

## EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA UPRAWY WIERZBY W RÓŻNYCH WARUNKACH GLEBOWYCH

Tomasz Piskier

*Katedra Agroinżynierii, Politechnika Koszalińska*

**Streszczenie.** Jednoczynnikowe doświadczenie łanowe, dotyczące efektywności energetycznej uprawy wierzby na gruntach porolnych klas IVb, V, VI, przeprowadzono w roku 2005. Ocenie poddano nakłady energetyczne poniesione na założenie i prowadzenie plantacji wierzby energetycznej w pierwszych latach produkcji (rok założenia i dwa lata produkcji). Oceniono również wielkość plonu i efektywność energetyczną produkcji.

**Słowa kluczowe:** wierzba energetyczna, gleba, plon, efektywność energetyczna

### Wykaz oznaczeń

- $E_{cg}$  – energochłonność pracy ciągnika [ $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ ],
- $E_e$  – wskaźnik efektywności energetycznej,
- $E_m$  – energochłonność pracy maszyn [ $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ ],
- $E_{tech}$  – energochłonność badanej technologii [ $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ ],
- $f$  – wskaźnik obciążenia silnika podczas wykonywania zabiegu,
- $h$  – czas potrzebny do wykonania zabiegu [h],
- $M_c$  – sumaryczna masa ciągników użytych do wykonania danego zabiegu [kg],
- $M_m$  – sumaryczna masa maszyny użytej do wykonania danego zabiegu [kg],
- $N_s$  – moc nominalna silnika [kW],
- $P_e$  – wartość energetyczna plonu [ $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ ],
- $q$  – jednostkowe zużycie paliwa przez silnik [ $\text{kg}\cdot\text{kWh}^{-1}$ ],
- $Q$  – ilość zużytego paliwa [kg],
- $T_{nc}$  – normatywna liczba godzin pracy ciągnika w okresie jego użytkowania [h],
- $T_{nm}$  – normatywna liczba godzin pracy maszyny w okresie jej użytkowania [h],
- $W_{ec}$  – wskaźnik jednostkowej energochłonności ciągników [ $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ],
- $W_{em}$  – wskaźnik jednostkowej energochłonności maszyny [ $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ],
- $W_z$  – wskaźnik jednostkowej energochłonności części zamiennych [ $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ],
- $W_{07}$  – wydajność eksploatacyjna agregatu podczas wykonywania danego zabiegu [ $\text{ha}\cdot\text{h}^{-1}$ ],
- $Z_c$  – masa zużytych części zamiennych w ciągniku [kg],
- $Z_m$  – masa zużytych części zamiennych w maszynie [kg],
- $\Sigma E_{agr}$  – suma energochłonności stosowanych agregatów [ $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ ],

$\Sigma E_{mat}$  – suma energochłonności stosowanych materiałów [ $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ ],

$\Sigma E_{pal}$  – suma energochłonności zużytego paliwa [ $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ ].

## Wprowadzenie

Wierzba wiciowa (*Salix viminalis*) jest najbardziej popularną rośliną uprawianą na cele energetyczne [Sławiński, Sadowski 2003; Dahlgren 1999]. Uprawa jej posiada jednak wiele mankamentów, z pośród których najważniejszymi są znaczne nakłady ponoszone na założenie plantacji [Kwaśniewski 2006], oraz wrażliwość na zachwaszczenie w roku założenia plantacji [Tworkowski 2006, Dreszer i in. 2003]. Zaniedbanie zwalczania chwastów w tym okresie może powodować znaczną ilość wypadów roślin dochodzącą do 50% na glebach organogenicznych w czwartym roku uprawy [Tworkowski, 2006]. Dotychczasowe opinie o wymaganiach glebowych wierzby sugerowały, że można ją uprawiać niemal na każdej glebie pod warunkiem dostatecznego jej uwilgotnienia. Najnowsze badania dowodzą jednak, iż wierzba jest rośliną wymagającą gleb nie tylko dobrze uwilgotnionych ale również żyznych najlepiej należących do klasy IIIa lub IIIb. W tych warunkach bowiem wydaje plon przekraczający  $12 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  suchego produktu rocznie co według badań szwedzkich zapewnia opłacalność prowadzonej produkcji [Tworkowski 2006].

## Cel badań

Celem przeprowadzonych badań było określenie wartości współczynnika efektywności energetycznej typowej technologii uprawy wierzby, stosowanej w różnych warunkach glebowych.

