

UPRAWA WIERZB KRZEWIASTYCH NA GRUNTACH ROLNICZYCH

prof. dr hab. Józef Tworowski - Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

ZALECENIA AGROTECHNICZNE DO ZAKŁADANIA PLANTACJI POŁOWYCH WIERZBY ENERGETYCZNEJ

Wybór gleby i przygotowanie stanowiska

Przed założeniem plantacji należy uwzględnić właściwe jej rozplanowanie w terenie, które umożliwi zmechanizowanie prac uprawowych (sadzenie, nawożenie, pielęgnację, zbiór). Należy wydzielić drogi technologiczne i miejsca na uwrocia sprzętu zmechanizowanego.

Dobrym stanowiskiem pod plantację szybko rosnących gatunków wierzb krzewiastych są grunty użytkowane rolniczo (płużnie) wyższych klas bonitacyjnych np. klasy IIIa i IIIb (gleby odpowiednie pod uprawę rzepaku). Dobre są również do tego celu gleby aluwialne napływowe oraz mady, które mogą być okresowo nadmiernie wilgotne (ale nie zabagnione), gleby te są aktualnie zagospodarowane zwykle jako użytki zielone.

Pod uprawę szybko rosnących wierzb krzewiastych mogą być przeznaczane grunty słabsze, niższych klas bonitacyjnych ale pod warunkiem ich nawadniania i intensywnego nawożenia np. osadami ściekowymi. Możliwe jest również zagospodarowanie gleb zanieczyszczonych przez przemysł np. metalami ciężkimi.

Gleba powinna być dobrze przygotowana, tak jak pod inne uprawy rolnicze, i całkowicie odchwaszczona. Największym zagrożeniem dla roślin wierzby są chwasty wieloletnie.

W roku poprzedzającym sadzenie na stanowiskach po użytkach zielonych należy skutecznie zwalczyć chwasty, szczególnie wieloletnie: perz (*Agropyron repens*), ostrożeń (*Cirsium arvense*), powój (*Convolvulus arvensis*) i inne. Najlepiej zastosować na chwasty w pełni wegetacji Roundup (glyfosate) w dawce 4-8 litrów na ha. Po kilku tygodniach glebę ze zniszczoną masą roślinną należy zaorać (podorywka + bronowanie). Na zimę należy wykonać orkę na głębokość 40 cm lub użyć gęłbosza.

Wiosną glebę starannie zabronować, aby powierzchnia jej była wyrównana co ułatwi mechaniczne sadzenie zrzesów sadzarką.

Dobór gatunków i odmian

Do uprawy wykorzystywać można różne gatunki wierzb szybko rosnących: *Salix viminalis*, *S. triandra (amygdalina)*, *S. dasyclados* etc. oraz liczne hybrydy międzygatunkowe.

Najodpowiedniejszymi do uprawy w Polsce północno-wschodniej są formy z gatunku *Salix viminalis* - wierzba konopianka i jej wewnątrz i między gatunkowe krzyżówki.

Formy wykorzystywane na plantacjach połowych powinny pochodzić z pewnego źródła i spełniać następujące wymagania:

- rozmnażać się wegetatywnie,
- charakteryzować się szybkim wzrostem,
- pędy powinny szybko odrastać po zbiorze (po każdej rotacji),
- charakteryzować się odpornością na choroby i szkodniki oraz wysoką mrozoodpornością,
- mieć korzystną morfologię pędów,
- charakteryzować się dobrą produktywnością i jakością drewna.

Sadzenie

Rozmnażanie krzewiastych wierzb odbywa się przez sadzenie zrzesów (odcinków pędów jedno- lub dwuletnich o długości 25 cm).

Zrzesy są pozyskiwane zwykle w ziemi poprzedzającej sadzenie. Powinny być one przechowywane w pomieszczeniu chłodnym i wilgotnym. Należy je chronić przed bezpośrednim nasłonecznieniem i wiatrem.

Zrzesy sadi się wiosną na początku okresu wegetacji, kiedy wilgotność gleby po okresie zimy jest jeszcze wysoka.

Gęstość sadzenia uzależniona jest od rozstawu kół maszyn rolniczych, zwłaszcza ciągników i maszyn towarzyszących przy sadzeniu i zbiorze roślin z plantacji. W Polsce sadi się zrzesy w zagęszczeniu 40 tys. szt./ha (0,75 x 0,33 m).

