

*Stefan Szczukowski, Józef Tworowski, Jacek Kwiatkowski*

*Katedra Hodowli Roślin i Nasiennictwa Akademia Rolniczo-Techniczna w Olsztynie*

## **Możliwości wykorzystania biomasy *Salix* sp. pozyskiwanej z gruntów orných jako ekologicznego paliwa oraz surowca do produkcji celulozy i płyt wiórowych**

W wielu ośrodkach naukowych w Europie poszukuje się nowych dochodowych źródeł w produkcji roślinnej. Duże nadzieje wiąże się z rozszerzeniem areału upraw roślin przemysłowych: włóknistych, oleistych i energetycznych. Wydaje się, że spośród ww. roślin nieżywnościowych najbardziej obiecującymi są szybko rosnące krzewiaste gatunki wierzby — *Salix* sp. uprawiane na gruntach orných [18, 20, 22, 26, 29, 36]

Przez wielowiekową selekcję i uprawę wikliny, uzyskano formy plecionkarskie, kijowe i faszynowe oraz szybko rosnące produkujące wielką masę surowca odpowiedniego jakościowo dla potrzeb jego odbiorców. Szybko rosnące wierzby (głównie *S. viminalis* i jej mieszańce) w sprzyjających warunkach cechuje wysoki potencjał produkcji biomasy, szybki wzrost, duże zdolności regeneracyjne po zbiorze [14]. Z 3–4 letnich plantacji polowych tej rośliny można uzyskać dużą biomasa drewna (nawet do 60 t/ha s.m.), która może być uzupełnieniem deficytowego surowca pozyskiwanego z lasów.

Uprawy te mogą być zakładane na części gruntów orných mało efektywnie wykorzystanych rolniczo oraz terenach nadrzecznych (użytki zielone na madach) w naturalnym siedlisku wierzby, a także w okręgach przemysłowych, w których uprawa tradycyjnych roślin żywnościowych nie jest racjonalna.

W Polsce istnieją również uzasadnione podstawy do naukowego zainteresowania się wikliną w uprawie polowej i wykorzystaniem jej drewna między innymi na cele energetyczne (ekologiczne paliwo), a także jako surowca dla przemysłu chemicznego (celuloza) i meblarskiego (płyty wiórowe).

Uprawy te mogą dać rolnikom wiele korzyści [7, 22, 23, 27, 38]; ich cechy charakterystyczne to:

- niskie nakłady pracy,
- niska energochłonność uprawy (małe zapotrzebowanie na nawozy i pestycydy),
- wysoka produktywność,

- możliwość wykorzystania dużych powierzchni gleb do uprawy,
- możliwość zastosowania standardowych maszyn do uprawy gleby, sadzenia i z drobnymi adaptacjami do zbioru biomasy,
- nieograniczony rynek (przyszłościowo),
- uprawa bezpieczna dla środowiska (zaakceptowana przez opinię publiczną w Szwecji i Wielkiej Brytanii).

Szybko rosnące klony wikliny uprawiane na użytkach rolnych dałyby zupełnie nowy produkt rolniczy i strumień stałych dochodów producentom tej rośliny. Potencjalny rynek dla produkowanej w sposób zrównoważony i przyjazny środowisku energii cieplnej, papieru oraz płyt drzewnych wydaje się bardzo duży. Ponadto znaczne rezerwy gleb słabo wykorzystanych rolniczo oraz potrzeba znalezienia nowych źródeł dochodów w rolnictwie wskazują na konieczność szerszego naukowego i praktycznego zajęcia się tym gatunkiem w naszym kraju.

## Plonowanie i możliwości uprawy *Salix* sp.

Na plantacjach polowych *Salix* sp. energia słoneczna transformowana jest efektywnie na biomasę, w której jest ona magazynowana. Fotosynteza przebiegająca w roślinach jest procesem elektrochemicznego przenoszenia elektronów do błon chloroplastów, co pozwala zredukować dwutlenek węgla  $\text{CO}_2$  do  $\text{CH}_2\text{O}$ . Substratami są tu fotony, dwutlenek węgla oraz woda, a produktem związku  $(\text{CH}_2\text{O})_n$ , bogate w węgiel, gromadzone jako biomasa. Biomasa roślinna, w której w złożonych związkach chemicznych zmagazynowana jest energia, jest całkowicie odnawialna [19].

