

PLON BIOMASY WIERZBY POZYSKANEJ W KRÓTKICH ROTACJACH ZBIORU NA PLANTACJI PRZEMYSŁOWEJ

STEFAN SZCZUKOWSKI, JÓZEF TWORKOWSKI, MARIUSZ STOLARSKI, WOJCIECH FORTUNA

Katedra Hodowli Roślin i Nasiennictwa, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

stefan.szczukowski@uwm.edu.pl

Synopsis. W pracy określono plon biomasy trzech odmian wierzby (Tur, Turbo, UWM-143) uprawianych na plantacji produkcyjnej na madzie średniej w pradolinie Wisły i pozyskiwanej w 1, 2, i 3-letnim cyklu zbioru. Odmiana Tur plonowała wyżej niż Turbo i UWM-143. Przy średnim zagęszczeniu 36 600 roślin·ha⁻¹ uzyskano wyższe plony biomasy wierzby przy jej zbiorze w cyklu 3-letnim i 2-letnim, niż rocznym. Odmiany Tur i Turbo dały również wysoki plon biomasy przy pozyskiwaniu co roku.

Słowa kluczowe – *key words*: wierzba – *willow*, odmiany – *cultivars*, krótkie rotacje zbioru – *short rotation harvest*, plon suchej masy – *yield of dry matter*

WSTĘP

Uprawy drzewne w krótkiej rotacji (*SRWC* – *Short-rotation woody crops*) są propagowane w Szwecji [Bergkvist i Ledin 1998], Wielkiej Brytanii [Wilkinson i in. 2007] i Stanach Zjednoczonych [Keoleian i Volk 2005] jako sposób produkowania biomasy do wytwarzania energii elektrycznej. W Polsce do tej pory próby zapewnienia przemysłowych dostaw biomasy z gruntów rolniczych kończyły się przeważnie niepowodzeniem. Jednakże potencjalny rynek na biomasę z upraw drzewnych pozostaje ważny, ponieważ Polska zobowiązała się do spełnienia warunku zaspokojenia 15 procent swego zapotrzebowania na energię elektryczną ze źródeł odnawialnych do 2020 roku. W 2009 roku 10 procent, a od 2015 roku 60 procent biomasy potrzebnej do wytworzenia energii elektrycznej będzie musiało pochodzić spoza gospodarki leśnej, a więc z zasobów rolniczych i komunalnych aby generator mógł spełniać wymagania dla otrzymania Certyfikatu Energii Odnawialnej [Dz. U. 2008 nr 156, poz. 969]. Realizacja tego gigantycznego projektu wykorzystania biomasy do wytwarzania energii elektrycznej zwiększy jej zapotrzebowanie z upraw rolniczych. Ponadto, biomasa pozyskiwana z upraw drzewnych w krótkich rotacjach jest lokalnie wykorzystywana do wytwarzania ciepła.

Do upraw drzewnych na gruntach rolniczych w Polsce należą wierzby (*Salix* spp.) oraz topola (*Populus* spp.) z których powszechniej uprawiana jest wierzba. Zrzezy na plantacjach przemysłowych w Polsce są zazwyczaj sadzone w zagęszczeniu od 10 000 do 20 000 sztuk·ha⁻¹ w podwójnych rzędach (0,75 m między poszczególnymi rzędami i 1,5 m między parami rzędów) [Szczukowski i in. 2004]. Pędy są wycinane podczas pierwszej zimy po posadzeniu w celu pobudzenia rozrostu karpki i zwiększenia liczby odrastających pędów wiosną po wznowieniu wegetacji. Zbiór pędów odbywa się w trzyletnim cyklu.

Bullard i in. [2002b], Wilkinson i in. [2007], Stolarski i in. [2008] sugerują, że plony będą wyższe, jeśli odstęp rzędów na plantacji będzie w równej odległości jeden od drugiego (co 0,75 m), jednakże to nie odpowiada aktualnym wymaganiom przemysłowego zbioru wierzby. Uwzględniając jednakże specyfikę agrarną w Polsce, dużą liczbę małych rozdrobnionych

gospodarstw, konieczne było wykonanie pracy badawczej w celu ustalenia plonu biomasy trzech odmian wierzby, rosnącej w dużym wyjściowym zagęszczeniu 40 000 sztuk zrzesów·ha⁻¹ oraz zbieranej w krótkich rotacjach przy zastosowaniu optymalnych zaleceń agronomicznych. W celu zminimalizowania wpływu szkodników i chorób na rośliny wierzby zastosowano trzy odmiany jest to szczególnie ważne, ponieważ czas eksploatacji plantacji produkcyjnej musi wynosić ponad 20 lat, aby system był ekonomicznie uzasadniony.

