

# INŻYNIERIA ROLNICZA

**Seria: Monografie i Rozprawy**

**ISBN 978-83-64377-34-1**

**Przemysław Bukowski**

**Socjoekonomiczne aspekty  
energetycznego wykorzystania biomasy  
pochodzenia rolniczego**

**Komitet Inżynierii Rolniczej  
Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej**

**Kraków 2019**

Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej

**SOCJOEKONOMICZNE ASPEKTY  
ENERGETYCZNEGO WYKORZYSTANIA  
BIOMASY POCHODZENIA ROLNICZEGO**

**Przemysław Bukowski**

**M o n o g r a f i a**

Kraków 2019

**Patronat naukowy:** Komitet Inżynierii Rolniczej

**Komitety honorowy**

Prof. dr hab. Janusz Haman – czł. rzecz. PAN

Prof. dr hab. Rudolf Michałek – czł. rzecz. PAN

**Rada Naukowa Wydawnictwa**

Prof. Radomir Adamovsky (Rep. Czeska)

Prof. Andrew Berger (USA)

Prof. Stefan Cenkowski (Kanada)

Prof. Dariusz Dziki (Polska)

Prof. Girma Gebresenbet (Szwecja)

Prof. Van der Goot, Atze Jan (Holandia)

Prof. Dorota Haman (USA)

Prof. Jayson K. Harper (USA)

Doc Ing. Zuzana Hlaváčová, CSc. (Słowacja)

Prof. Ryszard Hołownicki (Polska)

Dr ing. Bruno Huyghebaert (Belgia)

Prof. Leon Kukielka (Polska)

Prof. Marek Opielak (Polska)

Prof. Jacek Przybył (Polska)

Prof. Michele Rinaldi (Włochy)

Prof. Spiro E Stefanou (USA)

Dr Bernardo Strasbourg (Brazylia)

Prof. Bulgakov Vlodymyr (Ukraina)

**Komitety Redakcyjne**

Prof. dr hab. inż. Maciej Kuboń

– redaktor naczelny

Dr hab. inż. Sławomir Kocira, prof. UP

– sekretarz

Prof. dr hab. Pavol Findura

Prof. dr hab. Leon Kukielka

**Wydawca:**

Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Kraków, ul. Balicka 116B

**Recenzenci:**

Prof. dr hab. inż. Jacek Przybył

- UP Poznań

Dr hab. inż. Anna Szeląg-Sikora

- UR Kraków

ISBN 978-83-64377-34-1

**Druk i oprawa:**

NOVA SANDEC

ul. Lwowska 143, 33-300 Nowy Sącz

tel. +48 (18) 547 45 45

e-mail: [biuro@novasandec.pl](mailto:biuro@novasandec.pl); <http://www.novasandec.pl>

Ark. wyd. 6,30 ; ark. druk. 5,75

Nakład: 100 egz.

## Spis treści

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| WYKAZ OZNACZEŃ .....                                                 | 5  |
| 1. WSTĘP .....                                                       | 7  |
| 2. PRZEGLĄD LITERATURY .....                                         | 9  |
| 2.1. Podejście metodyczne do analiz socjalnych .....                 | 9  |
| 2.1.1. Definicja wpływu socjalnego .....                             | 11 |
| 2.1.2. Łącuch oddziaływania .....                                    | 11 |
| 2.2. Analiza SROI .....                                              | 13 |
| 2.2.1. Zadania i cele analizy SROI .....                             | 13 |
| 2.2.2. Monetaryzacja wyników .....                                   | 14 |
| 2.2.3. Definicja wskaźnika SROI .....                                | 15 |
| 2.2.4. Zasady sporządzania analizy SROI .....                        | 16 |
| 2.2.5. Błędy w analizach SROI .....                                  | 17 |
| 3. SFORMUŁOWANIE PROBLEMU BADAWCZEGO .....                           | 19 |
| 4. CEL I ZAKRES PRACY .....                                          | 20 |
| 5. METODYKA BADAŃ I OBLICZEŃ .....                                   | 21 |
| 5.1. Wyznaczenie SROI dla energetycznego wykorzystania biomasy ..... | 21 |
| 5.1.1. Zidentyfikowanie głównych interesariuszy .....                | 21 |
| 5.1.2. Wskaźniki metody SROI .....                                   | 22 |
| 5.2. Analiza socjalna wykorzystania słomy na cele energetyczne ..... | 29 |
| 5.3. Analizy ekonomiczne .....                                       | 31 |
| 5.4. Badania biomasy .....                                           | 36 |
| 5.5. Ciepło spalania .....                                           | 36 |
| 5.6. Miejsce badań .....                                             | 39 |
| 5.6.1. Sady Trzebnica .....                                          | 39 |
| 5.6.2. Jura Szwabska .....                                           | 39 |
| 6. WYNIKI BADAŃ .....                                                | 41 |
| 6.1. Analiza SROI dla spalania słomy .....                           | 41 |
| 6.1.1. Obliczenie nakładów inwestycyjnych w ujęciu rocznym .....     | 45 |
| 6.1.2. Obliczenia wpływów socjalnych .....                           | 46 |
| 6.1.3. Obliczenie wskaźnika SROI .....                               | 49 |

---

|        |                                                                       |    |
|--------|-----------------------------------------------------------------------|----|
| 6.2.   | Analiza porównawcza zbliżonych działalności.....                      | 50 |
| 6.2.1. | Zestawienie danych wejściowych.....                                   | 50 |
| 6.2.2. | Wpływy socjalne.....                                                  | 52 |
| 6.2.3. | Porównanie wyników analizy .....                                      | 54 |
| 6.3.   | Wpływ parametrów energetycznych biomasy na wskaźnik SROI.....         | 55 |
| 6.3.1. | Określanie wartości opałowej biomasy na potrzeby wskaźnika SROI ..... | 55 |
| 6.3.2. | Wyniki pomiarów i obliczeń wartości opałowej biomasy .....            | 56 |
| 6.3.3. | Analiza przydatności energetycznej dla słomy pszennej .....           | 57 |
| 6.3.4. | Analiza efektów środowiskowych dla masłosza .....                     | 57 |
| 6.4.   | Badania sprawności instalacji na potrzeby SROI.....                   | 58 |
| 6.5.   | Porównanie analizy SROI z analizą ekonomiczną.....                    | 69 |
| 6.5.1. | Podstawowe pojęcia związane z oceną efektywności ekonomicznej         | 70 |
| 6.5.2. | Założenia dla analizy ekonomicznej .....                              | 70 |
| 6.5.3. | Wyniki analizy ekonomicznej odniesione do SROI.....                   | 71 |
| 6.6.   | Analiza wrażliwości SROI .....                                        | 73 |
| 7.     | PODSUMOWANIE .....                                                    | 77 |
| 8.     | WNIOSKI.....                                                          | 79 |
|        | BIBLIOGRAFIA.....                                                     | 80 |
|        | STRESZCZENIE .....                                                    | 86 |
|        | SUMMARY .....                                                         | 88 |

## WYKAZ OZNACZEŃ

|                   |                                                                                                                                                         |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A                 | - uprawiany Areał, (ha)                                                                                                                                 |
| $A_m$             | - roczny odpis amortyzacyjny, (zł)                                                                                                                      |
| $A_r$             | zawartość popiołu, (%)                                                                                                                                  |
| AWC               | Akceptowalny Wzrost Ceny, (-)                                                                                                                           |
| BS                | Biomasa Sprzedana, wartość netto, (zł)                                                                                                                  |
| CB                | Cena Biomasy, ( $\text{zł} \cdot \text{Mg}^{-1}$ )                                                                                                      |
| CC                | średnia rynkowa Cena Ciepła, ( $\text{zł} \cdot \text{GJ}^{-1}$ )                                                                                       |
| CE                | średnia rynkowa Cena Energii, ( $\text{zł} \cdot \text{GJ}^{-1}$ )                                                                                      |
| CEE               | średnia rynkowa Cena Energii Elektrycznej, ( $\text{zł} \cdot \text{GJ}^{-1}$ )                                                                         |
| $CF_t$            | Cash Flow - roczne przepływy finansowe netto w chwili t, (zł)                                                                                           |
| CKP               | Całkowity Koszt Pozyskania biomasy, (zł)                                                                                                                |
| GWP               | Global Warming Potential, wskaźnik wpływu na efekt cieplarniany, ( $\text{Mg}_{\text{CO}_2}$ )                                                          |
| $H_r$             | zawartość wodoru w stanie roboczym, (%)                                                                                                                 |
| IRR               | Internal Rate on Return, wewnętrzna stopa zwrotu, (%)                                                                                                   |
| JKP               | Jednostkowy Koszt Pozyskania biomasy, ( $\text{zł} \cdot \text{h}^{-1}$ )                                                                               |
| $K_{\text{CO}_2}$ | Koszt emisji $\text{CO}_2$ , ( $\text{zł} \cdot \text{Mg}^{-1}$ )                                                                                       |
| $K_{\text{inv}}$  | Koszt inwestycyjny poniesiony na początku inwestycji, (zł)                                                                                              |
| KM                | Koszt Magazynowania, (zł)                                                                                                                               |
| KT                | Koszt Transportu, (zł)                                                                                                                                  |
| LCA               | Life Cycle Assessment – metoda oceny cyklu życia                                                                                                        |
| MP                | Stworzenie nowych Miejsc Pracy, (zł)                                                                                                                    |
| NPV               | Net Present Value, wartość bieżąca netto, (zł)                                                                                                          |
| OP                | Odpowiedzialność za Produkt, (zł)                                                                                                                       |
| ORC               | Organic Rankine Cycle - obieg ORC realizuje przemiany tradycyjnego obiegu Clausiusa Rankine'a, lecz czynnik roboczy nie jest wodą a płynem niskowrzącym |
| OZE               | Odnawialne Źródła Energii                                                                                                                               |
| PN                | Przychód Netto za wyprodukowaną energię, ( $\text{zł} \cdot \text{GJ}^{-1}$ )                                                                           |

---

|           |                                                                                    |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------|
| $Q_r^w$   | wartość opałowa biomasy, ( $\text{GJ} \cdot \text{Mg}^{-1}$ )                      |
| $r$       | stopa dyskonta, (%)                                                                |
| RE        | <b>Redukcja Emisji</b> $\text{CO}_2$ , ( $\text{Mg}_{\text{CO}_2}$ )               |
| RGC       | <b>Redukcja Gazów Ciepłarnianych</b> , (zł)                                        |
| ROI       | <b>Return On Investment</b> – stopa zwrotu z inwestycji, (-)                       |
| RP        | <b>Roboczo-godziny dodatkowej Pracy</b> , (h)                                      |
| $S_g$     | strata gazowa, (%)                                                                 |
| $S_k$     | strata kominowa, (%)                                                               |
| $S_n$     | łączna strata niecałkowitego spalania w lotnym popiele i w żużlu, (%)              |
| $S_{np}$  | strata niecałkowitego spalania w lotnym popiele, (%)                               |
| $S_{nz}$  | strata niecałkowitego spalania w żużlu, (%)                                        |
| $S_{pr}$  | strata promieniowania, (%)                                                         |
| $S^r$     | zawartość siarki w stanie roboczym, (%)                                            |
| SROI      | <b>Social Return On Investments</b> - Społeczna Stopa Zwrotu z Inwestycji, (-)     |
| $S_{zg}$  | strata w gorącym żużlu, (%)                                                        |
| UB        | <b>Uzysk Biomasy</b> , ( $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ )                        |
| URE       | <b>Urząd Regulacji Energetyki</b>                                                  |
| $V^{daf}$ | zawartość części lotnych, (%)                                                      |
| W         | <b>Wynagrodzenie pracownika</b> , ( $\text{zł} \cdot \text{h}^{-1}$ )              |
| WE        | <b>Wyprodukowana Energia</b> , (GJ)                                                |
| WER       | <b>Wpływ wytwarzanej Energii na Rolników</b> , (zł)                                |
| WP        | <b>Wydajność Pozyskania biomasy</b> , ( $\text{ha} \cdot \text{h}^{-1}$ )          |
| WPK       | <b>Współczynnik emisji Paliwa Kopalnego</b> , ( $\text{Mg} \cdot \text{GJ}^{-1}$ ) |
| $W_r$     | zawartość wilgoci, (%)                                                             |
| WUP       | <b>Wpływ Użytkowania biomasy na Producenta energii</b> , (zł)                      |
| WWE       | <b>Wartość netto Wyprodukowanej Energii</b> , (zł)                                 |
| ZN        | <b>Zysk jednostkowy Netto dla rolnika</b> , ( $\text{zł} \cdot \text{Mg}^{-1}$ )   |
| $\eta_k$  | sprawność konwersji energii, (-)                                                   |

## **1. WSTĘP**

Inżynieria rolnicza dotyczy zarówno dyscypliny nauki, jak i społeczności (w tym w dużej części naukowców), które interesują się zagadnieniami inżynierii rolniczej. W momencie pisania monografii przyszłość inżynierii rolniczej jako dyscypliny naukowej jest niepewna, ale społeczność związana z tą dyscypliną naukową pozostanie i będzie wykorzystywać jej dorobek naukowy, również poszerzając go przy rozwiązywaniu problemów naukowych. Inżynieria rolnicza ewoluowała na przestrzeni lat i dalej będzie ewoluować, tak jak zmieniające się otoczenie, w którym funkcjonuje, w tym otoczenie prawne, społeczne, techniczne i ekonomiczne. Ową ciągłą ewolucję najlepiej ilustruje historyczne ujęcie domeny inżynierii rolniczej, która początkowo była skoncentrowana na problemach mechanizacji produkcji roślinnej i zwierzęcej, by w kolejnych latach poszerzać listę domen o organizację i zarządzanie, energetykę, transport, modelowanie (Michałek, 2014). Według Michałka (2014) inżynieria rolnicza jako nauka rolnicza zaadaptowała część wiedzy m. in. z nauk ekonomicznych, z dyscyplin takich jak ekonomia czy zarządzanie. Takie podejście umożliwiło dalszą ewolucję zainteresowań naukowych i prowadzenie badań i analiz, których podmiotem była inżynieria rolnicza, ale metody pochodziły z innych nauk. Na przykład prowadzone były analizy wykorzystujące narzędzia zarządzania finansami (Napiórkowski, Gonera, 2017), funkcje logistyczne (Szparaga, Czerwińska, 2017), czy - bliskie już analizom społecznym - oceny stopnia zrównoważenia, obejmujące ocenę degradacji substancji organicznej, nakłady pracy, nakłady energetyczne (Kocira, 2012).

W związku z powyższym są dwa główne powody podjęcia badań:

- wykazanie, że analizy socjalne, także w oparciu o SROI (z ang. Social Return On Investment, społeczna stopa zwrotu) staną się kiedyś narzędziem powszechnie wykorzystywanym w inżynierii rolniczej, tak jak analizy ekonomiczne, których wykorzystanie w tej dyscyplinie nauki jest dzisiaj bardzo częste,
- opracowanie kompleksowej metodyki wykonania analizy socjalnej dla przedsięwzięcia wykorzystania biomasy na cele energetyczne.

Wybór tematu badań podyktowany był zapotrzebowaniem, które powstało wraz ze zmianami prawnymi. Układy międzynarodowe Polski, w tym również dyrektywy unijne zobowiązują Polskę do działań mających na celu obniżenie zużycia energii pierwotnej i tym samym zmniejszenia emisji zanieczyszczeń. By to osiągnąć należy między innymi zwiększać udział odnawialnych źródeł energii (OZE) w bilansie energetycznym kraju. W przypadku Polski istotnym paliwem odnawialnym jest biomasa, która coraz częściej jest wykorzystywana nie tylko do spalania, ale także do produkcji biopaliw. Rozwijające się dynamicznie techniki upraw roślin energetycznych, jak i metody ich przetwarzania, takie jak zgazowanie, piroliza, czy torfikacja powodują konieczność określania potencjału i przydatności biomasy jako paliwa energetycznego w wielu różnych aspektach. Przy określaniu efektów zastępowania paliw kopalnych biomasą można analizować to działanie w aspekcie prawnym, energetycznym, logistycznym, ekonomicznym, ale także socjalnym.

Obecnie brak jest zwartego opracowania zawierającego niezbędną wiedzę naukową, opartą na badaniach własnych i literaturze, pozwalającą wykonać w sposób zgodny z dotychczasowymi standardami (zarówno naukowymi, prawnymi, jak i technicznymi) analizę przydatności biomasy na cele energetyczne z uwzględnieniem czynników społecznych (nazywaną analizą socjalną). Opracowana metodyka może być wykorzystana zwłaszcza przy porównaniu różnych przedsięwzięć energetycznego wykorzystania biomasy. Analiza socjalna powinna uwzględniać wszystkie ważne czynniki społeczne, do których należą wpływ na zdrowie, zadowolenie a nawet duma czy szczęście, które mylnie uważa się za obszary niepodlegające porównaniom ilościowym, a wyłącznie jakościowym. Opracowana metodyka dla analiz socjalnych w rolnictwie pozwala wycenić i w efekcie porównać te wielkości. Analiza socjalna powinna uzupełniać inne analizy (energetyczne, środowiskowe i ekonomiczne), pozwalając na stworzenie kompleksowego obrazu wpływu wykorzystania biomasy na społeczeństwo, w tym, a może przede wszystkim, na mieszkańców gmin wiejskich.

W pracy wykorzystano wybrane informacje z różnych obszarów nauki w celu wykonania analiz socjalnych, które pozwoliły obliczyć wskaźniki socjalne informujące o:

1. przydatności biomasy na cele energetyczne,
2. zagrożeniach eksploatacyjnych podczas jej spalania,
3. wpływie użytkowanej biomasy na środowisko,
4. sposobie określania wskaźników finansowych i ekonomicznych,
5. postrzeganiu energii wytworzonej z biomasy przez lokalną społeczność.

Oprócz wykorzystania wiedzy naukowej w pracy zaproponowano sposób wykonania analizy socjalnej, tak aby zaproponowana metodyka mogła być przeniesiona na dowolny obszar inżynierii rolniczej. Analiza socjalna coraz częściej wymagana jest w projektach międzynarodowych oraz tych, które dotyczą lokalnych społeczności. Obecnie jednym z ważnych narzędzi w polityce są szeroko pojęte subsydia (w tym m. in. dopłaty bezpośrednie w rolnictwie). Politycy dbając o zadowolenie swoich wyborców chętnie przyznają środki budżetowe na działania, które ich zdaniem przynoszą efekty socjalne. Żeby mierzyć te efekty analizy ekonomiczne, techniczne i środowiskowe powinny być wzbogacone o analizy socjalne. W pracy przedstawiono metodykę wraz z wzorami, wyjaśniono kluczowe pojęcia (m. in. monetaryzację, wpływ socjalny, odpowiedzialność za produkt), a także podano przykłady ilustrujące opisywaną metodykę. Dodatkowo, w pracy podano sposoby definiowania wskaźników i doboru wielkości fizycznych, ze szczególnym uwzględnieniem tych, które mogą być określane przy pomocy badań laboratoryjnych (m. in. sprawność konwersji energii, wartość opałowa). W pracy znalazły się także oceny wyników uzyskanych przy zastosowaniu proponowanej metodyki: analiza porównawcza i analiza wrażliwości. Przedstawiona metodyka została dostosowana do różnych rodzajów biomasy, tj. pochodzenia rolniczego, leśnego i z przemysłu.

## **2. PRZEGLĄD LITERATURY**

### **2.1. Podejście metodyczne do analiz socjalnych**

Analizy socjalne zostały zaimplementowane do wielu metodyk, bazujących na różnych narzędziach, głównie pochodzących z nauk o zarządzaniu i nauk społecznych. Do najpopularniejszych metodyk należą:

- Life Cycle Sustainability methodology, (Barthel i in. 2005),
- Methodology of social analyses, (Dreyer i in. 2006),
- Corporate Social and Environmental Performance, (Gauthier 2005),
- Societal LCA methodology, (Hunkeler 2006),
- Social impacts of the production of notebook PCs, (Manhart, Grieshammer 2006),
- Venture capital fund, (Méthot, 2005),
- Label 'Sustainable Development, Spillemaeckers i in. (2004),
- Sustainability SWOTs, (Pesonen 2007),
- The integration of economic and social aspects, (Weidema 2006),
- Metodyka ZeroWIN (ZeroWin, 2010),
- Metodyka opracowana w projekcie TransWaste (TransWaste, 2012).

Pierwsza metodyka zawiera metodę oceny skutków społecznych spowodowanych działaniami analizowanymi w ramach zrównoważonego rozwoju (Barthel i in., 2006). Kolejne metodyki (od 2 do 5) powstały w wyniku modyfikacji analizy LCA (Life Cycle Assessment) wzbogaconej aspektami społecznymi. Analiza LCA jest metodą, która analizuje koszty (zarówno finansowe jak i środowiskowe) dla wszystkich etapów „cyklu życia” danego produktu, usługi lub technologii. Analiza LCA uwzględniająca czynniki socjalne (społeczne) jest określana coraz częściej jako SLCA (Social Life Cycle Assessment). W naukach ekonomicznych popularne są również macierze SWOT wykonywane dla oceny zrównoważonego rozwoju. Zostały one opracowane przez Pesonen’a (2007) w oparciu o popularną analizę SWOT (nr 8) i uwzględniające czynniki socjalne. Weidema (2006) w swoim podejściu do analiz socjalnych połączył analizę korzyści z poniesionych kosztów CBA (Cost-Benefit Analysis) z analizą LCA (nr 9). ZeroWIN (2010) opisywany jest frazą „Ku zerowemu marnotrawstwu w sieciach przemysłowych” i jest to projekt finansowany ze środków UE, badający i testujący za pomocą studiów przypadków z partnerami przemysłowymi metody i strategie mające na celu wyeliminowanie marnotrawnego zużycia zasobów w kluczowych gałęziach przemysłu (nr 10). Projekt uwzględnia elementy społeczne, podobnie jak TransWaste (2012) z tą różnicą, że TransWaste jest mocniej ukierunkowany na gospodarkę odpadami (nr 11). W projekcie wykonano analizę skutków społecznych, aby opracować podejście do oceny społecznych skutków nieformalnego gromadzenia, transportu i handlu używanymi przedmiotami. Najważniejszym krokiem w analizach socjalnych jest właściwy wybór kryteriów społecznych. Kryteria społeczne dotyczą sposobu, w jaki społeczeństwo (a w niniejszej pracy szczególnie rolnicy i przedsiębiorcy z branży rolniczej)

wykorzystałoby energię odnawialną w ramach ich codziennego stylu życia. W podanych wyżej metodykach (Barthel i in., 2005; Dreyer i in., 2006; Gauthier, 2005; Hunkeler, 2006; Manhart and Griebhammer, 2006; Méthot, 2005; Spillemaeckers i in., 2004; Pesonen, 2007; Weidema, 2006) głównymi grupami kryteriów społecznych są:

1. Prawa człowieka.
2. Praktyki pracy i godne warunki pracy.
3. Aspekty społeczne.
4. Odpowiedzialność za produkt.

Pierwsza grupa kryteriów wydaje się nieistotna z punktu widzenia energetycznego wykorzystania biomasy. *Prawa człowieka* uwzględniają problemy takie jak: niedyskryminacja (dobór pracowników ze względu na płeć, wiek, niepełnosprawni, pracownicy zatrudnieni w niepełnym wymiarze godzin), wolność zrzeszania się i rokowań zbiorowych lub zagrożenie pracą dzieci, w tym *niebezpieczna praca dzieci*. W analizowanych zagadnieniach związanych z inżynierią rolniczą zagrożenia te są pomijalne - wszystkie scenariusze mają miejsce w Europie, więc poszanowanie praw człowieka nie ulegnie zmianie. O wiele ważniejsza jest druga grupa kryteriów: *praktyki pracy i odpowiednie warunki pracy*. Wliczają się w to płace, w tym równe wynagrodzenie dla różnych grup, regularne płatności, długość i sezonowość pracy oraz płace minimalne i inne świadczenia, a także wsparcie dla wybranych grup towarów (dotacje do produkcji rolnej) i wybranych grup społecznych (rolnicy), oraz fizyczne warunki pracy, w tym wskaźniki urazów i ofiar śmiertelnych, uciążliwości (takie jak hałas czy zapylenie), podstawowe udogodnienia związane z wykonywaniem pracy, a nawet odległość do miejsca pracy dla rolników. Wszystkie te czynniki będą miały istotny wpływ na wyniki analizy opartej o kryterium praktyk i warunków pracy. Do *aspektów społecznych* ocenianych przy energetycznym wykorzystaniu biomasy należą: wsparcie rozwoju i pozytywne działania na rzecz społeczeństwa, w tym tworzenie miejsc pracy, wsparcie lokalnych dostawców, inwestycje w badania i rozwój, infrastrukturę oraz programy edukacyjne społeczności lokalnej. Co więcej, kluczowe znaczenie ma także akceptacja społeczności lokalnej (na przykład skargi ze strony społeczeństwa i obecność kanałów komunikacji ze społeczeństwem) oraz zapewnienie zaangażowania w kwestie zrównoważonego rozwoju od partnerów biznesowych i ich partnerów. *Odpowiedzialność za produkt* bywa trudna do oszacowania, ale zdecydowanie wpływa na społeczne postrzeganie inwestycji lub działania. Dla społeczeństwa jest istotne uwzględnienie obawy o zdrowie i bezpieczeństwo związane z produktem, takie jak zawartość zanieczyszczeń, czy inne zagrożenia i korzyści dla zdrowia ludzkiego wynikające z używania produktu. Ważne jest tutaj także trudne do zdefiniowania, ale obecne w badaniach poczucie dumy z faktu, że dany produkt powstający lokalnie jest znany globalnie, albo jest zdrowy lub korzystny dla środowiska. Często cytowanym przykładem jest poczucie dumy mieszkańców włoskiej Parmy ze znanej na całym świecie szynki parmeńskiej. By zwiększyć pozytywną odpowiedzialność za produkt paliwo z biomasy powinno być wprowadzane na rynek jako produkt, przy wszystkich działaniach marketingowych, takich jak etykietowanie, informacje o składnikach, pochodzenie, zastosowanie, potencjalne niebezpieczeństwa i skutki uboczne.

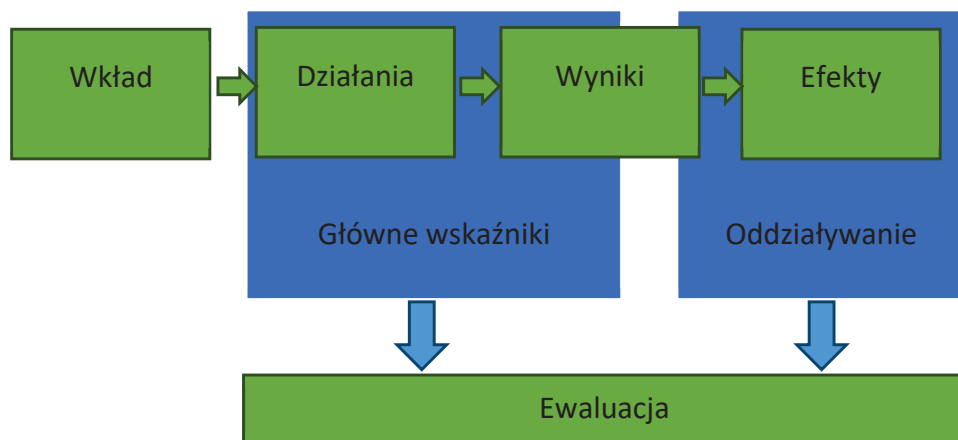
W trakcie prac nad metodyką analizowano najpopularniejsze grupy kryteriów oraz najpopularniejsze metodyki. W toku analiz okazało się, że żadna z wyżej wymienionych metodyk nie jest dostosowana do parametryzacji biomasy pochodzenia rolniczego, więc powstała konieczność opracowania nowej metodyki. Przy opracowaniu nowej metodyki wykorzystano wybrane elementy z powyższych, ale także wprowadzono nowe wskaźniki, ukierunkowane na rolnictwo. Elementy zaproponowanej metodyki powstały także w oparciu o badania ankietowe, z wykorzystaniem metodyki przyjętej dla badań statystycznych i obróbki danych. Wykonano także obszerny przegląd wskaźników stosowanych do analiz socjalnych. Część z nich po zmodyfikowaniu została zaimplementowana do proponowanej metodyki. Jako najbardziej uniwersalną i najpopularniejszą wybrano analizę SROI, która pozwala zdefiniować tzw. wpływy lub inaczej przychody socjalne.

### **2.1.1. Definicja wpływu socjalnego**

Pojęcie „wpływ socjalny” (social impact) definiuje się szeroko, jako konsekwencje dla ludzkiej populacji wszelkich publicznych lub prywatnych działań, które zmieniają sposób, w jaki ludzie żyją, pracują, bawią się, odnoszą do siebie nawzajem, organizują się w celu zaspokojenia swoich potrzeb i ogólnie radzą sobie jako członkowie społeczeństwa (The Interorganizational Committee, 2003). Geneza oceny wpływu społecznego (SIA - Social Impact Assessment) pochodzi z modelu oceny oddziaływania na środowisko (EIA - Environmental Impact Assessment), który został po raz pierwszy wdrożony w latach 70-tych XX wieku w USA, jako metoda oceny wpływu na społeczeństwo różnych projektów (Barrow, 2000). Termin ten zawiera również "skutki kulturowe obejmujące zmiany norm, wartości i przekonań, które kierują i racjonalizują ich poznanie siebie i swojego społeczeństwa" (The Interorganizational Committee, 2003). Powszechną opinią na temat analiz socjalnych jest to, że analiza taka może być niejednoznaczna, a opiera się na wartości społecznej, która odnosi się do społecznych, środowiskowych i ekonomicznych kosztów i korzyści. Analiza ta może być jednak jednoznaczna, jeśli poprawnie sparametryzuje się tzw. łańcuch wartości oddziaływania.

