

**ANALIZA KOSZTÓW PROCESU ZGAZOWANIA BIOMASY
ZANIECZYSZCZONEJ METALAMI CIĘŻKIMI NA PRZYKŁADZIE
WYBRANYCH KRAJÓW EUROPY ŚRODKOWEJ I WSCHODNIEJ**

**COST BENEFITS ANALYSIS OF THE HEAVY METAL
CONTAMINATED BIOMASS GASIFICATION PROCESS - CASE
STUDY FOR THE SELECTED CENTRAL AND EASTERN
EUROPEAN COUNTRIES**

Sebastian Werle¹, Daniel Bisorca², Daniela Burnete², Marta Pogrzeba³, Jacek Krzyżak³,
Izabela Ratman-Kłosińska³

¹Politechnika Śląska, Instytut Techniki Ciepłej
ul. Konarskiego 22, 44-100 Gliwice
email: sebastian.werle@polsl.pl

²Instytut Badań Energetyki, 020371 Bukareszt,
Lacul Tei 1-3, Rumunia
email: daniel.bisorca@ispetm.ro

³Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych,
40-844 Katowice, Kossutha 6
email: rat@ietu.katowice.pl

Słowa kluczowe: zgazowanie, rośliny energetyczne, metale ciężkie, analiza kosztów

Streszczenie

Opłacalność procesu wytwarzania gazu w oparciu o lokalnie dostępne surowce w celu produkcji energii elektrycznej i ciepła na drodze zgazowania zależy od wielu czynników. Modelowe ujęcie większości z nich jest dużym wyzwaniem. W pracy przedstawiono model szacowania kosztów i określania opłacalności procesu zgazowania biomasy dla wybranych krajów Europy Środkowej i Wschodniej: Polski, Niemiec i Rumunii. Założono, że zgazowaniu poddawany jest zanieczyszczony metalami ciężkimi *Miscanthus x giganteus* (miskant olbrzymi), należący do grupy roślin energetycznych, uprawiany na terenach zdegradowanych ekologicznie. Rozważono trzy przypadki: (1) zgazowanie biomasy zanieczyszczonej metalami ciężkimi jako element procesu produkcji ciepła, (2) zgazowanie biomasy zanieczyszczonej metalami ciężkimi jako element procesu produkcji ciepła i energii elektrycznej w układzie CHP w oparciu o silnik z zapłonem iskrowym (ZI) oraz (3) zgazowanie biomasy zanieczyszczonej metalami ciężkimi jako element procesu produkcji ciepła i energii elektrycznej w układzie CHP w oparciu o silnik z zapłonem samoczynnym (ZS).

Każdy z przypadków odzwierciedlał realia cenowo - kosztowe poszczególnych krajów poddanych analizie. Uwzględniono między innymi koszt obsługi, cenę energii elektrycznej, wysokość podatków, cenę biomasy i inne. Otrzymane wyniki pokazują, który czynnik zasadniczo wpływa na decyzje inwestycyjne w poszczególnych krajach i pozwalają minimalizować czynniki ryzyka

związane z produkcją ciepła (i energii elektrycznej) w oparciu o lokalnie dostępne surowce.

Abstract

Profits of the process of the gasification gas generation based on the locally available materials, for the production of electricity and heat, depends on many factors. Model approach of the most of them is a big challenge. The paper presents a model for estimating and determining the cost-effectiveness of the process of biomass gasification for selected countries in Central and Eastern Europe: Poland, Germany and Romania. It was assumed that heavy metal contaminated energy crop *Miscanthus x giganteus* is gasified. In the paper three cases are analysed: (1) The gasification of heavy metal contaminated biomass for heat production, (2) gasification of heavy metal contaminated biomass for heat and electricity production in CHP unit based on Otto engine, and (3) a gasification of heavy metal contaminated biomass for heat and electricity production in CHP unit based on Diesel engine. Each case reflects the real cost and price situation of individual countries. In the analysis, the service cost, the price of electricity, the amount of taxes, the price of biomass and others elements were included. The results obtained show that factor essentially influences the investment decisions of individual countries and help minimize the risk factors associated with the production of heat (and electricity) based on locally available raw materials.

