



Instytut Uprawy
Nawożenia i Gleboznawstwa
Państwowy Instytut Badawczy

Ewa Krasuska

**METODA SZACOWANIA CEN BIOMASY
DLA ENERGETYKI Z UWZGLĘDNIENIEM
PREMII ZA RYZYKO**

Praca doktorska wykonana pod kierunkiem
prof. dr hab. Antoniego Fabera

Puławy, 2011

*Praca ta nie powstałaby bez życzliwości i zachęty
Pana prof. dr hab. Antoniego Fabera. Bardzo dziękuję!*

*Składam szczególne podziękowania także mojemu
mężowi Jarosławowi za wsparcie i wyrozumiałość.*

SPIS TREŚCI

1	Wprowadzenie.....	7
2	Przegląd literatury	9
2.1	Uprawy wieloletnie roślin energetycznych	9
2.2	Ryzyko w rolnictwie i metody jego wyceny	19
3	Materiały i metodyka.....	23
3.1	Materiały	23
3.1.1	Dane z Powszechnego Spisu Rolnego 2002	23
3.1.2	Plony i koszty produkcji roślin energetycznych	23
3.1.3	Potencjał gruntów dla upraw energetycznych.....	24
3.1.4	Dane z gospodarstw indywidualnych.....	25
3.2	Metodyka.....	27
3.2.1	Schemat metodyki pracy	27
3.2.2	Metoda szacowania cen równowagi dla biomasy	28
3.2.3	Wyznaczenie typów rolniczych dla gmin	29
3.2.4	Metoda szacowania premii za ryzyko	30
3.2.5	Metody statystyczne.....	34
3.2.6	Badanie wpływu charakterystyk rolnictwa na ceny biomasy	35
3.2.7	Kalkulator maksymalnej ceny biomasy	36
3.2.8	Wyznaczanie krzywych podaży	37
4	Wyniki.....	38
4.1	Ceny równowagi względem konwencjonalnej produkcji rolniczej	38
4.1.1	Ceny równowagi dla całej populacji gmin.....	38
4.1.2	Skupienia gmin ze względu na typologię rolnictwa	40
4.1.3	Ceny równowagi w skupieniach rolniczych	42
4.2	Analiza ryzyka	44
4.2.1	Nadwyżki bezpośrednie	44
4.2.2	Premie za ryzyko	45
4.3	Ceny końcowe uwzględniające premie za ryzyko	47
4.4	Wpływ charakterystyk rolnictwa na ceny biomasy	50
4.5	Potencjał ekonomiczny produkcji biomasy z upraw wieloletnich	55
4.5.1	Ceny rynkowe biomasy oraz ceny maksymalne	55
4.5.2	Skumulowane prawdopodobieństwo dla cen biomasy	58
4.5.3	Krzywe podaży.....	64
5	Dyskusja wyników	70
6	Wnioski	82
7	Piśmiennictwo.....	84
	Załącznik 1	93
	Załącznik 2	94

SPIS TABEL

<i>Tabela 1. Plony roślin energetycznych dla całej populacji gmin oraz wartości opałowe biomasy.....</i>	<i>24</i>
<i>Tabela 2. Koszty produkcji biomasy w zł ha⁻¹ rok⁻¹ dla 15-sto letniego okresu użytkowania plantacji (opracowanie własne na podstawie Faber i in. 2009)</i>	<i>24</i>
<i>Tabela 3. Potencjał gruntów odpowiednich dla roślin energetycznych w podziale na kompleksy przydatności rolniczej (Pudelko i Faber 2010)</i>	<i>25</i>
<i>Tabela 4. Grupowanie gospodarstw według ogólnych typów rolniczych TF8 oraz liczebność gospodarstw indywidualnych należących do każdego typu w próbie FADN dla roku 2007</i>	<i>26</i>
<i>Tabela 5. Liczebność gmin oraz powierzchnie przydatne dla upraw energetycznych.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabela 6. Mediany cen równowagi w zł GJ⁻¹ dla biomasy w odniesieniu do całej populacji gmin</i>	<i>39</i>
<i>Tabela 7. Powierzchnie gruntów odpowiednich dla upraw energetycznych w poszczególnych skupieniach rolniczych gmin</i>	<i>42</i>
<i>Tabela 8. Mediany cen równowagi dla biomasy w zł GJ⁻¹ w skupieniach rolniczych gmin dla roku 2002</i>	<i>43</i>
<i>Tabela 9. Mediany cen równowagi dla biomasy w zł GJ⁻¹ w skupieniach rolniczych gmin dla roku 2007</i>	<i>43</i>
<i>Tabela 10. Mediany nadwyżek bezpośrednich w zł ha⁻¹ użytków rolnych gospodarstwa dla trzech losowych prób indywidualnych gospodarstw z uwzględnieniem typu produkcji rolniczej.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabela 11. Mediany nadwyżek bezpośrednich w zł ha⁻¹ dla produkcji biomasy dla trzech losowych prób gmin z uwzględnieniem typologii rolnictwa</i>	<i>45</i>
<i>Tabela 12. Premia za ryzyko w zł GJ⁻¹ dla biomasy dla trzech serii losowych prób danych wejściowych z uwzględnieniem typów produkcji rolniczej</i>	<i>46</i>
<i>Tabela 13. Wartości średnie premii za ryzyko dla biomasy w zł GJ⁻¹ z uwzględnieniem typów produkcji rolniczej.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabela 14. Mediany cen końcowych biomasy w zł GJ⁻¹ z uwzględnieniem typów produkcji rolniczej.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabela 15. Wartości współczynników determinacji R² dla opracowanych modeli</i>	<i>50</i>
<i>Tabela 16. Charakterystyki rolnictwa warunkujące ceny biomasy oraz odpowiadające im wartości współczynników średniej absolutnej wrażliwości (objaśnienia skrótów w tekście)</i>	<i>51</i>
<i>Tabela 17. Przeciętne cen biomasy występujące w kontraktach na zakup biomasy zawieranych przez zakłady energetyczne (dane dla roku 2010 uzyskane na podstawie zapytań skierowanych do zakładów energetycznych).....</i>	<i>56</i>
<i>Tabela 18. Powierzchnie gruntów odpowiednich dla upraw energetycznych w poszczególnych skupieniach rolniczych po wykluczeniu gmin z ujemnymi wartościami nadwyżek z bieżącej działalności rolniczej.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabela 19. Skumulowane prawdopodobieństwo produkcji biomasy dla wybranych cen końcowych w skupieniu gmin z dominującą produkcją roślinną (K-1)</i>	<i>64</i>
<i>Tabela 20. Skumulowane prawdopodobieństwo produkcji biomasy dla wybranych cen końcowych w skupieniu gmin z dominującą produkcją wielokierunkową (K-2)</i>	<i>64</i>
<i>Tabela 21. Skumulowana produkcja biomasy dla wybranych cen końcowych w skupieniu gmin z dominującą produkcją roślinną (K-1)</i>	<i>69</i>

<i>Tabela 22. Skumulowana produkcja biomasy dla wybranych cen końcowych w skupieniu gmin z dominującą produkcją wielokierunkową (K-2)</i>	<i>69</i>
<i>Tabela 23. Skumulowana produkcja biomasy dla wybranych cen końcowych łącznie w skupieniu gmin z dominującą produkcją roślinną (K-1) i wielokierunkową (K-2)</i>	<i>69</i>
<i>Tabela 24. Zestawienie premii za ryzyko oraz cen końcowych biomasy dla uprawy wierzby na cele energetyczne w odniesieniu do konwencjonalnych kierunków produkcji rolniczej (1 €=4,00 zł).....</i>	<i>71</i>

SPIS RYSUNKÓW

<i>Rysunek 1. Prognozowany potencjał gruntów pod uprawy energetyczne w Polsce – wybrane studia europejskie, wyniki dla roku 2020 oraz 2030.....</i>	<i>12</i>
<i>Rysunek 2. Uproszczony schemat metodyki pracy.....</i>	<i>27</i>
<i>Rysunek 3. Wyniki analizy SERF dla alternatywnych waraintów A-D dla absolutnego poziomu awersji do ryzyka w zakresie 0,000-0,035 dla ujemnej wykładniczej funkcji użyteczności (Hardaker i in. 2004b).....</i>	<i>31</i>
<i>Rysunek 4. Wykres ramka-wąsy dla cen równowagi roślin energetycznych w zł GJ⁻¹ dla roku 2002.....</i>	<i>39</i>
<i>Rysunek 5. Wykres ramka-wąsy dla cen równowagi roślin energetycznych w zł GJ⁻¹ dla roku 2007.....</i>	<i>40</i>
<i>Rysunek 6. Wartości średnie odpowiadające centrom skupień dla wybranych cech charakteryzujących rolnictwo w gminach</i>	<i>41</i>
<i>Rysunek 7. Struktura cen końcowych biomasy z uwzględnieniem typów produkcji rolniczej</i>	<i>49</i>
<i>Rysunek 8. Wykres powierzchni reakcji dla cen równowagi wierzby w zależności od liczby sztuk dużych zwierząt na 100 ha użytków rolnych (SD100UR) oraz udziału trwałych użytków zielonych w użytkach rolnych (TUZUR)</i>	<i>53</i>
<i>Rysunek 9. Wykres powierzchni reakcji dla cen równowagi miskanta w zależności od udziału dochodów z rolnictwa w budżetach gospodarstw domowych (DOCHR) oraz udziału osób z wykształceniem ponad podstawowym (WYKPP) wśród właścicieli gospodarstw</i>	<i>53</i>
<i>Rysunek 10. Wykres powierzchni reakcji dla cen równowagi słazowca w zależności od udziału dochodów z rolnictwa w budżetach gospodarstw domowych (DOCHR) oraz udziału osób w wieku mobilnym wśród właścicieli gospodarstw (WMOB).....</i>	<i>54</i>
<i>Rysunek 11. Wykres powierzchni reakcji dla cen równowagi wierzby Eko-Salix w zależności od udziału trwałych użytków zielonych w użytkach rolnych (TUZUR) oraz udziału osób z wykształceniem ponad podstawowym (WYKPP) wśród właścicieli gospodarstw</i>	<i>54</i>
<i>Rysunek 12. Skumulowane rozkłady prawdopodobieństwa dla cen końcowych biomasy w skupieniu gmin z dominującą produkcją roślinną.....</i>	<i>62</i>
<i>Rysunek 13. Skumulowane rozkłady prawdopodobieństwa dla cen końcowych biomasy w skupieniu gmin z dominującą produkcją wielokierunkową.....</i>	<i>63</i>
<i>Rysunek 14. Krzywe podaży biomasy w gminach z dominującą produkcją roślinną (K-1).....</i>	<i>67</i>
<i>Rysunek 15. Krzywe podaży biomasy w gminach z produkcją wielokierunkową (K-2)</i>	<i>68</i>
<i>Rysunek 16. Wydruk strony wyników z kalkulatora cen biomasy.....</i>	<i>93</i>
<i>Rysunek 17. Ekwiwalenty pewności dla różnych poziomów awersji do ryzyka wyznaczone metodą SERF dla danych wejściowych z próby losowej 1</i>	<i>95</i>
<i>Rysunek 18. Ekwiwalenty pewności dla różnych poziomów awersji do ryzyka wyznaczone metodą SERF dla danych wejściowych z próby losowej 2</i>	<i>96</i>
<i>Rysunek 19. Ekwiwalenty pewności dla różnych poziomów awersji do ryzyka wyznaczone metodą SERF dla danych wejściowych z próby losowej 3</i>	<i>97</i>

1 Wprowadzenie

Wykorzystanie biomasy do produkcji energii jest w Polsce jednym z podstawowych kierunków rozwoju sektora odnawialnych źródeł energii (OZE), któremu przypisuje się istotną rolę dla osiągnięcia celów związanych z ochroną środowiska, ochroną klimatu i poprawą bezpieczeństwa energetycznego. W „Polityce energetycznej Polski do roku 2030” wykorzystanie odnawialnych źródeł energii zaliczono do priorytetowych kierunków polityki energetycznej państwa (Ministerstwo Gospodarki 2009). Dążąc do osiągnięcia wzrostu udziału OZE w finalnym zużyciu energii co najmniej do poziomu 15% w 2020 roku oraz dalszego wzrostu tego wskaźnika w latach następnych, Polska ma na celu realizację zobowiązań wynikających z unijnego „Pakietu energetyczno-klimatycznego”.

Zużycie biomasy w energetyce zawodowej w roku 2010 wyniosło 4 536 tys. ton i wzrosło o blisko 20% w stosunku do roku poprzedniego (Flakowicz 2011a). Wykorzystywane obecnie zasoby biomasy to przede wszystkim biomasa pochodzenia leśnego, a także w pewnym stopniu produkty uboczne rolnictwa. Dalszy rozwój sektora energetycznego wykorzystania biomasy, nakierowany na realizację celów polityki energetycznej państwa, wymagać będzie uruchomienia produkcji biomasy z upraw przeznaczonych dla energetyki. Chodzi przede wszystkim o plantacje wieloletnie wierzby, mискanta i ślázowca, które w warunkach polskich mogą mieć znaczący potencjał produkcji i pozostają w obszarze zainteresowań energetyki.

Potencjał gruntów odpowiednich dla uprawy wieloletnich roślin energetycznych kształtuje się na poziomie 1,6 mln ha (Faber i in., 2009). Tymczasem rzeczywisty areal tych plantacji w Polsce wynosi około 7 tys. ha i nie rozwija się dalej (ARiMR 2009). Podobną stagnację w rozwoju produkcji biomasy z upraw energetycznych obserwuje się w innych krajach Unii Europejskiej. Przyczyny tego stanu są złożone, jednak brak opłacalności produkcji oraz ryzyko ekonomiczne związane z nowym kierunkiem produkcji należą do najbardziej istotnych barier.

Zakłady energetyczne dążąc do maksymalizacji zysku są żywotnie zainteresowane produkcją „zielonej” energii, z którą wiąże się wsparcie w postaci tzw. zielonych certyfikatów, czyli praw majątkowych do świadectw pochodzenia. Korzystając z uprzywilejowanej pozycji i siły ekonomicznej sektor energetyczny oferuje ceny biomasy, które nie zapewniają wystarczającej opłacalności upraw

energetycznych. Kształtujący się dopiero rynek biomasy z upraw energetycznych nie jest w stanie wyznaczyć ceny, dla której podaż zrównoważy popyt.

Wychodząc naprzeciw zarówno oczekiwaniom energetyki, jak i potencjalnym producentom biomasy, w niniejszej pracy podjęto zagadnienie szacowania cen biomasy z wieloletnich upraw energetycznych.

Celem głównym jest opracowanie metody szacowania cen biomasy zapewniających opłacalność i konkurencyjność wieloletnich upraw energetycznych, uwzględniając potrzebę rekompensaty ryzyka związanego z podjęciem nowego kierunku produkcji przez rolników.

Cele częściowe:

- Oszacowanie cen biomasy równoważących dotychczasowe wyniki ekonomiczne z produkcji rolniczej oraz koszty produkcji biomasy.
- Wyznaczenie premii za ryzyko w odniesieniu do produkcji biomasy.
- Wyznaczenie cen końcowych biomasy.
- Badanie wpływu cech charakteryzujących rolnictwo na ceny biomasy.
- Ocena potencjału ekonomicznego produkcji biomasy z upraw wieloletnich

Hipoteza:

W warunkach niedojrzałego rynku biomasy z upraw energetycznych, zakłada się, że możliwe jest wyznaczenie cen biomasy, które będą uwzględniały dotychczasowe wyniki z produkcji rolniczej oraz premię kompensującą ryzyko związane z podjęciem nowego kierunku (gałęzi) produkcji przez rolników.

2 Przegląd literatury

2.1 Uprawy wieloletnie roślin energetycznych

Wierzba, miskant i ślazier pensylwański uznawane są w Polsce za rośliny energetyczne najbardziej odpowiednie dla warunków krajowych. Plantacje zakłada się w oparciu o specjalnie wyselekcjonowane odmiany tych roślin.

Rodzaj wierzba (*Salix* L.) obejmuje w Polsce 28 gatunków oraz wiele mieszańców trudnych do oznaczenia i zidentyfikowania (Dubas i in. 2004). Jako roślina dziko rosnąca występuje na obrzeżach cieków wodnych. Wierzba uprawiana na cele energetyczne to najczęściej gatunki *Salix viminalis* i *Salix purpurea*, choć wytworzono wiele mieszańców międzygatunkowych o bardzo szybkim i dużym przyroście biomasy i podwyższonej odporności na choroby i szkodniki (Dubas 2004, Szczukowski i in. 2004). Prace hodowlane w tym zakresie od ponad 20 lat prowadzone są w Katedrze Hodowli Roślin i Nasiennictwa Uniwersytetu Warmińsko Mazurskiego w Olsztynie (Szczukowski i in. 2004).

Miskant (rodzaj *Miscanthus*) to wysoka trawa wieloletnia o fotosyntezie typu C4 pochodząca z Azji wschodniej (Lewandowski i in. 2000). Bardzo duża zdolność do adaptacji w różnych warunkach siedliskowych sprawiła, że miskant jest uprawiany w Europie od lat 30. minionego wieku (Lewandowski i in. 2000), początkowo jako roślina ozdobna, a w ostatnim czasie także jako użytkowa. Z przeznaczeniem na cele energetyczne wykorzystywany jest przede wszystkim miskant olbrzymi (*Miscanthus x giganteus*), który jako naturalny mieszaniec *M. Sinensis* oraz *M. sacchariflorus* charakteryzuje się szybkim wzrostem, wysokim plonem biomasy oraz stosunkowo wysoką, jak na ten gatunek, odpornością na niskie temperatury (Roszewski 1996, Lewandowski i in. 2000, Jeżowski 2000).

Ślazier pensylwański (*Sida hermaphrodita* Rusby) został introdukowany do Polski w latach 50. ubiegłego stulecia (Borkowska i Styk 2006). Roślina ta należy do rodziny ślaziowate (*Malvaceae*) i pochodzi z Ameryki Północnej. Próby z aklimatyzacją i uprawą ślaziowca prowadzone przez Akademię Rolniczą w Lublinie dały bardzo dobre wyniki i gwarantowały w warunkach polskich dobry wzrost, rozwój i plonowanie przez wiele lat (Borkowska i Styk 2006).

Plantacje energetyczne należy zakładać na glebach o niższej przydatności rolniczej, mając na uwadze przeznaczenie gleb najlepszych do produkcji żywności.

Odpowiednim stanowiskiem są gleby klasy III, IV i V, jednak koniecznym warunkiem udanej uprawy jest zapewnienie dostatecznej ilości wody czy to z opadów, czy też z wód gruntowych (Dubas i in. 2004, Szczukowski i in. 2002, Szczukowski i in. 2004, Roszewski 1996, Borkowska i Styk 2006). Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa (IUNG-PIB) proponuje następujące zalecenia glebowe: dla wierzby – gleby kompleksu zbożowo pastewnego mocnego oraz zbożowo pastewnego słabego, dla miskanta – kompleks żytni dobry, a dla ślazu – kompleks żytni słaby (Faber i in. 2009). Odpowiedni dobór stanowiska glebowego, a także staranność w należytych prowadzeniu plantacji są kluczowe dla powodzenia uprawy (Helby i in. 2006).

Badania nad plonowaniem roślin energetycznych prowadzone są w kilku ośrodkach w kraju. Średni plon potencjalny wierzby symulowany promieniowaniem wynosi w Polsce $15,7 \text{ t sm ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$, a plon średni ograniczony niedoborem wody $12,1 \text{ t sm ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$ (Borek 2008). Wartości te korespondują z wynikami doświadczeń polowych. Stolarski (2009) uzyskał dla pięciu odmian wierzby uprawianych na madzie w Nizinie Kwidzyńskiej średni plon $15,2 \text{ t sm ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$ dla trzech różnych cykli zbioru i przy różnym zagęszczeniu plantacji. Plony uzyskane w rejonie Puław wyniosły średnio $12,1 \text{ t sm ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$ na glebie średniej oraz $13,7 \text{ t sm ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$ na glebie lekkiej dla zbioru corocznego (Kuś i Matyka 2010). Wydłużenie cyklu zbioru z jednorocznego do trzyletniego wiąże się z wyraźną wyższą plonu wierzby o 20-40% (Stolarski i in. 2006, Stolarski 2009, Tworowski i in. 2006, Faber i Kuś 2007). Z tego względu na plantacjach produkcyjnych zalecany jest zbiór co trzy lata, wymaga to jednak zastosowania specjalnych maszyn. Uprawy z jednorocznym cyklem zbioru mogą być atrakcyjne w małych gospodarstwach, ponieważ dają możliwość zastosowania tańszych maszyn do zbioru biomasy oraz uzyskania corocznego przychodu ze sprzedaży biomasy (Tworowski i in. 2010).

Nowym sposobem produkcji biomasy jest uprawa wierzby w systemie Eko-Salix na trwałych użytkach zielonych (Tworowski i in. 2010). Założenie plantacji nie wymaga orki i odbywa się przez nasadzenia długich sadzonek, tzw. żywokołów. Uzyskane w doświadczeniach plony wyniosły średnio $8,1 \text{ t sm rok}^{-1}$. System Eko-Salix według zaleceń IUNG-PIB pozwoliłby na wykorzystanie obecnie niewykorzystywanych rolniczo trwałych użytków zielonych słabych i bardzo słabych.

Uprawa miskanta pozwala uzyskać w okresie pełnej produkcyjności średnie plony w granicach od 16 do $22 \text{ t sm ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$ w zależności od genotypu i typu gleby

(Kuś i in. 2008). Przy zbiorze wiosennym plon suchej masy jest o 20-30% mniejszy. W badaniach prowadzonych przez Chołuj i in. (2010) plon miskanta w piątym roku wegetacji wyniósł 14 t sm ha^{-1} . Plony potencjalne miskanta oszacowane przez Borzęcką-Walker (2008) wahają się w warunkach krajowych zakresie $15,6\text{-}23,8 \text{ t sm ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$, a średni plon ograniczony niedoborem wody wynosi $15,1 \text{ t sm ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$.

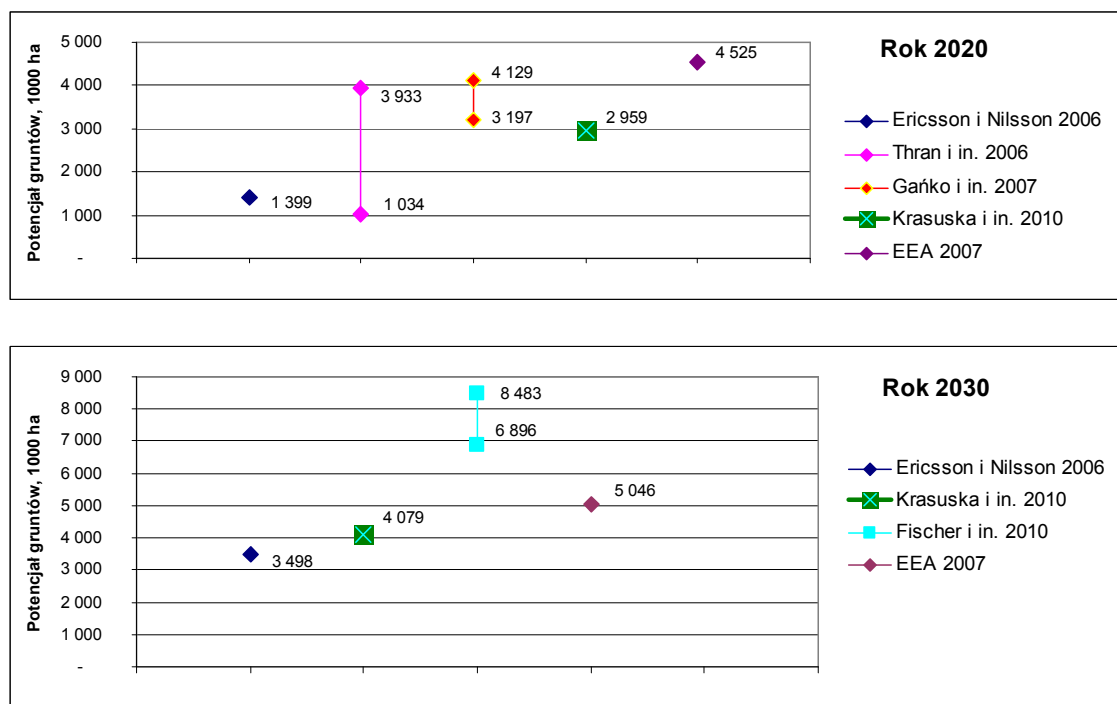
Plon ślazuwca pensylwańskiego jest silnie zależny od obsady roślin. Przy gęstości 10 tys. roślin ha^{-1} plon wahał się w granicach $7,9\text{-}11,4 \text{ t sm ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$, natomiast przy dwukrotnie większej gęstości uzyskano plony w zakresie $16,4\text{-}18,0 \text{ t sm ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$ (Kuś i Matyka 2010). W badaniach Borkowskiej i Styka (2006) po drugim roku uprawy plony tej rośliny wyniosły 13 t sm ha^{-1} . Chołuj i in. (2010) uzyskała w swoich badaniach plon ślazuwca w wysokości $5 \text{ t sm ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$. Biomase ślazuwca oraz miskanta można zbierać sieczkarniami polowymi, bądź kosiarkami rotacyjnymi i wykorzystać sprzęt do zbioru siana i słomy (Lisowski i in. 2010).

Przyjmuje się, że na plantacjach produkcyjnych uzyskiwane plony roślin energetycznych mogą być o 20-30% mniejsze od plonów doświadczalnych ze względu na różnego rodzaju uchybienia w prowadzeniu plantacji (Szczukowski i in. 2004, Tworkowski i in. 2010, Larsson i in. 1998). Dla wszystkich badanych roślin zakłada się użytkowanie plantacji w okresie 15-20 lat.

Potencjał produkcji biomasy uzależniony jest od dostępności gruntów pod uprawy energetyczne. To kluczowe zagadnienie było podejmowane wielokrotnie. W szczególności liczne opracowania dotyczące szacowania potencjału produkcji biomasy na cele energetyczne powstały na poziomie Unii Europejskiej. W tym miejscu zostają przytoczone prace, w przypadku których możliwe było dotarcie do wyników dla Polski wyrażonych jako potencjalna powierzchnia dostępna dla upraw energetycznych. Zestawiono wyniki dla roku 2020 oraz 2030 (rys. 1). We wszystkich wskazanych pracach zastosowano podejście oparte na założeniu, że produkcja żywności stanowi priorytet. Wyniki określają potencjał teoretyczno-techniczny, z wyjątkiem opracowania EEA, które dotyczy potencjału środowiskowego.

Najprostsze metodycznie podejście zastosowali Ericsson i Nilsson (2006). Dla roku 2020 przyjęli, że areał teoretycznie dostępny dla upraw energetycznych to 10% gruntów ornych, co odpowiada bazowemu wskaźnikowi gruntów obowiązkowo odłogowanych w UE w latach 2000-2006. W scenariuszu na rok 2030 hipotetyczna wartość tego wskaźnika wynosi 25%, co odpowiadałoby utrzymaniu w EU-27 takiej

samej średniej ilości gruntów ornych na mieszkańca (0,18 ha) jak w EU-15 przed akcesją nowych krajów członkowskich.



Rysunek 1. Prognozowany potencjał gruntów pod uprawy energetyczne w Polsce – wybrane studia europejskie, wyniki dla roku 2020 oraz 2030

W opracowaniach Thran i in. (2006), Gańko i in. (2007), Krasuska i in. (2010) oraz Fischer i in. (2010) teoretyczny areal upraw energetycznych oszacowano jako nadwyżkę gruntów, która pozostaje po zaspokojeniu zapotrzebowania na ziemię do produkcji żywności (rośliny na cele spożywcze i paszowe). Różny jest poziom złożoności zastosowanych modeli, jednak we wszystkich przypadkach podstawowe parametry modelowania to zmiany zapotrzebowania na żywność oraz wzrost wydajności produkcji rolniczej w przyszłości.

Poza gruntami potencjalnie uwolnionymi spod produkcji żywności na skutek wzrostu intensywności rolnictwa, Gańko i in. (2007) oraz Krasuska i in. (2010) zakładają utrzymanie wyjściowego arealu gruntów odłogowanych i ugorowanych jako potencjalnie dostępnych dla upraw energetycznych w przyszłości. Natomiast, Thran i in. (2006) oraz Fischer i in. (2010) biorą pod uwagę konwersję części użytków rolnych na grunty pod zabudowę, infrastrukturę drogową oraz cele ochrony przyrody.

Założenia dotyczące dalszego wzrostu intensywności rolnictwa najsilniej wpływają na otrzymane wyniki. Jak komentują autorzy, w przypadku Polski bardzo

duży areal potencjalnie dostępny dla upraw energetycznych w przyszłości jest wypadkową prognozowanego dużego wzrostu plonów, znacznego spadku populacji oraz relatywnie dużego obszaru użytków rolnych w kraju. Wydłużenie horyzontu czasowego wiąże się z uzyskaniem wyższych wyników.

Na szczególną uwagę zasługuje studium Europejskiej Agencji Środowiska (EEA 2007), którego wyniki traktowane są przez Komisję Europejską jako referencyjne. Celem opracowania było oszacowanie potencjału produkcji biomasy przy założeniu minimalizowania presji na środowisko naturalne. Podstawę badań stanowił model równowagi częściowej CAPRISM, który uwzględnia szereg uwarunkowań ekonomicznych, technologicznych, społecznych oraz politycznych istotnych dla rolnictwa UE. Uwzględniono czynniki ograniczające presję rolnictwa na środowisko, m. in. założono wzrost obszarów rolnictwa ekologicznego, przeznaczenie w przyszłości części obecnie intensywnie użytkowanych obszarów rolniczych na cele ochrony przyrody, a także zachowanie ekstensywnych użytków zielonych. Dla Polski otrzymano największy potencjał gruntów dostępny dla upraw energetycznych spośród analizowanych krajów europejskich.

Różnice w przyjętych metodach, scenariuszach i założeniach skutkują bardzo silnie zróżnicowanymi wynikami. Badania prowadzono na dużym poziomie uogólnienia (dla całej Unii Europejskiej), nie uwzględniając szczegółowo specyfiki rolnictwa analizowanych krajów. Analizy prowadzono w oderwaniu od uwarunkowań glebowych i agro-klimatycznych.

Odmienne podejście zastosowali Fischer i in. (2005), którzy oszacowali potencjalną powierzchnię upraw topoli, wierzby i miskanta badając charakterystyki klimatu, gleby oraz ukształtowania terenu pod kątem ich odpowiedniości dla wybranych roślin. Po wykluczeniu obszarów leśnych i zurbanizowanych oraz zagwarantowaniu gleb najlepszych dla produkcji żywności, całkowita powierzchnia odpowiednia dla upraw energetycznych w Polsce wyniosła 2,2 mln ha. Zastosowanie systemów informacji geograficznej (GIS) jest niezbędne dla tego typu analiz.

Wśród krajowych badań nakierowanych na oszacowanie potencjału gruntów dla upraw energetycznych wyróżniają się prace realizowane w IUNG-BIP (Kuś i in. 2006, Kuś i Faber 2007, Jadczyszyn i in. 2008, Faber i in. 2009, Pudelko i Faber 2010). Wszystkie opracowania uwzględniają jakość rolniczej przestrzeni produkcyjnej

i zakładają wykorzystanie gleb o największej produktywności wyłącznie do produkcji żywności.

Najbardziej kompleksowe podejście do omawianego zagadnienia przedstawili Pudelko i Faber (2010). W oparciu o analizy prowadzone z wykorzystaniem GIS oszacowali potencjał gruntów odpowiednich dla upraw energetycznych uwzględniając przestrzenną zmienność warunków przyrodniczych i produkcyjnych rolnictwa. W pierwszym kroku wyznaczyli oni potencjał teoretyczny gruntów (11,2 mln ha) odpowiednich do uprawy wierzby, mискanta i ślázowca, obejmujący kompleksy glebowe o mniejszej przydatności do produkcji żywności i pasz. Następnie wykluczyli obszary nieużytkowane rolniczo oraz obszary górskie (powyżej 300 m n.p.m.). Mając na uwadze zbilansowanie potrzeb wodnych analizowanych roślin wykluczyli z dalszej analizy obszary o opadach poniżej 550 mm oraz obszary o zbyt głębokim zwierciadle wód gruntowych niedostępnym dla roślin. W celu ochrony różnorodności biologicznej i krajobrazu z analizy wykluczono także obszary chronione oraz obszary NATURA 2000. Otrzymana w efekcie powierzchnia gruntów 1,1 mln ha określa potencjał techniczny upraw energetycznych w Polsce. Uwzględnienie w dalszym toku analiz kryteriów ekonomicznych i uwarunkowań produkcyjnych rolnictwa, pozwoliło na określenie powierzchni determinującej potencjał ekonomiczny produkcji biomasy, która wynosi zaledwie 0,3 mln ha, co stanowi 27% potencjału technicznego.