### **2.1.2. Łańcuch oddziaływania**

W celu poprawnego i kompleksowego określenia wszystkich obszarów analizy i wskazania tzw. aktorów (czyli uczestników, których dotyczy projekt) należy zdefiniować łańcuch oddziaływania (impact value chain), którego graficzną prezentację pokazano na rysunku 1.



Rysunek 1 Łańcuch oddziaływania poszczególnych elementów analizy socjalnej (na podstawie Clark i in., 2008)

Wkład (inputs) obejmuje wszystkie elementy, które są wprowadzane do przedsięwzięcia (na przykład maszyny rolnicze, logistyka i know-how). Działania są podstawowymi czynnościami w ramach analizowanego przedsięwzięcia i dla przykładu mogą to być: pozyskanie biomasy, przetwarzanie biomasy (w tym termiczne), ale też działania promocyjne i informacyjne. Łańcuch wartości wpływu pozwala rozróżnić wyniki i efekty (outputs i outcomes). Wyniki to parametry, które firma lub kierownik projektu może bezpośrednio zmierzyć lub ocenić. Wyniki mogą obejmować liczbę utworzonych miejsc pracy, zaoszczędzoną energię lub korzyści związane z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii, związane z produkcją zielonej energii. Wskaźniki oddziaływania społecznego to konkretne wyniki operacyjne, które można zmierzyć, realizując te cele, które są związane z korzyściami społecznymi. Efekty (outcomes) to zmiany w społeczeństwie. W przypadku wykorzystania biomasy na cele energetyczne, pożądane efekty mogą się zwiększyć przy tych samych wynikach ekonomicznych. Dla przykładu efekty to korzyści dla społeczeństwa, w tym wsparcie dla rodziny, duma z wytwarzania ekologicznej energii, dobra marka podstawowych towarów czy personelu. Efekt odnosi się więc do części całkowitego wyniku w działalności rolników i producentów energii. Dla poprawnego określenia efektów powinno się odpowiedzieć na pytanie „co by się stało” gdyby zostało wprowadzone alternatywne rozwiązanie (np. energia w gminie pochodziłaby wyłącznie ze źródeł odnawialnych).

## 2.2. Analiza SROI

Po raz pierwszy pojęcie *Społecznej Stopy Zwrotu z Inwestycji* – SROI (Social Return on Investments) zostało użyte w latach dziewięćdziesiątych w Stanach Zjednoczonych przez Fundację Roberta na rzecz Rozwoju Przedsiębiorstw (Roberts Enterprise Development Foundation).

Organizacją, która rozpowszechniła metodę SROI w Europie jest New Economic Foundation. SROI to metoda pozwalająca na ocenę i pomiar wartości społecznej oraz przypisanie jej wartości pieniężnych. Metoda ta opiera się na raportowaniu wykorzystywanym w rachunkowości finansowej, głównie na rachunku wyników i rachunku przepływów finansowych. Do kalkulacji SROI przyjmuje się wartości zarówno ekonomiczne jak i społeczne, możliwe do zmonetaryzowania. Analizę SROI podzielić można na dwa rodzaje (Andrałojć, 2012):

- retrospektywną,
- ewaluacyjną.

*Analiza retrospektywna* oznacza analizę dla działania (projektu, inwestycji) już zrealizowanego. Jest to łatwiejsza analiza do przeprowadzenia, ponieważ znane są już efekty, zarówno społeczne jak i finansowe. *Analiza ewaluacyjna* wykorzystuje narzędzia prognozowania lub w prostszej wersji przewidywanie wartości społecznej, jaka zostanie uzyskana przez podjęte działania w przyszłości. W niniejszej rozprawie zaprezentowane są oba rodzaje analiz. Dla przykładu: wskaźnik wpływu na zdrowie rolników przy wykorzystaniu biomasy na cele energetyczne powinien być oparty o badania statystyczne ilości wypadków przy tej działalności. Jest więc to analiza retrospektywna. Przykładem analizy ewaluacyjnej będzie określenie wpływu na środowisko scenariusza, w którym 100% energii zostanie wyprodukowane z OZE. Dla wykonania takiej ewaluacji należy określić emisje zarówno gazów jak i odpadów stałych w obu przypadkach, tj. przy produkcji 100% energii z OZE i 100% energii z paliw kopalnych, sprowadzić te emisje do wspólnego ekwiwalentu, który łącznie jednoznacznie wskaże łączną emisję. Jest to tak zwana standaryzacja. Dla przykładu najpopularniejszym wskaźnikiem przy standaryzacji emisji mających wpływ na efekt cieplarniany (Greenhouse effect) jest CO<sub>2</sub>, za pomocą którego wyraża się wpływ innych gazów np. NH<sub>3</sub> czy NO<sub>x</sub>.

### 2.2.1 .Zadania i cele analizy SROI

Analiza SROI ma wiele zadań i celów. Może ona być narzędziem strategicznym do planowania i ulepszania przedsięwzięć, może służyć do informowania o wpływie inwestycji na społeczeństwo lub lokalną społeczność, może w końcu pomagać w podejmowaniu decyzji o działaniach inwestycyjnych, lub o subsydiowaniu działalności o niskich wskaźnikach

ekonomicznych (jak NPV czy IRR) za to o wysokim pozytywnym wpływie na społeczeństwo.

Analizy SROI mogą służyć podejmowaniu decyzji strategicznych, w tym politycznych, maksymalizacji wartości społecznej tworzonej przez aktywność np. przedsiębiorstwa, którego większościowym udziałowcem jest Skarb Państwa, czy podnoszeniu jakości usług dowolnej firmy lub organizacji.

SROI może być również wykorzystana podczas procesu inwestycyjnego (CabinetOffice 2009):

- przy zamówieniach wstępnych,
  - na poziomie planowania strategicznego, ukierunkowanego na uwzględnienie czynników społecznych,
  - przy badaniach rynku i próbach wyceny kosztów i zysków społecznych jego elementów,
  - przy decydowaniu o profilu przedsięwzięcia,
  - przy tworzeniu umów, które będą uwzględniały czynniki ważne dla lokalnej społeczności,
- przy licytacjach lub konkursach ofert, gdzie analiza SROI pozwala ocenić, który z licytujących lub wnioskodawców wystawi najkorzystniejszą ofertę dla lokalnej społeczności,
- podczas monitorowania i ewaluacji, pozwala na dodatkową ocenę wybranego wnioskodawcy, lub wykonawcy z uwzględnieniem wskaźników socjalnych, takich jak zasada niedyskryminowania, przestrzeganie praw pracowniczych, rozwój i szkolenia.

W praktyce obserwuje się coraz częstsze wykorzystywanie analiz socjalnych przy podejmowaniu decyzji, zwłaszcza przy wydatkowaniu pieniędzy publicznych.

### **2.2.2. Monetaryzacja wyników**

Trudnym, ale najważniejszym zadaniem podczas wykonywania analizy SROI jest identyfikacja rezultatów tak, by wyrazić je w wartości pieniężnej (tzw. monetaryzacja), a w dalszej kolejności dyskontowanie przyszłej wartości do obecnego okresu, jeśli analiza dotyczy efektów socjalnych, które pojawiają się w przyszłości. Niektóre rodzaje efektów społecznych są trudne do wycenienia według cen rynkowych, ponieważ nie istnieją ceny rynkowe szczęścia, zadowolenia, zdrowia czy dumy. Stiglitz (2004) proponuje trzy metody monetaryzacji rezultatów:

- wycena warunkowa (contingent valuation),
- ujawnienie preferencji (revealed preference),
- metoda kosztu podróży (travel cost method).

*Metoda wycen warunkowych* bazuje na analizach ankietowych w celu zbadania gotowości (lub chęci) do poniesienia wydatków (określanej w literaturze anglojęzycznej jako „willingness to pay”). Analiza ta polega na pytaniu ankietowanych jaką cenę byłoby w stanie zapłacić za daną wartość. Jest to jedyna metoda do wyceny tak niejednoznacznych wartości jak szczęście, duma czy zadowolenie. Nadwyżka całkowitej sumy lub średniej, jaką respondenci byłoby w stanie zapłacić ponad kwotę jaką płacą, nazywana jest nadwyżką konsumenta. W celu ustalenia tej wartości dla produkcji energii z biomasy należałoby zadać ankietowanym pytanie: „ile byłbyś w stanie zapłacić dodatkowo za energię, jeśli wiedziałbyś, że energia ta jest wyprodukowana ze źródeł odnawialnych (z biomasy)”. Dokładność tej metody jest często kwestionowana, ze względu na zmienność wyników przy zmianie ankietowanej populacji, ale mimo tego jest polecana przez znanych ekonomistów (Stiglitz 2004).

*Metoda ujawnienia preferencji* bazuje na oszacowaniu wartości społecznej przez porównywanie cen towarów, które tę wartość zawierają z cenami towarów niezawierających tej wartości. Przy określeniu społecznej wartości energii pozyskanej z biomasy (w  $\text{zł}\cdot\text{GJ}^{-1}$ ) można wykorzystać analizę kosztu wyprodukowania 1 GJ ciepła bądź energii elektrycznej z biomasy i porównać ten koszt z ceną ciepła bądź energii elektrycznej wyprodukowanej w sposób konwencjonalny w ciepłowni lub elektrowni zasilanej węglem kamiennym.

W *metodzie kosztu podróży* bazuje się na idei kosztów alternatywnych. Wartość społeczną oblicza się na podstawie kosztów, jakie są skłonni ponieść członkowie społeczności, by pokonać określony dystans w celu otrzymania danej wartości społecznej. Do metody tej zalicza się również mniej miarodajny czynnik, jakim jest oszczędzony czas, który z kolei wycenia się na podstawie stawki wynagrodzenia za pracę. Jest to metoda mniej miarodajna, ponieważ stawka wynagrodzeń za pracę zwykle nie odzwierciedla wartości czasu wolnego. Dla przykładu przy wysokim bezrobociu wartość czasu wolnego jest w rzeczywistości oceniana dużo niżej niż stawka wynagrodzenia za pracę. W przypadku, kiedy istnieje chęć do pracy, ale brak jest możliwości jej podjęcia (np. kiedy panuje wysokie bezrobocie) wartość czasu wolnego wyceniana jest nisko. Podobnie jest w przypadku, kiedy podejmuje się pracę z innych powodów niż powody ekonomiczne (np. wolontariat).

### 2.2.3. Definicja wskaźnika SROI

Wskaźnik SROI jest modyfikacją wskaźnika ROI (Return On Investment – stopa zwrotu z inwestycji), który jest stosowany w celu określenia efektywności ekonomicznej zainwestowanych środków. Wskaźnik ROI istnieje od ponad 30 lat i został on po raz pierwszy zdefiniowany przez Philipisa w latach 70-tych ubiegłego wieku (Michalek 2012). Wskaźnik rentowności ROI wyrażany jest jako stosunek zysków z inwestycji do nakładów inwestycyjnych:

$$ROI = \frac{Z_t}{I_0} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:

- $Z_t$  – zysk z inwestycji w określonym czasie  $t$ , (zł),  
 $I_0$  – nakłady inwestycyjne, (zł)

Po zmodyfikowaniu wskaźnika ROI, wskaźnik SROI przyjmie postać:

$$SROI = \frac{Z_{st}}{I_0} \cdot 100\% \quad (2)$$

gdzie:

- $Z_{st}$  – suma wpływów socjalnych z inwestycji w określonym czasie ( $t$ ), (zł)  
 $I_0$  – nakłady inwestycyjne, (zł)

Suma wpływów socjalnych oznacza łączne pieniężne zyski socjalne (social benefits) wyrażone w wartości pieniężnej (np. zł). Wartość ta może być zarówno dodatnia, jak i ujemna.

Co ciekawe, w przypadku zysków socjalnych możliwe jest podwójne dodatnie księgowanie (inaczej niż ma to miejsce w rachunkowości), gdy zyski społeczne dotyczą różnych aktorów (interesariuszy).

Spotykane jest również analizowanie przedsięwzięć metodą SROI w ujęciu rocznym. Wtedy to  $Z_{st}$  oznacza roczne zyski socjalne, natomiast nakłady inwestycyjne zostaną wyrażone za pomocą rocznej stopy amortyzacji, jeśli są one inwestycjami w środki trwałe (głównie maszyny, urządzenia i instalacje).

W przypadku analiz socjalnych wskaźnik SROI informuje o społecznej stopie zwrotu i jeśli (dla przykładu) wyniesie on 4 ( $SROI=4$ ) oznacza to, że jedna złotówka zainwestowana w daną działalność, lub przedsięwzięcie przyniesie 4 zł zysków społecznych.

#### 2.2.4. Zasady sporządzania analizy SROI

Na podstawie studiów literaturowych określono najważniejsze zasady, które należy brać pod uwagę przy sporządzaniu analizy SROI (Matuszak, 2012; Moroń and Klimowicz, 2016; Benoit and Mazjin, 2009).

1. Zidentyfikowanie głównych aktorów (interesariuszy), czyli uwzględnienie wszystkich osób, organizacji lub instytucji, na które wpłyną zmiany w wyniku działania będącego przedmiotem analizy.
2. Określenie granic (boundaries) dotyczących analizy. Ważne jest wskazanie obszaru analizy zarówno pod względem geograficznym, administracyjnym jak i technologicznym. W przypadku produktu należy określić także jaką część „cyklu życia” podlega analizie.
3. Zidentyfikowanie zmiany społecznej – oznacza określenie wszystkich zmian wśród aktorów analizowanego przedsięwzięcia. Analiza powinna uwzględniać zmiany za-

równie pozytywnie jak i negatywnie, a także zamierzone i niezamierzone. Pomocna tutaj może być tzw. teoria zamiany społecznej.

4. Wyrażenie wartości rezultatów w pieniądzu (zwane również monetaryzacją) jest istotne dla jednoznacznego i łatwego w interpretacji wyniku. Stąd też biorą się metody jak wycena warunkowa, ujawnienie preferencji, czy metoda kosztu podróży.
5. Włączenie do analizy tylko istotnych elementów – oznacza kontrolowanie na każdym etapie analizy czy elementy podlegające wycenie oraz zastosowane wskaźniki są istotne. Zasada ta nakazuje odrzucenie tych wskaźników i zysków społecznych, które są nieważne z punktu widzenia danego przedsięwzięcia.
6. Transparentność – oznacza konieczność uzasadniania wyboru wskaźników i wartości im przypisywanych, podawanie źródeł i sposobów zbierania informacji a także dokumentowanie i uzasadnianie wyników.
7. Sprawdzanie i weryfikacja wyników oznaczają konieczność zapewnienia możliwości sprawdzenia i oceny, czy podjęte decyzje i wybrane wskaźniki były uzasadnione.

### 2.2.5. Błędy w analizach SROI

Przy wycenie wartości społecznych zagrożeniem dla jej poprawności mogą być zjawiska, które mogą wypaczyć analizę (Andrałojć, 2012; Banke-Thomas, 2015):

- efekt jałowego działania (deadweight effect),
- efekt wypierania (effect of displacement),
- efekt przeniesienia (displacement effect),
- efekt przypisania (attribution effect),
- efekt przeterminowania (drop off effect).

*Efekt jałowego działania* określa się sytuację, gdy dany efekt społeczny wystąpiłby niezależnie od podjętych działań. Na przykład trudno jest o jednoznaczną ocenę czy kampanie społeczne promujące wykorzystanie odnawialnych źródeł energii mają wpływ na coraz powszechniejsze wykorzystanie tych instalacji. Być może instalacje te powstawałyby niezależnie od środków zainwestowanych w takie kampanie.

*Efekt wypierania* powoduje, że jeden osiągnięty efekt społeczny pogarsza inny efekt społeczny, lub wręcz uniemożliwia jego osiągnięcie. Przykładem może być sytuacja, gdy wprowadzenie biomasy na cele energetyczne zmniejszy ilość CO<sub>2</sub> wprowadzanego do atmosfery, lecz zwiększy degradację substancji organicznej (zbyt mała ilość substancji organicznej trafiającej do gleby). Nieuwzględnienie degradacji substancji organicznej wypaczy rezultaty analizy.

*Efekt przeniesienia* występuje, gdy podejmowane działania przyniosą negatywne efekty dla osób, które nie brały udziału w projekcie i zostały pominięte w analizie. Efekt ten wy-

stąpi na przykład w momencie, gdy uwzględni się wyłącznie zyski wytwórców energii z biomasy, a pominie się wzrost opłat za energię lokalnej społeczności.

*Efekt przypisania* pojawi się, gdy mylnie przypisze się zyski społeczne działaniom podjętym w danym przedsięwzięciu. Sytuacją taką może być zaliczenie do zysków socjalnych spadku bezrobocia w danym regionie i niezauważenie, że wpływ na ten spadek miały zagraniczne wyjazdy zarobkowe dużej części społeczności.

*Efekt przeterminowania* wymaga uwzględnienia zmniejszania się „pożyteczności” rezultatów wraz z upływem czasu. Jeśli pozytywne z socjalnego punktu widzenia zjawiska są oddalone w czasie (np. oszczędności energii pojawią się po 10 latach od rozpoczęcia inwestycji) przeciwdziałaniem temu efektowi powinno być dyskontowanie przyszłych zysków społecznych.

W celu uwzględnienia omówionych wyżej efektów najczęściej przypisuje się im wartości procentowe, które po zsumowaniu powinny pomniejszyć pieniężne wartości zysków socjalnych.

Opisane powyżej metody wyceny efektów społecznych oraz efekty pogarszające trafność tych wycen nie stanowią zamkniętej listy. Na potrzeby prezentowanej metodyki określania efektów socjalnych energetycznego wykorzystania biomasy opracowano także inne, alternatywne sposoby wyceny.

### **3. SFORMUŁOWANIE PROBLEMU BADAWCZEGO**

Analizy socjalne coraz popularniejsze w USA i w krajach Unii Europejskiej, w Polsce są wykonywane rzadko. Analiza ta uwzględnia ważne aspekty w działalności rolniczej jak zdrowie, zadowolenie, duma czy dbałość o środowisko, trudne do parametryzacji i (w efekcie) wyceny. Inżynierii rolniczej potrzebna jest implementacja analizy socjalnej jako źródła informacji pomagającej podjąć decyzję w przypadku niniejszego tematu: czy i w jaki sposób wykorzystywać biomasę na cele energetyczne. Bez uwzględnienia aspektów socjalnych istnieje zagrożenie, że decyzja o energetycznym wykorzystaniu biomasy nie będzie uwzględniała potrzeb rolników i lokalnej społeczności, nawet jeśli będzie uwzględniać analizy prawne, ekonomiczne i środowiskowe. W literaturze naukowej z obszaru inżynierii rolniczej nie ma opracowań ani metody dotyczących aspektów socjalnych w procesach decyzyjnych.

Na tej podstawie sformułowano następujący problem naukowy: czy jest możliwe wykorzystanie wskaźnika SROI do opracowania metody, która umożliwi parametryzację aspektów socjalnych w procesie zróżnicowanego wykorzystania biomasy na cele energetyczne?

Na podstawie sformułowanego problemu naukowego postawiono pytania szczegółowe:

1. czy badania w oparciu o istniejące normy i procedury badawcze, do których należą między innymi badania energetyczne (ciepło spalania, wartość opałowa, wilgotność, zawartość części lotnych), mogą być wykorzystane dla oceny energetycznego wykorzystania biomasy rolniczej metodą SROI?
2. czy analizy SROI dla przedstawionych scenariuszy związanych z wykorzystaniem biomasy rolniczej w celu energetycznym, mogą bazować na metodach ekonomicznych (np. dyskontowanie) i statystycznych (np. opracowanie wyników ankiet)?
3. czy analiza wrażliwości i analiza porównawcza pozwolą zweryfikować przyjętą dla analiz socjalnych metodykę?

Postawione wyżej pytania implikują cel i zakres pracy, a także zadania badawcze.

## **4. CEL I ZAKRES PRACY**

Celem pracy było opracowanie i weryfikacja metody oceny wykorzystania biomasy na cele energetyczne przy użyciu analizy socjalnej, bazującej na wskaźniku SROI. Dla zrealizowania celu pracy wykonano następujące zadania badawcze:

1. wskazanie rodzajów pomiarów i opisanie badań, które powinny być wykonane dla kompleksowej analizy energetycznego wykorzystania biomasy z uwzględnieniem kryterium społecznego do określenia wskaźnika SROI,
2. zdefiniowanie zysków społecznych i wskaźników umożliwiających ich parametryzację oraz monetaryzację,
3. wykonanie analiz energetycznego wykorzystania biomasy z zastosowaniem proponowanych wskaźników,
4. ocenę istotności wybranych wskaźników w badanej analizie socjalnej.

Dla realizacji postawionego celu i zakresu opracowano metodykę pozwalającą obliczyć wskaźnik SROI dla energetycznego wykorzystania biomasy.

## **5. METODYKA BADAŃ I OBLICZEŃ**

Najważniejsza dla niniejszej pracy metodyka określania społecznego zwrotu nakładów SROI została opracowana na bazie przeglądu literatury i własnych badań. Pozwala ona wyznaczyć wskaźnik SROI dla energetycznego wykorzystania biomasy na podstawie wskaźników przynależnych do domeny inżynierii rolniczej, ale także wskaźników ekonomicznych, środowiskowych, socjalnych oraz na podstawie badań laboratoryjnych. Badania przedstawione w pracy są badaniami interdyscyplinarnymi. Podzielono je na badania w oparciu o istniejące procedury badawcze (np. pomiar ciepła spalania) oraz na obliczenia zaproponowane przez autora pracy, opisane głównie przy pomocy wzorów, które wyznaczają efekt socjalny dla różnych biomas i różnych scenariuszy ich pozyskania i energetycznego wykorzystania.

### **5.1. Wyznaczenie SROI dla energetycznego wykorzystania biomasy**

Dla jednoznaczności określenia sposobu obliczania SROI, w niniejszym podrozdziale podano wzory do obliczenia wskaźników oceny przedsięwzięcia energetycznego wykorzystania biomasy. Metodykę można jednak rozbudować o kolejne wskaźniki, bardziej skomplikowane, co zostanie opisano w dalszych rozdziałach. Celem opracowanej metodyki było zachowanie jej uniwersalności, przejrzystości i prostoty, tak aby umożliwić jej powszechne wykorzystanie.

#### **5.1.1. Zidentyfikowanie głównych interesariuszy**

Interesariusze (zwani w literaturze anglojęzycznej aktorami) zostali podzieleni na dwie główne grupy:

1. Producenci nośników energii i wytwórcy energii (P).
2. Konsumenci energii (K).

Producenci nośników energii (oznaczeni – P) to przede wszystkim rolnicy, którzy są dostawcami biomasy. Jeśli instalacja wytwarzania energii nie jest eksploatowana przez rolnika, wytwórcą energii będzie także przedsiębiorca – właściciel instalacji generującej przychody ze sprzedaży energii. Należy podkreślić, że wytwórca energii jest pojęciem prawnym (Ustawa OZE, 2018). Uwzględniając terminologię inżynierii rolniczej należy rozumieć pod tym pojęciem przetwarzanie (konwersję) energii chemicznej w elektryczną bądź ciepło. Konsumentami energii (K) będą także rolnicy, ale również lokalna społeczność, która konsumuje energię.

### 5.1.2. Wskaźniki metody SROI

Wskaźniki użyte w metodyce można podzielić na wskaźniki podstawowe i pośrednie. Dla określenia wskaźników podstawowych należy obliczyć wskaźniki pośrednie i zmierzyć lub przyjąć wielkości niezależne (takie jak np. uprawiany areał). Proponowana metodyka bazuje na pięciu wskaźnikach podstawowych:

1. Wpływ wytwarzanej energii na rolników (P).
2. Wpływ użytkowania biomasy na producenta energii (P).
3. Redukcja gazów cieplarnianych (K).
4. Stworzenie nowych miejsc pracy (K).
5. Odpowiedzialność za produkt (K).

Wskaźniki nr 1 i 2 dotyczą producentów nośników i wytwórców energii. Zakłada się tutaj, że (zgodnie z zasadami analiz LCA) wytwarzanie energii zaczyna się już na etapie produkcji paliwa biomasowego. Pozostałe wskaźniki (3÷5) są przede wszystkim istotne dla konsumentów energii, czyli dla lokalnej społeczności. Poniżej podano sposób obliczenia i monetaryzacji każdego ze wskaźników.

#### Wpływ wytwarzanej energii na rolników

Wpływ wytwarzanej energii na rolników (*WER*) wyraża się wzorem:

$$WER = A \cdot UB \cdot ZN \text{ (zł)} \quad (3)$$

gdzie:

- A* – uprawiany Areał, (ha)  
*UB* – Uzysk Biomasy, ( $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ )  
*ZN* – Zysk Netto dla rolnika, ( $\text{zł} \cdot \text{Mg}^{-1}$ )

W przypadku, gdy rozpatrywany jest inny materiał niż biomasa z upraw energetycznych, uzysk biomasy nie jest równoznaczny z plonem. Dla przykładu, jeśli biomasa jest słomą, należy określić jej pozostałość po odjęciu od plonu masy ziarna jak i ilości słomy, która zostaje na polu.

**Zysk jednostkowy netto dla rolnika (*ZN*)**, ( $\text{zł} \cdot \text{Mg}^{-1}$ ), w ujęciu analiz socjalnych, wyraża się wzorem:

$$ZN = \frac{BS - CKP}{A \cdot UB}, \text{ (zł} \cdot \text{Mg}^{-1}\text{)} \quad (4)$$

gdzie:

- BS* – Biomasa Sprzedana, wartość netto, (zł)  
*CKP* – Całkowity Koszt Pozyskania biomasy, (zł)  
*A* – uprawiany Areał, (ha)  
*UB* – Uzysk Biomasy, ( $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ).

### **Biomasa sprzedana (BS)**

$$BS = A \cdot UB \cdot CB \quad (\text{zł}) \quad (5)$$

gdzie:

- $A$  – uprawiany **A**reał, (ha)
- $UB$  – **U**zysk **B**iomasy, ( $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ )
- $CB$  – **C**ena **B**iomasy, ( $\text{zł} \cdot \text{Mg}^{-1}$ )

Cena biomasy może być zarówno ceną rynkową (dla analiz socjalnych ewaluacyjnych), lub ceną po jakiej rolnik sprzedaje ją kolejnemu podmiotowi występującemu w łańcuchu logistycznym (przy analizach retrospektywnych).

### **Całkowity Koszt Pozyskania biomasy z uprawianego areалу (CKP)**

$$CKP = \frac{A(JKP+W)}{WP} + KT + KM, \quad (\text{zł}) \quad (6)$$

gdzie:

- $A$  – uprawiany **A**reał, (ha)
- $JKP$  – **J**ednostkowy **K**oszt **P**ozyskania biomasy, ( $\text{zł} \cdot \text{h}^{-1}$ )
- $W$  – **W**ynagrodzenie pracownika, ( $\text{zł} \cdot \text{h}^{-1}$ )
- $WP$  – **W**ydajność **P**ozyskania biomasy, ( $\text{ha} \cdot \text{h}^{-1}$ )
- $KT$  – **K**oszt **T**ransportu, (zł)
- $KM$  – **K**oszt **M**agazynowania, (zł)

Jednostkowy koszt pracy rozumiany jest jako sumaryczny koszt pracy maszyn (np. koszty eksploatacyjne maszyny do zbioru biomasy, w szczególności paliwo) i inne koszty związane z samym procesem pozyskiwania biomasy. Wynagrodzenie pracownika to w szczególności wynagrodzenie brutto operatora maszyny do zbierania i kompaktowania biomasy.

Należy tutaj podkreślić, że w analizie socjalnej nie należy powiększać kosztów pracy maszyn o ich amortyzację, z dwóch powodów:

1. amortyzacja zostanie uwzględniona w zmodyfikowanej postaci wzoru nr 2, w mianowniku, odzwierciedlając nakłady inwestycyjne i pomniejszając wielkość wskaźnika SROI,
2. z socjalnego punktu widzenia amortyzacja jest kosztem „pozytywnym”, ponieważ jest kosztem zmniejszającym podstawę opodatkowania, ale nie jest wydatkiem. Dlatego, jeśli nakłady inwestycyjne są odzwierciedlane przez amortyzację (tak jak w proponowanej metodyce), nie stosuje się jej dodatkowo przy określaniu kosztów pracy maszyn, żeby nie obniżyć podwójnie wskaźnika SROI.

