



Magdalena Ligus

Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu
Wydział Zarządzania, Informatyki i Finansów
Katedra Finansów Przedsiębiorstw
i Finansów Publicznych
magdalena.ligus@ue.wroc.pl

Tomasz Słoński

Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu
Wydział Zarządzania, Informatyki i Finansów
Katedra Finansów Przedsiębiorstw
i Finansów Publicznych
tomasz.slonski@ue.wroc.pl

ANALIZA RYZYKA INWESTYCYJNEGO BIOGAZOWNI ROLNICZEJ – STUDIUM PRZYPADKU

Streszczenie: W artykule przedstawiono studium przypadku analizy ryzyka biogazowni rolniczej o mocy 88 kWe. Badanie jakościowe czynników ryzyka przeprowadzono na podstawie przeglądu literatury przedmiotu oraz eksperckiego badania ankietowego. Respondenci za najistotniejsze uznali czynniki ryzyka z grup: regulacyjnych oraz prawnych wynikających z lokalizacji biogazowni, a także ryzyka techniczne (procesu). W analizie wrażliwości i wartości wyłączających za zmienne krytyczne uznano: cenę aukcyjną energii, nakłady inwestycyjne i koszty operacyjne. W szczególności wydaje się wysoce prawdopodobne uzyskanie ceny aukcyjnej energii zbliżonej do wartości wyłączającej. Analiza Monte Carlo również obnażyła słabości wariantu bazowego. Realizacja wariantu bazowego lub uzyskanie wyniku lepszego są mało prawdopodobne. Powoduje to, że projekt należy uznać za ryzykowny.

Słowa kluczowe: biogazownie rolnicze, analiza jakościowa i ilościowa ryzyka, analiza Monte Carlo.

JEL Classification: G31, G32.

Wprowadzenie

Zarządzanie ryzykiem projektu inwestycyjnego jest wieloetapowym procesem trwającym przez cały okres realizacji inwestycji. Ryzyko jest jednym z głównych cech projektu inwestycyjnego, którego poziom będzie decydował o uruchomieniu, kontynuacji czy zaniechaniu inwestycji. Na potrzeby dalszych rozważań przyjęto powszechnie stosowaną w finansach definicję ryzyka jako cechy inwestycji, która umożliwia osiągnięcie wyniku innego od oczekiwanego. Tak pojmowane ryzyko określa się mianem ryzyka biznesowego. Oznacza to, że

w analizie ryzyka bierze się pod uwagę nie tylko możliwość osiągnięcia wyniku gorszego od oczekiwanego (tak pojmowane jest ryzyko potocznie), ale również lepszego od oczekiwanego. Według wielu osób analiza wyników lepszych od oczekiwanych może wydawać się zbyteczna, a menedżer powinien troszczyć się raczej o zapobieganie zmniejszaniu się wartości inwestycji. W świetle praktyki rynkowej takie działanie jest tylko częściowo prawdziwe, ponieważ zakłada reakcję menedżerów wyłącznie w sytuacji wystąpienia czynników niekorzystnie wpływających na projekt. Właściwie skonstruowany system wynagradzania menedżerów powinien stymulować do poszukiwania możliwości zwiększania wartości projektu przy wystąpieniu czynników pozytywnie oddziałujących na projekt.

Do listy ważnych terminów należy dodać jeden – czynnik ryzyka, tzn. zdarzenie, które potencjalnie wpłynie na wartość projektu. Czynniki ryzyka zazwyczaj opisuje się i kategoryzuje na początkowych etapach procesu zarządzania ryzykiem. Wywodzą się one z różnych źródeł ryzyka, które najczęściej usystematyzowane są w grupy czynników ryzyka.

1. Proces zarządzania ryzykiem w projektach biogazowni rolniczych oraz przegląd badań

Na poziomie metodologicznym zarządzanie ryzykiem w inwestycjach związanych z wykorzystaniem energii ze źródeł odnawialnych nie różni się od zarządzania ryzykiem w innych rodzajach przedsięwzięć i jest realizowane zgodnie ze schematem opartym na demingowskim cyklu ciągłego doskonalenia.

Na wyjściowy etap procesu zarządzania ryzykiem składają się: definicja projektu, określenie jego zakresu, charakterystyki i związanych z tym wyzwań. Na tym etapie powinny zostać uwzględnione różne aspekty oraz perspektywy projektu – techniczna, organizacyjna, prawna i finansowa.

Etap drugi – identyfikacji ryzyka – polega na określeniu wszystkich potencjalnych ryzyk, które mogą dotyczyć celów projektu. Produktem tego etapu jest zwykle rejestr ryzyka, w którym poszczególne rodzaje ryzyka są opisane i scharakteryzowane. Rejestr jest następnie weryfikowany oraz uzupełniany o wyniki analizy ryzyka i planu zarządzania ryzykiem. Identyfikacja ryzyka jest prowadzona z wykorzystaniem różnych metod, zależnie od wielkości projektu, dostępności danych czy możliwości zaangażowania różnych ekspertów/interesariuszy. Są to zarówno metody ilościowe, jak i jakościowe [np. Damodaran, 2011; Łuczak, 2011, Wróblewski (red.), 2015]. Doświadczenia z analiz ryzyka w projektach opartych na odnawialnych źródłach energii (OZE) pozwoliły autorom zi-

dentyfikować wstępną listę kategorii ryzyka, która może być punktem wyjścia dla procedury jego identyfikacji w projekcie. Takie podejście proponują np. Gatzert i Kosub [2016] czy autorzy raportu opracowanego na zlecenie Międzynarodowej Agencji Energii [ALTRAN Arthur D. Little, 2011, s. 56-57], przedstawiającego szczegółową listę możliwych kategorii ryzyk. Do badań ryzyka inwestycji w sektorze OZE w Polsce i Europie, przeprowadzonych w ostatnich latach, należą również: EIU [2011], Instytut Jagielloński [2015], URE [2015], Fraunhofer ISI [2016], PSE [2017].

Proces zarządzania ryzykiem w energetyce opartej na źródłach odnawialnych, tak samo jak w konwencjonalnej, z jednej strony wykorzystuje identyczną metodykę, ale z drugiej musi być też dostosowany do wielkości i złożoności projektu. Proces inwestycyjny i projekty dotyczące technologii wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych wykazują pewną specyfikę odnoszącą się do skali projektów, dojrzałości rynku oraz związanej z tym dostępnością danych o technologiach i efektach już zrealizowanych projektów. Technologie wykorzystujące paliwa kopalne są wykorzystywane powszechnie od wielu lat, w związku z czym ryzyka w tego typu przedsięwzięciach są relatywnie dobrze zidentyfikowane dzięki udokumentowanemu doświadczeniu ze zrealizowanych projektów (z uwzględnieniem całego ich cyklu życia), dostępnym standardom i specyfikacjom technicznym oraz danym statystycznym. W przeciwieństwie do nich nawet te technologie OZE, które są wykorzystywane najdłużej (tzn. od około dwudziestu lat, jak lądowa energetyka wiatrowa), podlegają dynamicznym zmianom, a na rynku pojawiają się jakościowo nowe rozwiązania.

