

MODELOWE TECHNOLOGIE ZBIORU A KOSZTY PRODUKCJI BIOMASY Z TRZYLETNIEJ WIERZBY ENERGETYCZNEJ*

Dariusz Kwaśniewski

Instytut Inżynierii Rolniczej i Informatyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. W pracy przedstawiono modelowe technologie zbioru biomasy z trzyletniej wierzby energetycznej w funkcji jednostkowych kosztów produkcji. Technologie te zostały opracowane w oparciu o badania przeprowadzone na rzeczywistych plantacjach wierzby położonych na terenie Polski południowej. Uzyskane wyniki pokazują różnorodność kilku czynników (a zwłaszcza stosowanej technologii zbioru), które wpływają na koszty produkcji biomasy z wierzby energetycznej, w zależności od zróżnicowanych obszarowo plantacji.

Słowa kluczowe: wierzba energetyczna, technologia zbioru, koszty produkcji

Wstęp

Spośród wszystkich zabiegów technologicznych, w procesie produkcji biomasy z wierzby energetycznej najistotniejszym, z punktu widzenia organizacyjnego i ekonomicznego, jest zbiór. Do zbioru wierzby energetycznej przystępuje się po zakończeniu wegetacji roślin, gdy z pędów opadną liście. W praktyce jest to okres od połowy listopada do połowy marca. Przy zbiorze wierzby przeznaczonej na cele energetyczne możliwy jest zarówno zbiór jedno- jak i dwuetapowy. Wybór technologii zbioru jest uwarunkowany w dużej mierze wielkością plantacji, formą uzyskiwanego surowca (np. zrębki, całe pędy), posiadaniem bądź wynajmowaniem parkiem maszynowym do zbioru. W warunkach polskich producentów biomasy, zbiór wierzby sprawia nadal największe problemy i wpływa w sposób decydujący na końcowe koszty produkcji biomasy [Kwaśniewski i in. 2010]. Potwierdzają to również inni autorzy [Pasiński 2007; Lisowski i in. 2010]. Zastosowanie nowoczesnych maszyn, o dużej wydajności, pracujących na plantacjach o większym areale, pozwala znacznie ograniczyć koszty, jednak na istniejących już plantacjach (w wielu przypadkach małych obszarowo) jest to rozwiązanie nieekonomiczne. Biorąc pod uwagę opłacalność produkcji biomasy należy także pamiętać o bardzo ważnym czynniku wchodzącym w skład kosztów produkcji biomasy, jakim jest transport gotowego wyrobu (surowca), jego sposób załadunku i rozładunku (ręczny, zmechanizowany). Ogromną rolę w tym przypadku odgrywa także wilgotność wyprodukowanej biomasy (wg różnych źródeł od 43 do nawet 55% [Szczukowski i in. 2004; Dubas, Tomczyk 2005; Stolarski 2009]), jej gęstość usypowa ($0,35 \text{ t}\cdot\text{m}^{-3}$) oraz odległość, na jaką będzie transportowana do miejsca docelowego (np. ciepłownia, gospodarstwo rolne).

* Praca zrealizowana w ramach projektu badawczego rozwojowego nr 12-0165-10.

Celem pracy było opracowanie modelowych technologii zbioru biomasy z trzyletniej wierzby energetycznej w odniesieniu do jednostkowych kosztów produkcji oraz pokazanie różnorodności uwarunkowań (kombinacji czynników), jakie mogą decydować o wyborze korzystnej technologii zbioru z punktu widzenia wielkości plantacji. Na ich tle ocenione zostały łączne koszty produkcji biomasy na zróżnicowanych obszarowo plantacjach.

Technologie zbioru wierzby i założenia

Zalecane są różne technologie zbioru w zależności od wielkości uprawy, istniejących w gospodarstwie maszyn, prowadzenia innej produkcji, dysponowania środkami transportowymi i innym zapleczem technicznym. Ogólnie można stwierdzić, że technologia jednoetapowa jest zalecana na dużych plantacjach, a dwuetapowa na małych [Lisowski i in. 2010]. Praktyka zaś niejednokrotnie weryfikuje proponowane zalecenia.

Opracowane modelowe technologie są konsekwencją wieloletnich badań autora przeprowadzonych na 10 plantacjach, na których wykonano zbiór trzyletniej wierzby. Plantacje te były położone na terenie Polski południowej, w województwach: małopolskim, świętokrzyskim i podkarpackim. Technologie zbioru wierzby (tabela 1) były mało zmechanizowane, głównie oparte na pracach ręcznych (ręczny zbiór z wykorzystaniem pił łańcuchowych i kos spalinowych, ręczny zbiór pędów po kosiarce tarczowej i formowanie w wiązki oraz ręczny załadunek i rozładunek pędów w wiązkach).

