

MODELE GOSPODARSTWA JAKO ŹRÓDŁO DANYCH DO OPTIMALIZACJI PRODUKCJI ROŚLIN ENERGETYCZNYCH W GMINIE*

Andrzej S. Zaliwski, Jacek Hołaj

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach
Zakład Agrometeorologii i Zastosowań Informatyki*

Streszczenie. Sprostanie wymogom Dyrektywy UE 2009/28/EC wymagać będzie od Polski zwiększenia areału wieloletnich upraw energetycznych do ok. 1 mln. ha do roku 2020. Analizę następstw penetracji upraw energetycznych do przestrzeni rolniczej można prowadzić metodą symulacji, biorąc pod uwagę ich konkurencję z pozostałymi uprawami wyrażoną opłacalnością produkcji. Tak pomyślany model symulacyjny musiałby objąć zakresem gospodarstwa będące potencjalnymi producentami biomasy wraz z ich otoczeniem z całego uwzględnionego obszaru. Ze względu na trudność pozyskania szczegółowych danych empirycznych, zwłaszcza w przypadku większych obszarów, zaproponowano zastąpienie ich danymi generowanymi w modelach gospodarstw rolnych, które jako parametry wejściowe wykorzystywałyby ogólnie dostępne dane statystyczne. Celem pracy było przedstawienie metody budowy modeli takich gospodarstw. Metoda ta zakłada, że model gospodarstwa można złożyć z modeli technologii produkcji, opisanych jako zbiór funkcji matematycznych określających parametry wyjściowe technologii. Przedstawiono sposób konstruowania funkcji określającej przebieg parametru „nakłady robocizny” modelu technologii produkcji wierzby energetycznej, z wykorzystaniem wyników obliczeń tego parametru na podstawie kart technologicznych dla trzech plantacji o powierzchniach: 1, 2,5 i 10 ha.

Słowa kluczowe: model gospodarstwa, system "DSS bioenergia", uprawa energetyczna, wierzba, technologia uprawy, ekonomika produkcji

Wprowadzenie

Realizacja postulatów Dyrektywy UE 2009/28/EC [Dyrektywa Unijna 2009] i Polityki Energetycznej Polski [Polityka energetyczna Polski 2009] wymagać będzie od Polski w 2020 r. produkcji ok. 15% energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii. W znaczącym stopniu (ok. 90%) energia ta będzie pochodziła z biomasy stałej [Kuś i Faber,

* Publikację opracowano w ramach zadania 4.1 programu wieloletniego IUNG-PIB Puławy.

2007]. W celu sprostania tym zamierzeniom nastąpić powinien wzrost powierzchni upraw energetycznych z obecnych ponad 10 tys. ha do ok. 1 miliona ha. Zwiększenie arealu upraw na tak wielką skalę w dość krótkim czasie nie może odbywać się bez dogłębnej analizy problemu [Zaliwski i in. 2011]. Jednym z ważnych zagadnień jest niewątpliwie aspekt ekonomiczny przedsięwzięcia.