Konwencjonalne technologie ze względu na swoją dojrzałość, efekty skali i proces uczenia się osiągnęły już prawdopodobnie etap optymalnych kosztów wytwarzania, natomiast w przypadku technologii OZE wciąż mamy do czynienia z etapem relatywnie szybkiej redukcji kosztów inwestycyjnych. Szybki postęp technologiczny oznacza postęp efektywności, wydajności instalacji, ale również relatywnie szybkie starzenie się ekonomiczne instalacji już uruchomionych. Problemem w przypadku niektórych technologii czy rozwiązań mogą być też „wąskie gardła” w zakresie dostaw urządzeń i zagrożenie opóźnieniami w procesie inwestycyjnym.

Specyfikę inwestycji OZE na poszczególnych etapach przedstawia [ALTRAN Arthur D. Little, 2011, s. 7-9]. Rolnicza energetyka biogazowa jest charakterystyczna dla terenów dużych gospodarstw rolnych. Jest bardzo trudna w ocenie i prowadzeniu procesu inwestycyjnego z uwagi na dużą nieprzewidywalność procesową i słabą dynamikę wzrostu rynku. W odniesieniu do technologii produkcji biogazu należy wskazać kilka podstawowych elementów zwią-

zanych bezpośrednio z charakterem źródeł. Są to przede wszystkim wysokie koszty inwestycji, stanowiące kilkukrotność kosztu wybudowania 1 MW mocy w innych technologiach energetycznych, problemy związane z utrzymaniem złoża bakteryjnego i bardzo powolną odbudową złoża w przypadku jego uszkodzenia, niewielka możliwość magazynowania paliwa przy rozbudzonej produkcji gazu oraz dostępność surowca do produkcji biogazu. Z uwagi na specyfikę branży słusznie wskazuje się jako najbardziej perspektywiczny rozwój lokalnych biogazowni rolniczych umożliwiających pracę wyspową, samowystarczalną w odniesieniu do zapotrzebowania na pokrycie podstawowych potrzeb gospodarstwa.

Celem analizy jakościowej czynników ryzyka jest przede wszystkim stworzenie rankingu czynników ryzyka pod względem siły oddziaływania na projekt oraz prawdopodobieństwa ich wystąpienia. Ranking taki pozwala określić wagę poszczególnych czynników ryzyka. Rangowanie czynników ryzyka następuje w stosunkowo prosty sposób, poprzez umieszczenie czynników ryzyka na macierzy ryzyka.

Kolejnym krokiem, po etapie identyfikacji i oceny jakościowej ryzyka, jest jego ocena ilościowa. Metody umożliwiające ocenę ryzyka projektów inwestycyjnych w warunkach niepewności można podzielić na dwie grupy: metody pośrednie wspomagające podejmowanie decyzji oraz metody bezpośrednie, które skupiają się na modyfikacji tradycyjnych kryteriów decyzyjnych. Odrębną grupę stanowią opcje realne [Mielcarz, Paszczyk, 2013, s. 135-183].

Metody bezpośrednie pozwalają na obliczenie wartości projektu, która uwzględnia wpływ czynników ryzyka. Możliwe jest zastosowanie dwóch metod: metody równoważnika pewności (*Certainty Equivalent* – CE) i metody stopy dyskontowej skorygowanej o ryzyko (*Risk-Adjusted Discount Rate* – RADR).

Metody pośrednie umożliwiają bardziej dokładną analizę projektu i efektów, jakie mogą być uzyskane w przypadku możliwych sytuacji w przyszłości, a także lepsze oszacowanie czynników wpływających na wartość bieżącą netto (*Net Present Value* – NPV). Dzięki tym metodom uzyskujemy wartości oczekiwane NPV i ryzyko mierzone odchyleniem standardowym NPV (analiza scenariuszy, analiza drzew decyzyjnych, analiza symulacyjna) lub informacje o dopuszczalnych zmianach czynników wpływających na NPV (analiza wrażliwości).

Analiza wrażliwości (*sensitivity analysis*, "what-if" analysis), zastosowana w badanej biogazowni rolniczej, jest metodą, która umożliwia zbadanie wrażliwości NPV projektu na zmiany wartości zmiennych wpływających na efektywność. Badanie wpływu zmian poszczególnych zmiennych przy założeniu, że pozostałe nie zmieniają się, jest podstawowym ograniczeniem tej metody. Anali-

za wrażliwości może być wykorzystana do: określania wpływu zmian (np. wzrostu lub spadku o 10%) wartości konkretnych zmiennych (przepływów pieniężnych, kosztu kapitału, nakładów inwestycyjnych) na NPV; ustalenia takich wartości poszczególnych zmiennych, dla których NPV projektu jest równa zero. Efektem jest uporządkowana lista tych wielkości, na których zmiany projekt jest najbardziej wrażliwy. Zmienne, których wpływ na NPV jest największy, powinny być szacowane szczególnie dokładnie i zwykle są przedmiotem dalszej analizy ryzyka, zwykle scenariuszy lub symulacyjnej Monte Carlo.

Analiza symulacyjna Monte Carlo (*simulation analysis*), również zastosowana w badanej biogazowni rolniczej, umożliwia dokładniejsze oszacowanie wartości oczekiwanej $E(NPV)$ i ryzyka mierzonego odchyleniem standardowym $\sigma(NPV)$ analizowanego projektu niż analiza scenariuszy czy analiza drzew decyzyjnych. Analiza symulacyjna konkretnego projektu wymaga opracowania modelu matematycznego opisującego projekt, czyli zestawu równań opisujących zależności ekonomiczne między zmiennymi tego modelu. Dane wejściowe do modelu to rozkłady prawdopodobieństwa tych zmiennych, które występują w modelu. Procedurę stosowania analizy symulacyjnej można opisać następująco:

- dla każdej zmiennej uwzględnionej w modelu generowana jest liczba losowa, która wskazuje, jaka wartość każdej zmiennej powinna być wykorzystana do obliczenia NPV w kolejnej hipotetycznej realizacji projektu;
- procedurę losowania możliwych wielkości powtarza się wielokrotnie;
- w efekcie na wyjściu otrzymuje się rozkład możliwych do uzyskania wartości NPV projektu.

Koncepcja wykorzystania rozkładu wyników w celu porównania projektów inwestycyjnych została zaproponowana przez Herza [1964, s. 96-108] w 1964 r. Tradycyjny sposób obliczenia wartości wykorzystuje wartości oczekiwane lub najbardziej prawdopodobne do oszacowania wartości projektu. W takim podejściu pomija się zmienność przepływów, co może mniej świadomych analityków doprowadzić do wniosku, że nie ma różnicy między wartością inwestycji charakteryzującej się stochastycznym przebiegiem przepływów a zwykłą rentą finansową. Wykorzystanie symulacji Monte Carlo pozwala zilustrować różnicę pomiędzy tymi podejściami. Należy zaznaczyć, że wykorzystanie terminu „rozkład NPV” budzi w środowisku naukowym kontrowersje [Charnes, 2007 s. 108-110], ponieważ zgodnie ze swoją definicją NPV jest jedynie pojedynczą liczbą będącą wynikiem procedury obliczeniowej i jako takie nie jest czynnikiem ryzyka, który należałoby poddać badaniu. Opisowi statystycznemu podlegają możliwe NPV wygenerowane na podstawie wylosowanych zmiennych.

