

MARZENA NIEMCZYK, TOMASZ WOJDA, WŁADYSŁAW KANTOROWICZ

## Przydatność hodowlana wybranych odmian topoli w plantacjach energetycznych o krótkim cyklu produkcji\*

Silvicultural potential of selected poplar cultivars growing on short rotation plantations

### ABSTRACT

Niemczyk M., Wojda T., Kantorowicz W. 2016. Przydatność hodowlana wybranych odmian topoli w plantacjach energetycznych o krótkim cyklu produkcji. Sylwan 160 (4): 292-298.

The use of biomass for energy purposes is an important European Union policy. In light of the restrictions concerning the use of the full-value wood from forests for energy purposes, short rotation forestry can become an alternative source of woody biomass. In this context, the most promising species is poplar (*Populus* spp.), productivity of which depends on various aspects such as plant spacing, cutting cycles, fertilization and cultivar characteristics. The aim of this study was to assess the possibility of cultivation of ten selected poplar clones from the section *Aigeiros* and *Tacamahaca* in short-rotation coppice in the climatic conditions of Poland. An experiment was set up in the north-eastern part of Poland in the Wichrowo Forest District. Survival, tree stocking, and biomass yield were compared. Productivity of clones was examined in five-year cutting cycle. The highest dry biomass yield (7.8 t/ha/yr) was achieved by the clone 'Hybrida 275'. In contrary, the biomass yield of the worst clone ('AF-8') amounted to 2 t/ha/yr. Some other Italian clones, such as 'AF-6' and 'MON' were not able to adapt to the local conditions at all and were excluded from the experiment. Because of the need to implement the full economic analysis of short rotation poplar plantations, it would be important to study propagation ability of certain currently studied varieties of poplar in subsequent rotations and with different production cycle period length up to the end of biomass production on a given plantation. Resistance to diseases of energy poplar plantations should also be researched.

### KEY WORDS

poplar, energy plantation, short rotation coppice, biomass

### ADDRESSES

Marzena Niemczyk – e-mail: M.Niemczyk@ibles.waw.pl  
Tomasz Wojda, Władysław Kantorowicz

Zakład Hodowli Lasu i Genetyki Drzew Leśnych, Instytut Badawczy Leśnictwa; Sękocin Stary,  
ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn

---

\*Doświadczenie zostało założone w ramach trójstronnego porozumienia pomiędzy Instytutem Badawczym Leśnictwa, International Paper Kwidziń Sp. z o.o. i Państwowym Gospodarstwem Leśnym Lasy Państwowe. Przedstawione w pracy wyniki badań zrealizowano w ramach projektu BLP 425 „Określenie możliwości produkcyjnych drewna do celów energetycznych i papierniczych w plantacjach topolowych o krótkim i średnim cyklu rotacji” finansowanego przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych.

## Wstęp

Bioenergia stanowi kluczowy element w realizacji unijnej polityki dotyczącej rozwoju niskoemisyjnej gospodarki [Czopek 2013]. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 roku w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zobowiązuje Polskę do uzyskiwania w 2020 roku co najmniej 20% energii z takich źródeł. Już dzisiaj w Europie konsumpcja biomasy stanowi około 50% źródeł energii odnawialnej, a np. w Polsce i Finlandii drewno jest jej głównym źródłem. Nawet w Niemczech, w których promowana i subsydiowana jest energetyka wiatrowa i słoneczna, 36% zużycia paliw niekopalnych pochodzi z biomasy drzewnej [Energia... 2014]. Jednocześnie Komisja Europejska przewiduje, że do 2030 roku światowy popyt na energię wzrośnie o 50% i podwoi się do 2050 roku. Istotne jest więc budowanie racjonalnego i zrównoważonego mechanizmu wykorzystania wszystkich dostępnych źródeł energii, w tym odnawialnej. Realizacja tych celów nie będzie jednak możliwa bez odpowiednich zasobów biomasy jako najważniejszego komponentu wśród odnawialnych źródeł energii.

Przy ograniczeniach związanych z szybkim odnawianiem lasu oraz koniecznością ochrony zasobów leśnych i brakiem możliwości wykorzystania drewna pełnowartościowego do celów energetyki odnawialnej [Ustawa... 2015] produkcja biomasy drzewnej poza lasem jest wyzwaniem i szansą na pokrycie rosnącego popytu na OZE.