Tabela 1. Technologie zbioru wierzby energetycznej na trzyletnich plantacjach
Table 1. Energy willow harvest technologies in three-year-old plantations

L.p.	Miejscowość	Powierzchnia wierzby [ha]	Technologia zbioru wierzby		
			Cięcie wierzby		Transport (ciągnik/przyczepa)
1	Dołęga	1,00	piła łańcuchowa Stihl MS230		C360 D732
2	Jablonica Polska	1,20	piła łańcuchowa Stihl MS270 (2 szt)		C330 D732
3	Wola Bokrzycka	1,50	kosa spalinowa Solo 140 (3 szt)		C360 T070
4	Wietrzychowice	2,48	piła łańcuchowa Stihl MS270 (2 szt)		C360 D54
5	Dęba	5,00	kosa spalinowa Solo 142 (6 szt)		C360, U3514 T610, T070
6	Wał Ruda	5,19	ciągnik C360+kosiarka tarczowa		C360 D54
7	Jadachy	9,90	kosa spalinowa Solo 142 (10 szt)		C360, U3514 T610, T070
8	Tarnowska Wola	10,50	kosa spalinowa Solo 142 (10 szt)		C360, U3514 T610, T070
9	Chotelek 1	12,00	ciągnik Z5340+kosiarka tarczowa		U1634 T169/2
10	Chotelek 2	35,00	Sieczkarnia Mengele SF5200		U1634 T672

Źródło: [Kwaśniewski 2011]

Na podstawie technologii zbioru trzyletniej wierzby energetycznej stosowanych na badanych plantacjach opracowano pięć modelowych technologii produkcji wierzby, uwzględniających różne warianty zbioru. W celu ułatwienia porównania przyjęto, że w każdej technologii produktem końcowym są zrębki.

Założono następujące technologie zbioru, będące częścią procesu produkcji:

- T1 - zbiór z wykorzystaniem piły łańcuchowej, transport pędów w wiązkach i rozdrabnianie w gospodarstwie,
- T2 - zbiór z wykorzystaniem ciągnikowej kosiarki tarczowej, transport pędów w wiązkach i rozdrabnianie w gospodarstwie,

Modelowe technologie zbioru...

- T3 - zbiór z wykorzystaniem ciągnikowej kosiarki tarczowej, rozdrabnianie pędów na plantacji i transport zrębków do gospodarstwa,
- T4 - zbiór z wykorzystaniem samojezdnej sieczkarni polowej własnej i transport zrębków do gospodarstwa,
- T5 - zbiór z wykorzystaniem samojezdnej sieczkarni polowej, jako usługa mechaniczna i własny transport zrębków do gospodarstwa.

Warianty technologiczne oraz zastosowane maszyny i narzędzia, a także liczbę osób obsługujących pojedynczy agregat zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Zestawienie maszyn i narzędzi oraz liczba osób w badanych technologiach

Table 2. List of machines and tools and number of people in examined technologies

L.p.	Etapy zbioru trzyletniej wierzby energetycznej			
	Cięcie/rozdrabnianie wierzby	Rozdrabnianie na plantacji	Transport	Rozdrabnianie w gospodarstwie
T1	piła łańcuchowa (osoby 1+2)*	x	ciągnik+2 przyczepy (osoby 1+3)	ciągnik+rębak (osoby 1+2)
T2	ciągnik+kosiarka tarczowa (osoby 1+2)	x	ciągnik+2 przyczepy (osoby 1+3)	ciągnik+rębak (osoby 1+2)
T3	ciągnik+kosiarka tarczowa (osoby 1+2)	ciągnik+rębak (osoby 1+2)	ciągnik+przyczepa (1 osoba)	x
T4	sieczkarnia samojezdna własna (1 osoba)	x	ciągnik+przyczepa (1 osoba)	x
T5	sieczkarnia samojezdna usługa (1 osoba)	x	ciągnik+przyczepa (1 osoba)	x

* (1+2) – osoba obsługująca piłę/ciągnik + osoby dodatkowe wykonujące prace ręczne

Źródło: opracowanie własne

W technologii T1 do zbioru wierzby energetycznej zastosowano piłę łańcuchową. Jest to metoda doraźna i charakteryzuje się małą wydajnością, ok. 0,016-0,024 ha·h⁻¹ [Kwaśniewski i in. 2006], co wiąże się z dużymi nakładami pracy i zaangażowaniem większej liczby osób. Jeden zespół roboczy stanowią trzy osoby (dla efektywnego wykorzystania piły), z których jedna obsługuje piłę, a dwie odbierają ścięte pędy i formują wiązki. Na większych powierzchniach plantacji, przy zbiorze bierze udział więcej zespołów. Transport pędów wierzby w formie wiązek wykonywany jest niezależnie od procesu ścinania (tzw. zbiór przerywany). To znaczy, po etapie ścinania i formowania wiązek następuje drugi etap, związany z ręcznym załadunkiem, transportem do gospodarstwa i mechanicznym rozładunkiem. Po wyschnięciu materiału w warunkach naturalnych, pędy są ręcznie podawane do rębaka napędzanego od WOM i rozdrabniane.