Konsekwencją oceny ryzyka jest wdrożenie odpowiednich procedur dotyczących jego kontroli. Zwykle mają one formę planów zarządzania ryzykiem adekwatnych do zidentyfikowanych ryzyk przewidujących cele kontroli ryzyka, zasoby, harmonogramy, odpowiedzialność oraz sposób monitorowania i raportowania. W przypadku projektów OZE wachlarz dostępnych metod kontroli ryzyka (w tym instrumentów finansowych) jest, zwłaszcza w Polsce, węższy niż w przypadku projektów z innych dziedzin czy nawet projektów energetyki konwencjonalnej.

Nieodłącznym elementem zarządzania ryzykiem jest systematyczny przegląd, analiza i doskonalenie procesu. Po zakończeniu istotnych etapów realizacji części inwestycyjnej projektu oraz systematycznie na etapie eksploatacji potrzebne jest porównanie prognoz w zakresie ryzyka ze stanem rzeczywistym, a także ocena skuteczności oraz efektywności wykorzystanych metod i narzędzi zarządzania ryzykiem w odniesieniu do wszystkich etapów zarządzania ryzykiem.

2. Studium przypadku

2.1. Charakterystyka przedsięwzięcia oraz założenia finansowe

Celem studium przypadku jest analiza ryzyka budowy biogazowni rolniczej na terenie Rolniczego Zakładu Doświadczalnego (RZD) Swojec należącego do Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu¹. Gospodarstwo składa się z 483,44 ha użytków rolnych oraz 19,11 ha lasu. Większość powierzchni zajmują grunty orne oraz areale przeznaczone na doświadczenia polowe i mikropoletkowe, pozostałe grunty to łąki i pastwiska. Większość produkcji roślinnej jest przeznaczona na potrzeby hodowli bydła. W związku z produkcją zwierzęcą i ściółkowym systemem hodowli w gospodarstwie powstaje obornik, który jest wykorzystywany do nawożenia pól uprawnych, a także gnojowica, którą stosuje się do nawożenia użytków zielonych.

Dla realizacji celu niezbędne było w pierwszej kolejności określenie zasobów i dostępności substratów, wybór technologii, oszacowanie uzysku energii elektrycznej i ciepła. Następnie przeprowadzono analizę finansową (biorąc pod uwagę sytuację prawną i rynkową), będącą podstawą dla przeprowadzenia analizy ryzyka.

¹ Dane wejściowe przykładowej biogazowni na podstawie opracowania: [Fugol, 2017].

Założeniem było dobranie mocy agregatu do posiadanych odpadów oraz dodatkowych substratów, możliwych do wyprodukowania na terenie gospodarstwa rolnego. Celem działania było zminimalizowanie ryzyka operacyjnego w zakresie dostępności oraz ceny substratów. W celu obliczenia efektywności energetycznej substratów na terenie RZD Swojec, dobrania odpowiedniej mocy elektrycznej i cieplnej agregatu, a także określenia rocznej wielkości produkcji energii elektrycznej i ciepła, należało określić ilość substratów, które można wykorzystać w ciągu roku w potencjalnej biogazowni. Założono, że do produkcji biogazu przeznaczy się wszystkie odpady pochodzenia zwierzęcego (gnojowica w ilości $2400 \text{ Mg}\cdot\text{rok}^{-1}$ i obornik w ilości $1200 \text{ Mg}\cdot\text{rok}^{-1}$) oraz kiszonkę z kukurydzy ($968 \text{ Mg}\cdot\text{rok}^{-1}$), która będzie specjalnie na ten cel uprawiana na 20 ha. Przyjęto, że biogazownia będzie pracować w warunkach mezofilowych i będzie stosować fermentację mokłą. Głównym powodem wyboru takiego rozwiązania jest dostępność odchodów płynnych. Na podstawie charakterystyki substratów obliczono roczny uzysk metanu: około $213\,238,41 \text{ m}^3$. Teoretyczną moc cieplną możliwą do uzyskania w kogeneracji, przy spaleniu dostępnej ilości metanu ze sprawnością $\eta_{ciep} = 43\%$, określono na 94,63 kW. Teoretyczna moc elektryczna, której sprawność wytwarzania jest równa $\eta_{el} = 40\%$, wynosi 88,03 kW. Zakładając czas pracy urządzeń $T = 8300 \text{ h/rok}$, produkcja ciepła brutto wyniesie $2\,827,54 \text{ GJ/rok}$. Przyjęto, że na cele technologiczne biogazownia zużyje 25% ciepła, tj. $706,86 \text{ GJ/rok}$. Zatem produkcja ciepła netto wyniesie $2\,120,68 \text{ GJ/rok}$. Produkcję energii elektrycznej brutto wyznaczono na $730,65 \text{ MWh/rok}$. Przyjmując, że biogazownia zużywa 9% energii elektrycznej na własne potrzeby, obliczono, że na cele technologiczne należy przeznaczyć $65,76 \text{ MWh/rok}$. Stąd produkcja energii elektrycznej netto wynosi $664,89 \text{ MWh/rok}$. Ciepło wyprodukowane w module kogeneracyjnym biogazowni pozwala pokryć całość potrzeb grzewczych w gospodarstwie (wynoszących $350,36 \text{ GJ/rok}$). W związku z tym do sprzedaży odbiorcom zewnętrznym zostaje $1770,32 \text{ GJ/rok}$. Masa pofermentacyjna zostanie wykorzystana do nawożenia gruntów, zamiast gnojowicy i obornika.

Okres eksploatacji biogazowni będzie wynosił 20 lat, przy czym mechanizm wsparcia instalacji OZE jest przewidziany na 15 lat, nie dłużej niż do 2035 r., licząc od momentu wytworzenia po raz pierwszy energii elektrycznej, potwierdzonego wydanym świadectwem pochodzenia albo od dnia sprzedaży po raz pierwszy energii elektrycznej po dniu zamknięcia aukcji. W rozważanym przypadku cena aukcyjna energii będzie obowiązywała do 2033 r. Założono jednak, że z uwagi na przewidywany wzrost ceny rynkowej energii, po 2033 r. cena

aukcyjna zrównałaby się z rynkową. Zatem w okresie 2034-2038 w prognozie cena aukcyjna energii nadal będzie indeksowana o inflację. Biogazownia będzie korzystała z systemu wsparcia w postaci aukcji dla przedsiębiorstw energetycznych wytwarzających energię odnawialną, gdzie uzyska się cenę 550 zł/MWh (kwota ta będzie indeksowana corocznie o wskaźnik inflacji) – cena referencyjna dla instalacji o łącznej mocy zainstalowanej elektrycznej do 1 MW, wytwarzających biogaz rolniczy [Rozporządzenie Ministra Energii, 2017]. Cena sprzedaży ciepła wyniesie 25 zł/GJ. Część wyprodukowanego przez biogazownię ciepła netto zostanie wykorzystana do ogrzania budynków na terenie gospodarstwa, więc finalna sprzedaż ciepła do odbiorców zewnętrznych, ale mieszkających przy terenie gospodarstwa, będzie o tę wartość pomniejszona, za to oszczędność dotycząca braku potrzeby zakupu gazu do ogrzewania budynków gospodarstwa będzie stanowiła przychód gospodarstwa.