## Metodyka i warunki badań

Badania przeprowadzono w gospodarstwie rolnym ENECO znajdującym się w Dąbiu koło Szczecinka w województwie zachodniopomorskim. Gospodarstwo to ma powierzchnię ponad 1000 ha z czego do wiosny roku 2006 obsadzono wierzba energetyczną ponad 440 ha. Pierwsze nasadzenia wykonano w roku 2002 i areal uprawy jest stale powiększany. Wierzbę wiciową (*Salix viminalis*) uprawia się na glebach klas IVa i b, V i VI. W doborze klonów dominują klony 1054, 1048 i 1047. Stanowisko pod plantację było wiele lat odłogowane.

Badania polowe przeprowadzono jako jednoczynnikowe doświadczenie łanowe, w trzech powtórzeniach, w którym badano efektywność energetyczną typowej technologii uprawy wierzby wiciowej (klon 1054) w różnych warunkach glebowych.

Testowanym czynnikiem były trzy klasy gleb:

A – klasa IVb,

B – klasa V,

C – klasa VI.

Poletka testowe o powierzchni 15 m<sup>2</sup> rozlosowano na polu o powierzchni 4,5 ha, na którym w bezpośrednim sąsiedztwie wystąpiły wszystkie analizowane gleby. Poletka wybrano z zachowaniem zasad reprezentatywności. Wierzba na badanej plantacji była nasadzona w roku 2003 w obsadzie 34,5 tys. szt.·ha<sup>-1</sup>, wiosną roku 2004 została ścięta w celu rozkrzewienia. Badania przeprowadzono wiosną 2006 roku na dwuletnich odrostach. W analizie efektywności rozgraniczono nakłady poniesione na założenie plantacji (lata 2002-2004) oraz pierwszy dwuletni okres użytkowania. W analizie nie uwzględniono nakładów energetycznych poniesionych na zbiór i transport plonu.

Do analizy nakładów energetycznych ponoszonych na produkcję biomasy wierzby zastosowano metodykę energochłonności skumulowanej zgodnie z metodyką badań (wg IBMER, Anuszewski, Pawlak, Wójcicki 1979, Wójcicki 2002)

$$E_{tech} = E_{mat} + E_{agr} + E_{pal} + E_r \quad [\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}] \quad (1)$$

Ponieważ określenie energochłonności pracy ludzkiej ( $\Sigma E_r$ ) w warunkach polowych nie było możliwe do wyznaczenia, pominięto ten składnik energii skumulowanej a wzór przyjął postać:

$$E_{tech} = E_{mat} + E_{agr} + E_{pal} \quad [\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}] \quad (2)$$

W celu określenia energochłonności pracy ciągnika wykorzystano zależność:

$$E_{cg} = \frac{M_c \cdot W_{ec} + Z_c \cdot W_z}{T_{nc} \cdot W_{07}} \quad [\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}] \quad (3)$$

(wg IBMER Anuszewski, Pawlak i Wójcicki, 1997, wskaźniki energochłonności jednostkowej wg Wójcickiego 2002).

Analogiczny wzór zastosowano do obliczenia energochłonności pracujących maszyn:

$$E_m = \frac{M_m \cdot W_{em} + Z_m \cdot W_z}{T_{nm} \cdot W_{07}} \quad [\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}] \quad (4)$$

(wg IBMER Anuszewski, Pawlak i Wójcicki, 1997, wskaźniki energochłonności jednostkowej wg Wójcickiego 2002).

Energochłonność pracujących agregatów wyliczono sumując energochłonność ciągnika i współpracującej z nim maszyny.

Ilość zużytego paliwa wyliczono według wzoru:

$$Q = N_s \cdot q \cdot h \cdot f \quad [\text{kg}] \quad (5)$$

(wg IBMER, Karwowski, 1998).

Energię wniesioną w formie materiałów wyliczono poprzez przemnożenie masy materiału zużytego w trakcie produkcji przez wartość energii w nim zawartej przyjmując dla nawozów azotowych 77 MJ·kg<sup>-1</sup> N, potasowych 10 MJ·kg<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O, fosforowych 15 MJ·kg<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, dla pestycydów 300 MJ·kg<sup>-1</sup> substancji aktywnej [Wójcicki 2002]. Wielkość nakładów energii wniesionej w formie sadzonek wierzby (350 MJ·ha<sup>-1</sup>) przyjęto za Kisielem i in. [2003].

Wskaźnik efektywności energetycznej obliczono według zależności podanej przez Harasima [1997]

$$E_e = \frac{P_e}{E_{tech}} \quad (6)$$

Zawartość wody w plonie oznaczono metodą suszarkowo-wagową susząc próby w temperaturze 80°C do stałej masy. Następnie plon wierzby przeliczono na plon suchej substancji i pomnożono przez wartość opałową suchej substancji wierzby wynoszącą 19.2 MJ·kg<sup>-1</sup> przyjętą za Szczukowskim i in. [2004], wyznaczając w ten sposób wartość energetyczną plonu ( $P_e$ ) w MJ·ha<sup>-1</sup>.