Wyniki otrzymane przez Pudelko i Fabera (2010) dla Polski wskazują na znacznie mniejszy areal dostępny dla upraw energetycznych niż oszacowania wykonane na poziomie europejskim. Wskazuje to na wagę uwarunkowań, które nie są ujęte w analizach prowadzonych z dużym stopniem uogólnienia. Szczególną uwagę zwraca bardzo duża redukcja potencjału technicznego przy uwzględnieniu ekonomicznych uwarunkowań produkcji roślin energetycznych. Ma to ogromne znaczenie dla urealnienia dotychczasowych oszacowań potencjałów biomasy. Tymczasem, studia dotyczące oceny potencjału ekonomicznego są bardzo rzadkie. Zbyt optymistyczne oszacowania potencjału technicznego mają zapewne wpływ na trudności w realizacji dotychczasowych celów dotyczących rozwoju sektora produkcji i energetycznego wykorzystania biomasy.

Rozwój plantacji energetycznych na dostępnym areale jest bardzo silnie uwarunkowany dochodowością i konkurencyjnością tej gałęzi produkcji wobec konwencjonalnych kierunków produkcji rolniczej. Zagadnienia ekonomiki upraw

energetycznych w warunkach krajowych podejmowane były przez: Gańko (2006), Ericsson i in. (2006), Matykę (2008), Gańko i Rosenqvist (2009), Stolarskiego (2009), Kusia i Matykę (2010).

Kuś i Matyka (2010) wykazali, że dla przyjętych założeń uprawa wierzby zbieranej w cyklu 3-letnim charakteryzuje się znacznie większą opłacalnością niż uprawa miskanta, ślázowca lub wierzby zbieranej co rok. Potwierdziły to także wyniki Gańko i Rosenqvist (2009) w odniesieniu do miskanta i wierzby zbieranej co rok. Taka zależność wiąże się przede wszystkim z mniejszymi średniorocznymi kosztami produkcji wierzby zbieranej w cyklu trzy-letnim w porównaniu do pozostałych upraw.

Uprawa wierzby z trzy-letnim cyklem zbioru jest opłacalna dla plonów w zakresie 8-12 t sm ha⁻¹rok⁻¹ przy cenach loco pole 256, 288, 320 zł t⁻¹ sm (14, 16, 18 zł GJ⁻¹), podczas gdy miskant i ślázowiec uzyskują dodatni wynik finansowy dla plonów odpowiednio co najmniej 15 oraz 11 t sm ha⁻¹rok⁻¹ przy najwyższym poziomie badanych cen zbytu (Kuś i Matyka 2010). W przypadku miskanta niska opłacalność uwarunkowana jest w szczególności wysokimi kosztami założenia plantacji (Matyka 2008, Gańko i Rosenqvist 2009, Kuś i Matyka 2010), natomiast ślázowiec charakteryzuje się najwyższymi spośród badanych roślin średniorocznymi kosztami prowadzenia plantacji w przeliczeniu na tonę biomasy (Matyka 2008, Kuś i Matyka 2010).

Stolarski (2009) badał strukturę kosztów oraz nadwyżkę bezpośrednią z produkcji wierzby na cele energetyczne w zależności od gęstości sadzenia i częstotliwości zbioru. Przy zagęszczeniu 12 tys. roślin ha⁻¹ oraz zbiorze co trzy lata koszty założenia plantacji stanowiły 7% całkowitych kosztów bezpośrednich, koszty nawożenia i ochrony roślin 35%, natomiast koszty zbioru 53% kosztów bezpośrednich całkowitych. Dla jednorocznego cyklu zbioru udział kosztów zbioru w kosztach całkowitych zmniejszał się do 28%, a wraz ze wzrostem gęstości sadzenia wzrastał udział kosztów założenia plantacji. Największą nadwyżkę bezpośrednią loco pole (3 026 zł ha⁻¹ rok⁻¹) dla ceny biomasy 270 zł t⁻¹ sm (15 zł GJ⁻¹) uzyskano dla plantacji o gęstości 24 tys. roślin ha⁻¹ oraz dla zbioru co trzy lata.

Oczekuje się, że upowszechnienia się upraw energetycznych przyczyni się do redukcji kosztów produkcji biomasy. Hipotezę tę potwierdzili Rosenqvist i Dawson (2005a) wykazując, że pierwsi plantatorzy, tzw. *pioneer growers*, obciążeni są znacznie wyższymi kosztami w porównaniu do sytuacji, gdy istnieje rozwinięty sektor produkcji

biomasy. Gańko i Rosenqvist (2009) oszacowali, że efekt skali związany z rozwojem areалу upraw energetycznych w Polsce powyżej 100 tys. ha pozwoliłby na redukcję kosztów produkcji wierzby i miskanta w przeliczeniu na GJ odpowiednio o 8 i 9% w stosunku do sytuacji bazowej, natomiast efekt skali w połączeniu z rozwojem technologii produkcji w czasie daje możliwość redukcji kosztów produkcji biomasy o 30% dla wierzby i 21% dla miskanta.

Interesującym sposobem redukcji kosztów produkcji i tym samym podniesienia dochodowości upraw energetycznych jest wykorzystanie plantacji jako filtru roślinnego do oczyszczania wody ściekowej z pierwiastków biogennych, bądź do zagospodarowania osadu ściekowego. Dla rolnika oznacza to szansę uniknięcia kosztów nawożenia i nawadniania plantacji oraz wiąże się bezpośrednio z podniesieniem jej produktywności (Hasselgren 1998, Rosenqvist i Dawson 2005b).

Obok kosztów produkcji oraz plonu, cena biomasy najsilniej warunkuje opłacalność upraw energetycznych. Wzrost ceny przekłada się wyłącznie na wzrost przychodów, podczas gdy wzrost plonu wiąże się także ze wzrostem kosztów zbioru i transportu (Ericsson i in. 2006, Gańko i Rosenqvist 2009).

Dla konkurencyjności upraw energetycznych wobec innych rodzajów działalności istotne znaczenie mają ceny produktów rolnych. Zwrócili na to uwagę Gańko i Rosenqvist (2009) badając opłacalność wierzby i miskanta w porównaniu z produkcją pszenicy i jęczmienia na ziarno. Diametralnie różne ceny zbóż w 2006 oraz 2007 roku warunkowały stratę z produkcji ziarna w roku 2006, natomiast w roku 2007 pozwoliły rolnikom osiągnąć stosunkowo wysoki dochód. Przy rekordowych cenach zbóż w roku 2007 uprawy energetyczne nie mogły być konkurencyjne wobec produkcji zbożowej. Dochód z upraw konwencjonalnych, a w szczególności zbóż, stanowi alternatywny koszt wykorzystania ziemi, dlatego bardzo istotnie wpływa na decyzję o podjęciu wieloletnich upraw energetycznych (Ericsson i in. 2006, Gańko 2006, Gańko i Rosenqvist 2009). Przy niestabilnych cenach surowców rolniczych wzrasta ryzyko ekonomiczne związane z długotrwałym zaangażowaniem ziemi.

Przyjmuje się, że rolnicy będą skłonni podjąć produkcję biomasy, pod warunkiem, że dochód uzyskiwany z upraw energetycznych będzie co najmniej równy dochodowi z upraw konwencjonalnych prowadzonych na danym typie gruntów. Mając powyższe na uwadze Graham i in. (1995) zaproponowali metodę szacowania ceny biomasy z upraw energetycznych według równania:

$$Cena_E = \frac{[(Plon_K * Cena_K) - Koszt_K] + Koszt_E}{Plon_E} \quad [1],$$

gdzie: $Cena_E$ to cena równowagi (*break-even price*) dla biomasy z upraw energetycznych [zł t^{-1}], $Plon_K$ to plon roślin konwencjonalnych [t/ha], $Cena_K$ to cena rynkowa roślin konwencjonalnych [zł t^{-1}], $Koszt_K$ to koszty produkcji upraw konwencjonalnych [zł ha^{-1}], $Koszt_E$ to koszty produkcji biomasy z upraw energetycznych [zł ha^{-1}], $Plon_E$ to plon roślin energetycznych [t ha^{-1}].

W obliczeniach Graham i in. (2005) przyjęli założenie, że należy odnieść się do najbardziej dochodowej spośród upraw konwencjonalnych występujących powszechnie na danym typie gleb, co ma gwarantować, że cena biomasy nie będzie niedoszacowania. Pominięto dopłaty do upraw, zarówno konwencjonalnych, jak i energetycznych. Oszacowana cena stanowiła podstawę wyznaczenia potencjału ekonomicznego produkcji biomasy z upraw energetycznych w wybranym regionie USA.

W kraju zagadnienie szacowania cen biomasy z upraw energetycznych jest badane w IUNG-PIB. Podejście jest zbieżne z metodą stosowaną przez Graham i in. (1995). Opracowano kalkulator, w którym ceny biomasy są uzależnione od plonów zbóż referencyjnych (możliwych do osiągnięcia na glebach, które rolnik może przeznaczyć pod produkcję biomasy), zysku netto z upraw tych zbóż, plonów upraw energetycznych oraz kosztów produkcji biomasy (Faber, niepub.). Dodatkowo w cenie biomasy uwzględnia się premię motywacyjną, która ma zachęcić rolnika do zakładania plantacji wieloletnich. Według stanu na dzień 1 czerwca 2008 r. oszacowana w ten sposób cena wierzby oscyluje w granicach od 337 do 491 zł t^{-1} sm (17-25 zł GJ^{-1}) w zależności od częstotliwości zbioru, przy czym ceny są najwyższe dla zbioru jednorocznego i maleją wraz z wydłużeniem cyklu zbioru do trzech lat. Cena biomasy miskanta wyniosła 243 zł t^{-1} sm (13 zł GJ^{-1}), natomiast cena słazowca 363 zł t^{-1} sm (zł GJ^{-1}).

Walsh (2000) opracowała metodę wyznaczania krzywych podaży dla biomasy z upraw energetycznych. W pierwszym kroku, podobnie jak Graham i in. (1995) proponuje wyznaczenie minimalnych cen biomasy na podstawie kosztów produkcji, plonów upraw energetycznych oraz czynszu za ziemię, odzwierciedlającego zysk z alternatywnego sposobu wykorzystania ziemi. Następnie, w powiązaniu z arealem

gruntów potencjalnie dostępnych dla poszczególnych roślin energetycznych i ich plonami należy wyznaczyć całkowitą potencjalną produkcję biomasy dla każdego poziomu cen. Porządkowanie cen od najmniejszej do największej oraz skumulowanie odpowiadające im wielkości produkcji biomasy umożliwia wyznaczenie krzywych podaży biomasy. Są one miarą potencjału ekonomicznego upraw energetycznych.

Sherrington i in. (2008) analizowali w Wielkiej Brytanii czynniki wpływające na skłonność rolników do podjęcia produkcji biomasy. Wykazali, że bezwzględnie najważniejsza jest postrzegana przez rolnika potencjalna dochodowość nowej działalności, przy czym rolnicy mają trudności z właściwym oszacowaniem przychodów z produkcji biomasy ze względu na niepewność dotyczącą kosztów produkcji, potencjalnych plonów i cen biomasy w warunkach słabo rozwiniętego rynku. Dopłaty do założenia plantacji i inne subsydia uznano za niezbędne dla uzyskania opłacalności i konkurencyjności produkcji przy obecnie oferowanych cenach za biomasę.

Bardzo istotna jest gwarancja zbytu biomasy w postaci kontraktów długoterminowych z zakładami energetycznymi (McCormick i Kaberger 2007, Sherrington i in. 2008). Tworzenie grup producenckich pozawala na wzajemne dzielenie się doświadczeniem w prowadzeniu plantacji oraz wspólne ponoszenie kosztów zakupu maszyn rolniczych, w tym specjalistycznych maszyn do zbioru biomasy (Sherrington i in. 2008, McCormick i in. 2006). Istotny jest ponadto fakt, że zakłady energetyczne odbierające biomasę niechętnie zawierają transakcję z pojedynczymi plantatorami (Sherrington i in. 2008)

Uprawy energetyczne stanowią raczej sposób na różnicowanie działalności w gospodarstwie niż podstawowy kierunek produkcji (Sherrington i in. 2008). Rolnicy są niechętni by zakładać plantacje energetyczne na glebach najlepszych i zazwyczaj przeznaczają na ten cel gleby o niskiej produktywności. Obserwowano duże zainteresowanie wykorzystaniem gruntów odłogowanych (Rosenqvist i in. 2000, McCormick i in. 2006, Sherrington i in. 2008). Wskazuje to na fakt, że uprawy energetyczne są traktowane z dużą ostrożnością i stanowią działalność poboczną.

Decyzja o podjęciu produkcji biomasy jest uwarunkowana charakterystyką gospodarstw rolnych oraz ich właścicieli. Hipotezę tę potwierdzili Roos i in. (2000) oraz Rosenqvist i in. (2000), którzy badali w Szwecji cechy gospodarstw pozytywnie

i negatywnie skorelowane z decyzją o założeniu plantacji wierzby na cele energetyczne. Produkcję biomasy podjęły głównie duże gospodarstwa (77% powierzchni wierzby należało do gospodarstw powyżej 30 ha gruntów ornych). Większość właścicieli plantacji to doświadczeni rolnicy (40-65 lat), ale jeszcze przed wiekiem emerytalnym. Częściej produkcję biomasy podejmowały gospodarstwa instytucjonalne (mające formę spółek, spółdzielni, itp.) oraz te, które wydzierżawiły swoją ziemię. Jednocześnie obserwowano wyraźną negatywną zależność pomiędzy produkcją biomasy a produkcją zwierzęcą.

Także badania przeprowadzone wśród irlandzkich rolników potwierdziły, że skłonność do podjęcia produkcji biomasy zależy od charakterystyk poszczególnych gospodarstw, a w szczególności od rodzaju obecnie prowadzonej działalności i jej dochodowości, a także wielkości gospodarstwa oraz wykształcenia i wieku właściciela (Clancy i in. 2008a).

2.2 Ryzyko w rolnictwie i metody jego wyceny

Pojęcie ryzyka definiowane jest wielorako. Hardaker (2000) wskazuje, że trzy najczęściej występujące w literaturze interpretacje tego pojęcia to: (i) możliwość otrzymania niepożądanego wyniku, (ii) różnorodność wyników oraz (iii) niepewność dotycząca wyniku.

Według klasycznej koncepcji Knight (1921, za: Jerzak 2006) ryzyko i niepewność to dwa odrębne zjawiska. Ryzyko określa się jako niepewność mierzalną i odnosi się do możliwości opisanie zdarzeń w kategoriach probabilistycznych, natomiast niepewność niemierzalna pozostaje niepewnością *sensu stricto*. W ślad za tym, Jerzak (2006) wskazuje, że o ryzyku mówimy, gdy co najmniej dla jednego z elementów wpływających na wynik danej działalności znane jest prawdopodobieństwo jego wystąpienia, wówczas podmiot podejmujący decyzję jest świadomy wystąpienia przypadkowych zdarzeń.

Wyróżnia się trzy grupy podmiotów ze względu na stosunek do ryzyka: (i) podmioty z awersją do ryzyka, (ii) podmioty preferujące ryzyko oraz (iii) podmioty neutralne wobec ryzyka. W rolnictwie większość podmiotów charakteryzuje się awersją do ryzyka (Chavas i Hold 1990, Schurle and Tierney 1990, Pope i Just 1991 za Clancy i in. 2010). Nie oznacza to jednak, że dana osoba nie jest skłonna zaakceptować

pewnego poziomu ryzyka. Jest ona raczej zainteresowana kompensacją ryzyka w postaci premii. Wysokość premii wzrasta wraz ze wzrostem poziomu ryzyka (Rosenqvist i Peck 2009).

Duży stopień nieprzewidywalności zjawisk determinujących produkcję rolną niezależnych od producenta (przyroda oraz sytuacja na rynkach produktów rolnych), wielość zagrożeń, długość cyklu produkcyjnego oraz relatywna słabość ekonomiczna poszczególnych gospodarstw rolnych decydują o szczególnym znaczeniu ryzyka w produkcji rolniczej.

Według Jerzaka (2006) największe znaczenie w praktyce rolniczej ma ryzyko produkcyjne i ekonomiczne. Pierwsze z nich obejmuje ryzyko technologiczne, organizacyjne i przyrodnicze mające wpływ na wyniki produkcyjne. Ryzyko ekonomiczne jest ściśle związane z oddziaływaniem otoczenia. Do jego najistotniejszych elementów należy ryzyko rynkowe związane z nieprzewidywalnością przyszłych cen (ryzyko cenowe), niebezpieczeństwem utraty zbytu (ryzyko płynności obrotu towarowego) oraz możliwością utraty wykonania kontraktu przez zobowiązanego (ryzyko kontrpartniera).

W anglojęzycznej literaturze zagadnienia ryzyka i niepewności podejmowane są bardzo często w pracach dotyczących ekonomiki rolnictwa (Pannell i in. 2000). Wśród opracowań krajowych należy wymienić przede wszystkim prace autorów z Akademii Rolniczej w Poznaniu (np. Jerzak 2006, Czyżewski i Śmiglak 2006, Jerzak i Śmiglak 2006) dotyczące identyfikacji rodzajów ryzyka związanego z produkcją rolniczą oraz problemów zarządzania ryzykiem w rolnictwie.

Ryzyko powinno być niewątpliwie uwzględnione w analizach dotyczących wyboru kierunków produkcji podejmowanych przez rolników (Hardaker i in. 2004a, Richardson i in., 2006). W szczególności, produkcja biomasy z wieloletnich upraw energetycznych obarczona jest znacznie większą niepewnością niż konwencjonalne działalności rolnicze (Meijer i in. 2007, Rosenqvist i Peck 2009). Niepewność dotycząca kluczowych parametrów, takich jak plony i cena biomasy, sprawia, że bardzo trudno trafnie oszacować przychody (Sherrington i in. 2008, Clancy i in. 2009). Wieloletni okres produkcji i długi okres zwrotu poniesionych nakładów na założenie plantacji podnosi poziom ryzyka związany z pojęciem tego rodzaju działalności.

Hardaker (2000) wskazuje, że sposób pomiaru ryzyka wiąże się ściśle z jego definicją i tak wśród miar ryzyka wyróżnia się prawdopodobieństwo otrzymania

określonego wyniku (ryzyko jako możliwość otrzymania niepożądanego wyniku) oraz wariancję lub odchylenie standardowe od średniej lub wartości oczekiwanej (ryzyko jako zmienność). Zdefiniowanie ryzyka jako cały wachlarz możliwych wyników, czyli niepewność wyniku, nie daje szans zastosowania pojedynczej statystyki jako miary ryzyka. Mimo to, możliwe jest porównanie alternatywnych ryzykownych projektów, stosując określenia „preferowany”, bądź „niepreferowany” oraz „efektywny”, bądź „nieefektywny” w odniesieniu do ryzyka.

Przyjmując, że ryzyko to niepewność dotycząca wyniku, konieczne jest odwołanie się zarówno do prawdopodobieństwa, jak i preferencji decydenta wobec danego rezultatu. Teoria oczekiwanej użyteczności subiektywnej, z ang. *subjective expected utility theory* (SEU), mimo krytyki, jest uznawana za najbardziej odpowiednią dla opisu zagadnień podejmowania decyzji i dokonywania wyboru w warunkach ryzyka (Hardaker i in. 2004a, Hardaker i in. 2004b, Grove 2006). Zgodnie z teorią SEU zakłada się, że aby ocenić ryzykowne alternatywne projekty konieczne jest poznanie kształtu funkcji użyteczności danego decydenta, ponieważ określa ona jego indywidualny stosunek do ryzyka (Anderson i in. 1977 za Hardaker 2000). Hipoteza SEU stanowi ponadto, że użyteczność danego ryzykownego projektu jest równa oczekiwanej użyteczności tego projektu, mierzonej jako średnia ważona użyteczność poszczególnych możliwych wyników. Wagami są subiektywne prawdopodobieństwa wyników, a funkcja subiektywnej użyteczności wskazuje na preferencje danego decydenta wobec tych wyników (Hardaker i in. 2004b). Dokonując wyboru decydent zawsze wybierze projekt o najwyższej oczekiwanej użyteczności.

Ponieważ jednak kształt funkcji użyteczności określający stosunek do ryzyka danego decydenta przeważnie nie jest znany, rozwinięto metody oparte na dominacji stochastycznej lub kryteriach efektywności, które pozwalają na wyznaczenie efektywnego zbioru ryzykownych alternatywnych projektów bez dokładnej znajomości preferencji decydenta (Hardaker i in. 2004b, Grove 2006). Meyer (1977, za Hardaker i in. 2004b) wprowadził procedurę dominacji stochastycznej SDRF (z ang. *stochastic dominance with respect to a function*), natomiast Hardaker i in. (2004b) opracowali jej szczególną wersję zwaną efektywnością stochastyczną ze względu na funkcję SERF (z ang. *stochastic efficiency with respect to a function*). Metoda SERF pozwala na wyznaczenie zbioru tzw. efektywnych użytecznie projektów dla różnych zakresów awersji do ryzyka.

Metoda SERF daje możliwość uporządkowania alternatywnych ryzykownych projektów (ranking) pod kątem ich użyteczności w oparciu o ich ekwiwalenty pewności. Ekwiwalent pewności oznacza pewną kwotę o takiej samej użyteczności jak oczekiwana użyteczność ryzykownego projektu (Hardaker i in. 2004b). Dla racjonalnego decydenta, który ma awersję do ryzyka (normalny przypadek), wyznaczony ekwiwalent pewności jest niższy od pieniężnej wartości oczekiwanej. Różnica pomiędzy wartością oczekiwaną danego projektu a jego ekwiwalentem pewności jest równa premii za ryzyko, stanowi więc miarę kosztów ryzyka. Dla osób z awersją do ryzyka wartość premii jest dodatnia.

Dotychczas metodę SERF zastosowano do oceny relatywnego ryzyka dwóch alternatywnych systemów uprawy (konwencjonalnego i ekologicznego), które badano ze względu na rozkład prawdopodobieństwa wartości zaktualizowanej netto gospodarstwa dla przyjętego okresu obrachunkowego (Lien i in. 2007a). Inny przykład to analiza optymalnych strategii zalesiania powierzchniach zrębowych dla różnych preferencji dla ryzyka wśród właścicieli lasów (Lien i in. 2007b).

Clancy i in. (2008b) dostrzegając znaczenie ryzyka dla produkcji biomasy z upraw wieloletnich badali przychody z produkcji wierzby i miskanta w Irlandii. Zastosowali metodę SERF do oszacowania premii kompensującej ryzyko związane z podjęciem produkcji biomasy w miejsce dotychczasowych działalności rolniczych. Wykazali, że wysokość premii za ryzyko jest zróżnicowana w zależności od rodzaju prowadzonej dotychczas działalności rolniczej, która ma zostać zastąpiona przez produkcję biomasy.

W 2010 r. Clancy i in. opublikowali pracę, w której zastosowali analizę stochastyczną do modelowania przychodów z uprawy wierzby i miskanta, które mają zastąpić wybrane konwencjonalne kierunki produkcji rolniczej. Wyznaczono skumulowany rozkład prawdopodobieństwa dla całego spektrum możliwych wyników (NPV) dla każdej działalności. Następnie przy użyciu metody SERF przeprowadzono ranking badanych działalności pod kontem ich ekwiwalentów pewności, co pozwoliło na wskazanie projektów mniej, bądź bardziej ryzykownych. Wyniki wskazują, że dla przyjętych założeń uprawa miskanta wiąże się z większą niepewnością wyników niż w przypadku wierzby, jednak wierzba obciążona jest bardzo dużym prawdopodobieństwem straty.

3 Materiały i metodyka

3.1 Materiały

3.1.1 Dane z Powszechnego Spisu Rolnego 2002

W pracy wykorzystano następujące dane dla gmin, pochodzące z Powszechnego Spisu Rolnego (PSR) z 2002 roku:

- użytkowanie ziemi: powierzchnia użytków rolnych [ha], powierzchnia gruntów ornych [ha], powierzchnia trwałych użytków zielonych [ha], powierzchnia sadów [ha],
- zasiewy: powierzchnia zasiewów ogółem [ha], powierzchnie zasiewów pszenicy, żyta i pszenżyta [ha],
- wartość sprzedanej produkcji towarowej [tys. zł] oraz nakłady na bieżącą działalność rolniczą [tys. zł],
- pogłowie zwierząt ogółem [SD 100 ha⁻¹] oraz bydło ogółem [szt. fizyczne],
- powierzchnia gospodarstw [ha],
- udział osób w wieku mobilnym oraz udział osób z wyższym wykształceniem wśród właścicieli gospodarstw,

Łącznie analizowano dane dla 2172 gmin wiejskich w Polsce.

3.1.2 Plony i koszty produkcji roślin energetycznych

Dane o plonach roślin energetycznych i kosztach produkcji biomasy pochodzą z bazy danych IUNG-PIB (dane niepub.). W niniejszej pracy wykorzystano dane dla:

- wierzby (*Salix viminalis*),
- miskanta (*Miscanthus x giganteus* i *Miscanthus sinensis*),
- ślazu pensylwańskiego (*Sida hermaphrodita*),
- wierzby uprawianej w systemie Eko-Salix na trwałych użytkach zielonych.

Plony potencjalne wierzby, miskanta i ślazu pensylwańskiego, oszacowane dla gmin na podstawie promieniowania słonecznego, zostały zredukowane o 30%, aby w ten sposób wyznaczyć poziom plonów możliwy do osiągnięcia na plantacjach produkcyjnych. W przypadku wierzby uprawianej w systemie Eko-Salix przyjęto jednakowy poziom plonu 7,0 t sm ha⁻¹ rok⁻¹ średnio dla kraju. W tabeli 1 zamieszczono wartości średnie plonów dla całej populacji gmin oraz wartości opałowe biomasy

w stanie suchym potrzebne do przeliczenia plonów wyrażonych w jednostkach masy (tony suchej masy) na jednostki energii [GJ].

Tabela 1. Plony roślin energetycznych dla całej populacji gmin oraz wartości opałowe biomasy

	Średnie plony* t sm ha ⁻¹ rok ⁻¹	Wartość opałowa** GJ t ⁻¹ sm
Wierzba	11,64	18,23
Miskant	15,05	17,50
Ślazier pensylwański	11,40	17,50
Wierzba Eko-Salix	7,00	18,23

* na podstawie danych IUNG-PIB,

** źródło: Winnicka i in. 2010.

Oprócz plonów biomasy wykorzystano także koszty produkcji biomasy wyznaczone dla roku 2007 (dane niepub.). Są to wartości średnioroczne w przeliczeniu na jednostkę powierzchni uprawy [ha]. Uwzględniają koszt założenia plantacji, koszt prowadzenia plantacji (nawożenie, odchwaszczanie, ochrona przed chorobami i szkodnikami), koszty zbioru oraz koszt likwidacji uprawy na koniec okresu jej użytkowania (tab. 2). Koszty poszczególnych zabiegów przeliczono na wartości średnioroczne przyjmując dla wszystkich roślin 15-sto letni okres użytkowania plantacji.

Tabela 2. Koszty produkcji biomasy w zł ha⁻¹ rok⁻¹ dla 15-sto letniego okresu użytkowania plantacji (opracowanie własne na podstawie Faber i in. 2009)

	Wierzba	Miskant	Ślazier pensylwański	Wierzba Eko-Salix
Założenie plantacji	304	958	383	500
Prowadzenie plantacji	1 277	1 644	2 114	-
Likwidacja	69	62	62	-
Średnioroczny koszt produkcji biomasy	1 650	2 664	2 558	500

3.1.3 Potencjał gruntów dla upraw energetycznych

Dane o gruntach potencjalnie dostępnych dla upraw energetycznych w poszczególnych gminach opracowano w IUNG-PIB (Pudelko i Faber 2010). Grunty obejmują kompleksy glebowe o mniejszej przydatności rolniczej, jednak stanowiące siedliska odpowiednie dla upraw energetycznych:

- kompleks żytni dobry (5) – przydatny dla upraw miskanta,
- kompleks żytni słaby (6) – przydatny dla ślazuwca pensylwańskiego,
- kompleks zbożowo-pastewny mocny (8) oraz zbożowo pastewny słaby (9) – przydatne dla upraw wierzby,
- użytki zielone średnie (2z) oraz użytki zielone słabe i bardzo słabe (3z) – przydatne dla upraw wierzby w systemie Eko-Salix.

Z ogólnej powierzchni wyżej wymienionych kompleksów wykluczono tereny spełniające choćby jedno z następujących kryteriów:

- nieużytkowane rolniczo,
- położone na obszarach o wysokości powyżej 350 m n.p.m,
- przeznaczone na cele ochrony przyrody,
- o rocznej sumie opadów poniżej 550 mm,
- o zwierciadle wód gruntowych poniżej 2 m w przypadku wierzby i miskanta, bądź poniżej 5 m w przypadku ślazuwca.

Całkowity potencjał techniczny gruntów dla upraw na cele energetyczne wynosi w Polsce 1 488,5 tys. ha. Strukturę tych gruntów w podziale na kompleksy glebowe przedstawiono w tab. 3.

Tabela 3. Potencjał gruntów odpowiednich dla roślin energetycznych w podziale na kompleksy przydatności rolniczej (Pudelko i Faber 2010)

Kompleks glebowy	Powierzchnia, ha	Udział, %
Kompleks 5	122 676	0,08
Kompleks 6	795 506	0,53
Kompleks 8	65 110	0,04
Kompleks 9	36 154	0,02
Kompleks 2z	368 079	0,25
Kompleks 3z	100 984	0,07
Razem	1 488 509	-

3.1.4 Dane z gospodarstw indywidualnych

Na potrzeby niniejszej pracy wykorzystano dane z indywidualnych gospodarstw rolnych udostępnione z Sieci Danych Rachunkowych Gospodarstw Rolnych (FADN). Dane zostały zebrane i opracowane przez Instytut Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej – Państwowy Instytut Badawczy.

FADN obejmuje gospodarstwa towarowe. Minimalna wielkość ekonomiczna, na podstawie której zalicza się gospodarstwo rolne do pola obserwacji FADN, jest ustalana na podstawie analizy standardowej nadwyżki bezpośredniej (SGM). Dla polskich gospodarstw wielkość ta wynosi 2 ESU, czyli 2 400 € na rok., co odpowiadało w roku 2007 kwocie 9 080,88 zł przy kursie 1 € = 3,7837 zł.

Autorce udostępniono dane dla roku 2007. Próba FADN obejmowała wówczas 12 178 gospodarstw rolnych stanowiących próbę reprezentatywną dla 753 253 gospodarstw towarowych w Polsce. W skład próby wchodziło 12 056 gospodarstw indywidualnych. Wszystkie gospodarstwa zostały sklasyfikowane według wielkości ekonomicznej i typu rolniczego. Typy rolnicze wyznaczono na podstawie udziału poszczególnych działalności w tworzeniu ogólnej wartości standardowej nadwyżki bezpośredniej (SGM) gospodarstwa. W tabeli 4 przedstawiono poszczególne typy rolnicze oraz liczebność gospodarstw należących do każdego typu.

Tabela 4. Grupowanie gospodarstw według ogólnych typów rolniczych TF8 oraz liczebność gospodarstw indywidualnych należących do każdego typu w próbie FADN dla roku 2007

Typ	Nazwa	Liczebność
AB	Uprawy polowe	2 728
C	Uprawy ogrodnicze	437
D	Winnice	0
E	Uprawy trwałe	471
F	Krowy mleczne	816
G	Zwierzęta żywione w systemie wypasowym (bez krów mlecznych)	1 491
H	Zwierzęta ziarnożerne	1 662
I	Mieszane	4 432

Na potrzeby niniejszej pracy wykorzystano dane dla 12 038 gospodarstw indywidualnych. Do wyznaczenia premii za ryzyko wybrano gospodarstwa należące do typów rolniczych AB, F, H oraz I (patrz tab. 5). Łącznie wybrane gospodarstwa stanowią 80,1% całej próby gospodarstw indywidualnych.