Agrotechnika uprawy szybko rosnących wierzb na plantacjach polowych jest zbliżona do technologii produkcji surowca plecionkarskiego [44], zarysowują się jednakże pewne różnice między innymi w zagęszczeniu roślin na jednostce powierzchni, nawożeniu roślin, sposobie zbioru biomasy etc. [5, 22, 39].

Szybko rosnące formy *S. viminalis* sadi się w zagęszczeniu od 2 do 9 roślin/ $\text{m}^2$ . Z jednej sadzonki pędowej (zrzezu długości 25 cm) wyrasta w pierwszym roku 2 do 3 pędów, a w ciągu następnego roku ze wspólnej karpy powstaje nawet 40–60 pędów, z których w następnych latach w zależności od zagęszczenia łanu przeżywa tylko część. Pędy są ścinane nisko nad ziemią co 3–4 lata, po czym odrastają na nowo. Eksploatacja plantacji jest możliwa nawet przez 30 lat.

Silne systemy korzeniowe *Salix* sp., mają duże zdolności do pobierania składników pokarmowych z gleby, ale uprawiane w krótkich rotacjach i przy użytkowaniu całej masy części nadziemnej, wymagają dodatkowego nawożenia. Rośliny intensywnie nawadniane i nawożone (90 kg N/ha/rok) dają produkcję 15–20 ton/ha suchej masy drewna w ciągu roku.

W Polsce już na początku lat siedemdziesiątych wyselekcjonowano cenne gatunki i mieszańce szybko rosnących wierzb krzewiastych [41]. W doświadczeniu polowym

założonym w Puławach na madzie wiślanej, plony 3-letnich pędów *Salix* sp. wyniosły średnio 86 t/ha świeżej masy ( $107 \text{ m}^3/\text{ha}$ ), czyli  $36 \text{ m}^3$  rocznie. Uprawę prowadzono w ekstensywnych warunkach. Staffa [41] wylicza, że w 3-letnim cyklu zbioru wierzby można uzyskać 14-krotnie większą masę drewna z plantacji *Salix* sp. niż z lasu naturalnego. Niestety nie wdrożono wówczas w kraju tych interesujących wyników badań. W Polsce w tym czasie pozyskiwano duże ilości taniego drewna z lasów, co między innymi stanowiło barierę ekonomiczną dla wdrożenia powyższego zamierzenia.

Cytowane wyniki uzyskane z doświadczeń polowych [41] wskazują, że w wielu regionach kraju (nad Wisłą, Narwią, Odrą) istnieją potencjalne, korzystne warunki do uprawy szybko rosnących klonów *Salix* sp. na plantacjach polowych. Jest więc, możliwość produkcji dużej masy stosunkowo taniego drewna. Na przykład przy założeniu dostawy do potencjalnego odbiorcy 80 tys. ton ( $100 \text{ tys. m}^3$ ) drewna wierzbowego rocznie przy plonie średnim biomasy z plantacji towarowej 43 t/ha ( $54 \text{ m}^3$ ), tj. o połowę niższym od uzyskanego w cytowanym doświadczeniu, wiązałoby się to z eksploatacją powierzchni około 2 tys./ha ( $1860 \text{ ha}$ ). Dla zapewnienia corocznej rytmicznej dostawy należałoby założyć około 6 tys. hektarów plantacji szybko rosnących wierzby z rębnością coroczną  $1/3$  tej powierzchni.

W Polsce rynek drewna szybko rosnących krzewiastych wierzby nie istnieje, trzeba go dopiero stworzyć. Potrzebni są potencjalni odbiorcy zrębków drzewnych produkowanych z *Salix* sp. Wdrożenie tego zamierzenia będzie zależało od relacji ekonomicznych w pozyskiwaniu surowców ekwiwalentnych, doskonalenia technologii uprawy, zbioru i efektywnego wykorzystania małowymiarowego drewna wierzbowego.

## Wykorzystanie *Salix* sp. do celów energetycznych

Pozyskiwane drewno z plantacji polowych *Salix* sp. można wykorzystać jako ekologiczne paliwo [1, 4, 10, 13, 16, 19, 28, 32, 33, 34, 35, 42]. Biomasa może być pozyskiwana co 3–4 lata na tym samym podkładzie korzeniowym w ciągu 30 lat. Z "plantacji energetycznej" uzyskuje się średnio rocznie 15 ton suchej masy drewna o wartości energetycznej 68 MWh, co odpowiada wartości kalorycznej około  $7,5 \text{ m}^3$  oleju opałowego.

