

REE 2017

XXIII Konferencja Naukowo-Techniczna
RYNEK ENERGII ELEKTRYCZNEJ
ZMIANY W ENERGETYCE I WOKÓŁ NIEJ

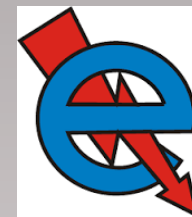
25 - 27 kwietnia 2017 r.

Kazimierz Dolny, Hotel Król Kazimierz

Strategie inwestora OZE w systemie aukcyjnym w warunkach ryzyka



Tadeusz Pydych, Janusz Sowiński
Instytut Elektroenergetyki
Politechnika Częstochowska



Agenda

- Akty prawne dotyczące OZE
- Ustawa o odnawialnych źródłach energii i jej nowelizacja
- Przykładowa technologia OZE – biogazownia rolnicza
- Optymalizacja dynamiczna procesu Markowa z czasem ciągłym w modelu decyzyjnym inwestycji OZE w warunkach ryzyka
- Model decyzyjny inwestycji OZE w warunkach aukcyjnych
- Podsumowanie

Dokumenty EC dotyczące OZE

- Środowiskowe wymagania sformułowane w *An Energy Policy for Europe, COM (2007), Brussels, January 10, 2007* zostały rozwinięte w dokumencie *A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050, Brussels, 8.3.2011, COM(2011) 112 final*, a w horyzoncie do 2030 roku przedstawione w dokumencie *Green Paper. A 2030 framework for climate and energy policies, Brussels, 27.3.2013, COM(2013) 169 final*.
- Scenariusze **do 2050** roku zakładają **ograniczenie emisji CO₂ o 80÷95% w stosunku do 1990 roku**, głównie poprzez **zwiększenie udziału OZE (udział 30% do 2030 roku)**, zwiększenie energetycznej efektywności oraz przekształcenie europejskiego systemu energetycznego w kierunku inteligentnej infrastruktury.



Akty prawne dotyczące OZE



- **Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r.** w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych. Udział OZE w finalnym zużyciu energii brutto w Polsce powinien osiągnąć poziom 15 % w 2020 roku.
- Ważnym dokumentem programowym dla rozwoju OZE w Polsce była **„Polityka energetyczna Polski do roku 2030”**
- Przyjęty w 2010 r. przez Radę Ministrów i przesłany do Komisji Europejskiej **„Krajowy plan działań w zakresie energii ze źródeł odnawialnych”** zakładał, że podstawowymi działaniami zwiększającymi udział OZE w bilansie energetycznym będzie większe wykorzystanie biomasy oraz energii wiatru.



Akty prawne dotyczące OZE (cd)

Podstawowymi **aktami normatywnymi** regulującymi obowiązki z zakresu wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych w Polsce są:

- **Ustawa z dnia 26 lipca 2013 r. o zmianie ustawy – Prawo energetyczne oraz niektórych innych ustaw** (Dz. U. z 2013 r. poz. 984)
- **Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. – Prawo energetyczne** (Dz. U. z 2012 r. poz. 1059)
- **Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 14 sierpnia 2008 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii** (Dz.U. Nr 156, poz. 969 z późn.zm.)



REE 2017, 25-27 kwietnia 2017 r.



Akty prawne dotyczące OZE (cd)

- W **czerwcu 2013 r.** Sejm uchwalił tzw. „mały trójpak energetyczny”, co uchroniło Polskę przed groźbą unijnych kar.
- **Ustawa o OZE** uchwalona przez Sejm 20 lutego 2015 r. podpisana przez Prezydenta **11 marca 2015 r.**
- Nowelizacja **Ustawy** z dnia 31 grudnia 2015 r. odroczyła do **1 lipca 2016 r.** wejście w życie regulacji dotyczących uruchomienia **systemu aukcyjnego na zakup energii elektrycznej z instalacji OZE** oraz części uregulowań dotyczących **mechanizmów wsparcia wytwarzania energii elektrycznej w mikroinstalacjach** o łącznej mocy zainstalowanej nie większej niż **10 kW**.