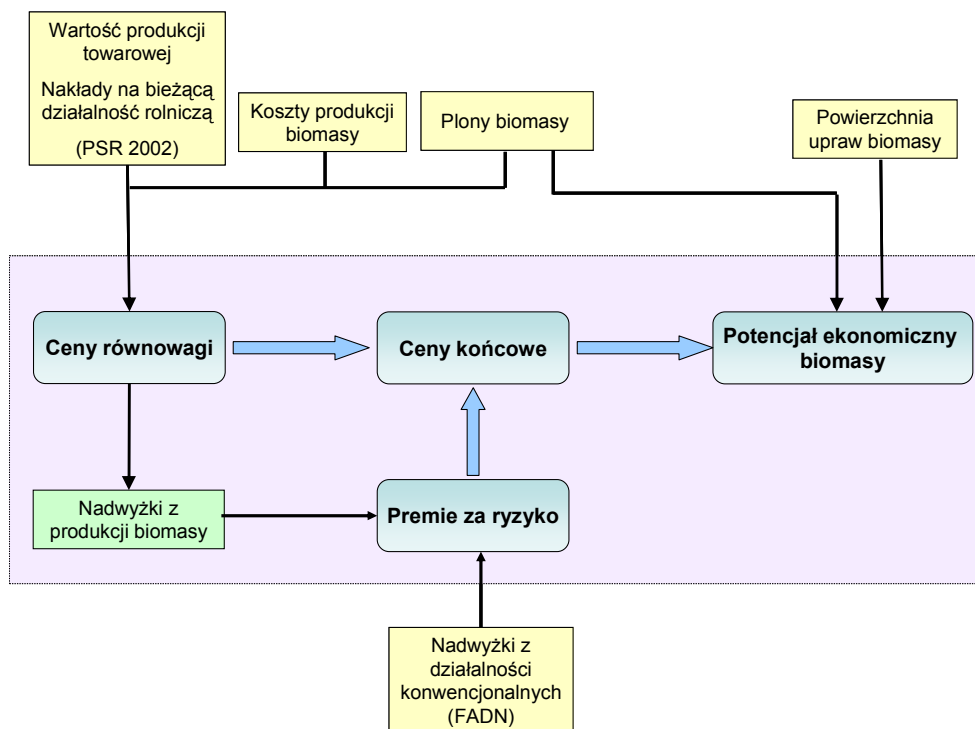
Dla każdego gospodarstwa z bazy FADN wartość nadwyżki bezpośredniej (rzeczywistej dla roku 2007) przeliczono na jednostkę powierzchni użytków rolnych gospodarstwa (zł ha⁻¹). Następnie badano właściwości rozkładu tej zmiennej dla każdego typu rolniczego gospodarstw. Stwierdzono brak spełniania założenia o normalności rozkładu. Gospodarstwa, które reprezentują wartości badanej zmiennej poniżej dolnego kwartyła oraz te o wartościach powyżej kwartyła górnego zostały

uznane za gospodarstwa, które prawdopodobnie nie będą zainteresowane podjęciem nowego kierunku produkcji, jakim są wieloletnie uprawy energetyczne. Są to gospodarstwa bądź w słabej kondycji ekonomicznej (dolne 25% zbiorowości) bądź takie, które uzyskują bardzo wysokie nadwyżki bezpośrednie (górne 25% zbiorowości). Zostały one pominięte w dalszej analizie. Pozostawiono gospodarstwa reprezentujące środkowe 50% zbiorowości o wartościach nadwyżek bezpośrednich skupionych wokół mediany. Spośród tych gospodarstw losowano serie danych wejściowych do analizy ryzyka.

3.2 Metodyka

3.2.1 Schemat metodyki pracy

Na rysunku 2 zaprezentowano najważniejsze elementy metodyki pracy (elementy diagramu w kolorze niebieskim) wraz z odpowiadającymi im danymi wejściowymi.



Rysunek 2. Uproszczony schemat metodyki pracy

3.2.2 Metoda szacowania cen równowagi dla biomasy

Ceny biomasy wyznaczono z uwzględnieniem założenia, że rolnicy będą zainteresowani podjęciem upraw energetycznych, tylko wówczas, gdy wynik ekonomiczny z produkcji biomasy będzie co najmniej równy wynikowi uzyskiwanemu z dotychczasowej produkcji. Odwołując się do równania 1 zaproponowanego przez Graham i in. (1995) w niniejszej pracy zastosowano metodę szacowania ceny biomasy w gminach według równania:

$$Cena_E = \frac{(Prod_T - Naklady_B) + Koszt_E}{Plon_E} \quad [2],$$

gdzie:

$Cena_E$ to cena biomasy z upraw energetycznych [$\text{zł t}^{-1} \text{ sm}$],

$Prod_T$ to wartość sprzedanej produkcji towarowej rolnictwa w gminie przeliczona na powierzchnię użytków rolnych gminy [zł ha^{-1}],

$Naklady_B$ to wartość nakładów na bieżącą działalność rolniczą w gminie przeliczona na powierzchnię użytków rolnych gminy [zł ha^{-1}].

$Koszt_E$ to koszt produkcji biomasy z upraw energetycznych [zł ha^{-1}],

$Plon_E$ to plon upraw energetycznych [t sm ha^{-1}].

W zaproponowanej metodzie różnica produkcji sprzedanej i nakładów na bieżącą działalność rolniczą (wyniki PSR 2002) jest pewnym przybliżeniem nadwyżki uzyskiwanej z bieżącej produkcji rolniczej w poszczególnych gminach. W przypadku gmin, dla których nadwyżka jest ujemna, do równania 2 w miejsce wartości ujemnej podstawia się zero. Wówczas oszacowana cena biomasy równoważy jedynie koszty produkcji upraw energetycznych.

$Cena_E$ równoważąca nadwyżkę z bieżącej działalności rolniczej oraz koszty produkcji biomasy, wyznaczona na poziomie gmin, nazywana jest w dalszej części pracy **ceną równowagi**. Wyrażona jest ona w odniesieniu do jednostek energetycznych [zł GJ^{-1}], co związane jest z powszechną praktyką rozliczania dostaw biomasy w oparciu o zawartość energii pierwotnej paliwa dostarczonego do zakładu energetycznego.

Ceny równowagi szacowano w dwóch wariantach:

- wariant 2002: dla wartości produkcji towarowej oraz nakładów na bieżącą działalność rolniczą z roku 2002 (dane PSR),
- wariant 2007: dla wyżej wymienionych wartości korygowanych do roku 2007.

Ze względu na znaczne oddalenie w czasie danych z 2002 w stosunku do dnia dzisiejszego, ceny biomasy wyznaczano także dla roku 2007. Daje to możliwość odniesienia otrzymanych wyników do cen rynkowych biomasy obecnie oferowanych przez przedsiębiorstwa energetyczne. Sprzedaną produkcję towarową z roku 2002 w gminach korygowano w oparciu o indeks wartości 2007/2002 dla produkcji towarowej w województwach (GUS 2008). Nakłady na bieżącą produkcję rolniczą w gminach korygowano w oparciu o indeks wartości 2007/2002 dla zużycia pośredniego na 1 ha użytków rolnych w kraju (GUS 2008). Dla wartości korygowanych wyznaczano ceny równowagi dla biomasy w gminach dla roku 2007 na podstawie równania 2.

3.2.3 Wyznaczenie typów rolniczych dla gmin

W celu sklasyfikowania całej populacji gmin ze względu na dominujący kierunek produkcji rolniczej (wyznaczenie typów rolniczych) wykonano analizę skupień. Do obliczeń wykorzystano pakiet statystyczny STATGRAPHICS.

Zastosowano analizę skupień w oparciu o aglomerację metodą Warda, w której skupienia są formowane na zasadzie minimalizacji sumy kwadratów odchyłeń od średniej dowolnych dwóch skupień. Jako miarę odległości między obiektami wybrano kwadrat odległości euklidesowej. Wyznaczono cztery skupienia.

Analizę skupień wykonano dla następujących zmiennych na poziomie gmin:

- udział pszenicy w powierzchni zasiewów [%],
- udział pszenżyta w powierzchni zasiewów [%],
- udział żyta w powierzchni zasiewów [%],
- sztuki duże bydła w przeliczeniu na 100 ha użytków rolnych [$SD\ 100\ ha^{-1}$],
- sztuki duże innych zwierząt łącznie w przeliczeniu na 100 ha użytków rolnych [$SD\ 100\ ha^{-1}$].

W celu oszacowania przybliżonej ilości innych zwierząt, które nie są ujęte w dostępnym zakresie wyników PSR 2002, od sztuk dużych zwierząt ogółem odjęto sztuki duże bydła. Zgodnie ze specyfiką produkcji zwierzęcej w Polsce można przyjąć, że kategoria inne zwierzęta to głównie pogłowie trzody chlewnej.

Typologię rolnictwa w gminach uwzględniono przy wyznaczeniu cen równowagi dla biomasy. Także premie za ryzyko oraz ceny końcowe biomasy uwzględniają typy rolnicze gmin

3.2.4 Metoda szacowania premii za ryzyko

Opis metody SERF

Metoda efektywności stochastycznej ze względu na funkcję (z ang. *stochastic efficiency with respect to a function*), w skrócie SERF, opracowana przez Hardaker i in. (2004b), pozwala na uporządkowanie alternatywnych wariantów obarczonych ryzykiem według ich użyteczności dla decydenta. Na tej podstawie możliwe jest wyznaczenie premii kompensującej ryzyko związane z podjęciem wariantu mniej preferowanego kosztem bardziej korzystnego. W odniesieniu do produkcji rolniczej alternatywnymi wariantami mogą być różne kierunki produkcji, gałęzie oraz działalności rolnicze, które może podjąć rolnik

Alternatywne warianty są uporządkowane ze względu na ich ekwiwalenty pewności, to znaczy pewne kwoty o takiej samej użyteczności dla decydenta jak użyteczność oczekiwana danego wariantu (Hardaker i in. 2004b). Stąd, decydent pozostaje obojętny pomiędzy ekwiwalentem pewności, a odpowiadającym mu ryzykownym wariantem.

Ekwiwalent pewności (EP) jest wyznaczany jako odwrotność funkcji użyteczności, jest więc zależny od jej kształtu. Ze względu na fakt, że rolnicy stanowią grupę charakteryzującą się znaczną awersją do ryzyka, przyjmuje się, że ujemna funkcja eksponentalna jest w tym przypadku najbardziej odpowiednia i najpowszechniej stosowana (Clancy i in. 2010).

Ekwiwalent pewności dla ujemnej funkcji eksponentalnej wyznacza się według równania (Hardaker i in. 2004b):

$$EP(x, r_a(x)) = \ln \left\{ \left(\frac{1}{n} \sum_i^n \exp(-r_a(x)x_i) \right)^{\frac{-1}{r_a(x)}} \right\} \quad [3],$$

gdzie:

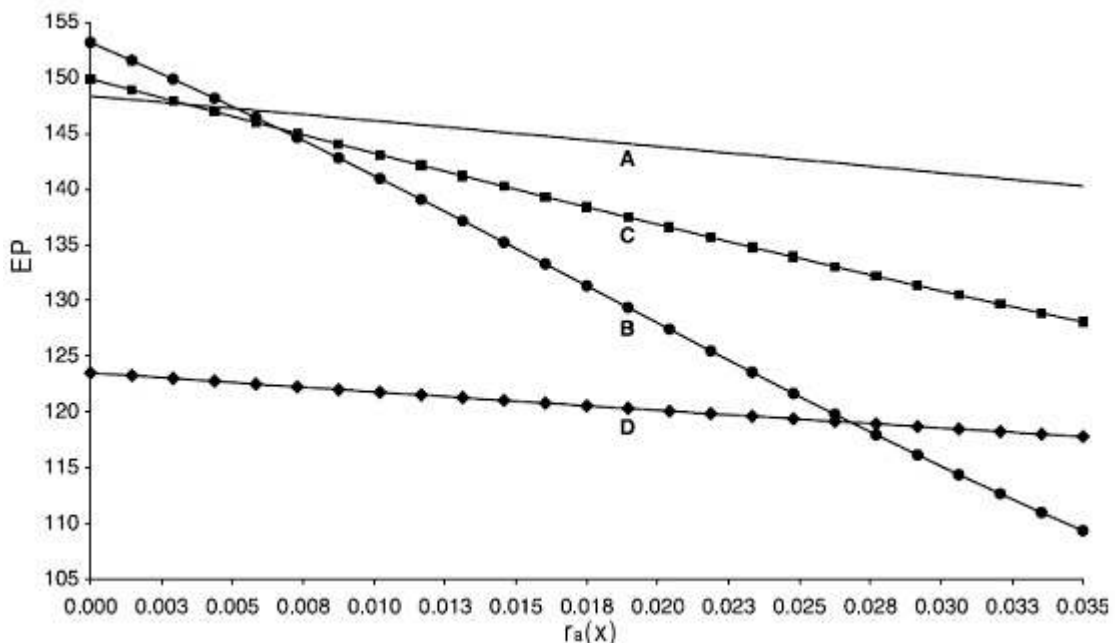
x_i to poziom zamożności (wynik ekonomiczny) związany z danym wariantem,

$r_a(x)$ to poziom absolutnej awersji do ryzyka,

n to wielkość stochastycznej próby wyników dla ryzykownego wariantu x .

Równanie 3 określa zależność pomiędzy awersją do ryzyka a ekwiwalentem pewności dla danego zakresu wartości $r_a(x)$. Powtórzenie obliczeń dla różnych alternatywnych wariantów pozwala na wyznaczenie wzajemnej zależności pomiędzy nimi.

Rysunek 3 prezentuje graficzną interpretację wyników dla przykładowych czterech alternatywnych wariantów obarczonych ryzykiem (A, B, C i D). Porównywane warianty są uporządkowane na podstawie ekwiwalentów pewności w ten sposób, że alternatywa o najwyższej wartości EP jest najbardziej preferowana, czyli najbardziej efektywna ze względu na użyteczność przy danym poziomie awersji do ryzyka $r_a(x)$.



Rysunek 3. Wyniki analizy SERF dla alternatywnych wariantów A-D dla absolutnego poziomu awersji do ryzyka w zakresie 0,000-0,035 dla ujemnej wykładniczej funkcji użyteczności (Hardaker i in. 2004b)

Zbiór efektywnych alternatyw jest różny dla różnych poziomów awersji do ryzyka. Na rysunku 3 dla decydentów z absolutnym poziomem awersji do ryzyka mniejszym od 0,005 efektywną alternatywę stanowi wariant B, natomiast dla decydentów z absolutnym poziomem awersji do ryzyka większym od 0,005 wariant A jest najbardziej efektywny. Im dalej na prawo wzdłuż osi $r_a(x)$, tym wyższy poziom awersji do ryzyka.

Odległość w pionie pomiędzy dwoma alternatywnymi wariantami dla danego poziomu $r_a(x)$ stanowi ważoną użytecznością premię za ryzyko. Premia za ryzyko (PR) obliczana jest jako różnica wartości ekwiwalentu pewności bardziej preferowanego wariantu i mniej preferowanego projektu. W przykładzie przedstawionym na rys. 3 dla zakresu $r_a(x) \geq 0,005$ jest to różnica pomiędzy wariantami A i C obliczona według wzoru (Hardaker i in. 2004b):

$$PR_{A,C,r_a(x)} = EP_{A,r_a(x)} - EP_{C,r_a(x)} \quad [4].$$

Dla analizowanego przypadku premia za ryzyko waha się przykładowo w zakresie od 1,8 dla $r_a(x) = 0,007$ do 12,2 dla $r_a(x) = 0,035$. Premia za ryzyko odzwierciedla minimalną pewną kwotę jaką powinien otrzymać decydent by był skłonny przestawić się z alternatywy bardziej preferowanej (A) na mniej preferowaną (C). Innymi słowy, premia za ryzyko w odniesieniu do wariantów A i C wskazuje korzyść jaką odniesie decydent, jeśli podejmie projekt A zamiast C.

McCarl i Bessler (1989, za: Clancy i in. 2010) określili sposób w jaki współczynniki awersji do ryzyka $r_a(x)$ zależą od współczynnika wariancji lub odchylenia standardowego rozkładu wartości w analizowanych próbach (alternatywnych projektach):

$$r_a(x) = \frac{0,5}{\sigma} \quad [5],$$

gdzie:

δ to odchylenie standardowe dla x .

Anderson i Dillin (1992, za: Clancy i in. 2010) zaproponowali następującą klasyfikację poziomów awersji do ryzyka $r_a(x)$: 0,5 oznacza słabą awersję do ryzyka,

podczas gdy 4,0 oznacza ekstremalną awersję do ryzyka. I tak, przykładowo: jeśli otrzymana na podstawie równania 5 wartość $r_a(x)$ wynosi 0,04, wówczas 0,02 oznacza słabą awersję do ryzyka a 0,16 ekstremalną awersję do ryzyka, natomiast wartość 0,04 odpowiada normalnej awersji do ryzyka.

Zastosowanie metody SERF do wyznaczenia premii ze ryzyko dla biomasy

Premie za ryzyko wyznaczono metodą SERF z wykorzystaniem oprogramowania SIMETAR (<http://simetar.com/>). Produkcję biomasy z upraw energetycznych porównywano do następujących konwencjonalnych kierunków produkcji rolnej:

- uprawy polowe,
- produkcja wielokierunkowa,
- chów bydła mlecznego,
- chów trzody chlewnej.

Dane wejściowe obejmują zestaw nadwyżek wyznaczonych dla każdego wariantu (kierunku produkcji) w przeliczeniu na hektar użytków rolnych [zł ha^{-1}].

W przypadku produkcji biomasy nadwyżka obliczona jest jako iloraz ceny równowagi oraz średnich plonów biomasy pomniejszony o koszty produkcji upraw energetycznych. Wyniki obliczono dla gmin dla każdej z analizowanych upraw energetycznych z uwzględnieniem typu rolniczego gmin (patrz rozdział 3.2.3).

W odniesieniu do konwencjonalnych kierunków produkcji rolniczej wykorzystano nadwyżki bezpośrednie rzeczywiste w gospodarstwach indywidualnych z bazy FADN dla wybranych typów rolniczych (AB uprawy polowe, F krowy mleczne, H zwierzęta ziarnożerne oraz I mieszane) przeliczone na powierzchnię użytków rolnych każdego gospodarstwa.

Dla każdego z porównywanych wariantów losowano próby o liczebności $n=100$. Stochastyczny charakter danych wejściowych (nadwyżek) odzwierciedla niepewność wyników związaną z danym kierunkiem produkcji. W odniesieniu do produkcji biomasy losowano nadwyżki dla każdej z upraw energetycznych oddzielnie dla każdego skupienia gmin ze względu na typ produkcji rolniczej (patrz rozdział 3.2.3). Czynność losowania powtarzano 3-krotnie. Podobnie, spośród gospodarstw FADN dla każdego typu rolniczego losowano próbę 100 nadwyżek. Losowanie wykonano dla gospodarstw

mieszczących się pomiędzy dolnym a górnym kwartylem (patrz rozdział 3.1.4) Czynność losowania powtarzano 3-krotnie dla każdego typu rolniczego.

Premie za ryzyko wyznaczono dla trzech zestawów losowych prób nadwyżek bezpośrednich odpowiadających uprawom energetycznym oraz konwencjonalnym kierunkom produkcji rolniczej. Obliczenia wykonano dla funkcji użyteczności w postaci ujemnej funkcji eksponentialnej oraz odpowiadających jej ekwiwalentów pewności według równania 3. W celu zdefiniowania dolnej i górnej granicy zakresu współczynnika awersji do ryzyka wykorzystano równanie 5 oraz skalę określoną przez Anderson i Dillin (1992, za: Clancy i in. 2010). Premie za ryzyko wyznaczono według równania 4 i odczytano wartości dla normalnego poziomu awersji do ryzyka.

Premia kompensująca ryzyko stanowi dodatek do ceny równowagi biomasy wyznaczonej według równania 2. Tak więc, cena równowagi powiększona o premię za ryzyko określana jest w dalszej części pracy jako **cena końcowa**. Premie oraz ceny końcowe wyznaczono dla wariantu 2007.

3.2.5 Metody statystyczne

Istotność różnic

Ceny równowagi dla biomasy w gminach wyznaczone w wariantach 2002 oraz wariantach 2007 porównywano parami dla określenia istotności różnic. Ponieważ badane próby nie spełniają założenia o normalności rozkładów, porównywano mediany cen z roku 2002 oraz 2007. Istotność różnic w obu wariantach określono za pomocą testu znakowanych rang (ang. *signed rank test*). Analizę wykonano w pakiecie statystycznym STATGRAPHICS.

Istotność różnic badano także dla cen biomasy w skupieniach ze względu na typ rolniczy. Ponieważ rozkłady nie spełniają założenia o normalności, do określenia istotności różnic między cenami tych samych roślin energetycznych w poszczególnych skupieniach gmin wykorzystano test rangowy Kruskala-Wallisa. W ten sam sposób badano także zmienne charakteryzujące rolnictwo w poszczególnych skupieniach. Analizy wykonano w pakiecie statystycznym STATGRAPHICS.

Próby losowe

W celu przygotowania danych o charakterze stochastycznym do analizy ryzyka losowano próby o liczebności $n=100$ spośród gmin oraz spośród gospodarstw indywidualnych z bazy FADN. Stosowano dobór losowy prosty z wykorzystaniem pakietu STATISTICA. Losowano 3-krotnie niezależnie serie danych spośród gmin i gospodarstw rolnych dla każdego typu rolniczego.

Dopasowanie rozkładu

Wykonano analizę dopasowania rozkładu dla cen końcowych biomasy z uwzględnieniem premii. Wyniki pozwalają na określenie skumulowanego prawdopodobieństwa uzyskania ceny biomasy o danej wartości lub mniejszej. Analizę wykonano w STATGRAPHICS testując dopasowanie różnych typów rozkładów. Dobroć dopasowania oceniono za pomocą testu Kolmogorova-Smirnova. Dopasowanie rozkładu sprawdzano także metodą graficzną.

3.2.6 Badanie wpływu charakterystyk rolnictwa na ceny biomasy

Badano wpływ zmiennych charakteryzujących rolnictwo w gminach na ceny biomasy. Analizę wykonano dla cen równowagi biomasy dla wariantu 2007 w odniesieniu do całej populacji gmin (bez podziału na skupienia). Do analizy wykorzystano program NN MODEL. Jest to sieć neuronowa z propagacją wsteczną, która służy do poszukiwania modelu, który pozwoliłby na jak najlepsze wyjaśnienie zmienności cen biomasy przez wybrane zmienne niezależne charakteryzujące rolnictwo. Analiza wrażliwości umożliwia wskazanie tych zmiennych, które w największym stopniu wpływają na cenę. Przyjęto, że zmienne o względnej absolutnej wrażliwości poniżej 0,05 są mało istotne i mogą być bez szkody wykluczone z modelu. Badane charakterystyki rolnictwa to:

- udział gruntów ornych w powierzchni użytków rolnych [%],
- udział trwałych użytków zielonych w powierzchni użytków rolnych [%],
- udział sadów w powierzchni użytków rolnych [%],
- udział pszenicy w powierzchni zasiewów [%],
- udział pszenżyta w powierzchni zasiewów [%],
- udział żyta w powierzchni zasiewów [%],
- sztuki duże bydła w przeliczeniu na 100 ha użytków rolnych [$SD\ 100\ ha^{-1}$],

- powierzchnia gospodarstw [ha],
- udział osób w wieku mobilnym wśród właścicieli gospodarstw [ha],
- oraz udział osób z wyższym wykształceniem wśród właścicieli gospodarstw.

Dla zmiennych, które mają największy wpływ na kształtowanie się cen biomasy (zgodnie z wynikami modelowania), przygotowano wykresy powierzchni reakcji stanowiące graficzną prezentację zależności.

3.2.7 Kalkulator maksymalnej ceny biomasy

Opracowano kalkulator pozwalający wyznaczyć cenę biomasy, przy której zysk ze współspalania biomasy z węglem (przy obecnym poziomie wsparcia) zrównuje się z zyskiem z produkcji energii elektrycznej wyłącznie w oparciu o węgiel kamienny. W ten sposób szacowana jest maksymalna cena biomasy jaką teoretycznie byłaby w stanie zaakceptować energetyka zawodowa. Przykładowy wydruk strony z kalkulatora zamieszczono w Załączniku 1.

Kalkulator bazuje na kosztach produkcji energii elektrycznej w 2009 roku w elektrowniach i elektrociepłowniach zawodowych na węgiel kamienny (ARE 2010). Wykorzystano informacje o jednostkowych kosztach zmiennych i kosztach stałych [zł MWh⁻¹], w tym o kosztach paliwa. Po stronie przychodów do modelu wprowadzono ceny sprzedaży energii elektrycznej uzyskiwane przez przedsiębiorstwa energetyczne oraz wsparcie w postaci zielonych certyfikatów, które jest dostępne dla każdej MWh „zielonej” energii elektrycznej wytworzonej z biomasy. Ponieważ uśrednione jednostkowe koszty produkcji energii elektrycznej w energetyce zawodowej utrzymały się w roku 2010 na jednakowym poziomie jak w roku poprzednim (Mikołajuk 2011), uzyskane dane dla roku 2009 wykorzystano jako podstawę wyznaczenia cen maksymalnych biomasy w roku 2010.

Maksymalne ceny biomasy, które byłaby w stanie zaakceptować energetyka zawodowa, szacowano na zasadzie bilansowania kosztów oraz przychodów z produkcji energii elektrycznej z uwzględnieniem zachowania 10% zysku przedsiębiorstwa.

3.2.8 Wyznaczanie krzywych podaży

Krzywa podaży jest graficzną prezentacją zależności pomiędzy możliwym do zrealizowania potencjałem technicznym upraw energetycznych a ceną biomasy. Krzywe podaży wyznaczono w odniesieniu do końcowych cen biomasy w gminach. Na podstawie dostępnych gruntów pod uprawy energetyczne oraz plonów roślin energetycznych wyznaczono potencjał techniczny produkcji biomasy w każdej gminie. Poprzez uporządkowanie cen od najniższych do najwyższych oraz przypisanie im skumulowanej wielkości produkcji biomasy odpowiadającej każdemu poziomowi ceny, wyznaczono krzywe podaży. Krzywe wyznaczono osobno dla każdej z roślin energetycznych dla wybranych skupień rolniczych gmin.

4 Wyniki

4.1 Ceny równowagi względem konwencjonalnej produkcji rolniczej

4.1.1 Ceny równowagi dla całej populacji gmin

Ceny równowagi dla biomasy, czyli ceny przy których nadwyżka z produkcji biomasy równoważy nadwyżkę z dotychczasowej produkcji rolniczej, oszacowano dla całej populacji gmin wiejskich w Polsce dla dwóch wariantów czasowych: rok 2002 oraz 2007. Dla każdej z upraw energetycznych ceny wyznaczono w odniesieniu do zbiorowości gmin, w których występują gleby odpowiednie dla danej uprawy (tab. 5). Ponieważ rozkłady cen wierzby, miskanta, ślazu oraz wierzby uprawianej w systemie Eko-Salix na trwałych użytkach zielonych nie spełniają założenia o normalności rozkładu, podano mediany cen biomasy (tab. 6).

W obu wariantach czasowych zdecydowanie najwyższa mediana cen biomasy została wyznaczona dla ślazu, następnie w porządku malejącym znajduje się miska, wierzba na gruntach ornych oraz wierzba w uprawie Eko-Salix. Ceny biomasy pomiędzy rokiem 2002 a 2007 różnią się statystycznie istotnie. Pomiędzy rokiem 2002 a 2007 mediany cen wzrosły o 12% w przypadku wierzby, 6% w przypadku miskanta i ślazu oraz 17% w przypadku wierzby Eko-Salix. Jest to wynik korygowania wartości produkcji towarowej oraz bieżących nakładów na działalność rolniczą będących składowymi wyznaczonych cen biomasy.

Przedstawiono porównanie rozkładów cen poszczególnych roślin odpowiednio dla roku 2002 oraz 2007 (rys. 4 i 5). Wszystkie rozkłady charakteryzują się asymetrią prawostronną. Rozkłady mają różną dyspersję. Najmniejszą różnicę pomiędzy ceną maksymalną i minimalną uzyskano dla miskanta w obu wariantach czasowych, natomiast największy rozstęp wystąpił w przypadku wierzby Eko-Salix. Środkowe 50% gmin skupionych wokół mediany w przypadku wszystkich badanych roślin wykazuje rozkład zbliżony do symetrycznego. Najmniejszy rozstęp kwartyłowy wystąpił dla miskanta, natomiast największy dla wierzby Eko-Salix. Gminy o cenach biomasy w przedziale poniżej dolnego kwartyłu wykazują wyraźnie małe zróżnicowanie (krótkie

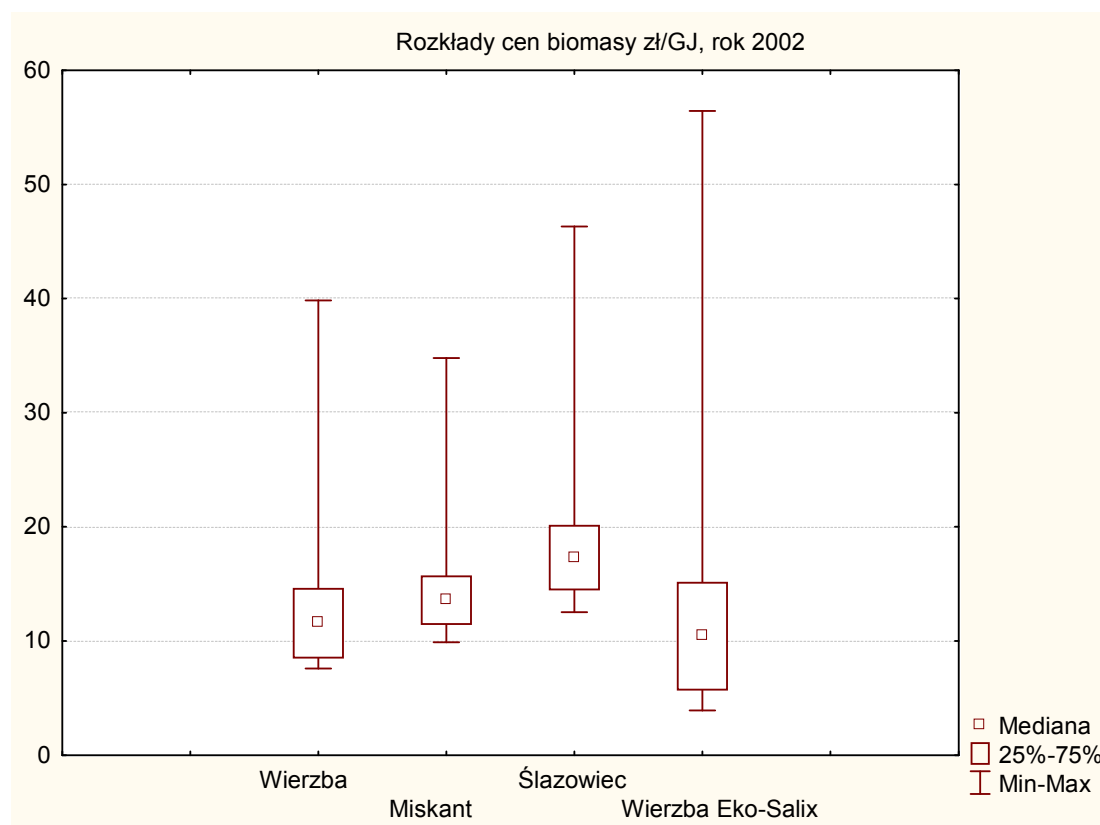
dolne wąsy), czego przeciwieństwem są gminy o cenach biomasy powyżej górnego kwartyla, dla których występuje duże zróżnicowanie (długie górne wąsy). Należy zaznaczyć, że część gmin należących do przedziału poniżej dolnego kwartyla wykazała ujemne wartości nadwyżek z produkcji rolniczej. W tych gminach do oszacowania ceny biomasy przyjęto wartość nadwyżek z dotychczasowej produkcji rolniczej równą zero, stąd duże skupienie wartości badanej cechy w dolnej ćwiartce rozkładów.

