

Kazimierz ZAJĄCZKOWSKI*

PRODUKCYJNOŚĆ WYBRANYCH ODMIAN WIERZB KRZEWIASTYCH NA DOŚWIADCZALNYCH PLANTACJACH O SKRÓCONYM CYKLU

BIOMASS PRODUCTIVITY OF THE SELECTED WILLOW VARIETIES
FOR SHORT-ROTATION COPPICE IN EXPERIMENTAL PLANTATIONS

***Abstract.** Biomass productivity of 4 varieties of short-rotation willow coppice in the first two rotations (2 + 3 years) was analysed in 2 experimental plantations. It was demonstrated that site conditions had the greatest impact on woody biomass production. The average annual production of the analysed willow varieties in the first two rotations was 3.5 times greater than the production in the identical experiment with willows grown on sandy alluvial soils and very light alluvial soils containing loose sands in the subsoil. The average annual above-ground biomass production of *Salix viminalis* 'ORM' showing the best increment was 8.5 tonnes of dry biomass per hectare. In addition, the growth parameters of 10 willow varieties during two three-year rotation cycles were compared in two other experimental plantations. Under Polish natural conditions five of them can be recommended for short-rotation coppice production. These are: *S. purpurea* var. 'Piaskówka', clones *S. viminalis*: 'Stipularis', 'Tenuifolia' and 'Reinifenwardii' from the collection of Agricultural University in Poznań, as well as 'ORM' – a clone selected in Sweden to be grown in energy plantations.*

***Key words:** energy plantation, short-rotation willow coppice, biomass production.*

* Instytut Badawczy Leśnictwa. Zakład Genetyki i Fizjologii Drzew Leśnych, ul Bitwy Warszawskiej 1920 Roku, nr 3, 00-973 Warszawa, e-mail: K.Zajaczkowski@ibles.waw.pl

1. WSTĘP

W zatwierdzonej przez Sejm 23 sierpnia 2001 r. „Strategii rozwoju energii odnawialnej” przewiduje się zwiększenie udziału energii ze źródeł odnawialnych w bilansie paliwowo-energetycznym kraju z 4,5% w 2001 r. do 7,5% w 2010 r. i do 14% w 2020 r. Polska, wstępując do Unii Europejskiej, zobowiązała się osiągnąć 7,7-procentowy udział energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii w krajowym zużyciu energii elektrycznej brutto w 2010 r., z czego co najmniej 4% powinno pochodzić ze współspalania biomasy. Zakłada się, że zdecydowaną większość tego paliwa będzie stanowiło drewno opałowe z lasu (ok. 3 mln m³) i z plantacji energetycznych (ok. 7–9 mln m³), na założenie których należałoby przeznaczyć 200–300 tys. ha gruntów rolnych (Wiśniewski 2004).

Plantacjami energetycznymi nazywane są intensywnie prowadzone odroślowe plantacje drzew szybko rosnących, zakładane w celu szybkiego uzyskania dużych ilości drewna energetycznego. W plantacjach tych stosuje się bardzo duże zagęszczenia (do 20 000, a nawet więcej roślin na 1 ha) oraz skrócone 1–5(10)-letnie cykle produkcyjne. Surowcem uzyskiwanym z plantacji o skróconym cyklu jest drewno drobnowymiarowe. Plantacje energetyczne w Polsce to niemal wyłącznie plantacje specjalnie wyselekcjonowanych odmian wierzb krzewiastych. Decyzja o przeznaczeniu pod uprawę wierzby kilkuset tys. ha gruntów ornych powinna być poprzedzona wnikliwą analizą ekonomiczną. Nie można jej jednak dobrze przeprowadzić bez znajomości produkcyjnych możliwości uprawianych odmian.

Na początku lat 80. ubiegłego wieku, kiedy na większą skalę rozpoczynano uprawę gatunków szybko rosnących w skróconym cyklu, spodziewano się, na podstawie wyników doświadczeń polowych, znacznie większych niż osiągane obecnie, plonów. Na przykład Szwedzi w 1981 r. przewidywali, że uzyskiwać będą rocznie 20 t suchej masy (s.m.) drewna wierzbowego z 1 ha gruntów porolnych i 15 t na glebach bagiennych (Eden 1981). Z kolei Muhs (1984) z Niemiec prognozował w 1984 r., że za 20 lat rozwój selekcji umożliwi uzyskiwanie 15 t s.m./ha/rok. W latach 90-tych możliwości produkcyjne plantacji wierzbowych w centralnej i południowej Szwecji oceniano już tylko na 10–12 t s.m./ha/rok (Christersson 1996). W praktyce gospodarczej plony te były jednak jeszcze mniejsze. Larsson i Lindegaard (2003) podają, że średnie plony biomasy wierzbowej pozyskanej w Szwecji w zimie 2002/03 z około 500 plantacji o łącznej powierzchni ok. 2 500 ha kształtowały się w granicach zaledwie 4–5 t s.m./ha. Autorzy ci zaznaczają jednak, że na plantacjach nawożonych i niezachwaszczonych możliwe jest uzyskiwanie plonu większego niż 10 t s.m./ha rocznie. W Wielkiej Brytanii możliwości produkcyjne wierzb uprawianych w krótkim cyklu oceniane są na 7–12 t s.m./ha/rok (DEFRA 2002), ale Taylor i in. (2001) podają, że bieżące plony na gospodarczych plantacjach w tym kraju kształtują się na poziomie 7–10 t s.m./ha/rok. W Danii, według danych z 1996 r., z plantacji wierzbowych uzyskiwano średnio 7–8 t s.m./ha/rok rocznie, a w Irlandii zaledwie 5 t (Luger 2002). Przeprowadzona przez Mitchella i in. (1999) analiza szerokiego zakresu danych z

polowych prób w Europie i Ameryce Płn. wykazała, że średnie poziomy rocznej produktywności mieszczą się w przedziale 2,2–13,5 t s.m./ha.

W Polsce prekursorem badań nad plonowaniem wierzb w plantacjach o krótkim cyklu był K. Staffa z Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, który w 1950 r. opracował program prac badawczych nad szybko rosnącymi wierzpbami jako surowcem dla przemysłu celulozowo-papierniczego (1965a). W 1956 r. w ramach realizacji tego programu założono w Sadłowicach k. Puław 3 ha plantacji doświadczalnych z 70 odmianami wierzb drzewiastych i krzewiastych, wyselekcjonowanych na podstawie pomiarów pędów spośród 300 odmian zgromadzonych przez IHAR w kolekcji wierzb w Sadłowicach. W doświadczeniu założonym w więźbie 0,75×0,40 m w dolinie Wisły na madzie napływowej plon 3-letnich pędów wierzbowych 11 najlepszych odmian wyniósł od 68 do 86 t/ha świeżej masy (Staffa 1965b), co odpowiada ok. 11–14 t s.m./ha/rok.

Pierwsze w Polsce od czasu doświadczeń Staffy (1965ab) prace badawcze nad wyróżnieniem klonów wierzby i topoli do uprawy w krótkich cyklach podjęto w 1986 r. w AR w Poznaniu. Jednakże już w 1989 r. badania te zostały przerwane, gdyż na skutek niskiej zasobności siedliska i niekorzystnych warunków wilgotnościowych na powierzchniach doświadczalnych uzyskano bardzo słabe wyniki produkcyjne. Później badania dotyczące plantacji energetycznych wierzby rozpoczęto na Akademii Rolniczo-Technicznej w Olsztynie (obecnie Uniwersytet Warmińsko-Mazurski). W ramach tych badań, Szczukowski i Tworowski (2001) przeprowadzili w latach 1996–1999 doświadczenia polowe na różnych typach gleb w pradolinie Wisły. Plon suchej masy drewna 6 klonów wierzb *Salix viminalis* rosnących na madzie ciężkiej wynosił średnio 17,41 t/ha/rok a *S. viminalis* var. *gigantea* na glebie mułowo-murszowej – 15,62 t/ha/rok. Szczukowski i Budny (2003) uważają, że w warunkach Polski z 1 ha plantacji wierzbowej można uzyskać 10–15 t s.m. drewna. Podobną wielkość plonu biomasy wierzbowej bierze się także często pod uwagę przy ocenie możliwości produkcji drewna energetycznego w skali całego kraju (Płotkowski i Szabla 2003).

W Instytucie Badawczym Leśnictwa badania dotyczące uprawy topoli i wierzby w skróconym cyklu podjęto w 1993 r., w ramach zleconego przez Dyрекcyję Generalną Lasów Państwowych tematu BLP-622: „Produkcyjne możliwości wybranych odmian topoli i wierzby w plantacjach o skróconym cyklu (2–5 lat)”. Realizowano go w Zakładzie Genetyki i Fizjologii Drzew Leśnych w 3 odrębnych, lecz równolegle prowadzonych etapach:

- I. Produkcyjność przydatnych do uprawy w skróconym cyklu dostępnych w Polsce odmian topoli i wierzby;
- II. Dobór odmian topoli i wierzby do uprawy w skróconym cyklu;
- III. Określenie optymalnych nawrotów cięć wybranych odmian topoli i wierzby w plantacjach o skróconym cyklu.

Wyniki badań przeprowadzonych na 12 plantacjach doświadczalnych przekazano w 2001 r. zleceniodawcy w formie sprawozdania naukowego (Zającz-

kowski i in. 2001). W niniejszej pracy* przedstawiono wyniki doświadczeń nad produktywnością 4 odmian wierzby w 2 pierwszych cyklach produkcyjnych (1994–1996 i 1997–1999) na 2 plantacjach założonych w odmiennych warunkach siedliskowych w nadleśnictwach Brzeg i Kutno (etap I) oraz wyniki dwu 6-letnich doświadczeń porównawczych z 10 odmianami wierzby, założonych w 1995 r. w tych samych nadleśnictwach (etap II).

Podstawowymi celami relacjonowanych tu badań były: określenie produkcyjnych możliwości wybranych odmian wierzb krzewiastych, uprawianych w plantacjach o skróconym cyklu w różnych warunkach siedliskowych, oraz wstępna ocena przydatności niektórych odmian do stosowania w takich plantacjach.

2. TEREN BADAŃ, MATERIAŁ I METODY

2.1. Lokalizacja plantacji doświadczalnych oraz warunki glebowe

Plantacje doświadczalne założono na terenie nadleśnictw Brzeg (RDLP Katowice) oraz Kutno (RDLP Łódź).