Wydajność pozyskania biomasy oznacza średnie tempo jej zbioru wyrażoną jako powierzchnia w czasie ( $\text{ha} \cdot \text{h}^{-1}$ ). Parametr ten jest chętnie używany, ponieważ można tutaj bazować zarówno na własnych pomiarach, jak także na danych zewnętrznych; na przykład pochodzących od producentów maszyn rolniczych. Parametr jest więc łatwy do określenia. Koszt transportu powinien uwzględniać nakłady jakie ponosi się w celu dostarczenia całej biomasy do miejsca, w którym nastąpi jej konwersja na energię elektryczną bądź ciepło (elektrownia, elektrociepłownia, ciepłownia). Koszt ten powinien zostać określony albo w oparciu o spalanie i średni dystans, lub w oparciu o cenę rynkową transportu (wyrażoną w  $\text{zł} \cdot \text{km}^{-1}$ ). Koszt transportu podnosi całkowity koszt pozyskania biomasy (*CKP*), co pozwala postawić tezę, że analizy energetycznego wykorzystania biomasy *SROI* premiuje systemy, w których odległość transportu jest niewielka. W dotychczasowych analizach odległości powyżej 50 km znacznie redukowały dodatni wpływ socjalny wskaźnika *WER*. Odległości powyżej 100 km zwykle sprawiały, że *WER* był ujemny. Koszt magazynowania uzależniony jest od zajmowanej powierzchni magazynowej (w  $\text{m}^2$ ) oraz od długości czasu magazynowania (*h*). W przypadku biomasy, której długie składowanie powoduje jej degradację (np. przez samoczynne zgazowanie) koszt magazynowania powinien być dodatkowo powiększony o różnicę w wartości opałowej na początku i na końcu magazynowania. Spadek wartości opałowej należy wyrazić w procentach (%) a następnie pomnożyć go przez wartość biomasy sprzedanej (*BS*). Podobnie, jeśli istnieje zagrożenie stratami magazynowanej biomasy w wyniku podpalenia lub zniszczenia (np. przez gryzonie lub w wyniku gnicia) należy je także uwzględnić w koszcie magazynowania biomasy. Zagrożenie to powinno być określone metodą „wartości oczekiwanej” tzn. należy pomnożyć prawdopodobieństwo wystąpienia niekorzystnego zagrożenia (podpalenie, samozapłon, zgnicie) razy potencjalną wartość sprzedanej biomasy (*BS*).

### Wpływ użytkowania biomasy na producenta energii

Wpływ Użytkowania biomasy na Producenta energii (*WUP*) wyraża się wzorem:

$$WUP = WE \cdot PN, (\text{zł}) \quad (7)$$

gdzie:

- WE* – Wyprodukowana Energia, (GJ)
- PN* – Przychód Netto za wyprodukowaną energię, ( $\text{zł} \cdot \text{GJ}^{-1}$ )

U podstaw obliczania tego wskaźnika znajduje się wartość dodana przy produkcji energii, która jest określana jako różnica między ceną rynkową biomasy a wartością energii z niej wyprodukowaną. Wskaźnik przyjmuje wyższe wartości, gdy produktem jest energia elektryczna, mniejsze, gdy produktem jest ciepło (którego cena rynkowa w Polsce jest około trzy razy niższa niż cena energii elektrycznej).

### Wyprodukowana energia (WE)

$$WE = A \cdot UB \cdot Q_r^w \cdot \eta_w, (GJ) \quad (8)$$

gdzie:

- $A$  – uprawiany Areał, (ha)
- $UB$  – Uzysk Biomasy, ( $Mg \cdot ha^{-1}$ )
- $Q_r^w$  – wartość opałowa biomasy, ( $GJ \cdot Mg^{-1}$ )
- $\eta_k$  – sprawność konwersji energii, (-)

Sprawność wytwarzania energii jest wielkością bezwymiarową, która przyjmuje wartość liczbową z przedziału  $<0;1>$ . Dla jej określenia należy:

- wykonać pomiar sprawności urządzeń wytwarzających energię lub
- przyjąć dane producenta tych urządzeń lub
- przyjąć sprawność obiegu termodynamicznego.

Do **określenia sprawności** produkcji ciepła za pomocą kotła wodnego należy przyjąć iloczyn sprawności kotła, wymiennika woda kotłowa / woda użytkowa oraz sprawności transportu i wykorzystania ciepła. Do określenia sprawności wytwarzania energii elektrycznej w elektrowni parowej należy przyjąć sprawność dla termodynamicznego obiegu Clausiusa-Rankine'a.

Dla produkcji energii elektrycznej i ciepła w skojarzeniu (kogeneracja) należy przyjąć łączną sprawność dla produkcji skojarzonej. W przypadku braku danych uprawnione jest przyjęcie wartości  $\eta = 0,9$ .

### Przychód Netto z wyprodukowanej energii (PN)

$$PN = \frac{WWE - A \cdot UB \cdot ZN}{WE}, (zł \cdot GJ^{-1}) \quad (9)$$

gdzie:

- $WWE$  – Wartość netto Wyprodukowanej Energii, (zł)
- $A$  – uprawiany Areał, (ha)
- $UB$  – Uzysk Biomasy, ( $Mg \cdot ha^{-1}$ )
- $ZN$  – Zysk Netto dla rolnika, ( $zł \cdot Mg^{-1}$ )
- $WE$  – Wyprodukowana Energia, (GJ)

**Wartość netto wyprodukowanej energii (WWE)**

$$WWE = A \cdot UB \cdot Q_r^w \cdot \eta_w \cdot CE, (\text{zł}) \quad (10)$$

gdzie:

- $A$  – uprawiany Areał, (ha)
- $UB$  – Uzysk Biomasy, ( $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ )
- $Q_r^w$  – wartość opałowa biomasy, ( $\text{GJ} \cdot \text{Mg}^{-1}$ )
- $\eta_k$  – sprawność konwersji energii, (-)
- $CE$  – średnia rynkowa Cena Energii, ( $\text{zł} \cdot \text{GJ}^{-1}$ )

Wartość netto wyprodukowanej energii nie uwzględnia dodatkowych opłat (przesył, akcyza, moc zamówiona) i powinna być określona na podstawie rynkowej wartości tej energii. W przypadku łącznej produkcji energii elektrycznej i ciepła wartość  $CE$  powinna uwzględnić proporcję w jakiej obie formy energii są produkowane. Na przykład, jeśli producent energii wykorzystuje kocioł na biomasę w technologii ORC z generatorem prądu i wytwarza 45% energii elektrycznej i 55% ciepła, a cena ciepła to  $CC$ , cena energii elektrycznej to  $CEE$ , wartość wskaźnika  $CE$  należy obliczać jako:

$$CE = 0,45 \cdot CEE + 0,55 \cdot CC, (\text{zł} \cdot \text{GJ}^{-1}) \quad (11)$$

**Redukcja gazów cieplarnianych**

Redukcja Gazów Cieplarnianych ( $RGC$ ) jest wskaźnikiem środowiskowym, który uwzględnia unikniętą emisję gazów cieplarnianych. W analizie socjalnej dopuszczalne jest uproszczenie, pozwalające uwzględnić wyłącznie emisję  $\text{CO}_2$ , ponieważ emisja pozostałych gazów cieplarnianych (zwłaszcza  $\text{NO}_x$ ) jest zbliżona przy porównaniu spalania biomasy z paliwami kopalnymi. Możliwe jest jednak uwzględnienie innych emisji ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_n\text{H}_m$ ,  $\text{NH}_3$ ) używając standaryzacji charakterystycznej dla analizy  $LCA$  (Rozporządzenie UE 517/2014, Guinée i in. 2001). W celu wykonania tej standaryzacji należy posłużyć się wskaźnikami  $GWP$  (Global Warming Potential). Dla przykładu wskaźnik  $GWP$  dla metanu ( $\text{CH}_4$ ) wynosi 25 (Rozporządzenie UE 517/2014), co oznacza, że wpływ na efekt cieplarniany 1 kg metanu wyemitowanego do atmosfery jest równoważny 25 kg  $\text{CO}_2$ . Dodatkowo wpływ na efekt cieplarniany może być uzależniony od horyzontu czasowego (a więc także od długości analizy  $SROI$ ). Nietrwały chemicznie podtlenek azotu ( $\text{N}_2\text{O}$ ) ma wskaźnik  $GWP$  w okresie dwudziestoletnim: 289, w okresie stuletnim – nieco wyższy: 298, ale dla pięciuset lat to już tylko: 153 (Guinée i in., 2001).

Wskaźnik socjalny uwzględniający wpływ na środowisko w wyniku redukcji gazów cieplarnianych wyraża się wzorem:

$$RGC = RE \cdot KCO_2, (\text{zł}) \quad (12)$$

gdzie:

- $RE$  – Redukcja Emisji  $CO_2$ , ( $MgCO_2$ )  
 $KCO_2$  – Koszt emisji  $CO_2$ , ( $\text{zł} \cdot Mg^{-1}$ )

Koszt emisji  $CO_2$  powinien być określony na podstawie cen rynkowych. Informacje takie można uzyskać z notowań giełdowych dla handlu uprawnieniami (cire.pl, 2018). W Polsce ceny te ostatnio wzrosły. W 2017 roku ceny uprawnień do emisji 1  $Mg CO_2$  zawierały się w przedziale 4,5÷7,5  $EUR \cdot Mg^{-1} CO_2$ , w czerwcu 2018 roku cena ta wynosiła już 15  $EUR \cdot Mg^{-1}$ , w październiku 2018 jest to 25  $EUR \cdot Mg^{-1}$ , natomiast prognozy (Bujacz and Wilamowski, 2018) pozwalają oczekiwać dalszego wzrostu tych cen do poziomu 30  $EUR \cdot Mg^{-1} CO_2$ . W takim wypadku dodatni wpływ wskaźnika RGC na SROI będzie rósł.

### Redukcja emisji $CO_2$ (RE)

W sytuacji (która jest najczęstsza), że biomasa wypiera całkowicie lub częściowo paliwo kopalne (np. węgiel) redukcja emisji  $CO_2$  powinna zostać obliczona wg. wzoru:

$$RE = WE \cdot WPK, (MgCO_2) \quad (13)$$

gdzie:

- $WE$  – Wyprodukowana Energia, (GJ)  
 $WPK$  – Współczynnik emisji Paliwa Kopalnego, ( $Mg \cdot GJ^{-1}$ )

Współczynnik emisji paliwa kopalnego uwzględniający równania stechiometryczne przy spalaniu węgla wynosi 0,096  $Mg \cdot GJ^{-1}$ , ale analiza socjalna powinna uwzględnić również straty konwersji energii (sprawność urządzeń wytwórczych) oraz straty przesyłu energii, zwłaszcza przy produkcji energii elektrycznej. Dla prądu elektrycznego najlepiej jest posłużyć się wskaźnikiem emisyjności energii elektrycznej odniesionego do energii u odbiorcy końcowego, który jest corocznie aktualizowany i obecnie wynosi on 781  $kg \cdot MWh^{-1}$  (KOBiZE, 2017). Po przeliczeniu otrzymuje się wartość 0,217  $Mg \cdot GJ^{-1}$ .

### Stworzenie nowych miejsc pracy

Stworzenie nowych Miejsc Pracy (MP) jest wskaźnikiem, który przybliża zyski socjalne z wygenerowanych miejsc pracy. Ponieważ trudno jest tu o uniwersalną i nieskomplikowaną metodykę, wskaźnik ten bazuje na godzinach pracy oraz stawce godzinowej i wyraża się wzorem:

$$MP = RP \cdot W, (\text{zł}) \quad (14)$$

gdzie:

- $RP$  – Roboczo-godziny dodatkowej Pracy, (h)  
 $W$  – Wynagrodzenie pracownika, ( $\text{zł} \cdot \text{h}^{-1}$ )

### Roboczo-godziny dodatkowej pracy

Roboczo-godziny dodatkowej Pracy ( $RP$ ) powinny być określone na podstawie umowy o pracę lub innej umowy wskazujący wymiar godzinowy etatu i ilość etatów. Drugim sposobem oszacowania tej wielkości, umożliwiającym powiązanie go z wielkościami już obliczonymi przy wskaźniku WER (Wpływ wytwarzanej energii na rolników), jest wykonanie obliczeń zgodnie z formułą:

$$RP = \frac{A}{WP}, (\text{h}) \quad (15)$$

gdzie:

- $A$  – uprawiany Areał, (ha)  
 $WP$  – Wydajność Pozyskania biomasy, ( $\text{ha} \cdot \text{h}^{-1}$ )

### Odpowiedzialność za produkt

Odpowiedzialność za Produkt ( $OP$ ) opisywana w metodykach jako stopień utożsamiania się lokalnej społeczności z analizowanym dobrem lub usługą, bądź jako poczucie dumy związanej z produktem lub usługą jest wskaźnikiem typowo socjalnym. Wskaźnik ten jest określany metodą wycen warunkowych (opisanych w podrozdziale 2.2.2), czyli za pomocą ankiet. W przypadku analiz SROI energetycznego wykorzystania biomasy wskaźnik ten należy obliczyć następująco:

$$OP = WE \cdot AWC \cdot CE, (\text{zł}) \quad (16)$$

gdzie:

- $WE$  – Wyprodukowana Energia, (GJ)  
 $AWC$  – Akceptowalny Wzrost Ceny, (-)  
 $CE$  – średnia rynkowa Cena Energii, ( $\text{zł} \cdot \text{GJ}^{-1}$ )

Akceptowalny Wzrost Ceny jest wielkością bezwymiarową z przedziału  $<0;1>$  i powinien zostać wyznaczony metodą badań ankietowych. W przypadku energetycznego wykorzystania biomasy pytanie ankietowe może zostać sformułowane: „O ile więcej byłby Pan / Pani w stanie zapłacić za ekologiczną energię wyprodukowaną z biomasy?” lub bardziej ogólnie „(...) wyprodukowaną z OZE”. Sugeruje się również proponować ograniczoną ilość odpowiedzi, np. 0%, 10%, 20%, 30%, 40%. Średnia arytmetyczna wszystkich odpo-

wiedzi posłuży do określenia wskaźnika  $AWC$ . Dla przykładu, jeśli średnia arytmetyczna wyniesie 17% to  $AWC=0,17$ .

$$AWC = \frac{\sum \text{Wartości odpowiedzi, \%}}{\text{Ilość odpowiedzi}}, (\%) \quad (17)$$

## 5.2. Analiza socjalna wykorzystania słomy na cele energetyczne

W celu określenia efektów socjalnych produkcji ciepła i energii elektrycznej ze słomy należy określić:

- okres analizy,
- rodzaj zboża,
- plon słomy z 1 ha, ( $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ),
- ilość hektarów (areal uprawny), (ha),
- typ instalacji do produkcji energii ze słomy,
- roczną amortyzację maszyn rolniczych i urządzeń do produkcji energii,
- dane potrzebne do obliczenia wpływów socjalnych.

Metodyka powinna sprzyjać wykonaniu badań z przyjętymi dotąd standardami, dlatego przy wyznaczaniu okresu analizy, rocznej amortyzacji maszyn i ilości hektarów należy stosować podejście znane z analiz ekonomicznych, natomiast dla określania rodzaju zboża, typu instalacji i wydajności jego pozyskania należy korzystać z dorobku inżynierii rolniczej. Dane potrzebne do obliczenia wpływów socjalnych należy przyjąć zgodnie z zasadami opisanymi w punkcie 6.1.

### Okres analizy

W przypadku analiz ekonomicznych okres analizy determinuje wyniki tych analiz, zwłaszcza przy analizach dynamicznych, opartych o wskaźniki takie jak NPV (Net Present Value) czy IRR (Internal Rate on Return). W przypadku analiz socjalnych opartych na rocznej amortyzacji i rocznych wpływach socjalnych nieuwzględniających dyskontowania (zmiany wartości pieniądza w czasie) wydaje się, że okres ten nie wpływa na sam wskaźnik SROI. Należy jednak wziąć pod uwagę, że sama amortyzacja jest regulowana przepisami prawnymi – księgowymi i w Polsce dla środków trwałych wynosi ona 10 lat. W związku z tym zaleca się przyjmować 10-letni okres analizy, dla łatwego i zgodnego z dokumentami księgowymi określenia rocznej amortyzacji poszczególnych maszyn i urządzeń. Dlatego w niniejszej analizie przyjęto okres dziesięcioletni.

## Rodzaj zboża

Rodzaj zboża, z którego pochodzi słoma ma istotne znaczenie zarówno dla wartości opałowej słomy ( $\text{GJ}\cdot\text{Mg}^{-1}$ ), jak i plonu tej słomy ( $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), gęstości ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ), zawartości wilgoci (%), prędkości zbioru ( $\text{ha}\cdot\text{h}^{-1}$  lub  $\text{Mg}\cdot\text{h}^{-1}$ ), a także zawartości substancji mających wpływ na eksploatację paleniska (zawartość węgla, części lotnych, siarki, chloru, potasu i sodu). Nawet przy dokładnie zdefiniowanej słomie jej parametry mogą być różne w zależności od sposobu jej pozyskania, czasu składowania (słoma żółta lub szara), rodzaju gleby czy sposobu nawożenia. Dlatego też istotne jest weryfikowanie parametrów tej biomasy, najlepiej przy pomocy badań laboratoryjnych. Do analiz przyjęto słomę pszeniczną, poddaną składowaniu w celu wysuszenia oraz suszoną spalinami urządzenia grzewczego. Przyjęto wartość opałową  $15 \text{ GJ}\cdot\text{Mg}^{-1}$  (Gawrońska, 2005; Janowicz, 2006).

## Plon słomy z 1 ha

Wydajność słomy z jednego hektara jest zmienna i zależna od wielu czynników, z których najważniejsze to sposób uprawy i nawożenia, rodzaj gleby, pogoda. Dla określenia rzeczywistej ilości słomy na danym obszarze najlepiej jest się oprzeć na rzeczywistych pomiarach. Dopuszczalne jest również określenie tej ilości na podstawie studiów literaturowych. Na potrzeby analizy SROI ilość słomy z jednego hektara określono na podstawie analiz przeprowadzonych przez pracowników Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie (Gawrońska and Gawroński, 2016). Plon słomy pszennej wynosi:

- pszenica jara –  $3,5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,
- pszenica ozima –  $4,0 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,
- średnio –  $3,75 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

Ilości te nie uwzględniają słomy, która pozostała na polu, a która jest konieczna do wytworzenia próchnicy i zapobiegania niekorzystnemu zjawisku degradacji substancji organicznej (Gawrońska, Gawroński 2016; Kocira 2014). Założono także, że w analizowanym gospodarstwie nie prowadzi się produkcji zwierzęcej, która wymaga nawet 80% pozyskanej słomy na paszę i ściółkę (Wach i Szajner, 1994).

## Ilość hektarów (areal uprawny)

Dla analiz SROI dotyczących konkretnego gospodarstwa rolnego areal uprawny powinien opierać się na danych rzeczywistych. W przypadku analiz robionych dla całych regionów (gmin, województw czy nawet krajów) można opierać się również na danych statystycznych. Na podstawie ogłoszenia Prezesa Agencji Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa z dnia 21 września 2017 r. w sprawie wielkości średniej powierzchni gruntów rolnych w gospodarstwie rolnym w poszczególnych województwach oraz średniej po-

wierzchni gruntów rolnych w gospodarstwie rolnym w kraju w 2017 roku wiadomo, że średni areal gospodarstwa rolnego w 2017 roku wynosił 10,65 ha. Problemem przy tak małych gospodarstwach jest brak uzasadnienia ekonomicznego dla zakupu maszyn rolniczych oraz tym bardziej budowy instalacji do produkcji energii elektrycznej z biomasy.

### 5.3. Analizy ekonomiczne

Przedstawiono podstawowe wzory potrzebne do wyznaczenie rocznych przepływów pieniężnych w przedsięwzięciu energetycznego wykorzystania biomasy (Skorek and Kalina, 2000; Górzyński, 1998 a, b i c).

**$CF_t$  - roczny przepływ pieniężny (w okresie t):**

$$CF_t = Z_n + A_m - R_k - K_{inw}, \quad (18)$$

gdzie:

- $Z_n$  – zysk netto, (zł),
- $A_m$  – amortyzacja, (zł),
- $R_k$  – rata spłaty kredytu bankowego, (zł),
- $K_{inw}$  – środki własne poniesione na realizację inwestycji, (zł).

**$Z_n$  - zysk netto:**

$$Z_n = Z_b - p \cdot Z_b, \quad (19)$$

gdzie:

- $Z_b$  – zysk brutto, (zł),
- $p$  – stopa podatku dochodowego, (%).

**$Z_b$  - zysk brutto:**

$$Z_b = S - K, \quad (20)$$

gdzie:

- $S$  – wartość produkcji sprzedanej (wartość sprzedaży energii, wzór 22), (zł),
- $K$  – koszty wytworzenia energii, (wzór 21, z uwzględnieniem amortyzacji, kosztów biomasy, kosztów napraw, remontów i obsługi, kosztów finansowych), (zł).

**K - koszt wytworzenia produkcji sprzedanej:**

$$K = K_o + K_f + A_m + K', \quad (21)$$

gdzie:

- $K_o$  – koszt eksploatacyjny (suma kosztów: paliwa biomasowego, materiałów nieenergetycznych, kosztów osobowych, kosztów napraw, remontów itd.), (zł),  
 $K_f$  – koszty finansowe związane z obsługą kredytu bankowego, (zł),  
 $A_m$  – amortyzacja środków trwałych, (zł),  
 $K'$  – ewentualne inne koszty operacyjne związane z realizacją przedsięwzięcia, (zł).

**S - wartość sprzedaży energii:**

$$S = c_e \cdot E_r, \quad (22)$$

gdzie:

- $c_e$  – cena sprzedaży energii, (zł·kWh<sup>-1</sup>),  
 $E_r$  – roczna produkcja energii, (kWh).

Podobnie jak w analizie SROI szczególną pozycją w kosztach analizowanego przedsięwzięcia inwestycyjnego jest **amortyzacja**. Do obliczania amortyzacji środków trwałych w Polsce najczęściej stosuje się **metodę liniową**, która polega na dokonywaniu równomiernych odpisów zużycia tych środków za kolejne lata. W metodzie tej zakłada się, że środki trwałe (w tym wypadku maszyny i urządzenia rolnicze i energetyczne) zużywają się jednako w każdej jednostce czasu, bez względu na to czy i w jakim stopniu są one wykorzystywane w procesie produkcji, czy też są nieczynne. Wysokość odpisu ustala się za pomocą stawek amortyzacyjnych od wartości początkowej danego środka trwałego (Sawicki, 1991). Okres amortyzacji majątku trwałego ma wpływ na koszt wytwarzania i oferowaną cenę. Im jest on krótszy, tym większy jest koszt wytworzenia energii. W Polsce w opracowaniach analitycznych przyjmuje się zwykle okres amortyzacji równy okresowi eksploatacji danego obiektu.

$$A_m = a \cdot K_{inv}, \quad (23)$$

$$a = (1 / n) \cdot 100 \%, \quad (24)$$

gdzie:

- $A_m$  – roczny odpis amortyzacyjny, (zł),  
 $a$  – roczna stawka amortyzacji, (%),  
 $K_{inv}$  – koszty inwestycyjne, (zł),  
 $n$  – przewidywany okres eksploatacji, (lata).

Przedsięwzięcie inwestycyjne z definicji wiąże relatywnie duże środki przez relatywnie długi okres, dlatego często powstaje problem jego finansowania. Inwestorzy korzystają niejednokrotnie ze środków obcych, głównie kredytów bankowych. Uzyskanie kredytu jest z reguły uzależnione od wyników rachunku ekonomicznej efektywności przedsięwzięcia inwestycyjnego. Dotyczy to przede wszystkim przedsięwzięć rzeczowych. Angażowanie własnych środków powinno zostać również poprzedzone rachunkiem efektywności i zależć od jego wyniku.

#### **$K_f$ - koszty finansowe (koszty odsetek od kredytu)**

$$K_f = r_k \cdot W_k, \quad (25)$$

gdzie:

- $r_k$  – oprocentowanie kredytu, RRSO, (%),
- $W_k$  – wartość kredytu, (zł).
- RRSO – rzeczywista roczna oprocentowania.

#### **Statyczne metody oceny projektów inwestycyjnych**

Metody te są rozpowszechnione w praktyce ze względu na łatwość zastosowania. Należy jednak zaznaczyć, że nie powinny być one wyłączną podstawą podejmowania decyzji inwestycyjnych. Mogą być natomiast stosowane jako procedury wstępne. Niejednokrotnie, zwłaszcza w odniesieniu do niewielkich przedsięwzięć inwestycyjnych, dają dobrą orientację o ich efektywności. Do metod statycznych zalicza się rachunek porównawczy kosztów, rachunek porównawczy zysków, rachunek rentowności oraz rachunek amortyzacji.

Rachunek porównawczy kosztów polega na tradycyjnej analizie i bezpośrednim porównaniu przeciętnych kosztów badanych przedsięwzięć na jednostkę czasu. Spośród porównywanych dwóch przedsięwzięć korzystniejsze jest to, dla którego  $\bar{K}$  jest mniejsze:

$$\bar{K} = K + K_{inv} \cdot \left( \frac{1}{n} + \frac{K_f}{2} \right) \quad (26)$$

gdzie:

- $\bar{K}$  – przeciętny koszt badanego przedsięwzięcia na jednostkę czasu, (zł·rok<sup>-1</sup>),
- $K$  – przeciętny koszt eksploatacji bez amortyzacji na jednostkę czasu, (zł·rok<sup>-1</sup>),
- $K_{inv}$  – nakład inwestycyjny, (zł),
- $n$  – ilość nakładów inwestycyjnych, (-),
- $K_f$  – kalkulowane odsetki od przeciętnie zaangażowanego kapitału w okresie eksploatacji przy założeniu amortyzacji ciągłej i równomiernej, (zł).

Rachunek porównawczy zysków może mieć zastosowanie wtedy, gdy przedsięwzięcia inwestycyjne różnią się nie tylko kosztami, ale także i dochodami. Im większy jest przeciętny zysk na jednostkę czasu, tym przedsięwzięcie jest korzystniejsze (Martan, 1998).

**Rachunek rentowności (*ROI* – *Return on Investment*)** został opisany w podrozdziale 2.2.3 i wyraża się wzorem 1. Spośród kilku porównywanych przedsięwzięć wykorzystania biomasy na cele energetyczne powinno się wybrać to, dla którego *ROI* jest największe, lecz nie mniejsze od wymaganego minimum, np. rynkowej stopy procentowej.

### **Dynamiczne metody oceny projektów inwestycyjnych**

Opisane metody statyczne nie posługują się rachunkiem procentowym ani dyskontowym, a występujące w rachunku wielkości zachowują swą wartość nominalną niezależnie od tego, jakiego okresu dotyczą. W przeciwieństwie do metod dynamicznych, które są oparte na strumieniach pieniądza: dodatnich (wpływach) i ujemnych (wydatkach). W zależności od metody, wpływy oraz wydatki są sprowadzane na dany okres za pomocą rachunku dyskontowego, bądź procentowego (Martan, 1998).

### **Metoda wartości zaktualizowanej netto (NPV)**

Metoda *NPV* (*Net Present Value*) polega na porównaniu nakładów przewidywanych na realizację inwestycji z sumą spodziewanych nadwyżek finansowych, ale po uprzednim sprowadzeniu ich wartości do aktualnego poziomu, z uwzględnieniem kosztu zaangażowanego kapitału. W analizowanym przedsięwzięciu skalkulowane w poszczególnych latach eksploatacji inwestycji nadwyżki finansowe sprowadza się do ich aktualnej wartości za pomocą rachunku dyskonta. Stopę dyskonta przyjmuje się w wysokości reprezentującej oczekiwaną minimalną stopę zyskowności kapitału, który ma być zaangażowany przy realizacji danego projektu. Przy obecnych kosztach kapitału, zwykle przyjmuje się stopę dyskonta na poziomie ok. 6-7% w oparciu o dane finansowe analizowanego przedsiębiorstwa, a przy nieznanach wskaźnikach finansowych można posłużyć się formułą  $r = WIBOR + 1\%$ . WIBOR (ang. Warsaw InterBank Offered Rate) to wysokość oprocentowania pożyczek na polskim rynku międzybankowym. Funkcjonuje od 1991 roku.

Najczęściej zaktualizowaną wartość netto oblicza się ze wzoru 27:

$$NPV = -K_{inv} + \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} + \frac{R_t}{(1+r)^t}, \text{ (zł)} \quad (27)$$

gdzie:

- $K_{inv}$  – koszt inwestycyjny poniesiony na początku inwestycji, (zł),
- $CF_t$  – roczne przepływy finansowe, najczęściej wpływy netto w chwili  $t$ , przy czym przez wpływy netto rozumie się zysk powiększony o odpis amortyzacyjny, czyli sprzedaż pomniejszoną o koszty eksploatacji bez amortyzacji, (zł),
- $r$  – stopa dyskontowa, (%),
- $1/(1+r)^t$  – współczynnik dyskontowy,

- $t$  – długość okresu obliczeniowego obejmująca lata budowy i eksploatacji ( $t = 1, \dots, n$ ),  
 $R_t$  – wartość urządzenia w końcowym roku eksploatacji  $t$  lub wpływ z likwidacji obiektu w chwili  $t$ , (zł).

Jeżeli wydatki inwestycyjne nie są jednorazowe, lecz będą dokonywane przez wiele lat, to należy je także zaktualizować na ten sam termin, co wpływy netto. Jeżeli terminem tym będzie początek działalności inwestycyjnej, to wszystkie strumienie pieniądza będą zdyskontowane a wzór przybierze postać bardziej ogólną:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t}, \text{ (zł)} \quad (28)$$

Przedsięwzięcie wykorzystania biomasy na cele energetyczne jest efektywne, gdy  $NPV \geq 0$ . Jest to minimalny wymóg efektywności dla każdego badanego tą metodą przedsięwzięcia. Jeżeli natomiast porównuje się kilka przedsięwzięć między sobą, najkorzystniejsze jest to z nich, dla którego wielkość ta jest największa (Martan, 1998). Jeżeli  $NPV=0$ , to oznacza, że inwestor odzyskuje włożony kapitał, ale nie zyskuje nic ponadto.