Tabela 5. Liczebność gmin oraz powierzchnie przydatne dla upraw energetycznych

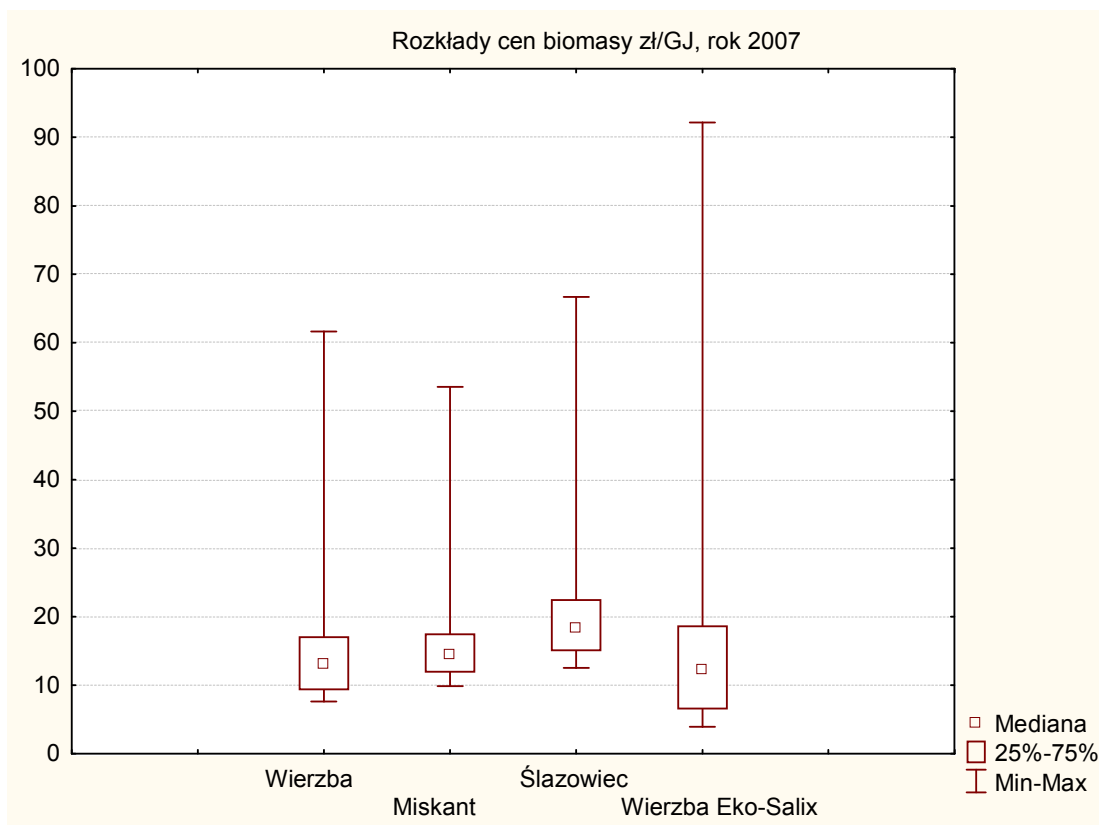
	Wierzba	Miskant	Ślazier	Wierzba Eko-Salix
Liczba gmin	1033	1191	1343	1517
Powierzchnia, ha	101 263,84	122 676,32	795 506,40	469 063,20

Tabela 6. Mediany cen równowagi w zł GJ⁻¹ dla biomasy w odniesieniu do całej populacji gmin

	Wierzba	Miskant	Ślazier	Wierzba Eko-Salix
Rok 2002	11,56	13,59	17,32	10,46
Rok 2007	12,96	14,41	18,39	12,22



Rysunek 4. Wykres ramka-wąsy dla cen równowagi roślin energetycznych w zł GJ⁻¹ dla roku 2002



Rysunek 5. Wykres ramka-wąsy dla cen równowagi roślin energetycznych w zł GJ⁻¹ dla roku 2007

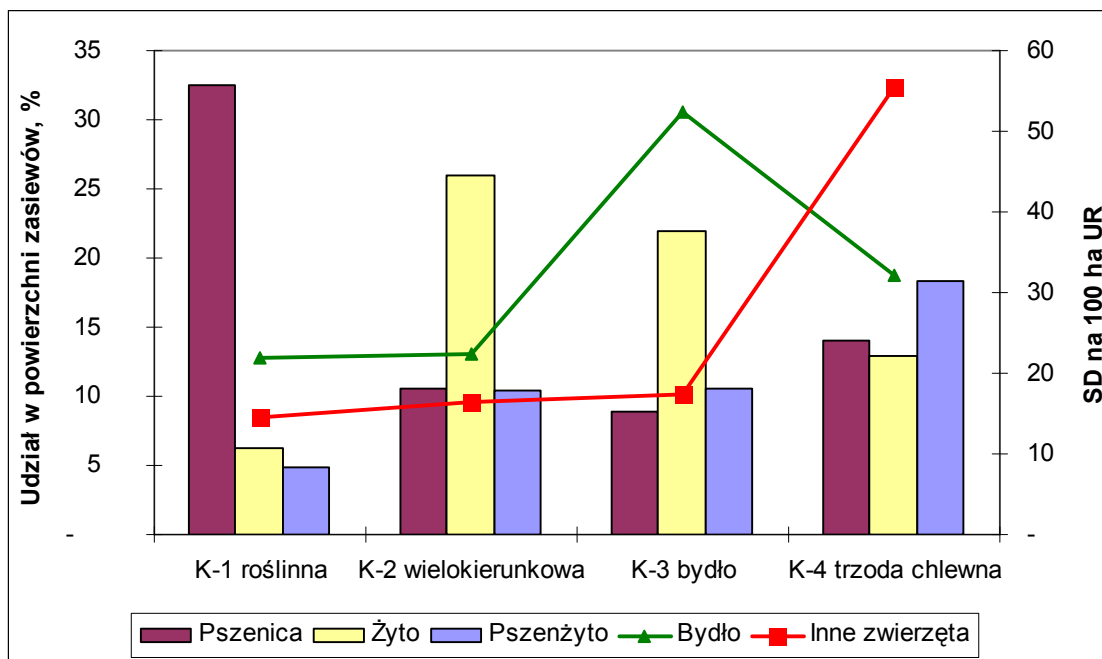
4.1.2 Skupienia gmin ze względu na typologię rolnictwa

Wyodrębniono cztery skupienia gmin ze względu na charakterystykę rolnictwa. Wartości średnie odpowiadające centrom skupień dla badanych cech rolnictwa zaprezentowano na rysunku 6. Poszczególne skupienia określono ze względu na charakterystykę występującej tam produkcji rolniczej:

- Skupienie K-1 odpowiada gminom, w których dominuje produkcja roślinna. Występuje tu najwyższy udział pszenicy w powierzchni zasiewów, co świadczy o występowaniu dobrych gleb. W rotacji z pszenicą uprawiane są zapewne inne rośliny towarowe, takie jak braki cukrowe lub rzepak. Niski udział pszenżyta i żyta świadczy o niskim udziale gleb słabych i niewielkiej produkcji zbożowej na cele paszowe. Koresponduje z tym niskie pogłowie bydła i innych zwierząt w porównaniu z pozostałymi trzema skupieniami. Liczebność skupienia wynosi 985 gmin, co stanowi 45,4% całej populacji gmin wiejskich.
- Skupienie K-2 odpowiada gminom, w których produkcja ma charakter wielokierunkowy. Występuje niski udział pszenicy przy stosunkowo wysokim

udziale żyta w powierzchni zasiewów, co wskazuje na duży udział gleb słabej jakości. Produkcja zwierzęca utrzymuje się na niskim poziomie. Trudno wskazać dominujący kierunek produkcji rolniczej. Liczebność skupienia wynosi 798 gmin, co stanowi 36,8% całej populacji gmin wiejskich.

- Skupienie K-3 odpowiada gminom, w których dominuje chów bydła. Występuje tu największa ilość sztuk dużych (SD) bydła w przeliczeniu na 100 ha użytków rolnych. W warunkach polskich jest to głównie chów bydła mlecznego. Inne zwierzęta utrzymują się na niskim poziomie. Pszenica ma bardzo niski udział w powierzchni zasiewów przy stosunkowo dużym udziale żyta oraz średnim pszenżyta, co świadczy o dominacji gleb słabej jakości. Liczebność skupienia wynosi 248 gmin, co stanowi 11,4% całej populacji gmin wiejskich.
- Skupienie K-4 odpowiada gminom, w których dominuje chów trzody chlewnej. Ilość sztuk dużych (SD) innych zwierząt w przeliczeniu na 100 ha użytków rolnych jest tu największa, co w warunkach polskich odnosi się przede wszystkim do trzody chlewnej. Związana jest z tym produkcja roślinna na cele paszowe, w tym największy udział pszenżyta w powierzchni zasiewów spośród czterech analizowanych skupień. Dominują gleby średnie oraz słabe. Liczebność skupienia wynosi 140 gmin, co stanowi 6,5% całej populacji gmin wiejskich.



Rysunek 6. Wartości średnie odpowiadające centrom skupień dla wybranych cech charakteryzujących rolnictwo w gminach

W tabeli 7 podano powierzchnię gruntów odpowiednich dla upraw energetycznych w zależności od skupienia rolniczego. W skupieniach z dominującą produkcją roślinną (K-1) oraz wielokierunkową (K-2) znalazła się większość gmin posiadających gleby przydatne do uprawy roślin energetycznych. Te dwa skupienie obejmują ponad 80% całkowitej powierzchni gruntów pod uprawy energetyczne w odniesieniu do każdej z analizowanych roślin. W skupieniach z dominującą produkcją zwierzęcą (K-3 oraz K-4) jest wyraźnie mniejsza dostępność gruntów przydatnych dla roślin energetycznych.

Tabela 7. Powierzchnie gruntów odpowiednich dla upraw energetycznych w poszczególnych skupieniach rolniczych gmin

	Wierzba	Miskant	Ślązowiec	Wierzba Eko-Salix
K-1 roślinna	46 622,88	53 630,08	211 580,64	212 818,08
K-2 wielokierunkowa	41 080,64	53 955,84	442 070,24	193 216,16
K-3 bydło	10 487,36	11 011,52	113 365,12	49 507,20
K-4 trzoda chlewna	3 072,96	4 078,88	28 490,40	13 521,76

4.1.3 Ceny równowagi w skupieniach rolniczych

Ceny równowagi dla biomasy wyznaczono w odniesieniu do skupień gmin odpowiadających różnym typom produkcji rolniczej. Uwzględniono dwa warianty czasowe: rok 2002 oraz 2007. Ponieważ rozkłady cen w poszczególnych skupieniach nie spełniają założenia o normalności, ceny wyrażono jako mediany (tab. 8 oraz 9).

W odniesieniu do wszystkich analizowanych roślin energetycznych najniższe mediany cen równowagi uzyskano w skupieniu reprezentującym produkcję wielokierunkową (K-2). Oznacza to, że ten typ rolniczy wymaga stosunkowo niskich cen biomasy by zapewnić rolnikom utrzymanie dotychczasowych wyników ekonomicznych z produkcji rolniczej, gdyby zdecydowali się podjąć produkcję roślin energetycznych. Wyższe ceny uzyskano dla skupienia odpowiadającego produkcji roślinnej (K-1). Na zbliżonym poziomie kształtują się mediany cen w skupieniu z chowem bydła (K-3), zwłaszcza w wariancie dla roku 2002 (tab. 8). Natomiast gminy należące do skupienia z dominującą produkcją trzody chlewnej (K-4) charakteryzują się wyraźnie najwyższymi medianami cen równowagi wśród analizowanych skupień. Oznacza to, że gminy, w których przeważają gospodarstwa specjalizujące się w chowie

trzody chlewnej, uzyskują znacząco wyższe nadwyżki niż pozostałe typy rolnicze. Cena biomasy musi być tu odpowiednio wysoka by zachęcić rolników do zainteresowania się nowym kierunkiem produkcji.

Porównując mediany cen poszczególnych roślin w ramach tego samego skupienia rolniczego należy zauważyć, że otrzymano najwyższe ceny dla ślázowca w obu wariantach czasowych. Wyjątkiem jest skupienie K-4 z produkcją trzody chlewnej dla roku 2007, gdzie najwyższą medianę cen otrzymano dla wierzby Eko-Salix na trwałych użytkach zielonych.

Mediany cen biomasy poszczególnych upraw w odpowiadających sobie skupieniach rolniczych w roku 2002 oraz 2007 różnią się statystycznie istotnie. W dalszej części pracy wykorzystano ceny upraw energetycznych dla roku 2007.

Tabela 8. Mediany cen równowagi dla biomasy w zł GJ⁻¹ w skupieniach rolniczych gmin dla roku 2002

	Wierzba	Miskant	Ślázowiec	Wierzba Eko-Salix
K-1 roślinna	12,41	14,07	18,04	11,36
K-2 wielokierunkowa	10,17	12,30	15,62	8,23
K-3 bydło	12,65	14,08	18,03	11,34
K-4 trzoda chlewna	19,34	19,33	24,83	23,08

Tabela 9. Mediany cen równowagi dla biomasy w zł GJ⁻¹ w skupieniach rolniczych gmin dla roku 2007

	Wierzba	Miskant	Ślázowiec	Wierzba Eko-Salix
K-1 roślinna	13,37	14,60	18,66	12,51
K-2 wielokierunkowa	10,90	12,85	16,31	9,57
K-3 bydło	14,57	15,62	20,07	14,45
K-4 trzoda chlewna	23,33	22,68	29,03	30,02

4.2 Analiza ryzyka

4.2.1 Nadwyżki bezpośrednie

Dane stanowiące podstawę przeprowadzenia analizy ryzyka obejmują zestaw rzeczywistych nadwyżek bezpośrednich z indywidualnych gospodarstw rolnych z bazy FADN oraz hipotetycznych nadwyżek z produkcji biomasy wyznaczonych w oparciu o ceny równowagi dla biomasy w gminach. Mediany nadwyżek bezpośrednich dla trzech losowych prób gospodarstw indywidualnych FADN przedstawiono w tabeli 10. Natomiast tabela 11 zawiera mediany nadwyżek odpowiadające produkcji biomasy dla losowych prób gmin z uwzględnieniem typologii rolnictwa.

Należy zauważyć, że w przypadku gospodarstw indywidualnych specjalizujących się w chowie krów mlecznych (typ F) oraz zwierząt ziarnożernych, co w warunkach polskich odpowiada głównie trzodzie chlewnej (typ H), mediany nadwyżek bezpośrednich przyjmują wartości wyraźnie wyższe niż pozostałe typy gospodarstw (tab. 10). Oznacza to, że produkcja zwierzęca była w warunkach roku 2007 znacznie bardziej dochodowa niż produkcja roślinna bądź wielokierunkowa. Najlepszymi wynikami ekonomicznymi charakteryzowały się gospodarstwa z produkcją bydła mlecznego (typ F). Natomiast najniższe wyniki uzyskały w 2007 r. gospodarstwa mieszane (typ I), co zapewne związane jest z brakiem wyraźnej specjalizacji produkcji.

Dla produkcji biomasy oszacowane nadwyżki (tab. 11) są wypadkową cen równowagi w poszczególnych skupieniach rolniczych gmin. Wyraźnie największe mediany nadwyżek otrzymano w skupieniu gmin z dominującą produkcją trzody chlewnej (K-4). Produkcja biomasy w gminach z dominującą chowem bydła (K-3) charakteryzuje się znacząco mniejszymi medianami nadwyżek niż w skupieniu z trzodą chlewną (K-4), co jest odwrotną relacją niż w przypadku gospodarstw indywidualnych z bazy FADN (tab. 10). Najmniejsze mediany nadwyżek otrzymano dla gmin należących do skupienia z produkcją wielokierunkową (K-2). Jest to podobna tendencja jak w przypadku wyników dla gospodarstw indywidualnych.

Tabela 10. Mediany nadwyżek bezpośrednich w zł ha⁻¹ użytków rolnych gospodarstwa dla trzech losowych prób indywidualnych gospodarstw z uwzględnieniem typu produkcji rolniczej

	Typ AB uprawy polowe	Typ F krowy mleczne	Typ H zwierzęta ziarnożerne	Typ I mieszane
Próba 1	2 966,06	3 931,29	3 252,13	2 626,73
Próba 2	3 014,59	3 798,37	3 259,30	2 725,19
Próba 3	2 714,85	3 927,83	3 193,88	2 824,71

Tabela 11. Mediany nadwyżek bezpośrednich w zł ha⁻¹ dla produkcji biomasy dla trzech losowych prób gmin z uwzględnieniem typologii rolnictwa

	K-1 roślinna	K-2 wielokierunkowa	K-3 bydło	K-4 trzoda chlewna
Wierzba				
Próba 1	1 023,35	894,30	1 443,93	3 176,04
Próba 2	1 052,51	953,26	1 416,43	3 294,47
Próba 3	1 057,71	736,08	1 429,42	3 316,61
Miskant				
Próba 1	1 011,86	886,85	1 476,80	3 166,26
Próba 2	1 050,77	963,04	1 434,76	3 286,34
Próba 3	1 048,86	721,48	1 447,97	3 308,47
Ślązowiec				
Próba 1	1 014,23	888,55	1 474,30	3 168,78
Próba 2	1 052,83	962,96	1 434,37	3 288,73
Próba 3	1 050,74	723,88	1 447,80	3 310,86
Wierzba Eko-Salix				
Próba 1	1 017,86	936,64	1 357,43	3 213,21
Próba 2	1 033,33	934,37	1 344,02	3 301,42
Próba 3	1 056,31	768,11	1 354,88	3 334,37

4.2.2 Premie za ryzyko

Dla trzech zestawów losowo wybranych prób nadwyżek bezpośrednich oszacowano premie za ryzyko na podstawie wyznaczonych ekwiwalentów pewności dla każdego z porównywanej kierunków produkcji (patrz: Załącznik 2). W tabeli 12 zamieszczono premie dla biomasy przeliczone na GJ dla trzech prób danych wejściowych, natomiast wartości średnie zestawiono w tabeli 13.

Otrzymane premie dla biomasy przyjmują wartości dodatnie. Są one wypadkową wzajemnych relacji pomiędzy nadwyżkami bezpośrednimi w gospodarstwach indywidualnych a hipotetycznymi nadwyżkami z produkcji biomasy w gminach dla odpowiadających sobie typów rolniczych gospodarstw i gmin. Ponadto, są silnie uwarunkowane zmiennością wyników (nadwyżek) dla każdego z porównywanych kierunków produkcji.

Wyraźnie najwyższe premie otrzymano dla analizowanych roślin energetycznych dla typu rolniczego chów bydła (K-3). Gospodarstwa indywidualne prowadzące chów bydła mlecznego otrzymują najwyższe nadwyżki bezpośrednie (tab. 10), dlatego podjęcie produkcji biomasy w tych gospodarstwach w miejsce dotychczasowej produkcji wymaga kompensacji w formie wysokiej premii za ryzyko.

W przypadku produkcji trzody chlewnej otrzymano bardzo niskie wartości premii za ryzyko. Jest to związane z tym, że nadwyżki bezpośrednie dla produkcji biomasy wyznaczone w oparciu o ceny równowagi w gminach należących do skupienia z dominującą produkcją trzody chlewnej (K-4) są na tyle wysokie (tab. 11), że podjęcie produkcji biomasy wymaga tylko niewielkiej dodatkowej premii.

Premie odpowiadające produkcji roślinnej oraz produkcji wielokierunkowej pozostają na zbliżonym do siebie poziomie dla poszczególnych roślin.

Premie za ryzyko przyjmują różne wartości dla poszczególnych upraw energetycznych. Zdecydowanie najwyższe premie wyznaczono dla wierzby uprawianej w systemie Eko-Salix. Łączy się to z największym wśród badanych roślin zróżnicowaniem cen równowagi dla tej rośliny (rys. 4). Najniższe wartości premii otrzymano dla miskanta, który charakteryzuje się stosunkowo najmniejszym zróżnicowaniem cen równowagi (rys. 4).

Tabela 12. Premia za ryzyko w zł GJ⁻¹ dla biomasy dla trzech serii losowych prób danych wejściowych z uwzględnieniem typów produkcji rolniczej

	K-1 roślinna	K-2 wielokierunkowa	K-3 bydło	K-4 trzoda chlewna
Wierzba				
Próba 1	8,96	8,01	11,47	1,61
Próba 2	9,17	8,40	11,04	0,95
Próba 3	8,13	8,95	12,01	0,90
Miskant				
Próba 1	7,24	6,46	9,20	1,31
Próba 2	7,40	6,78	8,87	0,78
Próba 3	6,56	7,22	9,64	0,74
Ślazier				
Próba 1	9,55	8,52	12,15	1,72
Próba 2	9,76	8,95	11,70	1,02
Próba 3	8,66	9,53	12,72	0,97
Wierzba Eko-Salix				
Próba 1	14,86	13,28	19,33	2,58
Próba 2	15,24	13,90	18,59	1,51
Próba 3	13,51	14,85	20,26	1,40

Tabela 13. Wartości średnie premii za ryzyko dla biomasy w zł GJ⁻¹ z uwzględnieniem typów produkcji rolniczej

	K-1 roślinna	K-2 wielokierunkowa	K-3 bydło	K-4 trzoda chlewna
Wierzba	8,75	8,45	11,50	1,15
Miskant	7,07	6,82	9,24	0,94
Ślazier	9,32	9,00	12,19	1,24
Wierzba Eko-Salix	14,53	14,01	19,39	1,83

4.3 Ceny końcowe uwzględniające premie za ryzyko

Ceny końcowe biomasy stanowią sumę cen równowagi oraz premii za ryzyko. Mediany cen końcowych dla analizowanych roślin energetycznych przedstawiono w tab. 14.

Najniższe mediany cen końcowych biomasy dla poszczególnych roślin otrzymano w odniesieniu do produkcji wielokierunkowej (K-2). Następnie w porządku rosnącym znajdują się typy rolnicze z dominującą produkcją roślinną (K-1), dominującą produkcją trzody chlewnej (K-4) oraz dominującą produkcją bydła (K-3).

W gospodarstwach należących do typu z produkcją wielokierunkową (K-2) ze względu na brak wyraźnej specjalizacji, by zachęcić rolników do podjęcia produkcji biomasy należy proponować cenę na poziomie około 20 zł GJ⁻¹ w odniesieniu do upraw wierzby i miskanta oraz 24-25 zł GJ⁻¹ odpowiednio w odniesieniu do upraw wierzby Eko-Salix oraz ślazier. Zupełnym przeciwieństwem są gospodarstwa wyspecjalizowane w produkcji zwierzęcej. Poniosły one znaczące inwestycje na infrastrukturę związaną z prowadzeniem chowu zwierząt i uzyskują znacznie lepsze wyniki ekonomiczne. Tam warunkiem zainteresowania rolników podjęciem uprawy roślin na cele energetyczne jest znacznie wyższa cena biomasy. W odniesieniu do gospodarstw z dominującą produkcją bydła mlecznego (K-3) mediana cen końcowych biomasy kształtuje się na poziomie 25 i 26 zł GJ⁻¹ odpowiednio dla miskanta i wierzby na gruntach ornych oraz 32 i 34 zł GJ⁻¹ dla ślazier oraz wierzby uprawianej w systemie Eko-Salix. W porównaniu z medianami cen końcowych biomasy w skupieniu K-2, ceny te są wyższe o około 25% dla miskanta i wierzby oraz 35 i 44% odpowiednio dla ślazier oraz wierzby Eko-Salix.

Ceny końcowe biomasy są silnie zróżnicowane ze względu na rodzaj upraw energetycznych. W każdym typie rolniczym mediany cen wierzby i miskanta kształtują

się na niższym poziomie niż ceny końcowe wyznaczone w odniesieniu do ślázowca i wierzby Eko-Salix. W znaczącym stopniu jest to uwarunkowane kosztami produkcji i plonami biomasy (tab. 1 oraz 2). W przypadku miskanta średnioroczne koszty produkcji biomasy kształtują się na stosunkowo wysokim poziomie, jednak wysoki plon powoduje, że wypadkowa cena końcowa miskanta jest porównywalna z ceną wierzby. Ślázowiec wymaga podobnie jak miskant wysokich średniorocznych kosztów produkcji, jednak uzyskuje znacznie niższe plony (porównywalne do wierzby), co generuje wysoką cenę końcową. Uprawa wierzby Eko-Salix charakteryzuje się bardzo niskimi kosztami produkcji, jednak w zestawieniu z najniższymi wśród analizowanych roślin plonem, uzyskano wysoką cenę końcową.

Udział premii w cenie końcowej biomasy jest różny w poszczególnych typach rolniczych (rys. 7). Dla typu rolniczego z dominującą produkcją roślinną (K-1) ceny równoważące nadwyżki z bieżącej produkcji rolniczej (ceny równowagi) wyznaczone dla gmin kształtują się na umiarkowanym poziomie. W zestawieniu z danymi z rzeczywistych gospodarstw indywidualnych specjalizujących się w uprawach polowych wymagana jest znacząca premia za ryzyko. Udział premii w cenie końcowej wynosi 33% w przypadku miskanta i ślázowca, 40% w przypadku wierzby na gruntach ornych i 54% dla wierzby Eko-Salix.

W skupieniu gmin, w którym brak wyraźnie dominującego kierunku produkcji rolniczej (K-2), otrzymano najniższe ceny równowagi. Wyznaczone premie za ryzyko stanowią 35 i 36% odpowiednio dla miskanta i ślázowca, 44% dla wierzby na gruntach ornych i 59% dla wierzby Eko-Salix. Wypadkowo, ceny końcowe biomasy w gminach o produkcji wielokierunkowej pozostają na najniższym poziomie wśród analizowanych typów rolniczych.

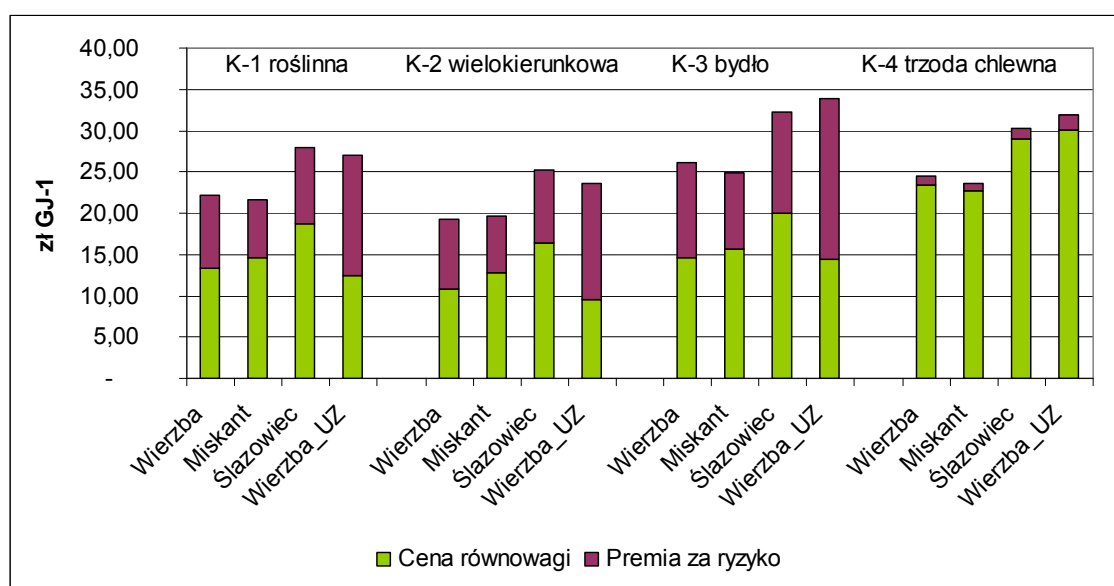
W przypadku produkcji bydła cena równowagi wyznaczona dla gmin kształtuje się na nieznacznie wyższym poziomie niż w skupieniu z dominującą produkcją roślinną (K-1), jednak wysokie nadwyżki jakie uzyskały rzeczywiste gospodarstwa indywidualne z produkcją bydła mlecznego warunkują wysokie premie za ryzyko. W konsekwencji gospodarstwom specjalizującym się w chowie bydła należy zaproponować najwyższe ceny końcowe za biomasę by zachęcić je do podjęcia nowego kierunku produkcji. Udział premii za ryzyko w cenie końcowej wynosi odpowiednio 37 i 38% dla miskanta i ślázowca, 44% dla wierzby na gruntach ornych i 57% dla wierzby Eko-Salix.

Dla gmin z dominującą produkcją trzody chlewnej (K-4) udział premii za ryzyko w cenie końcowej wynosi tylko 4% dla miskanta i ślazuca, 5% w przypadku wierzby na gruntach ornych oraz 6% dla wierzby Eko-Salix. W tym typie rolniczym wyznaczono najwyższe ceny równowagi dla gmin, to znaczy ceny równoważące nadwyżkę z dotychczasowej produkcji. W zestawieniu z danymi z indywidualnych gospodarstw rolnych o tym samym typie rolniczym okazało się, że podjęcie produkcji biomasy wymaga jedynie niewielkiej premii kompensującej ryzyko.

Podsumowując, gminy odpowiadające typom rolniczym z produkcją wielokierunkową (K-2) oraz produkcją roślinną (K-1) wymagają cen końcowych biomasy na niższym poziomie niż typy rolnicze z produkcją zwierzęcą (K3 oraz K-4), dlatego wśród gmin należących do skupienia K-1 oraz K2 należy poszukiwać możliwości uruchomienia produkcji biomasy na dużą skalę. Wśród roślin energetycznych miskant i wierzba uprawiana na gruntach rolnych wydają się szczególnie interesujące ze względu na niższe ceny końcowe w porównaniu do ślazuca i wierzby w systemie Eko-Salix.

Tabela 14. Mediany cen końcowych biomasy w zł GJ⁻¹ z uwzględnieniem typów produkcji rolniczej

	Wierzba	Miskant	Ślazuć	Wierzba Eko-Salix
K-1 roślinna	22,13	21,67	27,98	27,04
K-2 wielokierunkowa	19,35	19,68	25,31	23,58
K-3 bydło	26,07	24,85	32,26	33,84
K-4 trzoda chlewna	24,49	23,63	30,27	31,85



Rysunek 7. Struktura cen końcowych biomasy z uwzględnieniem typów produkcji rolniczej

4.4 Wpływ charakterystyk rolnictwa na ceny biomasy

Badano jak ceny biomasy są warunkowane przez charakterystyki rolnictwa w poszczególnych gminach. Analiza dotyczy cen równowagi dla roku 2007. Zbudowano modele o charakterze sieci neuronowych dla wyjaśnienia zmienności cen biomasy ze względu na wybrane zmienne niezależne charakteryzujące rolnictwo. W tabeli 15 przedstawiono wartości współczynników determinacji w odniesieniu do każdej z upraw energetycznych. Uzyskane wartości R^2 są stosunkowo wysokie, co wskazuje, że otrzymane modele dobrze wyjaśniają zmienność cen biomasy w odniesieniu do próby treningowej (uczącej). Jednak dla próby testowej wartości R^2 są dużo niższe, co oznacza, że otrzymane modele nie mają charakteru uniwersalnego i nie sprawdzają się dobrze na danych testowych (zastosowano podwyższoną wielkość próby testowej, która stanowiła 50% zbioru danych wejściowych). Wybrane charakterystyki rolnictwa w gminach wyjaśniają 38-43% zmienności cen biomasy w zależności od upraw energetycznych.

Do charakterystyk rolnictwa mających największy wpływ na zmienną objaśnianą należą: udział osób z wykształceniem ponad podstawowym wśród właścicieli gospodarstw (WYKPP), udział osób w wieku mobilnym wśród właścicieli gospodarstw (WMOB), sztuki duże zwierząt na 100 ha użytków rolnych (SD100UR), udział dochodów z rolnictwa w dochodach gospodarstw domowych (DOCHR), udział trwałych użytków zielonych w użytkach rolnych (TUZUR), wielkość powierzchni gospodarstw (POWGOS) oraz udział gruntów ornych w użytkach rolnych (GOUR). W tabeli 16 zestawiono zmienne objaśniające oraz odpowiadające im współczynniki absolutnej wrażliwości.