W technologii T2 do zbioru wierzby zastosowano ciągnikową kosiarkę tarczową. Ścięte pędy formowane są ręcznie w wiązki. Następnie transportowane i rozdrabniane w gospodarstwie, podobnie jak w technologii T1.

W technologii T3 do zbioru zastosowano także ciągnikową kosiarkę tarczową, a ścięte pędy formowane są ręcznie w małe przyzmy na plantacji. Następnie są one ręcznie podawane do rębaka napędzanego od WOM i rozdrabniane, a załadunek zrębków odbywa się kanałem wylotowym na zapiętą za rębakiem przyczepę. Aby zwiększyć efektywne wykorzystanie rębaka i ze względu na małą masę usypową zrębków, przyczepy stosowane są

wymiennie, a ich liczba zależy od ładowności i odległości plantacji od gospodarstwa. Zrębki składowane są na przymie w gospodarstwie.

W technologii T4 realizowany jest zbiór potokowy, tzn. do zbioru i bezpośredniego rozdrabniania pędów wierzby stosowana jest samojezdna sieczkarnia polowa, a załadunek zrębków odbywa się kanałem wylotowym na zapiętą z tyłu sieczkarni przyczepę. Aby zwiększyć efektywne wykorzystanie sieczkarni (jako maszyny bardzo drogiej) i ze względu na małą masę usypową zrębków, przyczepy stosowane są wymiennie, podobnie jak w technologii T3.

W technologii T5 realizowany jest również zbiór potokowy, podobnie jak w T4, ale sieczkarnia samojezdna wykorzystywana jest w ramach usług mechanizacyjnych.

Na podstawie opracowanego algorytmu matematycznego przeprowadzono obliczenia symulacyjne nakładów pracy, kosztów zbioru i kosztów produkcji biomasy dla pięciu technologii zbioru wierzby. Do obliczeń przyjęto następujące założenia:

- okres użytkowania plantacji 25 lat [Szczukowski i in. 2004; Dubas, Tomczyk 2005; Stolarski i in. 2008; Kwaśniewski 2010],
- 8 zbiorów (trzyletnich cykli produkcyjnych) w okresie użytkowania plantacji,
- plon trzyletniej wierzby $40 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ świeżej biomasy, wilgotność w czasie zbioru 50%,
- stałe koszty założenia plantacji $5300 \text{ zł} \cdot \text{ha}^{-1}$ [Kwaśniewski 2011],
- stałe koszty likwidacji plantacji $2075 \text{ zł} \cdot \text{ha}^{-1}$ [Stolarski i in. 2008],
- czas dyspozycyjny zbioru 720 h (60 h w dekadzie – zbiór wierzby możliwy do wykonania od połowy listopada do połowy marca). Czas zbioru obliczono w oparciu o wydajności stosowanych maszyn (sieczkarnia samojezdna, kosiarka tarczowa, rębak) i narzędzi (piła łańcuchowa).
- zależnie od powierzchni plantacji i jej odległości od gospodarstwa, będą do zbioru dobierane zestawy maszyn, które zapewnią proces potokowy zbioru wierzby w postaci zrębków i zapewnią realizację zbioru w założonym czasie dyspozycyjnym.

Koszty mechanizacji zostały określone zgodnie z metodyką stosowaną w Instytucie Inżynierii Rolniczej i Informatyki UR w Krakowie [Michalek i in. 1998]. Wyrażono je w wartościach brutto (z VAT-em). W obliczeniach nie uwzględniono podatków, oprocentowania ewentualnego kredytu, dopłat do założenia plantacji i produkcji. Do kalkulacji przyjęto m.in.:

- okres eksploatacji drogich środków technicznych, tj. sieczkarnia samojezdna, ciągnik rolniczy, przyczepa (8 – 25 lat), tanich, tj. piła łańcuchowa (5 – 8 lat),
- cenę paliwa $5,2 \text{ zł} \cdot \text{l}^{-1}$,
- koszt robocizny $12 \text{ zł} \cdot \text{rbh}^{-1}$, szacowany według stawki parytetowej [Grzybek i in. 2010], a dla operatora sieczkarni $18 \text{ zł} \cdot \text{rbh}^{-1}$,
- koszt usługi mechanizacyjnej dla samojezdnej sieczkarni (typu Mengele SF5200), na podstawie rozeznania autora pracy $800 \text{ zł} \cdot \text{h}^{-1}$.