1. Wstęp

Łatwa odnawialność biomasy roślin energetycznych powoduje, że zainteresowanie tym źródłem energii stale wzrasta, a ich uprawy zajmują coraz większą powierzchnię. Szacuje się, że w Europie jest prawie 800 tys. km² terenów zanieczyszczonych lub potencjalnie zanieczyszczonych. Jedną trzecią z nich stanowią tereny zanieczyszczone metalami ciężkimi. Problem ten w dużej mierze dotyka krajów Europy Centralnej i Wschodniej, które w ostatnich dwóch dekadach minionego stulecia przeszły transformację gospodarczą. Niechlubnym skutkiem tych przemian są nieużytki przemysłowe, a także znaczny areał użytków rolnych nienadających się do uprawy żywności z powodu zanieczyszczenia gleb. Sposobem na ich odnowę ekologiczną i gospodarczą może być oczyszczenie gleb przy pomocy roślin energetycznych.

Oczyszczanie gleb za pomocą roślin (tzw. fitoremediacja), skojarzone z produkcją biomasy na cele energetyczne, niesie za sobą szereg problemów istotnych z praktycznego i technicznego punktu widzenia. Dotyczą one przede wszystkim sposobu konwersji termicznej wyprodukowanej biomasy na energię w sposób efektywny i bezpieczny dla środowiska. Jednym ze sposobów może być zgazowanie.

2. Zgazowanie

Zgazowanie jest to termiczno-chemiczny proces, podczas którego biomasa jest przekształcana w palną mieszaninę gazów przez częściowe utlenienie w wysokiej temperaturze pod wpływem czynnika zgazowującego (powietrza, tlenu, pary wodnej lub mieszanin tych składników). Proces ten ma na celu uzyskanie palnego gazu i zminimalizowanie wytwarzania pyłu i substancji smolistych [1]. Uzyskany gaz składa się głównie z tlenku węgla, wodoru, metanu, dwutlenku węgla i azotu. Zgazowaniu można poddawać biomasę klasyczną (np. drewno, odpady produkcji rolnej), a także biomasę odpadową i niekonwencjonalną (np. osady ściekowe, algi). Istota tego procesu sprawia, że

moż
z ni
pod
gazi

redu

cały
zga:

nieł
stał:
wsa
fluid
wyr
stał:
zaw
wie
ener
Mo:
met

zani
ener
wyr
pos:
ciep

można go wykorzystywać, gdy paliwo sprawia pewne trudności w trakcie spalania, związane z niejednorodnym składem i budową [2]. Reakcje występujące podczas zgazowania można podzielić na: reakcje pierwotne (fazy stałej z gazową), reakcje wtórne (pomiędzy fazą gazową) oraz reakcje spalania [3].

Główne reakcje zachodzą w strefie reakcji, którą można podzielić na strefę spalania i redukcji [4]. Podstawowe reakcje utleniania to:



Powstały gaz niezawierający tlenu przepływa dalej do strefy redukcji, gdzie zachodzi cały szereg endotermicznych, a także egzotermicznych reakcji. Podstawowe reakcje zgazowania to:



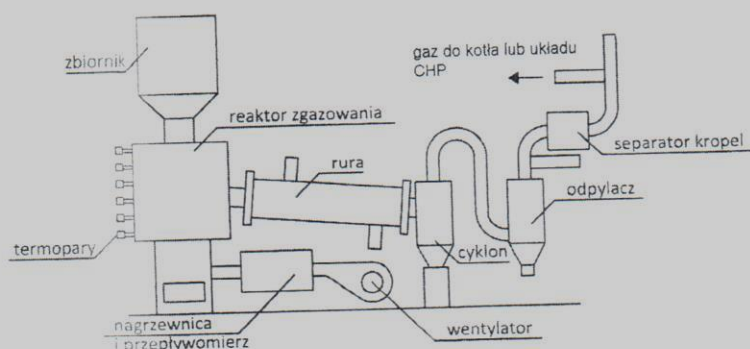
Rozwój technologii zgazowania związany jest z rozwojem reaktorów zgazowania. W nielicznych dotąd próbach zgazowania biomasy stosuje się głównie reaktory ze złożem stałym i fluidalnym. Fluidalne reaktory zgazowania nadają się zwłaszcza do zgazowania wsadu o znacznej części składników mineralnych. Powszechnie uznaje się, iż technologie fluidalne przeznaczone są dla układów o stosunkowo dużych mocach (>10MW) [5]. Z kolei wyniki badań pokazują [6, 7] że zgazowanie materii organicznej w reaktorach ze złożem stałym dolnociągowym (współprądowym) charakteryzuje się stosunkowo niewielką zawartością smoły w wytwarzanym gazie. Istotną cechą procesu zgazowania jest wielokierunkowość zastosowania wytworzonego gazu. Może być on spalany w kotłach energetycznych, piecach przemysłowych, turbinach gazowych [8] i silnikach spalinowych. Może być także surowcem do procesów chemicznych jak na przykład synteza amoniaku, metanolu [9] i wodoru [10-13].