Tabela 15. Wartości współczynników determinacji R^2 dla opracowanych modeli

	Wierzba	Miskant	Ślazier	Wierzba Eko-Salix
Próba treningowa	0.644274	0.666563	0.672469	0.597987
Próba testowa	0.433804	0.375828	0.402713	0.390205

Tabela 16. Charakterystyki rolnictwa warunkujące ceny biomasy oraz odpowiadające im wartości współczynników średniej absolutnej wrażliwości (objaśnienia skrótów w tekście)

Wierzba		Miskant		Ślázowiec		Wierzba Eko-Salix	
TUZUR	0.22645	WYKPP	0.22549	WMOB	0.23609	WYKPP	0.25785
SD100UR	0.17805	DOCHR	0.19556	DOCHR	0.21275	TUZUR	0.19613
WMOB	0.17672	WMOB	0.17154	SD100UR	0.20999	SD100UR	0.19497
WYKPP	0.15585	SD100UR	0.13779	WYKPP	0.20651	DOCHR	0.18660
DOCHR	0.14390	TUZUR	0.12892	TUZUR	0.13466	WMOB	0.09538
POWGOS	0.11903	POWGOS	0.08203			GOUR	0.06907
		GOUR	0.05867				

W odniesieniu do każdej z analizowanych upraw energetycznych wybrano dwie zmienne o największych wartościach współczynników absolutnej wrażliwości oraz wykonano wykresy powierzchni reakcji (rys. 8 do 11). Otrzymane zależności są zbliżone do liniowych.

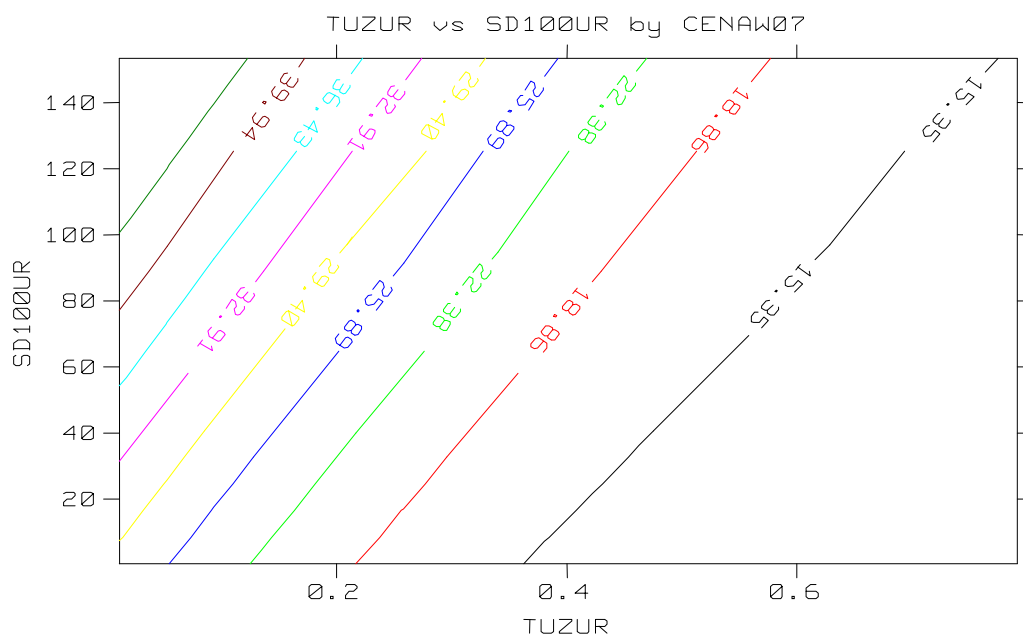
Cenę równowagi wierzby najsilniej warunkuje liczba sztuk dużych zwierząt na 100 ha użytków rolnych oraz udział trwałych użytków zielonych w użytkach rolnych (rys. 8). Oznacza to, że wraz ze wzrostem liczby zwierząt w gminach rolnikom należy zaproponować wyższe ceny biomasy. Innymi słowy, tylko wysokie ceny biomasy będą rekompensować dotychczasowe wyniki z produkcji rolniczej prowadzonej w oparciu o chów zwierząt. Jednocześnie dla niskiego udziału trwałych użytków zielonych otrzymano wysokie ceny biomasy, zwłaszcza przy wysokiej obsadzie zwierząt. Wraz ze wzrostem udziału użytków zielonych cena biomasy wyraźnie spada.

W przypadku miskanta cena równowagi jest najsilniej uwarunkowana udziałem osób z wykształceniem ponad podstawowym wśród właścicieli gospodarstw oraz udziałem dochodów z rolnictwa w budżetach gospodarstw domowych (rys. 9). Wraz ze wzrostem udziału lepiej wykształconych właścicieli gospodarstw należy zaproponować wyższe ceny biomasy. Generują oni wyższe nadwyżki z prowadzonej działalności, dlatego wymagają wyższych cen biomasy by zechcieli podjąć alternatywny kierunek produkcji. Jednocześnie cena biomasy wzrasta w odniesieniu do rosnącego udziału dochodów z rolnictwa w budżetach domowych, co oznacza, że gospodarstwa utrzymujące się z rolnictwa muszą uzyskać wyższe ceny biomasy.

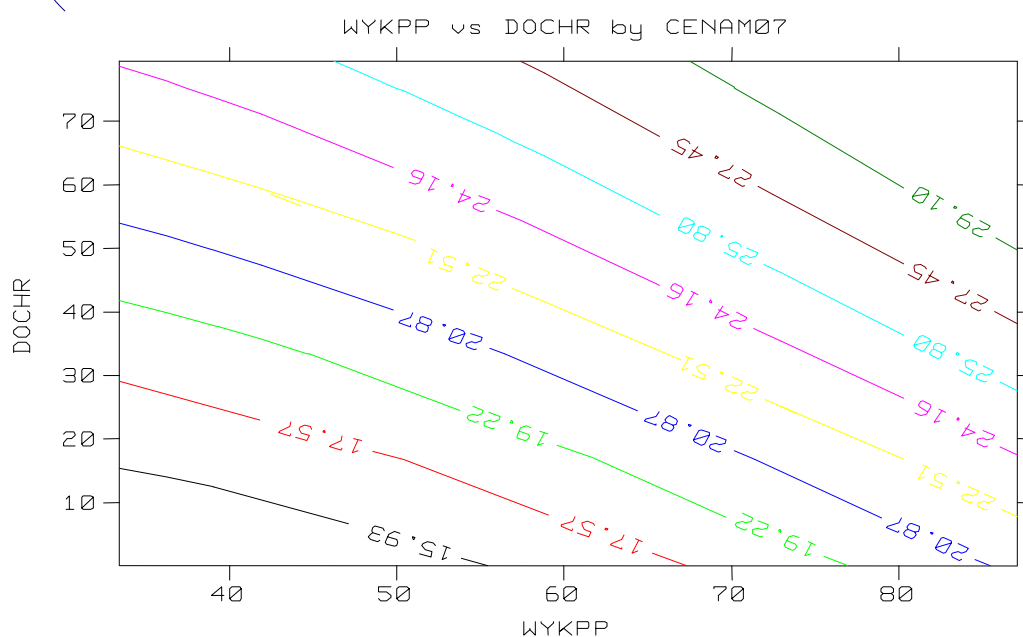
Dla ślázowca wraz ze wzrostem osób w wieku mobilnym oraz spadkiem udziału dochodów z rolnictwa w dochodach gospodarstw domowych spadają ceny biomasy (rys. 10). Oznacza to, że młodszy rolnicy, mając pozarolnicze źródła utrzymania, byłiby w stanie zaakceptować niższe ceny biomasy. Wraz ze spadkiem udziału osób w wieku

mobilnym wśród właścicieli gospodarstw oraz rosnącym znaczeniem działalności rolniczej jako źródła utrzymania cena biomasy wyraźnie wzrasta.

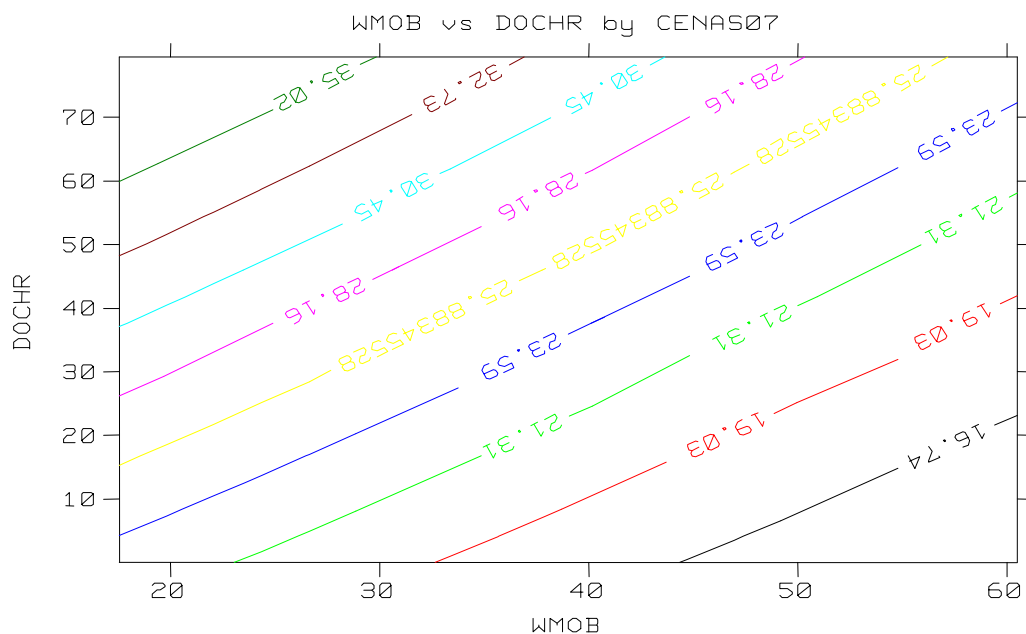
Dla wierzby uprawianej w systemie Eko-Salix na trwałych użytkach zielonych cena biomasy najsilniej jest uzależniona od udziału osób z wykształceniem ponadpodstawowym wśród właścicieli gospodarstw oraz udziału TUZ w użytkach rolnych (rys. 11). Wraz ze wzrostem odsetka lepiej wykształconych właścicieli gospodarstw należy zaproponować wyższe ceny biomasy. Jednocześnie najwyższe ceny wyznaczono dla bardzo niskiego udziału TUZ. Można tę zależność zinterpretować następująco: gospodarstwa z małym udziałem trwałych łąk i pastwisk byłyby w stanie przeznaczyć je pod produkcję biomasy tylko pod warunkiem otrzymania wysokich cen. Należy jednak zaznaczyć, że w skali kraju znacząca część łąk i pastwisk nie jest obecnie użytkowana lub jest wykorzystywana ekstensywnie (około 1 mln ha). Można zatem przypuszczać, iż część rolników byłaby skłonna zaakceptować stosunkowo niskie ceny biomasy za przeznaczenie tych użytków pod uprawy Eko-Salix.



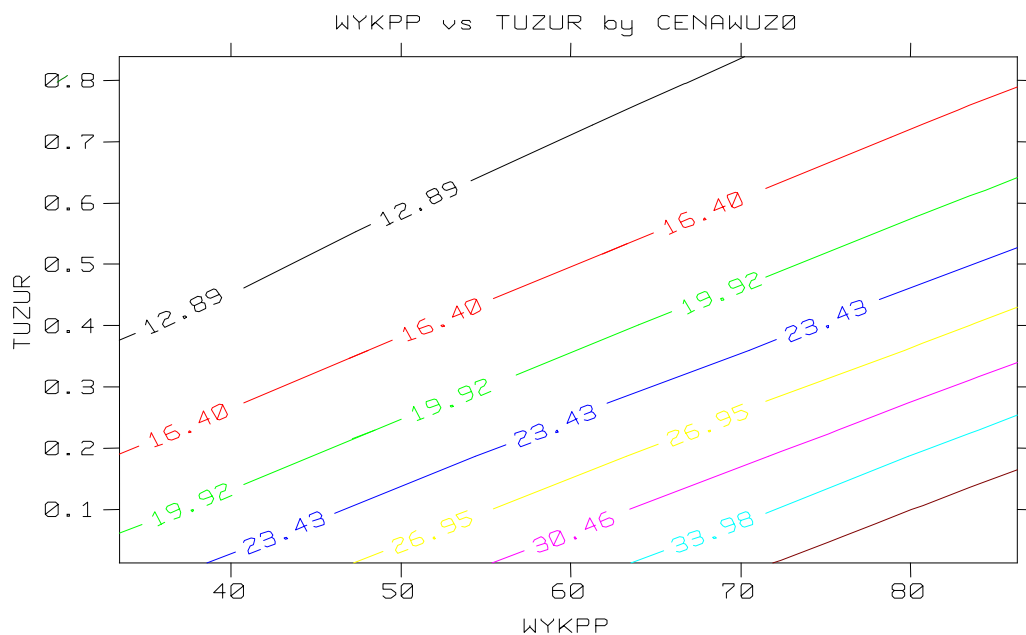
Rysunek 8. Wykres powierzchni reakcji dla cen równowagi wierzby w zależności od liczby sztuk dużych zwierząt na 100 ha użytków rolnych (SD100UR) oraz udziału trwałych użytków zielonych w użytkach rolnych (TUZUR)



Rysunek 9. Wykres powierzchni reakcji dla cen równowagi miskanta w zależności od udziału dochodów z rolnictwa w budżetach gospodarstw domowych (DOCHR) oraz udziału osób z wykształceniem ponad podstawowym (WYKPP) wśród właścicieli gospodarstw



Rysunek 10. Wykres powierzchni reakcji dla cen równowagi ślazu w zależności od udziału dochodów z rolnictwa w budżetach gospodarstw domowych (DOCHR) oraz udziału osób w wieku mobilnym wśród właścicieli gospodarstw (WMOB)



Rysunek 11. Wykres powierzchni reakcji dla cen równowagi wierzby Eko-Salix w zależności od udziału trwałych użytków zielonych w użytkach rolnych (TUZUR) oraz udziału osób z wykształceniem ponad podstawowym (WYKPP) wśród właścicieli gospodarstw

4.5 Potencjał ekonomiczny produkcji biomasy z upraw wieloletnich

4.5.1 Ceny rynkowe biomasy oraz ceny maksymalne

W celu odniesienia otrzymanych wyników do cen rynkowych biomasy i przeprowadzania analizy potencjału ekonomicznego upraw energetycznych, zebrano informacje o cenach biomasy występujących w kontraktach handlowych zawieranych przez zakłady energetyczne. Skierowano zapytania do kilkunastu zakładów energetycznych (energetyka zawodowa) znajdujących się w różnych regionach kraju oraz do dużego dostawcy biomasy dla energetyki. Na podstawie uzyskanych informacji w tabeli 17 przedstawiono zakresy średnich cen biomasy loco zakład energetyczny. Ponieważ ceny transakcyjne stanowią tajemnicę handlową, autorka nie otrzymała zgody na bezpośrednie wskazanie źródła danych.

W 2010 r. energetyka zawodowa zużyła 4 536 tys. ton biomasy (Flakowicz 2011a). Znakomita większość to biomasa pochodzenia leśnego, podczas gdy, biomasa rolnicza stanowi nadal niewielki odsetek i występuje głównie jako biomasa odpadowa, w tym w dużej mierze biomasa importowana. Niewielki krajowy areal plantacji energetycznych (około 7 tys. ha) nie równoważy rosnącego popytu ze strony zakładów energetycznych. Z tego względu ceny biomasy leśnej, która obecnie stanowi największy wolumen na rynku biomasy dla energetyki, stanowią punkt odniesienia dla uzyskanych w tej pracy wyników dotyczących cen biomasy z upraw energetycznych.

Ceny przedstawione w tabeli 17 to ceny loco zakład energetyczny uwzględniające koszty transportu. Ceny są zróżnicowane ze względu na rodzaj i formę biomasy. Najniższe ceny oferowane są za niskiej jakości zrębki pochodzące z leśnych odpadów zrębowych. Ceny zrębków z drewna litego (sortymenty energetyczne) oraz zrębków zakupionych w zakładach przetwórstwa drzewnego osiągają wyższe ceny, odpowiadające górnej granicy podanego przedziału. Biomasa w formie skompaktowanej jest obecnie najdroższym rodzajem biomasy, a ceny peletów pochodzenia leśnego oraz rolnego osiągnęły zbliżony poziom. W odniesieniu do upraw energetycznych uzyskano bardzo rozbieżne informacje o cenach. Jest to zapewne związane z niewielkim arealem plantacji w kraju oraz faktem, że ten rodzaj biomasy bardzo rzadko występuje w kontraktach handlowych zawieranych przez duże zakłady

energetyczne. Stąd, ceny zrębków energetycznych wierzby silnie różnią się w zależności od regionu kraju, odbiorcy biomasy i zawieranego kontraktu.

Wartość referencyjną dla podanych w tabeli 17 cen biomasy może stanowić informacja opublikowana przez Agencję Rynku Energii S.A. o średnich cenach biomasy w energetyce zawodowej. W roku 2010 średnia cena biomasy loco zakład energetyczny wyniosła 25,50 zł GJ⁻¹ (Flakowicz 2011a, Flakowicz 2011b).

Tabela 17. Przeciętne cen biomasy występujące w kontraktach na zakup biomasy zawieranych przez zakłady energetyczne (dane dla roku 2010 uzyskane na podstawie zapytań skierowanych do zakładów energetycznych)

Rodzaj biomasy	Cena loco zakład energetyczny
Zrębki z biomasy pochodzenia leśnego	16-22
Pelety z biomasy pochodzenia leśnego	28-30
Pelety z biomasy pochodzenia rolnego	28-30
Zrębki wierzby energetycznej	20-26

Aby oszacować ceny biomasy w formie nieprzetworzonej odpowiednie dla miejsca jej wytworzenia (loco pole bądź loco las), od podanych cen loco zakład energetyczny odjęto szacunkowe koszty transportu i kompaktowania. Przyjęto, że dla biomasy pozyskiwanej z obszaru o promieniu 100 km od zakładu energetycznego, średni dystans transportu wynosi 67 km. Dla podanego dystansu koszt transportu wraz z załadunkiem kształtuje się obecnie na poziomie około 3,00 zł GJ⁻¹ dla świeżych zrębków oraz 1,40 zł GJ⁻¹ dla biomasy w formie peletów, przy wykorzystaniu samochodowych zestawów kontenerowych lub naczep typu „walking floor”. Koszty peletowania (uwzględniające marżę producenta) ustalono na poziomie zbliżonym do 10,00 zł GJ⁻¹. Wypadkowo, dla przyjętych założeń, ceny biomasy nieprzetworzonej dostępnej w miejscu wytworzenia kształtują się na poziomie około 13-19 zł GJ⁻¹ dla zrębków leśnych, około 16-18 zł GJ⁻¹ dla biomasy leśnej lub rolnej przeznaczonej do produkcji peletów, oraz w zakresie 17-23 zł GJ⁻¹ loco pole dla biomasy z upraw energetycznych (zrębki wierzby).

Zakłady energetyczne wykorzystujące biomasę w procesach spalania korzystają ze wsparcia w formie „zielonych” certyfikatów za każdą MWh wytworzonej „zielonej” energii elektrycznej. Wsparcie stanowi silny impuls ekonomiczny do podejmowania tego rodzaju działalności. Aby wyznaczyć maksymalną cenę biomasy, jaką w warunkach roku 2010 byłaby w stanie zaakceptować energetyka zawodowa wykorzystująca biomasę do procesów współspalania z węglem, opracowano kalkulator

cen biomasy. Po stronie kosztów wprowadzono dane o uśrednionych jednostkowych kosztach stałych ($109,05 \text{ zł MWh}^{-1}$) i zmiennych ($56,24 \text{ zł MWh}^{-1}$) wytworzenia energii elektrycznej w elektrowniach zawodowych w kraju (ARE 2010, Mikołajuk 2011). Po stronie przychodów istotne są ceny sprzedaży energii elektrycznej ($197,21 \text{ zł MWh}^{-1}$) oraz wsparcie w postaci „zielonych” certyfikatów ($267,95 \text{ zł MW}^{-1}$) (URE 2010, TGE 2010).

Oszacowana maksymalna cena biomasy, którą powinna być w stanie zaakceptować energetyka zawodowa waha się w przedziale od 35 do 38 zł GJ^{-1} loco zakład energetyczny, odpowiednio dla dodatku biomasy w procesie współspalania w zakresie od 5 do 10% energetycznie. Dla założenia, że zakłady energetyczne preferują dostawy biomasy w formie peletów (paliwo standaryzowane), wyznaczono maksymalną cenę loco pole dla biomasy w formie nieprzetworzonej odpowiednio na poziomie 23-26 zł GJ^{-1} . Uzyskanie wyższej ceny loco pole za biomasę nieprzetworzoną, dostarczaną bezpośrednio do zakładów energetycznych z pominięciem peletowania, jest bardzo mało prawdopodobne. Rezygnacja z kompaktowania biomasy będzie zapewne podyktowana poszukiwaniem przez zakłady energetyczne możliwości obniżenia kosztów zakupu biomasy, co oznacza utrzymanie ceny na jak najniższym poziomie.

W oparciu o zebrane informacje o rynkowych cenach biomasy oraz na podstawie oszacowanych maksymalnych cen biomasy dla energetyki (współspalanie), wyznaczono **sześć cenowych poziomów odniesienia** istotnych dla analizy potencjału ekonomicznego produkcji biomasy z upraw energetycznych w Polsce. Są to następujące ceny:

- 17 zł GJ^{-1} loco pole, co odpowiada średnim cenom za biomasę nieprzetworzoną oferowanych obecnie na rynku krajowym;
- 20 zł GJ^{-1} loco pole, co odpowiada w przybliżeniu górnym wartościom cen oferowanych obecnie za biomasę nieprzetworzoną na rynku krajowym;
- 23 zł GJ^{-1} loco pole, co odpowiada dolnej granicy zakresu oszacowanej maksymalnej ceny, jaką powinna zaakceptować energetyka za biomasę wykorzystaną w procesach współspalania z węglem;
- 26 zł GJ^{-1} loco pole, co odpowiada górnej granicy zakresu maksymalnej oszacowanej ceny, jaką powinna zaakceptować energetyka za biomasę wykorzystaną w procesach współspalania z węglem;

- 29 zł GJ⁻¹ loco pole, co stanowi wariant hipotetyczny odpowiadający cenom za biomasę nieprzetworzoną dostarczaną bezpośrednio do zakładów energetycznych z pominięciem procesu paletyzacji;
- 32 zł GJ⁻¹ loco pole, jak w punkcie powyżej.

Odnosząc powyższe cen biomasy do otrzymanych median cen końcowych upraw energetycznych (tab. 14) zauważono, że dla żadnej rośliny nie wyznaczono ceny środkowej na poziomie 17 zł GJ⁻¹ loco pole. W przypadku wierzby i miskanta w skupieniu gmin z dominującą produkcją wielokierunkową (K-2) ceny tych roślin są mniejsze niż 20 zł GJ⁻¹, czyli znajdują się w przedziale obecnych cen rynkowych biomasy, natomiast uprawa tych roślin w gminach z dominującą produkcją roślinną (K-1) wymaga cen na poziomie 22 zł GJ⁻¹. Wierzba i mискant uprawiane w gminach z dominującą produkcją zwierzęcą (K-3 oraz K4) wymagają cen 24-26 zł GJ⁻¹, czyli znajdujących się w przedziale maksymalnych cen, które powinna zaakceptować energetyka zawodowa (współspalanie). Natomiast ślazier i wierzba Eko-Salix (z wyjątkiem gmin z produkcją wielokierunkową) wymagają cen 27-34 zł GJ⁻¹, które odpowiadają dwóm wariantom hipotetycznym, dotyczącym zakupu przez energetykę biomasy nieprzetworzonej po bardzo wysokich cenach.

4.5.2 Skumulowane prawdopodobieństwo dla cen biomasy

Dla określenia prawdopodobieństwa uzyskania produkcji biomasy odpowiadającej określonej cenie przeprowadzono analizę dopasowania rozkładów zmiennej losowej dla otrzymanych cen końcowych biomasy.

Przed wykonaniem analizy wykluczono gminy, w których uzyskano ujemne wartości różnicy produkcji towarowej oraz nakładów na bieżącą działalność rolniczą. Dotyczy to przede wszystkim skupień z dominującą produkcją roślinną (K-1) oraz wielokierunkową (K-2). Ujemne wyniki ekonomiczne z bieżącej działalności rolniczej związane są z niskimi wartościami produkcji towarowej, co oznacza, że w tych gminach dominują gospodarstwa prowadzące produkując głównie na samozaopatrzenie. Można domniemywać, że podjęcie tam produkcji biomasy z upraw wieloletnich jest bardzo mało prawdopodobne ze względu na fakt, że są to przeważnie małe gospodarstwa, słabo wyposażone w maszyny i posiadające stosunkowo małe możliwości inwestycyjne.

W wyniku wykluczenia części gmin otrzymano zredukowaną powierzchnię upraw energetycznych w poszczególnych skupieniach rolniczych (tab. 18). Łączna powierzchnia wynosi teraz 1 254 tys. ha, co stanowi 84% powierzchni wyjściowej (1 489 tys. ha). W relacji do tabeli 7 najsilniej zredukowano powierzchnię wierzby w skupieniu z dominującą produkcją roślinną (K-1) oraz skupieniu z dominującą produkcją wielokierunkową (K-2), odpowiednio o 27% i 24%. W pozostałych przypadkach redukcja powierzchni gruntów odpowiednich dla upraw energetycznych jest znacznie mniejsza.

Przedstawione w tabeli 18 powierzchnie uprawy poszczególnych roślin koncentrują się przede wszystkim w skupieniach z dominującą produkcją roślinną (K-1) oraz wielokierunkową (K-2). Dla wierzby oba te typy rolnicze obejmują 83% całkowitej powierzchni przydatnej dla tej uprawy w kraju. W odniesieniu do miskanta jest to odpowiednio 86%, dla ślazu 79%, a dla wierzby Eko-Salix 84%.

Tabela 18. Powierzchnie gruntów odpowiednich dla upraw energetycznych w poszczególnych skupieniach rolniczych po wykluczeniu gmin z ujemnymi wartościami nadwyżek z bieżącej działalności rolniczej

	Wierzba	Miskant	Ślazu	Wierzba Eko-Salix
K-1 roślinna	33 947,52	46 563,20	183 463,36	175 343,84
K-2 wielokierunkowa	31 412,80	44 102,72	358 270,56	151 093,60
K-3 bydło	9 990,08	10 910,08	112 418,40	47 802,40
K-4 trzoda chlewna	3 072,96	4 078,88	28 490,40	13 521,76

Mając na uwadze, że zdecydowana większość powierzchni przydatnych dla upraw energetycznych koncentruje się w skupieniach gmin z dominującą produkcją roślinną (K-1) oraz wielokierunkową (K-2) uznano, że z punktu wdziania uruchomienia produkcji biomasy z upraw wieloletnich w kraju te typy rolnicze są najbardziej istotne, dlatego też stanowią one podstawą dalszej analizy potencjału ekonomicznego. W przypadku pozostałych dwóch skupień gmin, odpowiadających produkcji zwierzęcej, mamy do czynienia z jednej strony ze znacznie mniejszą powierzchnią przydatną do uprawy roślin energetycznych, a z drugiej ze znacznie lepszymi wynikami ekonomicznymi uzyskiwanymi przez znajdujące się tam gospodarstwa. Można zatem domniemywać, że nie będą one żywotnie zainteresowane zmianą kierunku produkcji rolniczej i ich znaczenie dla rozwoju produkcji biomasy na masową skalę jest niewielkie.

Na rysunkach 12 oraz 13 przedstawiono odpowiednio wyniki analizy dopasowania rozkładów dla otrzymanych cen końcowych biomasy w skupieniach gmin z dominującą produkcją roślinną (K-1) oraz wielokierunkową (K-2). W odniesieniu do produkcji roślinnej (rys. 12) najlepsze wyniki dopasowania uzyskano dla rozkładu logarytmicznego (3-parametrowego) w odniesieniu do wszystkich analizowanych upraw energetycznych. W skupieniu z produkcją wielokierunkową (rys. 13) najlepsze dopasowanie uzyskano dla rozkładów Weibulla (3-parametrowych) w odniesieniu do cen wierzby i miskanta, natomiast ceny ślazuwca i wierzby Eko-Salix najlepiej można przybliżyć rozkładami logarytmu naturalnego (3-parametrowe). Dla poziomu ufności 95% można przyjąć, że ceny końcowe biomasy w gminach odpowiadają podanym rozkładom. W prawym rogu wykresów zamieszczono wartość współczynnika p dla testu dobroci dopasowania Kolmogorova-Smirnova. Najlepszą dobroć dopasowania uzyskano w skupieniu K-1 dla miskanta. Natomiast najlepszą dobroć dopasowania w skupieniu K-2 uzyskano dla wierzby.

Prawdopodobieństwo skumulowane określone dla zdefiniowanych cen odniesienia dla biomasy loco pole przedstawiono w tabelach 19 i 20. Dla poziomów cen 17 oraz 20 zł GJ^{-1} , odpowiadających obecnym cenom rynkowym biomasy, uzyskano bardzo niskie prawdopodobieństwo wystąpienia produkcji biomasy z upraw energetycznych, zwłaszcza w skupieniu z dominującą produkcją roślinną. W przypadku ślazuwca w obu analizowanych typach rolniczych w ogóle nie wystąpiły przypadki gmin z cenami biomasy oszacowanymi na tym poziomie.

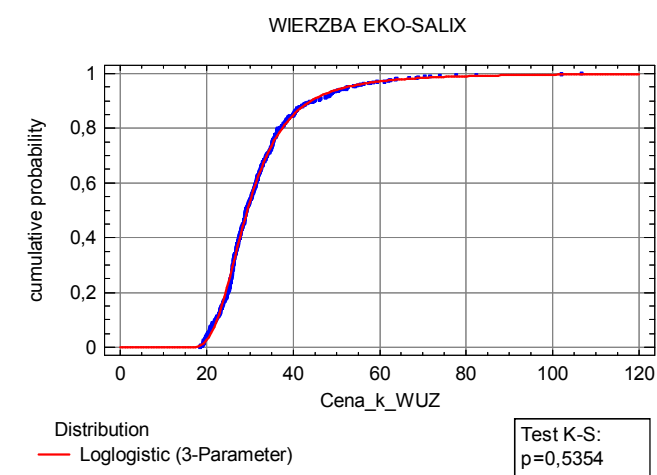
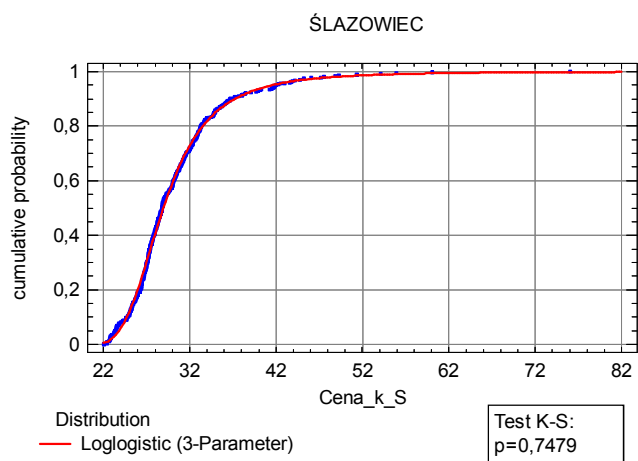
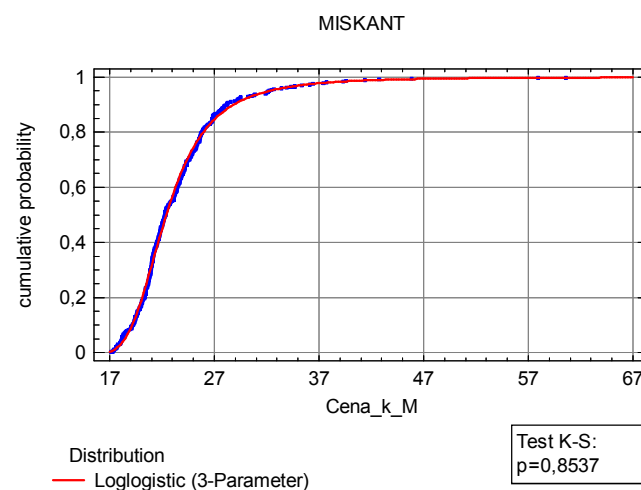
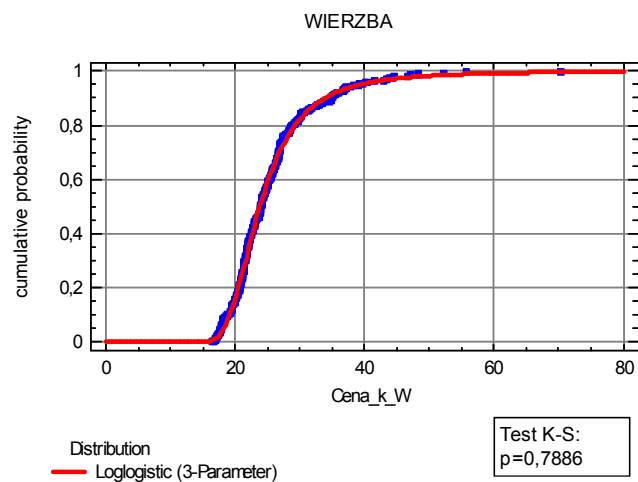
Dla cen mniejszych bądź równych 23 zł GJ^{-1} loco pole, co odpowiada dolnej granicy wyznaczonego zakresu ceny maksymalnej akceptowanej przez energetykę (współspalanie), prawdopodobieństwo skumulowane wystąpienia produkcji biomasy waha się w przypadku wierzby i miskanta pomiędzy 0,43 oraz 0,70 w zależności od typu rolniczego. Natomiast dla ślazuwca i wierzby uprawianej w systemie Eko-Salix prawdopodobieństwo otrzymania produkcji biomasy jest dużo niższe i waha się pomiędzy 0,02 a 0,33 w zależności od typu rolniczego. Wynika to z wyższych cen końcowych biomasy wyznaczonych w odniesieniu do tych roślin niż dla wierzby i miskanta (tab. 14).