W Szwecji sadi się zrzesy w równoległych rzędach. Odległość między rzędami wynosi 0,75 m, następnie 1,25 m, znów dwa rzędy w odległości 0,75 m, odstęp 1,25 m itd. (sadzenie pasowe). Odległość między zrzesami w rzędzie wynosi 0,50 m, co daje obsadę około 15 000 zrzesów na hektar (przy powyższym sposobie sadzenia zakłada się zbiór roślin tylko w cyklach 3-letnich).

Pojawianie się pędów następuje szybko. Po 2-3 tygodniach można określić te sadzonki, które się nie przyjęły i uzupełnić je nowymi zrzesami (dobrze przechowywanymi).

Pielęgnacja

Wierzba krzewiasta w pierwszym roku uprawy ma małą zdolność konkurencyjną w stosunku do chwastów, dlatego też bardzo ważnym zadaniem jest utrzymanie plantacji w stanie nie zachwaszczonym. Nawet w przypadku bardzo dobrego przygotowania pola pod nasadzenia mogą pojawić się chwasty zagłuszające młode rośliny. Po sadzeniu wierzby (zanim zaczną rozwijać się jej pędy) należy zastosować herbicydy doglebowe.

Zalecane herbicydy do zwalczania chwastów

Nazwa środka	Dawka środka kg/ha
Azotop	1,5-2,5
Bladex 50WP	2,0-5,0
Bladex 500S.C.	3,0-4,0

wg IOR Poznań 2000

Jeśli chemiczna walka z chwastami nie daje zadowalających wyników i wystąpi zachwaszczenie wtórne trzeba zastosować pielęgnację mechaniczną. Bardzo ważne jest, aby mechaniczne zwalczanie chwastów rozpocząć zanim chwasty rozwiną silny system korzeniowy. Najczęściej w okresie wegetacji wymagane jest dwukrotne spulchnienie międzyrzędzi w celu zniszczenia chwastów.

Nawożenie roślin

Pierwszy rok uprawy

Pierwszy rok traktowany jako faza wstępna. Należy zadbać o właściwy rozwój systemu korzeniowego i rozkrzewienie się roślin. Należy pobrać próbki glebowe celem określania zawartości makro i mikroelementów w glebie i uzupełnić braki składników pokarmowych. W tym okresie należy bardzo ostrożnie dawkować nawozy. Nawożenie mineralne NPK zastosować w proporcji 30:10:30 kg /ha. Po pierwszym roku uprawy pędy powinny być wycięte w okresie zimowym, co będzie stymulowało rozkrzewienie roślin w drugim i następnych latach wegetacji.

Drugi rok uprawy

W drugim roku rośliny należy nawozić intensywnie NPK odpowiednio 80:30:80 kg/ha. W tym czasie składniki pokarmowe pobierane z gleby są wykorzystywane przez rośliny do tworzenia dużej liczby pędów, liści i korzeni.

Trzeci i dalsze lata uprawy

Nawozy NPK zastosować w ilości odpowiednio: 80:30:80 kg/ha. Po opadnięciu liści i uformowaniu się warstwy ściółki, zapotrzebowanie na nawożenie mineralne jest nieco niższe, ponieważ część składników pokarmowych rośliny przyswajają z rozkładającej się biomasy liści.

Użyźnianie gleby osadami ściekowymi

Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 11 sierpnia 1999 r. Określa warunki, jakie muszą być spełnione przy wykorzystaniu osadów ściekowych na cele nieprzemysłowe.

Na podstawie art.16 ust. 3 ustawy z dnia 27 czerwca 1997 r. o odpadach (Dz. U. 96, poz. 592 oraz z 1998 r. Nr 106, poz. 668 i Nr 113, poz. 715) zarządza się co następuje:

§ 1. Wykorzystanie osadów ściekowych na cele nieprzemysłowe polega na:

- 1) wprowadzeniu na grunty do rekultywacji na potrzeby rolnicze i potrzeby nierolnicze,
- 2) stosowaniu w rolnictwie,
- 3) wprowadzeniu wraz z nasionami roślin na powierzchnie narażone na erozję,
- 4) stosowaniu do uprawy roślin przeznaczonych do produkcji kompostu,
- 5) kompostowaniu osadów ściekowych.