### Metoda wewnętrznej stopy zwrotu (IRR)

Metoda wewnętrznej stopy zwrotu ( $IRR$  – *Internal Rate of Return*) opiera się na tej samej formule (26), co metoda wartości kapitałowej, ale polega na znalezieniu nie wartości  $NPV$ , lecz tej stopy dyskontowej  $r$ , dla której wartość kapitałowa jest równa 0. Aby tego dokonać, należy zastosować procedurę obliczeniową zwaną interpolacją liniową. Dla coraz większych wartości  $r$  wyznacza się (coraz mniejsze) wartości  $NPV$ , aż do uzyskania wartości ujemnych. Wtedy oblicza się wielkość  $r_w$  wg wzoru:

$$r_w = r_i - NPV_i \cdot \frac{r_j - r_i}{NPV_j - NPV_i}, (-) \quad (29)$$

Gdzie:

- $NPV_i$  – najmniejsza dodatnia wartość kapitałowa, (zł),  
 $NPV_j$  – największa ujemna wartość kapitałowa, (zł),  
 $r_i$  – stopa dyskontowa użyta do obliczenia  $NPV_i$  (-),  
 $r_j$  – stopa dyskontowa użyta do obliczenia  $NPV_j$  (-).

Przedsięwzięcie wykorzystania biomasy na cele energetyczne jest rentowne, jeżeli wielkość  $r_w$  jest większa od stopy kalkulacyjnej. Jeśli porównywane są dwa przedsięwzięcia inwestycyjne, korzystniejsze jest to, dla którego znalezione  $r_w$  jest większe.

## 5.4. Badania biomasy

Metodyka badań biomasy została przyjęta zgodnie z normami opracowanymi dla paliw konwencjonalnych (kopalnych), których wytyczne stosuje się w praktyce dla wszystkich paliw stałych (w tym biomasowych), a są to:

- PN-ISO 1170:2001 Węgiel i koks - Przeliczanie wyników analiz na różne stany;
- PN-G-04511:1980 Paliwa stałe - Oznaczanie zawartości wilgoci;
- PN-G-04512:1980/Az1:2002 Paliwa stałe - Oznaczanie zawartości popiołu metodą wagową;
- PN-G-04516:1998 Paliwa stałe - Oznaczanie zawartości części lotnych metodą wagową;
- PN-ISO 1928:2002 Paliwa stałe - Oznaczanie ciepła spalania metodą spalania w bombie kalorymetrycznej i obliczanie wartości opałowej.

Ze względu na brak polskich norm, dotyczących oznaczenia zawartości popiołu w biomasie oraz z uwagi na to, iż zawiera ona zwiększoną zawartość metali alkaicznych utleniających się w temperaturze powyżej 600°C, oznaczenia zawartości popiołu w biomasie zostały przeprowadzone w niższej temperaturze, według norm europejskich (CEN/TS 14775), w temperaturze 550°C do uzyskania stałej masy próby w czasie 4-6 godzin. Zawartość części lotnych i wilgoci w biomasie została wyznaczona z (CEN/TS 15148) oraz (CEN/TS 14774). Dla badanych paliw wyniki przeprowadzonych analiz zamieszczono w przeliczeniu na stan roboczy paliwa, analityczny, suchy i suchy bezpopiołowy.

## 5.5. Ciepło spalania

Wykonane pomiary pozwoliły określić ciepło spalania. Ciepło spalania  $Q_s$  jest ilością ciepła wydzielonego podczas zupełnego i całkowitego spalania danego paliwa, przy czym produkty zostają ochłodzone do temperatury początkowej substratów. W opisywanej metodzie do obliczeń przyjmuje się wartość opałową  $Q_r^w$ , która jest ilością ciepła wydzielonego podczas zupełnego i całkowitego spalania danego paliwa, przy czym para wodna powstała w procesie spalania nie zostaje skroplona (Kordylewski, 2001).

Różnica między ciepłem spalania  $Q_s$  i wartością opałową  $Q_r^w$  polega na tym, że podczas wyznaczania  $Q_s$  woda w spalinach jest w postaci ciekłej, a podczas wyznaczania  $Q_r^w$  w postaci pary. Zatem ciepło spalania będzie zawsze większe od wartości opałowej i różni się ciepłem parowania wody w spalinach (Kordylewski, 2001):

$$Q_r^w = Q_s - r \cdot (W^a + 8,94H^a), \text{ (kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\text{)} \quad (30)$$

gdzie:

- $Q_r^w$  – wartość opałowa, (kJ·kg<sup>-1</sup>),
- $Q_s$  – ciepło spalania, (kJ·kg<sup>-1</sup>),
- $r$  – ciepło parowania wody ( $r = 24,42 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$  dla 1% wody w paliwie),

- $W^a$  – zawartość wilgoci w próbce analitycznej, (%),  
 $H^a$  – zawartość wodoru w próbce analitycznej (8,94 jest przelicznikiem wodoru na wodę), (%).

Do pomiarów ciepła spalania wykorzystany był kalorymetr automatyczny KL-10 pokazany na rysunku 2.



*Rysunek 2. Kalorymetr ditermiczny KL-10*

Każda z wybranych do badania roślin posiadała różne właściwości fizyko-chemiczne co można było zauważyć już podczas przygotowania do spalania w kalorymetrze. Biomasa została poddana kolejno wstępnemu podsuszeniu, suszeniu, wstępnemu rozdrabnianiu, rozdrabnianiu, ważeniu, zgnieceniu i na końcu spalaniu. Do mielenia wykorzystany został młynek tnący SM 2000 firmy Retsch pokazany na rysunku 3.

Biomasa po wstępnym rozdrobnieniu była przechowywana w suchym pomieszczeniu, rozłożona na papierze szarym w warstwie o grubości nie większej niż 2 cm. Następnie, po starannym wymieszaniu, zostały pobrane z niej reprezentacyjne próbki z dwóch losowych miejsc dla każdego rodzaju biomasy. Próbkę zostały poddane suszeniu na szklanych płytkach w temp 105°C przez 48 h w suszarce laboratoryjnej SLN STD 53/115/240 w celu określenia wilgoci analitycznej, potrzebnej do określenia wartości opałowej zgodnie z formułą 30. Następnie zostały wyjęte i zapakowane do woreczków próżniowych aby nie absorbowały wilgoci z otoczenia. Z wcześniej rozdrobnionej i podsuszonej biomasy (na powietrzu atmosferycznym – uzyskano wilgotność w stanie roboczym) przygotowano pastylki.



*Rysunek 3. Młynek do mielenia biomasy Retsch SM 2000*

Biomasa po kompaktowaniu została zważona na wadze laboratoryjnej, a następnie uzupełniona drutem oporowym. Powstałe pastylki zostały kolejno spalone w kalorymtrze. Każda pastylka była umieszczona w głowicy kalorymetru, końcówki drutu oporowego zostały umieszczone w zaciskach elektrod, a głowicę z pastylką zamknięto w korpusie bomby kalometrycznej, do której został podany tlen. Na kołki kontaktowe bomby zostały założone elektrody połączone z pulpitem sterowniczym. Bomba kalometryczna po umieszczeniu w zbiorniku z wodą (której temperatura była mierzona) została podłączona do czujnika temperatury, następnie uruchamiano mieszaninę, a w ostatniej fazie prac przygotowawczych - zapłon. Pomiar w zależności od próbki trwał od 19 do 25 minut. Po spaleniu próbki odczytywano wyniki pomiarów zgodnie z instrukcją kalorymetru.

## **5.6. Miejsce badań**

### **5.6.1. Sady Trzebnica**

Szczegółową analizę socjalną wykonano dla Sądów Trzebnica. Firma wykorzystuje biomasę (odpadową z przycinania gałęzi sądów jabłkowych) na cele energetyczne, co umożliwiło pozyskanie rzeczywistych danych, w tym również cen rynkowych.

Firma Sady Trzebnica Sp. z o. o. znajduje się na granicy miasta Trzebnica. Powierzchnia firmy sadowniczej wynosi 160 ha. Główny obszar zajmuje sad jabłkowy (64 ha), ale jest również sad śliwkowy (17 ha), a reszta to czereśnie, wiśnie, aronia i inne owoce. Obliczeniowy areal, z którego pozyskuje się biomasę na cele energetyczne wynosi 90 ha, ponieważ drzewa jabłoni są przycinane dwa razy w roku. Główne przycinanie odbywa się w okresie zimowo-wiosennym, (biomasa z przycinania letniego jest bardzo ograniczona i w większości pozostaje w sadzie). Natomiast gałęzie z przycinania w okresie zimowo – wiosennym są zbierane a następnie wywożone do miejsca tymczasowego składowania. Śliwka, czereśnie i wiśnie są przycinane bezpośrednio po zbiorze owoców. Biomasa z sadu jabłkowego jest sprzedawana przez „Sady Trzebnica” spółce handlowej, która rozdrabnia biomasę wewnątrz sadu i transportuje własną ciężarówką do elektrociepłowni lub innych odbiorców. Analizy ekonomiczne niniejszej działalności wykorzystania biomasy na cele energetyczne pokazują jej opłacalność, pod warunkiem, że odległość do użytkownika końcowego wynosi do 60 km. Działalność pozostała dochodowa, mimo że w 2016 roku elektrociepłownie we Wrocławiu i okolicach Wrocławia (odległość około 40 km) podpisały kontrakty z innymi dostawcami biomasy i nie chciały kupować biomasy poza posiadanym już kontraktem. Kolejnym problemem obniżającym opłacalność ekonomiczną były spadki cen zielonych certyfikatów, powodując, że spalanie biomasy w elektrociepłowni nie było już opłacalne. Dla producenta odpadowej biomasy kluczowe było znalezienie małych lokalnych urzędzeń grzewczych, co w dużej części się udawało sprawiając, że działalność ta pozostała rentowna do chwili obecnej.

### **5.6.2. Jura Szwabska**

Jura Szwabska została wybrana w celu sprawdzenia efektów socjalnych dla wielu małych gospodarstw sadowniczych gospodarujących w sposób tradycyjny (czyli bez znacznego udziału maszyn) znajdujących się na dużym obszarze (około 10 000 ha). Analizy zostały wykonane przy współudziale partnerów z projektu EuroPruning z ATB (Leibniz-Institute for Agricultural Engineering Potsdam-Bornim), którzy wytypowali obszar do badań 4 000 ha i zebrali dane potrzebne do określenia wskaźników społecznych zgodnie z metodyką. Na potrzeby niniejszej monografii dane te zostały zweryfikowane, uaktualnione i dostosowane do cen z 2018 roku.

Zbocza Jury Szwabskiej, leżące w regionie Badenii-Wirtembergii, są głównym regionem tradycyjnych sadów w Niemczech. W tym regionie znajduje się około 10 000 hektarów jabłoni, gruszy, wiśni i innych wysokich, tradycyjnie uprawianych drzew owocowych. Należy podkreślić, że sady to głównie „historyczne plantacje” o niskiej produktywności. Nie ma możliwości użycia maszyn, ze względu na wielkość drzew i ich nieregularne usytuowanie. Założono, że materiał z resztek po przycinaniu gałęzi zostanie zebrany przez hodowców jako hobby (bez kosztów pracy), ponieważ drobni rolnicy wykonywali tę czynność we własnym zakresie, a pozyskana biomasa była spalana lokalnie, poza obrotem gospodarczym.

Już w czasach przedwojennych system produkcyjny składał się z trzech elementów:

1. owoców do sprzedaży na rynku,
2. drewna (jako produktu ubocznego) do wykorzystania jako źródło energii,
3. trawy do żywienia bydła i owiec.

Ze względu na radykalne zmiany społeczno-ekonomiczne w agronomii w ciągu ostatnich dziesięcioleci system nie jest już konkurencyjny, ale jest częścią naturalnego i kulturowego dziedzictwa regionu, dlatego władze lokalne dotują jego funkcjonowanie. Obecnie większość drobnych producentów po prostu zbiera owoce i produkuje soki oraz trunki na lokalny rynek lub na konsumpcję prywatną (rysunek 4). Ze względu na niskie przychody unikają dodatkowej pracy, a przycinanie drzew owocowych jest tutaj decyzją indywidualną. Lokalna społeczność jest jednak świadoma, że drzewa owocowe wymagają przycinania.



*Rysunek 4. Zbiórka gałęzi (a) i ich transport (b) po przycinaniu w gospodarstwie z obszaru Jury Szwabskiej*

Jeśli stare drzewa owocowe nie są przycinane, szybko tracą vitalność i nie mogą osiągnąć walorów ekologicznych, które mogą mieć pięćdziesięcioletnie a nawet osiemdziesięcioletnie drzewa. W regionie tym od lat toczy się dyskusja czy i jak utrzymywać (lub usprawnić) system o wyjątkowo wysokiej wartości ekologicznej i społecznej, ale niskich parametrach ekonomicznych. Jest to główny powód zainteresowania partnerów niemieckich wykonaniem analizy socjalnej, która mogła w sposób mierzalny określić wartość społeczną, szacowaną dotąd intuicyjnie, lub na podstawie oczekiwań lokalnej społeczności.

## 6. WYNIKI BADAŃ

### 6.1. Analiza SROI dla spalania słomy

Zgodnie z metodyką opisaną w punkcie 6.2 areal uprawny określono na podstawie analiz ekonomicznych, uwzględniających przede wszystkim opłacalność wykorzystania maszyn. Przyjęto obszar 500 ha, ponieważ jest to minimalny obszar pozwalający zasilić jedną z mniejszych instalacji wykorzystujących obieg termodynamiczny Claus'a Rankine'a do produkcji energii elektrycznej o mocy 216 kW<sub>el</sub>.

W sytuacji, gdy rolnicy gospodarujący na obszarach bliskich średniemu arealowi chcieliby wprowadzić energetyczne wykorzystanie biomasy odpadowej uwzględniające ekonomicznie uzasadnioną produkcję energii elektrycznej, należałoby tworzyć grupy rolników (tzw. spółdzielnie energetyczne), tak by nakłady inwestycyjne były dzielone na większą liczbę gospodarstw. Dla wyników analizy nie ma jednak znaczenia, czy właścicielem instalacji będzie jeden przedsiębiorca gospodarujący na areale 500 ha, czy będą to zrzeszeni rolnicy ponoszący wspólnie koszty, ale zyskujący również przychody z energetycznego wykorzystania biomasy na cele energetyczne w ramach spółdzielni energetycznej, rozumianej zgodnie z Ustawą o OZE z dnia 20 lutego 2015 r. oraz Ustawą z dnia 16 września 1982 r. Prawo Spółdzielcze (Dz.U. z 2017 r. poz. 1560 i 1596), zgodnie z którymi przedmiotem działalności spółdzielni energetycznej jest wytwarzanie energii elektrycznej lub biogazu lub ciepła, w instalacjach odnawialnego źródła energii i równoważenie zapotrzebowania energii elektrycznej lub biogazu lub ciepła, wyłącznie na potrzeby własne spółdzielni energetycznej i jej członków, przyłączonych do zdefiniowanej obszarowo sieci dystrybucyjnej elektroenergetycznej o napięciu znamionowym niższym niż 110 kV lub sieci dystrybucyjnej gazowej lub sieci ciepłowniczej.

Typ instalacji wpływa nie tylko na nakłady inwestycyjne, ale przede wszystkim na sprawność konwersji energii oraz jej rodzaj (ciepło lub energia elektryczna). Ponieważ w ostatnich latach dużą popularnością cieszą się instalacje ORC (z ang. Organic Rankine Cycle) ze względu na krótkie okresy zwrotu i stosunkowo nieduże nakłady inwestycyjne założono, że wykorzystanie energetyczne biomasy będzie odbywało się w takiej instalacji o mocy dobranej na podstawie uzysku słomy i jej wartości opałowej. Instalacje ORC realizują obieg termodynamiczny Claus'a Rankine'a (obieg, który realizują węglowe elektrownie z kotłami parowymi), lecz woda (ze względu na duże ciepło parowania) jest tutaj zastępowana czynnikiem organicznym (najczęściej jest to olej silikonowy). W ostatnich latach obserwuje się dużą popularność tych instalacji, ze względu na krótkie okresy zwrotu, dużą niezawodność i ciągłość produkcji. Nowoczesna automatyka umożliwia utrzymanie prędkości obrotowej turbiny 3 000 obr·min<sup>-1</sup>, co pozwala na produkcję energii elektrycznej o pożądanej częstotliwości 50 Hz. Instalacja nie generuje problemów dla systemu elektroenergetycznego, co jest jej zaletą, na przykład przy porównaniu z elektrownią wiatrową.

W celu maksymalizacji zysku i ograniczenia zużycia paliwa (które nie jest odpadem a głównym kosztem eksploatacyjnym tej działalności) przyjmuje się, że instalacja będzie produkować energię w dzień z 3 powodów:

1. Cena energii produkowanej w szczycie może być wyższa (przy odpowiednim doborze taryfy w sytuacji rozliczania wyprodukowanej energii ze spółką dystrybucyjną),
2. Instalacja nie może być pozostawiona bez nadzoru, co wymuszałoby pracę człowieka w nocy,
3. Jednostkowy koszt instalacji ( $\text{zł} \cdot \text{kW}^{-1}$  zainstalowanej mocy elektrycznej) maleje wraz ze wzrostem jej mocy nominalnej.

Praca w dzień oznacza obliczeniowy roczny czas produkcji energii  $4\,000 \text{ h} \cdot \text{rok}^{-1}$  z uwzględnieniem, że instalacja będzie posiadać bufor ciepła (zaizolowany zbiornik z wodą o objętości  $20 \text{ m}^3$ ) by umożliwić wykorzystanie ciepła na ogrzewanie także w nocy.

Sprawność instalacji ORC została określona na podstawie danych producenta, który podaje sprawność kotła parowego 82,5% (www1). Jest to wartość, którą można wziąć do obliczeń, ponieważ w umowie zakupu instalacji zapisana jest odpowiedzialność producenta za podaną sprawność w całym okresie gwarancyjnym. W analizach można utożsamiać sprawność kotła ze sprawnością całej instalacji. Wynika to z faktu, że prawie wszystkie straty energii pojawiają się w kotle (strata wylotowa, niezupełnego spalania, niecałkowitego spalania, strata w gorącym żużlu i popiele). Wyjątkiem jest tylko strata promieniowania i strata konwersji ciepła na energię elektryczną. Strata promieniowania dotyczy w największej części kotła (który jest urządzeniem o największej powierzchni i temperaturze) a w znikomej części pozostałych maszyn i urządzeń (turbina, generator, kondensator, pompy, wentylatory). Dla samego kotła strata ta jest niewielka (poniżej 1%). Strata konwersji ciepła na energię elektryczną uwzględnia sprawności turbiny i generatora, które są wysokie (powyżej 97%).

Ponieważ określono już wymagane dane, możliwy jest dobór instalacji ORC urządzenia. Przyjęte wartości do obliczeń mocy instalacji:

- obliczeniowa powierzchnia upraw pszenicy: 500 ha,
- średni uzysk słomy:  $3,75 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ,
- wartość opałowa:  $15 \text{ GJ} \cdot \text{Mg}^{-1}$ ,
- sprawność instalacji ORC: 82,5%.

Iloczyn „obliczeniowej powierzchni upraw” i „średniego uzysku słomy” pozwala określić ilość dostępnej biomasy, która wyniosła tutaj  $1\,875 \text{ Mg} \cdot \text{rok}^{-1}$ . Po pomnożeniu przez wartość opałową słomy otrzymuje się roczną ilość energii dostarczonej do instalacji z paliwem biomasowym, która wyniosła  $28\,125 \text{ GJ} \cdot \text{rok}^{-1}$ . Po zamianie na MWh ( $7812,5 \text{ GJ} \cdot \text{rok}^{-1}$ ) i podzieleniu przez roczną długość pracy instalacji (4 000 h) otrzymuje się moc w paliwie 1,953 MW. W celu określenia rzeczywistej mocy instalacji należy uwzględnić jej spraw-

ność poprzez pomnożenie sprawności (0,825) razy moc w paliwie. Otrzymany wynik: **1,611 MW** jest mocą instalacji ORC.

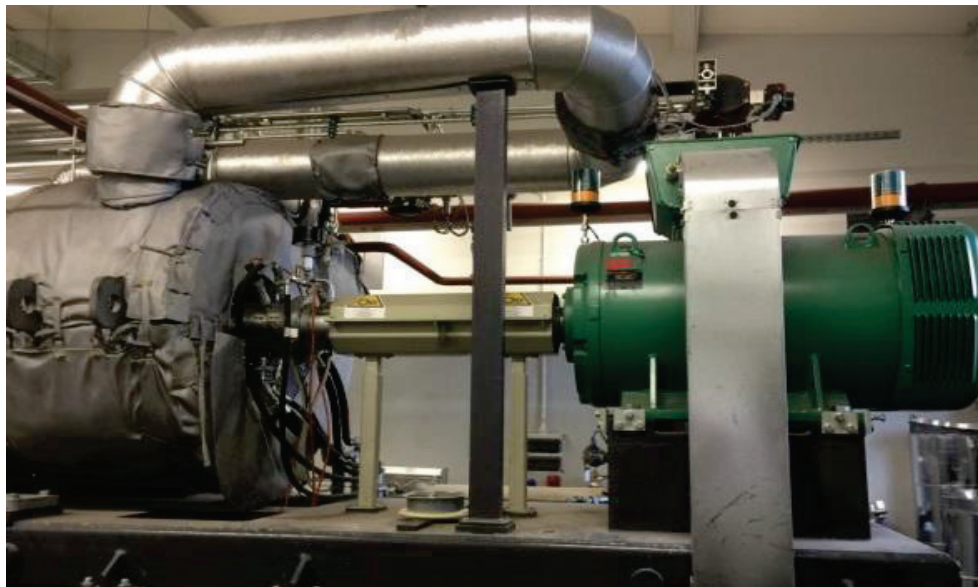
Jako instalację wybrano układ kogeneracyjny złożony z kotła biomasowego pokazanego na rysunku 5 oraz turbiny ORC (rysunek 6), o mocy elektrycznej 0,240 MW<sub>el</sub> i mocy cieplnej 1,238 MW<sub>t</sub>. Instalacja taka jest eksploatowana w Żychlinie w województwie łódzkim, w powiecie kutnowskim (www1).

Kocioł jest specjalnie zaprojektowany do spalania biomasy. Jak podaje producent (www1) posiada on:

1. układ podawania paliwa do komory spalania posiada zabezpieczenia przeciwpożarowe (eliminowane jest zagrożenie pożarem wstecznym), oraz umożliwia wprowadzanie biomasy o ponadstandardowych gabarytach,
2. kocioł jednociągowy (co wydatnie zmniejsza zanieczyszczanie popiołem powierzchni ogrzewalnych, brak jest także newralgicznych na zanieczyszczenia elementów kotłów dwuciągowych np. grodzi i festonu),



*Rysunek 5. Kocioł biomasowy w ORC Żychlin (www1)*



Rysunek 6. Turbina ORC (po lewej) i generator elektryczny (po prawej) w ORC Żychlin (www1)

3. ruszt schodkowy z możliwością samooczyszczania. W wyniku dość wysokiego współczynnika rozszerzalności termicznej rusztownicy po ostygnięciu oczyszczają się ze szlaki i innych osadów,
4. ruszt o wysokiej zawartości:
  - a. chromu (Cr) dającą właściwości antykorozyjne i wytrzymałość w wysokich temperaturach
  - b. niklu i molibdenu (Ni-Mo), co daje wysoką wytrzymałość na uderzenia i naprężenia mechaniczne.

Generator o mocy znamionowej 240 kW pokazany na rysunku 6, pozwala produkować energię elektryczną z mocą 216 kW netto, ponieważ część energii jest zużywana przez pompy, wentylatory i system kontrolno – pomiarowy.

#### 6.1.1. Obliczenie nakładów inwestycyjnych w ujęciu rocznym

Typowym podejściem stosowanym w analizach SROI dla określenia nakładów inwestycyjnych w ujęciu rocznym jest określenie rocznej amortyzacji dla środków trwałych zakupionych na potrzeby energetycznego wykorzystania biomasy, pod warunkiem, że okres amortyzacji jest równy okresowi analizy. Powinna być przyjęta amortyzacja liniowa, bez

dyskontowania (bez uwzględniania zmiany wartości pieniądza w czasie). Jeśli do realizacji zadania przypisane są środki o krótszej amortyzacji lub okres analizy jest inny niż 10 lat, należy obliczyć roczny udział nakładów inwestycyjnych dzieląc całkowitą wartość tych nakładów przez okres analizy. W omawianym przypadku przyjęto następujące nakłady inwestycyjne w ujęciu rocznym:

- Instalacja ORC 450 000 zł·rok<sup>-1</sup>,
- Ciągnik 44 800 zł·rok<sup>-1</sup>,
- Prasa zwijająca 4 105 zł·rok<sup>-1</sup>.

Instalacja ORC wraz z pracami montażowymi i instalatorskimi została wyceniona na 4,5 miliona zł. Nakłady inwestycyjne na ORC w ujęciu rocznym otrzymano po podzieleniu nakładów inwestycyjnych przez okres analizy (10 lat). Cenę ciągnika określono dla ciągnika CASE IH Quantum o mocy 65kW, którego koszt zakupu przyjęto 448 000 zł. Ostatnim urządzeniem jest prasa. Przyjęto, że zbiór i prasowanie słomy odbędzie się przy pomocy prasy zwijającej URSUS Z-543/A, której wydajność wynosi 1 ha·h<sup>-1</sup>, a cena zakupu to 41 050 zł.

### 6.1.2. Obliczenia wpływów socjalnych

Wpływy socjalne zostały obliczone zgodnie z metodyką SROI (podrozdział 5.1.2) i podane w tabeli, w kolejności obliczeń. W tabeli 1 **zapisano pogrubioną czcionką wielkości** obliczone przy użyciu wzorów opisujących metodykę. Pozostałe wielkości określono przez sporządzającego analizę SROI.

Tabela 1.

*Zestawienie danych wejściowych i wyników obliczeń dla określenia wpływów socjalnych*

| L.p. | Opis                                        | Wartość   | Jednostka           |
|------|---------------------------------------------|-----------|---------------------|
| 1.   | Uprawiany areal                             | 500       | ha                  |
| 2.   | Uzysk biomasy                               | 3,75      | Mg·ha <sup>-1</sup> |
| 3.   | Cena biomasy                                | 200       | zł·Mg <sup>-1</sup> |
| 4.   | <b>Wartość netto wyprodukowanej energii</b> | 1 483 875 | zł                  |
| 5.   | Jednostkowy koszt pozyskania biomasy        | 26        | zł·h <sup>-1</sup>  |
| 6.   | Wydajność pozyskania biomasy                | 1         | ha·h <sup>-1</sup>  |
| 7.   | <b>Koszt transportu</b>                     | 7931,25   | zł                  |
| 8.   | <b>Koszt magazynowania</b>                  | 5043,75   | zł                  |
| 9.   | <b>Całkowity koszt pozyskania biomasy</b>   | 33 475    | zł                  |
| 10.  | <b>Biomasa sprzedana, wartość netto</b>     | 375 000   | zł                  |
| 11.  | <b>Zysk netto dla rolnika</b>               | 182,15    | zł·Mg <sup>-1</sup> |

| L.p. | Opis                                                    | Wartość | Jednostka                           |
|------|---------------------------------------------------------|---------|-------------------------------------|
| 12.  | <b>Wyprodukowana energia</b>                            | 23 203  | GJ                                  |
| 13.  | <b>Średnia rynkowa cena energii</b>                     | 52,76   | zł·GJ <sup>-1</sup>                 |
| 14.  | Cena ciepła                                             | 45,00   | zł·GJ <sup>-1</sup>                 |
| 15.  | Cena energii elektrycznej                               | 97,22   | zł·GJ <sup>-1</sup>                 |
| 16.  | Udział ciepła (reszta to en. El.)                       | 0,8514  | -                                   |
| 17.  | Wartość opałowa biomasy                                 | 15      | GJ·Mg <sup>-1</sup>                 |
| 18.  | <b>Przychód netto za wyprodukowaną energię</b>          | 49,23   | zł·GJ <sup>-1</sup>                 |
| 19.  | <b>Redukcja emisji CO<sub>2</sub></b>                   | 2645,16 | Mg <sub>CO2</sub>                   |
| 20.  | Współczynnik emisji CO <sub>2</sub> dla paliw kopalnych | 0,114   | Mg <sub>CO2</sub> ·GJ <sup>-1</sup> |
| 21.  | Koszt emisji CO <sub>2</sub>                            | 81,94   | zł·Mg <sub>CO2</sub> <sup>-1</sup>  |
| 22.  | <b>Roboczo-godziny dodatkowej pracy</b>                 | 500     | h                                   |
| 23.  | Wynagrodzenie pracownika                                | 15      | zł·h <sup>-1</sup>                  |
| 24.  | Akceptowalny wzrost ceny                                | 0,179   | -                                   |
| 25.  | Sprawność konwersji energii                             | 0,825   | -                                   |

Uprawiany areal (poz. 1) i uzysk biomasy (poz. 2) zostały określone zgodnie z informacjami zawartymi w podrozdziale 6.1. Cenę biomasy (poz. 3) przyjęto na podstawie zapytań kierowanych do rolników i analizy informacji w internetowych portalach rolniczych. Cena słomy jest mocno zróżnicowana w zależności od regionu, rodzaju słomy i stopnia jej skompresowania. Obecnie cena słomy rośnie ze względu na suszę i na duży popyt rynku niemieckiego. Wartość netto wyprodukowanej energii (poz. 4) została obliczona zgodnie ze wzorem 10. Jednostkowy koszt pozyskiwania biomasy (poz. 5) to sumaryczny koszt pracy maszyn (koszty eksploatacyjne ciągnika z prasą zwijającą do zbioru słomy, w szczególności paliwo) i inne koszty związane z samym procesem pozyskiwania biomasy, natomiast wydajność pozyskiwania słomy (poz. 6) została przyjęta na podstawie danych producenta. Koszt transportu (poz. 7) został określony w oparciu o dane przedstawione w tabeli 2.

Tabela 2.