W związku z drastycznym wzrostem cen węgla, ropy i gazu oraz zaostrzającymi się wymogami ochrony środowiska należy liczyć się ze wzrostem zainteresowania drewnem do celów energetycznych. Wzrasta również zapotrzebowanie na ten surowiec przemysłu papierniczego i chemicznego [4].

Wierzbowy surowiec energetyczny ma tę właściwość, że jest odtwarzającym się źródłem, w odróżnieniu od kopalin, których zasoby są ograniczone. Ponadto spalanie drewna jest znacznie mniej szkodliwe dla środowiska niż spalanie węgla [6, 30].

Istnieje więc realna wizja zrównoważonego i przyjaznego dla środowiska produkowania energii odnawialnej.

"Plantacje energetyczne" najbardziej rozpowszechnione są w Szwecji [19]. Biomasa wikliny pozyskiwana jest tam z powierzchni kilku tysięcy hektarów. Produkcja z tych plantacji jest wysoka i wynosi 15–20 ton z 1 hektara w ciągu roku.

Doświadczenia własne [45] również zachęcają do ich wdrożenia. Klon *Salix viminalis* HS 7/55 rosnący na madzie napływowej dał w jednorocznej rotacji produkcję 21 t/ha suchej masy drewna o wartości kalorymetrycznej 19,16 MJ/kg s.m. energii brutto. Hetz i Sonesson [17] i Macpherson [22] podają wartości energetyczne niektórych biopaliw (tab. 1, 2).

Drewno wierzbowe z plantacji można użytkować w postaci krótkich klocków o wymiarach brykietów, w postaci zrębków lub w stanie rozdrobnionym na proszek, podobnie jak pył węglowy, w zależności od konstrukcji pieca do spalania drewna [5].

Obecnie produkowane przez przemysł krajowy linie energetyczne do zgazowywania drewna małowymiarowego i odpadowego (moderatory) można przystosować do paliwa wierzbowego [4]. Przez gazowanie drewna uzyskuje się wyższą sprawność spalania, w porównaniu do jego spalania w kotłach tradycyjnych przystosowanych do węgla i koksu. W mniejszych obiektach, np. szklarniach, piece przystosowane do spalania węgla mogą być dodatkowo wyposażane w dozownik i urządzenia do zgazowywania paliwa w postaci zrębków lub trocin.

**Tabela 1.** Wartość energetyczna niektórych biopaliw w Szwecji [17]

Roślina	Plon [t s.m./ha]	Pozysk energii nakład energii	Plon netto [MWh/ha]
<i>Salix</i> — paliwo stałe	10,0	19,3	39
<i>Salix</i> — etanol	10,0	1,8	18
Trawy energetyczne	6,0	8,3	19
Olej rzepakowy tłoczony na zimno	2,3	3,1	14
Olej rzepakowy — RME	2,3	2,7	13
Ziarno zbóż — paliwo stałe	4,6	3,8	19
Ziarno zbóż — etanol	4,6	1,3	4

**Tabela 2.** Maksymalne wartości kalorymetryczne wybranych paliw [22]

Rodzaj paliwa	Wartość energetyczna
Drewno	±15GJ/t przy wilgotności ok. 20%
Węgiel	20–30 GJ/t
Gaz ziemny	44 MJ/m <sup>3</sup>
Propan	46,3 GJ/t
Olej opałowy	45–46 GJ/t

**Tabela 3.** Maksymalna wydajność biogazu z różnej biomasy; substancja organiczna rozkładana jest w temp. 30–40°C [18]

Materiał organiczny	Biogaz m <sup>3</sup> /t substancji organicznej
Burak pastewny	880
Kapusta pastewna	670
Siano	600
Lucerna	770
Komosa ogrodowa	600
Trzcina pospolita	440
Wierzba energetyczna	490

Istnieje wiele propozycji wykorzystania drewna wierzbowego do celów energetycznych. Obok tradycyjnego spalania proponuje się nowe technologie, jak piroliza (obróbka cieplna bez dostępu tlenu), gazowanie drewna, fermentacja bezlitenowa (tab. 3) prowadząca do wytworzenia metanu [17, 19]. Powyższe technologie nie zostały jeszcze w pełni wdrożone na skalę przemysłową. W Szwecji jednakże uruchomiono pilotażową linię zgazowywania drewna wierzbowego pozyskiwanego z plantacji połowych [19].