Jako przyszłościowe, alternatywne źródło biomasy do celów energetycznych wskazuje się na uprawy wieloletnich roślin lignocelulozowych tworzące tzw. las odroślowy lub niskopienny pochodzenia wegetatywnego. Są to uprawy plantacyjne o krótkich (4-5-letnich) lub średnich (8-15-letnich) cyklach rotacji, gdzie sadi się głównie wierzby (*Salix* L.), topole (*Populus* L.), a ostatnio także robinie akacjową (*Robinia pseudoacacia* L.) [Stolarski 2009; Lambert i in. 2010; Wojda i in. 2015].

Jednym z podstawowych warunków powodzenia plantacyjnej uprawy roślin szybko rosnących jest dysponowanie gatunkami i ich odmianami o sprawdzonych walorach produkcyjnych i hodowlanych. Według Zajączkowskiego i in. [2001] plonowanie topoli w krótkich rotacjach w warunkach Polski może być wyższe niż wierzby. W Europie na plantacjach uprawia się klony niektórych gatunków topoli oraz ich mieszańców należących do 3 sekcji: topól czarnych (s. *Aigeiros*), topól balsamicznych (s. *Tacamahaca*) oraz topól białych i osiki (s. *Populus*) [Zajączkowski, Wojda 2012].

Celem niniejszej pracy jest przetestowanie wybranych odmian topól z sekcji *Aigeiros* i *Tacamahaca* pod kątem ich przydatności hodowlanej do uprawy w plantacjach produkujących surowiec energetyczny w krótkim, 5-letnim cyklu rotacji.

## Materiał i metody

Powierzchnia testująca przydatność hodowlaną wybranych odmian (klonów) topoli została założona w kwietniu 2010 roku na gruncie porolnym o powierzchni 5,91 ha w Nadleśnictwie Wichrowo, leśnictwie Miłogórze, oddz. 206d i f, na siedlisku lasu świeżego (Lśw). Materiał sadzeniowy wyhodowano ze zdrewniałych zrzesów odmian: 'Hybrida 275' (syn. NE-42 lub OP-42) – *Populus maximowiczii* × *P. trichocarpa*, 'Fritzi Pauley' – *P. trichocarpa*, czterech klonów topól producenta Louis Poloni, oznaczonych jako: 1-2007 – 'Degrosso', 2-2007 – 'Albelo', 3-2007 – 'Polargo', 4-2007 – 'Koster', oraz 4 odmian z Włoch, wyhodowanych przez Alasia Franco Vivai: 'AF-2', 'AF-6', 'AF-8' i 'MON' (= Monviso).

Sadzonki sadzono w wiążbie 2,5×3 m (1333 szt./ha) w dolki przygotowane przy użyciu świdra glebowego zagregowanego z ciągnikiem rolniczym. Doświadczenie założono w układzie bloków kompletnie zrandomizowanych. Każda z 10 odmian topoli była replikowana 3 razy. Odmiany były losowo przydzielane poletkom w obrębie każdego bloku. Na każdym poletku posadzono 100 sadzonek (10×10 szt.) danej odmiany (klonu) topoli. Od strony północnej, zachodniej i południowej posadzono pasy izolacyjne z sadzonek topoli niebiorących udziału w doświadczeniu.

Pomiary biometryczne będące podstawą prezentowanych analiz wykonano wczesną wiosną 2015 roku, czyli po 5 latach wzrostu drzew na plantacji. Ocena udatności sadzenia określono na podstawie liczby drzew żywych. Pomiary pierśnic wykonano na wszystkich drzewach z zaokrągleniem do 1 mm. Pomiarów wysokości dokonano na 20 drzewach z każdej działki. Na tej podstawie sporządzono krzywą wysokości, a następnie obliczono miąższość grubizny drzew. Do tego celu wykorzystano wzór zaproponowany przez Wróblewskiego i Zasadę [2001], bazujący na tablicach miąższości Decela, Aracanesu i Dorina w opracowaniu CzuraJa [1991].

W celu określenia masy drzew wycięto na każdej działce 20 osobników i oprócz pomiarów długości i grubości każdego drzewa ważono je w stanie świeżym z zaokrągleniem do 1 g. Określenie przeciętnej pierśnicy drzew topoli posłużyło do wyznaczenia drzewa modelowego celem określenia udziału suchej masy. W przypadku drzew modelowych wykonywano pomiar sekcyny i pobierano do dalszych badań wyrzynki o długości 20 cm ze środka 2-metrowych sekcji, a następnie ustalano ich świeżą masę. Z koron drzew modelowych pobierano próbkę około 30% gałęzi i również określano ich świeżą masę. Próbki pobrane z drzew modelowych suszone były w suszarkach z wymuszonym obiegiem powietrza w temperaturze 105°C aż do ustalenia się masy minimalnej, z zaokrągleniem do 0,01 g. Procentowy udział suchej masy dla całego drzewa określano jako stosunek suchej masy wyrzynków i gałęzi do ich masy w stanie świeżym. Na tej podstawie obliczono suchą masę drzew na działce i w przeliczeniu na 1 ha powierzchni.