Nakłady inwestycyjne budowy biogazowni o mocy niespełna 100 kW_{el} wyniosą około 1 200 000 zł (średnia cena budowy 1 MW_{el} instalacji biogazowej na rynku polskim to 12-15 mln zł) [www 1], łącznie z budową sieci ciepłowniczej (do 200 m) i w całości będzie finansowana ze środków własnych inwestora.

Biogazownia będzie zasilana substratami dostępnymi w gospodarstwie: gnojowicą bydłą, obornikiem oraz kiszoną kukurydzą. W związku z faktem, że kiszona kukurydza jest drogim substratem, pożądanym na rynku rolniczym, koszt wyprodukowania kiszony w gospodarstwie przyjęto na poziomie kosztu alternatywnego (ceny rynkowej). Koszt usług serwisowych, ubezpieczenia i eksploatacji instalacji, w tym m.in. wymiany oleju czy świec, będzie wynosił 15% nakładów inwestycyjnych. Liczba osób zatrudnionych w biogazowni jest związana z wielkością (mocą elektryczną) instalacji (<50 Kw – 0,5 etatu, 50-100 kW – 1 etat, 100-250 kW – 2 osoby, 250-750 kW – 3 osoby, 750-1200 kW – 4 osoby, >1,2 MW – 5 osób) [Lewicki, 2016], zatem personel biogazowni powinien stanowić 1 etat, jednak z uwagi na to, że w gospodarstwie zatrudnieni są pracownicy techniczni, zredukowano 1 etat do 0,5 etatu. Przyjęto średnią stawkę miesięcznego wynagrodzenia brutto w sektorze przetwórstwa przemysłowego według GUS (3917,5 zł) [www 2]. W modelu pominięto koszty administracyjne, gdyż jest nimi obciążone gospodarstwo rolne, stąd nie odnotuje się wzrostu kosztów w związku z funkcjonowaniem biogazowni (zgodnie z zasadą szacowania przepływów przyrostowych).

Zastosowano uproszczoną amortyzację liniową dla wszystkich grup środków trwałych, stawka 5% rocznie. Założono stopę kosztu kapitału własnego na poziomie 5% zgodnie z danymi inwestora. Analiza prowadzona jest w wartościach nominalnych. Przyjęto średnią roczną stopę inflacji na poziomie 2% w całym okresie prognozy [NPB, 2017].

Na podstawie skonstruowanych wolnych przepływów pieniężnych obliczono wartości podstawowych kryteriów oceny opłacalności inwestycji. Wartość bieżąca netto (NPV) projektu jest dodatnia i wynosi 402 109 zł, co świadczy o opłacalności inwestycji w 20-letnim okresie życia. Wewnętrzna stopa zwrotu (IRR) wynosi 8,44% i jest znacząco wyższa od zakładanej przez inwestora minimalnej stopy zwrotu, wyznaczonej na poziomie 5%. Rentowność potwierdza wskaźnik rentowności (PI), który wynosi 1,34. Kryterium zmodyfikowanej wewnętrznej stopy zwrotu (MIRR), zakładające reinwestycję środków po stopie 5%, jest niższe od IRR i wynosi 6,53%.

2.2. Analiza jakościowa czynników ryzyka

Na podstawie wskazanej w punkcie 1 literatury przedmiotu oraz konsultacji z dwoma ekspertami wylistowano 31 czynników ryzyka pogrupowanych w następujące kategorie: ryzyko rynkowe, ryzyko prawne – wynikające z umów, ryzyko prawne – wynikające z lokalizacji, ryzyko dostawcy usług i produktów, ryzyko systemowe – regulacyjne, ryzyko systemowe – otoczenia projektu, ryzyko aukcyjne (wygrania kontraktu), ryzyko pogodowe, ryzyko organizacyjne – zasobów ludzkich, ryzyko zarządzania projektem, ryzyko techniczne (procesu).

Skonstruowano macierz ryzyk, którą przesłano do osób zarządzających biogazowniami rolniczymi w Polsce. Badanie polegało na przypisaniu siły oddziaływania każdego czynnika ryzyka na cele projektu w skali od 0 – brak wpływu, do 10 – wpływ maksymalny, a także przypisaniu prawdopodobieństwa jego wystąpienia. Eksperti mieli również możliwość dopisywania komentarzy pozwalających wyciągnąć wnioski co do rodzaju oddziaływania określonego czynnika ryzyka (jednorazowe, ciągłe, okresowe), trendu (np. stały, spadkowy, wzrostowy) czy rodzaju wpływu na podstawowe parametry projektu oraz proponowane środki zaradcze. Eksperti chętnie korzystali z tej możliwości. Opracowanie wyników ankiety pozwoliło na obliczenie średnich wartości punktowych oraz przedstawienie analizy opisowej czynników ryzyka. Etap ten pozwolił na wyłonienie czynników ryzyka, które zostały poddane analizie wrażliwości. Układ macierzy ryzyka dla biogazowni przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Układ macierzy ryzyka dla biogazowni

Wpływ (0-10 punktów)/prawdopodobieństwo	0-1	2-3	4-5	6-7	8-10
90%	0,5	2,3	4,1	5,9	8,1
70%	0,4	1,8	3,2	4,6	6,3
50%	0,3	1,3	2,3	3,3	4,5
30%	0,2	0,8	1,4	2,0	2,7
20%	0,1	0,5	0,9	1,3	1,8

Na podstawie wyników liczbowych ankiety (średnia dla każdego czynnika ryzyka uzyskana z ważonych prawdopodobieństwem wystąpienia sił wpływu poszczególnych czynników ryzyka) opracowano ostateczny ranking czynników ryzyka, przypisując im istotność dużą, średnią oraz niską. Z uwagi na ograniczenia objętościowe artykułu w tabeli 2 zaprezentowano jedynie czynniki ryzyka wykazujące wysoką istotność.

