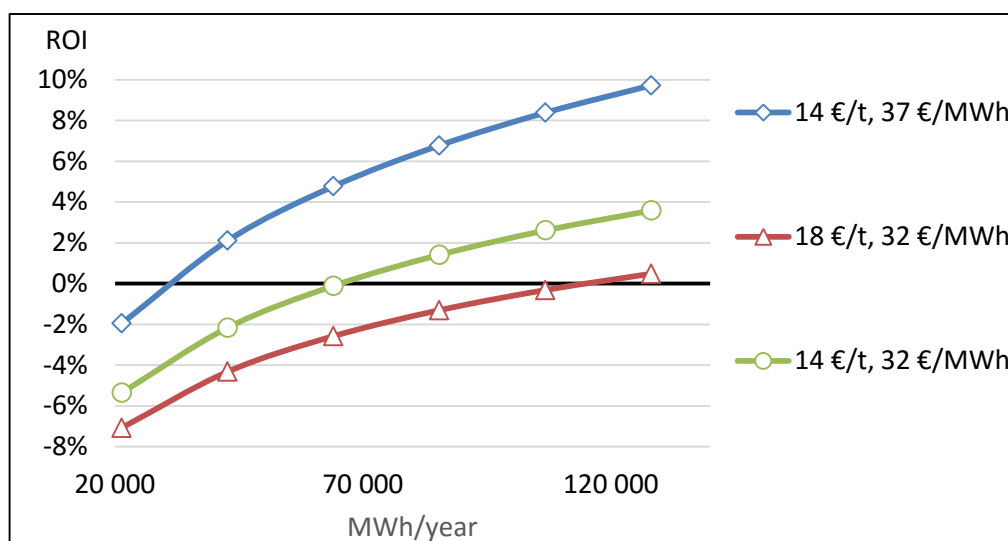
produktu). Inne parametry nie mają wpływu na zwrot z inwestycji większego niż 5% przy 20% zmianie danego parametru, z zakresem zmian od -50% do +50%.



Rys. 1. Analiza wrażliwości zwrotu z inwestycji dla EC na zrębki drzewne o mocy 42.7GWh<sub>el+th</sub>/rok

Według Rysunku nr 1 największy wpływ na zwrot z inwestycji ma cena produktu. Cena produktu jest średnią ważoną ceny energii elektrycznej (dostarczonej do sieci energoelektrycznej po pokryciu własnych potrzeb) oraz ceny ciepła dostarczonej do sieci ciepłowniczej. Wszystkie składniki ceny produktu są regulowane: ceny energii elektrycznej wynikają z zachęt ekonomicznych, obecnie są to certyfikaty a w przyszłości ceny aukcyjne, a cena ciepła nie może przewyższać referencyjnej ceny ciepła na rynku lokalnym zatwierdzonej przez Regulatora. Na efektywność ekonomiczną projektu ogromny wpływ ma również cena biomasy.

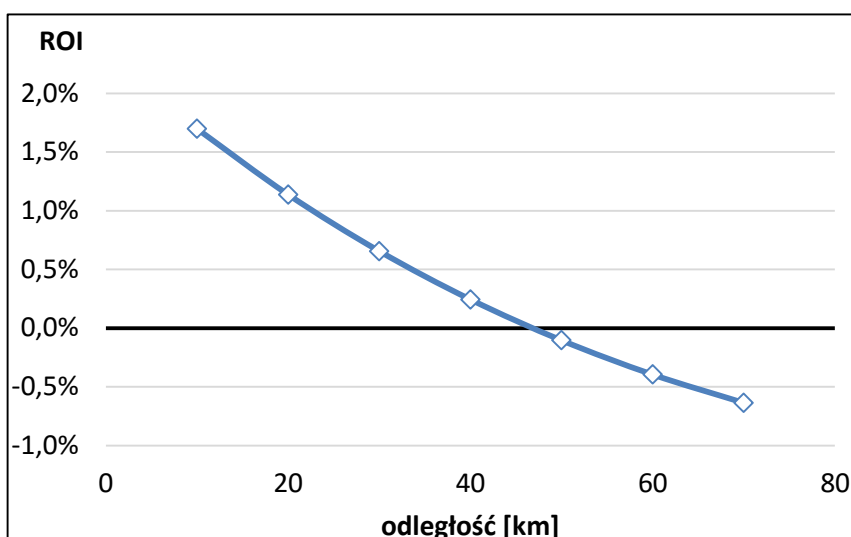
Wykres poniżej przedstawia wrażliwość zwrotu z inwestycji dla mocy produkcyjnej zakładu z uwzględnieniem różnych cen biomasy (14 i 18 €/t) i ceny produktu: cena bazowa 7 €/MWh i przewidywana cena 32 €/MWh w systemie aukcyjnym (Rysunek nr 2). Cena biomasy zależy od warunków lokalnych, konkurencji wśród producentów płyt drewnopochodnych i ogólnej sytuacji na rynku drzewnym. W ostatnich latach cena energii elektrycznej produkowanej w EC na biomasę spadała; oczekuje się, że nowe narzędzie wsparcia w postaci systemu aukcyjnej sprzedaży energii polepszy warunki rozwoju biznesu dla elektrociepłowni na biomasę. Moc produkcyjna elektrociepłowni uzależniona jest od zapotrzebowania na ciepło dostarczanego do zaopatrywanej sieci ciepłowniczej.