DAWKI OSADÓW ŚCIEKOWYCH STOSOWANYCH DO REKULTYWACJI GRUNTÓW NA POTRZEBY ROLNICZE I NIEROLNICZE, DO ROŚLINNEGO UTRWALANIA POWIERZCHNI GRUNTÓW ORAZ DO UPRAWY ROŚLIN PRZEZNACZONYCH DO PRODUKCJI KOMPOSTU

Cel wykorzystania osadów ściekowych	Dawka osadów ściekowych w tonach suchej masy/ha	Uwagi
1	2	3
1. Rekultywacja gruntów na potrzeby rolnicze i nierolnicze	40-200 zależnie od pożądanej zawartości substancji organicznej w gruncie(0,5% - 3%)	Zabiegi jednorazowe z jedno- lub wielokrotnym wprowadzaniem osadu ściekowego do gruntu
2. Roślinne utrwalanie		Zabiegi jednorazowe z jedno- lub

powierzchni gruntów metodą hydroobsiewu	do 10	wielokrotnym wprowadzaniem osadu ściekowego do gruntu
3. Uprawa roślin przeznaczonych do produkcji kompostu	do 250 dawka na pierwsze 3 lata	Zabiegi wielokrotne
	do 10dawka w kolejnych dalszych latach	

Metoda przyrodniczego wykorzystania osadów ściekowych do nawożenia krzewiastych wierzb na plantacjach jest prosta, energooszczędna i skuteczna oraz minimalizuje ich szkodliwy wpływ na środowisko. Włącza ona osady w ekologiczny obieg materii.

Zbiór

Pozyskiwanie drewna rozpoczyna się zwykle po dwóch latach uprawy w cyklach:

- jednorocznych,
- dwuletnich,
- trzyletnich .

Po ścięciu pędów tuż nad powierzchnią gleby, na wiosnę niskie karpy wypuszczają nowe łodygi, które można eksploatować w powyższym cyklu zbioru. Produkcja na plantacji krzewiastych wierzb może przebiegać bez większych zakłóceń przez 20 - 25 lat.

Zbiór roślin z plantacji może być przeprowadzony przy użyciu sieczkarń do zbioru kukurydzy Z 364 (pędy jednoroczne) lub "Jaguar" firmy Class (pędy 2,3-letnie). Przy użyciu tych maszyn następuje ścinanie pędów rozdrabnianie ich na zrębki i załadunek na kontener do przewozu biomasy (analogicznie jak przy zbiorze kukurydzy). Wilgotność zrębków przy zbiorze pędów jednorocznych wynosi około 53%, dwuletnich 50%, trzyletnich 46%.

Z plantacji można zbierać również całe pędy przy użyciu żniwiarek, snopowiązałek do wikliny (cykl jednoroczny) lub ręcznie przy użyciu spalinowych pił tarczowych na wysięgnikach, łańcuchowych (cykl 2-3-letni). Istnieje również możliwość naturalnego podsuszenia pędów (do około 20-25%) i przechowanie ich w stertach lub pryzmach do następnego sezonu grzewczego.

Przechowywane w stertach pędy jednoroczne i pryzmach (2,3-letnie) można rozdrabniać rębarkami na zrębki, sukcesywnie, zgodnie z zapotrzebowaniem. Bardzo ważne, aby w ciągu całego okresu grzewczego był swobodny dojazd sprzętu do stert i pryzm.

PRODUKTYWNOŚĆ WIERZB KRZEWIASTYCH NA GRUNTACH ROLNICZYCH

W Polsce szacuje się, że około 2,0 mln gruntów jest wyłączona z rolniczego użytkowania i pozostaje w charakterze ugorów, a głównie odłogów [Dzienia 1998, Woś 1995], w tym istotny udział stanowią gleby mineralne i organiczne w dolinach rzek. Problemem na Nizinie Kwidzyńskiej i na Żuławach są nie użytkowane gospodarczo łąki, które wcześniej były zmeliorowane i zagospodarowane [Bocheński 2001, Szczukowski 2000]. Aktualnie istniejące urządzenia melioracyjne ulegają dewastacji, a nie koszone użytki zielone wykazują zubożenie składu florystycznego. Analogiczna sytuacja występuje w wielu regionach kraju: dolina Odry i Iny [Niedźwiecki 1998], Sanu i Strugu [Woźniak i in.1998.]. Pewnym rozwiązaniem byłoby wykorzystanie części tych gleb pod plantacje szybko rosnących krzewiastych wierzb (wikiny) Salix sp. Pozyskiwana z gruntów rolniczych świeża lignino-celulozowa biomasa Salix sp. w krótkich 1, 2, 3-letnich rotacjach może być w nowoczesnej technologii chemicznego przetwarzania zamieniana na wtórne nośniki energii: energię cieplną (proces gazyfikacji) [Broek i in. 1997, Gigler i in. 1999] i paliwa płynne (gazyfikacja + synteza gazu do metanolu) [Sethi i in.1999, Ciechanowicz 2001]. Uwzględniając zatem potrzebę zagospodarowania gleb mineralnych i organicznych na Nizinie Kwidzyńskiej przeprowadzono dwa doświadczenia polowe [Szczukowski i in. 2000, Szczukowski, Tworkowski 2000], których celem było: określenie przydatności mady ciężkiej i gleby mułowo-murszowej do uprawy wybranych form Salix sp. oraz ustalenie potencjału produkcyjnego i kaloryczności drewna w zależności od gęstości sadzenia i