W Nadleśnictwie Brzeg plantacje zostały założone w szkółce zadrzewieniowej w Prędocinie, położonej za wałem przeciwpowodziowym na terenie zalewowym rzeki Odry, na gruncie użytkowanym dotychczas do produkcji sadzonek.

Według mapy glebowej tych powierzchni, opracowanej przez Z. Czerwińskiego, W. Kwasowskiego i J. Pracza, cechą charakterystyczną gleb na plantacji założonej w ramach badań nad produktywnością wierzb (etap I) było duże zróżnicowanie granulometryczne pionowe i przestrzenne. Były to słabo próchniczne mady rzeczne właściwe, przeważnie lekkie i bardzo lekkie oraz, fragmentami, piaszczyste i średnie pyłowe. Pod powierzchnią warstwą o miąższości ok. 30 cm w wielu miejscach występował piasek luźny, zalegający do głębokości 55–70 cm, a pod nim do głębokości 150 cm materiał aluwialny cięższy (gliny lekkie przechodzące w gliny ciężkie, pył ilasty, gliny średnie pylaste). Odczyn warstwy powierzchniowej (A_p) był zróżnicowany: kwaśny, słabokwaśny i obojętny (pH w KCl od 4,7 do 6,6). Głębsze warstwy charakteryzowały się odczynem silnie kwaśnym lub słabo kwaśnym. Według klasyfikacji bonitacyjnej gleb ornych są to przeważnie gleby klasy IVa i IVb.

Doświadczenie odmianowe (etap II) założone zostało na madzie bardzo lekkiej, na której pod powierzchnią warstwą występował do głębokości 55 cm piasek luźny, a pod nim – do głębokości ok. 90 cm, glina lekka, przechodząca głębiej w glinę ciężką. Odczyn poziomu A_p był kwaśny, a głębszych warstw kwaśny lub silnie kwaśny. Są to grunty IVb klasy bonitacji rolniczej.

* Tezy pracy zostały zaprezentowane w formie referatu na konferencji naukowej p.t.: „Rola hodowli lasu w zachowaniu różnorodności biologicznej”, zorganizowanej w dniach 27–29.09.2004 r. przez Katedrę Hodowli Lasu AR w Poznaniu.

Plantacje doświadczalne w Nadleśnictwie Kutno założono na gruncie polnym w szkółce zadrzewieniowej w Chrośnie. Według mapy opracowanej przez Z. Czerwińskiego i W. Kwasowskiego, były to gleby opadowo-glejowe, utworzone z gliny zwałowej lekkiej. Poziom orno-próchniczny miał skład granulometryczny piasku gliniastego mocnego. Poziomy powierzchniowe były słabo próchniczne. Odczyn poziomu A_p był silnie kwaśny lub kwaśny (pH w KCl od 4,1 do 5,4), w warstwach głębszych natomiast od kwaśnego do obojętnego (pH od 4,9 do 7,0). Są to grunty klasy IIIa, a w części charakteryzującej się kwaśnym odczynem podłoża – IIIb.

2.2. Materiał

W latach 1994–1995, gdy zakładano pierwsze plantacje doświadczalne, współcześnie uprawiane w plantacjach energetycznych odmiany wierzb nie były jeszcze w Polsce w pełni dostępne. Aby nie opóźnić terminu rozpoczęcia badań, zdecydowano się założyć doświadczenia z odmianami uprawianymi w gospodarczych plantacjach wikliny oraz ze znajdującymi się w „Kolekcji im. J. Białoboka” w Nadleśnictwie Doświadczalnym AR w Poznaniu – Zielonka. Wyboru spośród 187 odmian wysadzonych w „Kolekcji” dokonał Drogoszewski (1993) na podstawie wymiarów prętów oraz trwałości karp matecznych. Dwie odmiany wierzby sprowadzono z zagranicy (Dania).

W etapie I badaniami objęto następujące odmiany:

1. *Salix viminalis* × *purpurea* 'Kierksii' – kl. 5,
2. 'Piaskówka' (*S. purpurea* ?),
3. *Salix viminalis* 'ORM',
4. *Salix viminalis* '683'.

Mieszaniec wierzby *S. viminalis* × *purpurea* 'Kierksii' wywodzi się z „Kolekcji im. J. Białoboka”, natomiast 'Piaskówka' uprawiana jest na gospodarczych plantacjach wierzb koszykarskich. Według Frankowskiego i in. (1961) nazwa 'Piaskówka' stanowi odpowiednik łacińskiej nazwy *Salix purpurea* L. Odmiany 'ORM' i '683' są klonami wierzby wiciowej (*S. viminalis* L.), wyselekcjonowanymi w Instytucie Badawczym Svalöf Weibul AB w Szwecji, specjalnie dla potrzeb plantacji energetycznych.

W etapie II badano:

1. *Salix purpurea* L. 'Helix pyramidalis',
2. *Salix triandra* L. 'Grisette noire',
3. *Salix viminalis* L. 'Lutescens',
4. *Salix viminalis* L. 'ORM',
5. *Salix viminalis* L. 'Reifenwardii',
6. *Salix viminalis* L. 'Stipularis',
7. *Salix viminalis* L. 'Tenuifolia',
8. *Salix viminalis* L. '683',
9. *Salix viminalis* L. 'Gallica' × *purpurea* 'Kierksii', kl. 5,
10. 'Piaskówka' (*S. purpurea* ?).

Zestaw badanych w tym doświadczeniu wierzb, oprócz 4 stanowiących przedmiot badań w etapie I, obejmuje 6 innych odmian pochodzących z „Kolekcji im. J. Białoboka”.

Materiał sadzeniowy użyty do założenia doświadczeń stanowiły zrzezy zdrewniałe o długości 18–22 cm i średnicy w cieńszym końcu 5–15 mm. Sprowadzone z Danii zrzezy odmian 'ORM' i '683' były grubsze, ich średnica mierzona w środku długości wynosiła 8–20 mm. Cięcia górne i dolne importowanych zrzezów były zabezpieczone powłoką z wosku, chroniącą zrzezy przed wysuszeniem.

2.3. Układ doświadczeń

Obydwa doświadczenia założono w układzie bloków losowych.

W doświadczeniach założonych w ramach badań nad produktywnością wybranych odmian wierzb w plantacjach o skróconym cyklu (etap I) zastosowano 5 powtórzeń (bloków) każdego wariantu doświadczenia. Warianty w każdym bloku stanowiły działki z 4 odmianami wierzb. Na każdej działce wysadzono po 90 zrzezów zdrewniałych danej odmiany w więźbie 1,50×0,75 m (9 rzędów co 1,5 m po 10 zrzezów w rzędzie co 0,75 m), czyli 8 889 szt./ha. Po 2 skrajne rzędy z obu stron działki oraz 2 pierwsze i 2 ostatnie sadzonki w rzędach potraktowano jako pasy izolacyjne. Pomiarami i obserwacjami dla celów doświadczalnych objęto zatem tylko 30 roślin wyrosłych w środkowej części działki, nazywanej dalej działką ściśle doświadczalną (pow. 33,7 m²).

W doświadczeniach założonych w ramach badań nad doborem odmian wierzb do uprawy w skróconym cyklu (etap II) zastosowano 10 powtórzeń (bloków), po 10 wariantów (odmian) w każdym powtórzeniu. Każda odmiana była w bloku wysadzona w osobnym rzędzie, po 6 zrzezów co 0,75 m w Brzegu i po 10 zrzezów co 0,5 m w Kutnie. Na obu plantacjach rzędy odległe były od siebie o 1,5 m. Poszczególne bloki były otoczone rzędami izolacyjnymi z roślin niebranych pod uwagę w obliczeniach.

Każda z odmianowych powierzchni doświadczalnych składała się z 2 części, stanowiących w zasadzie osobne doświadczenia. Na części A (powtórzenia I–V) stosowany był 3-letni cykl użytkowania biomasy, a w części B (powtórzenia VI–X) – 6-letni.

2.4. Założenie i prowadzenie plantacji doświadczalnych

2.4.1. Plantacje założone w ramach badań nad produktywnością wybranych odmian wierzb (etap I)

Glebę na powierzchniach przeznaczonych do założenia plantacji doświadczalnych przygotowano wykonując głęboką orkę: w Kutnie w jesieni 1993 r., w Brzegu na wiosnę 1994 r. Na wiosnę 1994 r. glebę na obu powierzchniach wyrównano i w końcu kwietnia, po wyznaczeniu więźby, posadzono zrzezy.

W lecie na obu plantacjach prowadzono spulchnianie i ręczne odchwaszczanie gleby. W Kutnie pierwsze zabiegi pielęgnacyjne przeprowadzono z opóźnieniem, dopiero w II połowie czerwca. W tym czasie rozpoczął się w Polsce okres długotrwałej suszy. Aby zmniejszyć spowodowane nią szkody, w Brzegu przeprowadzono dwukrotne podlewanie sadzonek.

Na wiosnę 1995 r. wypady na powierzchniach doświadczalnych w Kutnie uzupełniono jednorocznymi sadzonkami, a na plantacji wierzbowej w Brzegu – zrzesami. Na plantacji w Kutnie natychmiast po zakończeniu uzupełnień zarówno zeszłoroczne, jak i nowo posadzone sadzonki przycięto na bezpieńki. Na bezpieńki przycięto również zeszłoroczne sadzonki na plantacji w Brzegu.

W 1995 r. na obu plantacjach przeprowadzono analizy glebowe, które wykazały konieczność zwapnowania charakteryzującej się zdecydowanie kwaśnym odczynem gleby plantacji w Kutnie. Zgodnie z zaleceniami Zakładu Gleboznawstwa i Nawożenia IBL, na powierzchni tej wykonano nawożenie wapnem dolomitowym w dawce 1,5 t/ha.

W maju 1995 r. na obu plantacjach przeprowadzono dwukrotne spulchnianie i odchwaszczanie gleby, natomiast w 1996 r. nie wykonywano żadnych zabiegów pielęgnacyjnych.

Na przedwiośniu 1997 r. na obu plantacjach przeprowadzono pierwsze pozyskanie biomasy.

W następnych miesiącach 1997 r. na plantacji w Kutnie wykonano 2-krotne spulchnianie i odchwaszczanie gleby, natomiast na plantacji w Brzegu zabiegi pielęgnacyjne ograniczono do wykoszenia chwastów, gdyż z powodu silnego zadarnienia gleby (skutek zbyt małego zwarcia w ciągu pierwszego 3-letniego cyklu produkcyjnego oraz podtopienia w czasie powodzi) wystąpiły trudności z wykonaniem ręcznego spulchnienia gleby.