Wprowadzenie w Kraju programu uprawy szybko rosnących klonów wiklin i pozyskiwanie drewna na cele energetyczne pozwoliłoby na:

- wykorzystanie lokalnie produkowanej, odnawialnej biomasy jako paliwa ekologicznego (spalane drewno nie zagraża środowisku),
- spalanie drewna w postaci zrębków w tradycyjnych paleniskach, lub w celu poprawy ich spawności w moderatorach (ograniczenie zużycia węgla w gospodarstwach wiejskich i przemyśle rolno-spożywczym),
- wprowadzenie na rynek nowego produktu (drewno wierzbowe byłoby alternatywą dla tradycyjnych produktów rolniczych),
- stworzenie nowych miejsc pracy (są to procesy bardziej pracochłonne niż kapitałochłonne),
- zagospodarowanie części gruntów użytkowanych rolniczo oraz części gleb w okręgach przemysłowych (na których uprawa tradycyjnych roślin rolniczych nie jest racjonalna).

## **Wykorzystanie biomasy *Salix* sp. do produkcji celulozy**

Dynamiczny rozwój przemysłu celulozowo-papierniczego spowodował również wzrost zainteresowania drewnem małowymiarowym [9].

W miarę pojawiania się możliwości wykorzystywania przez przemysł celulozowo-papierniczy coraz drobniejszych sortymentów drewna, zaistniała możliwość skracania rębu drzew. Wieloletnie uprawy leśne w swej technologii uprawy i zbioru zaczęły upodabniać się do upraw rolniczych. Zysk z zastosowania skróconych rotacji

produkcji drewna wynika ze zwiększenia (3–5-krotnego) cykli produkcyjnych oraz z możliwości zwiększenia liczby roślin na jednostce powierzchni [9].

Celuloza zawarta w drewnie *Salix* sp. może być substratem dla przemysłu chemicznego do produkcji tworzyw sztucznych, kartonu, papieru [3, 8, 21, 24, 37, 40, 41, 43]. Drewno wierzbowe zawiera około 50% celulozy. Zasadniczą jego wadą jest to, iż włókna drzewne, zwłaszcza w okresie młodocianym, są krótsze niż u topoli [25]. Przy przeciętnej długości wynoszącej ok. 0,5 mm (zakres zmienności od 0,4–1,6 mm) włókna wierzby, w odróżnieniu od włókien innych gatunków drzew wykorzystywanych w przemyśle papierniczym, charakteryzują się silniej zwięzającymi się zakończeniami [24]. Surowiec wierzbowy wymaga w przerobie specyficznej obróbki technologicznej, innej niż tradycyjnie stosowana w przemyśle celulozowym w Europie, korzystającym np. z drewna świerkowego charakteryzującego się długimi cewkami.

Drewno wierzbowe, jako surowiec do produkcji celulozy, ma jednak duże znaczenie w niektórych krajach Ameryki Południowej, w których przemysł celulozowy jest przystosowany do jego przerobu. W latach siedemdziesiątych obecnego stulecia powierzchnia uprawianych w Argentynie na cele papiernicze plantacji wierzbowych wynosiła ok. 150 tys. ha [19]. Otrzymany z nich surowiec służy przede wszystkim do produkcji papieru gazetowego.

Drewno wierzbowe przy dużej zawartości celulozy (tab. 4) wykazuje znaczne zróżnicowanie zawartości poszczególnych składników chemicznych, przy czym wynika to raczej z wieku, natomiast w mniejszym stopniu zależy od gatunku wierzby. Ilustrują to dane dotyczące drewna 1, 2 i 3-letnich prętów wierzby ostrolistnej (*Salix acutifolia* Willd.) [31].

