

## PROCEDURY INTERPOLACYJNE DO OKREŚLANIA PARAMETRÓW TECHNOLOGII UPRAWY WIERZBY ENERGETYCZNEJ\*

*Andrzej S. Zaliwski, Jacek Hołaj*

*Zakład Agrometeorologii i Zastosowań Informatyki*

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach*

**Streszczenie.** Do oceny warunków wprowadzania upraw energetycznych do przestrzeni rolniczej można posłużyć się metodą symulacji opłacalności, uwzględniającej technologie produkcji konkurencyjnych upraw – żywnościowych i energetycznych. Tradycyjnie technologie produkcji są opisywane przy pomocy kart technologicznych. Model symulacyjny określonego obszaru przestrzeni rolniczej wymaga uwzględnienia zróżnicowania technologii. Wobec PLNożoności obliczeniowej takiego modelu, rosnącej wraz z liczbą kart technologicznych, niezbędne staje się ograniczenie wyłącznie do informacji potrzebnych do symulacji: nakładów robocizny ( $\text{rbh}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), kosztów bezpośrednich produkcji ( $\text{PLN}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), itd. Informacje takie można „wydzielić” z kart technologicznych uprawy określonej rośliny przez zestawienie ich w szeregu wg rosnącej wydajności ( $\text{ha}\cdot\text{sezon}^{-1}$ ) i pobranie z każdej z nich informacji potrzebnych do kalkulacji ekonomicznych, np. nakładów robocizny. Otrzymana seria danych umożliwia konstrukcję procedury interpolacyjnej, w której parametrem wejściowym jest wydajność sezonowa (lub odpowiadająca jej powierzchnia), a wynikiem obliczeń informacja taka jak nakłady robocizny. Odpowiednio dobrany zbiór procedur może pod względem obliczeniowym zastąpić szereg kart technologicznych, z których został pozyskany (np. metodą regresji), a jego zaletą jest łatwość interpolacji wartości pośrednich. W niniejszej pracy informacje pozyskane z procedur interpolacyjnych (a także z kart technologicznych) nazywać będziemy „parametrami technologii”, a same procedury interpolacyjne „modelami parametrów technologii”. Celem pracy było opracowanie metodyki konstrukcji modeli parametrów technologii uprawy wierzby energetycznej w trzecim roku produkcji dla określonego zakresu powierzchni. Niezbędne obliczenia nakładów pracy ludzi, ciągników i maszyn oraz kosztów produkcji (bezpośrednich, pośrednich i razem) wykonano posługując się szeregiem kart technologicznych dla przyjętego zakresu powierzchni. Zastosowanie metodyki do konstrukcji

---

\* Publikacja opracowana w ramach zadania 4.1 programu wieloletniego IUNG-PIB Puławy

modeli parametrów technologii przedstawiono na rysunkach dla nakładów robocizny uprawy wierzby (wariant pesymistyczny i optymistyczny).

**Słowa kluczowe:** wierzba energetyczna, technologia uprawy, karta technologiczna, nakłady pracy, koszty produkcji

## Wprowadzenie

Wytyczne Unii Europejskiej ustalają udział 15% energii odnawialnej w bilansie paliwowo-energetycznym Polski do 2020 roku (Directive 2009/28/EC, 2009; Polityka energetyczna Polski do 2030 roku, 2009). Jednym z najtańszych odnawialnych źródeł energii (OZE) w Polsce jest biomasa z trwałych upraw energetycznych. Realizacja wytycznych UE wymagałaby przeznaczenia ok. 1 mln. ha gruntów pod trwałe plantacje roślin energetycznych. Jedną z najwydajniejszych upraw energetycznych w Polsce jest wierzba energetyczna (Kuś i Faber, 2007; Podlaski i in., 2010). Jej uprawa jak dotychczas rozwija się w Polsce powoli. Powodem tego jest opóźniony zwrot poniesionych nakładów na założenie i uprawę plantacji wierzby energetycznej - kilka lat po jej powstaniu (Matyka i in., 2009). Ponadto okresy suszy rolniczej powodują znaczne ograniczenia przyrostu biomasy i wyraźne zmniejszenie opłacalności produkcji wierzby, a produkcja żywnościowa silnie konkuruje z uprawami energetycznymi o stanowiska (Stuczyński i in., 2008).