Ustawa o OZE

- **nowy system wsparcia**, promujący najefektywniejsze technologie
- zmiana systemu świadectw pochodzenia energii na **system aukcyjny**
- wprowadzenie instytucji **sprzedawcy zobowiązanego**

Przykładowa technologia OZE – biogazownia rolnicza

- Na koniec 2016 r. w systemie Agencji Rynku Rolnego były zarejestrowane **94 biogazownie** rolnicze o łącznej mocy **101,2 MW**.
- Obecnie w Polsce realizowanych jest **580 projektów**, których łączna moc generacji elektrycznej osiągnie **587 MW**.
- W Polsce wybudowanie małej elektrowni biogazowej o mocy **0,1 MW**, to koszt około **1,6 mln PLN** (zakup agregatu kogeneracyjnego to ok. 20-30% nakładu inwestycyjnego). Typowym krajowym produktem ma być biogazownia o mocy **60 kW** po cenie około **1 mln PLN**.



Mapa projektów biogazowych



Liczba projektów w bazie Bio Alians

Projekty	Liczba projektów	Planowana moc [MW]	Średnia moc [MW]
Istniejące	95	102,7	1,1
Realizowane	475	582,0	1,2
planowane	154	194,0	1,3
zaawansowane	243	295,9	1,2
zrzucone	78	92,0	1,2
RAZEM	570	684,7	1,2

Źródło: Raport Biogaz 2016, Bio Alians, październik 2016

Problemy biogazowni i OZE



Źródło: wysokienapięcie.pl

REE 2017, 25-27 kwietnia 2017 r.

Przykładowa technologia OZE – biogazownia rolnicza – nakład inwestycyjny i koszty

- **Nakład inwestycyjny** Dla biogazowni o typowej mocy 1,1 MW średni koszt budowy wynosi 15 tys zł/kW. Zazwyczaj taka biogazownia rocznie przetwarza ok. 40 tys. ton gnojownicy i 20 tys. ton kiszonki kukurydzy. Mniejsze biogazownie o mocy 230 kW charakteryzują się wyższym jednostkowym nakładem inwestycyjnym w wysokości ok. 21 tys. zł/kW. Zwiększa nakład inwestycyjny instalacja do odsiarczania biogazu.
- **Koszty substratów** Koszty zakupu i przechowywania substratów stanowią prawie połowę kosztów operacyjnych. Substratami wykorzystywanymi w biogazowniach mogą być:
 - odpady pogorzelniane (ok. 28%),
 - kiszonka kukurydzy (ok. 26%),
 - odpady z przemysłu owocowo-warzywnego (17%),
 - odpady poubojowe (13%),
 - gnojownica bydłęca
 - oraz produkty uboczne przemysłu mleczarskiego
- **Koszt zagospodarowania pulpy pofermentacyjnej**, czyli pozostałości po substracie (Rozwożenie pulpy pofermentacyjnej jako nawozu może stanowić nawet 25% kosztów operacyjnych) lub koszt przeróbki masy pofermentacyjnej
- **Koszty zakupu wody technologicznej** do rozcieńczania mieszaniny substratów (technologia suchej fermentacji unika tych kosztów)

Przykładowa technologia OZE – biogazownia rolnicza - przychody

- **Sprzedaż energii elektrycznej** (obowiązek zakupu energii produkowanej w biogazowniach) – usytuowanie infrastruktury energetycznej
- **Sprzedaż praw majątkowych** (świadectw pochodzenia dla energii elektrycznej wytworzonej z biogazu rolniczego - błękitne certyfikaty). W ogólnym obowiązku OZE w zakresie energii, wynoszącym w tym roku 16 %, wydzielono obowiązek związany z zakupem błękitnych certyfikatów na poziomie 0,6 %. Dotychczas zanotowano trend rosnący ceny błękitnych certyfikatów na TGE:
 - we wrześniu 2016 r. średnia cena wynosiła **277,67 zł/MWh**,
 - w styczniu 2017 r. **301,15 zł/MWh**,
 - a w lutym 2017 r. **336,92 zł/MWh**.
- **Sprzedaż ciepła** do sieci ciepłowniczej lub wykorzystania go na potrzeby własne (np. szklarnie, mleczarnia, itp). Wymaga to jednak pozyskania lokalnych odbiorców ciepła i niejednokrotnie związane jest z rozbudową sieci ciepłowniczej.