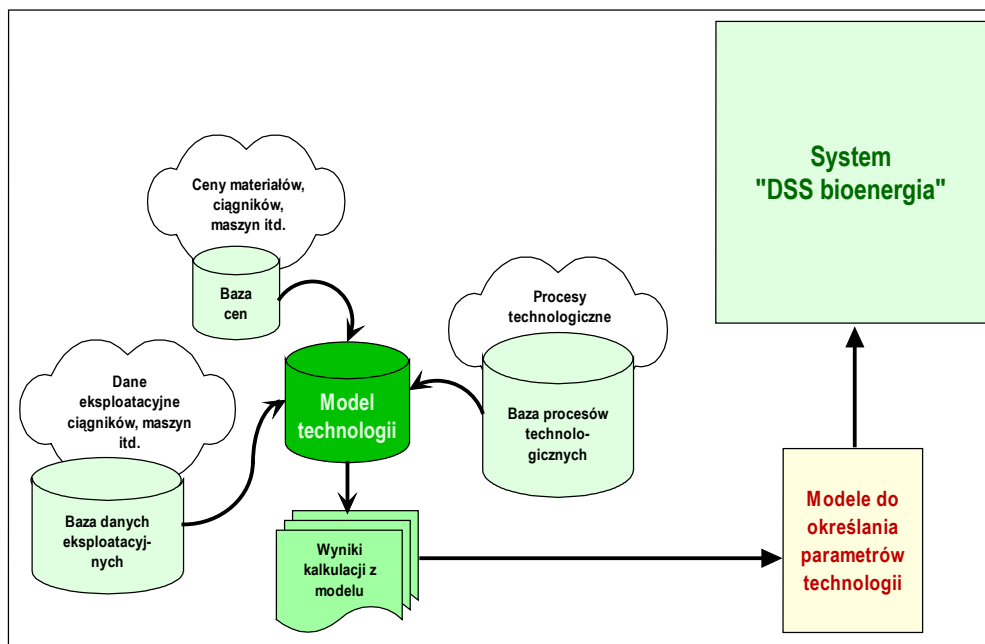
W Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowym Instytucie Badawczym w Puławach wychodząc naprzeciw potrzebom w tym zakresie planuje się uruchomienie systemu wspomagania decyzji "DSS bioenergia" [Rozakis 2010]. System ten został pozyskany z Uniwersytetu Rolniczego w Atenach. Pozwoli on na interaktywne modelowanie konkurencji upraw energetycznych z pozostałymi uprawami o udział w przestrzeni rolniczej wyrażonej opłacalnością produkcji [Stuczyński i in. 2008]. Ponieważ podstawowym poziomem obliczeń w systemie jest gospodarstwo, dlatego jest on przydatny zwłaszcza do analiz w dużej skali, np. skali gminy i skalach większych [Rozakis i Zaliwski 2011]. Celem niniejszej pracy było opracowanie abstrakcyjnego modelu gospodarstwa do optymalizacji produkcji roślin energetycznych w gminie. Ze względu na pilotażowy charakter prac zakres modelowania ograniczono do trzech technologii dla powierzchni 1 ha (dalej zwanej T1), 2,5 ha (dalej zwanej T2) i 10 ha (dalej zwanej T3) uprawy wierzby energetycznej. Model gospodarstwa opracowano metodą regresji przy użyciu arkusza kalkulacyjnego uwzględniając tylko wybrane parametry wyjściowe technologii T1-T3 (nakłady pracy i koszty bezpośrednie produkcji).

Metodyka

System "DSS bioenergia" wymaga wprowadzenia dość szczegółowych danych ekonomicznych dotyczących gospodarstwa i jego otoczenia, takich jak dotychczasowe uprawy, uprawa energetyczna, oszacowane plony, ceny, koszty produkcji, dopłaty bezpośrednie, itd. Niektóre z tych danych można pozyskać z analitycznych modeli, konstruowanych na podstawie wariantów technologicznych upraw [Zaliwski i Hołaj 2006]. Modelowanie technologii obejmuje opracowanie struktury technologii względem określonych warunków siedliskowych oraz stosowanej techniki, wprowadzenie danych i przeprowadzenie obliczeń. Pracochłonność przygotowania analitycznych modeli technologii, zwłaszcza w przypadku użycia systemu "DSS bioenergia" do analiz obejmujących dużą liczbę gospodarstw, może być istotnym utrudnieniem badań. Utrudnienie to wynika przede wszystkim z konieczności pozyskania obszernych zbiorów danych, ale także z ich ewentualnej aktualizacji [Zaliwski i Hołaj 2005; Zaliwski 2009]. Rozwiązaniem tego problemu może być użycie modeli matematycznych do określania parametrów technologii, skonstruowanych na podstawie mniejszej liczby modeli technologicznych. Proces konstrukcji tych modeli przedstawia rys. 1. Modele takie mogą posłużyć do generowania danych wejściowych systemu "DSS bioenergia" w celu optymalizacji produkcji roślin w sposób bardziej skuteczny niż modele technologiczne, ponieważ niezbędne dane zasilające system są interpolowane jako wartości pośrednie. Niniejsza metodyka dotyczy konstrukcji takich modeli.

Zasadniczym kryterium przydatności upraw energetycznych do produkcji energii jest wysokość plonu biomasy w suchej masie i jej energetyczność, np. Podlaski i in. [2010]. Ważnymi kryteriami są ponadto wierność plonowania, technologia zbioru, wielokrotność

zbioru biomasy w czasie wegetacji, trwałość plantacji, itd. Spośród roślin energetycznych uprawianych w Polsce wysokim plonem suchej masy, dużą wiernością plonowania i niską zawartością wody odznacza się wierzba [Podlaski i in. 2010]. Z tego powodu tę roślinę wybrano do prac pilotażowych.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 1. Schemat wyprowadzania modeli matematycznych do określania parametrów technologii dla systemu "DSS bioenergia"
 Fig. 1. Diagram of deriving mathematical models for technology parameter determination for the system "DSS bioenergia"