Tabela 2. Ranking wysoce istotnych czynników ryzyka biogazowni rolniczej

Nr czynnika	Czynnik ryzyka	Wpływ na podstawowe parametry projektu inwestycyjnego (harmonogram, koszty, przychody, jakość itp.)	Siła wpływu na cele projektu (1-10 p.) razy prawdopodobieństwo wystąpienia	Rodzaj oddziaływania (jednorazowe, ciągle, okresowe)	Oczekiwany trend (np. stały, spadkowy, wzrostowy)
1	2	3	4	5	6
18	Wsparcie regulacyjne (niestabilność przepisów prawnych)	przychody, koszty operacyjne	8,1	ciągle	spadkowy
20	Zmiany cen referencyjnych co roku, wynikające z woli politycznej, oderwane od kosztów produkcji energii w danej technologii	przychody	8,1	okresowe	stały
11	Brak w miejscowych planach zagospodarowania terenu miejsc przewidzianych na instalacje biogazowe	harmonogram	6,3	jednorazowe	stały/spadkowy
12	Brak zapisów o możliwości wytwarzania energii w obrębie działki w planie zagospodarowania przestrzennego	harmonogram	6,3	jednorazowe	spadkowy
19	Cena referencyjna 550 zł/MWh jest nadal zbyt niska dla biogazowni i stwarza ryzyko braku rentowności	przychody	6,3	ciągle	stały
29	Zaniedbania pracowników biogazowni – nieprawidłowa obsługa pracy źródła skutkująca jego uszkodzeniem lub brakiem odpowiedniej wydajności	koszty operacyjne, przychody	6,3	jednorazowe	trudno określić

cd. tabeli 2

1	2	3	4	5	6
30	Niestabilność biotechnologicznego procesu prowadzonego przez mikroorganizmy, które potrzebują zapewnienia odpowiednich warunków do procesów życiowych, w tym odpowiedniego stabilnego pokarmu – substratów we wsadzie (problemy związane z utrzymaniem złoza bakteryjnego i bardzo powolną odbudową złoza w przypadku jego uszkodzenia)	koszty operacyjne, przychody	6,3	jednorazowe	spadkowy
31	Problem z zagospodarowaniem pofermentu (wciąż nie do końca uregulowana prawna strona zagospodarowania na cele nawozowe, stąd popularniejsze inne formy zagospodarowania pofermentu, np. separacja na odciek i frakcję stałą, peletowanie, brykietowanie, granulowanie)	koszty operacyjne, przychody	6,3	ciągle	spadkowy
3	Zmiana kosztów i dostępności paliwa, wynikająca z rozwoju rynku biogazowego w Polsce i coraz większej konkurencji o substrat	koszty operacyjne	5,9	okresowe	wzrostowy/stały
5	Przesunięcie terminu uruchomienia	harmonogram, koszty finansowe, przychody	4,6	jednorazowe	stały
10	Uzyskanie pozwolenia na budowę, wymagające konsultacji społecznych dla dużych inwestycji lub w mniejszej skali – aprobaty właścicieli sąsiednich działek (możliwość odmowy lub przesunięć czasowych)	harmonogram	5,9	jednorazowe	stały/spadkowy
17	Zapewnienie odpowiednio dużej i stabilnej bazy substratowej dla całego okresu życia biogazowni	koszty operacyjne	5,9	okresowe	spadkowy

cd. tabeli 2

1	2	3	4	5	6
2	Zmiana ceny walut wpływająca na ruchy kosztów inwestycji z uwagi na kupno elementów konstrukcji i wyposażenia w obcej walucie	koszty inwestycji	4,6	jednorazowe	spadkowy
7	Brak możliwości wybudowania jednostek z uwagi na niepoprawnie dobraną lokalizację (zbyt wysokie kominy)	harmonogram	4,5	jednorazowe	spadkowy
15	Kierowanie się niską ceną urządzeń może spowodować obniżenie jakości wpływające na sprawność jednostki	jakość, przychody	4,5	ciagle	spadkowy
26	Przegranie aukcji ME oznacza ok. roczne opóźnienie w prowadzeniu i uruchomieniu projektu, jeśli inwestor będzie chciał korzystać ze wsparcia lub będzie tego wymagał projekt	przychody, harmonogram	4,5	jednorazowe	trudno określić
28	Niewielka liczba specjalistów/technologów na rynku pracy znających się na fermentacji i biogazowniach (brak kompetencji)	koszty operacyjne, przychody	4,5	ciagle	spadkowy
1	Zmiana cen produktów w kontraktach future's		3,3	ciagle	wzrostowy
21	Zmiany wolumenu energii z danego źródła OZE przeznaczonej do zakupu w danym roku	przychody	3,3	jednorazowe	spadkowy
23	Niska świadomość i wiedza mieszkańców, niechęć do biogazowni	harmonogram	2,7	jednorazowe	spadkowy

Ogólnie rzecz biorąc, respondenci wskazali na 20 z 31 czynników ryzyka jako wysoce istotne. Czynniki te wywodzą się ze wszystkich grup ryzyka przedstawionych powyżej. Potwierdza to pogląd, że biogazownie rolnicze należą do wysoce ryzykownych inwestycji, wymagających profesjonalnego zarządzania ryzykiem w całym cyklu życia inwestycji. Respondenci uznali za najistotniejsze czynniki ryzyka z grupy regulacyjnych. Niestabilność przepisów prawnych to kluczowy czynnik ryzyka, któremu wszyscy respondenci przypisali maksymalny wpływ na wartość projektu, wskazując również, że jest to czynnik stały, występujący w całym okresie życia biogazowni. Czynnik ryzyka w postaci zmian cen referencyjnych co roku, mogących wynikać z woli politycznej, a oderwanych od kosztów produkcji energii w danej technologii, respondenci uznali za kluczowy, wpływający na poziom osiągniętych przychodów i w konsekwencji na wartość projektu. Wskazali na konieczność wprowadzenia stabilnych cen referencyjnych z uwagi na długi proces inwestycyjny w biogazowniach rolniczych. Aktualną cenę referencyjną (550 zł/MWh) niektórzy respondenci uznali za wystarczającą, swoje obawy koncentrując na możliwości obniżenia ceny referencyjnej w przyszłości; inni twierdzili, że jest to cena stanowczo zbyt niska, aby doprowadzić do pobudzenia rynku biogazu rolniczego w Polsce, wskazując na cenę 720 zł/MWh jako wystarczającą. Czynnik ryzyka uznano za stały.

Drugą najistotniejszą grupę czynników ryzyka stanowią ryzyka prawne wynikające z lokalizacji biogazowni, takie jak: brak miejsc przewidzianych na instalacje biogazowe w miejscowych planach zagospodarowania terenu oraz brak zapisów o możliwości wytwarzania energii w obrębie działki w planie zagospodarowania przestrzennego. Czynniki ryzyka oddziałują na harmonogram realizacji inwestycji (lub mogą uniemożliwić realizację); przypisano im duży wpływ na cele projektu oraz stały lub spadkowy trend.