Testowano istotność różnic pomiędzy średnimi dla następujących zmiennych zależnych: pierśnicy, wysokości, miąższości, świeżej masy, suchej masy oraz stosunku masy suchej do świeżej. Zmienną niezależną stanowiła odmiana topoli. Analizę wariancji przeprowadzono zgodnie z modelem odpowiadającym układowi eksperymentalnemu:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + e_{ij}$$

gdzie:

$y_{ijk}$  – zmienna zależna,

$\mu$  – średnia ogólna,

$\alpha_i$  – efekt odmiany (klonu),

$\beta_j$  – efekt bloku,

$e_{ijk}$  – błąd doświadczenia.

Przed wykonaniem analizy wariancji sprawdzono jej podstawowe założenia, tj. założenie normalności rozkładu zmiennej – testem Kołmogorowa-Smirnowa ( $\alpha=0,05$ ) i jednorodności wariancji, za pomocą testu Levene'a ( $\alpha=0,05$ ). W przypadku gdy analiza wariancji wskazała istotność różnic, zastosowano test *post-hoc* Tukeya dla różnych liczebności ( $\alpha=0,05$ ). Obliczenia wykonano, stosując pakiet statystyczny Statistica 10.0 (StatSoft, Inc.).

## Wyniki

Przeżywalność osobników większości odmian była wysoka, choć u klonów 'AF-6' i 'MON' stwierdzono silne uszkodzenia mrozowe lub zamarcie całych osobników. Z tego powodu klony te zostały

wykluczone z analiz i dalszych badań. Nieco słabszą przeżywalność stwierdzono również u dwóch pozostałych odmian włoskich: 'AF-2' i 'AF-8'. Wypadki drzew pozostałych odmian były incydentalne (tab.).

Testowane odmiany topól różnią się istotnie pod względem osiągniętych pierśnic, wysokości i miąższości. Największe przeciętne pierśnice osiągały osobniki odmiany 'Hybrida 275' (11,2 cm), różniąc się statystycznie istotnie od wszystkich pozostałych odmian (tab.). Najwyższymi drzewami charakteryzowała się natomiast odmiana 'Fritzi Pauley', której osobniki były przeciętnie wyższe o 0,77 m od następnej w kolejności odmiany 'Hybrida 275' i aż o 3,82 m od odmiany 'AF-8', charakteryzującej się zarówno najniższą wysokością, jak i grubością. Konsekwencją dużych wartości pierśnicy i wysokości odmian 'Hybrida 275' i 'Fritzi Pauley' była istotnie wyższa miąższość osiągnięta przez ich osobniki w stosunku do wszystkich pozostałych klonów. Odmiany te charakteryzowały się ponad 3-krotnie większym zapasem w stosunku do najslabiej przyrastającej włoskiej odmiany 'AF-8'.

Bardzo istotną informacją przy doborze odmian do produkcji drewna w plantacjach energetycznych jest nie tylko miąższość uzyskiwana przez poszczególne klony, ale także zawartość suchej masy w świeżej masie. Stwierdzono istotne różnice pomiędzy odmianami. Najwyższą zawartością suchej masy cechuje się 'Hybrida 275', której jednocześnie największa produkcja świeżej masy sprawia, że odmiana ta, rosnąc w zagęszczeniu 1333 szt./ha, produkuje niemal 8 t suchej masy rocznie/ha (ryc.).

## Dyskusja

Plonowanie plantacji topolowych uprawianych na gruntach rolniczych w krótkich rotacjach zbioru jest słabo rozpoznane w warunkach naszego kraju [Szczukowski, Stolarski 2013]. Uprawa topoli jako surowca energetycznego w krótkich rotacjach rozwija się natomiast bardzo szybko w południowej i zachodniej części Europy [Spinelli i in. 2009; Aravanopoulos 2010; Gonzalez-Garcia i in. 2010]. Decydujący o wyborze odmiany do uprawy jest plon biomasy możliwy do pozyskania w danych warunkach klimatyczno-glebowych.