Wierzbę można uprawiać na różnych glebach (Kuś i Matyka, 2009), ale roślina ta wymaga wysokiego poziomu wód gruntowych. Zbiór wierzby można przeprowadzać corocznie, po drugim roku uprawy oraz co trzy lata. Zbiór rozpoczyna się późną jesienią – w połowie listopada, a kończy wczesną wiosną – z końcem marca (Kuś i Matyka, 2010b).

Przeprowadzenie na najbliższe lata symulacji rozwoju produkcji roślin energetycznych w Polsce na różnych obszarach (gminy, województwa, kraju) wymaga uwzględnienia ich konkurencji z produkcją żywnościową, m.in. porównawczych analiz ekonomicznych stosowanych technologii uprawy. Dla kalkulacji ekonomicznych znaczenie mają zwłaszcza te cechy technologii, które można wyrazić liczbowo: koszty bezpośrednie produkcji i wartość produkcji ( $\text{PLN}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), nakłady robocizny ( $\text{rbh}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), itd. Nie bez znaczenia jest wydajność sezonowa technologii ( $\text{ha}\cdot\text{sezon}^{-1}$ ) określająca, czy technologia nadaje się dla małych gospodarstw (np. do zastosowania na areale do 1 ha), czy dla gospodarstw wielkoobszarowych (np. do zastosowania na areale do 100 ha), itd. W kartach technologicznych podawane są cechy jakościowe, np. typy ciągników, nazwy środków ochrony roślin, itd., obok cech liczbowych: czasu pracy ciągników ( $\text{cnh}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), jednostkowych kosztów eksploatacji ( $\text{PLN}\cdot\text{cnh}^{-1}$ ), dawek na jednostkę powierzchni i cen środków ochrony roślin, itd. Cechy takie jak dawka i cena środka ochrony roślin są niezależne od areалу, natomiast czas pracy ciągnika zależy od areálu, a jednostkowy koszt eksploatacji dodatkowo od wykorzystania rocznego. Pominięcie cech jakościowych technologii oraz zestawienie dla każdej rośliny szeregu technologii uporządkowanych wg rosnącej wydajności ( $\text{ha}\cdot\text{sezon}^{-1}$ ) umożliwia pobranie serii danych: koszt pracy ciągników ( $\text{PLN}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) w zależności od areálu, koszt materiałów ( $\text{PLN}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) (stały dla poszczególnych arealów), itd. Otrzymane serie danych umożliwiają konstrukcję procedur obliczeniowych, w których parametrem wejściowym jest wydajność sezonowa (lub odpowiadający jej areał), a wynikiem obliczeń informacja taka

jak koszt pracy ciągników. Procedury powinny zapewniać interpolację wartości pośrednich, dlatego odpowiednia do ich tworzenia jest np. metoda regresji. Zbiór procedur może pod względem obliczeniowym zastąpić szereg kart technologicznych. Stosując terminologię informatyczną, w procedurze takiej cechy technologii stają się „parametrami” technologii, ich pozyskiwanie dla szeregu technologii – „parametryzacją” technologii, a sama procedura obliczeniowa – „modelem parametrów technologii”. Pozyskanie parametrów z szeregu technologii wymaga konstrukcji wielu kart technologicznych („modeli technologii”) dla różnych arealów uprawy.

Celem pracy było opracowanie metodyki konstrukcji modeli parametrów technologii uprawy wierzby energetycznej dla nakładów pracy ludzi ( $\text{rbh}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), ciągników ( $\text{cnh}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), narzędzi, maszyn i urządzeń ( $\text{mnh}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) oraz kosztów produkcji: bezpośrednich, pośrednich i razem ( $\text{PLN}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) i jej sprawdzenie przy konstrukcji modelu dla nakładów pracy ludzi. Podstawą do jej opracowania był szereg wariantów kart technologicznych uprawy wierzby energetycznej w trzecim roku produkcji (zbiór wierzby w trzyletnim cyklu uprawy). Do budowy kart wykorzystano dane pozyskane z dostępnej literatury. Praca ta jest kontynuacją wyników osiągniętych w publikacji Zaliwskiego i Hołaja (2012).