Rys. 2. Efektywność ekonomiczna EC na zrębki drzewne z uwzględnieniem różnych cen biomasy i cen energii

Porównując cenę produktu, 32 i 37 €/MWh dla zakładów o różnej mocy, można zauważyć, że obecny poziom cen produktu zapewnia rentowność zakładowi nawet o niewielkiej mocy. Jednakże jeśli jak przewiduje się, cena produktu spadnie do 32 €/MWh dodatni zwrot z inwestycji ROI przy cenie biomasy 14 €/t będzie możliwy do osiągnięcia jedynie przez zakłady o mocy produkcyjnej wyższej niż 65 000 MWh/rok (Rysunek nr 2). Zysk z inwestycji będzie ujemny nawet dla zakładów o wyższej mocy, jeśli cena biomasy przewyższy 18 €/MWh.

Czynnikiem kluczowym jest dostępność biomasy w pobliżu zakładu. Wrażliwość zysku z inwestycji ROI dla zakładu o określonej mocy produkcyjnej na dostępność biomasy została przedstawiona na Rysunku nr 3. Im niższa jest gęstość zasobów biomasy (biomasy z zakładu przetwórstwa drzewnego i gałęziówki z lasów, tym większe są odległości jej transportu.

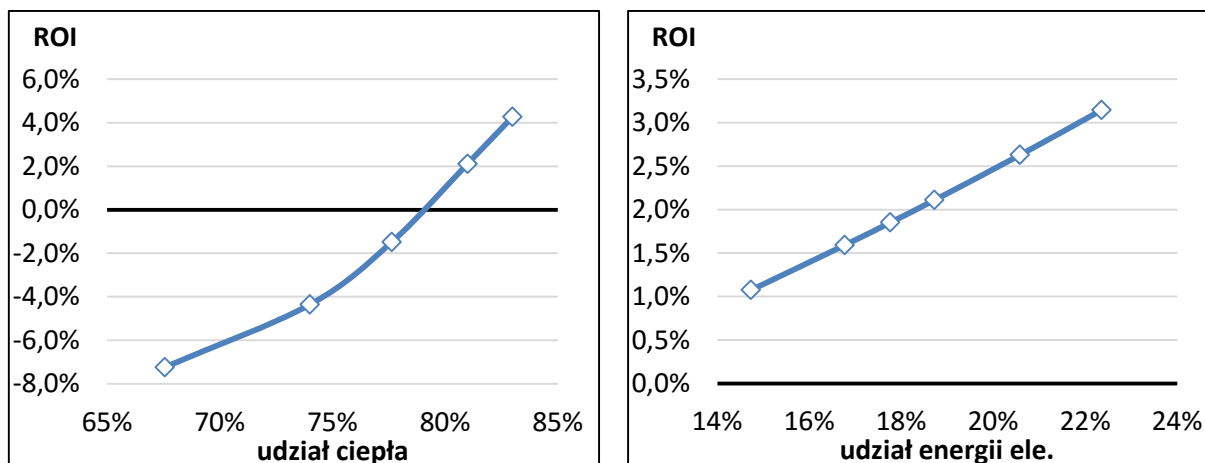


Rys. 3. Efektywność EC na zrębki drzewne w zależności od dostępności biomasy i odległości jej transportu

Przy niższej gęstości biomasy i większej odległości jej transportu zysk z inwestycji maleje, więc dla analizowanego zakładu średnia odległość transportu biomasy nie powinna przekroczyć 45 km.

Kolejnym ważnym czynnikiem jest wykorzystanie mocy zainstalowanej. Dla tej samej mocy zainstalowanej elektrycznej i cieplnej wielkość produkcji rocznej uzależniona jest od zapotrzebowania sieci ciepłowniczej na ciepło oraz od możliwości produkcji energii elektrycznej w rygorystycznych warunkach wysokosprawnej kogeneracji.

Wykresy poniżej przedstawiają zależność zysku z inwestycji ROI od udziału wielkości produkcji ciepła i energii elektrycznej w całkowitej produkcji energii.