W pracy przedstawiono analizę kosztów wykorzystania procesu zgazowania biomasy zanieczyszczonej metalami ciężkimi i wykorzystania powstałego gazu do produkcji ciepła i energii elektrycznej w trzech wybranych krajach Europy środkowej i wschodniej. Otrzymane wyniki pokazują jakie czynniki zasadniczo wpływają na decyzje inwestycyjne w poszczególnych krajach i pozwalają minimalizować czynniki ryzyka związane z produkcją ciepła (i energii elektrycznej) w oparciu o lokalnie dostępne surowce.

2.1. Charakterystyka analizowanych instalacji

Na rysunku 1 przedstawiono schemat instalacji zgazowania biomasy [14], która stanowi

element ciągu technologicznego w rozważanych przypadkach.



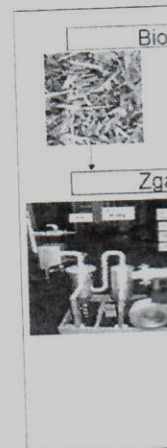
Rys. 1. Schemat instalacji zgazowania biomasy

Rdzeniem instalacji jest reaktor przeciuprądowy ze złożem stałym, który, w warunkach eksploatacji, pracuje przy niedużym nadciśnieniu wytworzonym przez wentylator doprowadzający powietrze. Biomasa dostarczana jest do reaktora od góry, poprzez zasobnik paliwa, podczas gdy czynnik zgazowujący (powietrze atmosferyczne) od dołu. Paliwo przechodzi przez strefę suszenia, pirolizy, redukcji oraz spalania. W strefie suszenia odparowywana jest wilgoć, w strefie pirolizy biomasa przekształcana jest, pod wpływem temperatury, do części lotnych oraz postaci stałej. Kolejne strefy – redukcji i spalania – to odpowiednio: produkcja głównych składników palnych (tlenku węgla i wodoru) oraz spalanie części biomasy w celu dostarczenia ciepła do reakcji endotermicznych zachodzących w pozostałych strefach.

Założono, że powstający w układzie gaz ze zgazowania jest kierowany do:

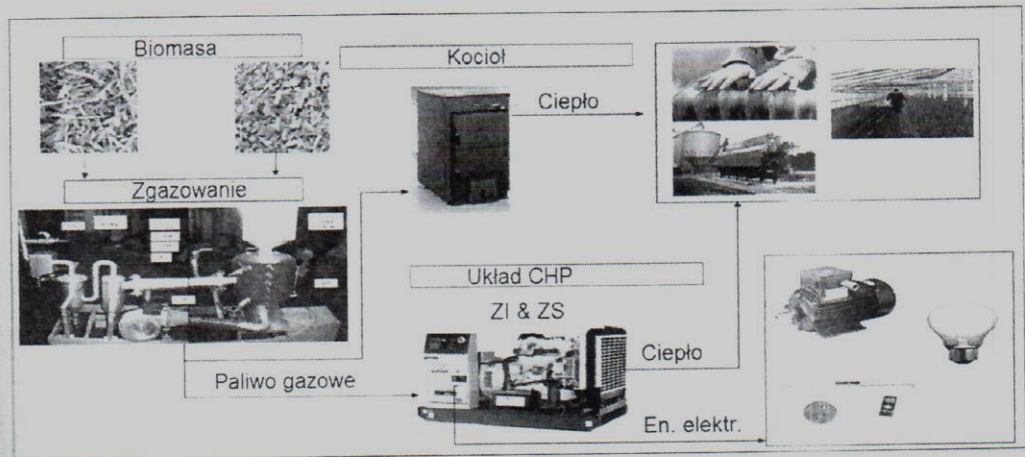
- 1) Przypadek A: kotła gazowego o mocy cieplnej 87,1 kW (produkcja ciepła)
- 2) Przypadek B: układu CHP w oparciu o silnik ZI o mocy cieplnej 87,1 i elektrycznej 50,0 kW (produkcja ciepła i energii elektrycznej)
- 3) Przypadek C: układu CHP w oparciu o silnik ZS mocy cieplnej 87,1 i elektrycznej 50,0 kW (produkcja ciepła i energii elektrycznej) – tzw. układ dwupaliwowy z niewielką dawką paliwa ciekłego w celu inicjowania zapłonu

Schemat ideowy proponowanego rozwiązania przedstawiono na rysunku 2.



2.2.