## Metodyka badań

Danymi do opracowania kart technologicznych uprawy wierzby energetycznej były wyniki badań nad roślinami energetycznymi prowadzone w IUNG-PIB Puławy (Kuś i Matyka, 2010a; Matyka, 2013). Warianty technologiczne uprawy wierzby energetycznej objęły tylko trzeci rok produkcji (zbiór wierzby w trzyletnim cyklu uprawy). Różnice dotyczyły zwłaszcza zbioru, ale także zabiegów pielęgnacji, nawożenia i ochrony roślin. Przykładowo, w wariantcie 1 cięcie pędów odbywało się przy użyciu ręcznej piły spalinowej Husqvarna 450, a transport przyczepą 1-osiową 3,5T z ciągnikiem C-330. W wariantcie 2 cięcie przeprowadzały dwie osoby, jedna wyposażona w piłę spalinową Husqvarna 450, druga w piłę spalinową Stihl MS 260/37, a transport odbywał się przyczepą 2-osiową 4,5T z ciągnikiem C-360. W wariantcie 3 zbiór był przeprowadzany w formie usługi (kombajn John Deere 6710 z przystawką do zbioru wierzby, przyczepa samowładowcza 14T z ciągnikiem U-1224). W kartach technologicznych uwzględniono założenia wymienione poniżej.

Szereg technologii uprawy wierzby energetycznej (warianty technologii):

- 1,0 – 1,75 – 2,5 ha (wariant 1),
- 1,0 – 2,5 – 5,0 ha (wariant 2),
- 5,0 – 10,0 – 15,0 ha (wariant 3).

Dla szeregu technologii uprawy wierzby przyjęto następujące założenia i ograniczenia:

- dzienny limit pracy ludzi:  $10 \text{ rbh}\cdot\text{dzień}^{-1}$ , ciągników:  $10 \text{ cnh}\cdot\text{dzień}^{-1}$ , maszyn:  $10 \text{ mnh}\cdot\text{dzień}^{-1}$ ,
- niekorzystne warunki polowe takie jak niepomyślna pogoda i stan pola nieodpowiedni dla prac maszynowych skutkować mogą skróceniem okresu agrotechnicznego danego zabiegu o 30% (co wyrazić można liczbowo przez „współczynnik ograniczenia czasu”,  $\text{WNC}_P=0,7$ ),
- awaria ciągnika lub maszyny prowadzi do skrócenia okresu agrotechnicznego o 10% ( $\text{WNC}_A=0,9$ ).

Uwzględnienie możliwości wystąpienia wszystkich niekorzystnych warunków jednocześnie pozwala na wyznaczenie całkowitego „współczynnika ograniczenia czasu” WNC równego 0,63, wynikającego z iloczynu  $WNC = WNC_p \cdot WNC_A = 0,7 \cdot 0,9$ . Przy założeniu teoretycznego dziennego limitu pracy maszyn i ciągników równego  $10 \text{ ha} \cdot \text{dzień}^{-1}$  ich rzeczywisty dzienny limit wyniesie wtedy odpowiednio mniej:  $10 (\text{mnh} \cdot \text{dzień}^{-1}) \cdot 0,7 \cdot 0,9 = 6,3 (\text{mnh} \cdot \text{dzień}^{-1})$ .