Kolejną wysoce istotną grupę stanowią ryzyka techniczne (procesu), takie jak trudności związane z utrzymaniem złoza bakteryjnego i bardzo powolną odbudową złoza w przypadku jego uszkodzenia, a także problem z zagospodarowaniem pofermentu. Powiązany czynnikiem ryzyka jest możliwość zaniedbań pracowników biogazowni – nieprawidłowa obsługa pracy źródła, skutkująca jego uszkodzeniem lub brakiem odpowiedniej wydajności (ryzyko zarządzania projektem).

2.3. Analiza wrażliwości i wartości wyłączających

Analizie wrażliwości poddano następujące parametry, tworzące przepływy finansowe projektu inwestycyjnego:

- nakłady inwestycyjne,
- cenę aukcyjną energii,

- cenę sprzedaży ciepła,
- cenę zakupu ciepła przez biogazownię,
- koszty operacyjne z wyłączeniem kosztu kiszonki kukurydzy,
- koszt jednostkowy produkcji kiszonki kukurydzy,
- stopę kosztu kapitału.

Obliczono wartość NPV projektu przy wzroście wartości wybranego parametru o 10%, *ceteris paribus*. Następnie obliczono zmianę procentową NPV. Przyjęto za zmienne krytyczne, tj. na które NPV wykazuje wysoką elastyczność, zmienne, dla których zmiana procentowa NPV była 5-krotnie wyższa od zmiany procentowej parametru. Średnia elastyczność NPV oznacza krotność z przedziału 1-5, niska elastyczność oznacza krotność poniżej 1. Wyniki analizy wrażliwości prezentuje tabela 3.

Tabela 3. Analiza wpływu zmiennych decydujących na wartość projektu

Zmienne	Wartość bazowa	Wzrost o 10% od wartości bazowej	NPV dla +10%	Zmiana NPV (%)	Elastyczność		
					niska	średnia	wysoka
Nakłady inwestycyjne	1 200 000,0 zł	1 320 000,0 zł	82 494,1 zł	-79,5%			X
Cena aukcyjna energii	550,0 zł/MWh	605,0 zł/MWh	836 510,0 zł	108,0%			X
Cena sprzedaży ciepła	25,0 zł/GJ	27,5 zł/GJ	454 682,7 zł	13,1%		X	
Cena zakupu ciepła przez gospodarstwo	79,3 zł/GJ	87,2 zł/GJ	434 946,3 zł	8,2%	X		
Koszty operacyjne z wyłączeniem kosztu kiszonki kukurydzy	203 505,0 zł/rok	223 855,5 zł/rok	160 365,7 zł	-60,1%			X
Koszt produkcji kiszonki kukurydzy	115,0 zł/Mg	126,5 zł/Mg	269 872,0 zł	-32,9%		X	
Stopa kosztu kapitału	5%	5,5%	332 084,6 zł	-17,4%		X	

Za zmienne krytyczne można uznać (szeregując według wysokości wpływu na wartość projektu): cenę aukcyjną energii, nakłady inwestycyjne, koszty operacyjne (bez kosztu kiszonki kukurydzy). Zmienne wykazujące średni wpływ na wartość projektu to: koszt produkcji kiszonki kukurydzy, stopa kosztu kapitału oraz cena sprzedaży ciepła. Za zmienną o niskim wpływie na wartość projektu można uznać koszt zakupu ciepła przez gospodarstwo.

Przeprowadzono również analizę wartości wyłączających. Dla każdej wielkości wpływającej na wartość NPV jest ustalana wartość graniczna (krytyczna, progowa), której przekroczenie spowoduje spadek wartości NPV poniżej zera, a zatem odrzucenie projektu. Ustalono listę zmiennych, na których zmiany projekt jest najbardziej wrażliwy (obliczone dopuszczalne odchylenia poszczególnych zmiennych od wartości bazowych wyrażono w postaci względnej i uporządkowano rosnąco). Na początku tej listy znajdują się zmienne, których relatywnie niewielka zmiana (spadek lub wzrost) powoduje spadek wartości NPV do zera. Wyniki analizy wartości wyłączających przedstawia tabela 4.

Tabela 4. Analiza wartości wyłączających zmiennych (punktu progowego)

Zmienne	Wartość bazowa	Wartość wyłączająca	Zmiana (w %)	Ranking
Nakłady inwestycyjne	1 200 000,0 zł	1 350 973,0 zł	12,6%	2
Cena aukcyjna energii	550,0 zł/MWh	499,0 zł/MWh	-9,3%	1
Cena sprzedaży ciepła	25,0 zł/GJ	6,0 zł/GJ	-76,0%	6
Cena zakupu ciepła przez gospodarstwo	79,3 zł/GJ	-17,0 zł/GJ	-121,4%	7
Koszty operacyjne z wyłączeniem kosztu kiszonki kukurydzy	203 505,0 zł/rok	237 355,0 zł/rok	16,6%	3
Koszt produkcji kiszonki kukurydzy	115,0 zł/Mg	150,0 zł/Mg	30,4%	4
Stopa kosztu kapitału	5%	8,0%	60,0%	5

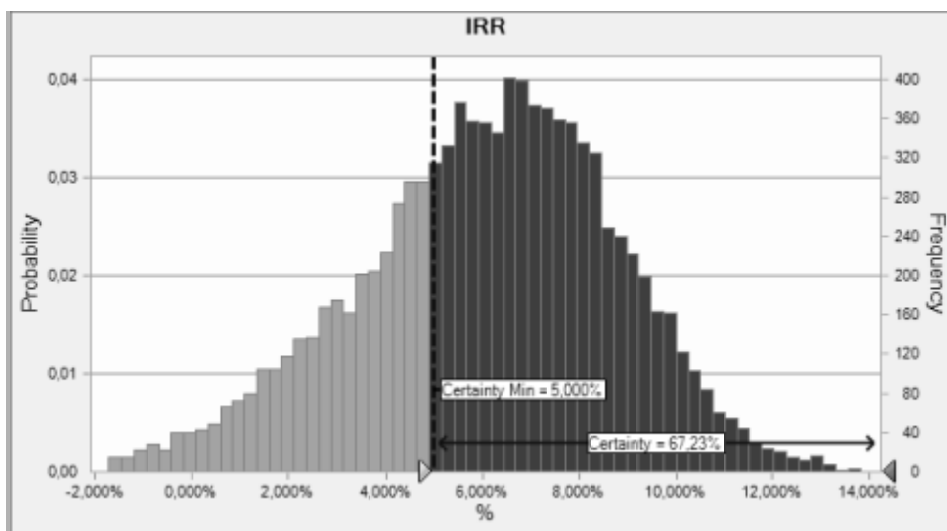
Ranking zmiennych jest taki sam, jak przy zmianie wartości zmiennej o 10% od wartości bazowej. Przewagą analizy punktu progowego jest obliczenie konkretnych wartości zmiennych, które spowodują brak opłacalności projektu. Następnie możliwa jest analiza prawdopodobieństwa osiągnięcia przez poszczególne zmienne wartości wyłączających. W przypadku analizowanego przedsięwzięcia wydaje się wysoce prawdopodobne uzyskanie ceny aukcyjnej energii zbliżonej do wartości wyłączającej, z uwagi na to, że maksymalna cena aukcyjna (cena referencyjna) wynosi 550zł/MWh, a cena wyłączająca – 499 zł/MWh. Przeciwnie, w przypadku takich zmiennych, jak cena sprzedaży ciepła przez biogazownię oraz dotychczasowa cena zakupu ciepła przez gospodarstwo (warunkująca wysokość powstałych oszczędności z tego tytułu w przypadku

budowy biogazowni), jest bardzo mało prawdopodobne wystąpienie wartości wyłączających. Ta ostatnia musiałaby być ujemna, aby spowodować brak opłacalności budowy biogazowni, stąd jest to zmienna, która powinna zostać pominięta w dalszej analizie ryzyka. Wydaje się, że również cenę sprzedaży ciepła przez biogazownię można potraktować jako parametr (stałą) w analizie ryzyka (dalej – symulacji Monte Carlo).