W pracy postawiono hipotezę, że nowe odmiany wierzby uprawiane w dużym zagęszczeniu na plantacji produkcyjnej mogą dać wysoki plon biomasy na cele energetyczne. Miejsce nasadzenia znajduje się w rejonie, w którym zlokalizowana jest elektrociepłownia na biomasę (moc 80 MW) oraz kilka ciepłowni również zasilanych biomasą.

Celem badań było określenie plonu biomasy trzech odmian wierzby uprawianej na plantacji przemysłowej i zbieranej w 1, 2 i 3-letnim cyklu.

MATERIAŁ I METODY

W trzeciej dekadzie kwietnia 2002 roku założono plantację przemysłową wierzby o powierzchni 4 ha w województwie pomorskim, powiecie Kwidzyn w pradolinie Wisły. Eksperyment założono na gruncie ornym w terenie równinnym na madzie właściwej średniej, 4 kompleksu przydatności rolniczej, klasy bonitacyjnej IIIb. Przedplonem była pszenica ozima, uprawiana w płodozmianie. Wykonano głęboką orkę zimową z pogłębiaczem. Wiosną zastosowano włókę i wykonano nasadzenia. Następnie pole zwałowano za pomocą wału pierścieniowego oraz zastosowano 23 kwietnia 2002 r. herbicyd doglebowy Azoprim 50 WP w dawce 2,5 kg·ha⁻¹. Trzy odmiany wierzby krzewiastej: Turbo, Tur, UWM-143, wysadzono ręcznie w dniach 20–22 kwietnia 2002 r. w rozstawie 0,75 m × 0,33 m, co odpowiada obsadzie 40 000 sztuk zrzesów·ha⁻¹. Każdą z odmian sadzono w odrębnej kwaterze o wymiarach 100 m × 130 m (1,30 ha). Kwatery były oddzielone drogami technologicznymi o szerokości 3 m. Pierwszy i drugi zbiór jednorocznych pędów wierzby wykonano kombajnem Class Jaguar, odpowiednio w pierwszej dekadzie lutego 2003 r. oraz w drugiej dekadzie tego miesiąca 2004 r. Nawóz mineralny wysiano w pierwszej dekadzie kwietnia w obydwu latach, w dawkach odpowiednio: N–100, P–30 i K–58 kg·ha⁻¹. W kwietniu 2004 r. w każdej kwaterze wydzielono po 3 bloki o wymiarach 44 m × 100 m i aż do końca 2006 roku ścinano odpowiednio powierzchnie roślin na plantacji (bloków), aby otrzymać odpowiednią strukturę wiekową pędów każdej z odmian wierzby.

Doświadczenie uformowano w 2006 roku. Czynnikiem pierwszym stanowiła odmiana wierzby: Turbo, Tur i UWM-143. Czynnikiem drugim stanowił zbiór pędów wierzby w cyklu: 1-rocznym, 2 i 3-letnim. Poletka o wymiarach 1,5 m × 6,66 m (10,0 m²) w czterech powtórzeniach wyznaczono losowo w każdym bloku (3×3×4 = 36 poletek w eksperymencie).

Przed zbiorem wierzby określono obsadę roślin na jednostce powierzchni, liczbę pędów na roślinie (uwzględniano pędy żywe powyżej 1,5 m) oraz na 10 roślinach na każdym poletku wykonano pomiary biometryczne: wysokość roślin, średnica pędu (mierzona 10 cm od powierzchni gleby). Pędy z poletek ścinano ręcznie w pierwszej dekadzie lutego 2007 roku (wierzbę z pozostałych powierzchni zebrano ręcznie do końca drugiej dekady). Pozyskane z każdego poletka pędy ważono z dokładnością do 1 kg. Określono plon świeżej masy. Następnie pędy rozdrobniono do postaci zrębków przy pomocy rębaka bębnowego SKORPION 120 SD. Pobrano reprezentatywne próby zrębków. W laboratorium suszono próbki drewna w temperaturze 103±2°C do stałej masy w celu określenia suchej masy drewna.

Wyniki badań opracowano statystycznie za pomocą programu STATISTICA 8,0[®]. W oparciu o analizę wariancji (ANOVA) określono istotność efektów głównych i interakcji pierwszego rzędu. Ponadto dla plonu suchej masy zastosowano test wielokrotny SNK (Studenta Newmana-Keuls), łączący średnie o podobnych wartościach w uszeregowane grupy jednorodnie przy poziomie istotności $\alpha = 0,01$. Dla badanych cech określono standardowy błąd średniej (*SEM* – *standard error of mean*).