Przykładowa technologia OZE – biogazownia rolnicza – system aukcyjny

- Według Rozporządzenia Ministerstwa Energii z dnia 17 października 2016 r. **ceny referencyjne**, o których mowa w art. 77 ust. 1 pkt 1 ustawy o OZE, dla instalacji zarówno o łącznej mocy zainstalowanej elektrycznej nie większej niż 1 MW, jak i większej niż 1 MW, wykorzystujących wyłącznie biogaz rolniczy do wytwarzania energii elektrycznej wynoszą **550 zł/MWh**.
- Kryterium wygrania aukcji przez inwestora jest **zaoferowanie najniższej ceny**.
- Inwestor dostaje gwarancję sprzedaży energii elektrycznej po zaoferowanej cenie z uwzględnieniem wskaźnika inflacji, uzyskując **wsparcie w okresie 15-letnim**.
- Warunkiem przystąpienia do aukcji jest zaoferowanie ceny sprzedaży energii elektrycznej nie wyższej od ceny referencyjnej. .

Model decyzyjny inwestycji w warunkach aukcyjnych

- **Biogazownie rolnicze** mogą obrać właściwie dwie strategie postępowania.
- **Pierwszą strategią** jest podejście, zakładające pozostanie w systemie wsparcia opartym na kolorowych certyfikatach.
- **Alternatywną strategią** jest przystąpienie biogazowni do systemu aukcyjnego, po wygraniu aukcji.
- Obie ze wspomnianych strategii, pasywna i aktywna, związane są **z przepływami pieniężnymi** w postaci przychodów i kosztów, które mogą zmieniać się w sposób trudny do przewidzenia w przyszłości.
- Celem modelu jest wskazanie **optymalnej strategii** podejmowanej **w warunkach ryzyka** przez wytwórcę energii elektrycznej, jakim jest biogazownia rolnicza.

Optymalizacja dynamiczna procesu Markowa z czasem ciągłym w modelu decyzyjnym inwestycji OZE w warunkach ryzyka

- Do zamodelowania procesu decyzyjnego w warunkach ryzyka wykorzystano **proces stochastyczny Markowa**. W procesie tym rozkład warunkowy zmiennej losowej zależy jedynie od stanu poprzedniego.
- W modelu wykorzystano **procesy Markowa z czasem ciągłym** np. proces Wienera (szczególnym przypadkiem model ruchów Browna, tzw. równanie dyfuzji). W procesie Wienera zbiór wartości zmiennych losowych ma rozkład normalny.
- Problem decyzyjny w warunkach ryzyka rozumiany jest jako sytuacja, w której określone decyzje powodują różne skutki w zależności od tego, który z możliwych stanów, czyli opcji w podejściu tzw. **real options approach**, zajdzie.
- Zakłada się, że znany jest rozkład prawdopodobieństwa wystąpienia określonych stanów (np. w procesie Wienera jest to rozkład normalny). Rozwiązanie problemu decyzyjnego w warunkach ryzyka ma wskazać takie działanie, które da maksymalną wartość oczekiwaną funkcji celu.
- W optymalizacji dynamicznej wykorzystano **zasadę optymalności Bellmana**. W optymalizacji dynamicznej poszukiwana jest wartość maksymalna z wartości oczekiwanej **wskaźnika NPV** (wartości zaktualizowanej netto) inwestycji. .