**Tabela 4.** Skład chemiczny drewna wierzby w % [31]

Zawartość [%]	Rodzaj surowca					
	wierzba biała — <i>Salix alba</i> L.			wierzba ostrolistna — <i>Salix acutifolia</i> Willd.		
	Bączyńska 1958	Fengel, Grosser 1975	Prosiński 1984	Prosiński, Surmiński 1961		
			1-rocza	2-letnia	3-letnia	
Celuloza	53,3	49,6	32,7–59,9	47,2	51,8	54,8
Lignina	19,7	22,7	22,7–27,9	19,6	21,2	28,1
Pentozany	16,6	25,2	16,3–26,7	16,3	15,4	14,1
Substancje rozpuszczalne w mieszaninie alkoholowo-benzenowej	2,6	—	1,5–2,8	7,2	4,4	4,5
Substancje rozpuszczalne:						
w zimnej wodzie	1,0	—	1,2–1,3	—	—	—
w gorącej wodzie	—	—	2,3–3,1	—	—	—
w 1 % NaOH	17,7	—	—	—	—	—
Substancje mineralne	0,6	—	0,3–0,6	0,5	0,53	0,6

W Instytucie Celulozowo-Papierniczym w Łodzi wykonano już wiele lat temu badania przydatności prętów wiklinowych do produkcji celulozy [11]. Wyniki tych prac wykazały, że:

- zawartość celulozy w pędach jednorocznych jest wystarczająca do produkcji papieru i wynosi od 39% u wierzby *S. americana* do 46% (i więcej) u *S. viminalis*,
- ilość celulozy zwiększa się wraz z wiekiem i w 3-letnich pędach niektórych gatunków i klonów wiklin może wynosić nawet 50%,
- wydajność masy celulozowej wynosi ok. 48% (wzrasta wraz z wiekiem pędów); przy obróbce siarczynowej wartość ta wzrasta do 55%,
- przy wykorzystaniu jednorocznych prętów okorowanych wskaźniki wytrzymałości celulozy i wyprodukowanego z niej papieru są średnie lub dobre, niezadowalające zaś przy surowcu niekorowanym.

Wraz ze wzrostem wieku drewna wskaźniki wytrzymałościowe celulozy z niego wyprodukowanej zwiększają się, co związane jest z powiększeniem się długości włókien.

Wyniki badań przeprowadzonych w Irlandii Płn. [24] wskazują na możliwość wykorzystania jednorocznych pędów *Salix viminalis* do produkcji masy celulozowej, z której można otrzymać dobre jakościowo tektury faliste i niższej jakości papier gazetowy i maszynowy. Stwierdzono, że jednoroczne pręty *S. viminalis* mogą być użyte do przetwórstwa bez korowania — obecność kory nie utrudnia procesu przerebu, wpływa jednak na nieco większe zużycie środków chemicznych w procesie roztwarzania. Przydatność drewna tego gatunku wzrasta, gdy pozyskuje się pędy w dłuższych cyklach rotacji. Zaprezentowane przez cytowanego autora dane wskazują na to, że fizyczne właściwości arkuszy papieru wykonanych z pulpy *S. viminalis* są dobre (tab. 5).

**Tabela 5.** Fizyczne właściwości arkuszy papieru wykonanych z pulpy z *Salix viminalis* określone przy temp 23°C i w 50% wilg. względnej powietrza stosując szybką metodę P1F TS 6311/19/5/1971 2 [24]

Cecha	Niemielone	Mielone
Gramatura [g/m <sup>2</sup> ]	68,6	64,7
	62,7	59,2
Gęstość [cm <sup>3</sup> /g]	1,47	1,32
Przepuklenie [kPa/g/m <sup>2</sup> ]	3,94	6,82
Wytrzymałość na rozdarcie [mN/100g/m <sup>2</sup> ]	575	522
Samozrywalność [m]	8160	11400
Rozciągliwość [%]	1,3 (1,2–1,4)	1,9 (1,7–2,1)

Obecnie zapotrzebowanie na drewno w kraju wzrasta, natomiast możliwości zwiększenia wydajności naszych lasów są bardzo ograniczone. W latach przyszłej dekady należy się liczyć z dużym deficytem drewna [4]. Dlatego rozwinięcie koncepcji Staffy [41] i zintensyfikowanie obecnie badań dotyczących uprawy i wykorzystania szybko rosnących krzewiastych wierzb do przetwórstwa chemicznego jest celowe i uzasadnione.