Wyniki badań

Liczbę maszyn i narzędzi stosowanych w poszczególnych technologiach przedstawiono w tabeli 3, natomiast w tabeli 4 zamieszczono nakłady pracy, w zależności od wariantu zbioru i powierzchni plantacji. Nakłady pracy w zależności od stosowanej technologii zbioru są bardzo zróżnicowane. Zdecydowanie największe są charakterystyczne dla technologii najmniej wydajnych (T1 i T2), z transportem całych pędów w wiązках i rozdrabnianiem w gospodarstwie. Natomiast najmniejsze przypadają dla technologii T4 i T5, czyli z zastosowaniem do zbioru samojezdnej sieczkarni polowej.

Modelowe technologie zbioru...

Tabela 3. Liczba maszyn i narzędzi dla badanych technologii
Table 3. Number of machines and tools for examined technologies

Wyszczególnienie		Powierzchnia plantacji [ha]									
		5	10	15	20	30	40	50	70	100	150
		Liczba maszyn i narzędzi [szt]									
T1	piła łańcuchowa	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3
	ciągnik	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
	przyczepa	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4
	rębak	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
T2	kosiarka tarczowa	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	ciągnik	1	1	1	1	1	1	2	2	3	4
	przyczepa	2	2	2	2	2	2	4	4	6	8
	rębak	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
T3	kosiarka tarczowa	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	rębak	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
	ciągnik	3	3	3	3	3	3	3	3	5	5
	przyczepa	3	3	3	3	3	3	3	3	5	5
T4	sieczkarnia własna	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	ciągnik	5	5	6	6	6	6	7	7	6	6
	przyczepa	6	6	7	7	7	7	8	8	7	7
T5	sieczkarnia usługa	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	ciągnik	5	5	6	6	6	6	7	7	6	6
	przyczepa	6	6	7	7	7	7	8	8	7	7

Źródło: opracowanie własne

Tabela 4. Nakłady pracy dla badanych technologii
Table 4. Labour amounts for examined technologies

Technologia		Powierzchnia plantacji [ha]									
		5	10	15	20	30	40	50	70	100	150
		Nakłady pracy [rbh·ha ⁻¹]									
T1	zbiór	125,0	125,0	111,1	111,1	100,0	100,0	100,0	90,9	90,9	83,3
	transport	78,9	80,5	83,2	84,2	81,8	78,9	81,4	79,7	71,9	70,4
	rozdrabnianie	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
	razem	212,9	214,5	203,3	204,3	190,8	187,9	190,4	179,6	171,8	162,7
T2	zbiór	15,0	15,0	13,3	13,3	12,0	12,0	12,0	10,9	10,9	10,0
	transport	79,0	80,5	83,2	84,2	81,8	78,9	81,4	79,7	71,9	70,4
	rozdrabnianie	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
	razem	103,0	104,5	105,5	106,5	102,8	99,9	102,4	99,6	91,8	89,4
T3	zbiór	15,0	15,0	13,3	13,3	12,0	12,0	12,0	10,9	10,9	10,0
	rozdrabnianie	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
	transport	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	15,0	15,0
	razem	65,0	65,0	63,3	63,3	62,0	62,0	62,0	60,9	55,9	55,0
T4	zbiór	2,8	2,8	2,5	2,5	2,2	2,2	2,2	2,0	2,0	1,9
	transport	13,9	13,9	14,8	14,8	13,3	13,3	15,6	14,1	12,1	11,1
	razem	16,7	16,7	17,3	17,3	15,6	15,6	17,8	16,2	14,1	13,0
T5	zbiór	2,8	2,8	2,5	2,5	2,2	2,2	2,2	2,0	2,0	1,9
	transport	13,9	13,9	14,8	14,8	13,3	13,3	15,6	14,1	12,1	11,1
	razem	16,7	16,7	17,3	17,3	15,6	15,6	17,8	16,2	14,1	13,0

Źródło: opracowanie własne

Tabela 5. Koszty eksploatacji parku maszynowego dla założonych technologii zbioru (bez robocizny)
 Table 5. Operating costs for machinery stock for planned harvest technologies (excluding labour)