Model decyzyjny inwestycji OZE w warunkach ryzyka

- W modelu zostaną uwzględnione stochastyczne zmienne stanu:
 - cena energii elektrycznej c_e ,
 - cena za ciepło c_c ,
 - cena błękitnego certyfikatu c_b ,
 - cena uzyskana na aukcji c_a ,
 - jednostkowe koszty wytwarzania energii elektrycznej w biogazowni oznaczone k_w .
- Można założyć, że przebiegi czasowe powyższych zmiennych można opisać równaniem geometrycznych ruchów Browna, tzw. równaniem dyfuzji, które jest specjalnym przypadkiem procesu Wienera

$$dc_e = \alpha_e c_e dt + \sigma_e c_e dz_e$$

$$dc_c = \alpha_c c_c dt + \sigma_c c_c dz_c$$

$$dc_b = \alpha_b c_b dt + \sigma_b c_b dz_b$$

$$dc_a = \alpha_a c_a dt + \sigma_a c_a dz_a$$

$$dk_w = \alpha_w k_w dt + \sigma_w k_w dz_w$$

gdzie:

α - współczynnik trendu dla ceny lub kosztu jednostkowego,

σ - odchylenie standardowe,

dz - inkrement procesu Wienera

Model decyzyjny inwestycji OZE w warunkach ryzyka

Założono korelację pomiędzy zmianami przypadkowymi z:

$$\bigwedge_{i=a,c,e,w} \varepsilon(dz_b dz_i) = \rho_i dt$$

gdzie:

ε - operator wartości oczekiwanej,

ρ - współczynnik korelacji.

Oznaczono:

$$\bigwedge_{i=a,b,c,e,w} \delta_i \equiv \mu_i - \alpha_i$$

gdzie:

μ - stopa zwrotu z uwzględnieniem oszacowania ryzyka.

Model decyzyjny inwestycji OZE w warunkach ryzyka

Pasywna strategia biogazowni rolniczej

$$PV_0 = \int_0^{N_e} \left(c_e E_t e^{-\delta_e t} + c_b E_t e^{-\delta_b t} + c_c u_t Q_t e^{-\delta_c t} - k_w E_t e^{-\delta_w t} \right) dt - I$$

Aktywna strategia biogazowni rolniczej opcja przystąpienia biogazowni do aukcji i wygrania aukcji w roku t .

$$\Phi^a(c_e, c_a, c_b, t) = \int_t^{N_e} \left(c_a E_T e^{-\delta_a(T-t)} - c_e E_T e^{-\delta_e(T-t)} - c_b E_T e^{-\delta_b(T-t)} \right) dT$$

Model decyzyjny inwestycji OZE w warunkach ryzyka

Wartość opcji związanej z aukcją, zdefiniowana jako wartość maksymalna z oczekiwanej wartości zaktualizowanej, wynosi:

$$F^a(c_e, c_a, c_b, t) = \max_T \mathbb{E} \left[\int_t^{N_e} \left(c_a E_T e^{-\delta_a(T-t)} - c_e E_T e^{-\delta_e(T-t)} - c_b E_T e^{-\delta_b(T-t)} \right) dT \right]$$

Równanie Bellmana (równanie optymalizacji dynamicznej):

$$rF^a dt = \mathbb{E}(dF^a)$$

z warunkami brzegowymi:

$$F^a(c_e, c_a, c_b, N_e) = 0$$

$$F^a(c_e, c_a^*, c_b, t) = \Phi^a(c_e, c_a^*, c_b, t)$$

$$\frac{\partial F^a}{\partial c_a}(c_e, c_a^*, c_b, t) = \frac{\partial \Phi^a}{\partial c_a}(c_e, c_a^*, c_b, t)$$