częstotliwości zbioru i nawożenia mineralnego.

Produktywność Salix sp. uprawianej na glebie mineralnej

W latach 1996-1999 prowadzono doświadczenie polowe [Szcukowski i in. 2000] trzy czynnikowe w 4 powtórzeniach w Oborach koło Kwidzyna na madzie ciężkiej wytworzonej z gliny ciężkiej pylastej, kompleks 8 zbożowo pastewny mocny kl. IIIb.

Czynnik pierwszy stanowiły klony Salix sp.: Rapp Valne (numer w kolekcji-1051), Ulv Valne (1052), Orm Valne (1053), Salix viminalis 082 (1054), Salix viminalis var. gigantea (1047), Salix viminalis cul.. Piaskówka (1040).

Czynnikiem drugim była gęstość sadzenia zrzesów: 20, 40, 60 tys. szt. ha⁻¹ co odpowiada rozstawie: 0,66 x 0,75 m, 0,33x 0,75 m, 0,22 x 0,75 m.

Czynnik trzeci stanowiła częstotliwość zbioru pędów: co rok, co 2-lata, co 3-lata. Zbiór biomasy przeprowadzano w miesiącu styczniu.

W obu doświadczeniach określono plon biomasy (t · ha⁻¹ · rok⁻¹), zawartość wody w drewnie oraz obliczono plon suchej masy drewna (t · ha⁻¹ · rok⁻¹).

Wartość kaloryczną drewna określono za pomocą kalorymetrii bezpośredniej (oznaczono energię brutto w MJ·kg⁻¹ suchej masy) oraz określono zawartość popiołu.

Plony świeżej biomasy Salix sp. zbierane w cyklu 3-letnim w doświadczeniu na madzie ciężkiej, (okresowo nadmiernie wilgotnej) były bardzo wysokie, wahały się od 34,18 do 49,38 t · ha⁻¹ · rok⁻¹ a średnio wyniosły 39,84 t · ha⁻¹ · rok⁻¹ (tab.1). Dane te są porównywalne z wynikami, które aktualnie uzyskuje się w doświadczeniach polowych w Szwecji [Dahlgren 1999, Larsson 1998] i Wielkiej Brytanii [Booth 1988, Macpherson 1995.]. W gospodarce leśnej w polskich warunkach plonowanie wierzby wynosi około 16 t świeżego drewna · ha⁻¹ · rok⁻¹ w rotacji 3-letniej [Zajączkowski i in.1993]. Booth [1988] oraz Perttu [1993] twierdzą, że prowadzenie upraw krzewiastych wierzby przez leśników nie przynosi oczekiwanych rezultatów, przekazano je rolnikom ponieważ plantacje te muszą być prowadzone w sposób wysoce intensywny, wówczas uzyskuje się pożądane efekty.

Plon suchej masy drewna w badaniach własnych był wysoki średnio wyniósł 17,41 t · ha⁻¹ · rok⁻¹ i wahał się w doświadczeniu od 11,41 do 21,70 t · ha⁻¹ · rok⁻¹, najwyższy był gdy pędy Salix sp. pozyskiwano w cyklu 3- letnim (tab.2). Potwierdza to ustalenia innych autorów [Booth 1988, Ledin 1996, Macpherson 1995].