## Wykorzystanie biomasy *Salix sp.* do produkcji płyt wiórowych oraz na inne cele

---

Cytowane przez Staffę [41] dane Laboratorium Branżowego Płyt Pilśniowych w Czarnej Wodzie wskazują na całkowitą przydatność kilkuletnich pędów *Salix sp.* do produkcji masy drzewnej, z której można wytwarzać płyty pilśniowe twarde i porowate.

W Wielkiej Brytanii [22] zakłady produkujące płyty wiórowe zainteresowały się obecnie zrębkami z drewna szybko rosnących krzewiastych wierzb. Pewnym problemem technicznym przy wytwarzaniu płyt z tego drewna było znalezienie odpowiedniej żywicy, która potrafiłaby związać nieco większą ilość kory w porównaniu z innymi surowcami. Aktualnie problem ten został rozwiązany. Nowo utworzona firma Tech-Board z miejscowości Ebbw Vale w południowej Walii zainwestowała 40 mln funtów w przetwórnę, która wytwarza płyty z drewna *Salix sp.* produkowanego na plantacjach polowych. Badania [2, 12, 15] wykazały, że biomasa *Salix sp.* może być również w przyszłości bardzo atrakcyjnym surowcem do produkcji alkoholu. Surowcem wyjściowym jest celuloza, która w procesie mikrobiologicznego rozkładu może być doprowadzana do dwucukrów, z których standardową technologią produkuje się alkohol etylowy. Celuloza pozyskiwana z drewna wierzbowego może być cennym substratem do produkcji mas plastycznych [19]. Zrębki produkowane z krzewiastych wierzb w Wielkiej Brytanii znalazły również zastosowanie jako ściółka do wyścielenia gleb w parkach i ogrodach oraz do wykładania podłoża w szkołach jazdy konnej. Macpherson [22] upatruje możliwość wykorzystania kilkuletnich pędów *Salix sp.* do produkowania węgla drzewnego, na który zapotrzebowanie przemysłu bardzo szybko rośnie.

W kraju z wikliny produkuje się ekrany akustyczne do ustawiania przy autostradach i halach fabrycznych. Wykorzystuje się ją również do wyrobu płyt drogowych, znajdujących zastosowanie przy dojazdach do hałd, wysypisk, w kopalniach oraz ostatnio na budowie rurociągu jamalskiego.



## Podsumowanie

W Polsce istnieją uzasadnione podstawy do szerszego zainteresowania się krzewiastymi wierzby — wikliną w uprawie polowej i wykorzystaniem jej biomasy na cele energetyczne (ekologiczne paliwo), jako surowca dla przemysłu chemicznego (celuloza) i meblarskiego (płyty wiórowe) oraz inne.

Potencjalny rynek dla produkowanej w sposób zrównoważony i przyjazny środowisku energii cieplnej, papieru oraz płyt drzewnych wydaje się bardzo duży, ponadto znaczne rezerwy gleb mało efektywnie wykorzystywanych rolniczo, często o dużym uwilgotnieniu (zdegradowane użytki zielone) oraz potrzeba dopływu nowych źródeł dochodów w rolnictwie, wskazują na konieczność szerszego naukowego i praktycznego zajęcia się tym gatunkiem w naszym kraju.