Rys. 4: Zależność zwrotu z inwestycji od zmian w udziale produkcji ciepła i energii elektrycznej w całkowitej produkcji energii zakładu

Zależność zwrotu z inwestycji od zmian w udziale produkcji ciepła i energii elektrycznej w całkowitej produkcji energii zakładu wykazuje, jak ważne jest odpowiednie dostosowanie jego wielkość do zapotrzebowania na ciepło dostarczane do sieci ciepłowniczej. Niższa produkcja ciepła i prądu przez elektrociepłownię na biomasę o danej mocy prowadzi do niższej efektywności inwestycji.

## 4 Biogaz z kiszonki kukurydzy i odchodów zwierzęcych

Produkcja energii elektrycznej i cieplnej z biogazu jest ścieżką bioenergii, z którą wiąże się w Polsce największe nadzieje. Jednakże w 2015r. działało w Polsce jedynie 75 biogazowni rolniczych. Średnia moc produkcyjna biogazowni wynosi ok 1 100 kW. Zachęty ekonomiczne opierające się na systemie certyfikatów z częściowym subsydiowaniem inwestycji, które miały wzmoczyć rozwój biogazowni i spowodować powstanie zakładu tego typu w każdej gminie (około 1500-2000 w całym kraju) nie odniosły sukcesu i inwestorzy nie są chętni do inwestowania swoich funduszy w nierentowne projekty. Niniejsze opracowanie poddaje analizie biogazownię o mocy 2.0 MWe, która dostarcza energię cieplną do lokalnej sieci ciepłowniczej.

### 4.1 Przyjęte wartości parametrów

W Polsce, jako wsadową masę organiczną do biogazowni stosuje się różne substraty, jednak najbardziej powszechnymi są kiszonka z kukurydzy i odchody zwierzęce i to one są stosowane w biogazowni będącej przedmiotem niniejszej analizy. W poniższych obliczeniach przyjmuje się, że biogazowa elektrociepłownia sprzedaje całość energii elektrycznej i cieplnej wytworzonej w kogeneracji.



Proporcja substratów stosowanych w biogazowniach może ulegać zmianie. Dla wykorzystania lokalnych zasobów przyjmuje się jednakowy udział masy kiszonki i odchodów. W omawianej biogazowni około 85% biogazu uzyskuje się z kiszonki.

Cena kiszonki z kukurydzy stanowi główny element kosztów dostarczanej do biogazowni biomasy. Cena zakupu odchodów zwierzęcych zawiera koszt ich transportu do zakładu i transportu pofermentu z zakładu do wykorzystujących je gospodarstw rolnych.

Tab. 2. Wartości parametrów EC na biogaz

Współczynnik dla nakładów inwestycyjnych (f)	0.2
Wartość bazowa dla korzyści skali ( dla produkcji 1 MWh)	314.6 €/MWh
Cena produktu ( średnia ważona cena energii elektrycznej i ciepłej)	0.811 €/kWh
Cena biomasy (średnia ważona cena kiszonki z kukurydzy i odchodów zwierzęcych)	17.6 €/t
Koszty zmienne transportu ( $v_1$ )	0.30 €/t km
Współczynnik konwersji ( $\theta$ )	2.34 $t_{\text{biomasy}}/\text{MWh}$
Wielkość plonów ( $\psi$ )	45 t/ha = 4,500 t/km <sup>2</sup>
Wykorzystanie potencjalnych zasobów ( $\lambda$ )*	< 1%
Optymalna moc produkcyjna zakładu / Rzeczywista moc produkcyjna zakładu (x)	17,480 MWh <sub>(el+t)</sub> /a (2.0 MW <sub>el</sub> )

\* Na skutek pozyskania kukurydzy i gnojowicy z rozproszonych pól i farm, wykorzystanie biomasy z potencjalnych zasobów jest niskie

Poczyniono przygotowania, by ciepło z elektrociepłowni biogazowej mogło być dostarczane do miejscowej sieci ciepłowniczej.