Uprawę wierzby energetycznej w cyklu 3-letnim modelowano na areale: 1 ha, 2,5 ha i 10 ha. W tym celu opracowano karty technologiczne w arkuszu kalkulacyjnym. Uwzględniono w nich takie dane jak zabiegi agrotechniczne, maszyny, ciągniki, czas ich pracy, ilość zastosowanych materiałów (nawozów sztucznych, środków ochrony roślin, itd.), ilość nakładów pracy ludzkiej, usługi, itd. Wszystkie te dane są konieczne do przeprowadzenia obliczeń parametrów wejściowych systemu "DSS bioenergia. Pozyskano je m.in. z wyników badań przeprowadzonych w IUNG-PIB w Puławach, np. Matyka i in. [2009]. Metodyka obliczeń była zgodna w metodyką opracowaną dla potrzeb programu Agroefekt [Zaliwski i in. 1995].

Wersje technologii T1-T3 różniły się przede wszystkim typami maszyn i ciągników, dopasowanych wydajnością do areалу. Różnice te są istotne z punktu widzenia metodycz-

nego dla generowania modeli do określania parametrów technologii. Technologię T1 np. można zastosować także na innym areale niż 1 ha, ale wtedy zmieniają się generowane wyniki, takie jak nakłady czasu pracy, kosztów, itd. Areal stosowalności technologii nie jest dowolny, istnieją bowiem ograniczenia takie jak możliwość wykonania zabiegów agrotechnicznych w określonym czasie, dostępne zasoby pracy, itd. Stąd wynika najmniejsza liczba modeli technologicznych niezbędna do opracowania modelu do określania parametrów technologii dla jednej rośliny, tak aby zachować ciągłość arealu w całym zakresie wymaganym przez system "DSS bioenergia", który jest większy niż zakres jednego wariantu technologii. Przykładowo, dla podanych wersji technologii, ciągłość ta będzie zachowana, jeżeli technologia T1 może być stosowana na areale 0-2 ha ($T1_Z = \{0-2\}$), T2 na areale 2-5 ha ($T2_Z = \{2-5\}$), a technologia T3 na areale 5-15 ha ($T3_Z = \{5-15\}$). Zakresy stosowalności poszczególnych wersji technologii T1-T3 dodane do siebie tworzą obszerniejszy zakres, który musi być ciągły. Zakres arealu modelu do określania parametrów technologii (Z_M) jest sumą zakresów modeli technologii użytych do jego utworzenia, co można wyrazić zależnością (1):

$$Z_M = T1_Z + T2_Z + \dots + TN_Z \quad (1)$$

gdzie:

- Z_M – zakres stosowalności modelu do określania parametrów technologii względem arealu [ha],
- $T1_Z \dots TN_Z$ – zakresy stosowalności technologii T1-TN względem arealu [ha],
- N – najmniejsza liczba technologii uprawy danej rośliny pozwalająca skonstruować ciągły zakres Z_M dla wszystkich gospodarstw analizowanych w systemie "DSS bioenergia".

Model gospodarstwa można zapisać jako zbiór modeli do określania parametrów technologii zależnością (2):

$$G = \{ M_{1D}, M_{2D}, M_{3D} \dots \} + \{ M_{1E}, M_{2E}, M_{3E} \dots \} \quad (2)$$

gdzie:

- G – model gospodarstwa będący źródłem danych do optymalizacji produkcji roślin energetycznych,
- M_{1D}, M_{2D} , itd. – modele do określania parametrów technologii uprawy roślin dotychczasowych,
- M_{1E}, M_{2E} , itd. – modele do określania parametrów technologii uprawy roślin energetycznych.

Pojęcie "parametry technologii" zastosowano np. w systemie ZeaSoft [Zaliwski 2009], ale w niniejszej pracy wymaga ono dodatkowego wyjaśnienia. Mówiąc o parametrach technologii należy przede wszystkim rozróżnić parametry wejściowe i wyjściowe. Parametrami wejściowymi jest np. areal (powierzchnia uprawy danej rośliny), natomiast parametrem wyjściowym jest koszt bezpośredni produkcji, możliwy do obliczenia w modelu do określania parametrów technologii tej rośliny po wprowadzeniu parametru wejściowego, jakim jest areal. Pojęcie "model gospodarstwa" można rozpatrywać w sensie konkretnym, jako model konkretnego gospodarstwa (zbiór informacji opisujących dane gospodarstwo)

i w sensie abstrakcyjnym, jako model pozwalający generować dowolne modele konkretnych gospodarstw (po wprowadzeniu odpowiednich parametrów wejściowych).