## Literatura

- [1] Ager A., Rönnerberg-Wästljung A.C., Thorsén J., Siren G. 1986. Genetic improvement of willows for energy forestry in Sweden. Rapport Avedelningen för Energiskogsodling Institutionen för Ekologi och miljövard Sveriges Lantbruksuniversitet. 43.
- [2] Anderson H.W., Zsuffa L. 1980. Hybrid poplar plantation biomass a potential source of energy in Ontario, Canada. In: Proceedings of International Poplar Commission 16th Session, Nov. 4–8, Izmir, Turkey, 13.
- [3] Bączyńska K. 1958. Przydatność drewna wierzby dla przemysłu celulozowego. *Przegląd Papierniczy* 7: 198–201.
- [4] Białobok S. 1990. Możliwości wykorzystywania wierzby w Polsce dla potrzeb energetycznych. Wierzby *Salix alba* L., *Salix fragilis* L., PWN Warszawa-Poznań.
- [5] Brandels L., Hansson L. 1984. Short-rotation forestry in Sweden-energy R. a D. programme and potential fuel market. In: K. Perttu (Ed.) Ecology and management of forest biomass production systems. Dept. Ecol. a Environ. Res., Uppsala, *Swed. Univ. Agric. Sci. Rep.* 15: 513–517.
- [6] Braun H. 1986. Emissionbelastung bei Biomassefeuerungen. Energie aus Biomasse. 16. Internationales Symposium, Gmunden, Oberösterreich, 13–15 Oktober: 70–72.
- [7] Bukiewicz H. 1987. Ważniejsze czynniki ekologiczne i biologiczne plonowania wikliny przemysłowej. *Biul. Inst. Hodowli i Aklim. Roślin* 164: 261–284.
- [8] Dambroth H. 1986. Industriepflanzen für Energie und Chemie. Energie aus Biomasse. 16. Internat. Sympos. Gmunden, Oberösterreich: 384.
- [9] Figaj J. 1990. Wierzby – *Salix alba* L., *Salix fragilis* L. Uprawa wierzby do produkcji drewna. PWN, Warszawa-Poznań.
- [10] Fisher H. 1982. Der Anbau von Biomasse zur Energiegewinnung. *Holz-Zentralblatt* 108(25): 353–354.
- [11] Frankowski K., Jeżewski Z., Chodorowski P. 1961. Wiklina, uprawa i przerób. PWRiL, Warszawa.
- [12] Eklund R., Zacchi G. 1995. Simultaneous saccharification and fermentation of steam-pretreated willow. *Enzyme and Mikrobial Technology* 17(3): 255–259.
- [13] Granhall U. 1994. Biological fertilization. *Biomass and Bioenergy* 6(1–2): 81–91.
- [14] Giertych M. 1990. Wierzby – *Salix alba* L., *Salix fragilis* L. Genetyka. PWN, Warszawa-Poznań.
- [15] Hahn-Hägerdal B., Tjerneld F. 1988. Produktion of Ethanol from Lignocellulosic Materials. *Animal Feed Science and Technology* 21: 175–182.

- [16] Heilmann B., Makeschin F., Rehfuess K. E. 1995. Phytosociological investigations in a fast growing plantation of poplars and willows on former arable land. *Fostwissenschaftliches Centralblatt* 114(1): 16–29.
- [17] Hetz E., Sonensson O. 1993. Energy analysis of reed canary grass for solid field and ley for biogasix. *JTI Rapport* 175: 14.
- [18] Järvenpää M., Sankari H., Tuunanen L., Maunu T. 1994. Bioenergian tuotanto enitarviketuotannosta vapautuvalla peltoalalla. *Työtehoseuran julkaisuja* 333: 109.
- [19] Kowalik P. 1990. Techniczne możliwości wykorzystania wierzb dla potrzeb energetycznych. Wierzby *Salix alba* L., *Salix fragilis* L. PWN Warszawa-Poznań.
- [20] Larson S. 1994. *Salix* in Sweden and internationally. *Sveriges-Utsadesforenings-Tidskrift*. 104(3): 131–136.
- [21] Łebska B. 1963. Can good quality semi-chemical pulps obtained from willows? *Przegląd Papier.* 19: 197–199.
- [22] Macpherson G. 1995. Home-Grown Energy from Short-rotation Coppice. Farming Press North America.
- [23] Maciak F., Okruszko H., Jeżewski Z. 1973. Przydatność siedlisk na średnio głębokich torfach do uprawy wikliny przemysłowej. *Rocz. Nauk Roln. Seria D* 149: 1–71.
- [24] Mc Adam J.H. 1987. The Pulp Potential and Paper Properties of Willows with Reference to *Salix viminalis*. *Irish Forestry* 44(1): 32–42.
- [25] Mutibarič J. 1962. Increment and volume of native Black Poplar and Willow. *Sumarstvo* 15(1/2).
- [26] Neuman A. 1981. Die mitteleuropäischen *Salix*-Atren. *Mitt. der Forstlichen Bund. Versuchsanstalt Wien* 134: 1–151.
- [27] Perttu K.L. Eckersten H., Kowalik P., Nilsson L.O. 1984. Modelling potential energy forest production. *Swed. Univ. Agric. Sci., Uppsala, Dept. Ecol. a. Environm. Res., Research Notes* 15: 467–480.
- [28] Perttu K.L. 1986. Energieholzversuche in Europa — bisherige Ergebnisse und Zukunftsaussichten. *Energie aus Biomasse. Internationales Symposium, Gmunden, Oberösterreich, 13–15 Oktober:* 76–82.
- [29] Perttu K.L., Kowalik P. (Eds.). 1987. Modelling of energy forest: growth, water relations and economics. *Simulation Monograph* 30. Pudoc., Wageningen: 199.
- [30] Płoński W. 1988. Trzeba oszczędzać energię w ogrzewaniu budynków. *Post. Nauk. Roln.* 3: 54–66.
- [31] Prosiński S., Surmiński J. 1961. Własności chemiczne drewna prętów 1, 2 i 3-letnich wierzb ostrolistnej (*Salix acutifolia* Will.). *Roczn. WSR Poznań XI*: 3–8.
- [32] Reidacker A. 1986. Biomassenutzung in Frenkreich. *Energie aus Biomasse. Internationales Symposium, Gmunden, Oberösterreich, 13–15 Oktober.*
- [33] Rönnerberg-Wästljung A., Gullberg U., Nilsson C. 1994. Genetic paramerers of growth characters in *Salix viminalis* grown in Sweden. *Can. J. For. Res.* 24 (9): 1960–1969.
- [34] Schiller G. 1986. Regenerative Energiequellen Wasserkraft und Biomasse — Chancen für Österreich. *Energie aus Biomasse. Internationales Symposium, Gmunden, Oberösterreich, 13–15 Oktober:* 64–66.
- [35] Sennerby-Forsse L. 1985. Clonal variation of wood specific gravity, moisture content, and stem bark percentage in 1-year-old shoots of 20 fast-growing *Salix* clones. *Can. J. Ror. Res.* 15(3): 531–534.
- [36] Sennerby-Forsse L. 1994. *Handbook for Energy Forestry*, Swedish University of Agricultural Sciences. Departament of Ecology. Uppsala.
- [37] Siren G., Jensen W., Lonnderg B. 1974. Short-rotation wood in pulp for papermaking. *Symposium Internacional EUCEPA, Madrid (España) 6–8 Mayo:* 3–26.
- [38] Siren G., Perttu K., Sennerby-Forsse L., Christersson L., Ledin S., Grandhall U. 1984. *Energy Forestry. Information on Research and Experiments at the Swed. Univ. Agric. Sci.*