Założono (*giganteus*). W się dużą zd gruntów orny na Górnym zlokalizowan metale ciężkie takie czynniki występujące grupa mieszki rejonie Byto mg/kg, a cy przedstawioi wysoka zaw miska jak Założo Jest to v przeprowad



Rys. 2. Schemat proponowanego układu

2.2. Charakterystyka badanej biomasy

Założono, że procesowi zgazowania poddawany jest miskant olbrzymi (łac. *Miscanthus x giganteus*). We wcześniejszych pracach tego zakresu wykazano, że roślina ta charakteryzuje się dużą zdolnością do akumulacji metali ciężkich [15]. Miskant olbrzymi pozyskano z gruntów ornych zanieczyszczonych metalami ciężkimi zlokalizowanych w okolicach Bytomia na Górnym Śląsku. Aglomeracja śląska to skupisko miast, na obszarze których zlokalizowane są liczne zakłady przemysłowe emitujące szkodliwe związki chemiczne, w tym metale ciężkie. Powodem znacznego obciążenia aglomeracji zanieczyszczeniami są również takie czynniki, jak: silnie rozwinięta sieć komunikacyjna oraz problem niskiej emisji. Na występujące w tym obszarze zanieczyszczenia (m.in. kadm, ołów i cynk) narażona jest liczna grupa mieszkańców, szacowana na ponad 2 mln osób [16]. W pracy [17] stwierdzono, iż w rejonie Bytomia zanieczyszczenie gleb ołowiem osiąga wartość 2290 mg/kg, kadm - 85 mg/kg, a cynkiem nawet do 12592 mg/kg. Podstawowe właściwości miskanta olbrzymiego przedstawiono w tabeli 1 [15]. Analizując przedstawione dane należy zwrócić uwagę na wysoką zawartość części lotnych oraz wartość opałową, która decyduje o przydatności miskanta jako paliwa.

Założono, że otrzymany gaz charakteryzuje się wartością opałową wynoszącą 4 MJ/m^3_n . Jest to wartość wyznaczona eksperymentalnie przez autora w ramach badań przeprowadzonych i publikowanych wcześniej [18].

Tabela 1. Charakterystyka wykorzystywanej biomasy [15]

miskant olbrzymi	
Analiza elementarna, % (stan suchy)	
C	46,60
H	7,16
N	0,16
S	1,35
O	44,73
Analiza techniczna, % (stan roboczy)	
popiół	1,36
części lotne	75,40
wilgoć	7,60
Kaloryczność	
wartość opałowa (LHV), MJ/kg	19,45

2.3. Założenia przyjęte do obliczeń

W pracy przyjęto, że instalacje do produkcji ciepła oraz ciepła i energii elektrycznej w oparciu o zgazowanie biomasy zanieczyszczonej metalami ciężkimi zlokalizowane zostaną w trzech krajach Europy środkowej i wschodniej: Niemczech, Polsce i Rumunii. Kraje te charakteryzują się zróżnicowanym poziomem rozwoju społeczno-gospodarczego. Według [19] Niemcy zajmują 17 miejsce na świecie jeśli chodzi o wskaźnik PKB wyrażony w dolarach amerykańskich na osobę, Polska – miejsce 51, a Rumunia - 69. Dodatkowo, analizowane kraje, posiadają w ramach swego terytorium, obszary o wysokim stopniu zanieczyszczenia gleby metalami ciężkimi (min. Zagłębie Ruhry w Niemczech, Górny Śląsk w Polsce, okręg Gałac w Rumunii) [20]. Przedstawione informacje, w powiązaniu z długą tradycją rolniczą w tych krajach, świadczą o dużym potencjale możliwości wprowadzenia proponowanych rozwiązań na rynek tych krajów. W tabeli 2 przedstawiono zestaw danych charakterystycznych dla poszczególnych krajów przyjętych w analizie [18].

Analizując przedstawione wartości, zwrócić należy na zasadnicze różnice występujące pomiędzy krajami szczególnie w zakresie kosztów pracy personelu obsługującego instalacje, kosztów energii, a także kosztów paliwa. Różnice te będą miały zasadniczy wpływ na uzyskane wyniki analiz.