WYNIKI I DYSKUSJA

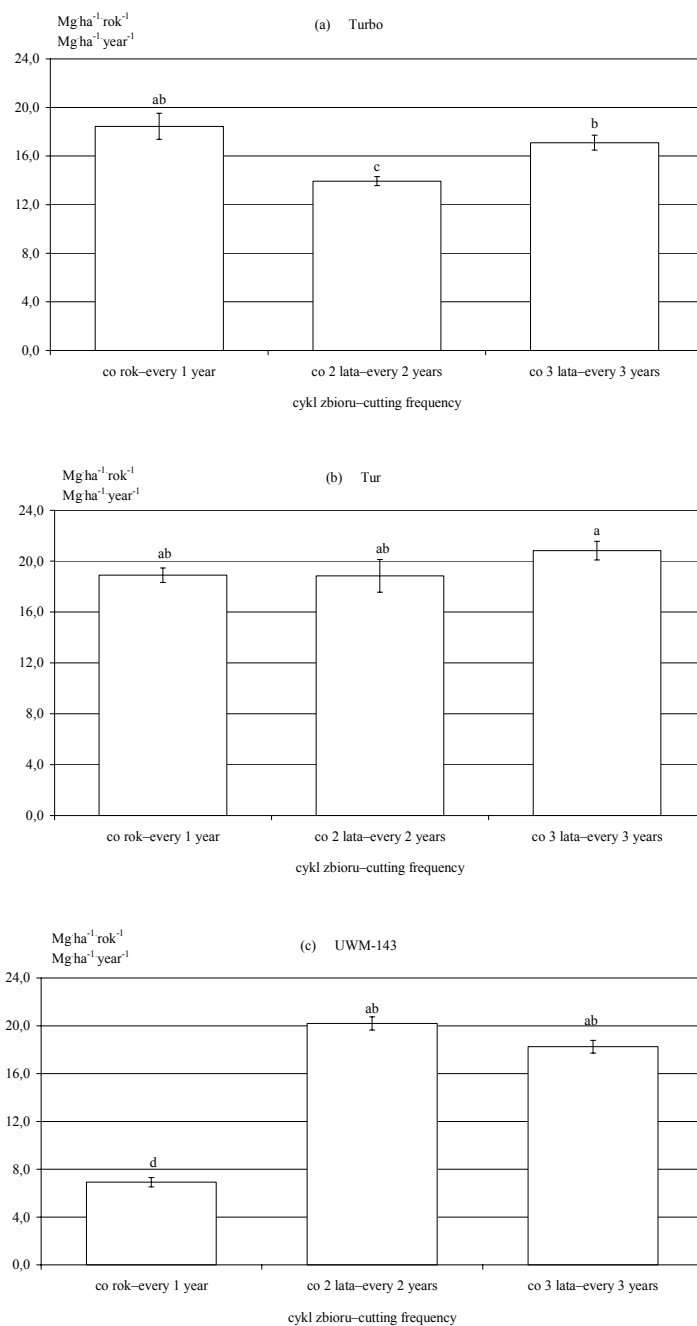
Plon świeżej masy drewna z powierzchni hektara, procent suchej masy oraz plon suchej masy drewna przedstawiono w tabeli 1. Natomiast istotność efektów głównych i interakcji pierwszego rzędu dla tych cech przedstawiono w tabeli 2. Stwierdzono istotne różnice wpływu zarówno odmiany jak i cyklu zbioru na plony świeżej masy drewna. Odmiana Turbo dała wyższe plony świeżej masy drewna niż dwie pozostałe odmiany, ponadto miała ona wyższy procent suchej masy niż pozostałe. Plony świeżej i suchej masy drewna wierzby zbliżone były przy zbiorze w cyklu 2 i 3-letnim, wyższe niż w jednorocznym cyklu zbioru. Stwierdzono ogólną tendencję wzrostu produkcji suchej masy drewna w miarę wydłużania cyklu zbioru (tab. 1).