Wyszczególnienie		Powierzchnia plantacji [ha]									
		5	10	15	20	30	40	50	70	100	150
		Koszty eksploatacji [zł·ha ⁻¹]									
T1	piła łańcuchowa	220	208	181	191	168	163	166	150	152	139
	ciągnik	1788	1299	1169	1102	1066	1460	1526	1511	1896	1888
	przyczepa	772	507	461	457	474	484	505	508	492	596
	rębak	41	23	17	14	14	13	13	13	10	9
T2	kosiarka tarczowa	46	28	24	23	20	20	18	14	12	10
	ciągnik	1961	1472	1325	1288	1250	1712	1778	1746	2230	2181
	przyczepa	772	507	461	457	474	484	505	508	492	596
	rębak	41	23	17	14	14	13	13	13	10	9
T3	kosiarka tarczowa	46	28	24	23	20	20	18	14	12	10
	rębak	54	44	44	42	34	30	28	25	28	24
	ciągnik	4219	2714	2212	1960	1714	2263	2217	2197	2629	2576
	przyczepa	1028	616	458	379	350	365	360	381	345	419
T4	sieczkarnia własna	9389	5264	3768	3082	2299	1955	1874	1700	1678	1523
	ciągnik	5501	2990	2528	2026	1480	1845	1874	1498	1489	1214
	przyczepa	1800	974	777	606	465	419	439	415	424	615
T5	sieczkarnia usługa	2224	2224	1973	1976	1779	1778	1778	1616	1616	1482
	ciągnik	5501	2990	2528	2026	1480	1845	1874	1498	1489	1214
	przyczepa	1800	974	777	606	465	419	439	415	424	615

Źródło: opracowanie własne

Jednym z głównych czynników, które wpływają na koszty produkcji biomasy z wierzby energetycznej, są koszty eksploatacji parku maszynowego wykorzystywanego w czasie zbioru. Zostały one pokazane w tabeli 5.

Natomiast całkowite koszty produkcji biomasy z trzyletniej wierzby energetycznej w przeliczeniu na hektar i na tonę zebranej, świeżej masy, w zależności od powierzchni plantacji i wariantu technologii zamieszczono w tabeli 6. Aby zwrócić uwagę na bardzo ważną rolę, jaką odgrywają nakłady robocizny w badanych technologiach, w tabeli pokazano także procentowy udział kosztów robocizny w całkowitych kosztach produkcji. Daje to pewien pogląd, że decydując się na stosowanie mało wydajnych technologii zbioru T1 i T2, przy większym zapotrzebowaniu na zasoby siły roboczej, należy brać pod uwagę wyższe koszty pracy ludzkiej.

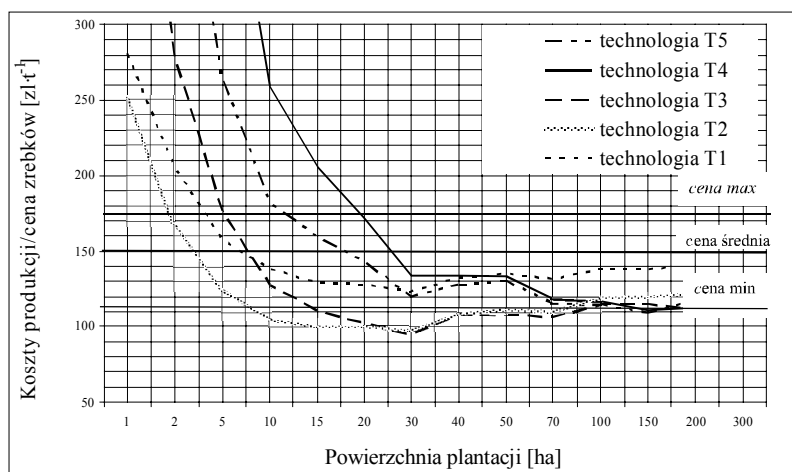
Modelowe technologie zbioru biomasy w funkcji jednostkowych kosztów produkcji wyrażonych w zł·t⁻¹ świeżej biomasy przedstawiono na rysunku 1. Aby dokonać oceny korzyści stosowania danej technologii, w zależności od wielkości plantacji (przy stałym plonie 40 t·ha⁻¹), na rysunku pokazano także przedział cenowy skupu zrębków (od 120 do 180 zł·t⁻¹ (średnia 150 zł·t⁻¹). Przedział ten został ustalony przez autora pracy, w wyniku uzyskanych informacji z czterech jednostek skupujących zrębki wierzby na szeroką skalę.