*Wyniki obliczeń kosztu transportu*

|                              |        |                     |
|------------------------------|--------|---------------------|
| Masa 1 beli                  | 220    | kg                  |
| Objętość beli                | 1,36   | m <sup>3</sup>      |
| Gęstość                      | 162,18 | kg·m <sup>-3</sup>  |
| Objętość ciężarówki          | 102    | m <sup>3</sup>      |
| Masa biomasy na 1 ciężarówce | 16,54  | Mg                  |
| Koszt 1 km                   | 3,5    | zł·km <sup>-1</sup> |
| Średnia odległość            | 20     | km                  |
| Koszt jednostkowy transportu | 4,23   | zł·Mg <sup>-1</sup> |

Koszt transportu to ilość pozyskanej biomasy ( $1\,875\text{ Mg}\cdot\text{rok}^{-1}$ ) pomnożony przez jednostkowy koszt transportu ( $4,23\text{ zł}\cdot\text{Mg}^{-1}$ ). Koszt magazynowania został określony na podstawie obliczeń masy bel zajmujących powierzchnię  $1\text{ m}^2$  i średniego kosztu wynajęcia powierzchni magazynowej. Masa beli wyniosła  $0,407\text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ , natomiast koszt powierzchni magazynowej  $6\text{ zł}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$  został powiększony o 10% by uwzględnić koszt pracy maszyn załadowniczo wyładowniczych i wyniósł  $6,6\text{ zł}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ . Po pomnożeniu obu wartości otrzymano jednostkowy koszt magazynowania  $2,69\text{ zł}\cdot\text{Mg}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ , który po pomnożeniu przez pozyskaną ilość słomy ( $1\,875\text{ Mg}\cdot\text{rok}^{-1}$ ) pozwala obliczyć łączny koszt magazynowania  $5043,75\text{ zł}\cdot\text{rok}^{-1}$  (poz. 8). Całkowity koszt pozyskania biomasy (poz. 9) obliczono zgodnie ze wzorem 6, wartość netto biomasy sprzedanej (poz. 10) zgodnie ze wzorem 5, zysk netto dla rolnika (poz. 11) wg wzoru 4, ilość wyprodukowanej energii (poz. 12) zgodnie ze wzorem 8, a średnią rynkową cenę energii (poz. 13) zgodnie ze wzorem 11. Cenę ciepła (poz. 14) przyjęto  $45\text{ zł}\cdot\text{GJ}^{-1}$  (na rynku dolnośląskim waha się ona w granicach  $30\div 60\text{ zł}\cdot\text{GJ}^{-1}$ ) natomiast energii elektrycznej  $350\text{ zł}\cdot\text{MWh}^{-1}$ , co po przeliczeniu daje  $97,22\text{ zł}\cdot\text{GJ}^{-1}$  (poz. 15). Udział ciepła (poz. 16) określono na podstawie informacji producenta instalacji ORC, który podaje, że pozwala ona produkować ciepło z mocą  $1,238\text{ MW}$ , natomiast energię elektryczną z mocą netto  $0,216\text{ MW}$  (www1). Całkowita łączna moc instalacji to  $1,454\text{ MW}$ , z czego ciepło stanowi 85,14%. Wartość opałową biomasy (poz. 17) przyjęto  $15\text{ GJ}\cdot\text{Mg}^{-1}$  zgodnie z dyskusją przeprowadzoną w podrozdziale 5.2 a przychód netto za wyprodukowaną energię (poz. 18) obliczono zgodnie ze wzorem 9. Łączną roczną redukcję emisji  $\text{CO}_2$  (poz. 19), rozumianą jako emisję unikniętą dzięki zastąpieniu paliwa kopalnego biomasą, obliczono zgodnie ze wzorem 13, natomiast współczynnik emisji dla paliw kopalnych (poz. 20) jako średnią ważoną emisji dla ciepła wyprodukowanego z węgla ( $0,096\text{ Mg}_{\text{CO}_2}\cdot\text{GJ}^{-1}$ ) i energii elektrycznej wyprodukowanej w elektrowni węglowej ( $0,217\text{ Mg}_{\text{CO}_2}\cdot\text{GJ}^{-1}$ ). Wagami są udziały poszczególnych form energii tj. 85,14% ciepło i 14,86% energia elektryczna. Z kolei koszt emisji  $\text{CO}_2$  określono na podstawie europejskiej giełdy handlu uprawnieniami do emisji  $\text{CO}_2$  (www2). Na koniec 2018 roku koszt ten wynosił  $19,51\text{ EUR}\cdot\text{Mg}_{\text{CO}_2}^{-1}$ , co po przeliczeniu wyniosło  $81,94\text{ zł}\cdot\text{Mg}_{\text{CO}_2}^{-1}$ . Roboczogodziny dodatkowej pracy (poz. 22) obliczono zgodnie ze wzorem 15. Z kolei wynagrodzenie pracownika (poz. 23) określono na podstawie najniższych stawek płaconych w powiecie wrocławskim. Akceptowalny wzrost ceny (poz. 24) przyjęto na podstawie badań ankietowych, które przeprowadzono wśród studentów kierunków technika rolnicza i leśna, oraz odnawialne źródła energii i gospodarka odpadami. Studenci odpowiadali na pytanie „O ile więcej zapłaciłbyś za energię, jeśli byłaby ona produkowana lokalnie ze źródeł odnawialnych?”. Udzielono 42 odpowiedzi, średnia wartość wyniosła 17,9%, mediana (wartość najczęstsza) wyniosła 15%, minimum 0%, maksimum 100% a odchylenie standardowe 17,47%. Sprawność instalacji (poz. 25) została przyjęta zgodnie z dyskusją przeprowadzoną w podrozdziale 6.4. Finalne wpływy socjalne pokazano w tabeli 3 i zostały one obliczone w oparciu o wzory podane w podrozdziale 5.1.2: wzór 3 (poz. 1), wzór 7 (poz. 2), wzór 12 (poz. 3), wzór 14 (poz. 4) oraz wzór 16 (poz. 5).

Tabela 3.

*Wyniki obliczeń wpływów socjalnych, P-producent, K-konsument*

| L.p. | Opis                                                | Ilość    | Wartość jednostkowa, zł | Wynik, zł    |
|------|-----------------------------------------------------|----------|-------------------------|--------------|
| 1.   | Wpływ wytwarzanej energii na rolników (P)           | 1 875    | 182,15                  | 341 525,00   |
| 2.   | Wpływ użytkowania biomasy na producenta energii (P) | 23 203   | 49,23                   | 1 142 350,00 |
| 3.   | Redukcja gazów cieplarnianych (K)                   | 2 645,16 | 81,94                   | 216 744,10   |
| 4.   | Stworzenie nowych miejsc pracy (K)                  | 500      | 15,00                   | 7 500,00     |
| 5.   | Odpowiedzialność za produkt (K)                     | 23 203   | 9,44                    | 219 131,24   |

Analiza wpływów socjalnych pokazanych w tabeli 3 pozwala zauważyć, że są one największe dla producenta energii (którym może być rolnik) a nie dla rolnika. Wynika to z dużej wartości dodanej do słomy pszennej, gdy jest ona surowcem (paliwem) do produkcji energii elektrycznej. Wpływ analizowanej działalności na rolnika jest także mniejszy, ponieważ ceny słomy nie są wysokie (np. porównując z rynkiem niemieckim). Małe są też zyski socjalne ze stworzenia nowych miejsc pracy (których ilość nie zostanie wydawnie zwiększona, ponieważ stosuje się wysoki stopień mechanizacji). Znaczny jest natomiast społeczny efekt środowiskowy, którego podstawą jest próba monetaryzacji wpływu na zdrowie lokalnej społeczności i na środowisko, oraz efekt społeczny (odpowiedzialność za produkt) wyrażający dumę mieszkańców (rolników) z faktu, że są producentami energii elektrycznej w nowoczesnej instalacji wykorzystującej odpady z ich produkcji rolnej.

### 6.1.3. Obliczenie wskaźnika SROI

Łączne roczne wpływy socjalne wyniosły 1 927 250,34 zł, a po podzieleniu ich przez nakłady inwestycyjne w ujęciu rocznym 498 905,00 zł otrzymano społeczny zwrot nakładów (wzór 2) **SROI=3,863**. Oznacza to, że każda złotówka zainwestowana w wykorzystanie słomy na cele energetyczne przyniesie 3,86 zł społecznego zwrotu nakładów, którego beneficjentami będą zarówno:

- rolnicy dostarczający biomasę,
- producenci nośników energii (którymi też powinni być rolnicy),
- lokalna społeczność, która
  - dba o bilans CO<sub>2</sub> (zmniejszając też emisję w skali całej Polski, która podpisała zobowiązania międzynarodowe o redukcji emisji CO<sub>2</sub> i innych gazów cieplarnianych),
  - jest zadowolona, że energia produkowana jest w nowoczesnej instalacji z ekologicznego paliwa (słoma jest definiowana jako paliwo zeroemisyjne),

- ma do dyspozycji dodatkowe ciepło odpadowe, które może być zagospodarowane do suszenia zbóż (w warunkach powiatu wrocławskiego głównie rzepaku i kukurydzy) lub sprzedawane na cele grzewcze lub hodowlane.

Wynik uwzględnia zyski socjalne, które w dużej części nie są brane pod uwagę w analizach ekonomicznych.

## 6.2. Analiza porównawcza zbliżonych działalności

Porównanie zbliżonych działalności wykonano dla dwóch modeli biznesowych polegających na wykorzystaniu na cele energetyczne biomasy z pozostałości sadowniczych:

1. Sady Trzebnica,
2. Jura Szwabska.

W obu przypadkach wykonano analizy socjalne wykorzystania biomasy powstałej w wyniku przycinania gałęzi drzew i jest to najciekawsze z naukowego punktu widzenia zestawienie, ponieważ zawiera przeciwstawne modele biznesowe. Na przykładzie Jury Szwabskiej zilustrowano nietypową sytuację, gdy praca świadczona przez pracownika nie podlega wycenieniu, a określana jest jako hobby (najczęstsza odpowiedź ankietowanych).

Przytaczane dwa modele biznesowe zostały wytypowane do porównania, ponieważ:

- mają obszary wspólne, umożliwiające zastosowanie tych samych wskaźników socjalnych i ich monetaryzację,
- generują różne wyniki zarówno socjalne jak i ekonomiczne,
- wyniki ekonomiczne są odmienne od wyników analiz socjalnych, co jest dobrym przykładem, że analizy socjalne potrafią dostarczać wiedzy uzupełniającej analizy ekonomiczne.

### 6.2.1. Zestawienie danych wejściowych

W celu ułatwienia porównania obu działalności (Sady Trzebnica i Jura Szwabska) zestawiono dane wejściowe potrzebne do obliczenia wskaźników socjalnych oraz nakłady inwestycyjne w ujęciu rocznej amortyzacji liniowej, bez dyskontowania. Okres analizy to 10 lat.

Dla Sadów Trzebnica łączne nakłady inwestycyjne wynoszą  $77\ 100\ \text{zł} \cdot \text{rok}^{-1}$ , roczna amortyzacja maszyn wynosi  $65\ 100\ \text{zł} \cdot \text{rok}^{-1}$  a pozostałe roczne koszty („inne” koszt paliwa i pracy ludzkiej) przypisane do zbiórki gałęzi szacuje się na  $12\ 000\ \text{zł} \cdot \text{rok}^{-1}$ . Maszyny zakupione na potrzeby pozyskania biomasy, podlegające amortyzacji generują koszty:

- prasa do gałęzi,  $11\ 200\ \text{zł} \cdot \text{rok}^{-1}$ ,
- maszyna do zbierania gałęzi (windrower),  $2\ 600\ \text{zł} \cdot \text{rok}^{-1}$ ,
- ciągnik rolniczy CASE IH Quantum 65kW,  $44\ 800\ \text{zł} \cdot \text{rok}^{-1}$ .

Dla Jury Szwabskiej analizie poddano małe gospodarstwa na obszarze ok. 4 000 ha i dla nich łączne nakłady inwestycyjne wyniosły (po przeliczeniu na złotówki) **149 600 zł·rok<sup>-1</sup>**. Nakłady te uwzględniały:

- łączną roczną amortyzację maszyn i urządzeń (samochody osobowe i dostawcze, rębaki, przyczepy itp.), 60 000 zł·rok<sup>-1</sup>,
- łączną roczną amortyzację urządzeń grzewczych do spalania gałęzi, 76 000 zł·rok<sup>-1</sup>,
- inne nakłady (głównie paliwo), 13 600 zł·rok<sup>-1</sup>.

Dane potrzebne do obliczenia wskaźników a w dalszym kroku wpływów socjalnych zostały zestawione w tabeli 4.

Tabela 4.

*Zestawienie danych wejściowych i wyników obliczeń do analizy porównawczej dwóch modeli biznesowych*

| L.p. | Opis                                                    | Sady Trzebnica | Jura Szwabska | Jednostka                           |
|------|---------------------------------------------------------|----------------|---------------|-------------------------------------|
| 1.   | Uprawiany areal                                         | 90             | 4 000         | ha                                  |
| 2.   | Uzysk biomasy                                           | 4,50           | 1,00          | Mg·ha <sup>-1</sup>                 |
| 3.   | Cena biomasy                                            | 300            | 60            | zł·Mg <sup>-1</sup>                 |
| 4.   | Wartość netto wyprodukowanej energii                    | 182 250        | 2 796 000     | zł                                  |
| 5.   | Jednostkowy koszt pozyskania biomasy                    | 104            | 12            | zł·h <sup>-1</sup>                  |
| 6.   | Wydajność pozyskania biomasy                            | 2,00           | 0,10          | ha·h <sup>-1</sup>                  |
| 7.   | Koszt transportu                                        | 1 263,60       | 12 480,00     | zł                                  |
| 8.   | Koszt magazynowania                                     | 370,98         | 0,00          | zł                                  |
| 9.   | Całkowity koszt pozyskania biomasy                      | 6 989,58       | 0,00          | zł                                  |
| 10.  | Biomasa sprzedana, wartość netto                        | 121 500,00     | 0,00          | zł                                  |
| 11.  | Zysk netto dla rolnika                                  | 282,74         | 0,00          | zł·Mg <sup>-1</sup>                 |
| 12.  | Wyprodukowana energia                                   | 5 163,75       | 51 000,00     | GJ                                  |
| 13.  | Średnia rynkowa cena energii                            | 30,00          | 46,60         | zł·GJ <sup>-1</sup>                 |
| 14.  | Cena ciepła                                             | 30,00          | 46,60         | zł·GJ <sup>-1</sup>                 |
| 15.  | Cena energii elektrycznej                               | 85,00          | 83,33         | zł·GJ <sup>-1</sup>                 |
| 16.  | Udział ciepła (reszta to en. El.)                       | 1,00           | 1,00          | -                                   |
| 17.  | Wartość opałowa biomasy                                 | 15             | 15            | GJ·Mg <sup>-1</sup>                 |
| 18.  | Przychód netto za wyprodukowaną energię                 | 13,12          | 54,82         | zł·GJ <sup>-1</sup>                 |
| 19.  | Redukcja emisji CO <sub>2</sub>                         | 495,72         | 4 896,00      | Mg <sub>CO2</sub>                   |
| 20.  | Współczynnik emisji CO <sub>2</sub> dla paliw kopalnych | 0,096          | 0,096         | Mg <sub>CO2</sub> ·GJ <sup>-1</sup> |
| 21.  | Koszt emisji CO <sub>2</sub>                            | 60             | 60            | zł·Mg <sub>CO2</sub> <sup>-1</sup>  |
| 22.  | Roboczo-godziny dodatkowej pracy                        | 45             | 40 000        | h                                   |
| 23.  | Wynagrodzenie pracownika                                | 15             | 16            | zł·h <sup>-1</sup>                  |
| 24.  | Akceptowalny wzrost ceny                                | 0,15           | 0,15          | -                                   |
| 25.  | Sprawność konwersji energii                             | 0,85           | 0,85          | -                                   |

W tabeli 4 zwraca uwagę różnica w cenie biomasy, mimo że obie ceny są rynkowymi. W przypadku Sadów Trzebnica jest to cena, którą płaci odbiorca biomasy. W przypadku Jury Szwabskiej cena ta jest wyraźnie niższa ze względu na niski popyt. W zwyczaju jest tam pozyskiwanie biomasy we własnym zakresie (co zilustrowano na rysunku 4) i spalanie na cele grzewcze w kotłach lub piecach, a nie kupowanie tej biomasy na rynku. Komory spalania większości urządzeń są przystosowane do spalania rozdrobnionych gałęzi.

Znaczącą różnicą jest też godzinowy koszt pozyskiwania biomasy. W przypadku Jury Szwabskiej jest on niższy, ponieważ jest to koszt ludzkiej pracy pomnożonej przez godzinową stawkę, jaką płaci się w tym regionie za pracę fizyczną. Koszt pozyskiwania biomasy w Sadach Trzebnica uwzględnia pracę maszyn i wysoko wykwalifikowanych pracowników. Jest to odzwierciedlone w wydajności pozyskiwania biomasy.

W obu przypadkach porównywalna jest sama biomasa (jej wartość opałowa) współczynnik unikniętej emisji CO<sub>2</sub> i jednostkowy koszt tej emisji.

Dla Jury Szwabskiej pojawiają się koszty zerowe dla magazynowania, kosztu pozyskiwania biomasy, zerowe są także wartość netto sprzedanej biomasy i zysk netto dla rolnika. Ponieważ rolnik nie sprzedaje biomasy oraz jej pozyskania nie traktuje jako pracy zarobkowej (tylko jak pracę domową) nie ma zysku z jej sprzedaży ani kosztów jej pozyskania. Podobnie magazynowanie, odbywa się w stosunkowo małych ilościach i na własny użytek (w drewnutniach lub w kotłowni). Nawet w takim przypadku nie można jednak powiedzieć, że biomasa nie ma swojej wartości. Ma bowiem wartość energetyczną, co stanowi koszt uniknięty zakupu paliw na cele grzewcze, stąd pojawia się obliczony jednostkowy przychód netto za wyprodukowaną energię.

### 6.2.2. Wpływy socjalne

Wpływy socjalne zostały obliczone zgodnie ze wzorami podanymi w rozdziale 5.1 i pokazane w formie tabel 5 i 6.

Tabela 5.

*Obliczone wpływy socjalne dla Sadów Trzebnica*

| L.p. | Opis                                                | Ilość  | Wartość jednostkowa, zł | Wynik, zł  |
|------|-----------------------------------------------------|--------|-------------------------|------------|
| 1.   | Wpływ wytwarzanej energii na rolników (P)           | 405    | 282,74                  | 114 510,42 |
| 2.   | Wpływ użytkowania biomasy na producenta energii (P) | 5 164  | 13,12                   | 67 739,00  |
| 3.   | Redukcja gazów cieplarnianych (K)                   | 495,72 | 60,00                   | 29 743,20  |
| 4.   | Stworzenie nowych miejsc pracy (K)                  | 45     | 15,00                   | 675,00     |
| 5.   | Odpowiedzialność za produkt (K)                     | 5 164  | 4,50                    | 23 236,88  |

Tabela 6.

*Obliczone wpływy socjalne dla Jury Szwabskiej*

| L.p. | Opis                                                | Ilość  | Wartość jednostkowa, zł | Wynik, zł    |
|------|-----------------------------------------------------|--------|-------------------------|--------------|
| 1.   | Wpływ wytwarzanej energii na rolników (P)           | 4000   | -                       | -            |
| 2.   | Wpływ użytkowania biomasy na producenta energii (P) | 51 000 | 54,82                   | 2 796 000,00 |
| 3.   | Redukcja gazów cieplarnianych (K)                   | 4896   | 60,00                   | 293 760,00   |
| 4.   | Stworzenie nowych miejsc pracy (K)                  | 40000  | 16,00                   | 640 000,00   |
| 5.   | Odpowiedzialność za produkt (K)                     | 51 000 | 6,99                    | 356 490,00   |

Tabele 5 i 6 zawierają ilości i wartości jednostkowe, pozwalające obliczyć wynik, będący wpływem socjalnym.

1. Dla wpływu produkowanej energii na rolników mierzalną wartością jest ilość biomasy, obliczona jako iloczyn uprawianego areалу razy uzysk biomasy. Wynik uzyskuje się poprzez pomnożenie ilości biomasy razy jednostkowy zysk netto dla rolnika (wyrażony w  $\text{zł} \cdot \text{Mg}^{-1}$ ). W przypadku Jury Szwabskiej wskaźnik ten jest równy zero, ponieważ biomasa nie jest sprzedawana, tylko użytkowana we własnym zakresie. Sytuacja ta sprawia, że rolnik jest w ujęciu końcowym producentem energii, a nie biomasy.
2. Wpływ użytkowania biomasy na producenta energii w przypadku Sadów Trzebnica są to przepływy pieniężne wygenerowane przez lokalnych producentów ciepła, dla Jury Szwabskiej jest to natomiast koszt uniknięty zakupu energii przez rolnika, który jest tutaj producentem energii. W obu przypadkach jest on obliczony jako wyprodukowana energia (GJ) pomnożona przez przychód netto za wyprodukowaną energię ( $\text{zł} \cdot \text{GJ}^{-1}$ ).
3. W obu przypadkach wynikiem dla redukcji gazów cieplarnianych jest redukcja emisji  $\text{CO}_2$  w  $\text{Mg}_{\text{CO}_2}$  (odniesiona do unikniętej emisji podczas spalania paliw kopalnych) pomnożona przez koszt emisji  $\text{CO}_2$  w  $\text{zł} \cdot \text{Mg}_{\text{CO}_2}^{-1}$ .
4. Stworzenie nowych miejsc pracy to ilość roboczogodzin dodatkowej pracy wygenerowanej w ramach ocenianego przedsięwzięcia. Dla Sadów Trzebnica jest to równoważne wynagrodzeniom pracowników, dla Jury Szwabskiej (gdzie praca zdefiniowana była jako hobby bądź prace domowe) jest to wskaźnik wirtualny ilości godzin pomnożonej przez średnią stawkę godzinową obowiązującą w badanym obszarze. W analizach socjalnych uwzględnia się wartość pracy, nawet jeśli nie podlega ona bezpośredniemu wynagrodzeniu. Uznaje się tutaj, że sama praca jest war-

tością (dającą m. in. poczucie przydatności dla społeczeństwa) a jej wykonywanie może przynosić inne efekty niż wynagrodzenie. W przypadku Jury Szwabskiej pozwala uniknąć kosztów pozyskania ciepła ze źródeł zewnętrznych, czy kosztów utylizacji nadmiarowej biomasy.

5. Odpowiedzialność za produkt jest obliczona na podstawie badań ankietowych i odpowiedzi na pytanie o ile więcej ankietowana osoba byłaby skłonna zapłacić za energię ekologiczną, produkowaną lokalnie. Jest to akceptowalny wzrost ceny, który stanowi wartość jednostkową ( $\text{zł} \cdot \text{GJ}^{-1}$ ). Akceptowalny wzrost ceny należy pomnożyć przez ilość energii wyprodukowaną w ramach ocenianego scenariusza (GJ).

Wyniki z obliczonych wpływów socjalnych po zsumowaniu i podzieleniu przez nakłady inwestycyjne pozwoliły określić wskaźniki SROI.

### 6.2.3. Porównanie wyników analizy

Porównanie wyników analizy wykonano w oparciu o dane prezentowane w tabeli 7.

Tabela 7.

*Zestawienie wyników obliczeń dla Sadów Trzebnica i Jury Szwabskiej*

| L.p. | Opis                                                    | Sady Trzebnica | Jura Szwabska |
|------|---------------------------------------------------------|----------------|---------------|
| 1.   | Wpływ wytwarzanej energii na rolników (P), zł           | 114 510,42     | -             |
| 2.   | Wpływ użytkowania biomasy na producenta energii (P), zł | 67 739,00      | 2 796 000,00  |
| 3.   | Redukcja gazów cieplarnianych (K), zł                   | 29 743,20      | 293 760,00    |
| 4.   | Stworzenie nowych miejsc pracy (K), zł                  | 675,00         | 640 000,00    |
| 5.   | Odpowiedzialność za produkt (K), zł                     | 23 236,88      | 356 490,00    |
| 6.   | Suma wpływów socjalnych (poz. 1, 2, 3, 4, 5), zł        | 235 904,50     | 4 086 250,00  |
| 7.   | Łączne nakłady inwestycyjne, zł                         | 77 100,00      | 149 600,00    |
| 8.   | <b>Obliczony wskaźnik SROI, -</b>                       | <b>3,06</b>    | <b>27,31</b>  |

Finalnym wskaźnikiem jest SROI, który oznacza, że dla Sadów Trzebnica każda złotówka zainwestowana w energetyczne wykorzystanie biomasy przynosi 3 zł wpływów socjalnych. Dla Jury Szwabskiej wskaźnik ten jest dużo wyższy i wynosi ponad 27 zł. Wynika to z dużej ilości wyprodukowanej energii (prawie dziesięciokrotnie więcej niż dla Sadów Trzebnica) a tylko dwukrotnie (dokładniej 1,94 razy) większe nakłady inwestycyjne. Wielu drobnych i rozproszonych użytkowników systemu pozyskiwania biomasy na cele

energetyczne, który cechuje się niską produktywnością (wydajność pozyskiwania biomasy) nie generuje wysokich kosztów inwestycyjnych (związanych z koniecznością zakupu maszyn) a pozwala wyprodukować dużą ilość rozproszonej energii. Dodatkowo dla Jury Szwabskiej koszty magazynowania i pozyskania biomasy są zerowe, co także podnosi wartość wskaźnika SROI.

### **6.3. Wpływ parametrów energetycznych biomasy na wskaźnik SROI**

Zyski społeczne z energetycznego wykorzystania biomasy są uzależnione od potencjału energetycznego tej biomasy (Szufa i in. 2012). Potencjał ten można wyrazić za pomocą wartości opałowej, która mocno wpłynie na wynik analizy SROI, co zostało potwierdzone analizą wrażliwości (podrozdział 6.6). Celowym jest więc wykonanie badań wartości opałowej analizowanej biomasy, lecz dla pełnego obrazu należy wykonać pogłębioną analizę wpływu innych parametrów. W niniejszym podrozdziale przedstawiono sposób podejścia do wyników badań laboratoryjnych i przeglądu literatury w celu wyboru najkorzystniejszego rodzaju biomasy.

#### **6.3.1. Określanie wartości opałowej biomasy na potrzeby wskaźnika SROI**

W podrozdziale podano przykłady analiz energetycznych wybranych rodzajów biomasy, z uwzględnieniem czynników mających wpływ na ich spalanie (analiza pogłębiona), a pośrednio na wyniki analizy SROI. Do badań wybrano następujące materiały pochodzenia roślinnego:

1. słoma pszenna,
2. masłosz,
3. drewno odpadowe.

Słoma pszenna została wybrana do analiz m. in. ze względu na jej duże ilości w polskim rolnictwie (Schmidt 2007), oraz na fakt, że była przedmiotem analiz opisanych na początku niniejszego rozdziału. Wykorzystanie masłosza na cele energetyczne miało zastosowanie we wrocławskiej energetyce (był współpalany z węglem w elektrociepłowni wrocławskiej), a paliwo to jest dobrym przykładem wpływu pochodzenia biomasy na efekt środowiskowy. Z kolei drewno odpadowe uważane jest za bardzo dobrą biomasę do spalania (Gołos, Kaliszewski 2015; Sadowski 2013), co skutkuje faktem, że jest to najczęściej używana biomasa w instalacjach energetycznych.

### 6.3.2. Wyniki pomiarów i obliczeń wartości opałowej biomasy

W celu określenia wartości opałowej dla każdej z biomas postępowano zgodnie z metodą badań:

1. mierzono ciepło spalania za pomocą kalorymetru automatycznego KL-10,
2. określano zawartość wilgoci analitycznej (przy pomocy suszarki laboratoryjnej SLN STD 53/115/240),
3. badano skład elementarny (CHNS), ze szczególnym uwzględnieniem ilości wodoru w stanie analitycznym. Badania były zlecane certyfikowanemu laboratorium, posiadającemu akredytację o numerze AB 1293, wydaną przez Polskie Centrum Akredytacji,
4. obliczano wartość opałową,
5. wykonano pogłębioną analizę przydatności do spalania z uwzględnieniem składu elementarnego i analizy tlenkowej popiołów.

Każde badanie wykonano dla 10 próbek, a uśrednione wyniki podano w tabeli 8.

Tabela 8.

*Zestawienie średnich wyników pomiarów i obliczeń dla wybranych rodzajów biomasy*

| L.p. | Biomasa                                          | Słoma<br>pszenna | Masłosz | Drewno<br>odpadowe |
|------|--------------------------------------------------|------------------|---------|--------------------|
| 1.   | Ciepło spalania, $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$  | 16 038           | 17 947  | 23 183             |
| 2.   | Zawartość wilgoci w stanie analitycznym, %       | 5,10             | 6,91    | 11,7               |
| 3.   | Zawartość wodoru, %                              | 5,87             | 6,57    | 8,71               |
| 4.   | Ciepło parowania, $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ | 1 406            | 1 603   | 2 187              |
| 5.   | Wartość opałowa, $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$  | 14 632           | 16 344  | 20 996             |

Zmierzone ciepło spalania, zawartość wilgoci w stanie analitycznym ( $W^a$ ) oraz zawartość wodoru ( $H^a$ ) posłużyły do obliczenia ciepła parowania i wartości opałowej. Zgodnie z analizą wrażliwości (rozdział 0) wartość opałowa jest istotnym parametrem mającym wpływ na wskaźnik SROI, ale analiza powinna również uwzględniać inne aspekty wpływające na proces (a w efekcie na sprawność) spalania lub na efekty środowiskowe w analizach pogłębionych. Wpływ innych składników biomasy na proces spalania zilustrowano na przykładzie słomy, wpływ pochodzenia biomasy na efekty środowiskowe podano na przykładzie masłosza.