Tabela 1. Plon świeżej i suchej masy oraz zawartość suchej masy w biomase wierzby
Table 1. Yield of fresh and dry matter and dry matter content in willow biomass

Cecha <i>Trait</i>	Odmiana <i>Cultivar</i>			Cykl zbioru <i>Cutting frequency</i>			SEM*
	Turbo	Tur	UWM-143	co rok <i>every 1 year</i>	co 2 lata <i>every 2 years</i>	co 3 lata <i>every 3 years</i>	
Plon świeżej masy <i>Yield of fresh matter</i> (Mg ha ⁻¹ rok ⁻¹)	33,6	38,6	30,6	31,1	35,6	35,6	± 1,26
Sucha masa (%) <i>Dry matter (%)</i>	49,6	50,6	48,7	47,0	49,6	52,2	± 0,72
Plon suchej masy <i>Yield of dry matter</i> (Mg ha ⁻¹ rok ⁻¹)	16,5	19,5	14,9	14,6	17,7	18,7	± 0,82

SEM* – Błąd standardowy średniej – *Standard error of mean*

Roczny plon suchej masy drewna średnio dla badanych odmian, uzyskany w 1, 2 i 3-letnim cyklu zbioru jest pokazany na rysunku 1. Odmiana Turbo dała wyższy plon niż pozostałe dwie odmiany prawie przy wszystkich cyklach zbioru. Odmiana ta dała średnio ponad 19 Mg s.m. drewna·ha⁻¹·rok⁻¹, przy czym plony zbierane w 1 i 2-letnim cyklu u tej odmiany były zbliżone, nieco niższe niż w 3-letnim cyklu zbioru. Odmiana Turbo zbierana co rok plonowała istotnie najwyżej, natomiast co 2-lata słabo. Odwrotną zależność stwierdzono u odmiany UWM-143. Rośliny tej odmiany zbierane co 2 i 3-lata dały plon zbliżony (ab) istotnie wyższy niż co rok



Rys. 1. Plon suchej masy drewna ($Mg \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$) dla trzech odmian wierzby (a) Turbo, (b) Tur, (c) UWM-143 zbieranych w 1, 2 i 3-letniej rotacji ($n = 4$, słupki błędów przedstawiają błąd standardowy średniej)

Fig. 1. Yield of wood dry matter ($Mg \cdot ha^{-1} \cdot year^{-1}$) for three willow cultivars (a) Turbo, (b) Tur, (c) UWM-143 harvested in every 1, 2 and 3 years rotation ($n = 4$, error bars are standard error of mean)

Tabela 2. Istotność efektów głównych i interakcji pierwszego rzędu
 Table 2. Significance of main effects and first order interactions

Cecha <i>Trait</i>	Odmiana <i>Cultivar</i>	Cykl zbioru <i>Cutting frequency</i>	Odmiana x Cykl zbioru <i>Cultivar x Cutting frequency</i>
Plon świeżej masy (Mg ha ⁻¹ rok ⁻¹) <i>Yield of fresh matter (Mg ha⁻¹ year⁻¹)</i>	**	**	**
Sucha masa (%) <i>Dry matter (%)</i>	**	**	**
Plon suchej masy (Mg ha ⁻¹ rok ⁻¹) <i>Yield of dry matter (Mg ha⁻¹ year⁻¹)</i>	**	**	**

**P = 0,01

(d). U odmiany UWM-143 oznaczono najniższy procent suchej masy w drewnie (48,7 %). Wraz z opóźnieniem cyklu zbioru z jednorocznego do dwuletniego i trzyletniego zawartość suchej masy w drewnie wierzby istotnie wzrastała (tab. 1).

Liczbę roślin wierzby na powierzchni hektara po pięciu latach od założenia plantacji, ubytki roślin, liczbę pędów na roślinie, wysokość roślin i średnicę pędu, przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Liczba roślin wierzby na powierzchni hektara przed zbiorem, ubytki roślin po pięciu latach od założenia plantacji, liczba pędów na jednej roślinie, wysokość roślin i średnica pędu
 Table 3. Number of willow plants before harvest, plant losses five year after plantation establishment, number of stems per plant, height and stem diameter of willow stems

Cecha <i>Trait</i>	Odmiana <i>Cultivar</i>			Cykl zbioru <i>Cutting frequency</i>			SEM*
	Turbo	Tur	UWM-143	co rok <i>every 1 year</i>	co 2 lata <i>every 2 years</i>	co 3 lata <i>every 3 years</i>	
Liczba roślin (sztuk ha ⁻¹) <i>Number of plants per ha</i>	37330	35870	36600	35830	35770	38200	± 404,5
Ubytki roślin (%) <i>Plant losses (%)</i>	6,7	10,3	8,5	10,4	10,6	4,5	± 1,01
Liczba pędów na roślinie (szt.) <i>Number of stems per plant</i>	4,2	3,5	2,2	4,6	3,3	2,0	± 0,43
Wysokość roślin (m) <i>Plant height (m)</i>	4,66	4,94	5,26	3,17	5,33	6,36	± 0,43
Średnica pędu (mm) <i>Diameter of stems (mm)</i>	16,7	16,4	22,0	11,6	17,4	26,1	± 2,05

SEM* – Błąd standardowy średniej – *Standard error of mean*

Natomiast poziomy istotności efektów głównych i interakcji pierwszego rzędu są pokazane w tabeli 4. Liczba roślin przed zbiorem wierzby wyniosła średnio 36 600 sztuk·ha⁻¹. Ubytki wierzby po pięcioletnim okresie trwania plantacji wyniosły średnio 8,5%, nieco wyższe były u odmiany Tur niż u dwu pozostałych odmian.