Aby zwrócić do gleby ubytki składników mineralnych wyniesionych z plantacji wraz z wyprodukowaną w I cyklu produkcyjnym biomasa, na wiosnę 1998 r. wykonano nawożenie mineralne, stosując następujące dawki nawozowe:

Brzeg: N – 70 kg/ha, P₂O₅ – 30 kg/ha, K₂O – 100 kg/ha,

Kutno: N – 70 kg/ha, P₂O₅ – 30 kg/ha, K₂O – 150 kg/ha.

Równocześnie przeprowadzono jednorazowy oprysk herbicydem Azotop w celu ograniczenia rozwoju chwastów.

W marcu 2000 r. na obu plantacjach ponownie pozyskano biomasę 3-letnich odrosłowych pędów wierzby.

2.4.2. Plantacje założone w ramach badań nad doбором odmian wierzby do uprawy w skróconym cyklu (etap II)

Glebę na powierzchniach przeznaczonych do założenia plantacji doświadczalnych przygotowano głęboką orką w jesieni 1994 r. i w końcu kwietnia 1995 r., po wyrównaniu powierzchni gleby, wysadzono zrzesy.

Tej samej wiosny wykonano również, zalecone przez Zakład Gleboznawstwa i Nawożenia IBL na podstawie analiz próbek glebowych, nawożenie na plantacji w

Kutnie: potasowe, w dawce 100 kg K₂O/ha i wapniowe – wapnem dolomitowym, w dawce 1,5 t/ha.

Przez pierwsze 3 lata w Brzegu i 2 lata w Kutnie plantacje były odchwaszczane (motyczenie w międzyrzędach i ręczne pielenie w rzędach).

Na wiosnę 1998 r. z połowy bloków każdej plantacji doświadczalnej (z części A) pozyskano nadziemne części wszystkich badanych odmian wierzby. Na działkach, z których wycięto pręty, przeprowadzono następnie nawożenie mineralne oraz zastosowano herbicyd Azotop w celu ograniczenia rozwoju chwastów. Zastosowano następujące dawki nawozów:

– Brzeg: N – 70 kg/ha, P₂O₅ – 30 kg/ha, K₂O – 100 kg/ha,

– Kutno: N – 70 kg/ha, P₂O₅ – 80 kg/ha, K₂O – 150 kg/ha.

W listopadzie 2000 r. powtórnie pozyskano biomasę nadziemną z części A (pędy 3-letnie) obu plantacji oraz po raz pierwszy z części B (pędy 6-letnie).

2.5. Pomiar pędów i ustalenie wielkości suchej masy

W trakcie pozyskiwania biomasy prowadzono pomiary wyciętych krzewów ustalając:

– liczbę żywych pędów (dłuższych niż 1 m),

– długość każdego pędu w cm,

– średnicę każdego pędu w odległości 1,3 m od dolnego cięcia w mm; wyjątkowo w 1999 r. pomiar średnicy przeprowadzono w odległości 1,0 m od dolnego cięcia.

Na plantacjach założonych w ramach badań nad produktywnością (etap I) mierzono wszystkie krzewy w określonym rzędzie każdej działki ściśle doświadczalnej, a jeśli były wypady, najbliższe z sąsiednich rzędów. W badaniach odmianowych (etap II) mierzono parametry wszystkich krzewów, rezygnując jedynie z pomiarów długości pędów u odmian wierzby o bardzo krzywych pędach oraz wszystkich parametrów pędów u odmian o wyraźnie złej produktywności.

W badaniach nad produktywnością wierzby (etap I) pozyskaną biomasę zważono bezpośrednio po wycięciu pędów z dokładnością do 50 g, osobno z każdego powtórzenia. Ponadto wybrano po jednym krzewie o masie zbliżonej do średniej w danym powtórzeniu i zważono go z dokładnością do 10 g, traktując go jako próbkę do badań laboratoryjnych (Q_w). W trakcie tych badań próbki poddano suszeniu w temp. 105°C w suszarce „Carbolite” (poj. 270 l) z wymuszonym obiegiem powietrza. Po ustaleniu się minimalnej masy (Q_s) obliczono procentowy udział suchej masy w świeżej masie każdej próbki (V_{sm}) wg wzoru:

$$V_{sm} = \frac{Q_s}{Q_w} 100 \quad (\%)$$

W badaniach nad doborem klonów wierzby do uprawy w skróconym cyklu (etap II) biomasę nadziemną każdego krzewu z danego powtórzenia ważono z dokładnością do 50 g i obliczano przeciętną masę pojedynczego krzewu. Po 2 krzewy z każdego powtórzenia, o masie najbardziej zbliżonej do średniej w powtórzeniu, ponownie ważono z dokładnością do 10 g i poddawano opisanej wcześniej procedurze suszenia. Wysuszoną biomasę znów ważono i korzystając z podanego wyżej wzoru ustalano procentowy udział suchej masy w świeżej masie krzewu.

2.6. Metody statystyczne

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie przy zastosowaniu analizy wariancji. Do wydzielenia grup jednorodnych średnich obiektowych zastosowano test Tukeya ($\alpha = 0,05$). Obliczenia wykonano przy pomocy programu STATGRAPHICS PLUS 6.

3. WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

3.1. Produkcyjność wybranych odmian wierzby w plantacjach o skróconym cyklu (etap I)

Dane dotyczące produkcyjności 4 odmian wierzb badanych na plantacjach doświadczalnych w nadleśnictwach Brzeg i Kutno przedstawiono w tabeli 1, a najważniejszych parametrów wzrostu tych wierzb – w tabeli 2.

Na plantacji w Brzegu udatność sadzenia zrzesów poszczególnych odmian wynosiła od 89,6 do 96,9%, a w Kutnie – od 82,7 do 86,9%. Bardzo dobre przyjęcie się zrzesów na plantacji w Brzegu ma niewątpliwie związek z przeprowadzeniem jej dwukrotnego podlewania w okresie suszy letniej w roku założenia doświadczenia. Większą udatność na obu plantacjach doświadczalnych miały odmiany, których zrzesy zakupiono w Danii. Zrzesy te wydają się odporniejsze na przesuszenie, gdyż były wyraźnie grubsze niż pozyskane w kraju, a ponadto zabezpieczone przed utratą wilgoci przez zawoskowanie dolnego i górnego cięcia.

Przeżywalność wierzb na działkach ściśle doświadczalnych (łącznie z tymi, które pochodziły z uzupełnień) była w końcu I cyklu dość wysoka i prawie zawsze przekraczała 90% (wyjątek stanowiła odmiana '683' w Kutnie – 88%). Po II cyklu przeżywalność uległa znacznemu zmniejszeniu, przy czym stwierdzono, że po pierwszym pozyskaniu biomasy wypadły głównie osobniki pochodzące z uzupełnień. Wskazuje to na nieskuteczność prowadzenia uzupełnień w plantacjach o skróconym cyklu. Metody zakładania oraz pielęgnowania plantacji w pierwszym roku po założeniu muszą być tak dobrane, aby gwarantowały uzyskanie pełnej udatności.

Tabela 1. Produktynność wybranych odmian wierzby na plantacjach doświadczalnych o skróconym cyklu (etap I)
 Table 1. Biomass productivity of the selected willow varieties in short-rotation experimental plantations (stage I)

Nad- leśni- ctwo Forest District	Nr od- miany Variety No.	Nazwa odmiany Variety name	Udat- ność Survival	Procentowy stosunek liczebności krzewów rosnących do liczebności wysadzonych na działce ściśle doświadczalnej Percentage ratio of the number of growing shrubs to the number of shrubs outplanted on strictly experimental plot;		Nr cyklu Cycle number	Średnia wielkość świeżej masy plonu na działce ściśle doświadczalnej (pow. 33,7 m ²) Mean quantity of fresh mass on strictly experimental plot (areas 33.7 m ²)	Udział suchej masy w świeżej masie plonu Percentage share of dry mass in the fresh mass	Średnia wielkość suchej masy plonu na działce ściśle doświadczalnej Mean quantity of dry mass on strictly experimental plot	Sucha masa plonu Dry mass	
				po I cyklu after cycle I	po II cyklu after cycle II					t/ha	t/ha/ rok
Brzeg	1	'Kierksii' kl. 5	89,6	98,7	90,7	I	28,45	39,0	11,10	3,29	1,64
	2	'Piaskówka'	90,7	98,0	95,3	II I+II	46,63 75,08 31,07	43,2	20,14	5,98	1,99
	3	'ORM'	96,9	96,0	90,0	I I+II	68,20 99,27 27,72	41,6	31,24	9,27	1,85
	4	'683'	96,2	94,7	74,0	II I+II	54,72 82,44 22,95	44,4	30,28	8,97	2,99
Kutno	1	'Kierksii' kl. 5	82,9	94,0	81,3	I	91,28	39,7	36,24	10,74	5,37
	2	'Piaskówka'	82,7	96,7	82,7	II I+II	155,53 246,81 94,67	43,8	68,12	20,18	6,73
	3	'ORM'	86,9	98,7	90,0	I	186,14	41,9	104,36	30,92	6,18
	4	'683'	86,3	88,0	84,0	II I+II	280,81 108,50 182,19 290,69	50,2	39,67	11,75	5,88
						64,18	49,2	25,43	7,53	3,76	
						230,29	49,2	84,47	25,03	8,34	
								109,90	32,56	6,51	

I cykl: (1994) 1995–1996, II cykl: 1997–1999 Cycle I: (1994) 1995–1996, cycle II: 1997–1999

Tabela 2. Wybrane parametry wzrostu na plantacjach doświadczalnych o skróconym cyklu w I etapie (I cykl: (1994) 1995–1996, II cykl: 1997–1999)

Table 2. Selected growth parameters in short-rotation experimental plantations at stage I (Cycle I: (1994) 1995–1996, cycle II: 1997–1999)