Współczynnik ograniczenia czasu ma przede wszystkim znaczenie praktyczne: pozwala zabezpieczyć więcej czasu na prace polowe w sytuacjach kryzysowych przez przyjęcie wydajności technologii uprawy w sezonie ( $\text{ha} \cdot \text{sezon}^{-1}$ ) niższych niż teoretyczne. Wydajność całej technologii jest ograniczona przez „zabieg limitujący” – jest to zabieg o najmniejszej wydajności sezonowej, stanowiący „wąskie gardło” technologii. Wyznaczenie zabiegu limitującego polega na analizie wszystkich zabiegów technologii pod kątem ustalenia zasobów pracy w okresach agrotechnicznych (ludzi, ciągników i maszyn), jakie daje do dyspozycji technologia. Zasoby pracy zależą od długości okresu agrotechnicznego i dziennego limitu pracy. Następnie dla każdego zabiegu wyznacza się największą powierzchnię możliwą do obrobienia. Powierzchnia ta zależy od zasobów pracy będących do dyspozycji i nakładów pracy ludzi ( $\text{rbh} \cdot \text{ha}^{-1}$ ), ciągników ( $\text{cnh} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) i maszyn ( $\text{mnh} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). Zabieg limitujący cechuje się najmniejszą powierzchnią możliwą do obrobienia.

Zabieg limitujący określa, że danej technologii nie powinno się stosować na powierzchni większej, niż możliwa do obrobienia w obrębie tego zabiegu („warunek powierzchniowy”). Jest to oczywiście prawdą przy założeniu, że dana technologia angażuje rzeczywiste zasoby (środki produkcji) gospodarstwa. W przypadku nie spełnienia „warunku powierzchniowego” może się nie udać przeprowadzenie zabiegu limitującego w optymalnym terminie agrotechnicznym (przekroczono by czas okresu agrotechnicznego lub zaniechano części zabiegu). Natomiast dolna granica powierzchni teoretycznej może być dowolnie mała, jednak mniejszy areal zwiększa koszty bezpośrednie ( $\text{PLN} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). W szeregu technologii o rosnącej wydajności powierzchniowej, dolna granica pierwszej technologii wynika z kosztów jej stosowania na określonej powierzchni, a dla pozostałych technologii można ją ustalić jako największą powierzchnię technologii poprzedniej w szeregu. Z reguły technologia poprzednia jest tańsza ze względu na niższy koszt mechanizacji ( $\text{PLN} \cdot \text{ha}^{-1}$ ).

Metodyka użyta do obliczeń kosztów bezpośrednich produkcji była zgodna z metodyką użytą w systemie Agroefekt – 2012-Online (Zaliwski, 2013). Koszty bezpośrednie obliczono jako sumę kosztów pracy ludzkiej, ciągników, narzędzi i maszyn, materiałów oraz energii elektrycznej. Na koszty razem składały się koszty bezpośrednie i pośrednie w trzecim roku produkcji (zbiór roślin) w trzyletnim cyklu uprawy wierzby energetycznej. Koszty pośrednie produkcji obliczono przy założeniu, że stanowią one 25% kosztów produkcji razem. Dane do obliczeń kosztów pozyskano z badań IUNG-PIB oraz cenników systemu Agroefekt-2012-Online (Zaliwski, 2012). Ustalenie zabiegów limitujących dla poszczególnych wariantów technologicznych oraz postaci funkcji dla nakładów robocizny przeprowadzono w arkuszu kalkulacyjnym po przekopiowaniu kart technologicznych i wyników obliczeń otrzymanych z Agroefekt-2012-Online oraz wprowadzeniu niezbędnych pozostałych danych (współczynników ograniczenia czasu).

## Wyniki badań

W tabelach 1-3 zostały przedstawione nakłady pracy ludzi, ciągników, narzędzi i maszyn, dla szeregu trzech wariantów technologicznych uprawy wierzby energetycznej w trzecim roku (zbioru roślin).

Tabela 1

*Nakłady pracy w wariantach technologicznych 1,0-1,75-2,5 ha*

Table 1

*Labour inputs in the technology variants of 1,0-1,75-2,5 ha*

Powierzchnia uprawy (ha)	Nakłady pracy		
	(rbh·ha <sup>-1</sup> )	(cnh·ha <sup>-1</sup> )	(mnh·ha <sup>-1</sup> )
1,0	77,54	10,99	64,99
1,75	70,37	8,82	58,77
2,5	64,41	7,18	53,62