Tabela 4. Istotność efektów głównych i interakcji pierwszego rzędu
Table 4. Significance of main effects and first order interactions

Cecha <i>Trait</i>	Odmiana <i>Cultivar</i>	Cykl zbioru <i>Cutting frequency</i>	Odmiana x Cykl zbioru <i>Cultivar x Cutting frequency</i>
Liczba roślin (sztuk·ha ⁻¹) <i>Number of plants per ha</i>	NS	*	NS
Liczba pędów na roślinie (szt.) <i>Number of stems per plant</i>	**	**	**
Wysokość roślin (m) <i>Plant height (m)</i>	**	**	**
Średnica pędu (mm) <i>Diameter of stems (mm)</i>	**	**	**

NS – czynnik nieistotny – *factor non significant*

* P = 0,05

** P = 0,01

Liczba pędów na jednej roślinie najwyższa była u odmiany Turbo. Małała ona istotnie wraz z opóźnieniem cyklu od jednorocznego do dwuletniego i trzyletniego zbioru wierzby. Wysokość roślin wierzby najwyższa była u odmiany UWM-143. Rośliny wierzby zbierane w cyklu 3-letnim były ponad dwukrotnie wyższe niż w cyklu jednorocznym. Średnica pędu u odmiany Turbo i Tur była zbliżona istotnie niższa niż u odmiany UWM-143. Pędy były najgrubsze, gdy je pozyskiwano w 3-letnim cyklu zbioru.

W roku założenia plantacji (2002 r.) rośliny wierzby były wolne od chorób i szkodników. Natomiast już w następnym okresie wegetacji w III dekadzie maja i II dekadzie sierpnia 2003 r. na odmianach Turbo, Tur, UWM-143 pojawiły się żerujące w stożkach wzrostu pędów larwy niekreślanki wierzbowki (*Earias chlorana* L.). Objawy żerowania larw tego gatunku pojawiały się systematycznie w tych samych terminach w latach następnych prowadzenia badań. Dodatkowo na przełomie czerwca i lipca 2004 r. szczególnie u odmiany Turbo obserwowano porażenie roślin przez przyszczarka liściowca (*Dasyneura marginemtorquens* Winn.). W II dekadzie września 2006 r. pojawiła się na roślinach wszystkich trzech odmian choć z różnym nasileniem mszyca wierzbowy pniowa (*Pterocomma salicis*). Przy dużym nasileniu jej występowania możliwe jest usychanie pędów, a nawet wypadanie całych roślin.

Na plantacji produkcyjnej założonej na madzie właściwej średniej w pradolinie Wisły, uzyskano bardzo wysokie plony wierzby. Nowa odmiana wierzby Tur wysadzona w dużym zagęszczeniu 40 000 sztuk roślin·ha⁻¹ przewyższała plonem pozostałe dwie odmiany. W cyklu 1-rocznym i 2-letnim dała zbliżony plon, ponad 18 Mg suchej masy·ha⁻¹·rok⁻¹, natomiast w cyklu 3-letnim plon wyniósł prawie 21 Mg suchej masy·ha⁻¹·rok⁻¹. Odmiana UWM-143 zbie-

rana w cyklu 2-letnim dała również plon powyżej 20 Mg suchej masy·ha⁻¹·rok⁻¹, natomiast zbierana w cyklu jednorocznym plonowała bardzo nisko. Odmiany Tur i Turbo dały również wysoki plon przy pozyskiwaniu ich co rok. Wyniki te mogą być interesujące dla rolników z małych powierzchniowo gospodarstw, którzy zainteresowani są corocznym zbiorem wierzby i ekwiwalentem za dostarczoną biomasę do końcowego odbiorcy [Szczukowski i in. 2005].