Model decyzyjny inwestycji OZE w warunkach ryzyka

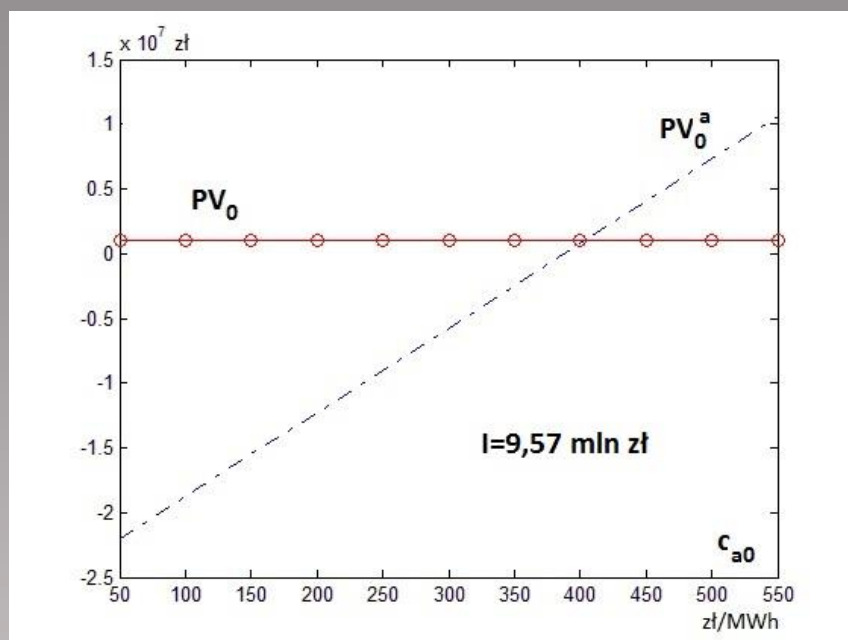
Wartość zaktualizowana opcji pasywnej z dodaną opcją wygrania aukcji:

$$PV_0^a = PV_0 + F^a(c_{e0}, c_{a0}, c_{b0}, 0)$$
$$PV_0 = \int_0^{N_e} (c_e E_t e^{-\delta_e t} + c_b E_t e^{-\delta_b t} + c_c u_t Q_t e^{-\delta_c t} - k_w E_t e^{-\delta_w t}) dt - I$$

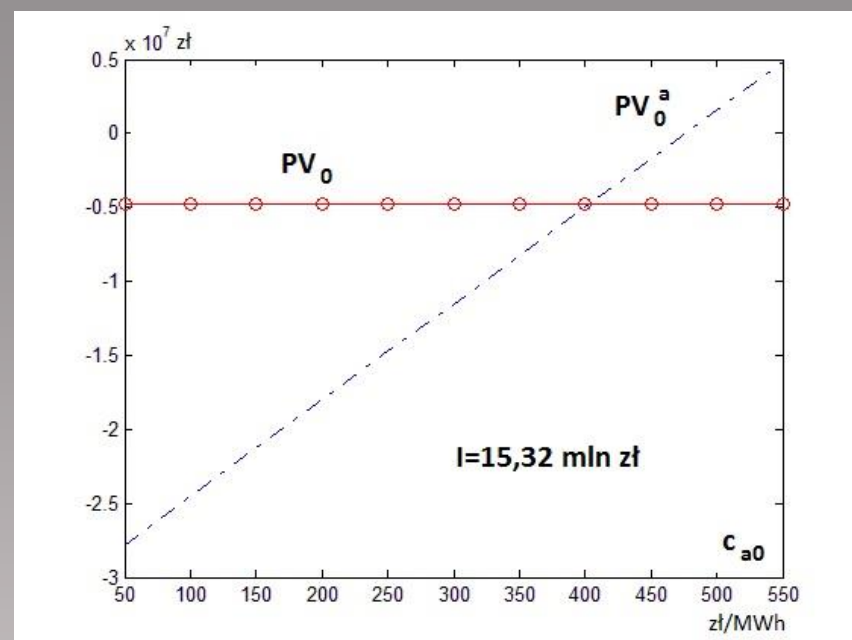
Analizie poddano biogazownię rolniczą o teoretycznej **mocy elektrycznej 0,74 MW i mocy cieplnej 0,84 MW**, w której wsadem jest 30 000 t/r gnojownicy świńskiej i 15 000 t/r kiszonki kukurydzy poddawanych mokrej fermentacji mezofilowej. Przy takich założeniach uzyskano produkcję energii elektrycznej 5,9 GWh/r i ciepła 24,1 TJ/r, a w tym zużycie na potrzeby własne to 9% energii elektrycznej i 25% ciepła. Na rynku energii sprzedaje się całą produkcję energii elektrycznej, ale założono, że tylko 35% nadwyżki netto ciepła użytkowego znajduje nabywcę.