- [39] Siren G., Sennerby-Forsse L., Ledin S. 1986. Energy plantations-short rotation forestry in Sweden. In: D. O. Hall. R. P. Overend (Eds.). Biomass regenerable energy. Wiley & Sons, Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore: 119–143.
- [40] Staffa K. 1956. Produkcja drewna wierzbowego jako surowca dla przemysłu celulozowo-papierniczego. *Przegląd papierniczy* 8: 233–237.
- [41] Staffa K. 1965. Studia nad szybko rosnącymi wierzbami jako surowcem dla przemysłu celulozowo-papierniczego. *Hod. Rośl. Aklim. i Nas.* 9(2): 180–224, cz.II i III 3: 320–338.
- [42] Steibeck K. 1982. Short-rotation forests: an energy alternative. In: B.W. Robinson, R.C. Mollan (Eds.). Energy management and agriculture. Royal Dublin Society: 119–130.
- [43] Surmiński J. 1990. Właściwości techniczne i możliwości użytkowania drewna wierzbowego. Wierzby *Salix alba* L., *Salix fragilis* L. PWN Warszawa-Poznań.
- [44] Szczukowski S. 1991. Uprawa wikliny. ART Olsztyn.
- [45] Tworkowski J., Szczukowski S. 1996. Sprawozdanie z badań "Ocena potencjału produkcyjnego szybko rosnących genotypów wikliny *Salix* sp. w aspekcie ich wykorzystania do celów energetycznych i produkcji celulozy". ART Olsztyn.

## **The perspectives of using of *Salix* biomass produced on arable lands as ecological fuel or raw material for cellulose and chipboard industry**

---

### **Summary**

In Poland there is reasonable basis for wider interest in bush willow growing in the field and using its biomass as an ecological fuel as well as a raw material for chemical (cellulose) and furniture (chip hardboard) industry.

The potential market for heat, paper or hardboard produced by sustainable and ecologically friendly way seems to be very large. Moreover, the considerable area of wet soils in our country and the need of new sources of incomes in agriculture indicate the necessity of a scientific as well as practical approach to this species in Poland.