Tabela 2

*Nakłady pracy w wariantach technologicznych 1,0-2,5-5,0 ha*

Table 2

*Labour inputs in the technology variants of 1,0-2,5-5,0 ha*

Powierzchnia uprawy (ha)	Nakłady pracy		
	(rbh·ha <sup>-1</sup> )	(cnh·ha <sup>-1</sup> )	(mnh·ha <sup>-1</sup> )
1,0	65,89	7,15	54,81
2,5	56,16	4,64	46,44
5,0	50,24	3,63	41,46

Tabela 3

*Nakłady pracy w wariantach technologicznych 5,0-10,0-15,0 ha*

Table 3

*Labour inputs in the technology variants of 5,0-10,0-15,0 ha*

Powierzchnia uprawy (ha)	Nakłady pracy		
	(rbh·ha <sup>-1</sup> )	(cnh·ha <sup>-1</sup> )	(mnh·ha <sup>-1</sup> )
5,0	7,60	2,73	6,39
10,0	5,62	2,02	4,72
15,0	4,70	1,70	3,95

Różnice w nakładach pracy ludzi, ciągników i maszyn w poszczególnych wariantach technologicznych z zależności od arealu uprawy były stosunkowo niewielkie (tab. 1-3).

Większe różnice w nakładach stwierdzono natomiast pomiędzy różnymi wariantami technologii zastosowanej na tej samej powierzchni uprawy, np. 1,0 ha (tab. 1 i 2), a zwłaszcza 5,0 ha (tab. 2 i 3). Wynikało to z zastosowania w poszczególnych wariantach technologicznych maszyn o innej wydajności (większej w wariantach o wyższych arealach). Przykładowo, piła spalinowa Husqvarna 450 ma wydajność ok. 0,02 ha·h<sup>-1</sup>, a kombajn John Deree 6710 z przystawką do zbioru wierzby ma wydajność 1,1 ha·h<sup>-1</sup>.

W tabelach 4, 5 i 6 przedstawiono koszty produkcji razem (w rozbiciu na koszty pracy ludzi, ciągników i maszyn) w poszczególnych wariantach technologii uprawy.

Tabela 4

*Koszty produkcji razem w wariantach technologii 1,0-1,75-2,5 ha*

Table 4

*Total production costs in technology variants of 1,0-1,75-2,5 ha*

Powierzchnia uprawy (ha)	Koszty razem (PLN·ha <sup>-1</sup> )			
	(rbh)	(cnh)	(mnh)	Suma
1,0	981,66	1096,32	1902,08	3980,05
1,75	905,95	649,66	1490,23	3045,83
2,5	836,18	466,46	1280,17	2582,81

Tabela 5

*Koszty produkcji razem w wariantach technologii 1,0-2,5-5,0 ha*

Table 5

*Total production costs in technology variants of 1,0-2,5-5,0 ha*

Powierzchnia uprawy (ha)	Koszty razem (PLN·ha <sup>-1</sup> )			
	(rbh)	(cnh)	(mnh)	Suma
1,0	648,20	1542,60	2208,75	4399,54
2,5	608,03	654,38	1066,27	2328,69
5,0	511,38	353,90	940,42	1805,70