### 6.3.3. Analiza przydatności energetycznej dla słomy pszennej

Jak podają źródła literaturowe spalanie słomy (nie tylko pszennej) jest problematyczne, ze względu na wyższą zawartość metali alkalicznych, głównie potasu i sodu (Jenkins i in. 1998; Demirbas 2004; Steenari i in. 1998; Olanders 1995; Llorente 2008; Nielsen 2008; Sander i in. 1997), które powodują obniżanie temperatury mięknięcia popiołu. Proces mięknięcia popiołu może zaczynać się już w temperaturze 800°C (Steenari 1998). Ponadto potas i sód (K, Na) gdy występują razem z chlorem (Cl) przyczyniają się do powstawania związków (KCl, NaCl), które osadzając się na powierzchniach ogrzewalnych kotłów i pieców na biomasę mogą powodować korozję wysokotemperaturową (Nielsen 2000; Hansen i in. 2000) zwłaszcza w miejscach powstawania osadów. Parametry chemiczne słomy zmieniają się wraz z wilgotnością. Inna jest zawartość chloru dla słomy żółtej, inna dla szarej.

Wilgotność paliwa wpływa nie tylko na jego wartość opałową, ale jest też istotna przy granulacji. W przypadku kompaktowania słomy jęczmienia (np. peletyzacji) w literaturze podaje się optymalną wilgotność w zakresie od 19 do 23% (Serrano i in. 2011). Dla słomy pszenicznej optymalna zawartość wilgoci wynosi 9-14% (Theerarattananoon i in. 2001). W niektórych pracach podaje się również wilgotność stosowaną do peletowania słomy pszenicznej 9% lub około 10% (Stelte i in. 2011). Peletowanie słomy jest trudniejsze niż granulacja drewna ze względu na obecność warstwy wosku na powierzchni słomy, która utrudnia wiązanie wodorowe. Dlatego pelety ze słomy mają gorsze właściwości mechaniczne niż pelety z drewna.

Wszystkie te aspekty powinny być uwzględniane w analizie SROI. Zawartość potasu i sodu mające wpływ na szlakowanie kotła lub pieca na biomasę wpłynie na sprawność i koszty eksploatacyjne instalacji, natomiast zawartość chloru może spowodować zagrożenie korozją wysokotemperaturową a w efekcie doprowadzić do awarii, wzrostu kosztów eksploatacyjnych (konieczność odstawienia i remontu instalacji) oraz zmniejszenia ilości wyprodukowanej energii.

### 6.3.4. Analiza efektów środowiskowych dla masłosza

Biomasą, którą uważa się za bardzo dobre paliwo energetyczne jest masłosz, a dokładniej orzechy drzewa **masłosza Parka**. Masłosz Parka zwany także drzewem masłowym (*Bassia Parkii De Condolle*) nie występuje w Polsce, a w Centralnej i Zachodniej Afryce (www2). Mimo to paliwo to zostało uznane za wartościowe, głównie na podstawie analizy dwóch parametrów: wysokiej wartości opałowej, powyżej 16 MJ·kg<sup>-1</sup> i dużej zawartości części lotnych (powyżej 60%), co sprawia, że biomasa ta jest łatwa w spalaniu. Nie posiada także chloru, ani dużej zawartości potasu, co sprawiało, że paliwo to było popularne jako biomasa energetyczna w Polsce już od roku 2000.

O popularności łupin z orzechów masłosza jako paliwa może świadczyć fakt, że w lutym 2012 roku Prezes URE zakwalifikował masłosz jako kolejne paliwo do biomasy przeznaczonej na cele energetyczne (URE 2011). W oficjalnej informacji URE podano, że łupiny masłosza mogą być kwalifikowane do biomasy odnawialnej, a energia elektryczna wytworzona w oparciu o to paliwo może być uprawniona do korzystania z systemu wsparcia, zarówno w formie białych jak i zielonych certyfikatów. W tej samej informacji Prezes URE podaje również, że „wytwarzanie energii elektrycznej w oparciu o paliwo - łupina orzecha Masłosza, wyłoczyny z orzecha Masłosza, poddawane będzie wyrywkowej weryfikacji w kolejnych okresach rozliczeniowych w sytuacji występowania przez przedsiębiorstwa energetyczne z wnioskami o wydanie świadectw pochodzenia” (URE, 2011). W efekcie owej wyrywkowej weryfikacji URE kwestionowało zasadność przyznania świadectw pochodzenia energii (tzw. zielonych certyfikatów) kontrolując i uwzględniając miejsce pochodzenia biomasy. W przypadku sprowadzania łupin po orzechach masłosza z Afryki (co miało miejsce w zdecydowanej większości przypadków) obowiązywała interpretacja, że idea „zielonych certyfikatów” nie została spełniona, ponieważ biomasa może być traktowana jako paliwo zeroemisyjne tylko gdy jest uprawiana w miejscu (regionie), w którym następuje jej spalanie. Wtedy i tylko wtedy można przyjąć, że ilość CO<sub>2</sub> pochłaniana na etapie wzrostu rośliny jest równoważna ilości tego gazu emitowanego podczas jej spalania, lub innego termicznego przetwarzania na cele energetyczne. W przypadku sprowadzania tej biomasy tankowcami z Afryki nie można mówić o dbałości o ekologię w Polsce. W efekcie powstających trudności z pozyskaniem zielonych certyfikatów dla łupin orzechów masłosza roślina ta traciła na popularności, a przedsiębiorstwa energetyczne, które ją wykorzystywały, poniosły straty finansowe.

Poprawnie wykonana analiza SROI uwzględniałaby brak korzyści w postaci przychodu społecznego określonego jako „redukcja gazów cieplarnianych”. Ponieważ biomasa ta uprawiana była poza Polską trudno mówić o redukcji emisji CO<sub>2</sub> w trakcie jej wzrostu. Analiza SROI oprócz wysokich wartości opałowej i sprawności konwersji energii powinna również uwzględnić zerowy efekt środowiskowy, a więc brak redukcji zanieczyszczeń standaryzowany na emisję CO<sub>2</sub>.

## 6.4. Badania sprawności instalacji na potrzeby SROI

Badania sprawności instalacji są najpewniejszą metodą określenia sprawności konwersji energii a w dalszym kroku wpływów socjalnych głównie dla producenta energii choć nie tylko - sprawność konwersji energii wpłynie też na emisję zanieczyszczeń do atmosfery.

Sprawność konwersji energii (z energii chemicznej zawartej w biomasie na energię elektryczną bądź ciepło) jest jednym z kluczowych parametrów determinujących SROI (co pokazała analiza wrażliwości w rozdziale 6.6) jej badanie powinno być zgodne z polskimi normami oraz przeprowadzone zgodnie z metodyką, która z nich wynika.

Ponieważ nie ma możliwości przytoczenia norm (których zawartości nie można publikować) jako sposobu określenia sprawności, metodykę jej określenia opisano za pomocą przykładu, który stanowią badania sprawności instalacji do spalania biomasy o mocy 5 MW pokazanej na rysunku 7.



*Rysunek 7. Kocioł na biomase o mocy 5 MW*

Badany kocioł na biomase jest kotłem rusztowym, z rusztem schodkowym, przystosowanym do spalania zrębki drzewnej i kory. Wyposażony jest on również w nowoczesny układ kontrolno-pomiarowy.

Dla określenia sprawności kotła dokonano następujących pomiarów:

- składu i temperatury spalin wylotowych z kotła,
- pobrano próbki do analiz laboratoryjnych:
  - biomasy w postaci odpadów drewnianych oraz kory,
  - żużla,
  - popiołu.

Na podstawie pomiarów i badań laboratoryjnych:

- określono ilość i skład chemiczny spalin na 1 kg paliwa,
- zmierzono ciepło spalania i obliczono wartość opałową biomasy,
- wykonano analizę techniczną spalanej biomasy,

- określono skład elementarny spalanej biomasy,
- obliczono parametry spalin, entalpię, gęstość, ciepło właściwe ( $c_p$ ),
- obliczono sprawność kotła oraz poszczególne straty,
- określono potencjał energetyczny spalin.

### Pomiar składu chemicznego spalin

Pomiar składu spalin oraz ich temperatury został wykonany przy użyciu analizatora elektrochemicznego Madur GA-40+. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 9.

Tabela 9.

*Skład chemiczny i temperatura spalin za kotłem*

| l.p. | Mierzony parametr                                  | Średnia z pomiarów | Niepewność, % |
|------|----------------------------------------------------|--------------------|---------------|
| 1    | Temperatura spalin, °C                             | 175,0              | 0,16          |
| 2    | Zawartość O <sub>2</sub> , %                       | 12,84              | 0,16          |
| 3    | Zawartość CO, ppm                                  | 36                 | 0,15          |
| 4    | Zawartość CO <sub>2</sub> , %                      | 7,53               | 0,65          |
| 5    | Zawartość CO <sub>rel</sub> , mg·m <sup>-3</sup>   | 71                 | 0,22          |
| 6    | Zawartość NO <sub>rel</sub> , mg·m <sup>-3</sup>   | 159                | 0,22          |
| 7    | Zawartość NO <sub>x rel</sub> , mg·m <sup>-3</sup> | 255                | 0,22          |

W tabeli 9 zestawiono zawartości składników spalin w miarach bezwzględnych (ppm i %) oraz po ustandaryzowaniu, mg·m<sup>-3</sup>, czyli przeliczeniu na warunki standardowe, oznaczające zawartość tlenu w spalinach O<sub>2</sub> = 6%. Analiza spalin pokazuje nieznacznie zbyt wysoki udział powietrza w spalinach – zmierzona zawartość tlenu jest za wysoka o około 3%. Odpowiada ona współczynnikowi nadmiaru powietrza  $\lambda = 2,57$ . Kotły o tej konstrukcji powinny pracować ze współczynnikiem  $\lambda = 1,7 \div 1,9$ , co odpowiada zawartości O<sub>2</sub> w spalinach na poziomie 9÷10%. Jest to pierwszy sygnał, że sprawność kotła może być mniejsza, niż podawana przez producenta (85%).

### Wyniki badań laboratoryjnych

Badania biomasy zostały zlecone certyfikowanemu laboratorium należącemu do Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, posiadającemu akredytację o numerze AB 1293, wydaną przez Polskie Centrum Akredytacji.

Na potrzeby określenia przydatności energetycznej pobranej w trakcie pomiarów biomasy wykonano analizę składu elementarnego biomasy oraz analizę tlenkową popiołów z jej spalania. Ponieważ badana zrębka zawierała również niewielkie ilości kory (około

5%), badania wykonano zarówno dla zrębki jak i dla kory. Skan fragmentu raportu z najważniejszymi wynikami pokazano na rysunku 8.

## RAPORT Z BADAŃ 098/18/Z

| Kod próbki | *Opis próbki klienta | Parametr oznaczany             | Metoda (status metody)              | Jednostka | Wynik±U | Autoryzował |
|------------|----------------------|--------------------------------|-------------------------------------|-----------|---------|-------------|
| 1/098      | popiół               | CaO                            | PBW- 11 wydanie 4 z dnia 28.07.2014 | %s.m.     | 8,29    | MB          |
|            |                      | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |                                     | %s.m.     | 1,05    |             |
|            |                      | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |                                     | %s.m.     | 0,992   |             |
|            |                      | MnO                            |                                     | %s.m.     | 0,525   |             |
|            |                      | K <sub>2</sub> O               |                                     | %s.m.     | 1,62    |             |
|            |                      | Na <sub>2</sub> O              |                                     | %s.m.     | 0,182   |             |
|            |                      | MgO                            |                                     | %s.m.     | 0,818   |             |
|            |                      | SO <sub>3</sub>                |                                     | %s.m.     | 0,738   |             |
|            |                      | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  |                                     | %s.m.     | 0,681   |             |
|            |                      | TiO <sub>2</sub>               |                                     | %s.m.     | 0,0381  |             |
|            |                      | SiO <sub>2</sub>               |                                     | %s.m.     | 68,9    |             |
|            |                      | niedopał                       | PBW-10 wydanie 2 z dnia 25.09.2013  | %         | <1,0    | AF          |
| 2/098      | Żużel                | niedopał                       | PBW-10 wydanie 2 z dnia 25.09.2013  | %         | <1,0    |             |
| 3/098      | Zrębki               | Azot N                         | PBW-13 wydanie 2 z dnia 22.10.2012  | %s.m.     | 0,38    | TT          |
|            |                      | Węgiel C                       | PBW-14 wydanie 2 z dnia 22.10.2012  | %s.m.     | 56,7    |             |
|            |                      | Wodór H                        |                                     | %s.m.     | 8,71    |             |
|            |                      | Siarka S                       | PBW- 11 wydanie 4 z dnia 28.07.2014 | %s.m.     | 0,0108  | MB          |
|            |                      | Popiół                         | PBW-10 wydanie 2 z dnia 25.09.2013  | %         | 1,31    | AF          |
|            |                      | Wilgotność                     | PBW-21 wydanie 2 z dnia 22.10.2012  | %         | 11,7    |             |
| 4/098      | Kora                 | Azot N                         | PBW-13 wydanie 2 z dnia 22.10.2012  | %s.m.     | 0,60    | TT          |
|            |                      | Węgiel C                       | PBW-14 wydanie 2 z dnia 22.10.2012  | %s.m.     | 58,0    |             |
|            |                      | Wodór H                        |                                     | %s.m.     | 10,7    |             |
|            |                      | Siarka S                       | PBW- 11 wydanie 4 z dnia 28.07.2014 | %s.m.     | 0,0322  | MB          |
|            |                      | Popiół                         | PBW-10 wydanie 2 z dnia 25.09.2013  | %         | 3,42    | AF          |
|            |                      | Wilgotność                     | PBW-21 wydanie 2 z dnia 22.10.2012  | %         | 25,2    |             |

U - niepewność (nie uwzględnia niepewności związanej z poborem próbki) – k=2, P=95%;

Parametry oznaczone literą „A” są akredytowane przez Polskie Centrum Akredytacji, AB 1293.

\* Dane deklarowane przez klienta

P- analiza wykonana u podwykonawcy, nr AB.....

Rysunek 8. Fragment skanu raportu z badań biomasy (źródło: Centrum Analiz Jakości Środowiska UPWr)

Wysoka zawartość ditlenku krzemu, tzw. krzemionki ( $\text{SiO}_2$ ) jest charakterystyczna i typowa dla paliw pochodzenia roślinnego. Rośliny wytwarzają drobne krzemionkowe twory zwane fitolitami, które są balastem z punktu widzenia analizy energetycznej. Typowymi składnikami popiołów są również tritlenek glinu ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), czy tlenek żelaza III ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

Zawartość tlenku tytanu IV ( $\text{TiO}_2$ ) jest bardzo niska (wynosi 0,04%) co jest wynikiem bardzo dobrym. W paliwach biomasowych pochodzenia drzewnego zawartość tlenku tytanu IV może dochodzić do 9%, co powoduje problemy ze składowaniem i utylizacją popiołu. Tlenek tytanu (IV) ma bowiem właściwości amfoteryczne – reaguje ze stężonym kwasem siarkowym (który powstaje w wyniku kondensacji  $\text{SO}_3$ ), a stapiany z wodorotlenkami, węglanami lub tlenkami innych metali przechodzi w tytaniany, będące substancjami niebezpiecznymi.

Zawartość tritlenku siarki ( $\text{SO}_3$ ) jest znacząca, ale w paliwie znajduje się też znaczący udział tlenku wapnia ( $\text{CaO}$ ), który jest składnikiem redukującym związki siarki w wyniku tzw. suchego odsiarczania. Oznacza to, że badana biomasa umożliwia bezpieczne spalanie z punktu widzenia analizy zagrożenia wystąpieniem korozji siarkowej, co jest ważnym wnioskiem z punktu widzenia analizy SROI. Nie ma potrzeby uwzględniania dodatkowych kosztów związanych z występowaniem siarkowej korozji wysokotemperaturowej.

**Do negatywnych wniosków** z przeprowadzonych badań laboratoryjnych należy **wysoka zawartość tlenku potasu ( $\text{K}_2\text{O}$ )**.  $\text{K}_2\text{O}$  jest tlenkiem zasadowym, z wodą reaguje gwałtownie, dając żrący wodorotlenek potasu. Jego wysoka zawartość w popiele (1,62%) świadczy o udziale potasu w strukturze spalanej biomasy. Potas obniża temperaturę mięknięcia popiołu, powodując szlakowanie powierzchni ogrzewalnych w kotłach. Na podstawie zawartości  $\text{K}_2\text{O}$  można określić, że dla badanego paliwa nie można przekroczyć temperatury w palenisku powyżej  $550^\circ\text{C}$ , ponieważ powyżej tej temperatury rozpocznie się intensywny proces szlakowania kotła, który doprowadzi do konieczności jego odstawienia i czyszczenia powierzchni ogrzewalnych. W trakcie pomiarów temperatura w palenisku nie przekraczała  $470^\circ\text{C}$ , należy jednak ją monitorować i nie prowadzić eksploatacji mogącej zwiększyć tę temperaturę (np. poprzez zmniejszanie udziału powietrza do spalania).

Biomasę – zwłaszcza drzewną – cechuje także niższa w porównaniu z węglem zawartość popiołu, co w odróżnieniu od niskiej gęstości jest sporą zaletą biopaliw. Jeśli podczas spalania biomasy powstaje większa niż zazwyczaj, przekraczająca 2% ilość popiołu, świadczy to o obecności zanieczyszczeń. W przypadku głównego składnika biomasy (odpady drewniane) zawartość substancji mineralnej nie przekraczała 1,31%. Zatem należy uznać, że biomasa nie posiadała istotnych zanieczyszczeń w szczególności niskotopliwej krzemionki. Jest to jednak kolejny powód by nie zwiększać udziału kory.

Nie tylko zawartość, lecz także skład popiołu jest inny w przypadku biomasy i inny w przypadku węgla. Podczas gdy główne składniki popiołu z węgla kamiennego to dwutlenek krzemu ( $\text{SiO}_2$ ), dwutlenek glinu ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) i trójtlenek żelaza ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), w popiele powstającym podczas spalania biomasy poza dwutlenkiem krzemu występują dodatkowo tlenki: wapnia ( $\text{CaO}$ ) i potasu ( $\text{K}_2\text{O}$ ). To właśnie skład chemiczny, a konkretnie obecność łatwo-

pliwych tlenków metali alkaicznych sprawia, że popiół z biomasy topi się zazwyczaj w o wiele niższych temperaturach, niż popiół z węgla. Obniżony próg topliwości może być jedną z przyczyn powstawania osadu pokrywającego powierzchnie grzewcze kotłów, co doprowadza do zmniejszenia odbierania ciepła przez powierzchnie ogrzewalne i do korozji. Analiza SROI powinna również uwzględniać zagrożenie szlakowaniem, zarówno w określaniu sprawności konwersji energii jak i w określaniu kosztów funkcjonowania instalacji.

Przeprowadzone dodatkowe testy wykazały, że zawartość popiołu wyznaczona w temperaturze 550°C jest wyższa niż oznaczona w temperaturze 815°C, z powodu zwiększonej zawartości metali alkaicznych w badanej biomase utleniających się w temperaturze powyżej 600°C.

Pobocznym wnioskiem z badań jest stwierdzenie, że niezawierający szkodliwych substancji popiół pochodzący ze spalania biomasy nadaje się do wykorzystania w charakterze nawozu mineralnego, co mogłoby znaleźć odzwierciedlenie w analizie SROI jako wpływ socjalny dla rolników.

O wartości energetycznej drewna w największym stopniu decyduje jego wilgotność i gęstość, mniejszą rolę odgrywa zaś rodzaj drewna i sposób jego przygotowania. Wartość opałowa zależy w głównej mierze od jego wilgotności. Zbyt wilgotna biomasa ma nie tylko mniejszą wartość energetyczną, lecz powoduje także większą emisję zanieczyszczeń podczas spalania. Badane odpady drzewne miały **niską wilgotność (11,7%)** oraz **dużą wartość opałową: 21,116 MJ·kg<sup>-1</sup>**. Natomiast wilgotność kory była zdecydowanie wyższa (25,2%) co każe po raz kolejny wydać zalecenie, by udział kory w spalanej biomase był niewielki. Na podstawie analiz zaleca się, by udział kory nie przekraczał 20%, co w badanej instalacji dotychczas było spełnione.

### Analiza techniczna biomasy

Do analiz pobrano próbki odpadów drewnianych (zrzyny krótkie i długie, zrębka, surowiec odsortowany, odpad pomaniuplacyjny, trociny i wióry), oraz kory.

Na podstawie analiz wykonywanych przez certyfikowane laboratorium UPWr (analiza elementarna, analiza tlenkowa popiołów) oraz we własnym zakresie w Centrum Odnawialnych Źródeł Energii Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu (wartość opałowa, obliczenia bilansowe) określono skład i entalpię spalin, zapotrzebowanie powietrza do spalania oraz gęstość spalin.

### Odpady drewniane

Analiza techniczna paliwa zawiera informacje o udziale poszczególnych pierwiastków w stanie roboczym (*r*) oraz tworzących masę palną (*daf* - *dry ash free*), która dotyczy stanu suchego i bezpopiołowego.

Tabela 10.

*Analiza techniczna odpadów drewnianych, masa robocza*

| <i>PIERWIASTKI (masa robocza), %</i> |       |
|--------------------------------------|-------|
| <b>C<sup>r</sup></b>                 | 49,32 |
| <b>H<sup>r</sup></b>                 | 7,58  |
| <b>O<sup>r</sup></b>                 | 29,76 |
| <b>N<sup>r</sup></b>                 | 0,33  |
| <b>SUMA:</b>                         | 87,0  |
| <b>A<sup>r</sup></b>                 | 1,31  |
| <b>W<sup>r</sup></b>                 | 11,7  |
| <b>S<sup>r</sup></b>                 | 0,01  |
| <b>SUMA:</b>                         | 100,0 |

Masa palna (tabela 11) w stanie (*daf*) pokazuje udziały pierwiastków w stanie suchym i bezpopiołowym. Ważnym parametrem oprócz analizy pierwiastkowej jest zawartość części lotnych ( $V^{daf}$ ), decydującej o łatwości spalania w kotle rusztowym.

Wykonane analizy potwierdzają dobrą jakość paliwa pobranego do analiz. Bardzo niska zawartość siarki (0,01%) sprawia, że nie ma zagrożenia korozją (zarówno wysokotemperaturową jak i w wyniku kondensacji spalin), niska zawartość popiołu w paliwie nie spowoduje szlakowania powierzchni ogrzewalnych (do temperatury 550°C), natomiast wysoka zawartość części lotnych sprawia, że paliwo jest mało wymagające od strony eksploatacyjnej (brak problemów z równomiernym spalaniem i z zapłonem). Zmierzona wartość opałowa to 20 996 MJ·kg<sup>-1</sup>.

Tabela 11.

*Analiza techniczna odpadów drewnianych, masa palna*

| <i>Analiza techniczna paliwa, %</i> |              |
|-------------------------------------|--------------|
| <b>V<sup>daf</sup></b>              | <b>82,5</b>  |
| <b>A<sup>r</sup></b>                | <b>1,31</b>  |
| <b>W<sup>r</sup></b>                | <b>11,7</b>  |
| <b>S<sup>r</sup></b>                | <b>0,01</b>  |
| <i>PIERWIASTKI (masa palna), %</i>  |              |
| <b>C<sup>daf</sup></b>              | <b>56,7</b>  |
| <b>H<sup>daf</sup></b>              | <b>8,71</b>  |
| <b>O<sup>daf</sup></b>              | <b>34,21</b> |
| <b>N<sup>daf</sup></b>              | <b>0,38</b>  |
| <b>SUMA:</b>                        | <b>100</b>   |

## Kora

Analizy dla kory zostały pokazane w sposób analogiczny do analiz odpadów drewnianych. W tabeli 12 podano zawartości w stanie roboczym (paliwo wilgotne, z popiołem) węgla ( $C$ ), wodoru ( $H$ ), tlenu ( $O$ ), azotu ( $N$ ), popiołu ( $A$ ), wilgoci ( $W$ ) i siarki ( $S$ ).

Tabela 12.

*Analiza techniczna dla kory, masa robocza*

| <i>PIERWIASTKI (masa robocza), %</i> |              |
|--------------------------------------|--------------|
| $C^r$                                | 41,38        |
| $H^r$                                | 7,63         |
| $O^r$                                | 21,90        |
| $N^r$                                | 0,43         |
| SUMA:                                | <b>71,4</b>  |
| $A^r$                                | 3,42         |
| $W^r$                                | 25,2         |
| $S^r$                                | 0,03         |
| SUMA:                                | <b>100,0</b> |

Tabela 13.

*Analiza techniczna dla kory, masa palna*

| <i>Analiza techniczna paliwa, %</i> |             |
|-------------------------------------|-------------|
| $V^{daf}$                           | <b>79,8</b> |
| $A^r$                               | <b>3,42</b> |
| $W^r$                               | <b>25,2</b> |
| $S^r$                               | <b>0,03</b> |
| <i>PIERWIASTKI (masa palna), %</i>  |             |
| $C^{daf}$                           | <b>58,0</b> |
| $H^{daf}$                           | <b>10,7</b> |
| $O^{daf}$                           | <b>30,7</b> |
| $N^{daf}$                           | <b>0,60</b> |
| SUMA:                               | <b>100</b>  |

Badana kora ma nieznacznie gorsze parametry od odpadów drewnianych, o czym świadczą niższa wartość opałowa ( $18\,884\text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), niższa zawartość części lotnych oraz wyższa zawartość siarki (Tabela 13). Generalna ocena kory jako paliwa jest pozytywna, pod warunkiem, że ma ona mniejszy udział w strumieniu paliwa niż odpady drewniane, głównie ze względu na wyższą zawartość wilgoci.

## Obliczenia ciepłno – bilansowe

Na podstawie badań laboratoryjnych określono teoretyczny (stechiometryczny) skład spalin:

Tabela 14.

*Stechiometryczny skład spalin*

| <i>Stechiometryczny skład spalin</i> |             |                                      |             |                           |        |               |
|--------------------------------------|-------------|--------------------------------------|-------------|---------------------------|--------|---------------|
| <b>N<sub>2</sub></b>                 | 4,27        | <b>m<sup>3</sup>·kg<sup>-1</sup></b> | 4,91        | <b>kg·kg<sup>-1</sup></b> | 68,17  | <b>%, obj</b> |
| <b>CO<sub>2</sub></b>                | 0,92        |                                      | 1,82        |                           | 14,69  |               |
| <b>SO<sub>2</sub></b>                | 0,0001      |                                      | 0,00        |                           | 0,001  |               |
| <b>H<sub>2</sub>O</b>                | 1,07        |                                      | 0,86        |                           | 17,13  |               |
| <b>V<sub>sp</sub><sup>t</sup></b>    | <b>6,26</b> |                                      | <b>7,59</b> |                           | 100,00 |               |

Stechiometryczny skład spalin pokazany w tabeli 14 określa udziały poszczególnych gazów przy spalaniu bez udziału nadmiarowego powietrza i pozwala określić teoretyczną ilość spalin, która dla badanego paliwa wyniosła 6,26 m<sup>3</sup>·kg<sup>-1</sup>, oraz 7,59 kg·kg<sup>-1</sup> (kilogramów spalin na kilogram paliwa). Teoretyczna (stechiometryczna) ilość powietrza wyniosła 5,46 m<sup>3</sup>·kg<sup>-1</sup> (metrów sześciennych powietrza na kilogram paliwa), natomiast rzeczywista ilość powietrza (uwzględniająca nadmiar powietrza w palenisku) wyniosła 13,88 m<sup>3</sup>·kg<sup>-1</sup>.

Rzeczywista ilość spalin mokrych uwzględniająca wilgoć i nadmiarową ilość powietrza przy współczynniku nadmiaru powietrza  $\lambda=2,57$  wynosi 14,74 m<sup>3</sup>·kg<sup>-1</sup> (metrów sześciennych spalin na kilogram paliwa). Dodatkowo obliczono gęstość spalin w warunkach normalnych:  $\rho=1,21$  kg·m<sup>-3</sup>.

Na podstawie danych z pomiarów i analiz określono wielkości pokazane w tabeli 15.

Tabela 15.