2.4. Symulacja Monte Carlo

Analiza Monte Carlo jest narzędziem pozwalającym na analizę wpływu zmian niektórych zmiennych w modelu na wynik w wielu scenariuszach. Analizie poddano 11 zmiennych w modelu, dla których zdefiniowano właściwy im rozkład. Z wyjątkiem pojedynczej zmiennej (inflacji) decydenci nie dysponowali informacjami historycznymi lub nie było możliwe przeprowadzenie „obiektywizacji” doboru parametrów, dlatego klucz doboru rozkładu dla większości zmiennych nie polegał na analizie statystycznej danych historycznych, ale miał charakter ekspercki. Niektóre zmienne opisywały procesy zachodzące na rynku (np. ryzyko zmian cen) lub zjawiska pogodowe (np. temperatura otoczenia, wpływająca na zużycie ciepła). W takich sytuacjach dobierano rozkład lognormalny lub normalny. Dla zmiennych, których wielkość po części zależała od działań menedżerów lub kooperantów, stosowano łatwy w interpretacji rozkład trójkątny, ponieważ wykorzystuje informacje o wartości minimalnej, maksymalnej i najbardziej prawdopodobnej. Dysponując zakresem zmiennych przy jednoczesnym braku informacji o najbardziej prawdopodobnej wielkości zmiennej, przyjmowano rozkład jednorodny.

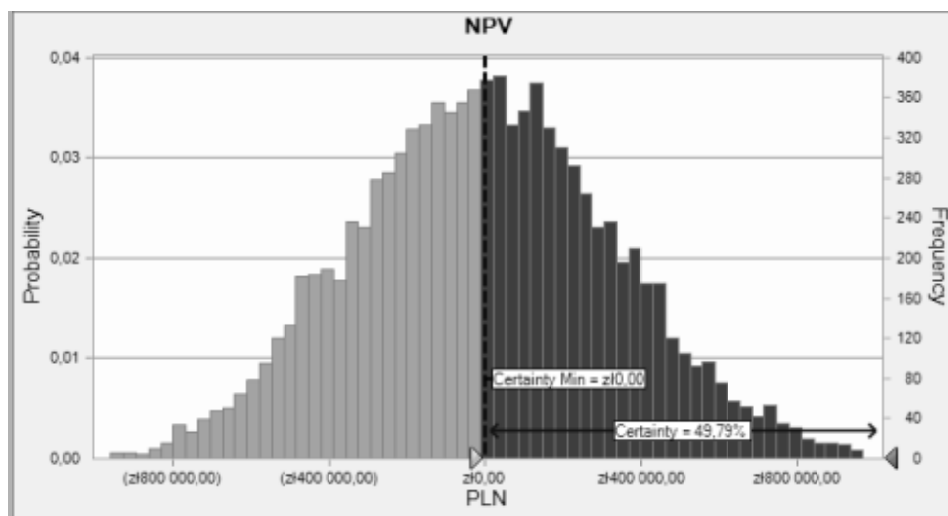
Losowanie zmiennych w danym scenariuszu zostało przeprowadzone jednokrotnie i wielkości losowanych parametrów są stałe w czasie trwania projektu. Tym samym, model finansowy nie analizuje procesu stochastycznego kształtującego parametry finansowe inwestycji, a jedynie możliwe stany NPV. W wyniku przeprowadzenia symulacji Monte Carlo uzyskano wartości IRR i NPV dla 10 000 scenariuszy (odpowiednio rys. 1 i 2).



Rys. 1. Wielkości IRR dla poszczególnych scenariuszy w symulacji Monte Carlo, obliczone przy pomocy Crystal Ball firmy Oracle

Zakres możliwych rezultatów IRR mieści się w przedziale między $-4,91\%$ a $19,04\%$. Średni rezultat to $6,06\%$, a mediana wynosi $6,27\%$. Uzyskane wyniki różnią się od scenariusza bazowego, w którym uzyskano wielkość $8,44\%$. W $67,23\%$ scenariuszy otrzymano wynik lepszy od bazowej wielkości wymaganej minimalnej stopy zwrotu równej 5% . Mając na uwadze średni wynik z symulacji oraz odchylenie standardowe równe $2,77\%$, można uznać projekt za ryzykowny.

Podobne wnioski wynikają z analizy wielkości NPV, które zostały zaprezentowane na rys. 2.



Rys. 2. NPV dla poszczególnych scenariuszy w symulacji Monte Carlo, obliczone przy pomocy Crystal Ball firmy Oracle

Zakres możliwych NPV mieści się w przedziale między $-1,02$ mln zł i $1,74$ mln zł. Przeciętna NPV projektu to $4,87$ tys. zł (odchylenie standardowe $343,43$ tys. zł), a mediana wynosi $-1,46$ tys. zł. Wynik ten różni się znacznie od NPV w wariancie bazowym równej $402,11$ tys. zł. Prawdopodobieństwo uzyskania dodatniej NPV, mierzone liczbą scenariuszy, równa się $49,79\%$, a podobnie liczone prawdopodobieństwo przekroczenia NPV wariantu bazowego wynosi $11,92\%$. Oznacza to, że realizacja wariantu bazowego lub uzyskanie wyniku lepszego jest mało prawdopodobna.

Podsumowanie

Analiza jakościowa ryzyka przykładowej biogazowni rolniczej potwierdziła ogólnie przyjęty pogląd, że biogazownie rolnicze należą do wysoce ryzykownych inwestycji, wymagających profesjonalnego zarządzania ryzykiem w całym cyklu życia inwestycji. Respondenci wskazali na 20 z 31 czynników ryzyka jako wysoce istotne. Czynniki te wywodzą się ze wszystkich zidentyfikowanych grup ryzyka, jednak respondenci uznali za najistotniejsze czynniki ryzyka z grupy regulacyjnych. Niestabilność przepisów prawnych to kluczowy czynnik ryzyka, któremu wszyscy respondenci przypisali maksymalny wpływ na wartość projektu, wskazując również, że jest to czynnik stały, występujący w całym okresie

życia biogazowni. Drugą najistotniejszą grupę czynników ryzyka stanowią ryzyka prawne wynikające z lokalizacji biogazowni, takie jak: brak w miejscowych planach zagospodarowania terenu miejsc przewidzianych na instalacje biogazowe oraz brak zapisów o możliwości wytwarzania energii w obrębie działki w planie zagospodarowania przestrzennego. Trzecią istotną grupę stanowią ryzyka techniczne (procesu), takie jak trudności związane z utrzymaniem złoża bakteryjnego i bardzo powolną odbudową złoża w przypadku jego uszkodzenia, a także problem z zagospodarowaniem pofermentu.