Tabela 6

*Koszty produkcji razem w wariantach technologii 5,0-10,0-15,0 ha*

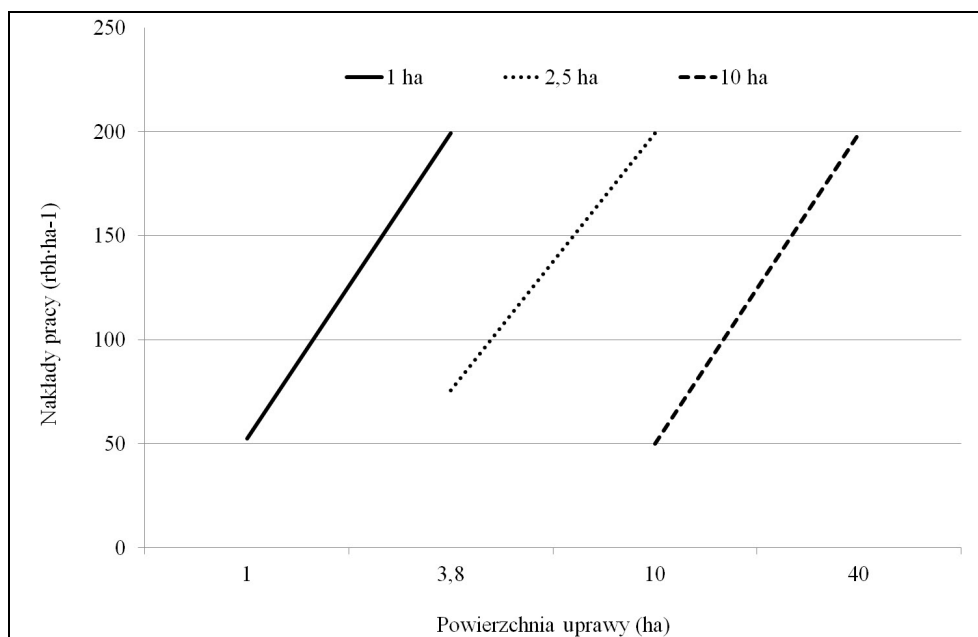
Table 6

*Total production costs in technology variants of 5,0-10,0-15,0 ha*

Powierzchnia uprawy (ha)	Koszty razem (PLN·ha <sup>-1</sup> )			
	(rbh)	(cnh)	(mnh)	Suma
5,0	457,51	810,92	1146,14	2414,57
10,0	394,21	493,94	699,23	1587,38
15,0	342,23	368,62	527,08	1237,94

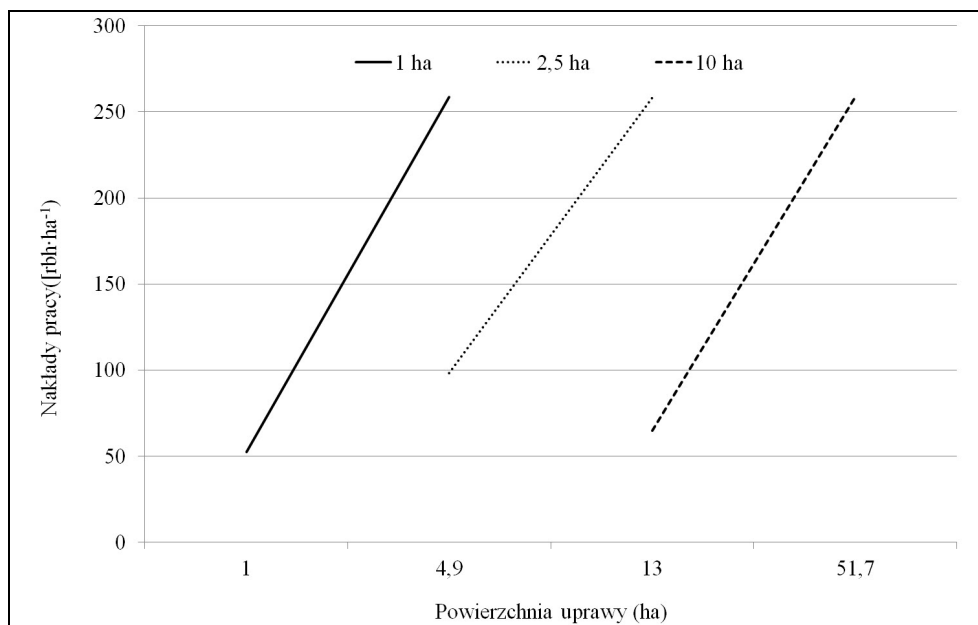
Podobnie jak w przypadku nakładów pracy, różnice w kosztach produkcji razem w poszczególnych wariantach są mniejsze niż pomiędzy wariantami. Koszty robocizny są proporcjonalne do nakładów robocizny (stała cena za 1 h pracy), natomiast koszty pracy ciągników i maszyn wynikają z kosztów jednostkowych i wydajności pracy, które są różne w zależności od wariantu technologii. Wraz ze wzrostem powierzchni we wszystkich trzech wariantach powierzchniowych uprawy obniżały się koszty pracy ludzi, ciągników, maszyn i koszty razem, zgodnie z efektem skali (Hołaj i Zaliwski, 2001).