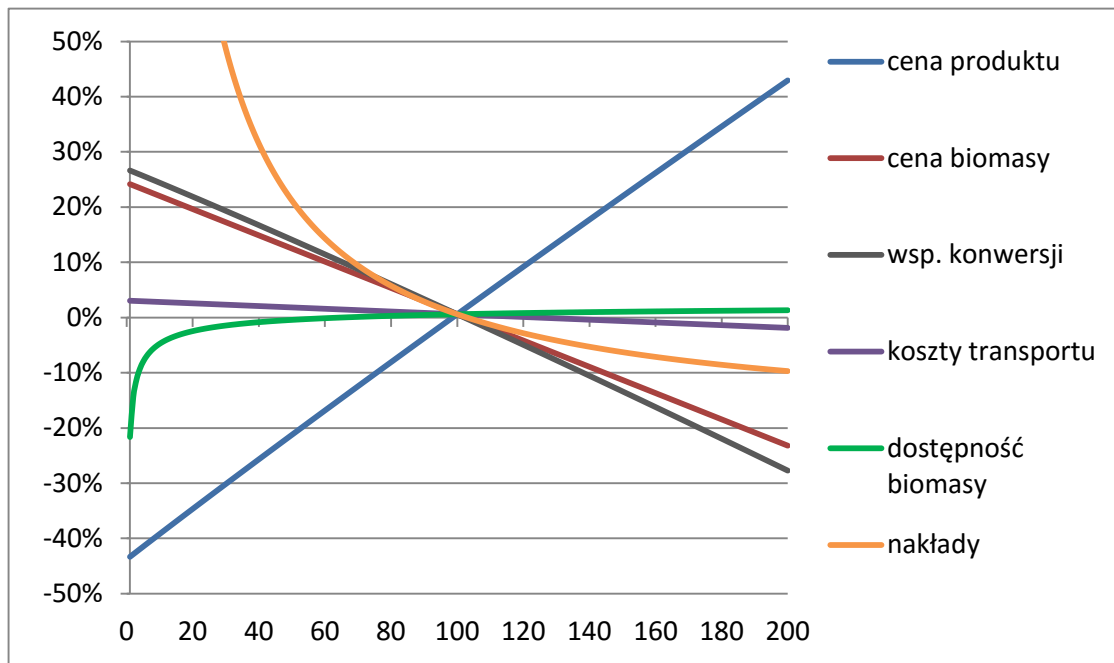
## 4.2 Wyniki

Stosując wzór na optymalizację wielkości mocy produkcyjnej z tablicy 2 otrzymujemy wynik 216,220 MWh /rok. Zakład o optymalnej wielkości (mocy) byłby około 12 razy większy od omawianego. Dla osiągnięcia dodatniego zwrotu z inwestycji ROI każda EC na biogaz wymagałaby dofinansowania. Zakład o optymalnej mocy produkcyjnej umożliwiający uzyskanie zwrotu z inwestycji w wysokości 1% wymagałby 15% subsydiowania inwestycji. Zwrot z inwestycji dla omawianego zakładu z tym samym poziomem finansowania dotacją zewnętrzną byłby ujemny (około -7%). Mniejszy zakład o rzeczywistej mocy wymaga finansowania 45% dotacją, a zwrot z inwestycji byłby na podobnym poziomie +1%. Omawiany zakład pozyskuje kukurydżę i gnojowicę z obszaru o promieniu 30 km i wielkość wyprodukowanej energii odpowiada zapotrzebowaniu na ciepło lokalnej sieci ciepłowniczej. W typowym przypadku bez co najmniej 30% udziału finansowania dotacyjnego nakładów inwestycyjnych ekonomicznie uzasadniona działalność biogazowej EC jest niemożliwa.

Analiza struktury kosztów zakładu wykazuje, że przy przyjętych założeniach koszty będące pochodną kosztów inwestycyjnych stanowią 42% rocznych kosztów, podczas gdy koszty zakupu biomasy wynoszą ok. 51% ogółu kosztów. Aby osiągnąć zwrot z inwestycji na poziomie 0 (pokryć jedynie



koszty inwestycyjne) zmieniając tylko jeden parament, konieczne byłoby uzyskanie finansowania inwestycji na poziomie 45% lub podniesienie o 25% średniej ceny produktu, albo jednoczesna zmiana obu parametrów. Rysunek nr 5 pokazuje, że projekt inwestycyjny jest najbardziej wrażliwy na oba omówione wyżej parametry (wartość inwestycji i cena produktu), jak również na cenę biomasy. Wartość inwestycji staje się istotna, gdy w grę wchodzi większe zmiany w nakładach inwestycyjnych lub w poziomie subsydiowania. Inne parametry nie mają wpływu na zwrot z inwestycji większego niż 5% przy 20% zmianie danego parametru, z zakresem zmian od -50% do +50%.



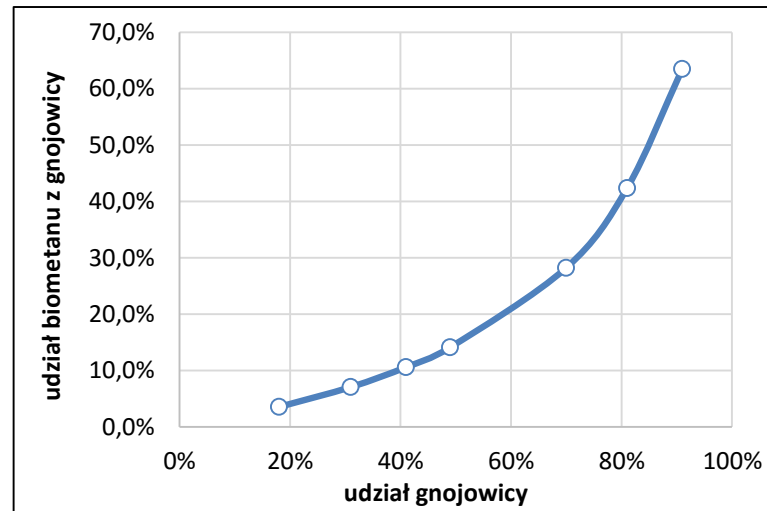
Rys. 5. Analiza wrażliwości zwrotu z inwestycji dla EC na biogaz o mocy produkcyjnej 2,000 kW<sub>e</sub>

Największy wpływ na rentowność elektrociepłowni biogazowej mają cena produktu i cena biomasy (Rysunek nr 5).