Ustalony przedział cenowy skupu zrębków, umożliwia teoretyczną ocenę, dla której z założonych technologii i dla jakiej powierzchni uprawy wierzby energetycznej koszty produkcji biomasy w postaci zrębków są równoważone przez koszty ich sprzedaży, czyli gdzie znajduje się granica opłacalności stosowania badanych technologii zbioru.

Tabela 6. Koszty produkcji biomasy z trzyletniej wierzby energetycznej
Table 6. Costs of biomass production from the three-year-old energy willow

Technologia	Powierzchnia plantacji [ha]									
	5	10	15	20	30	40	50	70	100	150
	Koszty produkcji biomasy [zł·ha ⁻¹]									
T1	6299	5533	5190	5138	4932	5297	5417	5258	5533	5506
T2	4978	4206	4015	3982	3913	4350	4466	4398	4767	4790
T3	7050	5104	4420	4087	3784	4345	4289	4271	4607	4612
T4	17829	10367	8216	6858	5365	5341	5335	4740	4694	4439
T5	10614	7276	6377	5708	4805	5124	5199	4620	4596	4365
	Udział kosztów robocizny przy zbiorze w całkowitych kosztach produkcji [%]									
T1	40,6	46,5	47,0	47,7	46,4	42,6	42,2	41,0	37,3	35,5
T2	24,8	29,8	31,5	32,1	31,5	27,6	27,5	27,2	23,1	22,4
T3	11,1	15,3	17,2	18,6	19,7	17,1	17,3	17,1	14,6	14,3
T4	1,2	2,1	2,7	3,2	3,7	3,7	4,2	4,3	3,9	3,8
T5	2,0	3,0	3,5	3,9	4,2	3,9	4,4	4,5	4,0	3,8
	Koszty produkcji biomasy [zł·t ⁻¹]									
T1	157	138	130	128	123	132	135	131	138	138
T2	124	105	100	100	98	109	112	110	119	120
T3	176	128	110	102	95	109	107	107	115	115
T4	446	259	205	171	134	134	133	119	117	111
T5	265	182	159	143	120	128	130	116	115	109

Źródło: opracowanie własne



Źródło: opracowanie własne

Rys. 1. Technologia i koszty produkcji biomasy z wierzby a granica opłacalności produkcji w zależności od ceny zrębków

Fig. 1. Technology and costs of biomass production from willow versus production break-even point depending on chips price

Na przykład, dla technologii T1 (zbiór z wykorzystaniem piły łańcuchowej, transportem pędów w wiązках i rozdrabnianiem w gospodarstwie), zakładając cenę zrębków na poziomie $150 \text{ zł}\cdot\text{t}^{-1}$, powierzchnia plantacji, przy której produkcja biomasy zaczyna być na granicy opłacalności to ok. 7 ha. Jeśli z kolei weźmiemy pod uwagę najniższą cenę zrębków ($120 \text{ zł}\cdot\text{t}^{-1}$) to okazuje się, że technologia zbioru z wykorzystaniem piły łańcuchowej jest nieopłacalna bez względu na wielkość plantacji. Natomiast dla maksymalnej ceny ($180 \text{ zł}\cdot\text{t}^{-1}$), powierzchnia uprawy trzyletniej wierzby, dla której można spodziewać się minimalnego zysku, powinna wynosić ok. 3 ha.

Dla technologii T2 (zbiór z wykorzystaniem ciągnikowej kosiarki tarczowej, transport pędów w wiązках i rozdrabnianie w gospodarstwie), powierzchnia plantacji, w zależności od ceny zrębków (minimum, maksimum), dla której koszty produkcji przypuszczalnie mogą być równoważone kosztami sprzedaży to odpowiednio od 2 do 6 ha.

Z kolei dla technologii T3 (zbiór z wykorzystaniem ciągnikowej kosiarki tarczowej, rozdrabnianie pędów na plantacji i transport zrębków do gospodarstwa), powierzchnia uprawy trzyletniej wierzby, która może stanowić granicę opłacalności produkcji, dla założonej ceny biomasy, mieści się w przedziale od ok. 5 do ok. 13 ha.

W przypadku technologii T3 (rozdrabnianie na plantacji), powierzchnia plantacji powinna być prawie dwukrotnie większa niż dla technologii T2 (rozdrabnianie w gospodarstwie). Wynika to przede wszystkim z organizacji procesu rozdrabniania. Mniejsza jest bowiem wydajność pracy ($4 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$) agregatu ciągnik i rębak oraz osób obsługujących, kiedy proces realizowany jest na plantacji, gdzie występuje częste przemieszczanie agregatu, a większa ($8 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$) kiedy proces rozdrabniania wykonywany jest w gospodarstwie, gdzie agregat pracuje praktycznie przy jednej dużej przymie całych pędów wierzby.