Nazwa odmiany Variety No.	Nr cyklu Cycle number	Średnia masa 3-letnich * krzewów Dry mass of 3 year old shrubs*	Średnia liczba prętów w krzewie Average number of shoots per shrub	Średnia długość prętów Average length of shoots	Średnia grubość prętów ** Average thickness of shoots**
		kg		cm	mm
Brzeg					
'Kierksii' kl. 5	I	0,96	12,4	163	3,3
	II	1,77	14,5	158	6,7
'Piaskówka'	I	1,05	10,5	157	3,2
	II	2,11	14,7	187	7,1
'ORM'	I	0,96	10,6	148	3,2
	II	1,97	13,4	170	7,6
'683'	I	0,81	8,3	***	***
	II	1,62	12,9	157	6,3
Kutno					
'Kierksii' kl. 5	I	3,79	11,9	290	8,7
	II	7,43	10,9	378	14,3
'Piaskówka'	I	3,80	13,9	256	8,2
	II	9,07	10,2	409	16,2
'ORM'	I	4,17	10,9	316	10,9
	II	8,24	8,7	439	17,1
'683'	I	2,52	8,0	***	***
	II	6,59	12,6	341	12,8

* w I cyklu 2-letnich; in 2-year cycle I;

** w I cyklu mierzono grubość w odległości 1,3 m od dolnego cięcia, w II cyklu – w odległości 1,0 m; in cycle I the diameter measured at a height of 1.3 m from the lower cut, in cycle II – at a height of 1.0 m;

*** pędy się płożą creeping shoots

W literaturze dotyczącej produktywności plantacji o skróconym cyklu wielkość produkcji biomasy podaje się zwykle w przeliczeniu na suchą masę. Jej procentowy udział w 2-letnich pędach (po pierwszym roku sadzonki wierzb zostały przycięte na bezpieńki) był w I cyklu podobny na obu plantacjach doświadczalnych i wynosił od 39,0 do 44,0%. W drugim cyklu był w 3-letnich pędach nieco większy niż w pierwszym: od 43,2 do 48,2% w Brzegu i od 43,8 do 52,9% w Kutnie. Większą zawartość wody w młodszych pędach wierzbowych stwierdzili również Szczukowski i Tworkowski (2001). W ich badaniach procentowy udział suchej masy w świeżej masie u pędów jednorocznych wyniósł 48%, a u trzyletnich 54%. Generalnie obserwuje się prawidłowość, że im starsze, a więc i grubsze pręty, tym większa jest w nich zawartość suchej masy. W biomacie grubszych prętów zmniejsza się bowiem udział łyka, nawodnionego bardziej niż drewno. Zawartość suchej masy w pędach wierzb selekcji szwedzkiej ('ORM' i '683') była na ogół większa niż u wierzb krajowych, gdyż pręty wierzb wyselekcjonowanych specjalnie do uprawy w plantacjach energetycznych mają znacznie mniej cienkich gałęzi bocznych.

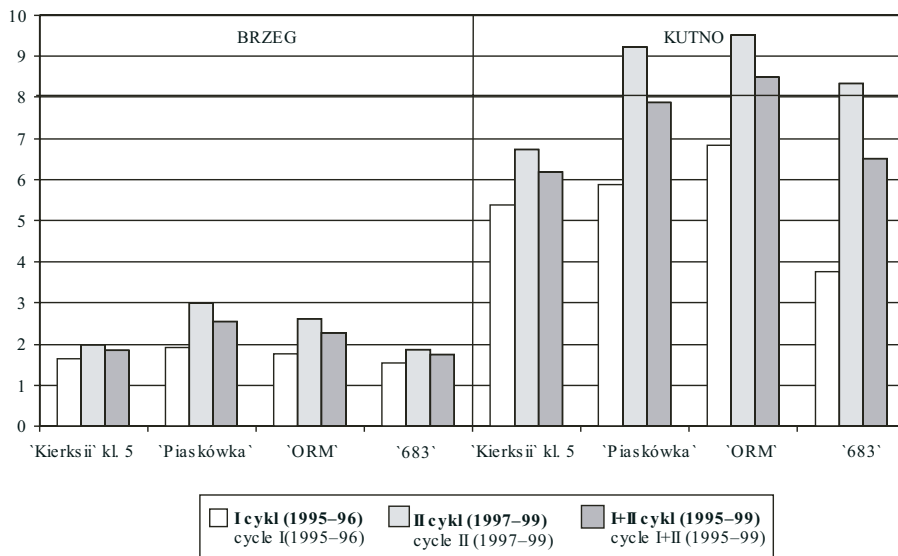
Wielkość produkcji biomasy 4 odmian wierzby określono dla 2 pierwszych cykli produkcyjnych. W pierwszym cyklu biomasa została pozyskana po 3 latach od założenia plantacji, ale, podobnie jak w innych krajach, pierwszego roku uprawy nie potraktowano jako pierwszego roku cyklu, ponieważ po pierwszym okresie wegetacyjnym pędy przycina się jedynie w celu rozkrzewienia wierzby lub pozyskania materiału reprodukcyjnego, a nie produkcji surowca energetycznego. Przy takim założeniu, pierwszy rok istnienia plantacji stanowi wyłącznie okres nakładów inwestycyjnych. Drugi cykl był już pełnym 3-letnim cyklem. Cały okres badań obejmował zatem 2 cykle: I – 2-letni i II – 3-letni.

Plon biomasy drzewnej pozyskany na plantacjach w Kutnie był znacznie większy niż na plantacji w Brzegu (tab. 1). W zależności od odmiany, w Kutnie wynosił on od 6,18 do 8,50 t s.m./ha/rok, a w Brzegu zaledwie od 1,72 do 2,56 t s.m./ha/rok. Uzyskany w ciągu 5 lat przeciętny dla wszystkich odmian roczny plon z plantacji w Kutnie (7,27 t s.m./ha) był około 3,5 razy większy niż w Brzegu (2,10 t s.m./ha). W drugim cyklu (3-letnim) był on na obu plantacjach znacznie większy niż w pierwszym (2-letnim). W Brzegu wynosił on odpowiednio 2,36 i 1,72 t s.m./ha, a w Kutnie 8,46 i 5,47 t s.m./ha. Należy dodać, że za próg opłacalności plantacyjnej produkcji drewna energetycznego uważa się na ogół plon 8 t s.m./ha/rok (Christersson 1996), a w Wielkiej Brytanii nawet 10 t s.m./ha/rok (Tubby i Armstrong 2002). Spośród 4 badanych odmian tylko wierzba 'ORM' w Kutnie osiągnęła w 2 pierwszych cyklach produkcyjność powyżej 8 t s.m./ha/rok, a mianowicie 8,5 t (rys. 1). Jeśli wziąć pod uwagę tylko drugi cykl, to produkcyjność na tym poziomie uzyskały również odmiany 'Piaskówka' i '683'. W Brzegu żadna odmiana nie wykazała się tak wysokim plonem. Na plantacji tej w drugim cyklu najlepiej plonowała 'Piaskówka' – około 3 t s.m./ha/rok.

Średnia dla wszystkich odmian produkcyjność wierzby w plantacji założonej w korzystniejszych warunkach siedliskowych w Kutnie, na glebie wytworzonej z glin zwałowych lekkich (klasy IIIa i IIIb bonitacji rolniczej) wynosiła 7,27 t s.m./ha/rok. Jest to wielkość podobna do uzyskiwanej za granicą na dobrze prowadzonych plantacjach gospodarczych. W Wielkiej Brytanii i Szwecji produkcyjne możliwości gospodarczych plantacji energetycznych oceniane są najczęściej na 7 do 10 t s.m./ha/rok (Taylor i in. 2001; Larsson i Lindegaard 2003).

W literaturze można często spotkać informacje o plonach znacznie przewyższających 8–10 t s.m./ha/rok. Pochodzą one jednak przeważnie z bardzo małych powierzchni badawczych, liczących niekiedy tylko kilka roślin i zakładanych w optymalnych warunkach siedliskowych. Dane z takich powierzchni nie mogą być ekstrapolowane na warunki gospodarcze (Hansen 1991; Mitchell i in. 1999; Luger 2002). Hansen (1991) stwierdził, że w USA plon topól uprawianych na małych poletkach okazał się 4–7 razy większy niż przeciętny na plantacjach gospodarczych. Wydaje się, że dzięki zastosowaniu pasów izolacyjnych oraz niezbyt intensywnej uprawy gleby wielkość plonu uzyskanego na doświadczalnych plantacjach w Brzegu i Kutnie może być uznana za możliwą do osiągnięcia w analogicznych warunkach siedliskowych również na plantacjach gospodarczych.

Produkcyjność (t.s.m./ha/rok)
Productivity of dry mass/ha/year



Ryc. 1. Produkcyjność różnych odmian wierzby w doświadczalnych plantacjach o skróconym cyklu (etap I)

Fig. 1. Biomass productivity of different willow varieties in short-rotation experimental plantations (stage I)

Przyczyn tak różnej produkcyjności plantacji w Brzegu i w Kutnie należy dopatrywać się przede wszystkim w różnicy warunków glebowych. Na plantacji w Brzegu, założonej na madach piaszczystych i bardzo lekkich, na której pod powierzchnią warstwą o miąższości ok. 30 cm występuje piasek luźny do głębokości 55–70 cm wierzby mają znacznie gorsze warunki wzrostu niż na plantacji w Kutnie, założonej na glebie opadowo-glejowej, na której bezpośrednio pod poziomem orno-próchnicznym występują gliny zwałowe lekkie (klasy IIIa i IIIb bonitacji rolniczej).

W literaturze przedmiotu istnieje zgodność, że do zakładania plantacji o skróconym cyklu najbardziej przydatne są żyzne gleby rolnicze o dobrych stawkach wodnych (Hofmann-Schielle i in. 1999; Makeschin 1999; Mitchell i in. 1999; Szczukowski i Tworkowski 2001). W Europie najwyższe plony uzyskuje się na glebach organicznych (Luger 2002). Według Mitchella i in. (1999) gleba nadająca się pod plantacje o skróconym cyklu powinna utrzymywać wilgoć w sezonie wegetacyjnym, ale nie może być zbyt mokra. Nadmiernie uwodnione i źle przewietrzane gleby wstrzymują wzrost roślin z powodu ograniczeń w wymianie gazowej oraz w możliwościach pobierania składników pokarmowych. Takie warunki glebowe utrudniają ponadto stosowanie herbicydów, a maszyny stosowane do pozyskania plonu powodują ubijanie mokrej gleby (jeśli nie jest zamrznięta), co zagraża długotrwałej produktywności siedliska. Gleba powinna być dobrze

przewietrzana i zdatna do przerastania przez korzenie przynajmniej do 1 m głębokości (Makeschin 1999; Mitchell i in. 1999). Wierzby wymagają gleb o kwasowości pH od 5,5 do 7,0 (Mitchell i in. 1999; DEFRA 2002).