Na moc produkcyjną zakładu istotny wpływ ma skład substratów. W normalnych warunkach głównymi substratami są kiszonka z kukurydzy i odchody zwierzęce. Tabela poniżej przedstawia wielkość produkcji metanu z tony substratu i jego (substratu) cenę.

	m <sup>3</sup> /t	€/t
kiszonka z kukurydzy	105	32.5
gnojowica	18	2.0

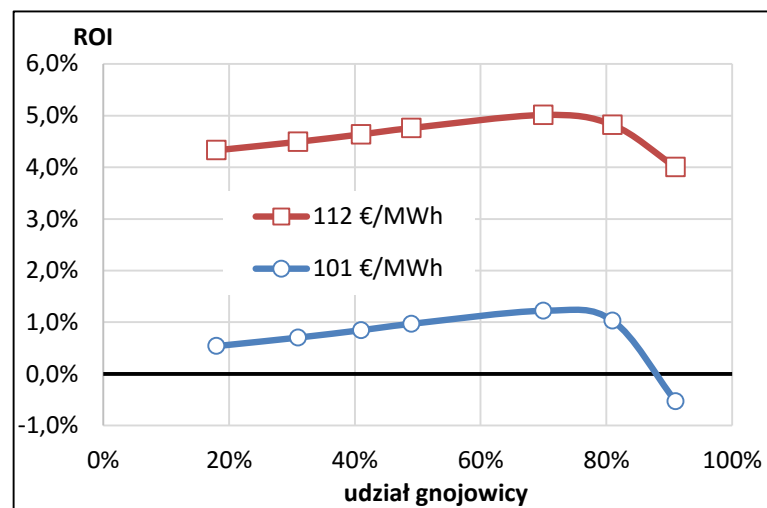
Udział biometanu wyprodukowanego z gnojowicy w porównaniu do udziału masy odchodów zwierzęcych w całkowitej masie organicznej będącej wsadem do produkcji przedstawiono na Rysunku nr 6 poniżej.



Rys. 6. Udział biometanu z gnojowicy w porównaniu do udziału masy odchodów zwierzęcych w całkowitej masie organicznej będącej wsadem do produkcji

Przedsiębiorstwa rolne zajmujące się hodowlą świń i krów są zazwyczaj niewielkie lub średnie, więc obszar, z którego pozyskuje się odchody jest duży. Większy udział odchodów w substratach skutkuje niższymi kosztami i niższą ceną wyprodukowanego metanu, jednocześnie większe odległości, z których dostarcza się substraty powodują wyższe koszty transportu.

Wykres poniżej przedstawia porównanie zwrotu z inwestycji dla substratów z różnym udziałem odchodów zwierzęcych i dla różnego poziomu cen produkowanej energii.

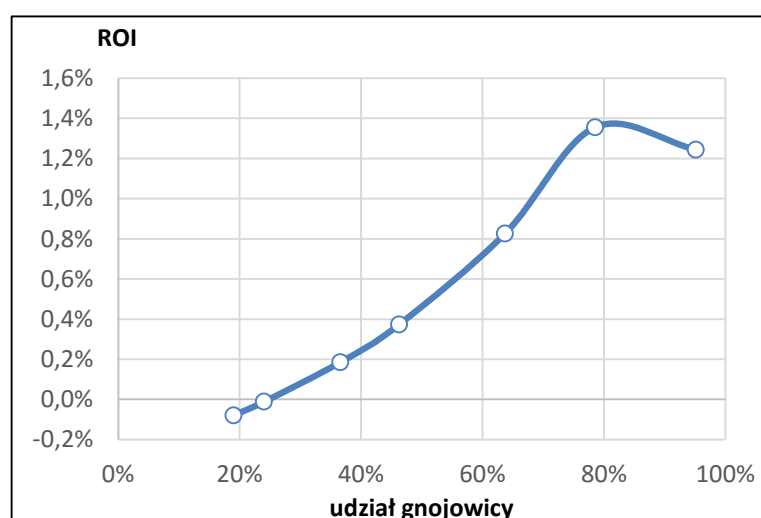


Rys. 7. Efektywność ekonomiczna biogazowni o mocy 2 000 kW w zależności od udziału masy odchodów zwierzęcych w masie wsadu oraz od różnych cen wyprodukowanej energii elektrycznej i ciepła

Porównując dane można stwierdzić, że ze wzrostem udziału odchodów zwierzęcych w ogólnej masie substratów zwrot z inwestycji stopniowo rośnie do poziomu 70% udziału w całkowitej masie substratów z biomasy, po czym dla wyższej wartości gwałtownie spada ze względu na rosnące koszty transportu biomasy (Rysunek nr 7).