Tabela 2

Kraj
Niemcy
Polska
Rumunia
Kraj
Niemcy
Polska
Rumunia

3. Wyn

Przep
zanieczysz
oraz z uk
elektryczn
arkusz ka
wykorzyst
W tabelaci
przypadkó
na temat
zapewnić z
na podstav
biomasy pi
poszczegól
w celu pro
CHP z siln
wynik osią
układ CH
znaczenie
tym przy
produkow
Analiz
fakt, że na
produkcji
w poszcze
produkcji

Tabela 2. Zestaw założeń zmiennych dla poszczególnych krajów przyjętych w analizie (stan na 31.12.2015r.) [18]

Kraj	Średni koszt roboczogodziny, €/h	Cena energii elektrycznej, €/kWh	Cena ciepła, €/kWh
Niemcy	8,51	0,27	0,0730
Polska	2,40	0,15	0,0386
Rumunia	1,43	0,12	0,0523
Kraj	Kwota dofinansowania do energii zielonej, €/kWh	Cena biomasy, €/Mg	Cena ON, €/dm ³
Niemcy	0,185	60,0	1,129
Polska	0,153		0,956
Rumunia	0,167		1,140

3. Wyniki

Przeprowadzono analizę ekonomiczną funkcjonowania instalacji zgazowania biomasy zanieczyszczonej metalami ciężkimi w połączeniu z kotłem gazowym w celu produkcji ciepła oraz z układem CHP w oparciu o silnik ZI bądź ZS w celu produkcji ciepła i energii elektrycznej na rynku energetycznym Niemiec, Polski i Rumunii. Do obliczeń wykorzystano arkusz kalkulacyjny Excel. Zestaw zależności termodynamicznych i ekonomicznych wykorzystanych do obliczeń przedstawiono we wcześniejszych pracach z tego zakresu [21]. W tabelach 3-5 zestawiono uzyskane wyniki dla poszczególnych przypadków. W każdym z przypadków założono, że instalacja pracuje 7680 godzin w ciągu roku. Na podstawie danych na temat plonowości upraw [22] ustalono wielkość terenu potrzebnego do obsiewu, by zapewnić zakładaną moc cieplną (i elektryczną). Całkowite koszty inwestycyjne oszacowano na podstawie rozeznania rynkowego. Pozostałe wartości wynikają pośrednio z właściwości biomasy przedstawionych wcześniej w Tabeli 1, a także uwarunkowań formalno-prawnych w poszczególnych krajach. Analizując uzyskane wyniki można stwierdzić, że praca układu tylko w celu produkcji ciepła nie jest opłacalna. Produkcja energii elektrycznej w oparciu o układ CHP z silnikiem ZS lub ZI powoduje, że inwestycja staje się opłacalna. Szczególnie dobry wynik osiąga się w Niemczech, gdzie cena energii elektrycznej jest największa. Inwestycja w układ CHP przynosi również zysk w Rumunii. W tym przypadku jednak, dominujące znaczenie mają niskie koszty obsługi. Rozważane przypadki nie są opłacalne w Polsce. W tym przypadku należałoby rozważyć możliwość zwiększenia mocy elektrycznej produkowanej w układzie. Aspekt ten nie jest przedmiotem analiz w niniejszej pracy.

Analizując wyniki zamieszczone w poniższych tabelach zwrócić należy także uwagę na fakt, że na opłacalność inwestycji wpływ ma wysokość zysków pochodzących z subwencji do produkcji energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii (OZE). Ich wartość jest różna w poszczególnych krajach. Wpływ na nią ma także rozpatrywana konfiguracja. W przypadku produkcji energii elektrycznej w układzie w oparciu o silnik ZS zysk jest niższy w

porównaniu z układem z silnikiem ZI z powodu uwzględnienia części produkcji energii ze spalania paliwa dodatkowego (ON).

Tabela 3. Zestawienie uzyskanych wyników - Niemcy

	Kocioł	CHP z silnikiem ZI	CHP z silnikiem ZS
Moc cieplna (elektryczna), kW	87,1 (0,00)	87,1 (50,0)	87,1 (50,0)
Zużycie biomasy w celu produkcji ciepła, kg/h	104,5	205,0	174,2
Zużycie biomasy w celu produkcji energii elektrycznej, kg/h	0,0		
Czas pracy instalacji, h/rok	7680,0		
Całkowite zużycie biomasy, t/rok	802,7	1574,3	1338,1
Całkowite zużycie paliwa dodatkowego, dm ³ /rok	0,0	0,0	9949,8
Wymagany obszar uprawy biomasy, ha	32,1	63,0	53,5
Całkowite koszty inwestycyjne w pierwszym roku, €	353626,0	355217,0	355217,0
Czas trwania inwestycji, rok	15,0		
Całkowite koszty (w tym obsługi, paliwa), €/rok	144167,2	190597,6	187662,7
Produkcja ciepła, kWh/rok	668928,0		
Produkcja energii elektrycznej, kWh/rok	0,00	383964,7	
Uniknięte koszty zakupu ciepła, €	48831,7		
Zyski ze sprzedaży energii elektrycznej, €	0,00	103670,5	
Zyski z subwencji do OZE, €	0,00	71033,5	60378,4
Całkowity zysk, €	48831,7	223535,7	212880,7
NPV, €/rok	-95335,5	22727,3	17400,4