Wyniki przeprowadzonego doświadczenia wskazują na znaczną rozbieżność wysokości plonów możliwych do pozyskania z plantacji topolowej o 5-letniej rotacji. Najwyższą zasobnością, produkcją świeżej masy i jednocześnie najwyższą zawartością suchej masy cechuje się 'Hybrida

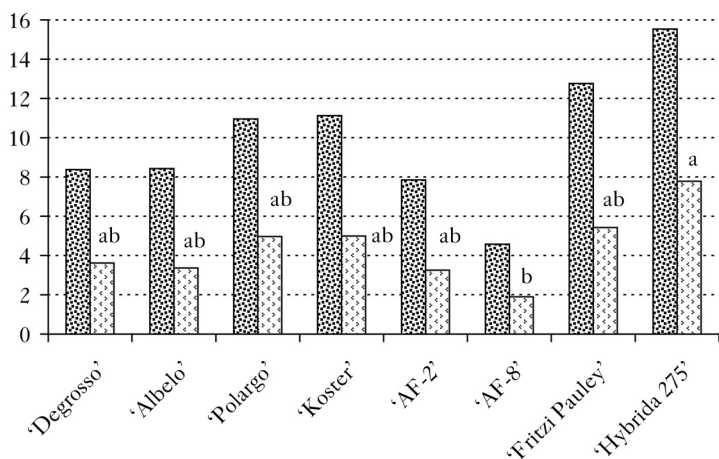
### Tabela

Przeżywalność (SR [%]), pierśnica (D [cm]), wysokość (H [m]), miąższość (V [m<sup>3</sup>]), zapas (GS [m<sup>3</sup>/ha]), świeża masa (FM, [t/ha]), udział suchej masy (%DM [%]) i sucha masa (DM, [t/ha]) analizowanych odmian topoli

Survival rate (SR [%]), breast height diameter (D [cm]), height (H [m]), volume (V [m<sup>3</sup>]), growing stock (GS [m<sup>3</sup>/ha]), fresh biomass (FM, [t/ha]), share of the dry matter (%DM [%]) and dry biomass (DM, [t/ha]) of analysed poplar cultivars

	SR	D	H	V	GS	FM	%DM	DM
'Degrosso'	99	9,62ab	9,05a	0,034ab	45	41,90	43,03a	18,10ab
'Albelo'	97	7,27d	8,33d	0,021e	28	42,12	40,60a	16,81ab
'Polargo'	99	9,14a	9,47b	0,032ab	43	54,80	44,29ab	24,83ab
'Koster'	96	9,73b	9,49b	0,037b	50	55,64	44,85ab	24,95ab
'AF-2'	89	9,24ab	8,83a	0,032ab	42	39,27	41,30a	16,29ab
'AF-8'	89	6,23c	7,42c	0,017d	22	22,87	41,59a	9,47b
'Fritzi Pauley'	97	10,47c	11,24f	0,047c	63	63,81	42,64a	27,13ab
'Hybrida 275'	99	11,2f	10,47c	0,049c	65	77,70	49,64a	38,94a

te same litery oznaczają grupy jednorodne (test Tukeya,  $\alpha=0,05$ )  
the same letters indicate homogenous groups (Tukey test,  $\alpha=0,05$ )



## Ryc.

Roczna produkcja świeżej (ciemny słupek) i suchej (jasny słupek) biomasy [t/ha] w zależności od odmiany topoli

Annual fresh (dark) and dry (light) matter yield [t/ha] for analysed poplar cultivars

te same litery oznaczają grupy jednorodnie (test Tukeya,  $\alpha=0,05$ )

the same letters indicate homogenous groups (Tukey test,  $\alpha=0.05$ )

275', która wytwarza w warunkach północno-wschodniej Polski nieco poniżej 8 t s.m./ha/rok. Niewiele gorsze parametry wzrostowe osiąga odmiana 'Fritzi Pauley', która odbiega jednak od pierwszej pod względem zawartości suchej masy. Odmianą o najniższych parametrach wzrostowych jest włoski klon 'AF-8', mogący wytworzyć w tych samych warunkach niecałe 2 t s.m./ha/rok. Inne testowane włoskie odmiany, takie jak 'AF-6' i 'MON', ze względu na niedostosowanie do warunków klimatycznych naszego kraju w ogóle nie nadają się do hodowli w plantacjach energetycznych na terenie Polski. W doświadczeniu prowadzonym w rotacji 4-letniej przez Zajączkowskiego i in. [2001] odmiana 'Fritzi Pauley' cechowała się produkcją na poziomie około 8 t s.m./ha/rok w warunkach Nadleśnictwa Brzeg i powyżej 9 t s.m./ha/rok w Nadleśnictwie Kutno. Istotnymi czynnikami dla plonowania biomasy na plantacjach o krótkich cyklach są oprócz klimatu warunki glebowe, wodne, a także nawożenie na słabszych siedliskach [Zajączkowski i in. 2001].