Dla minimalnej wymaganej ceny produktów biogazowni (średnia ważona cena ciepła i energii elektrycznej) 101 €/MWh zwrot z inwestycji ROI zapewnia rentowność inwestycji. Dla wyższej ceny produktów biogazowni (112 €/MWh) ROI jest wyższe.

Efektywność ekonomiczna elektrociepłowni biogazowej o mocy produkcyjnej 500 kWe została przedstawiona na wykresie poniżej. Zakład tej wielkości miałby większe wsparcie w nowym aukcyjnym systemie sprzedaży energii, przepisy regulujące działalność przedsiębiorstw tej skali są mniej skomplikowane a wyprodukowana energia znalazłaby zbyt zaspokajając potrzeby okolicznych małych i średnich miejscowości.



Rys. 8. Efektywność ekonomiczna biogazowni o mocy 500 kW w zależności od udziału masy odchodów zwierzęcych w ogólnej masie wsadu

Można zauważyć, że ze wzrostem udziału odchodów zwierzęcych w ogólnej masie substratów zwrot z inwestycji stopniowo rośnie do poziomu 80% udziału w całkowitej masie substratów z biomasy, a dla wyższej wartości efektywność ekonomiczna obniża się z powodu wyższych kosztów transportu biomasy.

## 5 Bioetanol ze zbóż

Bioetanol produkowany jest z różnego rodzaju biomasy, której dostępność zależy od warunków klimatyczno-glebowych. Podczas gdy w Stanach Zjednoczonych wytwarza się go z kukurydzy a w Brazylii z trzciny cukrowej, w Polsce wykorzystuje się różne surowce pochodzenia rolniczego, takie jak kukurydza, buraki cukrowe i zboże. Poniższe obliczenia wykonano, tak jak dla poprzednio opisanych przykładów, na podstawie danych uzyskanych z elektrociepłowni znajdującej się w Polsce północnej.

### 5.1 Przyjęte wartości parametrów

Surowcem do produkcji jest kukurydza. Przyjęto średnią wielkość plonów jako 6t/ha, czyli 600 t/km<sup>2</sup>.

Tab. 3. Wartości parametrów - bioetanol

--	--

Współczynnik dla nakładów inwestycyjnych (f)	0.2
Wartość bazowa dla korzyści skali (dla produkcji 1 MWh)	570.3 €/t
Cena produktu (bioetanol)	760 €/t
Cena biomasy (zboże)	185 €/t
Koszty zmienne transportu ( $v_1$ )	0.25 €/t km
Współczynnik konwersji ( $\theta$ )	3,52 $t_{\text{biomass}}/t_{\text{products}}$
Wielkość plonów ( $\psi$ )	6 t/ha = 600 t/km <sup>2</sup>
Wykorzystanie zasobów ( $\lambda$ )	11 %
Rzeczywista moc produkcyjna zakładu (x)	23,670 $t_{\text{products}}/a$

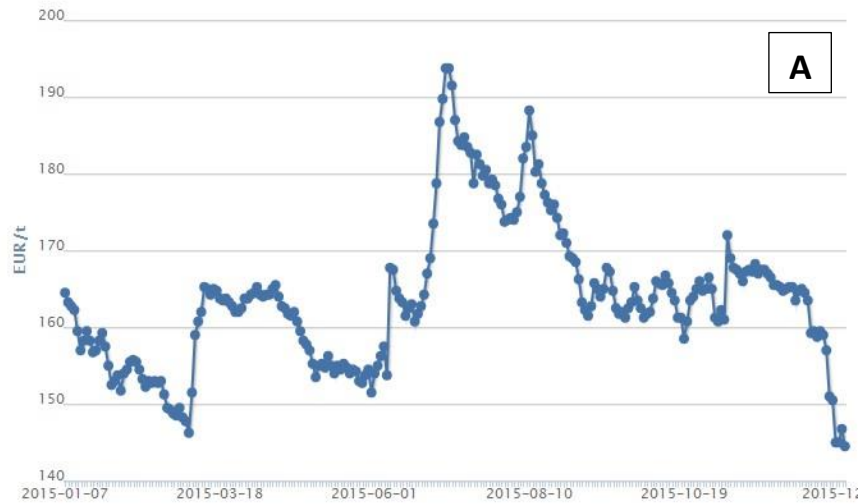
Zakład jest prowadzony przez właściciela - przedsiębiorcę, który posiada również duże gospodarstwo rolne. Większość surowca pochodzi z należących do niego upraw, poferment z destylatu zbożowego wykorzystywany jest jako pasza dla zwierząt we własnym i sąsiednich gospodarstwach lub jako nawóz naturalny. Nawóz naturalny wytworzony we własnym gospodarstwie i wykorzystywany na własny użytek nie wymaga żadnych pozwoleń, jakie niezbędne są w obrocie handlowym. W jednej z wielu niewielkich destylarni po wydzieleniu alkoholu do dalszego przerobu na bioetanol poferment z ziarna wykorzystywany jest jako materia organiczna zasilająca lokalną biogazownię.