Opłacalność ekonomiczną uprawy Salix sp. uzyskuje się w Szwecji, gdy produkcja drewna przekracza 12 t s.m. · ha⁻¹ · rok⁻¹. Produktywność plantacji produkcyjnych wierzby krzewiastych założonych na gruntach ornych utrzymuje się na poziomie 12-15 t s.m. · ha⁻¹ · rok⁻¹. W ostatnich latach powierzchnia szwedzkich plantacji energetycznych zwiększyła się znacznie, aktualnie przekracza 30 tys., a do 2010 roku prognozuje się tam uprawiać ponad 500 tys. ha [Wilstrand 1999]. Natomiast w USA na północy Stanu Nowy Jork w pobliżu Syracuse pilotażowe i wdrożeniowe plantacje krzewiastych wierzby na cele energetyczne zajmują powierzchnię 1100 ha a do 2010 będzie się tam uprawiać 20 tys. ha tych roślin [Nowak i in. 1999].

Zawartość wody w drewnie Salix sp. była zróżnicowana i wyniosła w czasie zbioru pędów jednorocznych 52,05% a 3- letnich 45,97% natomiast wartość kaloryczna drewna odpowiednio:18,63 i 19,27 MJ · kg⁻¹ s.m. (tab.3).

Ager i in. [1986] badali liczne klony krzewiastych wierzby i wykazali, że wilgotność drewna pędów jednorocznych wahała się od 50,4 do 61,7% , a ich kaloryczność od 19,0 do 20 MJ·kg⁻¹ s.m.

Po spopieleniu drewna Salix sp. wykazano bardzo niską zawartość popiołu od 2,12% (u pędów 1- rocznych) do 1,28% (u 3-letnich), co jest bardzo korzystne przy jego energetycznym wykorzystaniu. Ponadto otrzymany popiół może być bezpośrednio bez jakiegokolwiek uszlachetniania użyty jako nawóz mineralny.

W uproszczonej kalkulacji wykazano, że plon 3 letnich pędów wyrażony w suchej masie drewna (18,74 t · ha⁻¹ · rok⁻¹) jest równoważny energetycznie 12.0 tonom węgla kamiennego (tab.4).

Produktywność Salix sp. uprawianej na glebie organicznej

Drugie doświadczenie polowe dwuczynnikowe [Szcukowski , Tworowski 2000] prowadzono w latach 1995-1998 w pradolinie Wisły koło Kwidzyna, na glebie mułowo-murszowej na torfie w czterech powtórzeniach.

Czynnik pierwszy stanowiło nawożenie mineralne: - kontrola bez stosowania nawożenia; - nawożenie: N - 40, P₂O₅- 60, K₂O - 80 kg ha⁻¹. Nawożenie roślin przeprowadzano co roku wczesną wiosną.

Czynnikami drugim była częstotliwość zbioru pędów: co rok, co 2-lata, co 3-lata.

W doświadczeniu tym badano klon Salix viminalis var. gigantea (1047), zrzesy wysadzono w zagęszczeniu 100 tys. sztuk na hektar.

Zastosowane nawożenie: N - 40, P₂O₅ - 60, K₂O - 80 kg ha⁻¹ na rośliny Salix viminalis var.

gigantea dało istotny wzrost biomasy pędów z jednostki powierzchni w porównaniu z kombinacjami nie nawożonymi (tab.5). Zmniejszenie częstotliwości zbioru do 2-letniego cyklu dało istotny wzrost plonów biomasy w porównaniu do zbioru w cyklu rocznym. Natomiast dalsze jego zmniejszanie spowodowało tylko tendencję wzrostu masy drewna (odpowiednio 30,27 - cykl 3-letni i 27,66 t·ha⁻¹·rok⁻¹- cykl 2-letni). W rzeczywistości plon świeżej biomasy zbieranej co 3-lata w doświadczeniu wyniósł średnio 90,81 t·ha⁻¹, a w obiekcie z nawożeniem przekroczył 102 t·ha⁻¹.

Plony suchej masy drewna *Salix viminalis* var. *gigantea* zbierane w cyklu jednorocznym w doświadczeniu wyniosły średnio 11,0 t·ha⁻¹·rok⁻¹ istotnie rosły gdy rośliny były zbierane w cyklu 2-letnim (14,53 t·ha⁻¹·rok⁻¹) dalsze opóźnianie zbioru powodowało tylko tendencję wzrostu masy drewna. Nawożenie mineralne dało istotny wzrost suchej masy drewna w porównaniu do nie nawożonej kontroli. Powyższą zależność potwierdzają wcześniejsze badania prowadzone z dwoma gatunkami krzewiastych wierzb na glebie murszowej [Bukiewicz 1985]. W badaniach własnych najwyższy plon suchej masy drewna uzyskano w kombinacji w której zastosowano nawożenie mineralne a rośliny zbierano w cyklu 3-letnim (18,37 t·ha⁻¹·rok⁻¹). Prawdopodobnie wprowadzone do gleby nawozy mineralne a szczególnie potas, którego duży niedobór stwierdzono w glebie, stymulowały wzrost i plonowanie roślin. Brak potasu w glebach organicznych jest częstym powodem ograniczającym rozwój i plonowanie roślin *Salix* sp. [Maciak i in. 1973].