Znacznie wyższe plony z plantacji uzyskuje się na południu Europy, przy czym jako jeden z najistotniejszych aspektów ekonomicznych produkcji wymienia się długość rotacji [Armstrong i in. 1999; Nassi o Di Nasso i in. 2010]. Produkcja biomasy we Włoszech w cyklach jednorocznych wynosi przeciętnie 9,9 t s.m./ha/rok, podczas gdy w 3-letnich 16,4 t s.m./ha/rok [Nassi o Di Nasso i in. 2010]. W warunkach klimatycznych Wielkiej Brytanii i Polski zanotowano podobne tendencje [Armstrong i in. 1999; Zajączkowski i in. 2001]. Zajączkowski i in. [2001] zwracają uwagę, że produkcja biomasy w cyklu 4-letnim była większa niż w dwóch 2-letnich cyklach łącznie. Wielu badaczy rekomenduje najczęściej cykle nie krótsze niż 5-6 lat [Fang i in. 1999; Alig i in. 2000; Boelcke, Kahle 2000], a więc takie, które zastosowano w niniejszym doświadczeniu. Wydaje się jednak, że w warunkach klimatycznych naszego kraju ustalenie optymalnej długości rotacji w plantacjach energetycznych topoli wymaga jeszcze dalszych badań. Sprawdzenia wymaga też odporność testowanych odmian na choroby, gdyż każdorazowe wycięcie grubych odrosli powoduje silny stres fizjologiczny i osłabienie żywotności roślin. Jak podają Zajączkowski i in. [2001], pozostawione na karpach rany o średnicy nawet kilkunastu cm są łatwe do zainfekowania przez grzyby.

Długość rotacji, oprócz wspomnianych wyżej warunków i cech samych odmian, ma kluczowe znaczenie ze względu na koszty prowadzenia plantacji. Nassi o Di Nasso i in. [2010] wymieniają szereg kosztów związanych z prowadzeniem plantacji, takich jak: założenie plantacji (około 20% wszystkich kosztów), zbiór plonu, nawożenie, odchwaszczanie oraz porządkowanie terenu. Dzięki przeliczeniu wymienionych zabiegów na jednostki energii (GJ/ha) dowiedli, że najbardziej korzystną wydajność energetyczną netto osiągnięto w najdłuższej z testowanych rotacji, czyli w rotacji 3-letniej (łączna wartość około 3600 GJ/ha dla 4 cykli = 12 lat). Dla rotacji 2-letniej osiągnięto 3000 GJ/ha (6 cykli = 12 lat), a dla rocznej 1200 GJ/ha (użytkowanie przez 7 lat). Dowodzi to, że oprócz długości rotacji bardzo ważne jest poznanie możliwości odroślowych obecnie testowanych odmian, co będzie decydować o efektywności ekonomicznej kolejnych rotacji, aż do zakończenia produkcji biomasy na danej plantacji.

## Wnioski

- ✦ Spośród 10 testowanych odmian topoli z sekcji *Aigeiros* i *Takamahaca* w plantacji energetycznej najlepszymi parametrami wzrostowymi i produkcją suchej masy w pierwszej 5-letniej rotacji cechowała się 'Hybrida 275'.
- ✦ Produkcyjność testowanych włoskich odmian topoli jest niezadowolająca, a w przypadku odmian 'AF-6' i 'MON' zdrowotność i wrażliwość na niską temperaturę całkowicie wyklucza ich hodowlę w warunkach klimatycznych Polski.
- ✦ Z uwagi na przeprowadzenie pełnej analizy ekonomicznej topolowych plantacji krótkorotacyjnych ważne jest poznanie możliwości odroślowych odmian obecnie testowanych w kolejnych rotacjach i przy różnych długościach cykli produkcyjnych, aż do zakończenia produkcji biomasy na danej plantacji. Sprawdzenia wymaga też ich odporność na choroby.

## Podziękowania

Autorzy dziękują kolegom z Zakładu, w szczególności Piotrowi Wrzesińskiemu, Szymonowi Krajewskiemu i Grzegorzowi Jakubowskiemu, za pomoc w realizacji badań.