Przy górnej granicy zakresu ceny maksymalnej akceptowanej przez energetykę, 26 zł GJ^{-1} loco pole, prawdopodobieństwo wystąpienia produkcji biomasy osiąga wysokie wartości i przekracza 0,80 dla wierzby i miskanta w skupieniu z produkcją

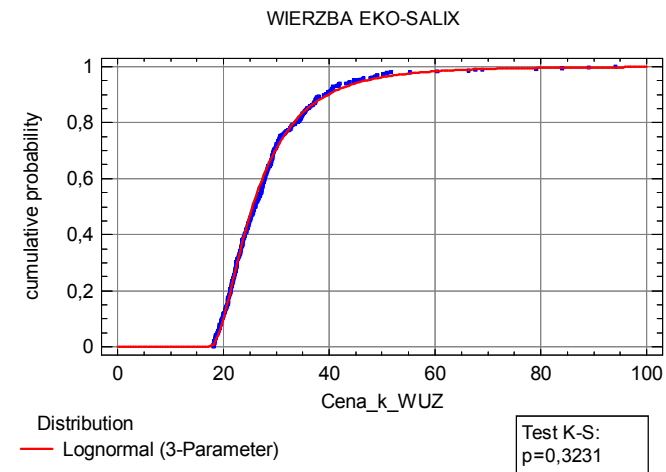
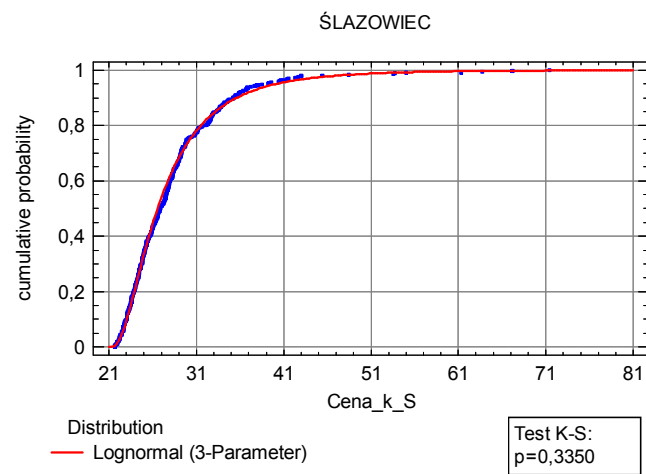
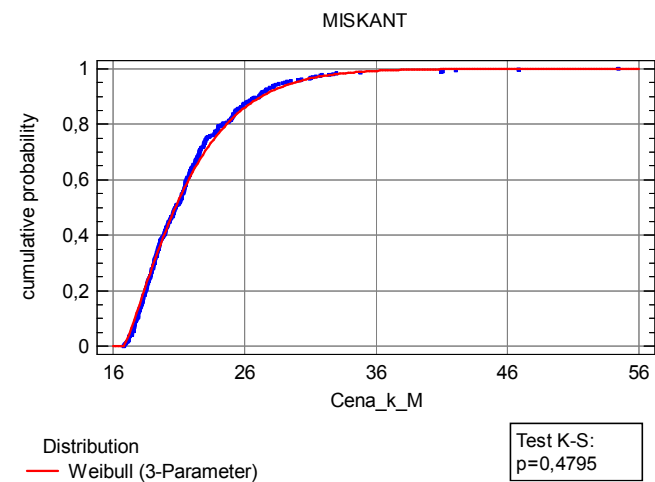
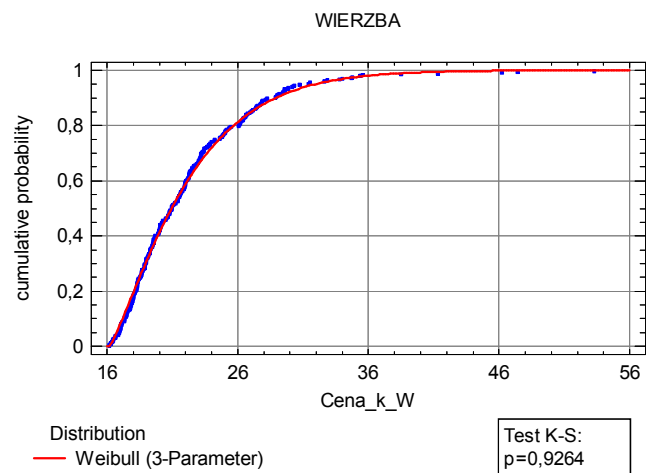
wielokierunkową (K-2), a w skupieniu z produkcją roślinną (K-1) wynosi 0,66 i 0,80 odpowiednio. Podobnie jak wyżej, ślazier i wierzba uprawiana w systemie Eko-Salix osiągają odpowiednio niższe prawdopodobieństwo w zakresie 0,20-0,53.

Przy najwyższym analizowanym poziomie cen loco pole 32 zł GJ⁻¹ prawdopodobieństwo uruchomienia produkcji biomasy jest bardzo wysokie i mieści się w zakresie 0,87-0,97 dla wierzby i miskanta w analizowanych skupieniach. Oznacza to, że prawie we wszystkich gminach, w których są grunty odpowiednie do uprawy tych roślin, rolnicy powinni być zainteresowane uruchomieniem produkcji biomasy przy takim poziomie cen oferowanych za biomasę. Ślazier i wierzba uprawiana w systemie Eko-Salix, wykazują wartości prawdopodobieństwa w zakresie 0,63-0,82.

Dla każdego poziomu analizowanych cen wyższe prawdopodobieństwo wystąpienia produkcji biomasy dla poszczególnych roślin otrzymano dla gmin z dominującą produkcją wielokierunkową (K-2) niż dla gmin z produkcją roślinną (K-1). Ponadto, w ramach tego samego typu rolniczego wyższe prawdopodobieństwo uruchomienia produkcji biomasy dotyczy miskanta i wierzby niż ślazier i wierzby Eko-Salix. Obie zależności łączą się wprost z niższymi medianami cen końcowych biomasy (tab. 14) wyznaczonymi dla gmin z produkcją wielokierunkową oraz dla wierzby i miskanta.



Rysunek 12. Skumulowane rozkłady prawdopodobieństwa dla cen końcowych biomasy w skupieniu gmin z dominującą produkcją roślinną



Rysunek 13. Skumulowane rozkłady prawdopodobieństwa dla cen końcowych biomasy w skupieniu gmin z dominującą produkcją wielokierunkową

Tabela 19. Skumulowane prawdopodobieństwo produkcji biomasy dla wybranych cen końcowych w skupieniu gmin z dominującą produkcją roślinną (K-1)

Cena zł/GJ	Wierzba	Miskant	Ślazier	Wierzba Eko-Salix
≤ 17	0,01	0,00	-	0,00
≤ 20	0,16	0,19	-	0,03
≤ 23	0,43	0,57	0,02	0,13
≤ 26	0,66	0,80	0,20	0,30
≤ 29	0,79	0,90	0,50	0,48
≤ 32	0,87	0,95	0,73	0,63

Tabela 20. Skumulowane prawdopodobieństwo produkcji biomasy dla wybranych cen końcowych w skupieniu gmin z dominującą produkcją wielokierunkową (K-2)

Cena zł/GJ	Wierzba	Miskant	Ślazier	Wierzba Eko-Salix
≤ 17	0,08	0,02	-	0,00
≤ 20	0,41	0,42	-	0,10
≤ 23	0,66	0,70	0,09	0,33
≤ 26	0,81	0,86	0,44	0,53
≤ 29	0,90	0,94	0,68	0,67
≤ 32	0,95	0,97	0,82	0,77

4.5.3 Krzywe podaży

Krzywe podaży wyznaczono dla dwóch skupień rolniczych, w których koncentrują się największe powierzchnie odpowiadanie dla analizowanych upraw energetycznych. Rysunek 14 prezentuje krzywe podaży dla roślin energetycznych w gminach z dominującą produkcją roślinną (K-1), natomiast rysunek 15 dla gmin z dominującą produkcją wielokierunkową (K-2). Krzywe podaży prezentują zależność pomiędzy ceną końcową biomasy a odpowiadającą jej skumulowaną produkcją biomasy z upraw energetycznych.

Wyznaczone krzywe są w dużej części stosunkowo płaskie, co świadczy o ich znacznej elastyczności, aż do punktu wyraźnego przegięcia, który odpowiada cenie na poziomie około 30 zł GJ⁻¹ w przypadku wierzby i miskanta oraz 40 zł GJ⁻¹ w przypadku ślazierca oraz wierzby Eko-Salix w obu skupieniach. Powyżej tego poziomu cen krzywe stają się bardzo mało elastyczne, co oznacza, że wzrost ceny o jednostkę mobilizuje niewielki dodatkowy przyrost produkcji biomasy.

Porównując produkcję skumulowaną dla poszczególnych roślin w ramach tego samego skupienia rolniczego można zauważyć, że największą elastycznością

charakteryzują się krzywe podaży dla ślazu. Dla tej rośliny wraz ze wzrostem ceny biomasy o jednostkę najsilniej wzrasta produkcja biomasy.

Potencjał produkcji biomasy dla wybranych cen odniesienia przedstawiono w tabeli 21 oraz 22, odpowiednio dla skupień gmin z dominującą produkcją roślinną (K-1) i wielokierunkową (K-2). Wyniki skumulowane dla obu skupień łącznie zawiera tabela 23.

Dla cen biomasy na poziomie 17 zł GJ⁻¹ loco pole produkcja biomasy wynosi około 80 tys. ton w skupieniu K-1 oraz 38 tys. ton w skupieniu K-2, co odpowiada łącznej produkcji około 117 tys. ton dla obu skupień. Przy tym poziomie cen największe znaczenie ma produkcja wierzby w systemie Eko-Salix w skupieniu K-1 oraz wierzby na gruntach ornych w skupieniu K-2. Produkcja ślazu w ogóle nie może mieć miejsca, podobnie uprawy wierzby w systemie Eko-Salix w gminach z dominującą produkcją roślinną (K-1).

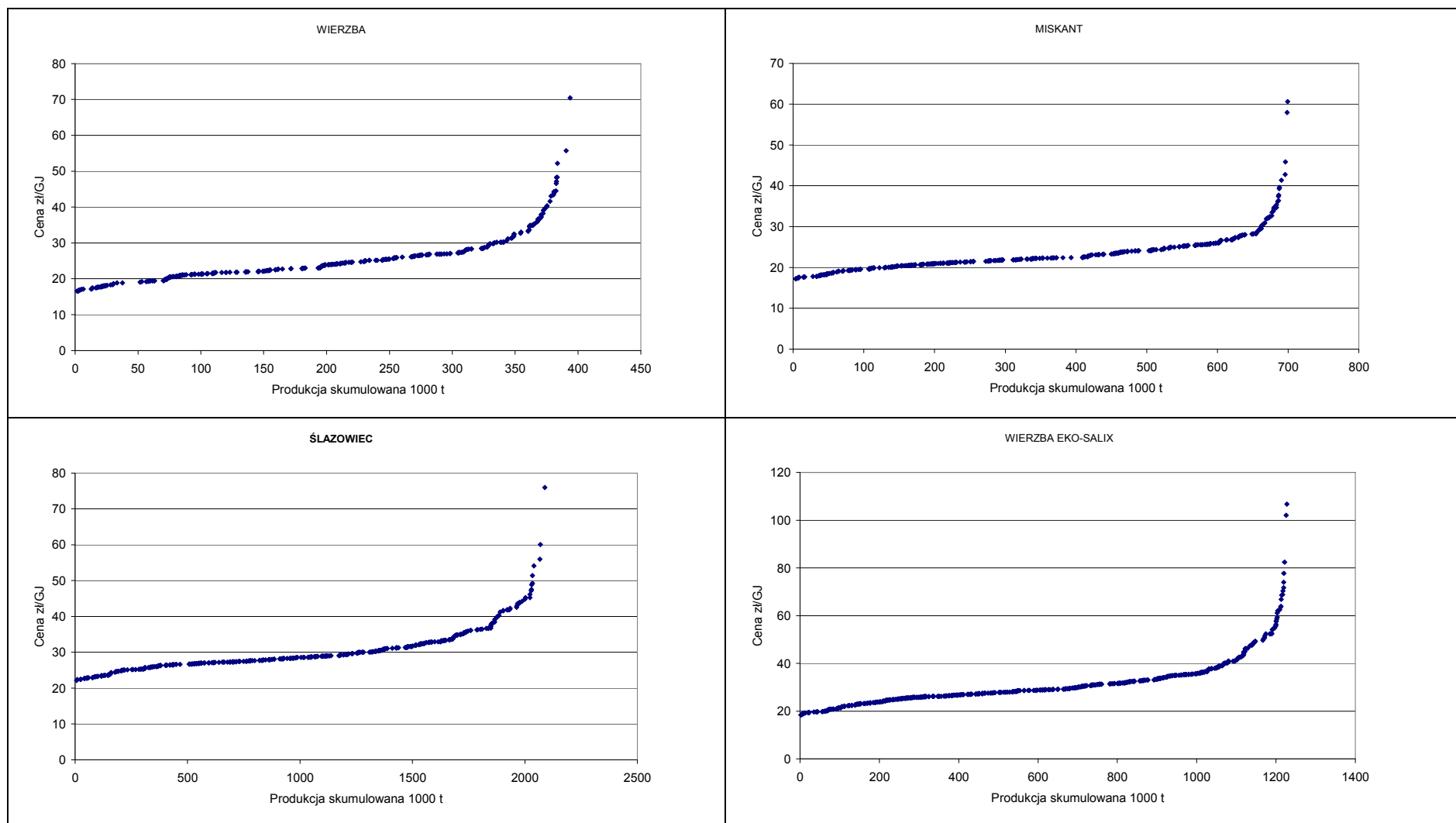
Przy cenach biomasy wzrastających do poziomu co najmniej 20 zł GJ⁻¹ loco pole, czyli górnej granicy obecnych cen rynkowych biomasy, powstają warunki do uruchomienia ekonomicznie uzasadnionej produkcji biomasy na poziomie 950 tys. ton łącznie. Uprawom miskanta odpowiada 44% łącznej produkcji, z czego blisko 300 tys. ton to biomasa miskanta w skupieniu gmin z produkcją wielokierunkową (K-2). Ten poziom cen biomasy pozostaje jednak nadal niewystarczający do rozpoczęcia przez rolników uprawy ślazu na cele energetyczne. Produkcja wierzby na gruntach ornych oraz wierzby na użytkach zielonych osiąga łącznie ponad 500 tys. ton, co stanowi 56% całkowitej produkcji biomasy w obu skupieniach.

Wzrost ceny biomasy loco pole do 23 zł GJ⁻¹, co odpowiada dolnej granicy oszacowanego zakresu maksymalnych cen biomasy dla energetyki (współspalanie), powinien stanowić wystarczający impuls do rozwoju masowej produkcji biomasy na cele energetyczne w ilości około 2,5 mln ton rocznie. Ponad 1,5 mln ton biomasy wyprodukowałyby gospodarstwa należące do skupienia rolniczego z produkcją wielokierunkową (K-2), a blisko 1,0 mln ton gospodarstwa z dominującą produkcją roślinną (K-1). Największe ilości biomasy pochodziłyby z upraw miskanta, odpowiednio około 400 i 500 tys. ton w skupieniach K-1 oraz K-2, oraz upraw ślazu - ponad 400 tys. ton w skupieniu K-2. Także produkcja wierzby na gruntach ornych oraz wierzby Eko-Salix wynosi kilkaset tys. ton w każdym skupieniu przy tym poziomie cen.

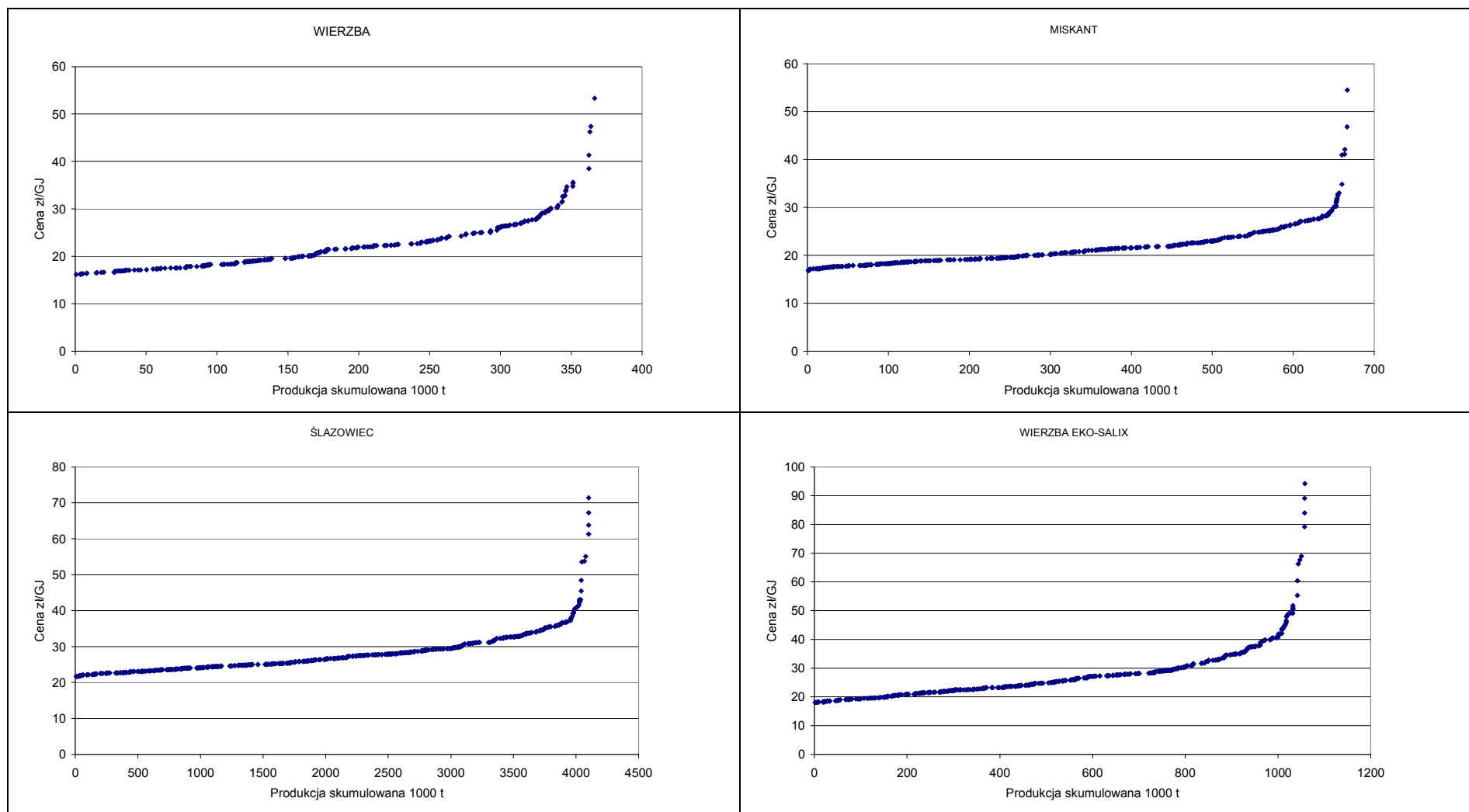
Wzrost ceny do 26 zł GJ⁻¹ loco pole, czyli osiągnięcie górnej granicy wyznaczonego zakresu cen maksymalnych dla energetyki, powinno stworzyć możliwość uruchomienia uzasadnionej ekonomicznie produkcji biomasy przekraczającej 5 mln ton rocznie. Na szczególną uwagę zasługuje, bardzo duży wzrost ilości biomasy pochodzącej z upraw ślazu, który w obu skupieniach łącznie osiąga poziom produkcji 2,2 mln ton, co stanowi blisko 4-krotny wzrost produkcji w stosunku do poprzedniego poziomu analizowanych cen. Także produkcja wierzby Eko-Salix bardzo znacząco wzrasta do poziomu blisko 1,2 mln ton, co stanowi podwojenie ilości w stosunku do ceny 23 zł GJ⁻¹. Wierzba na gruntach ornych i miska wykazują mniej dynamiczny, choć także istotny, przyrost produkcji.

Wzrost ceny do poziomu co najmniej 29 zł GJ⁻¹ powinien umożliwić dalszy wzrost produkcji biomasy w kraju sięgający 7,2 mln ton rocznie, z czego 54% odpowiada uprawom ślazu. Przy najwyższym analizowanym poziomie cen odniesienia, 32 zł GJ⁻¹ loco pole, teoretycznie możliwie byłoby uruchomienie łącznej produkcji biomasy w kraju w ilości ponad 8,5 mln ton. Taki poziom jest bliski potencjałowi technicznemu produkcji biomasy z upraw energetycznych, który dla dwóch analizowanych skupień wynosi łącznie 10,5 mln ton.

Otrzymane wyniki wskazują, że ślazowiec generuje największe ilości biomasy wśród analizowanych roślin, co związane jest z relatywnie dużą dostępnością gruntów przydatnych dla tej uprawy. Jednak uruchomienie produkcji ślazu na dużą skalę wymaga wyższych cen biomasy. W szczególności przy cenie sięgającej 26 zł GJ⁻¹ loco pole potencjał produkcji samego tylko ślazu wynosi 2,2 mln ton. Przy niższych cenach biomasy (poniżej bądź równych 23 zł GJ⁻¹) największe znaczenie mają przede wszystkim uprawy miska, a także uprawy wierzby na gruntach rolnych oraz wierzby w systemie Eko-Salix, które jednak dostarczają stosunkowo mniejszych ilości biomasy.



Rysunek 14. Krzywe podaży biomasy w gminach z dominującą produkcją roślinną (K-1)



Rysunek 15. Krzywe podaży biomasy w gminach z produkcją wielokierunkową (K-2)

Tabela 21. Skumulowana produkcja biomasy dla wybranych cen końcowych w skupieniu gmin z dominującą produkcją roślinną (K-1)

Cena zł/GJ	Wierzba, 1000 t	Miskant, 1000 t	Ślazowiec, 1000 t	Wierzba Eko-Salix, 1000 t	Razem, 1000 t
≤ 17	5,09	8,45	-	65,52	79,06
≤ 20	73,06	130,62	-	146,54	350,22
≤ 23	193,35	392,94	86,06	313,12	985,47
≤ 26	260,25	532,67	367,98	617,05	1 777,96
≤ 29	327,92	624,82	1 117,96	626,33	2 697,03
≤ 32	349,08	662,48	1 514,60	823,72	3 349,88

Tabela 22. Skumulowana produkcja biomasy dla wybranych cen końcowych w skupieniu gmin z dominującą produkcją wielokierunkową (K-2)

Cena zł/GJ	Wierzba, 1000 t	Miskant, 1000 t	Ślazowiec, 1000 t	Wierzba Eko-Salix, 1000 t	Razem, 1000 t
≤ 17	35,46	2,62	-	-	38,09
≤ 20	160,46	283,25	-	156,92	600,63
≤ 23	247,21	501,42	442,33	364,63	1 555,58
≤ 26	297,98	591,37	1 859,11	561,71	3 310,16
≤ 29	329,71	646,37	2 797,38	750,38	4 523,85
≤ 32	343,90	655,21	3 357,70	845,37	5 202,17

Tabela 23. Skumulowana produkcja biomasy dla wybranych cen końcowych łącznie w skupieniu gmin z dominującą produkcją roślinną (K-1) i wielokierunkową (K-2)

Cena zł/GJ	Wierzba, 1000 t	Miskant, 1000 t	Ślazowiec, 1000 t	Wierzba Eko-Salix, 1000 t	Razem, 1000 t
≤ 17	40,55	11,08	-	65,52	117,15
≤ 20	233,52	413,87	-	303,46	950,86
≤ 23	440,55	894,36	528,39	677,74	2 541,05
≤ 26	558,23	1 124,04	2 227,09	1 178,77	5 088,13
≤ 29	657,63	1 271,20	3 915,34	1 376,71	7 220,88
≤ 32	692,98	1 317,69	4 872,30	1 669,09	8 552,05

5 Dyskusja wyników

Dotąd większość publikacji dotyczących zagadnień ekonomiki upraw energetycznych koncentrowała się na kalkulacji kosztów produkcji biomasy oraz badaniu opłacalności produkcji biomasy w odniesieniu do upraw konwencjonalnych, głównie zbóż (patrz rozdział 2). Dopiero stosunkowo niedawno pojawiły się w literaturze anglojęzycznej publikacje, które ujmują zagadnienie ekonomiki upraw energetycznych w sposób bardziej kompleksowy, uwzględniając także koszty ryzyka. Są to prace autorów, takich jak: Ericsson i in. (2009) oraz Clancy i in. (2008a, 2008b, 2010). W literaturze krajowej nie opublikowano dotychczas prac uwzględniających koszty ryzyka związane z produkcją upraw energetycznych, stąd wyniki niniejszej pracy są pierwszym tego typu opracowaniem w kraju.

Ericsson i in. (2009) szacując koszty produkcji upraw energetycznych w różnych regionach Europy, obok kosztów produkcji biomasy i kosztów ziemi, uwzględnili także ryzyko. Koszty ziemi to koszt związany z alternatywną produkcją, w tym przypadku utracony zysk z uprawy zbóż. Koszty ryzyka, uwzględniono jako premię za ryzyko, która jest związana z podjęciem działalności obarczanej dodatkowym ryzykiem. Premie kompensujące ryzyko dla poszczególnych roślin energetycznych oszacowano w sposób uznaniowy („*guesimates*”). Zasadniczo, wyższe premie przypisano uprawom drzew szybkiej rotacji niż trawom wieloletnim. W warunkach roku 2005 koszty ryzyka ustalono na następującym poziomie: 0,9 € GJ⁻¹ (3,6 zł GJ⁻¹) dla wierzby, 0,8 € GJ⁻¹ (3,2 zł GJ⁻¹) dla miskanta, 0,4 € GJ⁻¹ (1,6 zł GJ⁻¹) dla mozgi trzcinowatej, oraz 0,2 (0,8 zł GJ⁻¹) dla pszenżyta uprawianego na cele energetyczne. Ceny końcowe biomasy dla regionu Europy Wschodniej (reprezentatywne dla Polski) ustalono na poziomie 4,5 € GJ⁻¹ (18 zł GJ⁻¹) dla wierzby, 5,3 € GJ⁻¹ (21 zł GJ⁻¹) dla miskanta, 5,2 € GJ⁻¹ (20,6 zł GJ⁻¹) dla mozgi, oraz 4,7 € GJ⁻¹ (18,6 zł GJ⁻¹) dla pszenżyta (wartości liczbowe zaczerpnięto z raportu Rosenqvist i Nilsson (2006)).

Porównując wyniki własne do otrzymanych przez Ericsson i in. (2009), należy zwrócić uwagę na wartości dla typu rolniczego z produkcją roślinną, które są odpowiednie dla produkcji zbożowej. Wyniki własne są wyższe zarówno w odniesieniu do premii za ryzyko (tab. 13), jak i cen końcowych biomasy (tab. 14). Różnice wynikają przede wszystkim z zupełnie innego podejścia metodycznego do wyznaczania premii zastosowanego w obu pracach: Ericsson i in. (2009) szacowali koszty ryzyka

uznaniowo na podstawie wiedzy eksperckiej, natomiast w pracy własnej zastosowano metodę obliczeniową opartą na efektywności stochastycznej ze względu na funkcję użyteczności (SERF). Ponadto, Ericsson i in. (2009) wykonali kalkulacje dla roku 2005, kiedy koszty produkcji w rolnictwie oraz ceny zbóż były znacznie niższe niż w roku 2007.

Clancy i in. (2008b) oszacowali premie za ryzyko dla produkcji wierzby i miskanta dla roku 2008 w Irlandii. Podobnie jak w niniejszej pracy zastosowano metodę efektywności stochastycznej ze względu na funkcję (SERF). Dla założenia, że wyjściowa cena biomasy wynosi $7,2 \text{ € GJ}^{-1}$ ($28,8 \text{ zł GJ}^{-1}$), oszacowano premie za ryzyko związane z produkcją biomasy w odniesieniu do konwencjonalnych kierunków rolniczych prowadzonych w Irlandii. Premie oraz ceny końcowe dla wierzby wyznaczone w Irlandii oraz odpowiednie wyniki własne zestawiono w tabeli 24.

Tabela 24. Zestawienie premii za ryzyko oraz cen końcowych biomasy dla uprawy wierzby na cele energetyczne w odniesieniu do konwencjonalnych kierunków produkcji rolniczej (1 €=4,00 zł)

Studium	Konwencjonalne kierunki produkcji rolniczej	Premia za ryzyko zł GJ^{-1}	Cena końcowa zł GJ^{-1}	Udział premii w cenie końcowej
Clancy i in. 2008b	Pszenica ozima	13,64	42,44	0,32
	Jęczmień jary	-1,28	27,52	- 0,05
	Produkcja mleka	61,76	74,98	0,82
	Chów owiec	11,00	39,80	0,28
	Chów cieląt	8,08	36,88	0,22
Wyniki własne	Produkcja roślinna	8,75	22,13	0,40
	Produkcja wielokierunkowa	8,45	19,35	0,44
	Chów bydła	11,50	26,07	0,44
	Chów trzody chlewnej	1,15	24,49	0,05

Clancy i in. (2008b), podobnie jak autorka tej pracy, wykazali, że koszty ryzyka związane z uprawami energetycznymi oraz ceny końcowe biomasy są zróżnicowane w zależności od referencyjnych kierunków produkcji prowadzonej przez rolników. W Irlandii, szczególnie zwraca uwagę ekstremalnie wysoka premia w odniesieniu do produkcji mleka. Autorzy, uznali, że ze względu na wysokość kosztów ryzyka prawdopodobieństwo produkcji biomasy w gospodarstwach specjalizujących się w produkcji mleka jest znikome. W odniesieniu do upraw jęczmienia premia jest ujemna, co uzasadniono niskim plonami uzyskanymi przez dużą część gospodarstw uprawiających to zboże. W tym przypadku, przy założonych cenach, produkcja biomasy jest bardziej racjonalnym rozwiązaniem. Pozostałe wartości premii kształtują się na umiarkowanym poziomie.

Udział premii w cenie końcowej jest silnie zróżnicowany. Porównując premie za ryzyko wyznaczone przez Clancy i in. (2008b) do wyników własnych należy zwrócić uwagę, na fakt, że autorzy irlandzcy szacowali koszty ryzyka wychodząc od jednakowego poziomu cen biomasy ($7,2 \text{ € GJ}^{-1}$). Jest to odmienne podejście niż zastosowano w badaniach własnych, gdzie premie za ryzyko szacowano wychodząc od różnych cen równowagi dla poszczególnych typów rolniczych gmin (tab. 9). Dlatego mimo zastosowania tej samej metody opartej na efektywności stochastycznej (SERF), należy zachować ostrożność przy porównaniu premii za ryzyko. Bardziej prawidłowe jest porównywanie cen końcowych.