Przeciętne plony na plantacjach przemysłowych wierzby w Wielkiej Brytanii w krótkich rotacjach (SRWC), uprawianej w konfiguracji dwurzędowej i zagęszczeniu 10 000 sztuk roślin·ha⁻¹ wynoszą od 6 do 10 Mg suchej masy·ha⁻¹·rok⁻¹ [Bullard i in. 2002a]. Jednakże są tam dostępne już nowe odmiany wierzby plonujące znacznie powyżej 10 Mg suchej masy·ha⁻¹·rok⁻¹ [Powlson i in. 2005].

Wyniki eksperymentu przeprowadzonego w Long Ashton (Wielka Brytania) wykazały, że odmiana Ashton Stott jest najbardziej wydajną z rocznymi przyrostami 15,4 Mg suchej masy·ha⁻¹·rok⁻¹. Wyniki te osiągnięto w konfiguracji dwurzędowej przy gęstości nasadzenia wynoszącej 20 000 roślin·ha⁻¹ [Lindegaard i in. 2001].

Wyniki uzyskane na plantacjach przemysłowych w północnej Anglii, potwierdzają to również, że wyższe gęstości nasadzeń są bardziej produktywne [Wilkinson i in. 2007]. Przy uwzględnieniu procedur agronomicznych utrzymanych na minimalnym poziomie w porównaniu do zabiegów stosowanych na poletkach doświadczalnych wskazują, że plon odmiany Ashton Stott zbieranej w cyklu trzyletnim w porównaniu z innymi testowanymi odmianami był najwyższy, przekroczył 10 Mg suchej masy·ha⁻¹·rok⁻¹. Uprawa była prowadzona w konfiguracji dwurzędowej z 1,5 m odstępem między nimi. Autorzy sugerują, że plony prawdopodobnie będą wyższe jeśli odstęp rzędów na plantacji będzie w równej odległości jeden od drugiego (co 0,75 m), jednakże to nie odpowiada aktualnym wymaganiom przemysłowego zbioru wierzby [Bullard i in. 2002b].

Pomimo wcześniejszych sugestii, że przeliczane na rok plony są wyższe przy dłuższych okresach zbiorów [Willebrand i in. 1993], inni badacze stwierdzili wyższe roczne przyrosty plonowania przy krótszych odstępach czasu między zbiorami. Na przykład, przeliczane na rok plony ze zbiorów dokonywanych co dwa lata w Wielkiej Brytanii okazały się wyższe, niż liczone na rok plony ze zbiorów dokonywanych co trzy lata dla dwóch różnych odmian wierzby [Bullard i in. 2002a]. W badaniach tych zastosowano ponadto pięć różnych gęstości nasadzeń (od 10 000 do 110 000 roślin·ha⁻¹), wyższe roczne plony uzyskano przy większej gęstości nasadzenia. Ale, jeśli uzyskuje się tylko małe przyrosty plonów biomasy wierzby z zwiększeniem gęstości nasadzeń, to zwiększony przychód ze wzrostu plonu będzie zniwelowany przez zwiększony koszt materiału sadzeniowego.

Uzyskane wyniki własne wskazują, że istnieje duża potencjalna możliwość poprawienia plonowania wierzby w Polsce na plantacjach przemysłowych. Uzyskany plon 18 Mg suchej masy·ha⁻¹·rok⁻¹ u odmiany Tur przy gęstości, średnio 36 600 roślin·ha⁻¹ w optymalnym stanowisku, wysokim nawożeniu mineralnym i przy ręcznym zbiorze pędów dokumentuje aktualne możliwości plonowania tego gatunku, ale nie może być uogólniany i przenoszony bezkrytycznie do innych warunków siedliska.

W badaniach własnych badane odmiany wierzby rosące przy średnim zagęszczeniu 36 600 roślin·ha⁻¹ wykształciły pięć produktywnych łodyg w cyklu rocznym a w cyklu 3 letnim dwie łodygi, a więc całkowita ich ilość na powierzchni hektara wynosiła odpowiednio 183 000 i 73 000 sztuk. Łodyga pozyskana w cyklu rocznym miała wysokość ponad 3 m i średnicę mierzoną u jej nasady około 12 milimetrów, natomiast łodygi zbierane co 3-lata były ponad dwukrotnie wyższe i grubsze. Wykazano, że badane odmiany rosące w dużym zagęszczeniu i w 2- i 3-letnim cyklu wykazywały skłonność do samo zacielenia. Niektóre pędy zamierały w wyniku samoregulacji, ale nieliczne, które pozostały osiągały znaczną wysokość i średnicę.