Analiza wrażliwości i wartości wyłączających pozwoliła uznać za zmienne krytyczne (szeregując według wysokości wpływu na wartość projektu): cenę aukcyjną energii, nakłady inwestycyjne, koszty operacyjne (bez kosztu kisonki kukurydzy). W szczególności wydaje się wysoce prawdopodobne uzyskanie ceny aukcyjnej energii zbliżonej do wartości wyłączającej, z uwagi na to, że maksymalna cena aukcyjna (cena referencyjna) wynosi 550zł/MWh, a cena wyłączająca – 499 zł/MWh. Z tego względu projekt należy uznać za ryzykowny.

Symulacja Monte Carlo również obnażyła słabości wariantu bazowego. Wartość bazowa projektu równa 402 109 zł jest raczej realizacją scenariusza optymistycznego. Niektóre założenia przyjęte w wariantcie bazowym zostały ustalone na poziomach skrajnych (np. koszt kapitału w wariantcie bazowym jest przyjęty na poziomie minimum). Stąd wniosek, że uzyskanie wartości większej niż bazowe NPV jest raczej mało prawdopodobne. Uogólniając problem różnicy pomiędzy wariantem bazowym a symulacją Monte Carlo, należy podkreślić ryzyko niepoprawnej konstrukcji samego modelu oraz właściwej identyfikacji cech zmiennych w analizie inwestycji. Są to ryzyka immanentnie związane z modelami finansowymi, a wpływ ich oddziaływania powinien być również zmniejszany.

Analiza ryzyka, nawet przy wykorzystaniu symulacji Monte Carlo, wymaga sformułowania ostatecznej opinii przez decydenta i podjęcia przez niego stosownych działań, które mogą zmieniać oddziaływanie poszczególnych czynników, a w konsekwencji wpływają na wartość inwestycji. Analizy ryzyka inwestycji nie kończy się w tym momencie, ponieważ przeprowadza się ją wielokrotnie, uruchamiając za każdym razem korektę założeń i weryfikację modelu. Dopiero po przeprowadzeniu ostatniej iteracji zostanie uzyskana zadowalająca, ostateczna postać modelu.

Literatura

- ALTRAN Arthur D. Little (2011), *Risk Quantification and Risk Management in Renewable Energy Projects*, na zlecenie International Energy Agency – Renewable Energy Technology Deployment.
- Charnes J. (2007), *Financial Modeling with Crystal Ball and Excel*, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.
- Damodaran A. (2011), *Ryzyko strategiczne. Podstawy zarządzania ryzykiem*, Wydawnictwa Akademickie i Profesjonalne, Warszawa.
- EIU (2011), *Managing the Risk in Renewable Energy*, The Economist Intelligence Unit.
- Fraunhofer ISI (2016), *The Impact of Risks in Renewable Energy Investments and the Role of Smart Policies, Final Report WP3*, DIACORE.
- Fugol M. (2017), *Analiza opłacalności budowy biogazowni przy gospodarstwie rolnym RZD Swojec*, praca dyplomowa, promotor: M. Ligus, Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu.
- Gatzert N., Kosub T. (2016), *Risks and Risk Management of Renewable Energy Projects: The Case of Onshore and Offshore Wind Parks*, "Renewable and Sustainable Energy Reviews", Vol. 60, s. 982-998.
- Herz D.B. (1964), *Investment Policies That Pay Off*, "Harvard Business Review", Vol. 46.
- Instytut Jagielloński (2015), *Raport na temat propozycji uwolnienia mocy przyłączeniowej dla nowych elektrowni wiatrowych Uwolnić moc polskiej elektroenergetyki*, Warszawa.
- Lewicki A. (2016), *Wpływ hydrolizy na wydajność biogazową substratów*, Praca doktorska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu.
- Łuczak J. (2011), *Metody szacowania ryzyka – kluczowy element systemu zarządzania bezpieczeństwem informacji ISO/IEC 27001*, „Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie”, nr 19(91), s. 63-70.
- Mielcarz P., Paszczyk P. (2013), *Analiza projektów inwestycyjnych w procesie tworzenia wartości przedsiębiorstwa*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- NPB (2017), *Raport o inflacji*, https://www.nbp.pl/polityka_pieniezna/dokumenty/raport_o_inflacji/raport_marzec_2017.pdf (data dostępu: 30.10.2017).
- PSE (2017), *Informacja o dostępności mocy przyłączeniowej do sieci przesyłowej, stan na 28 lutego 2017 r.*
- Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 24 marca 2017 r. w sprawie ceny referencyjnej energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii w 2017 r. oraz okresów obowiązujących wytwórców, którzy wygrali aukcje w 2017 r. (Dz.U. z 2017 r., poz. 634).
- URE (2015), *Raport Prezesa URE: Warunki podejmowania i wykonywania działalności gospodarczej w zakresie wytwarzania, przesyłania lub dystrybucji energii elektrycznej i paliw gazowych*, „Biuletyn Urzędu Regulacji Energetyki”, nr 3(93).

Wróblewski D., red. (2015), *Zarządzanie ryzykiem. Przegląd wybranych metodyk*, Wydawnictwo CNBOP-PIB, Józefów.

[www 1] https://www.imp.gda.pl/bioenergy/Gdansk_10-05-10/Gostomczyk-PK.pdf (data dostępu: 30.10.2017).

[www 2] <http://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/rynek-pracy/pracujacy-zatrudnieni-wynagrodzenia-koszty-pracy/przecietne-zatrudnienie-i-wynagrodzenie-w-sektorze-przedsiębiorstw-w-lutym-2017-roku,3,63.html> (data dostępu: 30.10.2017).

RISK ANALYSIS OF AGRICULTURAL BIOGAS PLANT – CASE STUDY

Summary: The article presents a case study of the 88 kWe biogas plant risk analysis. A qualitative study of risk factors was carried out based on a literature review and an expert survey. Respondents considered the most important risk factors from the regulatory group, legal ones resulting from the location of biogas plant, and technical risks (process). The sensitivity analysis allowed to recognize as critical variables: the auction price of energy, capital expenditures, operating costs. In particular, it seems highly likely to obtain an auction price of energy close to the cut-off value. The Monte Carlo analysis also exposed the weaknesses of the base variant. The implementation of the base variant or obtaining a better result is unlikely. The project should be considered risky.

Keywords: agricultural biogas plants, qualitative and quantitative risk analysis, Monte Carlo analysis.