Moc cieplna (elektryczna),
Zużycie biomasy w celu produkcji ciepła, kg/h
Zużycie biomasy w celu produkcji energii elektrycznej, kg/h
Czas pracy instalacji, h/rok
Całkowite zużycie biomasy, t/rok
Całkowite zużycie paliwa dodatkowego, dm ³ /rok
Wymagany obszar uprawy biomasy, ha
Całkowite koszty inwestycyjne w pierwszym roku, €
Czas trwania inwestycji, rok
Całkowite koszty (w tym obsługi, paliwa), €/rok
Produkcja ciepła, kWh/rok
Produkcja energii elektrycznej, kWh/rok
Uniknięte koszty zakupu ciepła, €
Zyski ze sprzedaży energii elektrycznej, €
Zyski z subwencji do OZE, €
Całkowity zysk, €
NPV, €/rok

:ji energii ze

silnikiem ZS
1 (50,0)

174,2

1338,1

9949,8

53,5

55217,0

87662,7

60378,4

212880,7

17400,4

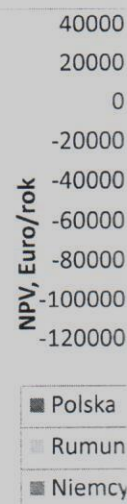
Tabela 4. Zestawienie uzyskanych wyników - Polska

	Kocioł	CHP z silnikiem ZI	CHP z silnikiem ZS
Moc cieplna (elektryczna), kW	87,1 (0,00)	87,1 (50,0)	87,1 (50,0)
Zużycie biomasy w celu produkcji ciepła, kg/h	104,5	205,0	174,2
Zużycie biomasy w celu produkcji energii elektrycznej, kg/h	0,0		
Czas pracy instalacji, h/rok	7680,0		
Całkowite zużycie biomasy, t/rok	802,7	1574,3	1338,1
Całkowite zużycie paliwa dodatkowego, dm ³ /rok	0,0	0,0	9949,8
Wymagany obszar uprawy biomasy, ha	32,1	63,0	53,5
Całkowite koszty inwestycyjne w pierwszym roku, €	353626,0	355217,0	355217,0
Czas trwania inwestycji, rok	15,0		
Całkowite koszty (w tym obsługi, paliwa), €/rok	97242,4	143672,8	139016,6
Produkcja ciepła, kWh/rok	668928,0		
Produkcja energii elektrycznej, kWh/rok	0,00	383964,7	
Uniknięte koszty zakupu ciepła, €	25820,6		
Zyski ze sprzedaży energii elektrycznej, €	0,00	57594,7	
Zyski z subwencji do OZE, €	0,00	58746,6	49934,6
Całkowity zysk, €	25820,6	142161,9	133349,9
NPV, €/rok	-71421,8	-1510,9	-5666,6

Tabela 5. Zestawienie uzyskanych wyników - Rumunia

	Kocioł	CHP z silnikiem ZI	CHP z silnikiem ZS
Moc cieplna (elektryczna), kW	87,1 (0,00)	87,1 (50,0)	87,1 (50,0)
Zużycie biomasy w celu produkcji ciepła, kg/h	104,5	205,0	174,2
Zużycie biomasy w celu produkcji energii elektrycznej, kg/h	0,0		
Czas pracy instalacji, h/rok	7680,0		
Całkowite zużycie biomasy, t/rok	802,7	1574,3	1338,1
Całkowite zużycie paliwa dodatkowego, dm ³ /rok	0,0	0,0	9949,8
Wymagany obszar uprawy biomasy, ha	32,1	63,0	53,5
Całkowite koszty inwestycyjne w pierwszym roku, €	353626,0	355217,0	355217,0
Czas trwania inwestycji, rok	15,0		
Całkowite koszty (w tym obsługi, paliwa), €/rok	89792,8	143672,8	133397,7
Produkcja ciepła, kWh/rok	668928,0		
Produkcja energii elektrycznej, kWh/rok	0,00	383964,7	
Uniknięte koszty zakupu ciepła, €	34984,9		
Zyski ze sprzedaży energii elektrycznej, €	0,00	46075,8	
Zyski z subwencji do OZE, €	0,00	64122,1	54503,8
Całkowity zysk, €	34984,9	145182,8	135564,5
NPV, €/rok	-54807,9	7257,3	1755,1

Na rysunku 3 przedstawiono podsumowanie graficzne uzyskanych wyników.