Omówienie wyników badań

W pracy niniejszej przedstawione zostaną i omówione tylko wybrane wyniki obliczeń z modeli technologii T1-T3. Jednym z ważniejszych parametrów wyjściowych technologii są nakłady pracy ludzkiej i umaszynowanej. W tabelach 1 i 2 przedstawiono nakłady pracy [$\text{h}\cdot\text{ha}^{-1}$] w przeliczeniu na jeden rok (średnia z trzyletniego cyklu uprawy wierzby energetycznej).

Tabela 1. Nakłady pracy ludzkiej (Rbh), ciągników (Cnh) i maszyn (Mnh) w przeliczeniu na jeden rok w cyklu trzyletnim uprawy wierzby energetycznej [$\text{h}\cdot\text{ha}^{-1}$].

Table 1. Labour input (Rbh [man-hour]) and the workload of tractors (Cnh) and machinery (Mnh) per one year of the three-year production cycle of energetic willow cultivation.

Nakłady pracy [$\text{h}\cdot\text{ha}^{-1}$]					
Technologia	Powierzchnia uprawy [ha]	Rbh	Cnh	Mnh	Usługi
T1	1,00	19,73	4,69	13,40	0,00
T2	2,50	16,38	2,93	11,37	0,00
T3	10,00	2,33	0,50	0,78	0,90

Źródło: obliczenia własne

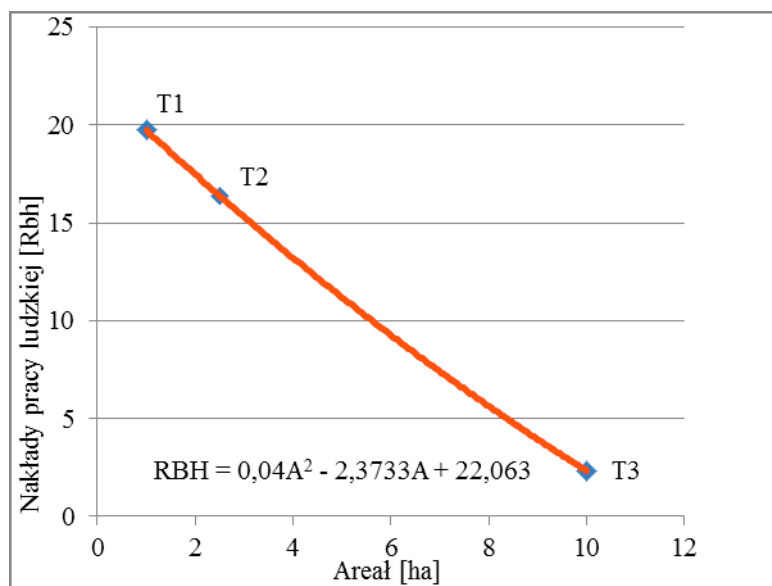
Tabela 2. Nadwyżka bezpośrednia w przeliczeniu na jeden rok w cyklu trzyletnim uprawy wierzby energetycznej [$\text{h}\cdot\text{ha}^{-1}$]

Table 2. Direct surplus from energy willow cultivation per one year of the three-year production cycle

Wyszczególnienie [$\text{zł}\cdot\text{ha}^{-1}$]				
Technologia	Powierzchnia uprawy [ha]	Przychód [PLN]	Koszty bezpośrednie [PLN]	Nadwyżka bezpośrednia [PLN]
T1	1,00	2150,00	951,93	1198,07
T2	2,50	2150,00	793,87	1356,13
T3	10,00	2150,00	586,56	1563,44

Źródło: obliczenia własne

Nakłady pracy w technologii T1 i T2 w przeliczeniu na jeden rok (tabela 1) są wyraźnie większe niż w technologii T3. Natomiast nadwyżka bezpośrednia w przeliczeniu na jeden rok (tabela 2) zwiększa się wraz ze wzrostem powierzchni uprawy.