Uzyskane wyniki badań dotyczących plonowania poddano analizie statystycznej z wykorzystaniem modelu analizy wariancji, a istotność różnic określono za pomocą testu t Studenta na poziomie  $\alpha_{0,05}$ .

## Wyniki badań

Założenie plantacji wierzby wiciowej pochłonęło łącznie 14,8 GJ·ha<sup>-1</sup> energii z czego na założenie zużyto około 42% energii a na prowadzenie plantacji 58% (tabela 1). W trakcie zakładania plantacji największe nakłady energii (58%) poniesiono na paliwo, co wynikało z konieczności wykonania pełnej uprawy odłogowanego pola. W ramach przygotowania stanowiska wykonano bowiem dwukrotne talerzowanie, bronowanie, orkę głęboką, bronowanie wiosenne oraz znaczenie pola. Energia wniesiona w agregatach i materiałach oscylowała na poziomie 20% każda.

O wielkości nakładów poniesionych w drugim i trzecim roku od jej założenia decydowały nakłady materiałowe. Generowały one bowiem około 97% wszystkich nakładów energii poniesionych w tym okresie. Wynikało to ze stosowania nawożenia mineralnego oraz stosowania pestycydów o bardzo wysokiej koncentracji energii.

Łącznie największe nakłady na założenie oraz prowadzenie plantacji wierzby wiciowej poniesiono w formie materiałów (stanowiły one 65%) oraz paliwa (25,9%). Energia wniesiona w formie agregatów stanowiła zaledwie 9,1% (tabela 1).

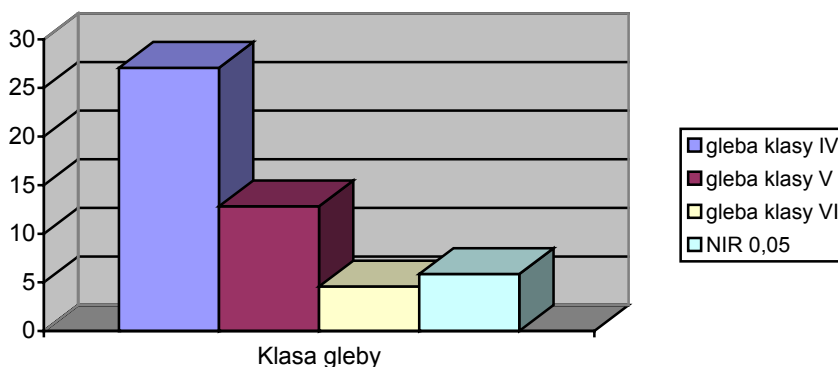
Tabela 1. Wielkość nakładów energii poniesionych na założenie i prowadzenie plantacji wierzby  
Table 1. Amount of energy input used for the set up and running of willow plantation

| Okres prowadzenia plantacji | Energochłonność użytych:<br>[GJ·ha <sup>-1</sup> ] |        |            |         |
|-----------------------------|--|--------|------------|---------|
|                             | Agregatów  | Paliwa | Materiałów | Łącznie |
| Założenie plantacji         | 1,2577   | 3,6450 | 1,3220     | 6,2247  |
| Prowadzenie plantacji       | 0,0945   | 0,1911 | 8,2956     | 8,5812  |
| Łącznie                     | 1,3522   | 3,8361 | 9,6176     | 14,8059 |

Plonowanie wierzby energetycznej było istotnie różnicowane przez warunki glebowe. Na glebie klasy IVb plon suchy wierzby wyniósł 20,87 t·ha<sup>-1</sup>. Plony osiągnięte na glebach

klasy V i VI były istotnie mniejsze odpowiednio o 52,6% oraz 83%. Ponieważ wielkość poniesionych nakładów energetycznych na założenie i prowadzenie plantacji wierzby nie była uzależniona od warunków glebowych, o wielkości różnic wskaźnika efektywności energetycznej decydował plon roślin. Uprawa wierzby na glebie klasy IVb generowała wielkość tego współczynnika na poziomie 27,07. Na glebie klasy V uzyskano wartość 12,82, natomiast na glebie klasy VI zaledwie 4,54 (wykres 1).

Wielkość uzyskanych plonów dotyczyła roślin dwuletnich, przeliczając te plony na wartości średnioroczne uzyskamy wielkość produkcji wynoszącą 10,44 t·ha<sup>-1</sup> suchej substancji na glebie klasy IV b. Badania szwedzkie dowodzą, iż poziomem opłacalności jest plon roczny wynoszący 12 t·ha<sup>-1</sup> suchej substancji [Tworkowski, 2006].