Omawiany zakład wytwarza rocznie 23 670 tony etanolu. Opłacalność produkcji jest ściśle związana z ceną paszy oraz ceną paliw do środków transportu, które są bardzo niestabilne. Zakład o wielkości podobnej do analizowanego wymagałby 25% dotacji na nakłady inwestycyjne dla osiągnięcia 1% zwrotu z inwestycji.

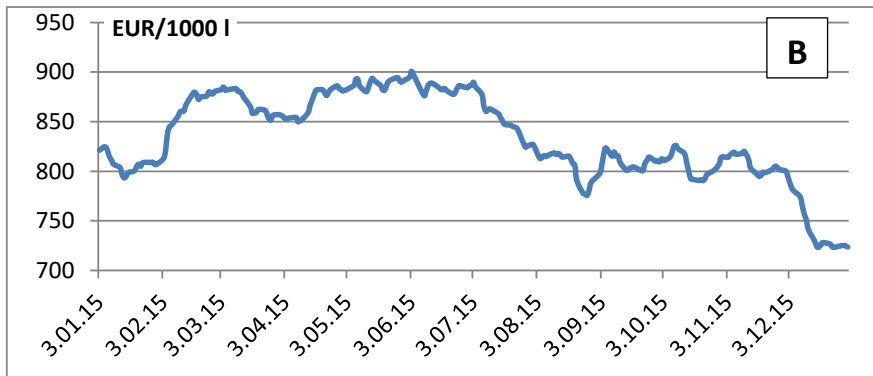
Całość produkcji z zakładu jest dostarczana do jednego z dużych koncernów paliwowych, które muszą spełnić obowiązek 7,1% dodatku biopaliw do całości oferowanych paliw ciekłych. Umowy między stronami pozostają poufne i żadne informacje o ilościach i cenach nie są ujawniane.

Według producentów alkoholu i bioetanolu opłacalność produkcji w znacznym stopniu zależy od ceny masy organicznej (ziarna zbóż i kiszonki) oraz paliwa do transportu.

Wykres poniżej przedstawia zmianę cen rynkowych zboża (A) i benzyny (B) na rynku polskim w roku 2015.



[www.farmer.pl](http://www.farmer.pl)



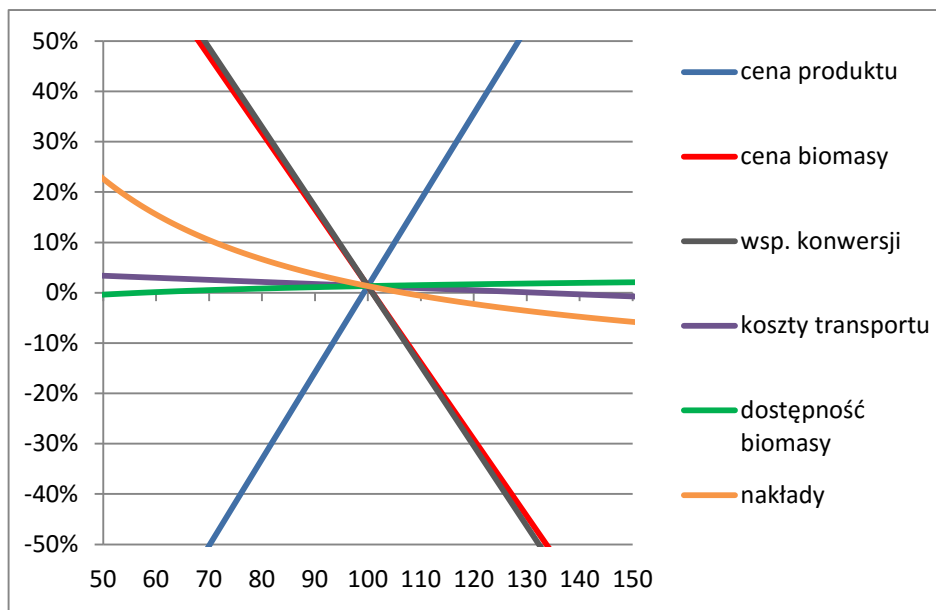
[www.ornlen.pl](http://www.ornlen.pl)

Rys. 9. Cena rynkowa zboża (A) i benzyny (B) na rynku polskim w roku 2015

## 5.2 Wyniki

Stosując wzór na optymalizację wielkości mocy produkcyjnej otrzymujemy wynik 141 tysięcy ton etanolu. Jest to wielkość około 5 razy większa niż rzeczywista moc produkcyjna analizowanego zakładu, co stanowi znaczne odstępstwo.