Wyniki otrzymane dla Polski są znacząco niższe niż w Irlandii. Cena końcowa biomasy w gospodarstwach z specjalizujących się w produkcji mleka jest prawie trzykrotnie wyższa niż w warunkach polskich (typ rolniczy chów bydła), co związane jest z wysokimi nadwyżkami z produkcji mleka uzyskiwanymi przez irlandzkich rolników. Dalej, porównując ceny końcowe biomasy wyznaczone w odniesieniu do pszenicy ozimej w Irlandii i odpowiadającej jej produkcji roślinnej w Polsce, cena wyznaczona w Irlandii jest blisko dwukrotnie wyższa. To także, wskazuje na dużo wyższe nadwyżki uzyskiwane przez rolników irlandzkich.

Cena końcowa biomasy wyznaczona w odniesieniu do produkcji mleka jest w obu krajach najwyższa wśród analizowanych typów rolniczych. W Polsce cena końcowa biomasy w odniesieniu do produkcji zwierzęcej jest wyższa niż dla upraw polowych, tymczasem w Irlandii cena końcowa biomasy w odniesieniu do pszenicy jest nieznacznie wyższa niż dla produkcji zwierzęcej, z wykluczeniem produkcji mleka. Zróżnicowanie cen końcowych biomasy wiąże się ze znacząco różnymi warunkami produkcyjnymi rolnictwa w każdym z krajów (struktura obszarowa gospodarstw, koszty produkcji w rolnictwie, ceny produktów rolnych, efektywność gospodarowania, itp.).

Wyniki własne oraz wyniki otrzymane przez autorów irlandzkich wskazują, że ceny biomasy uwzględniające kompensację kosztów ryzyka są istotnie większe od cen równoważących dochody z dotychczasowej działalności rolniczej. Wskazują one tym samym na wagę kosztów ryzyka związanych z produkcją biomasy z upraw wieloletnich. Wobec stagnacji w rozwoju areалу upraw energetycznych w Polsce i innych krajach europejskich, a w skrajnych przypadkach wycofywaniu się z tej działalności, należy uznać, że oferowane ceny rynkowe biomasy są zbyt niskie i nie stanowią wystarczającej zachęty dla potencjalnych plantatorów. Na wczesnym etapie

rozwoju sektora upraw energetycznych konieczne jest więc zapewnienie opłacalności produkcji, łącznie z kompensacją finansową kosztów ryzyka, których udział może się sięgać nawet do kilkudziesięciu procent ceny końcowej biomasy (tab. 24).

Charakterystyki gospodarstw warunkują decyzję o podjęciu produkcji biomasy, co potwierdziły badania brytyjskie (Sherrington i in. 2008), irlandzkie (Clancy i in. 2008) oraz szwedzkie (Rosenqvist i in. 2000, Roos i in. 2000). Jednocześnie, charakterystyki rolnictwa mają wpływ na ceny biomasy, co wynika z badań własnych.

Clancy i in. 2008a, Rosenqvist i in. 2000, Roos i in. 2000 wykazali, że gospodarstwa specjalizujące się w uprawach polowych, zwłaszcza w produkcji zbóż, chętniej podejmują produkcję biomasy ze względu na podobieństwo do dotychczasowej produkcji, możliwość wykorzystania posiadanych maszyn oraz umiejętności. W gospodarstwach z produkcją zwierzęcą prawdopodobieństwo podjęcia upraw energetycznych jest niskie. Badania własne odnoszą się to tego poprzez wyznaczone ceny biomasy (tab. 14). Niższe ceny końcowe biomasy wyznaczono dla gospodarstw z produkcją upraw polowych i produkcją mieszaną, co wskazuje, że właśnie te gospodarstwa stanowią grupę, w której prawdopodobnie najlepiej będą rozwijały się plantacje energetyczne. Dla typów rolniczych z produkcją zwierzęcą wymagane są wyższe ceny końcowe biomasy, ponieważ gospodarstwa te uzyskują lepsze wyniki ekonomiczne. Ponadto, wykazano, że cena biomasy wzrasta wraz z rosnącym pogłowiem zwierząt w przeliczeniu na 100 ha użytków rolnych (rys. 8). Tylko wysokie ceny biomasy będą w stanie zrekompensować dotychczasowe wyniki ekonomiczne z produkcji zwierzęcej. Ze względu na poniesione wydatki w infrastrukturę do utrzymania zwierząt oraz wykorzystanie posiadanej ziemi do produkcji pasz bądź wypasu zwierząt, te gospodarstwa zapewne nie będą skłonne do zmiany kierunku produkcji.

Istotnym uwarunkowaniem dla prowadzenia upraw energetycznych jest wielkość gospodarstw. W Szwecji dowiedziono, że średnia powierzchnia gospodarstw, które podjęły uprawę wierzby wyniosła 109 ha, tymczasem w grupie referencyjnej wśród gospodarstw nie prowadzących produkcji biomasy średnia powierzchnia to 33 ha (Rosenqvist i in. 2000). W badaniach własnych dla typu rolniczego z dominującą produkcją wielokierunkową wyznaczono najniższe mediany cen biomasy (tab. 14). Ten typ rolniczy w warunkach polskich obejmuje w większości małe gospodarstwa,

produkujące przeważnie na samozaopatrzenie. Osiągnięcie na rynku biomasy cen na poziomie cen końcowych wyznaczonych dla tego typu rolniczego potencjalnie predysponuje gospodarstwa wielokierunkowe w pierwszej kolejności do uruchomienia produkcji biomasy. Jednak słabe warunki organizacyjne, brak odpowiedniej infrastruktury maszynowej i niewielka powierzchnia użytków rolnych mogą tam silnie ograniczać rozwój upraw energetycznych.

Skłonność do podjęcia produkcji biomasy jest zależna od poziomu wykształcenia. Clancy i in. (2008a) wykazali, że rolnicy lepiej wykształceni są bardziej otwarci na nowe formy działalności, i tym samym są bardziej skłonni podjąć produkcję biomasy. W badaniach własnych wykazano, że wraz ze wzrostem udziału osób z wykształceniem ponad podstawowym wśród właścicieli gospodarstw, cena końcowa biomasy rośnie. Oznacza to, że osoby z lepszym wykształceniem, uzyskują wyższe wyniki z prowadzonej działalności i w związku z tym należy im zaproponować wyższe ceny biomasy, by skłonić ich do zmiany dotychczasowego kierunku produkcji na rzecz upraw energetycznych (Rys 9. i 11).

Znaczenie ma także wiek właścicieli gospodarstw, chociaż publikowane wyniki nie pozwalają na jednoznaczne określenie zależności. W Szwecji uprawę wierzby podęli przede wszystkim rolnicy pomiędzy 50-65 rokiem życia (Roos i in. 2000). Zaskakujące jest, że rolnicy młodzi, poniżej 35 roku życia, stanowili niewielki odsetek wśród plantatorów wierzby, co uzasadniono dużą awersją do ryzyka przy niewielkich zasobach finansowych w momencie rozpoczynania prowadzenia gospodarstwa. W Irlandii wskazano, że przy podejmowaniu decyzji dotyczącej upraw energetycznych znaczenie ma to, czy gospodarstwie jest młody rolnik, który przejmie w przyszłości prowadzoną działalność (Clancy i in. 2008a). Tymczasem, wyniki własne wskazują, że wraz ze wzrostem udziału osób w wieku mobilnym wśród właścicieli gospodarstw, spada cena biomasy (rys. 10). Oznacza, to że młodzi rolnicy gospodarując bardziej efektywnie, powinni być w stanie zaakceptować niższe ceny biomasy.

Ponadto, w badaniach własnych wykazano, że wraz ze wzrostem udziału dochodów z rolnictwa w dochodach gospodarstw domowych rośnie cena biomasy (rys. 9). Jest to zrozumiała zależność, ponieważ gospodarstwa utrzymujące się z produkcji rolniczej jako podstawowego źródła dochodów, wymagają wyższych cen biomasy. W tym kontekście, warto zwrócić uwagę na fakt, że produkcja biomasy wymaga mniejszych nakładów pracy w porównaniu z tradycyjnymi uprawami jednorocznymi

(Rosenqvist i in. 2000), stąd pozwala na uwolnienie części zasobów pracy dostępnych w gospodarstwie, a tym samym daje możliwość podjęcia pracy dodatkowej poza gospodarstwem.

Wiedza o cechach gospodarstw pozytywnie i negatywnie skorelowanych z produkcją biomasy, w połączeniu z określeniem wpływu poszczególnych charakterystyk rolnictwa na kształtowanie się cen biomasy, może być bardzo pomocna przy opracowywaniu programów wsparcia rozwoju upraw energetycznych. Umożliwia wskazanie grup docelowych wśród producentów rolnych, do których w szczególności powinny być adresowane kampanie informacyjne oraz marketingowe. Ponadto, w połączeniu z informacją o przestrzennym rozmieszczeniu gospodarstw poszczególnych typów i ich charakterystykach, wiedza ta może być bardzo istotna dla decyzji o lokalizacji zakładu energetycznego lub innego zakładu przetwórstwa biomasy (produkcja peletów, brykietów, itp.).

Zużycie biomasy w krajowym sektorze energetycznym dynamicznie wzrasta. Energetyka wykorzystuje biomasę głównie w procesach współspalania z węglem w istniejących kotłach węglowych. Powstają także instalacje oparte wyłącznie o spalanie biomasy. Produkcja energii eklektycznej wytworzona w procesach współspalania wyniosła 4 984,7 GWh w 2010 r. i wzrosła o 20% w stosunku do roku poprzedniego (Derski 2011). Dokumenty o charakterze strategicznym dla sektora energetycznego, zakładają dalszy wzrost zużycia biomasy stałej do produkcji energii elektrycznej i ciepła w Polsce.

Dyrektywa 2009/28/EC nakłada na Polskę obowiązek osiągnięcia 15% udziału energii odnawialnej w strukturze zużycia energii finalnej brutto w 2020 r. Cel ten został implementowany do „Polityki energetycznej Polski do roku 2030”, według której prognozowane zapotrzebowanie na energię finalną brutto z biomasy stałej wyniesie 892,3 ktoe (10 375,5 GWh) w odniesieniu do energii elektrycznej oraz 5 405,9 ktoe (62 858,6 GWh) w odniesieniu do ciepła, co oznacza, że odpowiednio 33% oraz 86% wytworzonej energii elektrycznej oraz ciepła w roku 2020 pochodzić będzie z biomasy stałej (Ministerstwo Gospodarki 2009).

Projekt „Krajowego planu działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych”, w nawiązaniu do realizacji celu wyznaczonego na rok 2020 r., zawiera, między innymi, ocenę dostępności krajowych zasobów biomasy. Oszacowano, że sektor rolnictwa

i rybołówstwa będzie w stanie w roku 2020 dostarczyć bezpośrednio na potrzeby wytwarzania energii 4 056 tys. ton biomasy w formie płodów rolnych i produktów rybołówstwa oraz 7 428 tys. ton biomasy w formie produktów ubocznych i przetworzonych pozostałości (Ministerstwo Gospodarki 2010). Podane wartości są zagregowane, co uniemożliwia wskazanie ilości biomasy, która ma pochodzić z wieloletnich upraw energetycznych. Z tego względu poniżej odwołano się do wyników otrzymanych przez Krasuską i in. (2010).

W odniesieniu do prognozowanego w „Polityce energetycznej ...” zapotrzebowania na energię wytworzoną z biomasy stałej oraz prognozy mocy wytwórczych energii elektrycznej, oszacowano zapotrzebowanie na biomasę dla sektora energetyki zawodowej w roku 2020. Współspalanie nadal będzie miało rolę dominującą i dostarczy około 7 817 GWh „zielonej” energii elektrycznej, co odpowiada zużyciu biomasy na poziomie 80 404 TJ energii pierwotnej paliwa. Produkcja energii elektrycznej w elektrociepłowniach opartych na spalaniu biomasy wyniesie około 2 554 GWh, co odpowiada zapotrzebowaniu na biomasę na poziomie 26 820 TJ (Krasuska i in. 2010).

Zgodnie z obowiązującymi przepisami (Ministerstwo Gospodarki 2008) ograniczane jest zużycie biomasy pochodzenia leśnego w energetyce, tak że od roku 2015 wyłącznie biomasa rolnicza będzie mogła być wykorzystywanej w procesach współspalania z węglem. Oznacza to, że w roku 2020 niezbędne będzie dostarczenie w stanie suchym około 4 730 tys. ton biomasy rolniczej do procesów współspalania. Obecnie proponowana zmiana przepisów (Ministerstwo Gospodarki 2011), zakłada zmniejszenie obligatoryjnego udziału biomasy rolniczej w procesach współspalania do 85% w 2020 r., co wymagałoby dostarczenia około 4 020 tys. ton biomasy rolniczej (sucha masa). Aby wyznaczyć ilość biomasy z upraw energetycznych, niezbędną do pokrycia zapotrzebowania w roku 2020, dla uproszczenia przyjęto, że współspalanie będzie wymagało dostaw biomasy z upraw energetycznych, natomiast zapotrzebowanie elektrociepłowni i ciepłowni opartych na spalaniu biomasy oraz gospodarstw indywidualnych, będzie mogło być pokryte przez produkty uboczne rolnictwa i biomasę leśną.

Mając na uwadze otrzymane wyniki własne dotyczące potencjału ekonomicznego (tab. 23) wyprodukowanie 4 730 tys. ton biomasy na potrzeby współspalania wymagałoby cen biomasy na poziomie co najmniej 25,9 zł GJ⁻¹ loco pole

oraz 25,0 zł GJ⁻¹ odpowiednio dla produkcji 4 020 tys. ton biomasy. Taki poziom cen wykracza poza ceny obecnie oferowane za biomasę (17-20 zł GJ⁻¹), jednak mieści się w granicach oszacowanych maksymalnych cen, jakie powinna być w stanie zaakceptować energetyka przy obecnym poziomie wsparcia w formie „zielonych” certyfikatów (rozdział 4.5.1).

Podnoszona publicznie krytyka obecnego systemu wsparcia odnawialnych źródeł energii, zapewne doprowadzi do korekty dotychczasowych mechanizmów wsparcia, tak by obok współspalania mogły rozwijać się inne technologie odnawialnych źródeł energii. Skutkować to będzie presją ze strony energetyki na minimalizowanie cen zakupu biomasy, by utrzymać zyski na możliwie wysokim poziomie. Uzasadnione jest przypuszczenie, że cena biomasy loco pole z upraw energetycznych nie wzrośnie bardzo znacząco w porównaniu do sytuacji obecnej, co tym samym, może nadal blokować rozwój plantacji energetycznych.

Clancy i in. (2008a) wyznaczyli ceny niezbędne do uruchomienia produkcji biomasy w Irlandii na zadanym areale 55 tys. ha wierzby lub 36 tys. ha miskanta, co odpowiada 0,6 mln t biomasy, niezbędną dla realizacji celów OZE. W oparciu o model programowania linowego dla sektora gospodarstw rolnych wyznaczono ceny biomasy, przy których prowadzenie upraw energetycznych będzie bardziej opłacalne niż najbardziej konkurencyjna działalność rolnicza, jaka może być realizowana w danym gospodarstwie. Ceny niezbędne do uruchomienia produkcji na zadanym areale wyniosły 11,9 oraz 7,2 € GJ⁻¹ (47,6 oraz 28,8 zł GJ⁻¹), odpowiednio dla wierzby i miskanta. Zwłaszcza cena wierzby jest bardzo wysoka w porównaniu z cenami równowagi oszacowanych w niniejszej pracy. W warunkach polskich odpowiadałyby one łącznej produkcji biomasy z upraw energetycznych odpowiednio na poziomie 10 336 tys. oraz 7 118 tys. ton biomasy.

Podjęcie ryzykowej działalności jest możliwe, jeśli motywacja przewyższa niepewność dotyczącą wyników (Mejer i in. 2007, za: Sherrington i in. 2008). Dlatego w przypadku wieloletnich upraw energetycznych rozpoznanie źródeł niepewności i wypracowanie mechanizmów ograniczania ryzyka jest niezbędne dla uruchomienia produkcji biomasy na szeroką skalę.

Ryzyko przyrodnicze, produkcyjne, cenowe i ryzyko zbytu silnie przekładają się na wyniki ekonomiczne produkcji biomasy. W badaniach własnych, zastosowana

metoda wyceny ryzyka, pozwoliła na ujęcie ryzyka produkcyjnego (związanego z oddziaływaniem czynników przyrodniczych) poprzez uwzględnienie różnej wielkości plonów biomasy w poszczególnych gminach w Polsce. Uwzględniono także ryzyko cenowe poprzez różny poziom cen równowagi dla biomasy w poszczególnych gminach oraz różną wielkość nadwyżek bezpośrednich z konwencjonalnych kierunków produkcji w gospodarstwach FADN. Poniżej omówiono różne rodzaje ryzyka dla producentów biomasy i sposoby jego ograniczenia.

Istotną barierą w podejmowaniu upraw energetycznych są wysokie koszty założenia plantacji, które stanowią duży wydatek ponoszony jednorazowo wobec niepewnych wyników finansowych podejmowanej działalności. Stąd, w wielu krajach, w tym także w Polsce, w celu promowania rozwoju plantacji wieloletnich wprowadzono system dopłat do założenia plantacji. W Polsce dopłaty, pokrywające około 50% kosztów założenia plantacji, były dostępne tylko przez trzy lata, do roku 2009 włącznie. Po tym okresie ten rodzaj wsparcia został zawieszony. Tymczasem, doświadczenia szwedzkie i brytyjskie wskazują, że wysokie dopłaty, pokrywające blisko 100% nakładów, miały kluczowe znaczenie dla podjęcia decyzji przez rolników o założeniu plantacji (Helby i in. 2006, Sherrington i in. 2008). W przypadku długoterminowej inwestycji o wysokich jednorazowych nakładach stanowiły istotny czynnik ograniczania ryzyka ekonomicznego związanego z podjęciem nowej działalności. Z końcem roku 2009 zawieszone zostały także coroczne dopłaty 45 €/ha do prowadzenia plantacji energetycznych (energy crop aid schem), które były dostępne w całej Unii Europejskiej. Wycofanie wsparcia jest bardzo negatywnym sygnałem dla rolników potencjalnie zainteresowanych produkcją biomasy na cele energetyczne. Stworzenie stabilnych, długookresowych i przewidywalnych uwarunkowań zewnętrznych, jest bardzo istotne dla ograniczenia tzw. ryzyka instytucjonalnego.

Ryzyko związane ze zbytem biomasy (ryzyko płynności obrotu towarowego) może być skutecznie ograniczone poprzez zawarcie kontraktu wieloletniego z zakładem energetycznym. Wprowadzone przez Ministra Gospodarki (2008) ograniczenie dotyczące udziału biomasy leśnej w procesach współspalania z węglem oraz w dużych kotłach energetycznych (powyżej 20 MW) miało z założenia, poza ograniczeniem presji na zasoby leśne, doprowadzić do pobudzenia popytu na biomasę pochodzenia rolniczego, w tym z wieloletnich upraw energetycznych. W praktyce okazało się jednak, że regulacja ta nie wywarła zamierzonego efektu, a popyt na biomasę rolniczą

jest w ogromnej mierze zaspokajany przez dostawy importowanych ubocznych produktów rolnictwa (łuski słonecznika, łuski palmy oleistej, pestki oliwek, itp.). Przy obecnych cenach rynkowych biomasy nadal występuje stagnacja w rozwoju upraw energetycznych. Dlatego innym – uwarunkowanym ekonomicznie – sposobem pobudzenia popytu na biomasę z upraw energetycznych, może być wprowadzenie zróżnicowanej wysokości wsparcia dla produkcji energii w zależności od stosowanej technologii i rodzaju wykorzystanej biomasy. Przykładowo, w Wielkiej Brytanii współpalanie z węglem biomasy z upraw energetycznych uprawnia do otrzymania 1 ROC MWh⁻¹ (ROC – renewable obligation certificate), natomiast współpalanie biomasy innej niż z upraw energetycznych uprawnia do otrzymania tylko 0,5 ROC MWh⁻¹. Jeśli biomasa z upraw energetycznych jest wykorzystywana w kotłach opalanych wyłącznie biomasą, wówczas wsparcie wynosi 1,5 oraz 2 ROC MWh⁻¹ odpowiednio dla wytwarzania energii elektrycznej oraz produkcji energii elektrycznej i ciepła w skojarzeniu (OFGEM 2011).

Ryzyko cenowe pozostaje najtrudniejszym do ograniczenia. Łączy się ono przede wszystkim z cenami biomasy, ale także z cenami podstawowych produktów rolnych, które warunkują konkurencyjność produkcji biomasy. Sposobem ograniczenia ryzyka cenowego są długoterminowe kontrakty na biomasę ze zdefiniowaną ceną zakupu (Sherrington i in. 2008, Rosenqvist i Peck 2009). Rozwiązanie to, okazało się jednak niewystarczające wobec silnych wahań cen zbóż w ostatnich latach, z rekordowymi cenami w roku 2007 i 2008. Rolnicy wykazują dużą niechęć do angażowania ziemi w długookresowe uprawy, ponieważ pozbawia ich to możliwości elastycznego reagowania na zmiany cen na rynkach rolnych. Dlatego Faber (2008) oraz Rosenqvist i Peck (2009) rekomendują wprowadzenie mechanizmu indeksowania cen biomasy w oparciu o ceny rynkowe zbóż. W tym przypadku, konieczne jest jednak określenie dolnej granicy ceny, która zapewniłaby co najmniej pokrycie średniorocznych kosztów produkcji biomasy. Ponadto, warto zauważyć, że wieloletnie uprawy energetyczne dają możliwość ograniczania skutków ryzyka w odniesieniu do zmian cen środków produkcji rolniczej. Związane jest to z mniejszym zużyciem nawozów i środków ochrony roślin na plantacjach trwałych w porównaniu do tradycyjnych upraw jednorocznych (Krasuska i Rosenqvist 2011).

Na etapie bardzo wczesnego rozwoju upraw energetycznych istotne znaczenie ma także ryzyko technologiczne. Prowadzenie upraw energetycznych wymaga

głębokiej zmiany technologicznej w gospodarstwie – odnosi się to w szczególności do zastosowania specjalistycznych maszyn do zbioru wierzby. Koszty zakupu tego typu maszyn wykraczają poza możliwości pojedynczych gospodarstw rolnych. Rozwiązaniem pozwalającym na usunięcie tej bariery jest zrzeszanie się plantatorów w grupy producenckie. Jedną z grup działających w Polsce jest Spółdzielcza Grupa Producentów Roślin Energetycznych „Agroenergia”, oferująca m.in. kontraktację upraw energetycznych, doradztwo i szkolenia, usługi zbioru.

Mechanizmem ograniczania ryzyka powszechnie stosowanym przez wielu rolników jest różnicowanie działalności. Pod plantacje upraw energetycznych rolnicy najczęściej przeznaczają tylko część użytków rolnych. W Polsce średnia powierzchnia wierzby energetycznej w 2007 r. wynosiła 8,3 ha, a udział upraw energetycznych w całkowitej powierzchni użytków rolnych w województwach wynosił wahał się w granicach od 0,2 do 5,1% (Grzybek, Muzalewski 2008). W Irlandii typowo pod uprawy energetyczne przeznaczano nie więcej niż 10 ha bądź 25% powierzchni użytków rolnych (Clancy 2008a). Potwierdzają to także doświadczenia szwedzkie, gdzie głównie duże gospodarstwa podejmowały produkcję wierzby (Roos i in. 2000). Zapewne, właściciele dużych gospodarstw mają lepsze możliwości oceny i zdywersyfikowania ryzyka, prawdopodobnie są także w stanie lepiej wykorzystać dostępne informacje oraz możliwe wsparcie dla tej działalności (Rosenqvist i in. 2000, Jerzak 2006). Małe gospodarstwa o powierzchni poniżej 5 ha użytków rolnych mogą być zainteresowane założeniem plantacji na własne potrzeby, a w szczególności plantacji wierzby o dużej gęstości nasadzenia (>32 tys. ha) i corocznym cyklu zbioru z wykorzystaniem pilarek bądź adoptowanych kosiarek (Szczukowski i in. 2004). Produkcja biomasy dla odbiorców przemysłowych, zwłaszcza energetyki zawodowej, wymaga większych arealów, zmechanizowanego nasadzenia plantacji oraz profesjonalnych technologii zbioru.

Wobec niedostatecznego rozwoju rynku biomasy z upraw energetycznych, wybrane zakłady energetyczne, podejmują działania na rzecz aktywnego kreowania sektora upraw energetycznych. Oferta Vattenfall Heat Poland skierowana do potencjalnych plantatorów obejmuje organizację zbioru, kontraktację całej ilości biomasy w oparciu o wieloletnie umowy oraz indeksację cen zapewniającą opłacalność produkcji (Rubczyński 2011). Propozycja ta odnosi się więc, do newralgicznych, silnie

obciążonych ryzykiem elementów związanych z prowadzeniem wieloletnich plantacji energetycznych przez rolników.

6 Wnioski

1. Ceny równowagi, czyli ceny biomasy równoważące dotychczasowe wyniki ekonomiczne z rolnictwa, są zróżnicowane ze względu na typ produkcji rolnej. Mediany cen równowagi w gminach wyznaczone dla roku 2007 wahają się w zakresie: 9,6-16,3 zł GJ⁻¹ w odniesieniu do produkcji wielokierunkowej, 12,5-18,7 zł GJ⁻¹ w odniesieniu do produkcji roślinnej, 14,5-20,1 zł GJ⁻¹ w odniesieniu do chowu bydła mlecznego oraz 22,7-30,0 zł GJ⁻¹ w odniesieniu do produkcji trzody chlewnej.
2. Wartości premii za ryzyko są dodatnie, co oznacza, że poza ceną równowagi produkcja biomasy wymaga dodatkowej rekompensaty. Premie za ryzyko dla biomasy wahają się w zakresie: 6,8-14,0 zł GJ⁻¹ w odniesieniu do produkcji wielokierunkowej, 7,1-14,5 zł GJ⁻¹ w odniesieniu do produkcji roślinnej, 9,2-19,4 zł GJ⁻¹ w odniesieniu do chowu krów mlecznych oraz 0,9-1,8 zł GJ⁻¹ w odniesieniu do produkcji trzody chlewnej.
3. Ceny końcowe biomasy uwzględniają koszty ryzyka. Mediany cen końcowych kształtują się w zakresie: 19,3-25,3 zł GJ⁻¹ w odniesieniu do produkcji wielokierunkowej, 21,7-28,0 zł GJ⁻¹ w odniesieniu do produkcji roślinnej, 24,9-33,8 zł GJ⁻¹ w odniesieniu do chowu bydła mlecznego oraz 23,6-31,9 zł GJ⁻¹ w odniesieniu do chowu trzody chlewnej.
4. W ramach tego samego typu produkcji rolnej mediany cen końcowych wierzby i miskanta są znacznie niższe niż ceny ślazu oraz wierzby uprawianej w systemie Eko-Salix, co jest odzwierciedleniem wzajemnych relacji kosztów produkcji i plonów poszczególnych roślin energetycznych.
5. Udział premii za ryzyko w cenie końcowej biomasy waha się od 4 do 57% w zależności od typu rolniczego i roślin energetycznych. Wskazuje to na znaczenie kosztów ryzyka ekonomicznego związanego z podjęciem upraw energetycznych. Aktualne ceny rynkowe biomasy są zbyt niskie by zapewnić

rolnikom kompensację kosztów ryzyka, co można uznać za jedną z przyczyn obserwowanej w ostatnich latach stagnacji w rozwoju upraw energetycznych.

6. Zaproponowane modele o charakterze sieci neuronowych wyjaśniły 60-67% zmienności cen biomasy dla próby treningowej i odpowiednio 38-43% dla próby testowej. Modele okazały się mało przydatne dla objaśnienia cen biomasy w oparciu o charakterystyki rolnictwa w gminach.
7. Ponad 80% gleb odpowiednich dla upraw energetycznych znajduje się w gminach z dominującą produkcją roślinną i wielokierunkową, tam należy poszukiwać największych potencjalnych możliwości rozwoju upraw energetycznych. W gminach z dominującą produkcją zwierzęcą prawdopodobieństwo produkcji biomasy na dużą skalę jest znikome ze względu na wysokie oszacowane ceny końcowe biomasy oraz małą dostępność gleb przydatnych dla upraw energetycznych.
8. Opracowana metoda pozwala na ocenę potencjału ekonomicznego produkcji biomasy. Dla ceny końcowej 20 zł GJ⁻¹ loco pole (obecna cena rynkowa) wyznaczono produkcję biomasy na poziomie 950 tys. ton. Aby w warunkach dzisiejszych możliwe było hipotetycznie uruchomienie produkcji biomasy odpowiadającej realizacji celów OZE wyznaczonych na rok 2020 (pokrycie zapotrzebowania na współspalanie), cena biomasy loco pole powinna wynosić co najmniej 26 zł GJ⁻¹.

7 Piśmiennictwo

1. Anderson J.R., Dillon J.L., Hardaker J.B. 1977: *Agricultural Decision Analysis*. Iowa State University Press. Ames.
2. ARE 2010: Sytuacja finansowa przedsiębiorstw energetyki zawodowej w 2009 r. Dane zagregowane. Warszawa.
3. ARiMR 2009. Informacja o złożonych wnioskach i przyznanych dopłatach z tytułu trwałych plantach energetycznych. Zdzisław Karpeta. Wydział Płatności Powierzchniowych. Departament Płatności Bezpośrednich ARiMR, Warszawa.
4. Borek R. 2008: Empiryczno-statystyczne i symulacyjne modele plonowania wierzby (*Salix viminalis* L.) uprawianej na cele energetyczne. Praca doktorska wykonana w IUNG-PIB.
5. Borkowska H., Styk B. 2006: *Ślaziovec pensylwański (Sida hermaphrodita Rusby)*. Uprawa i wykorzystanie. Wydanie II poprawione i uzupełnione. Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Lublinie.
6. Borzęcka-Walker M. 2008: Produkcyjność miskanta (*Miscanthus* ssp.) w różnych warunkach siedliskowych i pogodowych. Praca doktorska wykonana w IUNG-PIB.
7. Chavas J.P., Holt M. 1990: Acreage decisions under risk: The case of corn and soybeans. *American Journal of Agricultural Economics*, 72:429-438.
8. Chołuj D., Podlaski S., Pietkiewicz S., Wiśniewski G. 2010: Porównanie plonowania 7 gatunków roślin energetycznych. Sprawozdanie merytoryczne z zadania I.3.5. Projekt Badawczy Zamawiany nr PBZ-MNiSW – 1/3/2006 pt.: „Nowoczesne technologie energetycznego wykorzystania biomasy i odpadów biodegradowalnych /BiOB/ - konwersja BiOB do energetycznych paliw gazowych.”
9. Clancy D., Breen J., Butler M., Throne F. 2008a: The economic viability of biomass crops versus conventional agricultural systems and its potential impact on farm incomes in Ireland. Paper prepared for 107th EAAE Seminar, 29th January - 1st February 2008, Sevilla, Spain.
10. Clancy D., Breen J., Butler M., Throne F., Wallace M. 2008b: Valuing the risk associated with willow and miscanthus relative to conventional agricultural systems. 12th Congress of European Association of Agricultural Economists – EAAE 2008.