Główną przyczyną złego plonowania plantacji w Brzegu był prawdopodobnie niedobór wody w glebie, spowodowany obecnością piasku luźnego tuż pod jej powierzchniową warstwą, a na niektórych fragmentach powierzchni również płytkie (0,5–1,0 m) zaleganie ograniczającej rozrost korzeni gliny ciężkiej. Prowadzone w ostatnich latach badania wykazały, że dostępność wody jest głównym czynnikiem ograniczającym produktywność plantacji wierzbowych o skróconym cyklu (Lindroth i in. 1996, 1999; Luger 2002; Hall 2003). Hall (2003) podaje, że roczna transpiracja z odrosłowych plantacji o krótkiej rotacji jest znacznie większa niż z innych rodzajów roślinności. Przykładowo, roczne ubytki wody z powodu transpiracji na plantacjach wierzbowych lub topolowych z 3-letnimi pędami wynoszą ok. 500 mm, a w lasach liściastych tylko 375 mm. Duże straty wody powodowane są również intercepcją, która w trzecim roku cyklu, w okresie pełnego ulistnienia, może w Wielkiej Brytanii osiągnąć 20%, a w okresie bezlistnym – 15% całkowitej wartości opadu. Autor ten stwierdził, że na terenach, na których letnie opady są mniejsze niż 550 mm, uprawiane w plantacjach o skróconym cyklu rośliny spowodują powstanie w okresie letnim deficytu wody w glebie. Większe niż 550 mm opady w sezonie wegetacyjnym występują w Polsce jedynie na przedgórzach Karpat i Sudetów oraz w górach. Hall (2003) uważa, że jeśli opady letnie są mniejsze niż 300 mm, to przy uprawie obecnie oferowanych odmian niemożliwe jest osiągnięcie plonu 12 t s.m./ha/rok bez zaopatrzenia plantacji w wodę z innych źródeł (wody gruntowe, sztuczne nawodnienia itp.).

Bardzo wysokie wymagania gatunków szybko rosnących w stosunku do wody wykluczają możliwość wykorzystania pod plantacje o skróconym cyklu większości gleb wycyfywanych w Polsce z uprawy rolniczej, gdyż są to głównie gleby piaskowe trwale lub okresowo suche, zaliczane do VI i V klasy bonitacyjnej. Gleby takie zajmują w naszym kraju powierzchnię 1,5 mln ha (Józefaciuk i in. 1998). W dotychczasowych doświadczeniach krajowych (Staffa 1965b; Szczukowski i Tworowski 2001) oraz w trakcie niniejszych badań zadawalającą produktywność wierzb uzyskano wyłącznie na glebach II, III i IVa klasy bonitacyjnej. Były to mady ciężkie lub średnie pyłowe z mądą średnią lub lekką pyłową w podglebiu, gleby mułowo-murszowe oraz gleby opadowo-glejowe lub czarne ziemie wytworzone z gliny lekkiej lub glin piaszczystych. W praktyce tak żyzne gleby są wycyfywane z uprawy jedynie w wypadku ich nadmiernego skażenia.

Podobne problemy ze znajdowaniem gruntów przydatnych do zakładania plantacji energetycznych występują również w innych krajach. Na przykład Hofmann-Schielle i in. (1999) ubolewają, że w Niemczech nie ma podaży gleb o korzystnych dla uprawy wierzby właściwościach, gdyż nie są one wycyfywane z gospodarki rolnej, a nawadnianie lub odwadnianie w celu zakładania plantacji innych siedlisk jest nieopłacalne.

W ekspertyzie jaką w 1991 r. wykonałem dla Ministerstwa Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa, jeszcze przed rozpoczęciem niniejszych badań, szacowałem, że w przyrodniczych warunkach Polski możliwe będzie uzyskanie plonu biomasy energetycznej na poziomie 10 t s.m./ha/rok, natomiast podaż gruntów przydatnych do uprawy wierzby określiłem, na podstawie przewidywań Z. Jakubczaka z Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach, na ok. 90 000 ha (Zajączkowski 1991). W świetle niniejszych badań i doświadczeń zagranicznych byłbym skłonny obniżyć te prognozy. Dlatego uważam, że plany założenia w Polsce 200–300 tys. ha plantacji wierzbowych (Wiśniewski 2004) w celu dostarczenia krajowej energetyce przewidzianej w „Strategii rozwoju energii odnawialnej” ilości biomasy wymagają znacznej korekty in minus. Trzeba przy tym brać pod uwagę, że dalszy rozwój plantacji energetycznych zależeć będzie w dużym stopniu od subsydiowania produkcji biomasy, tak jak ma to obecnie miejsce w innych krajach. Na przykład w Szwecji (Larsson i Lindegaard 2003) subsydia dla rolników uprawiających wierzbę wynoszą około 5000 SEK/ha, czyli równowartość około 2400 zł/ha/rok.

Średnia liczba pędów w krzewie (tab. 2) była na obu plantacjach podobna, z tym że w Brzegu była w drugim cyklu większa niż w pierwszym, a w Kutnie było przeważnie odwrotnie. W II cyklu u najlepiej plonujących wierzb 'Piaskówka' i 'ORM' wynosiła ona odpowiednio: w Brzegu 14,7 i 13,4, a w Kutnie 10,2 i 8,7.

Wymiary pojedynczych pędów były w Kutnie, podobnie jak produkcyjność, znacznie większe niż w Brzegu. Na plantacji w Kutnie średnia długość i grubość w odległości 1 m od dolnego cięcia pędów w II cyklu produkcyjnym u najlepiej plonujących wierzb osiągnęły odpowiednio: u 'ORM' 439 cm i 17,1 mm, a u 'Piaskówki' – 409 cm i 16,2 mm (tab. 2).

3.2. Dobór odmian wierzby do uprawy w skróconym cyklu (etap II)

Badaniami prowadzonymi na powierzchniach doświadczalnych w nadleśnictwach Brzeg i Kutno w celu wytypowania odmian wierzb najbardziej przydatnych do uprawy w skróconym cyklu objęto 10 odmian. Dane dotyczące wybranych parametrów produkcyjnych poszczególnych odmian przedstawiono w tab. 3 (Brzeg) i tab. 4 (Kutno).

Udatność sadzenia zrzesów w Brzegu była bardzo wysoka i wahała się, w zależności od odmiany, od 96,7 do 100%. Na powierzchni tej wysoka była również przeżywalność (co najmniej 90%), nieco większa po pierwszym niż po drugim cyklu. Wyjątek stanowił mieszaniec *S. viminalis* 'Gallica' × *purpurea* 'Kierksii', kl. 5, w wypadku którego wysoka przeżywalność po pierwszym cyklu (100%) zmniejszyła się po drugim do 43,3%. Na powierzchni w Kutnie udatność wynosiła od 82,0 do 98,0%, jedynie *S. purpurea* 'Helix pyramidalis' miała udatność 53%. Przeżywalność po drugim cyklu zmniejszyła się od 0 do 8,5% w stosunku do pierwszego. Wyjątki stanowiły: klon *S. viminalis* 'Gallica' × *purpurea* 'Kierksii', kl. 5, u którego odnotowano spadek przeżywalności o 14% i *S. purpurea* 'Piaskówka' – o 12%. Gorszą niż w Brzegu udatność plantacji w Kutnie można wytłumaczyć

Tabela 3. Wybrane parametry produkcyjne różnych odmian wierzb do uprawy w skróconym cyklu na plantacji doświadczalnej w Nadleśnictwie Brzeg (etap II)

Table 3. Selected productivity parameters of different willow varieties for short-rotation coppice in the experimental plantation in the Brzeg Forest District Administration (stage II)

L.p. N°	Odmiana Variety	Udatność Survival		Cykl** Cycle	Przeżywalność po zakończe- niu cyklu Survival after of a cycle	Średnia wielkość świeżej masy I krzewu Mean quantity of fresh mass of 1 shrub		Procentowy udział suchej masy w świeżej masie Percentage share of dry mass in the fresh mass of		Średnia wielkość suchej masy I krzewu Mean quantity of dry mass of 1 shrub		Średnia liczba pędów Average number of shoots	Średnia długość pędów Average length of shoots		Średnia grubość pędów na wys. 1,3 m Average thickness of shoots at a height of 1.3 m	
		%				kg	kg	kg	kg	cm	mm					
1	<i>Salix × purpurea</i> 'Helix pyramidalis'	I	96,7	I 3-letni	100,0	2,38	47,1	1,12	3,9	305	11,5					
		II 3-letni		93,3	1,41	50,2*	0,71	—	—	—	—	—				
		I + II		—	3,79	—	1,82	—	—	—	—	—				
		6-letni		93,3	4,47	53,0*	2,37	—	—	—	—	—				
2	<i>S. triandra</i> 'Grisette noire'	I	100,0	I 3-letni	100,0	3,06	41,8	1,28	9,8	—	—	—	—			
		II 3-letni		90,0	2,23	50,2*	1,12	—	—	—	—					
		I + II		—	5,29	—	2,40	—	—	—	—					
		6-letni		100,0	4,68	53,0*	2,48	6,3	—	—	16,1					
3	<i>S. viminalis</i> 'Lutescens'	I	98,3	I 3-letni	100,0	2,67	44,2	1,18	5,9	—	—	—	—			
		II 3-letni		100,0	2,45	50,2*	1,23	—	—	—	—					
		I + II		—	5,12	—	2,41	—	—	—	—					
		6-letni		96,7	3,49	53,0*	1,85	—	—	—	—					
4	<i>S. viminalis</i> 'ORM'	I	100,0	I 3-letni	100,0	3,07	48,8	1,50	6,1	297	11,2	—	—			
		II 3-letni		100,0	2,76	51,4	1,42	12,5	214	14,8	—					
		I + II		—	5,83	—	2,89	—	—	—	—					
		6-letni		100,0	3,67	54,0	1,98	3,8	382	21,9	—					
5	<i>S. viminalis</i> 'Reifenwardii'	I	100,0	I 3-letni	100,0	3,71	47,2	1,75	5,4	293	12,1	—	—			
		II 3-letni		100,0	3,56	46,9	1,67	15,9	227	15,6	—					
		I + II		—	7,27	—	3,40	—	—	—	—					
		6-letni		100,0	6,42	53,7	3,45	3,5	369	24,9	—					