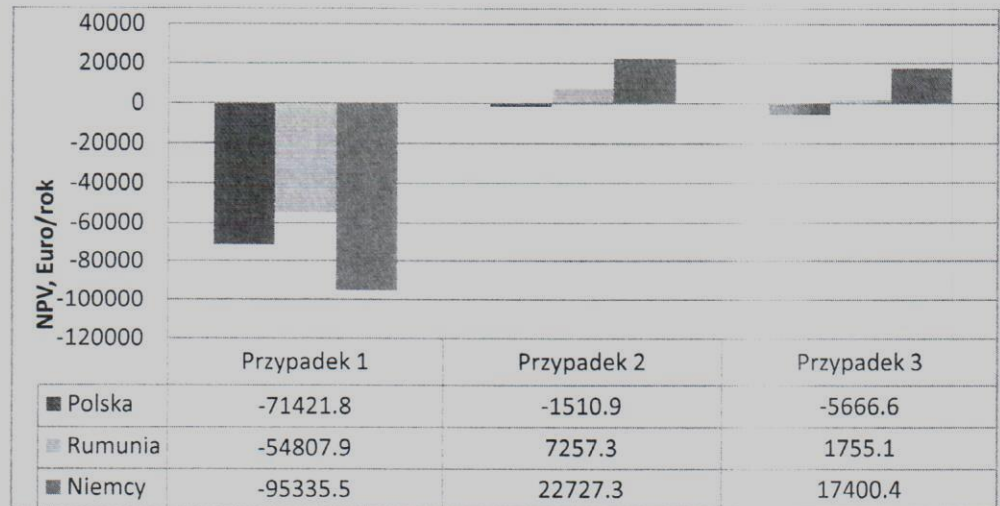


4. Wnios

- Z przep
- Zgaz ekolc jednc
- Loka proje form konic
- Inwe gwar
- Wyn energ Pozv samy
- Loka opłac

Podziękowa

Praca zosta
Phyto2Energ



Rys. 3. Podsumowanie uzyskanych wyników

4. Wnioski

Z przeprowadzonej analizy wyciągnąć można następujące wnioski:

- Zgazowanie roślin energetycznych pozyskanych z terenów zdegradowanych ekologicznie stanowi atrakcyjną metodę pozyskiwania paliwa gazowego przy jednoczesnym zaspokajaniu potrzeb ekologicznych społeczeństwa.
- Lokalna instalacja oparta na zgazowaniu biomasy upraw energetycznych powinna być projektowana do celów produkcji ciepła i energii elektrycznej. Uwarunkowania formalno-prawne w analizowanych krajach powodują, że sama produkcja ciepła przy koniecznych nakładach inwestycyjnych, nie zapewnia rentowności instalacji.
- Inwestycja przynosi najwyższy zysk przy najwyższych cenach energii elektrycznej gwarantujących najwyższy przychód z jej sprzedaży.
- Wyniki pokazują, że w pewnych warunkach (Polska) lokalna instalacja produkcji energii elektrycznej i ciepła powinna charakteryzować się wyższą mocą niż założono. Pozwoli to wygenerować nadwyżki energii elektrycznej możliwej do sprzedaży, a tym samym spowodować opłacalność inwestycji
- Lokalna specyfika rynku może przynosić korzyści i powodować, że instalacja będzie opłacalna (np. niskie koszty zatrudnienia w Rumunii).

Podziękowania

Praca została sfinansowana ze środków Unii Europejskiej w ramach realizacji projektu Phyto2Energy (GA Numer 610797) – FP7-People-2013-IAPP.

silnikiem ZS
,1 (50,0)
174,2
1338,1
9949,8
53,5
55217,0
33397,7
54503,8
135564,5
1755,1

ów.