*Wyniki analizy technicznej dla odpadów drewnianych i kory*

| <b>L.p.</b> | <b>Oznaczenie</b>                | <b>Wartość</b> | <b>Jednostka</b>          | <b>Opis</b>                                                                                    |
|-------------|----------------------------------|----------------|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1.</b>   | <b>Q<sub>r</sub><sup>w</sup></b> | 21 116         | <b>kJ·kg<sup>-1</sup></b> | wartość opałowa odpadów drewnianych obliczona na podstawie badań laboratoryjnych (formuła VDI) |
| <b>2.</b>   | <b>Q<sub>r</sub><sup>w</sup></b> | 19 351         | <b>kJ·kg<sup>-1</sup></b> | wartość opałowa kory obliczona na podstawie badań laboratoryjnych                              |
| <b>3.</b>   | <b>Q<sub>r</sub><sup>w</sup></b> | 20 996         | <b>kJ·kg<sup>-1</sup></b> | wartość opałowa odpadów drewnianych zmie-                                                      |

| L.p. | Oznaczenie               | Wartość | Jednostka                        | Opis                                                   |
|------|--------------------------|---------|----------------------------------|--------------------------------------------------------|
|      |                          |         |                                  | rzona przy pomocy kalorymetru                          |
| 4.   | $Q_r^w$                  | 18 884  | $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ | wartość opałowa kory zmierzona przy pomocy kalorymetru |
| 5.   | $A_r$                    | 1,31    | %                                | zawartość popiołu w odpadach drewnianych               |
| 6.   | $A_r$                    | 3,42    | %                                | zawartość popiołu w korze                              |
| 7.   | $W_r$                    | 11,7    | %                                | zawartość wilgoci w odpadach drewnianych               |
| 8.   | $W_r$                    | 25,2    | %                                | zawartość wilgoci w korze                              |
| 9.   | $S_r$                    | 0,01    | %                                | zawartość siarki w odpadach drewnianych                |
| 10.  | $S_r$                    | 0,03    | %                                | zawartość siarki w korze                               |
| 11.  | $V^{\text{daf}}$         | 82,5    | %                                | zawartość części lotnych w odpadach drewnianych        |
| 12.  | $V^{\text{daf}}$         | 79,8    | %                                | zawartość części lotnych w korze                       |
| 13.  | $O_{2\text{wyl}}$        | 12,84   | %                                | zawartość CO w spalinach wylotowych                    |
| 14.  | $t_{\text{spwyl}}$       | 175,0   | %                                | temperatura spalin wylotowych                          |
| 15.  | $\text{CO}_{\text{wyl}}$ | 0,0036  | %                                | zawartość CO w spalinach wylotowych                    |
| 16.  | $z_{\text{Cwz}}$         | < 1,0   | %                                | zawartość węgla w żużlu                                |
| 17.  | $z_{\text{Cwp}}$         | < 1,0   | %                                | zawartość węgla w popiele                              |

Bilans cieplny kotła pozwolił określić poszczególne straty oraz wyznaczyć sprawność.

### Strata kominowa

O wielkości straty kominowej decyduje nadmiar powietrza w spalinach za kotłem ( $\lambda$ ), oraz temperatura spalin wylotowych. W badanym kotle w czasie pomiarów mierzono zawartość tlenu w spalinach i obliczano współczynnik nadmiaru powietrza  $\lambda$ . Współczynnik

ten wynosił w spalinach wylotowych z kotła: 2,57. Zmierzony współczynnik nadmiaru powietrza jest za wysoki. Dla kotła rusztowego powinien on wynosić maksymalnie  $\lambda=1,9$ . W wyniku utrzymywania wysokiego nadmiaru powietrza w spalinach, strata kominowa w badanym kotle jest wysoka i wynosi ona aż 25,99%.

### **Strata gazowa**

Strata gazowa to inaczej strata niezupełnego spalania. Jej wielkość determinuje głównie ilość CO w spalinach. Podczas pomiarów zanotowano niskie udziały CO (także dzięki dużemu nadmiarowi powietrza). Strata gazowa wyniosła 1,82%.

### **Strata niecałkowitego spalania**

W kotle rusztowym o wielkości straty niecałkowitego spalania decyduje zawartość części mineralnych w paliwie oraz zawartość części palnych w żużlu i popiele. Spalana biomasa zawierała maksymalnie tylko 3,42% części mineralnych (dla węgla energetycznego jest to zwykle od 18% do 30%). Strata niecałkowitego spalania wyniosła łącznie (dla żużla i popiołu lotnego) 0,0015%.

### **Strata w gorącym żużlu i popiele**

Strata ta powstaje w wyniku usuwania z paleniska żużla i popiołu, których temperatura jest wyższa od temperatury otoczenia. W badanym kotle straty te były niewielkie i wyniosły łącznie 0,002%.

### **Strata promieniowania**

Eksplatacja kotła nie ma wyraźnego wpływu na stratę promieniowania, która zależy głównie od konstrukcji kotła, od obciążenia kotła oraz od stanu jego izolacji.

### **Sprawność cieplna**

Sprawność cieplna badanego kotła zależy głównie od straty kominowej, gdyż pozostałe straty są stosunkowo niewielkie. Eksplatacja kotła nie ma wyraźnego wpływu na stratę promieniowania, która zależy głównie od konstrukcji urządzenia. Sprawność cieplna badanego kotła na biomasę wyniosła średnio 71,41%, co (biorąc pod uwagę typ instalacji) jest wynikiem zadowalającym, ale niższym niż podaje producent (85%).

Zestawienie wyników obliczeń podano w tabeli 16.

Tabela 16.

Wyniki obliczeń strat w kotle

| L.p. | Oznaczenie | Wartość | Jednostka | Opis                                            |
|------|------------|---------|-----------|-------------------------------------------------|
| 1.   | $S_k$      | 25,99   | %         | strata kominowa                                 |
| 2.   | $S_{nz}$   | 0,0014  | %         | strata niecałkowitego spalania w żużlu          |
| 3.   | $S_{np}$   | 0,00012 | %         | strata niecałkowitego spalania w lotnym popiele |
| 4.   | $S_n$      | 0,0015  | %         | strata niecałkowitego spalania w sumie          |
| 5.   | $S_{zg}$   | 0,002   | %         | strata w gorącym żużlu                          |
| 6.   | $S_g$      | 1,82    | %         | strata gazowa                                   |
| 7.   | $S_{pr}$   | 0,78    | %         | strata promieniowania                           |
| 8.   | $\eta$     | 71,41   | %         | sprawność kotła                                 |

Jak pokazuje opisany przykład rzeczywista sprawność instalacji do energetycznego przetwarzania biomasy może być niższa niż podaje jej producent, głównie w wyniku pogarszania się współczynników wnikania ciepła w miarę eksploatacji instalacji. Ponieważ wrażliwość wyników analizy socjalnej na przyjętą sprawność jest wysoka (co pokazano w podrozdziale 6.6) zaleca się przeprowadzanie pomiarów sprawności kotła w celu określenia rzeczywistych wartości, jeśli możliwe jest wykonanie badań instalacji już pracującej.

## 6.5. Porównanie analizy SROI z analizą ekonomiczną

Analizy SROI powstały w oparciu o analizy ekonomiczne, lecz ich wyniki nie są zwykle skorelowane z wynikami analiz ekonomicznych. Jest to jeden z wielu powodów, dla których powinno się wykonywać oba rodzaje analizy. Wskaźniki ekonomiczne dają obraz zysków dla inwestora, wskaźniki społeczne pokazują wpływ przedsięwzięcia na lokalną społeczność. W sytuacji, gdy przedsięwzięcie wpływa na lokalną społeczność analiza SROI powinna być brana pod uwagę przez reprezentantów tejże społeczności (na poziomie gminy, powiatu a nawet województwa), co jest praktyką coraz częstszą w krajach rozwiniętych.

Błędem jest natomiast podejmowanie decyzji wyłącznie w oparciu o analizę SROI, w oderwaniu od analizy ekonomicznej, ponieważ tylko wskaźniki z obu rodzajów analizy dają pełny obraz efektów podejmowanych decyzji inwestycyjnych.

W celu zilustrowania podejścia do analizy ekonomicznej podano jej metodykę oraz obliczono wskaźniki (statyczne i dynamiczne) a także wykonano obliczenia dla szczegółowego wykorzystania biomasy na cele energetyczne opisanego w podrozdziale 6.1.

### 6.5.1. Podstawowe pojęcia związane z oceną efektywności ekonomicznej

W celu uniknięcia niejednoznaczności konieczne jest usystematyzowanie najważniejszych pojęć używanych w pracy dla oceny efektywności ekonomicznej energetycznego wykorzystania biomasy.

**Przedsięwzięcie inwestycyjne** jest zbiorem czynności zmierzających do osiągnięcia określonego celu i angażujących środki finansowe, które będą związane przez okres dłuższy niż określona jednostka czasu (tutaj rok). **Inwestorem** jest podmiot podejmujący przedsięwzięcie inwestycyjne. **Nakład inwestycyjny** to środki przeznaczone lub poniesione na przedsięwzięcie energetycznego wykorzystania biomasy rolniczej. W przypadku **przedsięwzięć energetycznego wykorzystania biomasy** można mówić o przedsięwzięciach rzeczowych w obiekty majątku trwałego (maszyny i urządzenia energetyczne).

Przez **analizę efektywności ekonomicznej** rozumie się porównanie efektów, które uzyskano w wyniku realizacji danej inwestycji do nakładów niezbędnych w celu stworzenia, a następnie eksploatacji tej inwestycji (Solińska, Soliński 2003). Szczególnie istotna jest tzw. względna ocena opłacalności projektów, kiedy istnieje większa ilość alternatyw, spośród których należy dokonać wyboru najlepszego wariantu inwestycyjnego. Wtedy ocena powinna uwzględniać również analizę SROI.

Oceniając efektywność ekonomiczną danej inwestycji należy brać pod uwagę nie tylko wysokość nakładów inwestycyjnych, ale również koszty i przychody występujące w całym przewidywanym okresie eksploatacji obiektu, jak i nakłady związane z likwidacją obiektu po zakończeniu jego eksploatacji. Aby przeprowadzić analizę efektywności inwestycji, konieczne jest wcześniejsze wyznaczenie **przepływów pieniężnych** (ang. *Cash Flow - CF*), czyli sumarycznych wydatków i przychodów w rozpatrywanym okresie (zwykle są to okresy roczne) związanych z danym przedsięwzięciem lub z jego wariantem (Górzyński 1998 a, b i c).

### 6.5.2. Założenia dla analizy ekonomicznej

Dla porównania wyników przyjęto do analizy przedsięwzięcie wykorzystania biomasy na cele energetyczne opisane w podrozdziale 6.1, polegające na produkcji ciepła i energii elektrycznej przy pomocy instalacji ORC.

Dla wykonania analizy ekonomicznej przyjęto następujące założenia:

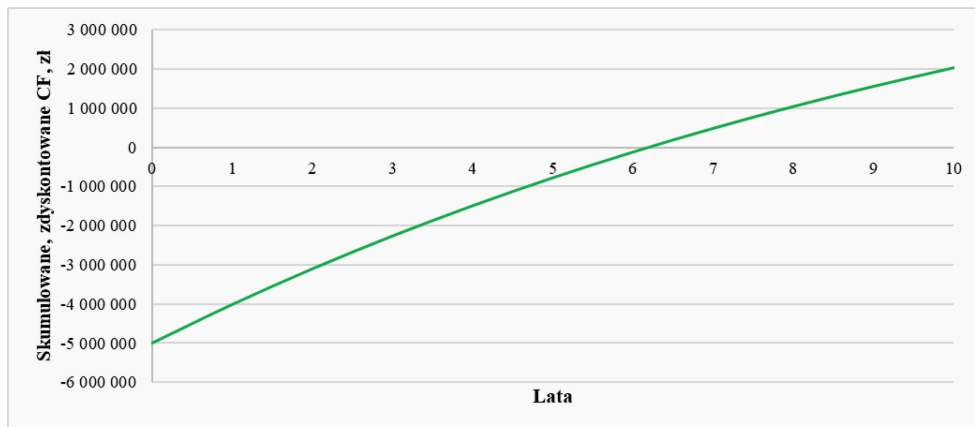
1. wykonana zostanie analiza statyczna i dynamiczna; obliczone zostaną wskaźniki ROI, NPV, IRR i okres zwrotu,
2. okres analizy 10 lat,

3. stopa dyskonta przyjęta na podstawie RRSO preferencyjnych kredytów dla rolników  $r=8,5\%$ ,
4. przychody i koszty podlegają dyskontowaniu,
5. przychody zostały określone jako suma (a+b):
  - a. ilości ciepła ( $4\,952\text{ MWh}\cdot\text{rok}^{-1}$ ) pomnożonej przez zysk ze sprzedaży ciepła ( $162\text{ zł}\cdot\text{MWh}^{-1}$ ),
  - b. ilości energii elektrycznej ( $864\text{ MWh}\cdot\text{rok}^{-1}$ ) pomnożonej przez zysk ze sprzedaży energii elektrycznej ( $350\text{ zł}\cdot\text{MWh}^{-1}$ ),
6. zyski określono na podstawie wzoru 19 i są one różnicą przychodów i całkowitego kosztu pozyskania biomasy (podanego w poz. 9),
7. koszty finansowe uwzględnione zostały w stopie dyskonta,
8. całkowite nakłady inwestycyjne poniesione na początku przedsięwzięcia (okres 0) przyjęto:  $-4\,989\,050\text{ zł}$  zgodnie z cenami podanymi w podrozdziale 6.1.1.

Na podstawie złożenia i przyjętych danych obliczono wskaźniki ekonomiczne i przeprowadzono dyskusję – porównanie ze wskaźnikami socjalnymi.

### 6.5.3. Wyniki analizy ekonomicznej odniesione do SROI

Graficzną ilustrację NPV w kolejnych latach analizy pokazano na rysunku 9.



Rysunek 9. Skumulowane, zdyskontowane przepływy pieniężne

Wykres zdyskontowanych, skumulowanych przepływów pieniężnych pozwala określić rzeczywisty okres zwrotu, który wynosi 6 lat i 1 miesiąc. Pozostałe wskaźniki ekonomiczne:

1. NPV= 2 039 131 zł,
2. IRR=17,0%,
3. ROI = 2,15.

NPV i IRR są wysokie, jak na inwestycję w odnawialne źródła energii (porównując ją np. z fotowoltaiką czy energetyką wiatrową). Wskaźnik ROI jest wynikiem analizy uproszczonej (statycznej) ale można go porównać ze wskaźnikiem SROI, który wyniósł 3,86. Oznacza to, że wpływ energetycznego wykorzystania biomasy na producenta energii jest dominujący także w analizie SROI (ponieważ ROI „uwzględnia” wyłącznie przychody dla producenta energii). Oznacza to, że analiza socjalna SROI jest bardziej „kompleksowa” niż analiza ekonomiczna ROI. Żeby to wykazać, należy zmienić wybrany parametr i powtórzyć obliczenia obu wskaźników. Dla przykładu można sprawdzić, jak zmienia się SROI i ROI, jeśli zmieni się wydajność pozyskania biomasy ( $\text{ha} \cdot \text{h}^{-1}$ ) w wyniku dalszego rozwoju mechanizacji rolnictwa, lub wzrostu doświadczenia operatorów maszyn. Wykonano obliczenia dla 2, 3 i 4  $\text{ha} \cdot \text{h}^{-1}$  i odniesiono do wielkości bazowej 1  $\text{ha} \cdot \text{h}^{-1}$ . Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 17.

Tabela 17.

*Porównanie wyników obliczeń w funkcji jednostkowego kosztu pozyskania biomasy*

| Wydajność Pozyskania biomasy, $\text{ha} \cdot \text{h}^{-1}$ | 1         | 2         | 3         | 4         |
|---------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Całkowity Koszt Pozyskania biomasy, zł                        | 34 475    | 23 725    | 20 142    | 18 350    |
| Wpływ wytwarzanej energii na rolników (P), zł                 | 340 525   | 351 275   | 354 858   | 356 650   |
| Wpływ użytkowania biomasy na producenta energii (P), zł       | 1 143 350 | 1 132 600 | 1 129 016 | 1 127 225 |
| Stworzenie nowych miejsc pracy (K), zł                        | 7 500     | 3 750     | 2 500     | 1 875     |
| SROI                                                          | 3,863     | 3,855     | 3,853     | 3,852     |
| ROI                                                           | 2,145     | 2,167     | 2,174     | 2,177     |
| Zmiana % SROI                                                 | 0,000%    | -0,207%   | -0,259%   | -0,285%   |
| Zmiana % ROI                                                  | 0,000%    | 1,026%    | 1,352%    | 1,492%    |

Pierwszą różnicą jest ujemna zależność dla wskaźnika SROI, dodatnia dla ROI. Ujemna zależność dla SROI oznacza, że wzrost wydajności pozyskania biomasy zmniejsza wartość wskaźnika SROI. Wprawdzie rośnie wpływ wyprodukowanej energii na rolników (czyli ich zyski w wyniku większej wydajności pozyskania biomasy) ale nieznacznie maleje przychód netto producenta za wyprodukowaną energię (który pokrywa rosnący zysk netto dla rolnika) zgodnie ze wzorem 9. Ponadto maleje inny wskaźnik społeczny – wartość nowych miejsc pracy ze względu na krótszy czas pracy. Inaczej jest dla wskaźnika ROI, który bazu-

je na zyskach producenta a te rosną, gdy maleje całkowity koszt pozyskania biomasy, wpływający na jej cenę a w efekcie na koszty produkcji energii.

Drugą istotną różnicą jest bezwzględna wrażliwość wskaźników na zmianę wydajności pozyskiwania biomasy. Wskaźnik SROI zmienia się średnio o 0,25%, natomiast ROI o 1,3%. Potwierdza to tezę, że SROI jest analizą bardziej kompleksową, uwzględniającą wpływ zmian na wiele podmiotów, nie tylko na producenta energii. Poszczególne wpływy socjalne wzajemnie niwelują swoje oddziaływanie zgodnie z rzeczywistością, gdzie istnieją powiązania np. między producentem energii i dostawcą biomasy. Wzrost przychodów jednego z uczestników rynku spowoduje ich spadek u innego uczestnika, choć nie jest to regułą. Istnieją działalności o silnej synergii pomiędzy uczestnikami, jak opisany przypadek Jury Szwabskiej (podrozdział 5.6.2) i wtedy przedsięwzięcia te będą generować wysokie wartości wskaźnika SROI. Dla pełniejszego zbadania wzajemnego wpływu zmiennych niezależnych na wskaźnik SROI wykonano analizę wrażliwości.

## **6.6. Analiza wrażliwości SROI**

Analiza wrażliwości jest to badanie niepewności na wyjściu modelu w odniesieniu do różnych źródeł niepewności przedstawianych jako dane wejściowe modelu. Z uwagi na badanie zależności pomiędzy danymi wejściowymi i wyjściowymi, analizę czułości uznaje się za wstęp lub pierwszy etap do dalszych rozważań przy użyciu modelowania danych (Saltelli 2002, Saltelli i in. 2002).

Zastosowanie analizy wrażliwości pomaga ocenić efektywność projektu inwestycyjnego. Mimo, że analiza czułości nie pozwala na bezpośrednią miarę ryzyka inwestycji uważa się, że wpływa pozytywnie na jej obniżenie (Śladkiewicz 2016).

Analiza wrażliwości (zwana też często analizą czułości) jest techniką analityczną, która polega na badaniu wpływu zmian, jakie mogą wystąpić w przyszłości w kształtowaniu się zmiennych przedsięwzięcia inwestycyjnego wpływających na jego opłacalność. Teoretyczne przewidywania możliwej zmienności bazują na założeniu, że wartości poszczególnych zmiennych wykorzystywanych do szacowania opłacalności przedsięwzięcia mogą przyjąć inne wartości niż zakładane. W analizie tej bada się więc wrażliwość wyników oceny opłacalności na zmiany zmiennych niezależnych (Rogowski, Michalczewski 2005).

Badając wpływ zmian poszczególnych zmiennych rozpatrywanych w analizie energetycznego wykorzystania biomasy można wskazać te, których ewentualne odchylenia będą miały największy wpływ na zyski socjalne przedsięwzięcia inwestycyjnego. Pozwala to na określenie zmiennych (obszarów), na których zmianę przedsięwzięcie inwestycyjne jest najbardziej wrażliwe. Zaletami takiej analizy wrażliwości jest identyfikacja ryzyka ze wskazaniem obszarów, które powinny być przedmiotem głębszej analizy oraz duża użyteczność w przypadku przedsięwzięć, w których ryzyko nie było wcześniej analizowane i kiedy nie ma doświadczeń pochodzących z podobnych przedsięwzięć inwestycyjnych realizowanych wcześniej.

W analizowanym przypadku badano jak zmiana poszczególnych parametrów ( $p_i$ ) wpłynie na zmianę wskaźnika SROI. Jako wskaźnik czułości przyjęto bezwymiarowy parametr  $C_i$ , wyrażony wzorem (30):

$$C_i = \frac{\frac{\Delta SROI}{SROI}}{\frac{\Delta p_i}{p_i}}, \quad (30)$$

gdzie:

- $\Delta SROI$  – zmiana wartości wskaźnika społecznego zwrotu z inwestycji w wyniku zmiany parametru  $p_i$ , zł,
- $SROI$  – wskaźnik społecznego zwrotu z inwestycji przed zmianą (bazowy), zł,
- $\Delta p_i$  – zmiana i-tego parametru wybranego do analizy czułości,
- $p_i$  – wartość nominalna (przyjęta w analizie) parametru i-tego.

Do analizy wrażliwości wybrano 11 parametrów analizy SROI (zmiennych niezależnych):

- uprawiany areal, (ha),
- uzysk biomasy, ( $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ),
- cena biomasy, ( $\text{zł} \cdot \text{Mg}^{-1}$ ),
- wydajność pozyskania biomasy, ( $\text{ha} \cdot \text{h}^{-1}$ ),
- cena energii, ( $\text{zł} \cdot \text{GJ}^{-1}$ ),
- wartość opałowa biomasy, ( $\text{GJ} \cdot \text{Mg}^{-1}$ ),
- koszt emisji  $\text{CO}_2$ , ( $\text{zł} \cdot \text{Mg}_{\text{CO}_2}^{-1}$ ),
- wynagrodzenie pracownika, ( $\text{zł} \cdot \text{h}^{-1}$ ),
- akceptowalny wzrost ceny, (-),
- nakłady inwestycyjne, (zł),
- sprawność konwersji energii, (-).

Zmienne niezależne  $p_i$  zmieniano pojedynczo o 10% ich podstawowej wartości i powtarzano obliczenia dla przykładu wykorzystania słomy (podrozdział 6.1). Dla sprawdzenia uniwersalności wyników, wykonano także tę analizę dla pozostałych scenariuszy. Wyniki (wskaźniki czułości) były takie same lub bardzo zbliżone. Wszystkie obliczone zmienne ze wzoru (30) wraz z obliczonymi wskaźnikami czułości  $C_i$ , podano w tabeli 18.

Najwyższą dodatnią wrażliwość wyniku (SROI) na wartość zmiennej niezależnej uzyskano dla:

- uzysku biomasy,
- uprawianego areалу,
- wartości opałowej biomasy,
- ceny energii.

Tabela 18.

Zestawienie wyników obliczeń dla analizy wrażliwości

| L.p. | Zmienna niezależna           | $\Delta$ SROI | SROI  | $\Delta p_i$ | $p_i$  | C             |
|------|------------------------------|---------------|-------|--------------|--------|---------------|
| 1    | uprawiany areal              | 0,386         | 3,863 | 50,00        | 500    | <b>0,999</b>  |
| 2    | uzysk biomasy                | 0,39          | 3,863 | 0,38         | 3,75   | <b>1,010</b>  |
| 3    | cena biomasy                 | 0             | 3,863 | 20,00        | 200    | <b>0,000</b>  |
| 4    | wydajność pozyskania biomasy | -0,001        | 3,863 | 0,10         | 1      | <b>-0,003</b> |
| 5    | cena energii                 | 0,342         | 3,863 | 5,28         | 52,76  | <b>0,885</b>  |
| 6    | wartość opałowia biomasy     | 0,385         | 3,863 | 1,50         | 15     | <b>0,997</b>  |
| 7    | koszt emisji CO <sub>2</sub> | 0,043         | 3,863 | 8,19         | 81,94  | <b>0,111</b>  |
| 8    | wynagrodzenie pracownika     | 0,001         | 3,863 | 1,50         | 15     | <b>0,003</b>  |
| 9    | akceptowalny wzrost ceny     | 0,051         | 3,863 | 0,02         | 0,179  | <b>0,132</b>  |
| 10   | roczne nakłady               | -0,351        | 3,863 | 49890,50     | 498905 | <b>-0,909</b> |
| 11   | sprawność konwersji energii  | 0,090         | 3,863 | 0,08         | 0,825  | <b>0,233</b>  |

Jest to zależność łatwa do wytłumaczenia, jeśli uwzględni się, że proponowana analiza SROI dotyczy energetycznego wykorzystania biomasy. Każda ze zmiennych niezależnych w oczywisty sposób będzie oddziaływać na wynik końcowy. Uzysk biomasy związany jest wydajnością pozyskiwania biomasy i uzależniony od stopnia mechanizacji, ale też od zarządzania gospodarstwem. Wzrost uzysku biomasy o 10,0% spowoduje wzrost wartości wskaźnika SROI o 10,1%. Wielkość plonów ( $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) jest przedmiotem badań i rozwiązań problemów inżynierii rolniczej. Analiza SROI potwierdza dodatkowy wpływ tego kierunku badań na zyski społeczne. Uprawiany areal występuje jako zmienna w największej ilości wzorów w proponowanej metodyce. Ze społecznego punktu widzenia jego wzrost o 10,0% spowoduje wzrost wartości SROI o 9,99%. W rzeczywistości brak jest jednak liniowej zależności pomiędzy arealem a wynikiem analizy SROI, ponieważ areal determinuje jednostkowe koszty inwestycyjne odniesione do roku. Istnieje minimalna wielkość gospodarstwa (dla słomy pszennej i produkcji energii elektrycznej wynosi ona 500 ha), która uzasadnia poniesienie kosztów inwestycyjnych. Dalsza zależność wielkości gospodarstwa i wyniku analizy społecznego zwrotu nakładów inwestycyjnych może już przyjąć zależność bliską liniowej. Wartość opałowia biomasy wpływa na ilości energii, którą można z niej uzyskać. Sposób jej określenia podano w podrozdziale 6.3.1.

Ceny energii wpływają na przychody bądź koszty wszystkich uczestników (zyski dla producenta energii, koszty dla lokalnej społeczności) i ich wpływ na SROI na poziomie 88,5% jest istotny. Jest to wrażliwość dodatnia. Oznacza to, że wzrost ceny energii w sposób dodatni wpływa na wynik analizy (zwiększając zyski socjalne dla wszystkich uczestników lokalnej społeczności, w tym odpowiedzialność za produkt). Jeśli za tło do niniejszych rozważań przyjąć prognozowane wzrosty cen energii w najbliższych latach ze względu na

rosnące opłaty środowiskowe i ceny paliw, a także prognozowany wzrost opłaty dystrybucyjnej, należy przyjąć wniosek, że społeczne zyski z wykorzystania biomasy na cele energetyczne w najbliższych latach będą rosnąć. Analiza czułości wskazała także zmienną niezależną o silnej, lecz ujemnej wrażliwości, jaką są nakłady inwestycyjne. Wzrost nakładów inwestycyjnych o 10% spowoduje spadek wartości SROI o 9%. Inaczej byłoby, gdyby nakłady inwestycyjne trafiały do lokalnej społeczności objętej analizą (np. gdyby instalacje do konwersji energii z biomasy produkowane były lokalnie). W obecnej chwili jest to rzadko spotykane, ale rozwój polskich firm produkujących instalacje do energetycznego przetwarzania biomasy (kotły, komory pirolityczne, instalacje do produkcji biodiesla itp.) może zmienić tę sytuację, podnosząc opłacalność społeczną inwestowania w energetyczne wykorzystanie biomasy. Wpływ pozostałych zmiennych niezależnych na wynik SROI jest już niewielki. Warto jednak zauważyć brak wpływu (zerową korelację) między SROI a ceną biomasy. Zależność ta wynika z uwzględnienia całości przepływów pieniężnych. Poszczególne wpływy socjalne wzajemnie niwelują swoje oddziaływanie zgodnie z rzeczywistością, gdzie istnieją powiązania np. między producentem energii i dostawcą biomasy. Wzrost ceny biomasy obniży dochody producenta energii, ale zwiększy dochody rolników. Tak długo jak cena energii nie ulegnie zmianie, suma przychodów ze sprzedaży biomasy i z produkcji energii pozostanie stała.

## **7. PODSUMOWANIE**

W pracy podano metodykę określenia wpływów społecznego zwrotu z inwestycji energetycznego wykorzystania biomasy metodą SROI. Zdefiniowano podstawowe pojęcia, podano informacje literaturowe o analizach socjalnych w tym zadania i cele analiz SROI, sposoby monetaryzacji wyników, przyczyny możliwych błędów przy sporządzaniu tych analiz, a także najważniejsze zasady sporządzania analizy SROI. W dalszej części sformułowano problem badawczy, podano cel pracy i metodykę badań, przedstawiając sposób obliczania każdego wskaźnika przy pomocy formuł. Na potrzeby opracowanej metodyki wybrano pięć najbardziej adekwatnych wskaźników:

- wpływ wytwarzanej energii na rolników,
- wpływ użytkowania biomasy na producenta energii,
- redukcja gazów cieplarnianych,
- stworzenie nowych miejsc pracy,
- odpowiedzialność za produkt.

W celu ilustracji proponowanej metodyki za pomocą rzeczywistych przedsięwzięć podano przykłady badań i analiz wpływu parametrów energetycznych na wyniki analiz SROI, oraz wyniki badań laboratoryjnych wykonywanych dla określenia tych parametrów, ze szczególnym uwzględnieniem sposobu określania wartości opałowej i sprawności konwersji energii chemicznej biomasy na energię elektryczną lub ciepło.

Dla analiz wykonywanych powszechnie w celu rozwiązywania problemów inżynierii rolniczej należą analizy ekonomiczne. Dlatego porównano wyniki analizy socjalnej z wynikami analizy ekonomicznej. Wskazano na wyższą uniwersalność analiz społecznego zwrotu z inwestycji. Brak jest korelacji między wynikami analiz społecznych i ekonomicznych. Analiza ekonomiczna może mieć wyniki negatywne ( $NPV < 0$ , brak zysków dla przedsiębiorców bez zewnętrznego wsparcia), natomiast analiza społeczna może przynieść bardzo pozytywne efekty (tj.  $SROI > 20$ , co oznacza, że 1 zł wydane na wdrożenie modelu biznesowego energetycznego wykorzystania biomasy przyniesie ponad 20 zł zysków socjalnych). W takim przypadku dotacje mogą być zalecane i uzasadnione, ale należy pamiętać, że analizy socjalne pozostają czynnikiem wspomagającym podejmowanie decyzji. Jest to jeden z wielu powodów, dla których powinno się wykonywać oba rodzaje analizy. Wskaźniki ekonomiczne dają często wyłącznie obraz zysków dla inwestora, wskaźniki społeczne pokazują wpływ przedsięwzięcia na lokalną społeczność.