6	<i>S. viminalis</i> 'Stipularis'	100,0	I 3-letni	100,0	4,46	47,5	2,12	5,4	321	13,2
			II 3-letni	100,0	4,16	49,0	2,04	17,2	236	16,0
			I + II	—	8,62	—	4,16	—	—	—
			6-letni	100,0	5,76	52,4	3,02	3,2	366	22,9
7	<i>S. viminalis</i> 'Tenuifolia'	100,0	I 3-letni	96,7	3,57	45,1	1,61	4,6	317	11,9
			II 3-letni	96,7	3,09	53,0	1,64	13,8	223	15,0
			I + II	—	6,66	—	3,25	—	—	—
			6-letni	100,0	4,35	52,6	2,29	3,3	376	21,8
8	<i>S. viminalis</i> '683'	98,3	I 3-letni	100,0	2,28	46,1	1,05	10,6	—	—
			II 3-letni	100,0	2,65	48,3	1,28	—	—	—
			I + II	—	4,93	—	2,32	—	—	—
			6-letni	96,7	3,08	51,3	1,58	3,8	—	—
9	<i>S. viminalis</i> 'Gal- lica' × <i>purpurea</i> 'Kienksii' kl. 5	100,0	I 3-letni	100,0	2,11	44,6	0,94	6,9	290	9,5
			II 3-letni	43,3	0,54	50,2*	0,27	—	—	—
			I + II	—	2,65	—	1,20	—	—	—
			6-letni	100,0	2,04	53,0*	1,08	—	—	—
10	'Piaskówka' (<i>S. purpurea</i>)	100,0	I 3-letni	96,7	5,64	43,3	2,44	5,6	—	—
			II 3-letni	96,7	4,73	52,8	2,50	14,6	274	16,5
			I + II	—	10,37	—	4,95	—	—	—
			6-letni	93,3	4,25	54,3	2,31	3,4	359	20,8

* dane szacunkowe – średnia wartość procentowego udziału suchej masy w świeżej masie, ustalonego dla pozostałych odmian

estimated data – mean percentage value of dry mass in the fresh mass established for the remaining varieties

** I cykl: 1995–1997, II cykl: 1998–2000, cykl 6-letni: 1995–2000

Cycle I: 1995–1997, cycle II: 1998–2000, 6-year cycle: 1995–2000

Tabela 4. Wybrane parametry produkcyjne różnych odmian wierzb do uprawy w skróconym cyklu na plantacji doświadczalnej w Nadleśnictwie Kutno (etap II)
 Table 4. Selected productivity parameters of different willow varieties for short-rotation coppice in the experimental plantation in the Kutno Forest District Administration (stage II)

Lp. No	Odmiana wierzby Willow variety	Udatność Survival	Cykl** Cycle	Przeżywal- ność po zakończeniu cyklu Survival after last year of a cycle	Średnia wielkość świeżej masy I krzewu Mean quantity of fresh mass of 1 shrub		Procentowy udział suchej masy w świeżej masie Percentage share of dry mass in the fresh mass of	Średnia wielkość suchej masy I krzewu Mean quantity of dry mass of 1 shrub	Średnia liczba pędów Average number of shoots	Średnia długość pędów Average length of shoots	Średnia grubość pędów na wys. 1,3 m Average thickness of shoots at a height of 1,3 m
					kg	kg					
1	<i>Salix × purpurea</i> 'Helix pyramidalis'	53,0	I 3-letni	50,0	1,78	43,3	0,77	2,1	338	13,3	
			II 3-letni	46,0	4,29	49,4*	2,12	—	—	—	
			I + II	—	6,07	—	2,87	—	—	—	
			6-letni	65,0	4,05	51,4*	2,08	1,3	537	34,2	
2	<i>S. triandra</i> 'Grisette noire'	87,0	I 3-letni	88,0	2,39	47,3	1,13	5,1	—	—	
			II 3-letni	80,0	2,51	49,4*	1,24	5,3	384	—	
			I + II	—	4,90	—	2,25	—	—	—	
			6-letni	88,0	3,87	51,4*	1,99	—	—	—	
3	<i>S. viminalis</i> 'Lutescens'	88,0	I 3-letni	86,0	2,48	43,5	1,08	4,8	—	—	
			II 3-letni	86,0	3,81	49,4*	1,88	—	—	—	
			I + II	—	6,29	—	2,96	—	—	—	
			6-letni	92,0	3,02	51,4*	1,55	—	—	—	
4	<i>S. viminalis</i> 'ORM'	87,0	I 3-letni	92,5	3,65	43,8	1,60	3,7	397	17,3	
			II 3-letni	92,5	6,43	50,7	3,26	6,0	440	19,4	
			I + II	—	10,08	—	4,87	—	—	—	
			6-letni	88,0	5,65	51,3	2,90	2,0	563	31,0	
5	<i>S. viminalis</i> 'Reifenwardii'	91,0	I 3-letni	94,0	2,97	44,1	1,31	3,8	320	13,9	
			II 3-letni	90,0	6,02	49,0	2,95	5,4	429	18,7	
			I + II	—	8,99	—	4,23	—	—	—	
			6-letni	86,0	4,62	50,0	2,31	2,1	467	27,3	

6	<i>S. viminalis</i> 'Stipularis'	I 3-letni	78,0	3,52	43,5	1,53	3,5	327	13,7
		II 3-letni	70,0	6,74	50,6	3,41	5,7	460	20,6
		I+II	—	10,26	—	4,98	—	—	—
		6-letni	80,0	6,82	51,9	3,54	2,0	509	31,7
7	<i>S. viminalis</i> 'Tenuifolia'	I 3-letni	86,0	4,11	40,1	1,65	4,2	354	14,6
		II 3-letni	77,5	7,15	47,4	3,39	6,4	400	18,0
		I+II	—	11,26	—	4,94	—	—	—
		6-letni	86,0	6,91	52,5	3,63	2,2	552	33,3
8	<i>S. viminalis</i> '683'	I 3-letni	94,0	2,22	42,8	0,95	4,8	—	—
		II 3-letni	86,0	3,56	49,1	1,75	5,9	451	—
		I+II	—	5,78	—	2,68	—	—	—
		6-letni	98,0	3,27	51,4*	1,68	2,1	452	22,9
9	<i>S. viminalis</i> 'Gallica' × <i>purpurea</i> 'Kierksii' kl. 5	I 3-letni	78,0	2,21	42,6	0,94	5,0	307	10,2
		II 3-letni	64,0	2,98	49,4*	1,47	—	—	—
		I+II	—	5,19	—	2,37	—	—	—
		6-letni	90,0	3,93	51,4*	2,02	—	—	—
10	'Piaskówka' (<i>S. purpurea</i>)	I 3-letni	90,0	3,78	43,4	1,64	4,1	327	17,3
		II 3-letni	78,0	7,14	49,6	3,54	6,7	437	19,6
		I+II	—	10,92	—	5,16	—	—	—
		6-letni	94,0	9,79	51,2	5,01	1,9	525	35,2

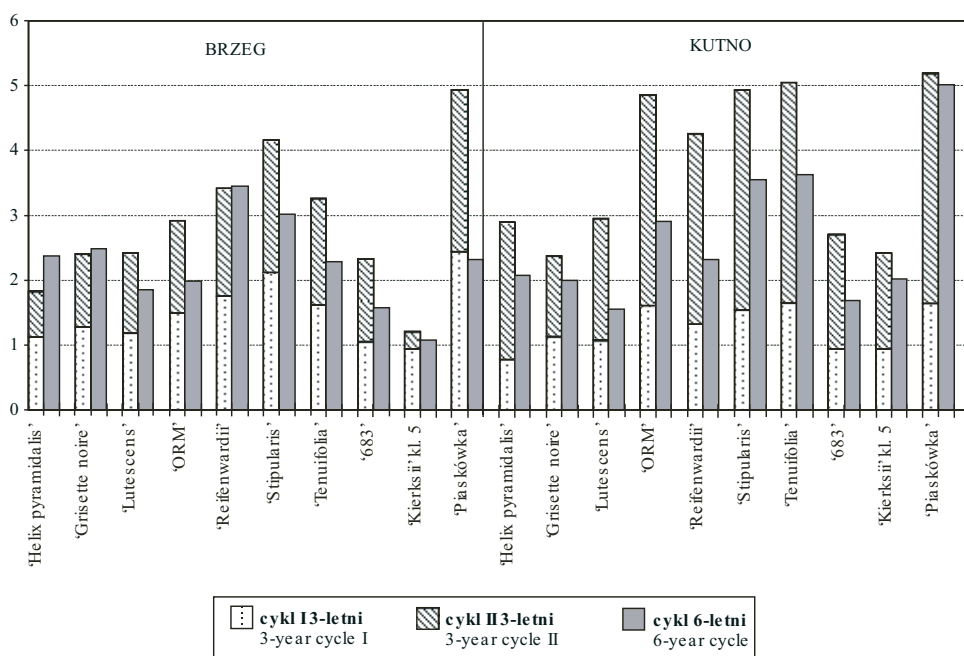
* dane szacunkowe – średnia wartość procentowego udziału suchej masy w świeżej masie, ustalonego dla pozostałych odmian

estimated data – mean percentage value of dry mass in the fresh mass established for the remaining varieties

** I cykl: 1995–1997, II cykl: 1998–2000, cykl 6-letni: 1995–2000

Cycle I: 1995–1997, cycle II: 1998–2000, 6-year cycle: 1995–2000

Średnia sucha masa pojedynczego krzewu
Mean dry mass of single coppice



Ryc. 2. Badania nad doбором odmian wierzby do uprawy w plantacjach o skróconym cyklu (etap II)

Fig. 2. Studies on the selection of willow varieties for short-rotation plantations (stage II)

znacznie mniejszymi opadami na wiosnę 1995 r. Potwierdzałyby to przypuszczenie, że również w klimatycznych warunkach Polski może występować konieczność podlewania zrzędów wierzbowych po posadzeniu. Podsumowując, można powiedzieć, że największe kłopoty z udatnością i przeżywalnością wystąpiły u klonów *S. purpurea* lub mieszańców, w których jednym z rodziców jest *S. purpurea*.

Wyrażona średnią wielkością suchej masy 1 krzewu sumaryczna wielkość plonu uzyskanego w 2 rotacjach na plantacjach wierzbowych była z reguły większa niż w jednej sześciolletniej (rys. 2). Wyjątek stanowiły klony 'Helix pyramidalis', 'Grisette noire' oraz 'Reifenwardii' na powierzchni w Brzegu.