## Literatura

- Alig R. J., Adams D. M., McCarl B. A., Ince P. J. 2000. Economic potential of short-rotation woody crops on agriculture land for pulp fiber production in the United States. *Forest Products Journal* 50 (5): 67-74.
- Aravanopoulos F. A. 2010. Breeding of fast growing forest tree species for biomass production in Greece. *Biomass and Bioenergy* 34: 1531-1537.
- Armstrong A., Johns C., Tubby I. 1999. Effects of spacing and cutting cycle on the yield of poplar grown as an energy crop. *Biomass and Bioenergy* 17: 305-314.
- Boelcke B., Kahle P. 2000. Leistung schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb auf landwirtschaftlichen Nutzflächen im Nordosten Deutschlands und erste Auswirkungen auf die Bodeneigenschaften. *Die Holzzucht* 53: 5-10.
- Czopek P. 2013. Stan aktualny oraz kierunki zmian w zakresie regulacji prawnych dotyczących wykorzystania biomasy leśnej jako źródła energii odnawialnej. W: Gołos P., Kaliszewski A. [red.]. *Biomasa leśna na cele energetyczne*. Sękocin Stary. 187-197.
- Czuraj M. 1991. *Tablice miąższości kłód odziomkowych i drzew stojących*. PWRiL, Warszawa.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE. 2009. Dz. Urz. UE L 140.
- Energia ze źródeł odnawialnych w 2013 r. 2014. GUS, Warszawa.
- Fang S., Xu X., Lu S., Tang L. 1999. Growth dynamics and biomass production in short-rotation poplar plantations: 6-year results for three clones at four spacings. *Biomass and Bioenergy* 17: 415-425.
- Gonzalez-Garcia S., Gasol C. M., Gabarrel X., Rieradevall J., Teresa Moreira M., Feijoo G. 2010. Environmental profile of ethanol from poplar biomass as transport fuel in Southern Europe. *Renewable Energy* 35: 1014-1023.
- Lambert M. S., Timpledon M. T., Marseken S. F. 2010. *Short Rotation Forestry*. VDM Publishing.

- Nassi o Di Nasso N., Guidi W., Ragaglini G., Tozzini C., Bonari E. 2010. Biomass production and energy balance of a 12-year-old short-rotation coppice poplar stand under different cutting cycles. *GCB Bioenergy* 2: 89-97.
- Shengzuo F., Xizeng X., Shixing L., Louzhong T. 1999. Growth dynamics and biomass production in short-rotation poplar plantations: 6-year results for three clones at four spacings. *Biomass and Bioenergy* 17: 415-425.
- Spinelli R., Nati C., Magagnotti N. 2009. Using modified foragers to harvest short-rotation poplar plantations. *Biomass and Bioenergy* 33: 817-821.
- Stolarski M. J. 2009. Agrotechniczne i ekonomiczne aspekty produkcji biomasy wierzby krzewiastej (*Salix* spp.) jako surowca energetycznego. *Rozprawy i Monografie* 148: 1-145.
- Szczukowski S., Stolarski M. 2013. Plantacje drzew i krzewów szybko rosnących jako alternatywa biomasy z lasu – stan obecny, szanse i zagrożenia rozwoju. W: Gołos P., Kaliszewski A. [red.]. *Biomasa leśna na cele energetyczne*. Sękocin Stary. 32-46.
- Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii. 2015. Dz. U., poz. 478.
- Wojda T., Klisz M., Jastrzebowski S., Mionskowski M., Szyp-Borowska I., Szczygiel K. 2015. The geographical distribution of the black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) in Poland, and its role on non-forest land. *Papers on Global Change* 22: 101-113. DOI: 10.1515/igbp-2015-0018
- Wróblewski L., Zasada M., 2001. Wzory do określania miąższości grubizny dla modrzewia, osiki, grabu, topoli i lipy. *Sylvan* 143 (11): 71-79.
- Zajączkowski K., Kwiecień R., Zajączkowska B., Wojda T., Zawadzki M. 2001. Produkcyjne możliwości wybranych odmian topoli i wierzby w plantacjach o skróconym cyklu (2-5 lat). Sprawozdanie końcowe z tematu badawczego. Maszynopis. IBL, Warszawa.
- Zajączkowski K., Wojda T. 2012. Plantacje topolowe w przyrodniczych warunkach Polski. *Studia i Materiały CEPL* 33 (4): 136-142.