Podczas gdy zakład o optymalnej mocy osiągnąłby zwrot z inwestycji o 6% wyższy przy podobnym finansowaniu, wymagania wynikające z tak dużej mocy produkcyjnej mogłyby stworzyć problemy w zakresie zaopatrzenia w biomasę- zarówno pod względem wymaganych ilości, jak i ceny.



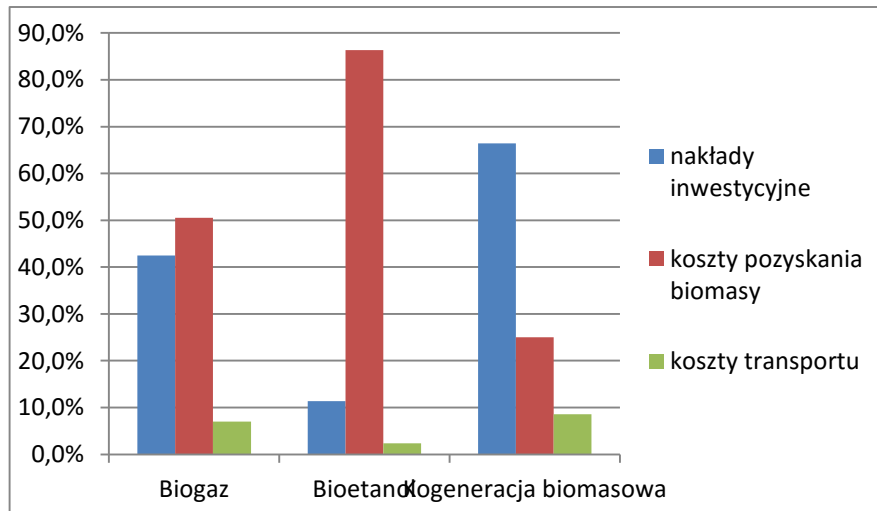
Rys. 10. Analiza zwrotu z inwestycji ROI dla zakładu produkującego bioetanol o mocy produkcyjnej 23,670 tproduktu/rok

Struktura kosztów omawianego zakładu różni się znacznie od zakładów z dwóch wcześniej analizowanych w raporcie ścieżek bioenergii, jako iż ponad 85% całkowitych rocznych kosztów wynika z zakupu biomasy. Analiza wrażliwości przedstawiona na Rysunku nr 10 wskazuje, iż wpływ cen zakupu biomasy i ilości biomasy zakupywanej do produkcji etanolu (współczynnik konwersji wyrażony w  $t_{\text{biomasy}}/t_{\text{produktu}}$ ) na zwrot z inwestycji jest znacznie wyższy niż w przypadku gdy biomasę stanowią zrębki drzewne. Cena produktu ma wpływ odwrotny o tej samej skali.

## 6 Wnioski

Jak wykazano w analizie poszczególnych ścieżek bioenergii, stwierdzono różnice i podobieństwa w strukturze kosztów poszczególnych zakładów.

Koszty inwestycyjne mają największy udział w rocznych kosztach całkowitych w przypadku EC na biomasę drzewną, a mniejszy dla EC na biogaz, w której koszty zakupu biomasy są nieznacznie wyższe. Podczas gdy słupki dotyczące EC na biogaz i zrębki drzewne w Rysunku nr 11 wyglądają podobnie, z punktu widzenia optymalizacji mocy opierają się one na różnych danych – przyjęto, że zboże i odchody zwierzęce są łatwo dostępne w dużych ilościach, a trudniej jest zdobyć odpady drzewne. Jednak w przypadku obu typów elektrociepłowni ich moc produkcyjna jest daleka od zdefiniowanego optimum, przynajmniej jeśli chodzi o koszty transportu biomasy. Oba zakłady uzależnione są od popytu na energię ciepłą wytworzoną w kogeneracji z energią elektryczną i dlatego mniejsze (o mocy zbliżonej do omawianych zakładów) lepiej wpasowują się w warunki lokalne z miejską siecią ciepłowniczą małej lub średniej wielkości.



Rys. 11. Struktura kosztów analizowanych ścieżek bioenergii

Z powodu wyższej wartości biomasy wymaganej do produkcji ok. 85% rocznych kosztów biogazowni na bioetanol stanowią koszty związane z zakupem i transportem masy organicznej. Jednakże nawet w przypadku tego zakładu zwiększenie mocy produkcyjnej może skutkować podwyższeniem opłacalności przedsiębiorstwa pod warunkiem zapewnienia ciągłości dostaw biomasy.

## 7 Bibliografia

1. Roczne Sprawozdania Prezesa URE
2. Dane statystyczne dot. OZE i energii