Ważnym aspektem w uprawie *Salix* sp. na glebie organicznej jest możliwość szybszej niż na glebach mineralnych degeneracji roślin na plantacji na skutek ubytków. W omawianym doświadczeniu w czwartym roku uprawy wynosiły one ponad 50% w stosunku do stanu wyjściowego. W znacznym stopniu przyczyniła się do tego samoregulacja roślin (planowane zagęszczenie 100 tys. roślin ha⁻¹) i silne zachwaszczenie powojem (*Convolvulus arvensis* L.). Wartość kaloryczna drewna była wysoka średnio wynosiła 19,00 MJ·kg⁻¹ s.m. Nawożenie i częstotliwość zbioru nie wpłynęły na wartość kaloryczną drewna.

Podsumowanie

Szybko rosnące krzewiaste wierzby (*Salix* sp.) uprawiane na gruntach ornych na Nizinie Kwidzyńskiej stanowią poważne źródło odnawialnego, ekologicznego paliwa, które może być wykorzystane w lokalnej energetyce i w nieodległej przyszłości do produkcji metanolu.

Plon suchej masy drewna sześciu form *Salix viminalis* rosnących na madzie ciężkiej wynosił średnio 17,41 t·ha⁻¹·rok⁻¹, natomiast *Salix viminalis* var. *gigantea* uprawiana na glebie mułowo-murszowej wydała 15,62 t·ha⁻¹·rok⁻¹. Zawartość wody w drewnie *Salix* sp. była zróżnicowana i wynosiła w czasie zbioru pędów jednorocznych 52% a trzy letnich 46%, natomiast wartość kaloryczna drewna odpowiednio: 18,6 i 19,3 MJ·kg⁻¹s.m. a zawartość popiołu 2,12% (u pędów jednorocznych) i 1,28% (u 3-letnich).

Wskazano na dwa wysokopienne o korzystnych cechach gospodarczych klonu w obrębie gatunku *Salix viminalis* (1047, 1054), które po uzupełniających testach produkcyjnych będą mogły być zalecane do zakładania plantacji bioenergetycznych.

Istnieje potrzeba kontynuowania badań w celu doskonalenia sposobu uprawy, zbioru, rozdrabniania biomasy oraz jej przetwarzania do metanolu.

Konieczne byłoby przeprowadzenie bilansu energii i analizy ekonomicznej tego przedsięwzięcia, aby uzyskać jednoznaczną odpowiedź: czy warto będzie inwestować w tego typu innowacje?

Literatura

1. Ager A., Rönnberg-Westljung A.C., Thorsén J.& Sirén G. 1986. Genetic improvement of willow for energy forestry in Sweden. Sveriges Lantbruks-Universitet, Avd. för eneriskog, Rapport. 43, ss:50
2. Bocheński J. 2001. Potrzeba zintegrowanego zarządzania obszarem ekosystemu delty Wisły. W: Żuławy Wiślane unikalnym obszarem w Polsce i Europie. Z.1: 7-18
3. Booth T.C. 1988. Agroforestry and Growing Wood Energy. Forestry Commission. 17: 95-101
4. Broek R. Van den, Faaij A. Van den, Kent T., Bulfin M., Healion K., Blaney G. 1997. Willow firing in retrofitted Irish peat power plants. Biomass Bioenergy. 12 (2): 75-90.
5. Bukiewicz H., Dzięciołowski W., Mocek A. 1985. Wpływ nawożenia mineralnego gleb murszowych na plonowanie krzewostanów wiklinowych odmian Piaskówka i Engela. Roczn. AR w Poznaniu CLXVI: 3-19
6. Ciechanowicz W. 2000. Technologie energii ery informatycznej cywilizacji. Aura. 11:14-15.
7. Ciechanowicz W. 2001. Bioenergia. Aura. 4: 8-10.