Odmiana UWM-143 rosnąca przy średnim zagęszczeniu około 36 600 roślin·ha⁻¹ w porównaniu do dwu pozostałych odmian dała rośliny wyższe o większej średnicy łodyg, ale o mniejszej ich liczbie z karpy, co sugeruje możliwość jej zbioru w cyklu 2 i 3-letnim. W badaniach z sześcioma odmianami wierzby w Long Ashton rosnącymi w konfiguracji dwurzędowej, te odmiany, które dawały wyższe plony miały większe średnice łodyg i były one wyższe niż niższe plonujące odmiany [Robinson i in. 2004].

Willebrand i in. [1993] wykazali, że w eksperymencie prowadzonym w Szwecji nasadzenia w konfiguracji dwu rzędowej z odstępem 1,5 m między nimi i zagęszczeniu 10 000 roślin ha⁻¹ dały podobne plony biomasy wierzby jak stanowiska gęściej nasadzone. Jednakże wyniki uzyskane na plantacjach przemysłowych w północnej Anglii wskazują, że nowe odmiany wierzby w wyższych gęstościach nasadzeń 20 000 a nawet 25 000 sztuk zrzesów·ha⁻¹ są bardziej produktywnie niż przy 10 000 sztuk zrzesów·ha⁻¹ [Wilkinson i in. 2007].

W badaniach własnych wykazano, że wierzba zbierana co roku ma imponującą obsadę łodyg o korzystnych cechach biometrycznych, które warunkują bardzo wysoki plon biomasy. Dwie odmiany Tur i Turbo wydają się być przydatne do pozyskiwania biomasy w cyklu co rocznym. A więc aktualne zalecenia, odnośnie gęstości sadzenia i długości rotacji mogą wymagać rewizji, ponieważ nowe, wprowadzone odmiany dają duże zagęszczenie łanu i wysoki plon biomasy, gdy są pozyskiwane co roku.

Odmiany Turbo, Tur, UWM-143 były zasiedlane choć w różnym stopniu przez szkodniki *Earias chlorana* L., *Dasyneura marginemtorquens* Winn. oraz *Pterocomma salicis*, ale ich stopień porażenia nie przekroczył progu szkodliwości, dlatego nie stosowano zabiegów ochronnych na plantacji.

Czynnikiem warunkującym plon suchej masy wierzby jest zawartość wody w zbieranych pędach. W przeprowadzonym eksperymencie odmiana Tur miała wyższą procentową zawartość suchej masy w drewnie niż dwie pozostałe odmiany. Jest to istotna informacja dla prowadzenia dalszych prac hodowlanych, których celem jest między innymi zredukowanie zawartości wody w drewnie zbieranych pędów. Opóźnianie cyklu zbioru wierzby z 1-rocznego do 2-letniego i 3-letniego, skutkowało wzrostem procentowej zawartości suchej masy w zbieranych pędach wierzby. Różnica w zawartości suchej masy w pędach 3-letnich i jednorocznych wyniosła średnio nieco ponad 5 procent.

WNIOSKI

1. Na plantacji przemysłowej w północnej Polsce na glebie aluwialnej w pradolinie Wisły, przy zagęszczeniu roślin 36 600 sztuk·ha⁻¹ można uzyskać wyższe plony biomasy wierzby przy jej zbiorze w rotacji 3-letniej niż 2-letniej i corocznej.
2. Odmiana Tur była bardziej wydajna niż Turbo i UWM-143. Po zastosowaniu właściwych zabiegów agrotechnicznych dała ona bardzo wysoki plon, ponad 20 Mg suchej masy·ha⁻¹·rok⁻¹, przy pozyskaniu jej w 3-letniej rotacji.
3. Odmiany Tur i Turbo dały również wysokie plony przy pozyskiwaniu ich w cyklu corocznym (ponad 18 Mg suchej masy·ha⁻¹·rok⁻¹).
4. Odmiany wierzby rosnące przy średnim zagęszczeniu 36 600 roślin·ha⁻¹ wykształciły w cyklu rocznym na powierzchni 1 hektara 183 000 sztuk produktywnych łodyg o wysokości ponad 3 m a w cyklu 3 letnim 73 000 sztuk dwukrotnie wyższych pędów.
5. W 1-rocznej rotacji uprawy wierzby, gdy rośliny będą zasiedlone w okresie wegetacji przez szkodniki lub choroby istnieje możliwość ich pełnej kontroli i ograniczenia, natomiast na roślinach 2- i 3-letnich zabiegi ochronne są praktycznie nie możliwe do wykonania.