Źródło: obliczenia własne

- Rys. 2. Model do określania parametru "nakłady pracy ludzkiej" technologii uprawy roślin energetycznych przedstawiony w postaci funkcji kwadratowej opracowanej na podstawie trzech modeli technologii uprawy wierzby T1-T3 (1 ha, 2,5 ha i 10 ha)
- Fig. 2. Model for the calculation of the technology parameter "labour input" in the energetic willow cultivation technology represented by the quadratic function derived from the three models of technology T1-T3 (1 ha, 2.5 ha and 10 ha)

Na podstawie danych z tabeli 1 wykonano model do obliczania parametru "nakłady pracy ludzkiej" na podstawie trzech technologii uprawy roślin energetycznych (rys. 2). Model ten wyraża zależność (3):

$$RBH = 0,04A^2 - 2,3733A + 22,063 \quad (3)$$

gdzie:

- RBH – nakłady pracy ludzkiej [$rbh \cdot ha^{-1}$],
 A – areal uprawy wierzby w gospodarstwie (pojedyncze pole) [ha].

Model przedstawiony na rys. 2 ma postać funkcji kwadratowej umożliwiającej interpolację wartości nakładów pracy ludzkiej dla dowolnego punktu pomiędzy wartościami ustalonymi na podstawie obliczeń. Sposób jego konstrukcji jest analogiczny jak w przypadku modeli empirycznych opracowywanych na podstawie danych doświadczalnych, np. Giordano i in. [2003]. Zasadniczą różnicą jest to, że dane do jego konstrukcji nie pochodzą z doświadczeń, ale z analitycznych modeli technologii.

W przypadku dużych błędów interpolacji wynikających z niedokładnego dopasowania jednej funkcji do całego zbioru wartości obliczonych w analitycznych modelach technolo-

gii, zbiór taki powinien być podzielony na niezbędną liczbę podzbiorów. Do każdego z nich należy dobrać funkcję o wystarczająco dokładnym dopasowaniu. Zbiór funkcji uzyskanych w ten sposób dla każdego parametru technologii należy zespolić w jedną procedurę interpolacyjną (w postaci algorytmu komputerowego) użyteczną w całym zakresie danych wejściowych.

Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone prace miały charakter pilotażowy, stąd ich niewielki zakres. Mimo jednak ograniczonego charakteru przeprowadzone badania dostarczyły informacje pozwalające na zdefiniowanie następujących wniosków:

1. Danymi wejściowymi modelu gospodarstwa są następujące parametry: uprawa, areal i wersja technologii. Wynika stąd, że ilość danych do przygotowania modeli gospodarstw dla określonego obszaru zwiększa się wraz z rosnącym asortymentem upraw i zróżnicowaniem stosowanych technologii na tym obszarze.
2. Założenie i prowadzenie plantacji energetycznej stanowi inwestycję o określonych kosztach, która zwrócić się może tylko w przypadku dostatecznie dużego areалу. Dlatego przed rozpoczęciem budowy modeli gospodarstw zaleca się wykonać wstępne analizy opłacalności upraw występujących na danym obszarze w celu ustalenia dolnego zakresu areалу dla kart technologicznych.
3. Wadą zastosowania modeli do określania parametrów technologii jest mniejsza dokładność obliczeń (wartości interpolowane charakteryzują się z reguły większym błędem niż uzyskane z modeli analitycznych). Należy jednak zauważyć, że w związku z trudnością pozyskania dokładnych danych o gospodarstwach nawet dla obszarów o dużej skali (gmina) stanowi to raczej konieczność niż arbitralny wybór.

Przeprowadzenie symulacji odnośnie penetracji uprawy roślin energetycznych do istniejących systemów rolniczych przy pomocy "DSS bioenergia" wymagać będzie, oprócz budowy modeli gospodarstw, pozyskania wielu danych o gospodarstwach funkcjonujących w analizowanej gminie. Dane te mogą być pozyskane m.in. z takich źródeł jak GUS i FADN. Należy się spodziewać, że niemożliwe będzie dotarcie do informacji o wszystkich gospodarstwach, które należałoby wziąć pod uwagę w analizach. W tej sytuacji modele gospodarstw mogą okazać się bardzo przydatne, ze względu na łatwiejsze stosowanie w przypadku posiadania tylko szacunkowych danych o gospodarstwach w gminie, takich jak rodzaj produkcji, liczba, średnie powierzchnie upraw, itd.

Bibliografia

- Giordano F.R., Weir M.D., Fox W.P.** (2003): A First Course in Mathematical Modeling. 3rd ed. Brooks/Cole-Thomson Learning, Pacific Grove, CA, USA, ISBN 0-534-38428-5.
- Kuś, J., Faber, A.** (2007): Alternatywne kierunki produkcji rolniczej. Studia i raporty IUNG-PIB, 7, 139-149.
- Kuś J., Matyka M.** (2010): Uprawa roślin na cele energetyczne. Instrukcja upowszechnieniowa. Wydawnictwo IUNG-PIB, Puławy, 176, ISBN-978-83-7562-072-6.