Przy budowie modelu parametrów technologii przyjęto dwa warianty, różniące się współczynnikami WNC: pesymistyczny ( $WNC_P=0,7$ ;  $WNC_A=0,9$ ) i optymistyczny ( $WNC_P=0,85$ ;  $WNC_A=0,95$ ). W związku z tym otrzymane przebiegi funkcji różnią się w ten sposób, że model pesymistyczny ma mniejsze limity powierzchni (rys. 1 i 2). Innymi słowy, w gorszych warunkach pogodowych i polowych oraz założonej wyższej awaryjności powierzchnia możliwa do uprawy wg danej technologii jest niższa. Należy zauważyć, że funkcje te nie są ciągłe, ale mają charakter skokowy. Wobec tego procedury obliczeniowe będą wymagać zastosowania algorytmu, który to uwzględni.



Rysunek 1. Model parametrów technologii uprawy wierzby (wariant pesymistyczny) dla nakładów robocizny przedstawiony w postaci funkcji opracowanej na podstawie szeregu trzech wariantów technologii uprawy wierzby energetycznej (1, 2,5 i 10 ha)

Figure 1. A model of energy willow cultivation technology parameters (a pessimistic variant) to characterize the labour inputs, presented as a function developed on the basis of the series of three energy willow cultivation technology variants (1, 2,5 and 10 ha)



Rysunek 2. Model parametrów technologii uprawy wierzby (wariant optymistyczny) dla nakładów robocizny przedstawiony w postaci funkcji opracowanej na podstawie szeregu trzech wariantów technologii uprawy wierzby energetycznej (1, 2,5 i 10 ha)

Figure 2. A model of energy willow cultivation technology parameters (an optimistic variant) to characterize the labour inputs, presented as a function developed on the basis of the series of three energy willow cultivation technology variants (1, 2,5 and 10 ha)

## Podsumowanie

Przeprowadzone prace, symulacje i analizy pozwalają na sformułowanie niżej wymienionych wniosków.

1. Nakłady pracy w poszczególnych wariantach technologii zastosowanych na różnych powierzchniach różniły się mniej, niż pomiędzy wariantami technologii zastosowanymi na tej samej powierzchni, co wynikało z zastosowania w poszczególnych wariantach technologicznych maszyn o innej wydajności.
2. Funkcje modeli parametrów technologii nie są ciągłe, ale mają charakter skokowy. Wobec tego ich wykorzystanie w procedurach obliczeniowych będzie wymagało zastosowania odpowiedniego algorytmu.
3. Model parametrów technologii w wersji pesymistycznej różni się od wersji optymistycznej tym, że ma węższe zakresy wartości parametru wejściowego (powierzchni uprawy). Jest to zgodne z założeniami, bowiem w gorszych warunkach pogodowych i polowych oraz założonej wyższej awaryjności powierzchnia możliwa do uprawy wg danej technologii jest niższa.



4. Stwierdzono, że proces konstrukcji modeli parametrów technologii polegający na wprowadzaniu wyników uzyskanych w narzędziu Agroefekt-2012-online do arkusza kalkulacyjnego i ręcznym wykonaniu niezbędnych analiz jest pracochłonny. W przypadku zastosowania proponowanej metody na większą skalę celowa będzie jego automatyzacja.