Rys. 1. Wpływ warunków glebowych na efektywność energetyczną produkcji wierzby  
Fig. 1. Effect of soil conditions on energetic effectiveness of willow production

## Wnioski

1. Wielkość plonu suchego wierzby była istotnie zróżnicowana w zależności od warunków glebowych. Na glebie klasy IV b osiągnięto plon wynoszący 20,8 t·ha<sup>-1</sup>, na glebie klasy V – 9,9 zaś na glebie klasy VI jedynie 3,52 t·ha<sup>-1</sup>.
2. Najkorzystniejszą wartość współczynnika efektywności energetycznej wynoszącą 27, uzyskano na glebie klasy IV b. Wielkości tego współczynnika uzyskane na glebach klasy V i VI były istotnie mniejsze (o odpowiednio 52 i 83%).
3. Wśród nakładów energetycznych poniesionych na założenie i prowadzenie plantacji największy udział stanowiła energia wniesiona w materiałach (65% ogółu nakładów).
4. Zakładając plantację wierzby energetycznej należy lokalizować ją na glebach klas średnich IV b, natomiast w celu ograniczenia poniesionych nakładów energetycznych stosować materiały o niższej koncentracji energii np. poprzez zmodyfikowanie nawożenia mineralnego.

## Bibliografia

- Anuszewski R., Pawlak J., Wójcicki Z.** 1979. Energochłonność produkcji rolniczej. Metodyka badań energochłonności produkcji surowców żywnościowych. IBMER Warszawa. s. 23-28.
- Dahlgren L.** 1999. The need of R&D contributions and measures of stimulants far bio energy from the agricultural sector. Journal of the Swedish Seed Association. 109, 2. s. 104-111.
- Dreszer K., Michalek R., Roszkowski A.** 2003. Energia odnawialna – możliwości jej pozyskania i wykorzystania w rolnictwie. Wyd. PTIR Kraków-Lublin-Warszawa. ISBN 83-917053-0-7.
- Harasim A.** 1997. Możliwości kompensacji ujemnego wpływu stanowiska na plonowanie i efektywność produkcji pszenicy ozimej. II Efektywność ekonomiczna i energetyczna. Pam. Puł. 111. s. 73-87.
- Karwowski T.** 1998. Podstawy zespołowego użytkowania maszyn (ZUM) IBMER Warszawa. ISBN 83-86264-51-1.
- Kisiel R., Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski J.** 2003. Energochłonność i efektywność energetyczna uprawy wierzby krzewiastej. Fragmenta Agronomica 3 (79) 2003. s. 87-97.
- Kwaśniewski D.** 2006. Ocena wybranych technologii uprawy wierzby energetycznej w aspekcie ponoszonych nakładów. Inżynieria Rolnicza 3 (78). s. 217-224.
- Majtkowski W.** 2006. Długa lista, dopłaty do upraw energetycznych w Czechach. Agroenergetyka 4 (18). s. 12-15.
- Ślawiński K., Sadowski W.** 2003. Możliwości i perspektywy upraw energetycznych na pomorzu środkowym. Prace naukowe Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu nr 980, s. 465-468.
- Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M.J.** 2004. Wierzba energetyczna. Wyd. Plantpres Kraków 2004. ISBN 83-85982-86-8.
- Tworkowski J.** 2006. Uprawa wierzb krzewiastych na gruntach rolnych. [www.zeo.pl/artykuly/tekst4](http://www.zeo.pl/artykuly/tekst4)
- Wójcicki Z.** 2000. Wyposażenie i nakłady materiałowo energetyczne w rozwojowych gospodarstwach rolniczych. IBMER Warszawa. ISBN 83-86264-62-4.

## ENERGETIC EFFECTIVENESS OF WILLOW CULTIVATION UNDER VARIOUS SOIL CONDITIONS

**Abstract.** One-factor field experiments concerning the energetic effectiveness of willow cultivation on post-agricultural land (soil classes IV b, V, VI) were carried out in the year 2005. Energetic outlays on starting and carrying out the energetic willow plantation during early years of the production (the starting year and two years of the production) were estimated. The yield and energetic effectiveness of willow production were evaluated as well.

**Key words:** energetic willow, soil, yield, energetic effectiveness

### Adres do korespondencji:

Tomasz Piskier; e-mail: [piskier@poczta.onet.pl](mailto:piskier@poczta.onet.pl)  
Katedra Agrotechnologii  
Politechnika Koszalińska  
ul. Raławicka 15-17  
75-620 Koszalin