Ponieważ proponowana metodyka oceny społecznego zwrotu inwestycji bazuje na wielu wielkościach (zmiennych niezależnych) wykonano ich analizę wrażliwości, dla określenia ich wpływu (istotności) na końcowy wynik analizy. Najwyższą dodatnią wrażliwość wyniku (SROI) na wartość zmiennej niezależnej uzyskano dla:

- uzysku biomasy,
- uprawianego areалу,

- wartości opałowej biomasy,
- ceny energii.

Niektóre wskaźniki są wspólne dla różnych rodzajów analiz. Na przykład, redukcja CO<sub>2</sub> wpływa na efekt środowiskowy (tj. zmniejszenie globalnego ocieplenia), analizę ekonomiczną (koszt emisji 1 Mg CO<sub>2</sub> do atmosfery) i na otoczenie społeczne (na zdrowie społeczeństwa). W analizie społecznej podwójne księgowanie zysków społecznych jest możliwe (w przeciwieństwie do analizy ekonomicznej), jeśli dotyczy różnych podmiotów (na przykład rolnika i konsumenta energii). Nie każda korzyść społeczna może zostać wykorzystana do obliczenia społecznej stopy zwrotu (SROI). Obliczenia są ograniczone do wskaźników, które można oszacować w zł (muszą one mieć wartość finansową). Dodatkowe zyski społeczne, które nie mogą znaleźć odzwierciedlenia w zł, są cenne i powinny być również brane pod uwagę, ale mogą służyć jedynie jako dodatkowe informacje wspierające podjęcie decyzji o energetycznym wykorzystaniu biomasy pochodzenia rolniczego.

Jeśli rolnik jest zarówno producentem i konsumentem, generuje zyski społeczne (dodatnie wpływy społeczne) zarówno jako producent jak i konsument. Będzie miał więc dodatni wpływ na wielkość wskaźnika SROI, co stanowi podstawę dla wniosku, że dla maksymalizacji wskaźnika SROI korzystne jest zaangażowanie do produkowania energii jak największej ilości podmiotów, co wpisuje się w pojęcie generacji rozproszonej oraz spółdzielni energetycznej.

## **8. WNIOSKI**

1. Metoda analizy SROI oraz zaproponowany w niej sposób parametryzacji aspektów socjalnych pozwala na uwzględnienie ich w ocenie wykorzystania biomasy na cele energetyczne.
2. Biomasa jako paliwo odnawialne pochodzące z rolnictwa, leśnictwa i ogrodnictwa wpisuje się w domenę inżynierii rolniczej. Wykorzystanie proponowanej w pracy metodyki wzbogaci metody naukowe stosowane do oceny przydatności biomasy pochodzącej z sektora rolniczego, leśnego i sadowniczego w energetyce, zwłaszcza w energetyce rozproszonej.
3. Analiza społeczna dla scenariuszy, w których rolnik zbiera gałęzie ręcznie na własny użytek, dała najwyższe wartości wskaźnika społecznego (SROI=27). Scenariusze z płacą rynkową za zbiórkę ręczną dały również pozytywne, ale nie tak wysokie wyniki (SROI=6,7).
4. W przypadku prac wykonywanych przy zastosowaniu maszyn wskaźnik SROI wyniósł 3,9 dla energetycznego wykorzystania słomy oraz 3,0 dla biomasy pochodzenia sadowniczego, tak jak w przypadku Sadów Trzebnica.
5. Przy uprawach wysoce zmechanizowanych, dla dużych arealów, uzyskano wyższe wskaźniki rentowności (dodatnie NPV i IRR), ale niższe wskaźniki SROI, zawierające się w przedziale 3 do 4.
6. Mechanizacja zbioru biomasy obniża nieznacznie zyski społeczne przy jej energetycznym wykorzystaniu, ale zwiększa zyski ekonomiczne, co pokazano przy analizie socjoekonomicznej zbioru słomy na cele energetyczne. Dwukrotny wzrost wydajności pozyskania biomasy (wyrażony w  $\text{ha} \cdot \text{h}^{-1}$ ) spowodował spadek wartości wskaźnika SROI o 0,2% i wzrost wartości wskaźnika ROI o 1%. Czerokrotny wzrost wydajności pozyskania biomasy nieznacznie wpłynął na SROI (spadek o 0,29%), natomiast wskaźnik rentowności ekonomicznej ROI wzrósł o 1,5%.
7. Analiza wrażliwości wykazała, że wartość opałowa biomasy ( $C=0,997$ ) jest istotniejsza dla SROI niż sprawność konwersji energii ( $C=0,223$ ). Stąd wniosek, że dla zwiększenia zysków socjalnych należy użytkować biomasę o dużej zawartości węgla i wodoru, oraz niskiej zawartości substancji mineralnych oraz potasu i sodu.

## BIBLIOGRAFIA

- 2001/77/WE** Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2001/77/WE z 27 września 2001 r. w sprawie wspierania produkcji na rynku wewnętrznym energii elektrycznej wytwarzanej ze źródeł odnawialnych.
- Andrałojć M.** (2012). Społeczna wartość pracy – metoda pomiaru na przykładzie SROI, *Współczesne Zarządzanie* 3 (12), 154-161, ISSN: 1643-5494,
- Banke-Thomas O.** (2015). Social Return on Investment (SROI) methodology to account for value for money of public health interventions: *A systematic review*, *BMC Public Health* 12 (582).
- Barrow C. J.** (2000) Social impact assessment: an introduction. *Arnold, London, and Oxford University Press Inc.*, New York.
- Barthel L., Wolf M.A., Eyerer P.** (2005): Methodology of Life Cycle Sustainability for Sustainability Assessments. *Presentation on the 11th Annual International Sustainable Development Research Conference (AISDR)*, 6th–8th of June 2005, Helsinki, Finland
- Benoit C., Mazijn B.** (2009). Guidelines for social life cycle assessment of products, *UNEP/SETAC Life Cycle Initiative at UNEP, CIRAI, FAQDD and the Belgium Federal Public Planning Service Sustainable Development*.
- Bujacz T., Wilamowski B.** (2018). Co dalej z cenami uprawnień do emisji CO<sub>2</sub>? <https://handel-emisjami-co2.cire.pl/st,34,403,item,161605,5,0,0,0,0,co-dalej-z-cenami-uprawnien-do-emisji-co2--.html>. Dostęp: 08.07.2018
- Bukowski P., Boer J., Dyjakon A.** (2014). Biomasa z sadu na cele energetyczne: sposób podejścia przy ocenie wpływu na społeczeństwo. *Inżynieria Rolnicza*, 3(151), 23-28. ISSN: 1429-7264.
- CabinetOffice** - Office of the Third Sector (2009). A guide to Social Return on Investment, *Society Media*, ISBN: 978-0-9562274-1-6
- Norma CEN/TS 14774 Biopaliwa stałe – Metody oznaczania wilgoci całkowitej – metoda suszenia w piecu.
- Norma CEN/TS 14775 Biopaliwa stałe – Metody oznaczania zawartości popiołu
- Norma CEN/TS 15148 Biopaliwa stałe – Metody oznaczania zawartości części lotnych.
- Clark C., Rosenzweig W., Long D., Olsen S.** (2008). Double Bottom Line Project Report: Assessing Social Impact in Double Bottom Line Ventures. *Rockefeller Foundation*. Jan 2004. 25 Sept 2008 <[http://www.riseproject.org/DBL\\_Methods\\_Catalog.pdf](http://www.riseproject.org/DBL_Methods_Catalog.pdf)>.
- Demirbas A., Baxter L.L., Miles T.R., Honghi A.** (2004). Combustion characteristics of different biomass fuels: Deposit chemistry. *Progress in Energy and Combustion Science*. 2004, vol. 30, issue 2, s. 219-230. DOI: 10.1016/j.pecs.2003.10.004.
- Dreyer L., Hauschild M., Schierbeck J.** (2006): A Framework for Social Life Cycle Impact Assessment. *Int J LCA* 11 (2) 88–97.
- Gauthier C.** (2005). Measuring Corporate Social and Environmental Performance: The Extended Life-Cycle Assessment. *J Bus Ethics* 59 (1–2) 199–206.

- Gawrońska G.** (2005). Efekty ekonomiczne i ekologiczne pozyskiwania energii biomasy słomy w północno-wschodnim regionie Polski. Energia odnawialna w ochronie środowiska. Red. R. Ney. *Studia Rozpr. Monogr.*, 74. Wyd. Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN. Kraków 2000, 63–69.
- Gawrońska G., Gawroński K.** (2016). Metoda szacunku potencjalnych efektów ekologicznych pozyskania energii biomasy słomy. *Acta Sci. Pol. Formatio Circumiectus* 15 (1) 2016, 69–79. ISSN 1644-0765
- Golos P., Kaliszewski A.** (2015). Wybrane aspekty wykorzystania biomasy drzewnej do celów energetycznych, *Leśne Prace Badawcze*, 76 (1): 78–87, e-ISSN 2082-8926
- Górzyński J.** (1998). Analiza opłacalności ekonomicznej przedsięwzięć modernizacyjnych – ocena opłacalności przedsięwzięć; *Gospodarka paliwami i energią* 8/1998, s. 13-22.
- Górzyński J.** (1998). Analiza opłacalności ekonomicznej przedsięwzięć modernizacyjnych – okres zwrotu nakładów i koszt zaoszczędzenia energii. *Gospodarka paliwami i energią* 9/1998, s. 20-23.
- Górzyński J.** (1998). Analiza opłacalności ekonomicznej przedsięwzięć\_ modernizacyjnych – podstawowe definicje i przepływy pieniężne. *Gospodarka paliwami i energią* 7/1998, s. 11-14, 19-22.
- Guinée J.B., Gorrée M., Heijungs R., Huppes G., Kleijn R., De Koning A., Van Oers L., Sleswijk A., Suh S., Udo de Haes H.A., De Bruijn H., Huijbregts M.A.J., Lindeijer E., Roorda A.A.H., Van der Ven, B.L., Weidema, B.P.** (2001). Handbook on Life Cycle Assessment; operational guide to the ISO standards. *Kluwer Academic Publishers*, Dordrecht.
- Hansen Lone A., Hanne Nielsen P., Flemming Frandsen J., Dam-Johansen K., Hørlyck S. Karlsson A.** (2000). Influence of deposit formation on corrosion at a straw-fired boiler: a pilot-scale study. *Fuel Processing Technology*. 2000, vol. 64, 1-3, s. 189-209. DOI: 10.1016/S0378-3820(00)00063-1.
- Hunkeler D.** (2006). Societal LCA Methodology and Case Study. *Int J LCA* 11 (6) 371–382.
- ISO 17827-2:2016-07** Biopaliwa stałe - Oznaczanie składu ziarnowego paliw niesprasowanych - Część 2: Metoda przesiewania wibracyjnego przy użyciu sit o wymiarach oczka 3,15 mm lub poniżej.
- Janowicz L.** (2006). Wykorzystanie słomy do celów grzewczych. Europejskie Centrum Energii Odnawialnej. *Centralne Laboratorium Naftowe*, Warszawa 2006.
- Jenkins, B.M, Baxter L.L, Miles T.R., Honghi A.** (1998). Combustion properties of biomass: Deposit chemistry. *Fuel Processing Technology*. 1998, vol. 54, 1-3, s. 17-46. DOI: 10.1016/S0378-3820(97)00059-3.
- KOBIZE:** Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami: Wskaźniki emisyjności CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO i pyłu całkowitego dla energii elektrycznej na podstawie informacji zawartych w Krajowej bazie o emisjach gazów cieplarnianych i innych substancji za 2016 rok, grudzień 2017 r. <http://www.kobize.pl/> Dostęp: 03.07.2018

- Kocira S.** (2013). Techniczna i technologiczna modernizacja gospodarstw rodzinnych w procesie wdrażania rolnictwa zrównoważonego. *Lublin. Wydaw. TWNL*. ISBN 978-83-63761-15-8 ss. 115.
- Kordylewski, W.** (2001). Spalanie i paliwa. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2001. ISBN 83-7085-565-2.
- Llorente M.J., Fernández P., Díaz Arocas L., Gutiérrez Nebot J.E., Carrasco G., Honghi A.** (2008). The effect of the addition of chemical materials on the sintering of biomass ash: *Deposit chemistry. Fuel*. 2008, vol. 87, issue 12, s. 2651-2658. DOI: 10.1016/j.fuel.2008.02.019.
- Manhart A., Grieshammer R.** (2006): Social impacts of the production of notebook PCs. *Contribution to the development of a Product Sustainability Assessment (PROSA)*. Öko-Institut e.V., Freiburg, Germany
- Martan L.** (1998). Wybrane zagadnienia rzeczowych przedsięwzięć inwestycyjnych, *Wydawnictwo Leopoldinum*, Wrocław.
- Matuszak N.** (2012). Analiza SROI. Ile warta jest społeczna odpowiedzialność? Waloryzacja w raportowaniu społecznym. *Forum Odpowiedzialnego Biznesu – Mierzenie efektywności i wpływu społecznego działań CSR*, Warszawa.
- Méthot A.** (2005). FIDD: A green and socially responsible venture capital fund. Presentation on the Life Cycle Approaches for Green Investment. *26th LCA Swiss Discussion Forum*, 2005, Lausanne, Switzerland
- Michalek N.** (2012). Znaczenie i Wykorzystanie wskaźnika ROI w pomiarze efektywności wirtualizacji IT, *Współczesna Gospodarka*, 3(1) 2012, ISSN: 2082-677X
- Michalek R., Kuboń M.** (2014). Kronika: Co dalej z inżynierią rolniczą? *Inżynieria Rolnicza*, 3(151), 247-252. ISSN: 1429-7264.
- Moroń D. Klimowicz M.** (2016). Zastosowanie stopy społecznego zwrotu z inwestycji (SROI) jako wskaźnika mierzenia efektywności projektów społecznych, *Wrocławskie Studia Politologiczne* 21(16), Uniwersytet Wrocławski, 67-81, DOI: 10.19195/1643-0328.21.5
- Moroń D. Klimowicz M.** (2016). Zastosowanie stopy społecznego zwrotu z inwestycji (SROI) jako wskaźnika mierzenia efektywności projektów społecznych, *Wrocławskie Studia Politologiczne* 21(16), Uniwersytet Wrocławski, 67-81, DOI: 10.19195/1643-0328.21.5
- Napiórkowski J., Gonera J.** (2017). Modelling Reliability of Henhouse Microclimate Systems with Risk Analysis Approaches. *Agricultural Engineering*, 2017, R. 21, nr 3 (163), s. 47-60. ISSN: 2083-1587.
- Nielsen, H.P., Frandsen F.J., Dam-Johansen K., Baxter L.L., Honghi A.** (2000). The implications of chlorine-associated corrosion on the operation of biomass-fired boilers: a pilot-scale study. *Progress in Energy and Combustion Science*. 2000, vol. 26, issue 3, s. 283-298. DOI: 10.1016/S0360-1285(00)00003-4.
- Nielsen, H, P. Díaz Arocas, L. Gutiérrez Nebot, Carrasco García J.E., Honghi A.** (2008). Deposition of potassium salts on heat transfer surfaces in straw-fired boilers: a pilot-scale study. *Fuel*. 2008, vol. 79, issue 2, s. 131-139. DOI: 10.1016/S0016-2361(99)00090-3

- Olanders B., Steenari T.R., Miles, T.R., Honghi A.** (1995). Characterization of ashes from wood and straw: Deposit chemistry. *Biomass and Bioenergy*. 1995, vol. 8, issue 2, s. 105-115. DOI: 10.1016/0961-9534(95)00004-Q.
- Pesonen H., L.** (2007). Sustainability SWOTs – New Method for Summarizing Product Sustainability Information for Business Decision Making, *LCM 2007*, Zürich.
- PN-G-04511:**1980 Paliwa stałe - Oznaczanie zawartości wilgoci
- PN-G-04512:**1980/Az1:2002 Paliwa stałe - Oznaczanie zawartości popiołu metodą wagową.
- PN-G-04516:**1998 Paliwa stałe - Oznaczanie zawartości części lotnych metodą wagową.
- PN-ISO 1170:**2001 Węgiel i koks - Przeliczanie wyników analiz na różne stany.
- PN-ISO 1928:**2002 Paliwa stałe - Oznaczanie ciepła spalania metodą spalania w bombie kalorymetrycznej i obliczanie wartości opałowej.
- Rogowski W., Michalczewski A.** (2005). Zarządzanie ryzykiem w przedsiębiorstwach inwestycyjnych, *Oficyna Ekonomiczna Kraków*.
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) Nr 517/2014** z dnia 16 kwietnia 2014 r. w sprawie fluorowanych gazów cieplarnianych i uchylenia rozporządzenia (WE) nr 842/2006.
- Sadowski K.** (2013). Problematyka użytkowania biomasy leśnej na przykładzie rozwiązań w Elektrociepłowni Białystok S.A. *Biomasa leśna na cele energetyczne*, Sękocin Stary, Instytut Badawczy Leśnictwa, s. 225–245.
- Saltelli A.** (2002). Sensitivity Analysis for Importance Assessment. *Risk Analysis*, Vol. 22, No. 3, 2002
- Saltelli A., Tarantola S., Campolongo F., Ratto M.** (2002). Sensitivity analysis in practice. *A guide to assessing scientific models*. John Wiley & Sons, Ltd. ISBN 0-470-87093-1
- Sander B., Frandsen F., Dam-Johansen K., Larsen O. H., Hørlyck S., Karlsson A.** (1997). Properties of Danish biofuels and the requirements for power production: a pilot-scale study. *Biomass and Bioenergy*. 1997, vol. 12, issue 3, s. 177-183. DOI: 10.1016/S0961-9534(96)00072-4.
- Sawicki K.** (1991). *Podstawy rachunkowości*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1991.
- Schmidt E.** (2007). Klimaschutz durch Biomasse. *Sondergutachten, Sachverständigenrat für Umweltfragen* (SRU), ISBN 978-3-503-10602-8
- Serrano C., Monedero E., Magín Lapuerta A. Portero H.** (2011). Effect of moisture content, particle size and pine addition on quality parameters of barley straw pellets. *Fuel Processing Technology*. 2011, vol. 92, issue 3, p. 699-706. DOI: 10.1016/j.fuproc.2010.11.031.
- The Interorganizational Committee** on Principles and Guidelines for Social Impact Assessment (2003). Principles and guidelines for social impact assessment in the USA. *Impact Assessment and Project Appraisal*, volume 21, number 3, September 2003, pages 231–250, Beech Tree Publishing, 10 Watford Close, Guildford, Surrey GU1 2EP, UK

- Skorek J., Kalina J.** (2000). Analiza opłacalności i optymalizacja małych układów do skojarzonego wytwarzania ciepła i energii elektrycznej. *Materiały konferencyjne „Energetyka rozproszona szanse i bariery”*, Warszawa, 20 marca 2000 roku, s. 35–49.
- Sładkiewicz D.** (2016). Analiza wrażliwości w ocenie ryzyka projektów inwestycyjnych w przedsiębiorstwie z branży kosmetycznej *Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia* nr 4/2016 (82), cz. 2 DOI: 10.18276/frfu.2016.4.82/2-54, s. 617–624
- Solińska M., Soliński I.** (2003). Efektywność ekonomiczna proekologicznych inwestycji rozwojowych w energetyce odnawialnej. *Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne*, Kraków 2003.
- Spillemaeckers S, Vanhoutte G, Taverniers L, Lavrysen L, van Braeckel D, Mazijn B, Rivera J. D.** (2004): Integrated Product Assessment – The Development of the Label 'Sustainable Development' for Products Ecological, Social and Economical Aspects of Integrated Product Policy. *Belgian Science Policy*, Belgium
- Steenari, B., M., Lindqvist O., Miles T.R, Honghi A.** (1998) High-temperature reactions of straw ash and the anti-sintering additives kaolin and dolomite: Deposit chemistry. *Biomass and Bioenergy* vol. 14, issue 1, s. 67-76. DOI: 10.1016/S0961-9534(97)00035-4.
- Stelte W., Jens K. H., Anand R. Sanadi, Søren Barsberg, Jesper Ahrenfeldt A., Ulrik B., Henriksen. A.** (2011). Study of bonding and failure mechanisms in fuel pellets from different biomass resources. *Biomass and Bioenergy*. 2011, vol. 35, issue 2, s. 910-918. DOI: 10.1016/j.biombioe.2010.11.003
- Stiglitz J. E.** (2004). Ekonomia sektora publicznego, *Wydawnictwo Naukowe PWN*, Warszawa 2004, ISBN: 978-83-01-15187-4
- Szparaga A., Czerwińska E.** (2017). Modelling of Beetroot Seedlings with Modified Generalized Logistic Functions. *Agricultural Engineering*, 2017, R. 21, nr 3 (163), s. 107-117. ISSN: 2083-1587.
- Szufa S. Romanowska-Duda Z. Grzesik M.** (2012). Rośliny energetyczne i urządzenia dla przetwarzania i spalania biomasy, Monografia: Inwestowanie w Odnawialne Źródła Energii, PAN Komisja Ochrony Środowiska w Łodzi
- Theerarattananoon K. F., Xu J., Wilson R., Ballard L., McKinney S., Staggenborg P., Vadlani Z. J., Pei A. D. Wang** (2001). Physical properties of pellets made from sorghum stalk, corn stover, wheat straw, and big bluestem. *Industrial Crops and Products*. 2011, vol. 33, issue 2, s. 325-332. DOI: 10.1016/j.indcrop.2010.11.014.
- TransWaste** (2012). Social effects informal collection & formalisation strategies, Final report of the project TransWaste funded by Central Europe.
- URE** (2011). Załącznik nr 3 do Informacji Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki Nr 30/2011 w sprawie kwalifikacji biomasy na cele energetyczne pozostałości z procesu uzyskiwania oleju roślinnego z orzecha Masłosza (niezależnie od postaci handlowej – m.in. łupina orzecha Masłosza, wyłoczyny z orzecha Masłosza). Warszawa, 28 lutego 2012 r.

**Ustawa OZE** z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii, znowelizowana 6 marca 2018 r., opublikowana 21.09.2018 (Dz. U. z 2018 r. poz. 1269, 1276, 1544, 1629, 1669).

**Wach, E., Szajner, A.** (1994). Nowoczesne kotły do spalania biomasy. Analiza ekonomiczna zastosowań. *Semin. Kraj. „Wykorzystanie energii odnawialnej w rolnictwie”*, Warszawa 1994.

**Weidema B., P.** (2006): The integration of Economic and Social Aspects in Life Cycle Impact Assessment. *Int J LCA* 11 (1) (Special Issue) 89–96

www1: <https://www.imp.gda.pl/projekty/programy-krajowe/ps4/prototypy/orc-zychlin/> dostęp: 15.09.2018.

www2: <http://www.surowce-naturalne.pl>, wortal poświęcony geografii handlowej, dostęp: 19.11.2017

www3: <https://markets.businessinsider.com/commodities/co2-emissionsrechte> dostęp: 17.09.2018

**ZeroWin** (2010), Obersteiner G., Beigl P., Pertl A., *Scherhauser Institute of Waste Management, BOKU Wien*. Grant Agreement number: 226752. Work package number: 7.

## STRESZCZENIE

W pracy została zaproponowana metoda parametryzacji i oceny wpływów socjalnych z energetycznego wykorzystania biomasy, z uwzględnieniem zasad obowiązujących w istniejących analizach zysków społecznych.

W przeglądzie literatury zdefiniowano podstawowe pojęcia związane z analizami socjalnymi jak wpływ socjalny, łańcuch oddziaływania, czy monetaryzacja. Do obliczeń wybrano metodę SROI, podano jej definicję, podstawowe zasady jej sporządzania, a także najczęstsze przyczyny błędów. W dalszej części przeglądu literatury wykonano analizę istniejących prac w obszarze i poza obszarem inżynierii rolniczej. Wielu autorów opracowało metodyki analizy wpływu przedsięwzięcia na społeczeństwo, ale żadna z tych metodyk nie zajmuje się wykorzystaniem biomasy na cele energetyczne, co było podstawą do sformułowania problemu badawczego, a w konsekwencji celu i zakresu pracy.

W metodyce badań i obliczeń podano wzory i wielkości pozwalające na parametryzację zysków społecznych. Wybrano pięć głównych wskaźników, tj. wpływ wytwarzanej energii na rolników, wpływ użytkowania biomasy na producenta energii, redukcję gazów cieplarnianych, stworzenie nowych miejsc pracy i odpowiedzialność za produkt. Podano również wzory pozwalające obliczyć wskaźniki cząstkowe dla każdego z głównych wskaźników socjalnych. Dalsza część metodyki obejmowała wielkości i wskaźniki wybrane do analiz ekonomicznych, a także normy i metody badawcze, które zostały wykorzystane do analiz biomasy w tym do badań ciepła spalania. Opisano także miejsca badań pokazując ich zróżnicowanie.

W części badawczej wykonano i opisano sześć analiz: przykładową analizę SROI dla spalania słomy przy użyciu instalacji ORC, porównanie wyników analizy SROI dla znacznie zróżnicowanych działalności, badania wpływu parametrów energetycznych na wskaźnik SROI, badań sprawności instalacji, porównania analizy SROI z analizą ekonomiczną oraz analizy wrażliwości.

W analizie socjalnej dla spalania słomy przy użyciu instalacji ORC wykorzystano rzeczywiste dane rynkowe, wyszczególniono nakłady inwestycyjne, koszty eksploatacyjne oraz obliczono wpływy socjalne. Porównanie zróżnicowanych działalności wykonano dla zbiórki gałęzi dla przedsiębiorstwa Sady Trzebnica, o znacznym poziomie mechanizacji oraz dla Jury Szwabskiej o niskiej mechanizacji. Badanie wpływu parametrów energetycznych na wskaźnik SROI wykonano dla trzech wybranych biomas: słomy pszennej, masłosza i drewna odpadowego. Badania uwzględniały określanie wartości opałowej, analizę przydatności energetycznej dla słomy pszennej, analizę efektów środowiskowych na przykładzie masłosza. Obliczenia sprawności

instalacji wykonano w sposób pośredni dla drewna odpadowego i kory. Podano mierzone wielkości oraz sposoby obliczania poszczególnych strat. Przy porównaniu wyników analizy socjalnej z analizą ekonomiczną wskazano różnice i podobieństwa obu rodzajów analiz, przeprowadzono dyskusję wyników. Analiza wrażliwości pozwoliła na określenie wpływu poszczególnych zmiennych niezależnych na wynik końcowy. W pracy zaproponowano sposób określenia tej wrażliwości oraz wnioskowania.

Wykonane w pracy badania i analizy posłużyły do sformułowania wniosków.

**Słowa kluczowe:** analiza socjalna, biomasa, energetyka, wpływ socjalny, aspekty socjoekonomiczne

## **SOCIO-ECONOMIC ASPECTS OF THE ENERGETIC USE OF AGRICULTURAL BIOMASS**

### **Summary**

The dissertation proposes a method of parameterization and assessment of social impacts of bio-mass used for energetic purposes, considering the principles of existing analyses of social benefits. The literature review defines the basic indexes related to social analyses such as social impact, chain of influence or monetization. The SROI method was selected for the calculations, the definition was given, the basic principles of SROI preparation and the most common causes of errors were described. In the further part of the literature review, an analysis of existing works in the area and outside of the field of agricultural engineering was performed. Many authors have developed the methods of analysing the impact of the project on society, but none of these methodologies deals with the use of biomass for energy purposes, which was the basis for formulating the research problem, and consequently the purpose and scope of the work. In the research and calculation methodology, formulas and quantities were given. Five main indicators were selected, i.e. the impact of energy produced on farmers, the impact of biomass on the energy producer, reduction of greenhouse gases, creation of new jobs and product responsibility. Formulas for calculating sub-indexes for each of the main social indicators were given as well. The further part of the methodology also included the quantities and indexes selected for economic analyses. The regulations and research methods used for biomass analyses were given, including the examination of the low calorific value. The research sites have also been described showing their diversity.

Six analyses were carried out and described in the research part: exemplary SROI analysis for straw combustion using ORC installations, comparison of SROI analysis results for significantly diversified activities, studies on the impact of energy parameters on the SROI index, plant efficiency research, SROI analysis compared to the economic analysis, and sensitivity analysis. In the social analysis for straw combustion using the ORC installation real market data was used, like investment and operating costs. At the end social influences were calculated as well. The comparison of diversified activities was performed for the collection of branches for Sady Trzebnica, with a significant level of mechanization, and for the Swabian Alb with low mechanization. The study of the impact of energetic parameters on the SROI index was performed for three selected types of biomass: wheat straw, shea butter and waste wood. The research included the determination of the low calorific value, the analysis of energy suitability for wheat straw, the analysis of environmental effects on the example of shea butter. Calculation of plant efficiency was made indirectly for waste wood and bark. The measured values and methods for calculating individual heat losses are given. Based on comparison between the results of the social and the economic analysis, the differences and similarities between the two types

of analyses were indicated and the discussion of the results was carried out. Sensitivity analysis allowed to determine the impact of individual independent variables on the final result. The paper proposes a way to determine this sensitivity and inference.

Studies and analyses carried out in the work allowed to formulate the conclusions.

**Key words:** social analysis, biomass, energetics, social influence, social-economic aspects