8. Ciechanowicz W. 2001. Bioenergia a energia jądrowa. Monografia. Wydawnictwo. Wyższa Szkoła Informatyki Stosowanej i Zarządzania. Warszawa ss. 350
9. Dahlgren L. 1999. The need of R&D contributions and measures of stimulants for bio energy from the agricultural sector. Journal of the Swedish Seed Association. 109, 2: 104 - 111
10. Dzienia St. 1998. Zasady gospodarowania na terenach czasowo wyłączonych z produkcji rolnej. Bibliotheca Agronomica. 5: 13-24
11. Larsson S. 1998. Genetic improvement of willow for short-rotation coppice. Biomass and Bioenergy. vol., 15, 1: 23-26
12. Ledin S. 1996. Willow wood properties, production and economy. Biomass and Bioenergy. 11, 2-3: 75-83
13. Maciak F., Okruszko H., Jeżewski J. 1973. Przydatność siedlisk na średnio głębokich torfach do uprawy wikliny przemysłowej . Rocz. Nauk Rol. S. D, 149: 1-71
14. Macpherson G. 1995. Home - Grown Energy from Short-rotation Coppice. Farming Press North America ss.214
15. Niedźwiecki E., Meller E., Malinowski R. 1998. Wartość i przydatność rolnicza odłogowanych gleb Pomorza Zachodniego. Bibliotheca Agronomica. 5: 35-43
16. Nowak C.A., Volk T.A., Ballard B., Abrahamson L.P. 1999. The Role and Process of Monitoring Willow Biomass Plantations. Biomass A Growth Opportunity in Green Energy and Value-added Products. Proceedings of the 4th Biomass Conference of the Americas. vol.1 : 25-30
17. Perttu K.L. 1993. Biomass production and nutrient removal from municipal wastes using willow vegetation filters. Journal of Sustainable Forestry. 1(3) : 57-70
18. Sethi P., Chaundry S., Unnash S. 1999. Methanol production from biomass using the hynol process. In: Biomass - a growth opportunity in green energy and value-added products. (Overend P., Chornet E., eds) p. 833-836.
19. Szczukowski S. Tworkowski J. Wiwart M., Przyborowski J. 1998. Wiklina (Salix sp.). Uprawa i możliwości wykorzystania. Wydawnictwo ART. Olsztyn. ss:60
20. Szczukowski S. Tworkowski J. Kwiatkowski J. 1998. Możliwości wykorzystania biomasy Salix sp. pozyskiwanej z gruntów ornych jako ekologicznego paliwa oraz surowca do produkcji celulozy i płyt wiórowych. Postępy Nauk Rol. 2: 53-63
21. Szczukowski S. Tworkowski J. Stolarski M. 2000. Biomasa krzewiastych wierzb (Salix sp.) pozyskiwana na gruntach ornych odnawialnym źródłem energii. Międzynarodowa Konferencja "Gospodarowanie w rolnictwie zrównoważonym u progu XXI wieku. Puławy 1-2 czerwca . Pamiętnik Puławski 120: 421-428
22. Szczukowski S., Tworkowski J. 2000. Produktywność wierzb krzewiastych Salix sp. na glebie organicznej. Konferencja "Ochrona i rekultywacja gruntów" Instytut Ochrony Środowiska. Baranowo Sandomierskie 14-16 czerwca Inżynieria Ekologiczna 1: 138-144
23. Szczukowski S. 2000. Krzewiaste wierzby (Salix sp.) źródłem energii i surowców. Referat wygłoszony na posiedzeniu Wydziału VII PAN - oddział we Wrocławiu. 18 kwiecień.
24. Wilstrand M. 1999. Salix - Establishment and harvesting. Journal of the Swedish Seed Association. 109, 2: 97-103
25. Woś A. 1995. Ekonomia odnawialnych zasobów naturalnych. Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa. s.349
26. Woźniak L., Woźniak M. 1998. Możliwości i zasady zagospodarowania doliny Sanu i doliny Strugu pod kątem wykorzystania odłogów i nieużytków oraz ograniczenia negatywnych skutków zalewów powodziowych. Bibliotheca Agronomica. 5: 74-80
27. Zajączkowski K., Załęski A. 1993. Możliwości produkcyjne drzew szybko rosnących w plantacyjnej uprawie na gruntach porolnych. Materiały I Krajowej Konferencji "Las-Drewno-Ekologia '93" Poznań.: 133-152

Tabela 1. Plon biomasy Salix sp. (t · ha⁻¹·rok⁻¹)
[Szczukowski i in. 2000]