Podobnie jak w poprzednim doświadczeniu, przyrosty wierzby w Kutnie były większe niż w Brzegu. Na powierzchni w Kutnie występuje gleba opadowo-glejowa właściwa, wytworzona z gliny zwałowej lekkiej (IIIa klasa bonitacji rolniczej), natomiast w Brzegu mała rzeczna właściwa bardzo lekka. Pod powierzchnią warstwą piasku gliniastego mocnego, zalega warstwa piasku luźnego na glinie lekkiej, przechodzącej w glinę ciężką (klasa IVb).

Tabela 5. Badania nad dobozem odmian wierzby do uprawy w skróconym cyklu (etap II). Wyniki analizy wariancji dla średniej suchej masy pojedynczego krzewu w I i II cyklu produkcyjnym (kg)

Table. 5. Studies on the selection of willow varieties for short-rotation cultivation (stage II). Results of the analysis of variation of the dry mass of one shrub in production cycles I and II (kg)

a) dla całości bloku for the whole block

Źródło zmienności Source of variation	Stopnie swobody Degree of freedom	Suma kwadratów odchyłeń Deviation square sum	Średni kwadrat Mean square	F emp. Emp. F	P-Value P-Value
Brzeg					
Odmiana Variety	9	55,19	6,13	12,58	0,000
Blok Block	4	4,98	1,24	2,55	0,056
Błąd Error	36	17,54	0,49		
Całkowita Total	49	77,71			
Kutno					
Odmiana Variety	9	62,61	6,96	3,25	0,000
Blok Block	4	7,82	1,96	0,91	0,468
Błąd Error	36	72,84	2,14		
Całkowita Total	49	143,37			

b) dla odmian for the varieties

Odmiana Variety	Średnie Mean	Grupy jednorodne wg Tukeya ($\alpha=0,05$) Homogeneous groups acc. to Tukey
Brzeg		
‘Kierksii kl.5’	1,20	a ___
‘Helix pyramidalis’	1,82	ab ___
‘683’	2,32	abc ___
‘Grisette noire’	2,40	abc ___
‘Lutescens’	2,41	abc ___
‘ORM’	2,89	___ bcd ___
‘Tenuifolia’	3,25	___ bcd ___
‘Reifenwardii’	3,40	___ cd ___
‘Stipularis’	4,16	___ de ___
‘Piaskówka’	4,95	___ e ___
Kutno		
‘Grisette noire’	2,25	a
‘Kierksii kl.5’	2,37	a
‘683’	2,68	a
‘Helix pyramidalis’	2,87	a
‘Lutescens’	2,96	a
‘Reifenwardii’	4,23	a
‘ORM’	4,87	a
‘Tenuifolia’	4,94	a
‘Stipularis’	4,98	a
‘Piaskówka’	5,16	a

Na obu powierzchniach doświadczalnych grupę najlepiej plonujących odmian tworzyły wierzba wikliniarska 'Piaskówka', klony *S. viminalis*: 'Stipularis', 'Tenuifolia' i 'Reifenwardii' z kolekcji AR w Poznaniu oraz *S. viminalis* 'ORM' selekcji szwedzkiej. Przewaga przyrostowa tych wierzb nad pozostałymi, chociaż nie zawsze istotna statystycznie (tab. 5), jest jednak wyraźna (rys. 2). Świadczy to o ich plastyczności, czyli zdolności do dobrego wzrostu w różnych warunkach siedliskowych. Na podstawie wyników niniejszych badań 5 wymienionych wyżej klonów wierzb można zarekomendować do uprawy w skróconym cyklu. Wysoką wartość klonu 'Tenuifolia' potwierdzają również badania Staffy (1965b). Był on posadzony przez niego w dużym zagęszczeniu (33 333 zrzeszy/ha) na glebach rolniczych II klasy bonitacyjnej i dał w 3-letnim cyklu plon ok. 11,3 t s.m./ha/rok. Mało przydatne do uprawy w skróconym cyklu, przynajmniej w zastosowanym w doświadczeniach zagęszczeniu (8 889 sadzonek/ha w Brzegu i 13 333 sadzonek/ha w Kutnie), są odmiany o skłonności do wytwarzania płożących się pędów: '683' selekcji szwedzkiej oraz 'Lutescens' – pochodząca z kolekcji AR w Poznaniu. Klon '683', podobnie jak 'ORM', jest jednak za granicą nadal rekomendowany do uprawy w plantacjach gospodarczych, m.in. w Wielkiej Brytanii, gdzie stosuje się zagęszczenie 10 000–20 000 zrzesów/ha (Tabbush i Parfitt 1999). Na wszystkich plantacjach doświadczalnych wierzba ta w I cyklu wytwarzała płożące się pędy. Przylegające do gleby nasadowe odcinki pędów ukorzeniały się podczas wzrostu, co uniemożliwiło pomiar ich długości i średnicy. W II cyklu pędy były nadal wygięte w odziomku, ale rosły bardziej pionowo. Jednakże na plantacji w Brzegu sucha masa plonu wierzby '683' w II cyklu była wyraźnie mniejsza niż pozostałych badanych odmian. Różnica między wielkością plonu tej odmiany i najlepszej na tej powierzchni wierzby 'ORM' była istotna statystycznie (tab. 5).

'ORM' różni się wyglądem od 'Reifenwardii', 'Stipularis', 'Tenuifolii' i 'Piaskówki'. Wytwarza rosnące ku górze proste pędy z niezbyt obfitym bocznym ugałęzieniem. Pędy pozostałych wierzb wyginają się w kierunku wolnych przestrzeni, które wypełniają gałęziami bocznymi lub pędami II rzędu wyrastającymi z nasadowych części pędów I rzędu. Pozwala im to efektywniej wykorzystywać dochodzącą do plantacji energię słoneczną i zwiększać produkcję biomasy. Szczególnie intensywnie dążą za światłem pędy 'Piaskówki', które po I cyklu były tak powyginane, że nie można było pomierzyć ich długości. Wydaje się, że 'ORM' jest odmianą wyselekcjonowaną do wzrostu w dużym zagęszczeniu i dlatego przy stosowanych w naszych doświadczeniach rzadszych więźbach często ustępowała innym wierzdom pod względem produktywności. Dzięki temu jednak, że ma mniej zawierających duży procent wody gałęzi bocznych, udział suchej masy w świeżej masie plonu jest u niej na ogół nieco większy niż u innych odmian (tab. 1, 3 i 4).

Rekomendowane do doboru wierzby nie różniły się zbytnio między sobą ani liczbą pędów w krzewie, ani ich wymiarami. W Brzegu wytworzyły one po I cyklu średnio od 4,6 do 6,1 pędów o średniej długości około 3 m, a po II cyklu miały od 12,5 ('ORM') do 17,2 ('Stipularis') pędów o średniej długości od 214 ('ORM') do 274 cm ('Piaskówka'). W Kutnie krzewy tych samych wierzb, miały po I cyklu średnio od 3,5 do 4,2 pędów, a po drugim od 5,4 do 6,7. W pierwszym cyklu

najkrótsze pędy miała na tej plantacji odmiana 'Reifenwardii' – 320 cm, a najdłuższe 'ORM' – 397 cm, w drugim natomiast najkrótsze 'Tenuifolia' – 400 cm, a najdłuższe 'Stipularis' – 460 cm. Średnica pędów w odl. 1 m od dolnego cięcia wynosiła w pierwszym cyklu od 13,7 do 17,3 mm, a w drugim od 18,0 do 20,6 mm.

Krajowe odmiany wierzb pod względem produkcji biomasy nie ustępują badanym odmianom zagranicznym, a niekiedy nawet je pod tym względem przewyższają. Na przykład uprawiana od lat w polskich plantacjach wiklinowych 'Piaskówka' nie plonuje gorzej niż wyselekcjonowane klony zalecane obecnie w zachodniej Europie do uprawy w plantacjach gospodarczych ('ORM', '683'). W związku z tym wskazane byłoby również i w Polsce prowadzenie prac selekcyjnych ukierunkowanych na znalezienie nowych odmian wierzb o wysokich walorach produkcyjnych, a równocześnie dobrze przystosowanych do wzrostu w klimatycznych i glebowych warunkach naszego kraju. Dlatego szczególną ochroną należy objąć genotypy wierzb krzewiastych zgromadzone w ich najbogatszej w Polsce „Kolekcji im. J. Białoboka” w Nadleśnictwie Doświadczalnym AR w Poznaniu – Zielonka, gdyż stanowią one bezcenną bazę genetyczną do dalszej selekcji wierzb przydatnych do uprawy w plantacjach o skróconym cyklu.

WNIOSKI

1. W badaniach przeprowadzonych na 2 doświadczalnych plantacjach o skróconym cyklu, przeciętna roczna produkcja biomasy nadziemnej w dwóch pierwszych cyklach (2 + 3 lata) uprawy wierzby osiągnęła u najlepiej przyrastającej odmiany 'ORM' – 8,50 t s.m./ha. Spośród 4 badanych odmian wierzb również 'Piaskówka', uprawiana na żyznej glebie rolniczej osiągnęła w 5-cioletnim okresie plon zbliżony do 8 t s.m./ha/rok – wielkość uznawaną za granicę za próg opłacalności plantacyjnej produkcji drewna energetycznego.

2. Przeciętny roczny plon biomasy drzewnej w drugim cyklu produkcyjnym był u wszystkich badanych odmian większy niż w pierwszym i na żyznej glebie na plantacji w Nadleśnictwie Kutno osiągnął wielkość 9,52 t s.m./ha ('ORM'). Jeżeli wysokie przyrosty stwierdzone w drugim cyklu produkcyjnym utrzymałyby się w cyklach następnych, to w dłuższym okresie można na odpowiedniej glebie spodziewać się osiągnięcia przeciętnego rocznego plonu większego niż 8 t s.m./ha także przez odmiany: 'Piaskówka' (9,23) i '683' (8,34 t s.m./ha).

3. Podstawowym warunkiem uzyskania wysokiej produkcji biomasy drzewnej w plantacjach wierzbowych o skróconym cyklu jest zakładanie ich na żyznych gruntach rolniczych. W dotychczasowych badaniach krajowych udokumentowaną zadowalającą produkcyjność wierzb uzyskano jedynie na glebach II, III i IVa klasy bonitacji rolniczej. Na plantacji doświadczalnej w Nadleśnictwie Kutno, założonej na glebie wytworzonej z gliny zwałowej lekkiej średnia dla badanych odmian wierzby roczna produkcja biomasy w dwóch pierwszych rotacjach była 3,5 raza

większa niż w identycznym doświadczeniu, założonym w Nadleśnictwie Brzeg na madach piaszczystych i bardzo lekkich z piaskiem luźnym w podglebiu (odpowiednio 7,27 i 2,10 t s.m./ha).