Znacznie większa powierzchnia uprawy wierzby energetycznej może gwarantować powodzenie finansowe dla technologii T4 i T5, gdzie do zbioru wykorzystywana jest droga maszyna - samojezdna siewczkarnia polowa własna (przyjęta cena maszyny 825 tys. zł), bądź siewczkarnia w formie usługi mechanizacyjnej. Dla średniej ceny zrębków $150 \text{ zł}\cdot\text{t}^{-1}$, w pierwszym przypadku jest to ok. 25 ha, a w drugim ok. 17 ha. Jednak, jeśli cena biomasy będzie niska, na poziomie $120 \text{ zł}\cdot\text{t}^{-1}$, to dla właściciela siewczkarni oceniany areal uprawy wierzby powinien wynosić co najmniej 70 ha. W tym miejscu nasuwa się pytanie zasadnicze, czy w chwili obecnej stać nas na produkcję biomasy z wierzby, na tak szeroką skalę w pojedynczym gospodarstwie. Odpowiedź może być pozytywna w przypadku np. grupy producenckiej, zorganizowanej wokół odbiorcy (mała odległość transportowania), którym może być elektrownia, czy też elektrociepłownia.

Wnioski i podsumowanie

1. Założone modelowe technologie zbioru trzyletniej wierzby energetycznej i związane z nimi nakłady pracy sugerują, że jeśli do zbioru będą stosowane mało wydajne technologie (T1, T2, T3) należy wtedy dysponować odpowiednimi zasobami pracy, w przeciwnym wypadku czas zbioru będzie się wydłużał, co wpłynie wydatnie na końcowe koszty i opłacalność produkcji biomasy.
2. Uzyskane, bardzo zróżnicowane koszty produkcji biomasy dla badanych technologii (dla powierzchni plantacji do 30 ha), są efektem organizacji zbioru trzyletniej wierzby oraz wysokich nakładów pracy ręcznej w technologiach T1–T3. Natomiast w przypadku powierzchni uprawy wierzby powyżej 30 ha koszty produkcji zaczynają być niższe i dla niektórych technologii są nawet na porównywalnym poziomie (T2, T3) i (T4 i T5).

3. Na plantacjach powyżej 30 ha, proces technologii zbioru wierzby zaczyna przybierać formę procesu transportowego (istotna liczba agregatów i ładowność przyczep), a o kosztach produkcji biomasy decyduje organizacja transportu, a nie maszyny podstawowe do zbioru (np. sieczkarnia), które mają większy wpływ na koszty produkcji, na mniejszych powierzchniach uprawy wierzby.
4. Opracowane technologie produkcji biomasy z trzyletniej wierzby energetycznej dobrze charakteryzują specyfikę tej produkcji i wskazują, że główny problem dla potencjalnych producentów biomasy związany jest z kombinacją kilku czynników, które będą miały wpływ na końcowy, pozytywny efekt ekonomiczny. Do czynników tych należą: stosowana technologia zbioru trzyletniej wierzby, wielkość plantacji, uzyskiwany plon biomasy i jej aktualna cena, a także możliwość zbytu wyprodukowanego surowca.
5. Aktualność przeprowadzonych obliczeń symulacyjnych jest ograniczona szybko zmieniającymi się uwarunkowaniami ekonomiczno-rynkowymi, społecznymi i politycznymi. I to należy traktować, jako główną barierę w rozwoju rynku biomasy w Polsce. Z pewnością dla rozwoju tego rynku niezbędne jest większe wsparcie zewnętrzne, w postaci dofinansowania przez m.in. takie jednostki, jak MRiRW (Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi), UE (Unia Europejska). Niestety dofinansowanie takie od stycznia 2010r. zostało zniesione.