PIŚMIENNICTWO

- Bergkvist P., Ledin S. 1998. Stem biomass yields at different planting designs and spacings in willow coppice systems. *Biomass Bioenerg.* 14: 149–186.
- Bullard M.J., Mustill S.J., McMillan S.D., Nixon P.M.I., Carver P., Britt C.P. 2002a. Yield improvements through modification of planting density and harvest frequency in short rotation coppice *Salix* spp.-1. Yield response in two morphologically diverse varieties. *Biomass Bioenerg.* 22: 15–25.
- Bullard M.J., Mustill S.J., Carver P., Nixon P.M.I. 2002b. Yield improvements through modification of planting density and harvest frequency in short rotation coppice *Salix* spp.-2. Resource capture and use in two morphologically diverse varieties. *Biomass Bioenerg.* 22: 27–39.
- Dz. U. nr 156, poz. 969. Rozporządzenie Ministra gospodarki z 14 sierpnia 2008 roku 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.
- Keoleian G.A., Volk T.A. 2005. Renewable energy from willow biomass crops: Life cycle energy, environmental and economic performance. *Crit. Rev. Plant Sci.* 24: 385–406.
- Lindegaard K.N., Parfitt R.I., Donaldson G., Hunter T., Dawson W.M., Forbes E.G.A. 2001. Comparative trials of elite Swedish and UK biomass willow varieties. *Asp. Appl. Biol.* 65: 183–192.
- Powelson D.S., Rich A., Shield I. 2005. Biofuels and other approaches for decreasing fossil fuel emissions from agriculture. *Ann. Appl. Biol.* 146: 193–201.
- Robinson K.M., Karp A., Taylor G. 2004. Defining leaf traits linked to yield in short-rotation coppice *Salix*. *Biomass Bioenerg.* 26: 417–431.
- Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski J., Klasa A. 2008. Productivity of seven clones of willow coppice in annual and quadrennial cutting cycles. *Biomass Bioenerg.* 32: 1227–1234.
- Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M. 2004. Wierzba energetyczna. Plantpress. Kraków, ss. 46.
- Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M., Grzelczyk M. 2005. Produktivność wierzby krzewiastych pozyskiwanych w jednorocznych cyklach zbioru. *Acta Sci. Pol., Agricultura.* 4(1): 141–151.
- Wilkinson J.M., Evans E.J., Bilsborrow P.E., Wright C., Hewison W.O., Pilbeam D.J. 2007. Yield of willow cultivars at different planting densities in a commercial short rotation coppice in the north of England. *Biomass Bioenerg.* 31: 469–474.
- Willebrand E., Ledin S., Verwijst T. 1993. Willow coppice systems in short rotation forestry: effects of plant spacing, rotation length and clonal composition on biomass production. *Biomass Bioenerg.* 4: 323–331.

S. SZCZUKOWSKI, J. TWORKOWSKI, M. STOLARSKI, W. FORTUNA

**THE WILLOW BIOMASS YIELD OBTAINED IN SHORT HARVEST ROTATION
ON AN INDUSTRIAL PLANTATION**

Summary

The productivity of fresh and dry biomass of three willow cultivars: Turbo, Tur, UWM-143 has been compared on a production plantation, established on medium-heavy alluvial soil, with the initial density of 40 000 plants per ha (spacing 0.75 x 0.33 m); the plants were obtained in an annual, 2-year and 3-year harvest cycle.

Higher yield of dry matter of willow wood was obtained in its 2-year and 3-year harvest cycles than in annual harvest. The Tur cultivar was more productive than Turbo and UWM-143. At a very good site, with optimal fertilisation and proper agricultural procedures, it yielded over 20 Mg of dry matter per ha per year when harvested in a 3-year rotation cycle. The Tur and Turbo cultivars also had

a high yield when harvested in an annual cycle (over 18 Mg of dry matter per ha per year). The wood of Tur cultivar contained a higher percentage of dry matter than the other two. Extending the harvest cycle from 1 year to 2 and 3 years resulted in an increase in the dry matter content in wood. The willow cultivars produced in an annual cycle averaged over 183 thousand productive stems per hectare, with height over 3 m and diameter of 12 mm, while in a 3-year cycle the plants produced 73 thousand productive stems per hectare with twice higher and thicker stems.

An annual willow harvest may be preferable in Poland, mainly in small privately owned farms of a few hectares. This creates the opportunity of obtaining solid fuel for local heat producing plants from agricultural land. It also makes it possible for a farmer to receive an annual equivalent for the supplied energy-yielding material. Willow cultivation in annual cycles will make it easier to control weeding, mineral fertilisation as well as to control diseases and pests. It will also make it possible to harvest the willow wood with the existing equipment owned by the farmer, after minor adaptations.