4. Uzyskanie wysokiej udatności sadzenia zrzesów zdrewniałych wymaga starannego przygotowania gleby pod plantację, a w wypadku wystąpienia wiosennej suszy, również nawadniania w pierwszym roku po posadzeniu.

5. Spośród 10 odmian wierzb badanych pod kątem przydatności do uprawy w skróconym cyklu, za przydatne uznano następujące:

- 1) *Salix purpurea* L. 'Piaskówka' (oznaczenie gatunku niepewne),
- 2) *Salix viminalis* L. 'ORM',
- 3) *Salix viminalis* L. 'Reifenwardii',
- 4) *Salix viminalis* L. 'Stipularis',
- 5) *Salix viminalis* L. 'Tenuifolia'.

6. Nieprzydatna do uprawy w zastosowanych w badaniach więźbach (8 889 – 13 333 szt./ha) okazała się wyselekcjonowana w Szwecji odmiana *S. viminalis* '683', której pędy płożą się i ukorzeniają podczas wzrostu.

7. Pod względem możliwości produkcyjnych odmiany wierzb krajowych nie ustępują wyselekcjonowanym za granicą, a niekiedy je przewyższają. Dlatego celowe jest prowadzenie wśród nich selekcji klonów najbardziej przystosowanych do uprawy w przyrodniczych warunkach naszego kraju. Programami selekcyjnymi należałoby objąć przede wszystkim odmiany wierzb uprawiane w Polsce w gospodarczych plantacjach wiklinowych oraz genotypy wierzb krzewiastych zgromadzone w ich najbogatszej w Polsce „Kolekcji im. J. Białoboka” w Nadleśnictwie Doświadczalnym AR w Poznaniu – Zielonka.

Autor dziękuje Kolegom z Zakładu Genetyki i Fizjologii Drzew Leśnych i Panom: inż. Janowi Łabudkowi, mgr. inż. Andrzejowi Latosowi i mgr. inż. Krzysztofowi Lipińskiemu za założenie plantacji doświadczalnych i współpracę przy pracach prowadzonych na tych powierzchniach oraz Panu dr. inż. Leszkowi Bolibokowi za wykonanie analizy wariancji wyników doświadczeń.

Praca została złożona 21.09.2005 r. i przyjęta przez Komitet Redakcyjny 2.01.2006

BIOMASS PRODUCTIVITY OF THE SELECTED WILLOW VARIETIES FOR SHORT-ROTATION COPPICE IN EXPERIMENTAL PLANTATIONS

Summary

The woody biomass production of 4 varieties of short-rotation willow coppice in the first two rotations (2 + 3 years) was analysed in 2 experimental plantations established under different site conditions. The research embraced 2 varieties of *Salix viminalis* L. selected in Sweden: 'ORM' and '683', *Salix purpurea* var. 'Piaskówka' grown in commercial plantations in Poland

and a hybrid *S. viminalis* x *S. purpurea* 'Kierksii' from the collection of Agricultural University in Poznań. Moreover, the growth parameters of 10 willow varieties (in addition to the above-specified ones 6 other varieties *S. viminalis*, *S. purpurea* and *S. triandra* from the collection of Agricultural University in Poznań) in two three-year rotation cycles were compared in 2 other experimental plantations. It was demonstrated that site conditions have the greatest impact on biomass productivity of short-rotation willow coppice. The average annual production of the analysed willow varieties in the first two rotations was 3.5 times greater than the production in the identical experiment with willows grown on sandy alluvial soils and very light alluvial soils containing loose sands in the subsoil. The average annual aboveground biomass production of *S. viminalis* 'ORM' showing the best increment reached 8.5 tonnes of dry mass per hectare (6.84 in cycle I and 9.52 dry mass/ha in cycle II). On the basis of research results concerning the selection of willow varieties for short-rotation production five of them can be recommended: *S. purpurea* var. 'Piaskówka', clones *S. viminalis*: 'Stipularis', 'Tenuifolia' and 'Reinfeinwardii' from the collection of Agricultural University in Poznań, as well as 'ORM – a clone selected in Sweden for short-rotation plantations. The biomass productivity of Polish willow varieties are not inferior, but sometimes superior to those selected in other countries, for example the Swedish variety '683' displayed poorer yield than the recommended native varieties of willows.

(transl. K. M.)

LITERATURA

- Christersson L. 1996: Sustainable cultivation of broadleaves trees in the recycling community. National report from Sweden to IPC. International Poplar Commission 20th Session. Budapest, 9 ss.
- DEFRA, 2002: Growing short rotation coppice. DEFRA Publications, London, 29 ss.
- Drogoszewski B. 1993: Ocena przydatności różnych odmian wierzb znajdujących się w kolekcji im. J. Białoboka (Nadleśnictwo Doświadczalne AR w Poznaniu – Zielonka) dla badań porównawczych nad produktywnością wierzb na plantacjach o skróconym cyklu. Maszynopis. Poznań, 12 ss + 4 tab.
- Eden P. 1981: Energiskogsbruk. Nämnaden för energiproduktionsforskning, Falun, 105 ss.
- Frankowski K., Jeżewski Z., Chodorowski P. 1961: Wiklina. Uprawa i przerób. Wyd. II popr. i uzup. PWRiL, Warszawa, 406 ss.
- Hall R. L. 2003: Short rotation coppice for energy production hydrological guidelines. DTI New and Renewable Energy Programme, Department of Trade and Industry, London, 21 ss.
- Hansen E. A. 1991: Poplar woody biomass yields: a look to the future. „Biomass and Bioenergy”, 1, 1:1-7.
- Hofmann-Schielle C., Jug A., Makeschin F., Rehfuess K. E. 1999: Short rotation plantations of balsam poplars, aspen and willows on former arable land in the Federal Republic of Germany. I. Site-growth relationship. „Forest Ecology and Management”, 121, 1-2:41-55.
- Józefaciuk A., Józefaciuk C., Nawrocki S. 1998: Racjonalizacja wykorzystania gleb marginalnych. IUNG, Puławy, 50 ss.
- Larsson S., Lindegaard K. 2003: Full scale implementation of short rotation willow coppice, SRC, in Sweden. Internet: http://www.shortrotationcrops.com/PDFs/IEA_Larsson_&_Lindegaard.pdf.
- Lindroth A., Cienciala E., Whitehead D. (ed.), Kelliher F.M. 1996: Water use efficiency of short rotation *Salix viminalis* at leaf, tree and stand scales. „Tree Physiology”, 16, 1-2: 257-262.
- Luger E. 2002: Energy crop species in Europe. Internet: http://www.bl.tmlf.gv.at/vero/veroeff/0732_Energy_crops_species_e.pfd.

- Makeschin E. 1999: Short rotation forestry in Central and Northern Europe – introduction and conclusions. „Forest Ecology and Management”, 121, 1-2:1-7.
- Mitchell C. P., Stevens E. A., Watters M. P. 1999: Short-rotation forestry-operations, productivity and costs based on experience gained in the U.K. „Forest Ecology and Management”, 121, 1-2: 123-136.
- Muhs H.-J. 1984: Schnellwachsende Baumarten im Kurzumtrieb: Production, züchterische, ökologische, forst- und agrarpolitische Aspekte. „Forstarchiv”, 55, 5:171-174.
- Płotkowski L., Szabla K. 2003: Drewno jako alternatywne źródło energii – problemy ekonomiczno-społeczne. [W:] Mat. konf. nauk. „Możliwości wykorzystania biomasy na cele energetyczne”. DGLP, SITLiD, RDLP w Białymstoku, Malinówka k/Ełku: 1-16.
- Staffa K. 1965a: Studia nad szybko rosnącymi wierzbami jako surowcem dla przemysłu celulozowo-papierniczego, cz. I. „Hodowla Roślin, Aklimatyzacja i Nasiennictwo”, 9, 2:179-224.
- Staffa K. 1965b: Studia nad szybko rosnącymi wierzbami jako surowcem dla przemysłu celulozowo-papierniczego, cz. II i III. „Hodowla Roślin, Aklimatyzacja i Nasiennictwo”, 9, 3:319-338.
- Szczukowski S., Budny J. 2003: Wierzba krzewiasta – roślina energetyczna. Biblioteka praktycznego ekologa. WFOŚiGW w Olsztynie, Olsztyn, 53 ss.
- Szczukowski S., Tworowski J. 1999: Gospodarcze i przyrodnicze znaczenie krzewiastych wierzb *Salix* sp. „Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych”, 468: 69-77.
- Tabbush P., Parfitt R. 1999: Poplar and willow varieties for short rotation coppice. Forestry Commission Information Note. Forestry Commission, Edinburgh, 4 ss.
- Taylor G., Beckett K.P., Robinson K.M., Stiles K., Rae A.M. 2001: Identifying QTL for yield in UK biomass poplar. „Aspects of Applied Biology”, 65, 173-182.
- Tubby I., Armstrong A. 2002: Establishment and management of short rotation coppice. Forestry Commission Practice Note. Forestry Commission, Edinburgh, 12 ss.
- Wiśniewski G. 2004: Źródła energii odnawialnej w Polsce: stan obecny, zarys prawny oraz możliwości rynkowe. [W:] Mat. z konf. „Wymiana doświadczeń UE w wykorzystywaniu źródeł energii odnawialnej i w ochronie klimatu w Polsce i Krajach Kandydujących do UE”, Ministerstwo Środowiska, Warszawa, 16.01.2004 r., 31 slajdów, 6 ss.
- Zajączkowski K. 1991: Plantacje energetyczne. [W:] Drewno na cele energetyczne. Ekspertyza 18-U-8 dla MOŚZNiL. Maszynopis pow. IBL, Warszawa, 32 ss.
- Zajączkowski K., Kwiecień R., Zajączkowska B., Wojda T., Zawadzki M. 2001: Produkcyjne możliwości wybranych odmian topoli i wierzb w plantacjach o skróconym cyklu. Spraw. nauk. Maszynopis pow. IBL, Warszawa, 66 ss + 17 rys. + 58 tab.