## Literatura

- Directive 2009/28/EC. (2009). *Official Journal L 140/16-62*.
- Hołaj, J.; Zaliwski, A. (2001). Element kosztów produkcji ziemniaka w systemie wspomagania decyzji dla integrowanej ochrony roślin. *Inżynieria Rolnicza*, 31(11), 99-105.
- Kuś, J.; Faber, A. (2007). *Alternatywne kierunki produkcji rolniczej*. Studia i Raporty IUNG-PIB, 7, 139-149.
- Kuś, J.; Matyka, M. (2010a). Plonowanie i cechy biometryczne wierzby w zależności od warunków siedliskowych. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 3(96), 59-65.
- Kuś, J.; Matyka, M. (2010b). *Uprawa roślin na cele energetyczne*. Instrukcja upowszechnieniowa. Wydawnictwo IUNG-PIB, Puławy, 176, ISBN-978-83-7562-072-6.
- Kuś, J.; Matyka, M. (2009). Wydajność wybranych gatunków roślin uprawianych na cele energetyczne w zależności od jakości gleb. *Fragmenta Agronomica*, 26(4), 103-110.
- Matyka, M. (2013). *Produkcyjne i ekonomiczne aspekty uprawy roślin wieloletnich na cele energetyczne*. Monografie i Rozprawy Naukowe, IUNG-PIB Puławy, 35.
- Matyka, M.; Kopiński, J.; Madej, A. (2009). *Opracowanie koncepcji założenia plantacji wierzby energetycznej oraz określenie jej funkcji produkcyjnych i edukacyjnych*. IUNG-PIB Puławy (online), (dostęp 20.05.2013), Dostępny w Internecie: [http://pkpplewiatan.pl/upload/File/2010\\_02/biznesplanklimat.pdf](http://pkpplewiatan.pl/upload/File/2010_02/biznesplanklimat.pdf)
- Podlaski, S.; Chołuj, D.; Wiśniewski, G. (2010). Produkcja biomasy z roślin energetycznych. *Postępy Nauk Rolniczych*, 2(2010), 163-174.
- Polityka energetyczna Polski do 2030 roku (2009). Ministerstwo Gospodarki, Warszawa. Pozyskano z: <http://www.mg.gov.pl/Bezpieczenstwo+gospodarcze/Energetyka/Polityka+energetyczna>
- Stuczyński, T.; Łopatka, 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. (2013). System Agroefekt-2012-online (prototyp). *System doradztwa w zakresie zrównoważonej produkcji roślinnej*. IUNG-PIB, Puławy. Pozyskano z: <http://www.dss.iung.pulawy.pl/Documents/ipr/AgroefektOnline.html>.
- Zaliwski, A.S.; Hołaj, J. (2012). Modele gospodarstwa jako źródło danych do optymalizacji produkcji roślin energetycznych w gminie. *Inżynieria Rolnicza*, 2(137), 347-355.

## INTERPOLATION PROCEDURES FOR DETERMINATION OF ENERGY WILLOW CULTIVATION TECHNOLOGY PARAMETERS

**Abstract.** For the assessment of the conditions of energy crop introduction to the agricultural space it is possible to use the method of profitability simulation. The method has to take into account production technologies of the competing food and energy crops. Traditionally, production technologies are described with the aid of operation sheets. The simulation model of the defined area of agricultural space has to deal with technology diversity. In view of the computational complexity of such a model, growing along with the number of operation sheets, it becomes necessary to limit the information to the scope absolutely essential for the simulation: labour input ( $\text{h}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), direct production costs ( $\text{PLN}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), etc. The information can be extracted from the operation sheets for a crop by setting them according to the increasing productivity ( $\text{ha}\cdot\text{season}^{-1}$ ) and collection of the information necessary for economic calculations, such as labour input. The data series acquired in this way make it possible to construct an interpolation procedure, in which the seasonal output (or the corresponding acreage) is the input parameter, and the result is the information such as labour input. A set of the procedures appropriately selected can replace the series of operation sheets from which it has been acquired (e.g. with the method of regression) and its advantage is the ease of interpolation of in-between values. In the present study the information acquired from interpolation procedures (as well as from operation sheets) is called “technology parameters” and the interpolation procedures themselves - “technology parameter models”. The objective of the study was to develop a method for technology-parameter model construction for the third year of energy willow production (in a three-year harvest cycle) for the assumed acreage range. The application of the method for technology-parameter model construction is presented in graphs for labour inputs in energy willow production (for pessimistic and optimistic scenarios).

**Key words:** energy willow, cultivation technology, operation sheet, labour inputs, production costs

**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. Czartoryskich 8  
24-100 Puławy