Źródłem przychodów biogazowni jest sprzedaż energii elektrycznej (174,2 zł/MWh), nadwyżek ciepła (36,37 zł/GJ) i błękitnych certyfikatów (336,92 zł/MWh). Koszty operacyjne bez zakupu i magazynowania substratów wynoszą ok. 1,53 mln zł/r. Przyjęto ponadto najtańszy sposób zagospodarowania pulpy pofermentacyjnej w ilości prawie 45 tys. t/r wykorzystując ją jako nawóz na własnych polach.

Wyniki obliczeń



Rys. 1. Progowa wartość ceny aukcyjnej dla nakładu inwestycyjnego minimalnego $I = 9,57$ mln zł



Rys. 2. Progowa wartość ceny aukcyjnej dla nakładu inwestycyjnego średniego $I = 15,32$ mln zł

Podsumowanie

- Przedstawiono model decyzyjny inwestycji mający na celu wskazanie reguły decyzyjnej dla biogazowni rolniczej. Wyznaczono progowe wartości ceny uzyskanej na aukcji, przy której dla biogazowni bardziej opłaca się system aukcyjny niż system wsparcia oparty na kolorowych certyfikatach.
- Wyznaczone przykładowe wartości progowe ceny uzyskanej na aukcji dla biogazowni są niższe od obecnie obowiązującej ceny referencyjnej w rozporządzeniu do ustawy o OZE, ale obliczenia były wykonane dla szeregu, optymalizujących pracę biogazowni, założeń, które jednak mogą być trudne do zrealizowania (np. pozyskanie substratów z własnego gospodarstwa, niski nakład inwestycyjny, zagospodarowanie we własnym zakresie pulpy pofermentacyjnej itp.).

Pytanie Recenzenta

Jak wprowadzenie systemu aukcyjnego wpłynie na koszty systemu wsparcia dla OZE?

W 2014 roku w ramach dyskusji nad propozycją Ustawy OZE Ministerstwo Gospodarki opublikowało Ocenę skutków regulacji.

Tabela 30. Wpływ proponowanych rozwiązań w zakresie optymalizacji systemu wsparcia dla OZE na ceny energii elektrycznej

Lata	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Oszczędności wynikające z wprowadzenia systemu aukcyjnego w scenariuszu z waloryzacją taryf względem dotychczasowego mechanizmu wsparcia – przy założeniu wartości świadectwa pochodzenia zbliżonej do wartości opłaty zastępczej waloryzowanej o wskaźnik inflacji (mln zł)	2415	2900	3464	4192	5183	7051
Oszczędności wynikające z wprowadzenia systemu aukcyjnego w scenariuszu z waloryzacją taryf względem dotychczasowego mechanizmu wsparcia – przy założeniu ograniczonej wartości świadectwa pochodzenia (mln zł)	838	1017	1240	1565	2073	3150
Przewidywana sprzedaż energii elektrycznej dla odbiorców końcowych (TWh)	122,859	124,088	125,328	126,582	127,848	129,126
Oszczędności wynikające z wprowadzenia systemu aukcyjnego w scenariuszu z waloryzacją taryf względem dotychczasowego mechanizmu wsparcia – przy założeniu wartości świadectwa pochodzenia zbliżonej do wartości opłaty zastępczej waloryzowanej o wskaźnik inflacji (zł/MWh)	19,66	23,37	27,64	33,12	40,54	54,60
Oszczędności wynikające z wprowadzenia systemu aukcyjnego w scenariuszu z waloryzacją taryf względem dotychczasowego mechanizmu wsparcia – przy założeniu ograniczonej wartości świadectwa pochodzenia (zł/MWh)	6,82	8,19	9,90	12,36	16,21	24,39



REF 2016

**XXII Konferencja Naukowo-Techniczna
RYNEK ENERGII ELEKTRYCZNEJ
25 - 27 kwietnia 2016 r.
Kazimierz Dolny, Hotel Król Kazimierz**

Dziękuję za uwagę!