Podsumowując, należy stwierdzić, że w warunkach polskich, na wielu istniejących plantacjach wierzby energetycznej, stosuje się bardzo zróżnicowane i jednocześnie mało wydajne technologie zbioru. Muszą być w tym przypadku dostępne większe zasoby siły roboczej, co z kolei wpływa na wielkość nakładów pracy i koszty robocizny. Równocześnie należy pamiętać, że powierzchnie aktualnych plantacji są mocno zróżnicowane i mieszczą się w przedziale od kilku arów do kilkudziesięciu hektarów, a wprowadzaniu wysokowydajnych technologii zbioru wierzby powinna towarzyszyć koncentracja uprawy tej rośliny. Fakt ten powoduje, że na znacznej ilości plantacji stosowanie wysokowydajnych technologii jest nierealne ze względów ekonomicznych. Produkcja więc biomasy z wierzby energetycznej na dużą skalę (przemysłową) powinna się opierać na stosowaniu maszyn wysokowydajnych i ograniczeniu nakładów pracy ludzkiej. Maszyny takie są obecnie bardzo drogie i praktycznie niedostępne dla pojedynczych plantatorów. Aby obniżyć koszty eksploatacji, powinny być one wykorzystywane na plantacjach o powierzchni kilkunastu do kilkudziesięciu hektarów (co jest mało prawdopodobne w naszych warunkach). Innym rozwiązaniem, możliwym do realizacji na terenie Polski południowej jest tworzenie zespołów rolników, np. w formie grup producenckich zajmujących się produkcją biomasy na mniej szeroką skalę. W sumie jednak, w przypadku zespołu kilku lub kilkunastu gospodarstw skala produkcji umożliwi efektywne i ekonomiczne wykorzystanie wysokowydajnych maszyn. Rozwiązanie takie wymaga jednak wprowadzenia odpowiednich uwarunkowań organizacyjno-prawnych.

Bibliografia

- Dubas J.W., Tomczyk A. 2005. Zakładanie, pielęgnacja i ochrona plantacji wierzby energetycznej. Wydawnictwo SGGW Warszawa. ISBN 83-7244-617-2.
- Grzybek A., Muzalewski A. 2010. Analiza techniczno-ekonomiczna BiOB na cele energetyczne. [W:] Bocian P., Golec T., Rakowski J. (red.) 2010. Nowoczesne technologie pozyskiwania

- i energetycznego wykorzystywania biomasy. Monografia. Wyd. Instytut Energetyki. Warszawa. ISBN 978-83-925924-6-4. s 419-431.
- Kwaśniewski D., Mudryk K., Wróbel M.** 2006. Zbiór wierzby energetycznej przy użyciu piły łańcuchowej. *Inżynieria Rolnicza* 13(88). s. 271-278.
- Kwaśniewski D.** 2010. Koszty produkcji biomasy z upraw polowych. [w:] *Produkcja biomasy na cele energetyczne.* (red. Frączek J.) Wyd. PTIR. Kraków. ISBN 978-83-917053-8-4.
- Kwaśniewski D., Mudryk K., Wróbel M.** 2010. Zbiór i likwidacja plantacji energetycznych. [w:] *Produkcja biomasy na cele energetyczne.* (red. Frączek J.) Wyd. PTIR. Kraków. ISBN 978-83-917053-8-4.
- Kwaśniewski D.** 2011. Koszty i opłacalność produkcji biomasy z trzyletniej wierzby energetycznej. *Inżynieria Rolnicza* 1(126) Kraków. s. 145-154.
- Lisowski A. i in.** 2010. Technologie zbioru roślin energetycznych. Wydawnictwo SGGW. Warszawa. ISBN 978-83-7583-222-8.
- Michalek R., Kowalski J. i in.** 1998. Uwarunkowania technicznej rekonstrukcji rolnictwa. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej. Kraków. ISBN 83-905219-1-1.
- Pasyniuk P.** 2007. Problemy mechanizacji uprawy i zbioru wierzby krzewiastej *Salix viminalis*. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 1. s. 145 – 154.
- Stolarski M., Kisiel R., Szczukowski S., Tworowski J.** 2008. Koszty likwidacji plantacji wierzby krzewiastej. *Roczniki Nauk Rolniczych, Seria G, T. 94. z. 92.* s. 172-177.
- Stolarski M. J.** 2009. Agrotechniczne i ekonomiczne aspekty produkcji biomasy wierzby krzewiastej (*Salix spp.*) jako surowca energetycznego. Rozprawa habilitacyjna. Wyd. UWM w Olsztynie. ISBN 978-83-7299-617-6.
- Stolarkowski S., Tworowski J., Stolarski M.** 2004. Wierzba energetyczna. Plantpress, Kraków, ISBN 83-85982-86-8.

MODEL HARVEST TECHNOLOGIES AND COSTS OF BIOMASS PRODUCTION FROM THE THREE-YEAR-OLD ENERGY WILLOW

Abstract. The paper presents model technologies for harvesting biomass from the three-year-old energy willow in function of unit production costs. These technologies have been developed on the basis of studies carried out for actual willow plantations located in southern Poland. The obtained results show diversity of several factors (in particular employed harvest technology), which affect costs of biomass production from the energy willow, depending on plantations diversified in area.

Key words: energy willow, harvest technology, production costs

Adres do korespondencji:

Dariusz Kwaśniewski, e-mail: dariusz.kwasniewski@ur.krakow.pl
Instytut Inżynierii Rolniczej i Informatyki
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
ul. Balicka 116 B
30-149 Kraków