11. Clancy D., Breen J., Butler A.M., Thorne F., Wallace M. 2009: A discounted cash flow analysis of financial returns from biomass crops in Ireland. *Journal of Farm Management*, 13:9:595-611.
12. Clancy D., Breen J., Thorne F., Wallace M. 2010: Risk and decision to produce biomass crops: a stochastic analysis. *Proceedings of The 84th Annual Conference of the Agricultural Economics Society Edinburgh, Scotland*, 29-31 March.
13. Czyżewski B. i Śmiglak M. 2006: Narzędzia stabilizacji cen i zarządzania ryzykiem w rolnictwie. w:] Jerzak M.A., Czyżewski A. (red.): *Ekonomiczne uwarunkowania wykorzystania rynkowych narzędzi stabilizacji cen i zarządzania ryzykiem w rolnictwie*. Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Poznaniu. s. 119-146. Poznań.
14. Derski B. 2011. Wzrost zużycia biomasy. Raport CIRE. http://www.cire.pl/zielonaenergia/publikacje.html?d_id=52486&d_typ=2
15. Dubas J.W., Grzybek A., Kotowski W., Tomczyk A. 2004. Wierzba energetyczna – uprawa i technologie przetwarzania. *Wyższa Szkoła Ekonomii i Administracji w Bytomiu*, Bytom.
16. Dyrektywa 2009/28/WE. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE.
17. Ericsson K. Nilsson L.J. 2006: Assessment of the potential biomass supply in Europe using a resource-focused approach. *Biomass and Bioenergy*, 30:1-15.
18. Ericsson K., Rosenqvist H., Gańko E., Pisarek M., Nilsson L., 2006: An agro-economic analysis of willow cultivation in Poland. *Biomass and Bioenergy* 30:16–27.
19. Ericsson K., Rosenqvist H., Nilsson L.J. 2009: Energy crop production costs in the EU. *Biomass and Bioenergy*, 33:1577-1586.
20. EEA 2007: Estimating the environmentally compatible bioenergy potential from agriculture. European Environmental Agency. Technical report No 12/2007, Copenhagen, Denmark.
21. Faber A., Kuś J., 2007: Rośliny energetyczne dla różnych siedlisk. *Wieś Jutra*, 8:11-12.
22. Faber A. 2008: Okresowa indeksacja cen skupu biomasy niezbędnym czynnikiem budującym podaż biomasy stałej dla energetyki.
23. http://www.ogrzewnictwo.pl/index.php?akt_cms=2458&cms=295

24. Faber A., Kuś J., Matyka M., 2009: Uprawa roślin na potrzeby energetyki. Poradnik. W&B Wiesław Drzewiecki. Warszawa.
25. Fischer G., Prieler S., van Velthuisen H. 2005: Biomass potentials of miscanthus, willow and poplar: results and policy implications for Eastern Europe, Northern and Central Asia. *Biomass and Bioenergy*, 28: 119-132.
26. Fischer G., Prieler S., Velthuisen H., Berndes G., Faaij A., Londo M. et al., 2010: Biofuel production potentials in Europe: Sustainable use of cultivated land and pastures, Part II: Land use scenarios. *Biomass and Bioenergy*, 34:173-187.
27. Flakowicz M. 2011a. Bilans biomasy w Polsce. Zużycie biomasy w energetyce. Agencja Rynku Energii S.A. XI Konferencja OZE – ENEX 2011. 1-3 marca 2011 r., Kielce.
28. Flakowicz 2011b. Agencja Rynku Energii S.A. Konsultacja na temat cen biomasy. Czerwiec 2011 r., Warszawa.
29. Gańko E. 2006: Economic assessment of willow production for energy and its competitiveness in agricultural system in Poland. [in:] Jeżowski S., Wojciechowicz M.K., Zenkteler E. (ed.) *Alternative plants for sustainable agriculture*. Institute of Plant Genetics, Polish Academy of Science, Poznań. 51-62.
30. Gańko E., Kunikowski G., Wróbel A., 2007. Energy crops potentials inventory results. Deliverable 5.1.3. RENEW: Renewable fuels for advanced powertrains. Project no: SES6-CT-2003-502705.
31. Gańko E., Rosenqvist H. 2009: Ekonomia upraw energetycznych wierzby, mискanta i pszenżyta. *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej*, 318:73-91.
32. Graham R.L. Downing M.E. 1995: Potential supply and cost of biomass from energy crops in the TVA region. Environmental Sciences Division. Publication No. 4306 Oak Ridge National Laboratory, Tennessee.
33. Grove B. 2006: Consistent presentation of risk preferences in stochastic efficiency with respect to a function analysis. Department of Agricultural Economics, University of the Free State, South Africa.
34. Grzybek A., Muzalewski A., 2008: Sprawozdanie merytoryczne z wykonania zadania VIII.2 Analiza techniczno-ekonomiczna produkcji BiOB na cele energetyczne. Projekt Badawczy Zamawiany nr PBZ-MNiSW – 1/3/2006 pt.: Nowoczesne technologie energetycznego wykorzystania biomasy i odpadów

- biodegradowalnych /BiOB/ - konwersja BiOB do energetycznych paliw gazowych. Prezentacja wygłoszona na spotkaniu projektu 19 maja 2008, Skierniewice.
35. GUS 2008: Rocznik statystyczny rolnictwa i obszarów wiejskich. Główny Urząd Statystyczny. Warszawa.
36. Hardaker J.B. 2000: Some Issues in Dealing with Risk in Agriculture. University of New England, Graduate School of Agricultural and Resource Economics, Working Paper Series in Agricultural and Resource Economics. ISSN 14421909.
37. Hardaker J.B., Huirne R.B.M. Anderson J.R., Lien G. 2004a: Coping with Risk in Agriculture, 2nd Edition. CAB International, Wallingford.
38. Hardaker J.B., Richardson J.W., Lie, G., Schumann K.D. 2004b: Stochastic efficiency analysis with risk aversion bounds: a simplified approach. Australian Journal of Agricultural and Resource Economics, 48:253-270.
39. Hasselgren K. 1998: Use of municipal waste products in energy forestry: highlights from 15 years of experience. Biomass and Bioenergy 15: 71-74.
40. Helby P., Rosenqvist H., Roos H. 2006: Retreat from Salix—Swedish experience with energy crops in the 1990s. Biomass and Bioenergy 30: 422-427.
41. Jadczyzyn J., Faber A., Zaliwski A. 2008: Wyznaczenie obszarów potencjalnie przydatnych do uprawy wierzby i ślazuwca pensylwańskiego na cele energetyczne w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, 11:55-65.
42. Jerzak M.A., Śmiglak M. 2006: Wykorzystanie instrumentów rynku terminowego w zarządzaniu ryzykiem cenowym na krajowym, rynku pszenicy konsumpcyjnej (rachunek symulacyjny). [w:] Jerzak M.A., Czyżewski A.(red.): Ekonomiczne uwarunkowania wykorzystania rynkowych narzędzi stabilizacji cen i zarządzania ryzykiem w rolnictwie. Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Poznaniu. s. 219-228. Poznań.
43. Jerzak M.A. 2006: Podstawowe zagadnienia ryzyka w gospodarce rolnej. [w:] Jerzak M.A., Czyżewski A.(red.): Ekonomiczne uwarunkowania wykorzystania rynkowych narzędzi stabilizacji cen i zarządzania ryzykiem w rolnictwie. Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Poznaniu. s. 101-118. Poznań.
44. Jeżowski S. 2000: Miscanthus – roślina alternatywna dla polskiego rolnictwa i możliwości jej introdukcji w warunkach Polski. [w:] Miscanthus. Referaty wygłoszone podczas Polsko-Niemieckiej konferencji na temat wykorzystania trzciny chińskiej, Połczyn Zdrój, 27-29 września 2000 r., 21-26.

45. Knight F.H. 1921: Risk, uncertainty and profit. Hart, Schaffner & Marx; Houghton Mifflin Co. Boston.
46. Krasuska E., Cadorniga C., Tenorio J.L., Testa G., Danilo S. 2010: Potential land Availability for energy crops production in Europe. *Biofuels, Bioproduct & Biorefining*, vol.4, 6:658-673.
47. Krasuska E., Kowalski Ł., Wróbel-Tobiszewska A., Hunder-Kukier M. 2010: Sprawozdanie merytoryczne z wykonania zadania VIII.4.2 Analiza socjoekonomiczna wykorzystania BIOB na cele energetyczne. Część I: Oszacowanie potencjału technicznego technologii energetycznego wykorzystania biomasy nadanych w projekcie. Projekt Badawczy Zamawiany nr PBZ-MNiSW – 1/3/2006 pt.: Nowoczesne technologie energetycznego wykorzystania biomasy i odpadów biodegradowalnych /BIOB/ - konwersja BIOB do energetycznych paliw gazowych. Wrzesień 2010, Warszawa.
48. Krasuska E., Rosenqvist H. 2011: Economics of energy crops in Poland today and in the future. *Biomass and Bioenergy* (w druku).
49. Kuś J., Faber A., Madej A., 2006: Przewidywane kierunki zmian w produkcji roślinnej w ujęciu regionalnym. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 3: 195-210.
50. Kuś J., Faber A., 2007: Alternatywne kierunki produkcji rolniczej. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 7:139-148.
51. Kuś J., Faber A., Stasiak M., Kawalec A., 2008: Produkcyjność wybranych gatunków roślin uprawianych na cele energetyczne w różnych siedliskach. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 11:55-65.
52. Kuś J., Matyka M. 2010: wybrane elementy agrotechniki roślin uprawianych na cele energetyczne. [w:] Bocian P., Golec T., Rakowski J. (red.): Nowoczesne technologie pozyskania i energetycznego wykorzystania biomasy. Instytut Energetyki. Warszawa. 101-120.
53. Larsson S, Melin G, Rosenqvist H. 1998: Commercial harvest of willow wood chips in Sweden. *Proceedings of international Conference Biomass for Energy and Industry*, 8-11 June 1998, Wurzburg. Editor: CARMEN, Rimpark, Germany. p. 200-203.
54. Lewandowski I., Clifton-Brown J. C., Scurlock J.M.O., Huisman W., 2000: Miscanthus: European experience with a novel energy crop. *Biomass Bioenerg.*, 19:209-227.

55. Lien G., Hardaker J.B., Flaten O. 2007a: Risk and economic sustainability of crop farming systems. *Agricultural Systems*, 94:541-552.
56. Lien G., Stordal S., Hardaker J.B., Asheim L. 2007b: Risk aversion and optimal forest replanting: A stochastic efficiency study. *European Journal of Operational Research*, 181:1584-1592.
57. Lisowski A., Klonowski J., Strużak A., Nowakowski T., Waszkiewicz C. 2010: Technologie zbioru roślin energetycznych. [w:] Bocian P., Golec T., Rakowski J. (red.): Nowoczesne technologie pozyskania i energetycznego wykorzystania biomasy. Instytut Energetyki. Warszawa. 121-144.
58. Matyka M. 2008: Opłacalność i konkurencyjność produkcji wybranych roślin energetycznych. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 11:113-124.
59. McKormick K., Nilsson H., Tomescu M. 2006: Energy crops in the Common Agricultural Policy. *Worldbioenergy* 06:72-78.
60. McKormick K., Kaberger T. 2007: Key barriers for bioenergy in Europe: Economic conditions, know-how and institutional capacity, and supply chain co-ordination. *Biomass and Bioenergy* 31:443-452.
61. Meijer I.S.M., Hekkert M.P., Koppenjan J.F.M. 2007: The influence of perceived uncertainty on entrepreneurial action in emerging renewable energy technology; biomass gasification projects in the Netherlands. *Energy Policy*, 35:5836-5854.
62. Mikołajuk H. 2011: Sprzedaż i wyniki finansowe elektroenergetyki w roku 2010. Agencja Rynku Energii S.A. Konferencja Rynek Energii Elektrycznej, 9-12 maja 2011, Kazimierz Dolny.
63. Ministerstwo Gospodarki 2008. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 14 sierpnia 2008 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii. Dz. U. z 28 sierpnia 2008 r. Nr 156, poz. 969 z późniejszymi zmianami.
64. Ministerstwo Gospodarki 2009: Polityka Energetyczna Polski do roku 2030 (wraz z załącznikami). Wersja przyjęta Uchwałą 202/2009 Rady Ministrów z dn. 9 listopada 2009 r. Warszawa.

65. Ministerstwo Gospodarki 2010: Krajowy Plan Działania w Zakresie Energii ze Źródeł Odnawialnych. Projekt. Warszawa.
66. Ministerstwo Gospodarki 2011. Rozporządzenie Ministra Gospodarki w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii. Projekt, wersja 2.6 z dnia 17 lutego 2011 r.
67. OFGEM 2011: Overview: Renewables Obligation. Annual Report 2009-10. Office of Gas and Electricity Markets, London.
<http://www.ofgem.gov.uk/Sustainability/Environment/RenewablObl/Documents1/RO%20Annual%20Report%202009-10.pdf>
68. Pannell D.J., Malcolm B., Kingwell R.S. 2000: Are we risking too much? Perspectives on risk in farm modelling. *Agricultural Economics*, 23: 69-78.
69. Pope R., Just R.E. 1991: On testing the structure of risk preferences in agricultural supply analysis. *American Journal of Agricultural Economics*, 73:743-748.
70. Pudelko R. Faber A., 2010: Dobór roślin energetycznych dostosowanych do uprawy w różnych regionach kraju. [w:] Bocian P., Golec T, Rakowski J. (red.): *Nowoczesne technologie pozyskania i energetycznego wykorzystania biomasy*. Instytut Energetyki. Warszawa. 50-68.
71. Richardson J.W., Lien G., Hardaker B.J. 2006: Simulating multivariate distributions with sparse data: a kernel density smoothing procedure. *Conference Proceedings, International Association of Agricultural Economists, Gold Coast, Australia, August 12-18*.
72. Roos A., Rosenqvist H., Ling E., Hektor B., 2000: Farm-related factors influencing the adoption of short-rotation willow coppice production among Swedish farmers. *Acta Agric. Scand., Sect. B, Soil and Plant Sci.* 2000: 50, 28–34.
73. Rosenqvist H., Roos A., Ling E., Hektor B., 2000: Willow growers in Sweden. *Biomass and Bioenergy* 18:137-145.
74. Rosenqvist H., Dawson M., 2005a: Economics of willow growing in Northern Ireland. *Biomass and Bioenergy* 28:7–14.
75. Rosenqvist H., Dawson M., 2005b: Economics of using wastewater irrigation of willow in Northern Ireland. *Biomass and Bioenergy* 29:83–92.

76. Rosenqvist H., Peck P. 2009: Risk and reduction of risk in short rotation cropping – a theoretical basis for work. Final Report. Deliverable 55. NoE Bioenergy. Project no: SES6-CT-2003-502788.
77. Rosenqvist H. Nilsson L. 2006: Energy crop production costs in the EU. Deliverable 5.3.4. RENEW: Renewable fuels for advanced powertrains. Project no: SES6-CT-2003-502705.
78. Rosenqvist H., Peck P. 2009: Risk and reduction of risk in short rotation coppice cropping – a theoretical basis for work. Final report. Deliverable 55. NoE Bioenergy: Overcoming barriers to bioenergy. Project no: SES6-CT-2003-502788.
79. Roszewski R. 1996: *Miscanthus sinensis giganteus*. [w:] Nalborczyk E. (red.) Nowe rośliny uprawne na cele spożywcze, przemysłowe i jako odnawialne źródła energii. Wydawnictwo SGGW, Warszawa. 78-86.
80. Rubczyński A. 2011. Doświadczenia Vattenfall w spalaniu biomasy w Polsce i w Szwecji. XI Konferencja "Odnawialne źródła energii - ENEX 2011". 1-2 marca 2011, Kielce.
81. Sherrington C., Bartley J., Moran D. 2008: Farm-level constraints on the domestic supply of perennial energy crops in the UK. *Energy Policy*, 36:2504-2512.
82. Stolarski M.J. 2009: Agrotechniczne i ekonomiczne aspekty produkcji wierzb krzewiastej (*Salix* spp.) jako surowca energetycznego. Rozprawy i Monografie 148. Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego, Olsztyn.
83. Stolarski M.J., Szczukowski S., Tworkowski J., Kopacz M. 2006: Production of willow (*Salix* spp.) biomass on arable land in short-term harvesting cycles. *Pol. J. Nat. Sci.*, 20:53-65.
84. Szczukowski S., Tworkowski J. Wiwat M., Przyborowski J. 2002: Wiklina (*Salix* sp.). Uprawa i możliwości wykorzystania. Wydawnictwo Uniwersytetu-Warmińsko Mazurskiego, Olsztyn.
85. Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M.J. 2004: Wierzba energetyczna. Wydawnictwo Plantpress Sp. z o.o., Kraków.
86. TGE 2010. Rynek praw majątkowych. Towarowa Giełda Energii S.A.
87. Thran D., Weber W., Scheuermann A., Frohlich N., Zeddies J., Henze A. et al. 2006: Sustainable strategies for biomass use in the European context. IE-report, edition 1/2006, report to the German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety. Institut für Energetik und Umwelt. Leipzig.

88. Tworkowski J., Szczukowski S., Stolarski M.J. 2006: Productivity and caloric value of willow (*Salix* spp.) biomass in relation to selected agronomical factors. [in:] Jeżowski S., Wojciechowicz M.K., Zenkteler E. (ed.) *Alternative plants for sustainable agriculture*. Institute of Plant Genetics, Polish Academy of Science, Poznań. 45-50.
89. Tworkowski J., Kuś J., Szczukowski S., Stolarski M. 2010: Produkcyjność roślin uprawianych na cele energetyczne. [w:] Bocian P., Golec T., Rakowski J. (red.): *Nowoczesne technologie pozyskania i energetycznego wykorzystania biomasy*. Monografia. Warszawa. 34-49.
90. URE 2010. Informacja (nr 3/2010) w sprawie średniej ceny sprzedaży energii elektrycznej na rynku konkurencyjnym za rok 2009. Prezes Urzędu Regulacji Energetyki. 29 marca 2010 r., Warszawa.
91. Walsh ME. 2000: Method to estimate bioenergy crop feedstock supply curves. *Biomass and Bioenergy*, 18:283-289.
92. Winnicka G., Matuszek K., Wilk B., 2010: Badania właściwości energetycznych, emisyjnych i użytkowych biopaliw uzyskanych ze zbiorów doświadczalnych roślin energetycznych. [w:] Bocian P., Golec T., Rakowski J. (red.): *Nowoczesne technologie pozyskania i energetycznego wykorzystania biomasy*. Instytut Energetyki. Warszawa. 145-158.

Załącznik 1

Na rysunku 16 przedstawiono przykładowy wydruk z kalkulatora cen maksymalnych biomasy.

KALKULATOR	
Krok 1: Wariant bazowy 100% węgla	
Wariant bazowy 100% węgla	1 MWh = 3,6 GJ
Zysk elektrowni = cena energii - koszty wytworzenia	
0,19 zł/MWh	
Krok 2: Współspalanie biomasy z węglem	
Współspalanie biomasy - dodatek biomasy	10% wg wartości energetycznej
Do wyprodukowania 1 MWh potrzeba następującej ilości energii pierwotnej paliwa	
2,64 MWh	
9,50 GJ	
przy danym udziale biomasy we współpalaniu mamy:	
0,95 GJ biomasy	
8,55 GJ węgla	
Elektrownia wytwarza:	
0,1 MWh zielonej energii	otrzymuje za to cenę rynkową + zielony certyfikat
0,9 MWh czarnej energii	otrzymuje za to cenę rynkową
czyli otrzymuje przychód	
46,52 zł za zieloną energię	
177,49 zł za czarną energię	
224,01 zł łącznej za 1 MWh	
Koszt produkcji energii dla opcji współpalania = koszty paliwa + koszty zmienne (oprócz paliwa) + koszty stałe	
110,72 zł/MWh	koszty paliwa węglowego
36,09 zł/MWh	koszt biomasy
77,01 zł/MWh	pozostałe koszty zmienne + koszty stałe
223,81 zł/MWh	łącznie koszty wytworzenia
Zysk przy współpalaniu	
0,20 zł/MWh	
Krok 3: Bilansowanie zysku z obu wariantów	
Różnica w zysku między współpalaniem a wariantem bazowym 100% węgla	
0,00 zł/MWh	
Stosunek zysku: współpalanie/wariant podstawowy	
1,02	

DANE: należy zmieniać zielone pola
Cena ziel certyfikatu zł/MWh 267,95
Cena ze energię zieloną 197,21
Cena węgla energet zł/GJ 12,95
Cena biomasy zł/GJ 38
Ceny zmieniamy dowolnie i patrzymy jak się
WYNIKI:
Różnica w zysku między współpalaniem a wariantem bazowym 100% węgla 0,00
Stosunek zysku: współpalanie/wariant podstawowy 1,02

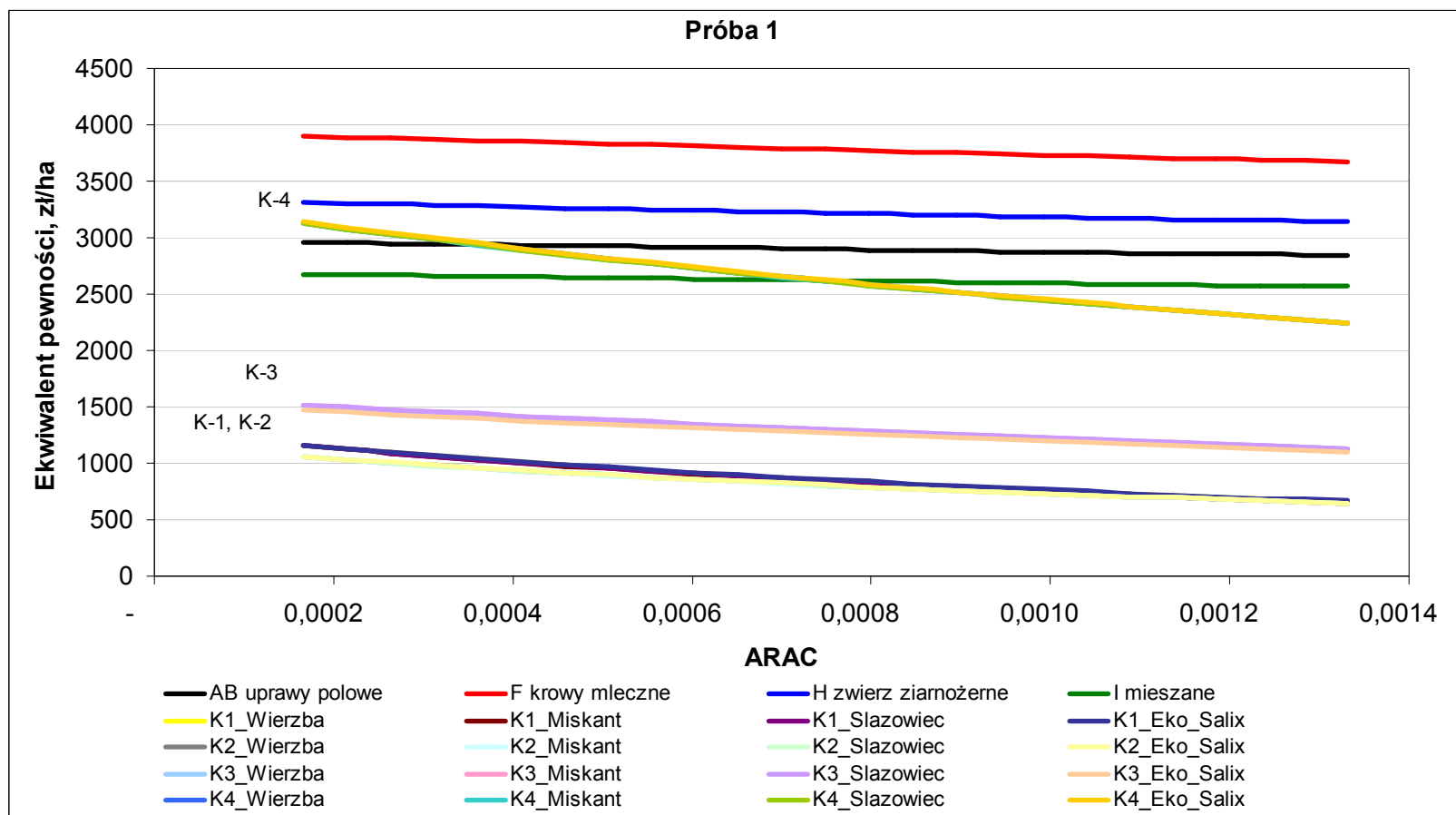
Rysunek 16. Wydruk strony wyników z kalkulatora cen biomasy

Załącznik 2

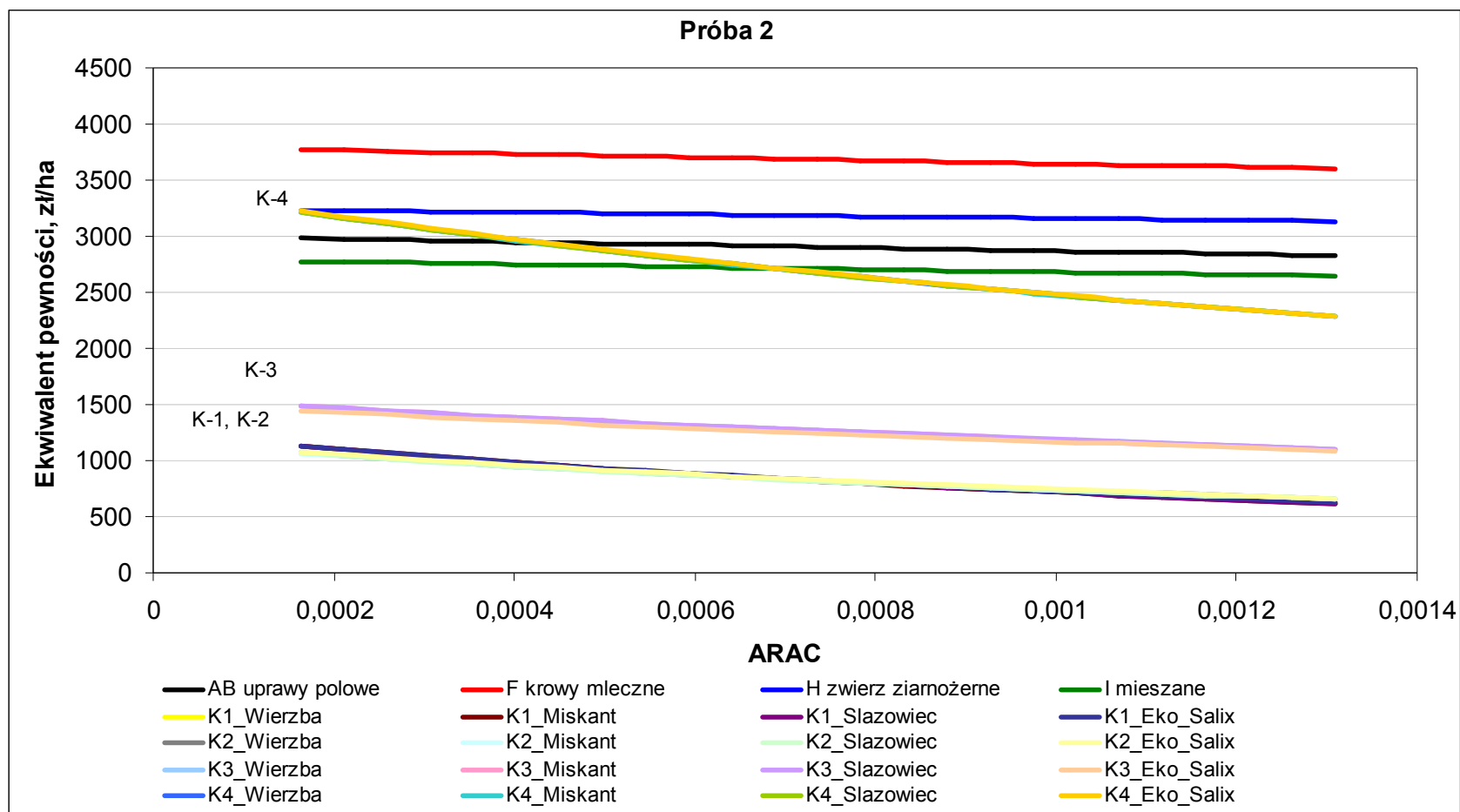
Na rysunkach 17-19 przedstawiono wykresy ekwiwalentów pewności wyznaczone metodą SERF dla trzech losowo wybranych prób danych wejściowych. Ekwiwalenty pewności są wyrażone w zł/ha i odnoszą się do nadwyżek bezpośrednich dla każdego z porównywanych kierunków produkcji. Wartości premii odczytano dla normalnego poziomu awersji do ryzyka.

Wartości współczynników awersji do ryzyka odpowiadające normalnemu poziomowi awersji do ryzyka wynoszą:

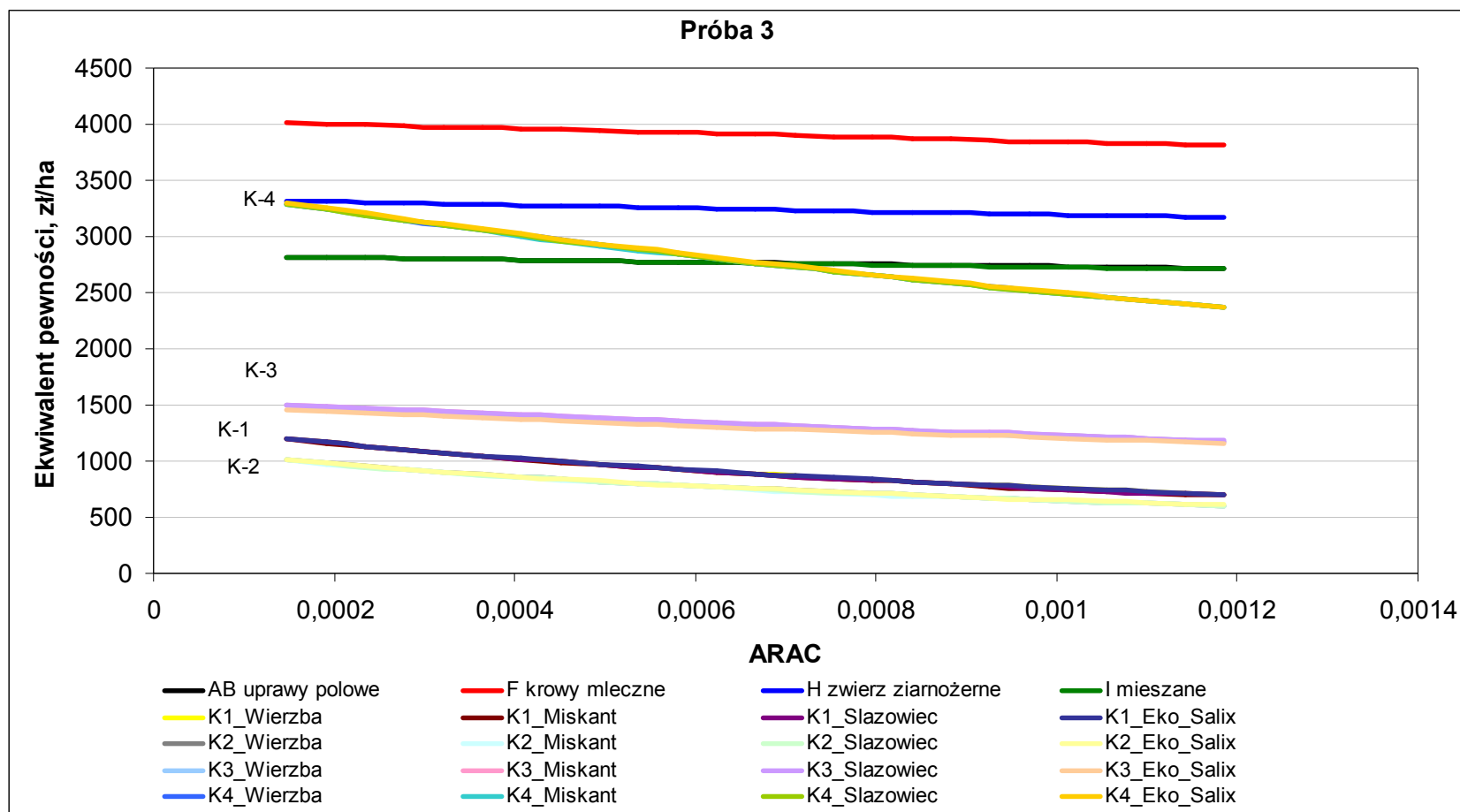
- $r_a(x) = 0,000333$ dla próby 1,
- $r_a(x) = 0,000327$ dla próby 2,
- $r_a(x) = 0,000296$ dla próby 3.



Rysunek 17. Ekwiwalenty pewności dla różnych poziomów awersji do ryzyka wyznaczone metodą SERF dla danych wejściowych z próby losowej 1



Rysunek 18. Ekwiwalenty pewności dla różnych poziomów awersji do ryzyka wyznaczone metodą SERF dla danych wejściowych z próby losowej 2



Rysunek 19. Ekwiwalenty pewności dla różnych poziomów awersji do ryzyka wyznaczone metodą SERF dla danych wejściowych z próby losowej 3