- Matyka M., Kopiński J., Madej A.** (2009): Opracowanie koncepcji założenia plantacji wierzby energetycznej oraz określenie jej funkcji produkcyjnych i edukacyjnych. IUNG-PIB Puławy [on-line], [dostęp 20.02.2012], Dostępny w Internecie: http://pkpplewiatan.pl/upload/File/2010_02/biznesplanklimat.pdf
- Podlaski S., Choluj D., Wiśniewski G.** (2010): Produkcja biomasy z roślin energetycznych. *Postępy Nauk Rolniczych*, 2(2010), 163–174.
- Rozakis, S.** (2010): A Web-based Spatial DSS for estimating biomass-to-energy supply in Thessaly. *Decision Support Systems in Agriculture, Food and the Environment: Trends, Applications and Advances*. New York, Hershey, ISBN 978-1-61520-881-4.
- Rozakis S., Zaliwski A.S.** (2011): Web DSS for Bio-Energy Projects Evaluation. (In:) Lorencowicz E., Uziak J., Huyghebaert B. (eds.). *Conf. Proc., V International Scientific Symposium: "Farm Machinery and Process Management in Sustainable Agriculture"*, University of Life Science, Lublin, 23-24 Nov. 2011, 127-130.
- Stuczyński T., Lopatka A., Faber A., Czaban P., Kowalik M., Koza P., Korzeniowska-Puculek R., Siebielec G.** (2008): Prognoza wykorzystania przestrzeni rolniczej dla produkcji roślin na cele energetyczne. *Studia i raporty IUNG-PIB*, 11, 25-42.
- Zaliwski A.S.** (2009): System wspomagania decyzji w wyborze odmiany kukurydzy (ZeaSoft). *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 16, 83-96.
- Zaliwski A.S., Faber A., Pudelko R., Biberacher M., Gadocha S., Borzecka-Walker M.** (2011): Biomass supply for co-firing in main-network power stations in Poland (unpublished results).
- Zaliwski A.S., Hołaj J.** (2005): ZEASOFT – System wspomagania decyzji w uprawie kukurydzy. *Inżynieria Rolnicza*, 14(74), 385–393.
- Zaliwski A., Hołaj J.** (2006): Modelowanie technologii produkcji kukurydzy na ziarno w aspekcie efektywności ekonomicznej. *Inżynieria Rolnicza*, 6(81), 407-414.
- Zaliwski A., Zaorski T., Hołaj J.** (1995): Program Agroefekt. [Dyskietka 1.44]. Wersja 3.0, Puławy, IUNG.
- Dyrektywa Unijna (2009): Directive 2009/28/EC. Official Journal L 140/16-62.
- Polityka energetyczna Polski do 2030 roku (2009). Ministerstwo Gospodarki, Warszawa, [on-line], [dostęp 21.06.2012], Dostępny w Internecie: <http://www.mg.gov.pl/Bezpieczenstwo+gospodarcze/Energetyka/Polityka+energetyczna>

FARM MODELS AS DATA SOURCE FOR THE OPTIMIZATION OF ENERGY CROP PRODUCTION IN THE COMMUNE

Abstract. In order to meet the requirements of the EU Directive 2009/28/EC the acreage of perennial energy crops in Poland will have to increase to approximately 1 mln ha in 2020. An analysis of penetration of energy crops into the agricultural space can be conducted by the method of simulation, considering their competition with other crops expressed in terms of profitability of production. The scope of such a simulation would have to take into account all the potential biomass producers from the focus area. Because of the problem of obtaining the detailed empirical data, especially in case of large focus areas, it was suggested that they should be replaced with the data generated by agricultural farm models, which as input parameters would use available statistical data. The objective of the paper was to present a method of building such farm models. This method assumes that a farm model can be assembled from production technology models, described as a collection of mathematical functions determining the output parameters of technologies. A way of constructing the function determining the course of the "labour input" parameter of the production technology model of energetic willow was presented applying the results of the calculation of this parameter based on operation sheets for three plantations of the area of 1, 2.5 and 10 ha.

Key words: farm model, "DSS bioenergy" system, scale of the commune, energy crop, willow, cultivation technology, economics of production

Adres do korespondencji:

Andrzej Zaliwski; e-mail: andrzej.zaliwski@iung.pulawy.pl
Zakład Agrometeorologii i Zastosowań Informatyki
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czarторыskich 8
24-100 Puławy