(a) Numer klonu w kolekcji	Częstotliwość zbioru pędów											
	corocznie				co 2 lata				co 3 lata			
	(b) Liczba wysadzonych zrzędów (tys. szt.·ha ⁻¹)											
	20	40	60	średnio	20	40	60	średnio	20	40	60	średnio
1051*	18,47	23,70	35,75	25,97	29,74	28,08	32,14	29,99	35,71	36,53	35,20	35,81

Uprawa wierzb krzewiastych na gruntach rolniczych

1052*	33,76	38,48	35,12	35,79	32,52	32,52	40,40	35,15	41,73	42,24	42,24	42,07
1053*	22,34	38,27	30,34	30,32	31,53	33,44	37,19	34,05	40,20	41,01	41,53	40,91
1054*	29,89	41,72	49,54	40,38	31,06	38,95	41,17	37,06	48,16	49,38	46,93	48,16
1047*	22,89	31,09	41,34	31,77	26,63	30,76	33,06	30,15	37,96	37,65	38,67	38,09
1040*	16,76	18,28	24,11	19,72	22,12	26,71	29,74	26,17	34,18	34,48	33,36	34,01
Średnio	24,02	31,92	36,04	30,66	28,84	31,75	35,61	32,09	39,66	40,22	39,66	39,84
NIR _{0,05}	a - 1,74; b - 0,76; a x b - 2,31				a - 3,13; b - 2,43; a x b - ni				a - 4,47; b - ni ; a x b - ni			

* - wszystkie formy z gatunku *Salix viminalis*

Tabela 2. Plon suchej masy drewna *Salix* sp. ($t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$) [Szczukowski i in.2000]

Liczba wysadzonych zrzewów (tys. szt·ha ⁻¹)	Częstotliwość zbioru pędów			Średnio
	corocznie	co 2 lata	co 3 lata	
20	11,41	14,49	21,47	15,72
40	15,41	16,05	21,70	17,72
60	17,17	17,65	21,40	18,74
Średnio	14,66	16,06	21,52	17,41
NIR _{0,05}	0,43	1,36		0,92

Tabela 3. Zawartość wody i popiołu w pędach *Salix* sp. oraz ich wartość kaloryczna [Szczukowski i in.2000]

Częstotliwość zbioru pędów	Zawartość wody w świeżej masie pędów%	Wartość kaloryczna drewna MJ·kg ⁻¹ s.m.	Zawartość popiołów % s.m.	Wartość kaloryczna węgla MJ·kg ⁻¹ s.m.
corocznie	52,1	18,63	2,12	30,00
co 2 lata	50,1	19,25	1,87	
co 3 lata	46,0	19,27	1,28	
Średnio	49,39	19,04	1,76	30,00

Tabela 4. Plon suchej masy drewna i energii brutto w przeliczeniu na rok użytkowania plantacji oraz w przeliczeniu na wartość energetyczną węgla kamiennego [Szczukowski i in.2000]

Częstotliwość zbioru pędów	Plon suchej masy drewna $t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$	Energia brutto $GJ \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$	Energia wyrażona w tonach węgla kamiennego $t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$
corocznie	15,79	294,16	9,81
co 2 lata	17,72	341,11	11,37
co 3 lata	18,74	361,12	12,03
Średnio	17,41	332,13	11,07

Tabela 5. Plon biomasy, suchej masy drewna, wartość kaloryczna oraz zawartość wody w drewnie *Salix viminalis* var. *gigantea* [Szczukowski, Tworowski 2000]

(a) Nawożenie mineralne

Cecha	kontrola bez nawożenia				nawożenie N ₄₀ P ₆₀ K ₈₀				NIR _{0,05}
	(b) częstotliwość zbioru								
	corocznie	co 2 lata	co 3 lata	Średnio	corocznie	co 2 lata	co 3 lata	Średnio	
Plon biomasy t·ha⁻¹·rok⁻¹	19,87	24,53	26,50	23,63	25,47	30,79	34,03	30,09	a-1,66; b-3,65; axb-4,18
Plon s.m. drewna t·ha⁻¹·rok⁻¹	9,67	12,89	14,44	12,33	12,33	16,17	18,37	15,62	a-2,29; b-1,35; axb-2,73
Zawartość wody w drewnie %	50,9	47,42	45,51	47,94	51,60	47,49	46,03	48,37	a-0,43; b-0,45; axb-ni
Kaloryczność drewna MJ·kg⁻¹ s.m.	19,38	19,16	19,45	19,33	19,11	19,33	19,34	19,26	a-ni; b-ni; axb-ni