Bibliografia

- [1] Srirangan K., Akawi L., Moo-Young M., Perry Chou C., *Towards sustainable production of clean energy carries from biomass resources*. Applied Energy 2012;100:172-186.
- [2] Głodek E., *Przewodnik zgazowania biomasy*. Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych, Opole, (2011).
- [3] Werle S., *A reburning process using sewage sludge-derived syngas*, Chemical Papers 2012;2:99-107.
- [4] Chmielniak T., Skorek J., Kalina J., Lepczy S., *Układy energetyczne zintegrowane ze zgazowaniem biomasy*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, (2008).
- [5] Nadziakiewicz J., Waclawiak K., Stelmach S., *Procesy termiczne utylizacji odpadów*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, (2007).
- [6] Dogru M., Midilli A., Howarth C.R., *Gasification of sewage sludge using a throated downdraft gasifier and uncertainty analysis*. Fuel Processing Technology, 2002;75:55-82.
- [7] Midilli A., Dogru M., Howarth C.R., Ling M.J., Ayhan T., *Combustible gas production from sewage sludge with a downdraft gasifier*. Energy Conversion and Management, 2001;42:155-172.
- [8] Judex J.W., Wellinger M., Ludwig C., Biollaz S.M.A., *Gasification of hay in a bench scale fluidised bed reactor with emphasis on the suitability for gas turbines*. Biomass and bioenergy 2012;46:739-749.
- [9] Arena U., Zaccariello L., Mastellone M.L., *Tar removal during the fluidized bed gasification of plastic waste*. Waste Management 2009;29:783-791.
- [10] Guo Y., Wang S.Z., Xu D.H., Gong Y.M., Ma H.H., Tang X.Y., *Review of catalytic supercritical water gasification for hydrogen production from biomass*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2010;14:334-343.
- [11] Nipattummakul M., Ahmed I.I., Kerdsuwan S., Gupta A.K., *Steam gasification of oil palm trunk waste for clean syngas production*. Applied Energy 2012;92:778-782.
- [12] Song T., Wu J., Shen L., Xiao J., *Experimental investigation on hydrogen production from biomass gasification in interconnected fluidized beds*. Biomass and bioenergy 2012; 36:258-267.
- [13] Zhang S.-Y., Liu H., Qian Y., Xu M., Li W., Xu J., *The influence of phosphorus on ash fusion temperature of sludge and coal*. Fuel Processing Technology 2013;110:218-226.
- [14] Instalacja zgazowania biomasy, a zwłaszcza osadów ściekowych. Patent P-397225, 2.12.2011.
- [15] Ratman-Kłosińska I., Pogrzeba M., Krzyżak J., Płaza G., Werle S., Cania B., *Uprawy energetyczne. Remedium na tereny zdegradowane*. Przegląd Komunalny 2015;4:73-74.
- [16] Budzyński L., *Powierzchnia i ludność w przekroju terytorialnym w 2011 r.* Główny Urząd Statystyczny. Departament Metodologii, Standardów i Rejestrów, ISBN 1505-5507, Warszawa 2011.
- [17] Helios Rybicka E., *Impact of mining and metallurgical industries on the environment in Poland*. Applied Geochemistry 1996;11:3-9.
- [18] Werle S., Petre A., Bisorca D., Ziółkowski Ł., Katelbach-Woźniak A., Szlęk A., Pogrzeba M., Krzyżak J., Ratman - Kłosińska I., Burnete D., *Phytoremediation driven energy crops as a methods of ecological assessment of heavy metal degraded areas*,

XIX Int
[19] World E
[20] Moldov
Planetar
[21] Bisorca
Burnete
Proceed
22.09-2
[22] Werle
ściekow

- [19] XIX International Conference - Waste Recycling, Kraków, 22-23 October, 2015, 16. World Economic Outlook Database, October 2015.
- [20] Moldoveanu A.M., Environmental risk assessment of soil contamination. Earth and Planetary Sciences: Soil Science (2014).
- [21] Bisorca D., Werle S., Pahopol A., Pogrzeba M., Krzyzak J., Ratman-Kłosisńska I., Burnete D.: *Cost benefits analysis of HMC biomass gasification as local energy carrier*. Proceedings of XXII International Symposium on Combustion Processes, Hucisko, 22.09-25.09.2015, 21-22.
- [22] Werle S., Wielokryterialna analiza procesu zgazowania komunalnych osadów ściekowych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, (2014).

ds sustainable
 Applied Energy
 i Materiałów
 gas, Chemical
 integrated ze
 108).
 zacji odpadów.
 sing a threated
 zy, 2002;75:55-
 gas production
 d Management,
 hay in a bench
 bines. Biomass
 e fluidized bed
 ew of catalytic
 Renewable and
 sification of oil
 778-782.
 gen production
 and bioenergy
 sphorns on ash
 :110:218-226.
 tent P-397225.
 nia B., Uprawy
 015:4:73-74.
 011 r. Główny
 n. ISBN 1505-
 environment in
 A., Szlęk A.,
 ediation driven
 egraded areas.