

ANALIZA EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ UPRAWY TOPINAMBURU Z PRZEZNACZENIEM NA OPAŁ – WSTĘPNE WYNIKI BADAŃ

Tomasz Piskier

Katedra Agrotechnologii, Politechnika Koszalińska

Streszczenie. W doświadczeniu polowym porównano wielkość i strukturę nakładów energetycznych ponoszonych na produkcję dwóch odmian topinamburu, uprawianych z przeznaczeniem na opał. Skumulowany nakład energii wynosił $15,67 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ w przypadku odmiany Albik i $16,79 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ w przypadku odmiany Rubik. Wskaźnik efektywności energetycznej produkcji wyniósł przeciętnie 5,46 i nie był istotnie zróżnicowany przez testowane odmiany.

Słowa kluczowe: efektywność energetyczna, pracochłonność, topinambur

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],
 ΣE_{agr} – suma energochłonności stosowanych agregatów [$\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$],
 ΣE_{mat} – suma energochłonności stosowanych materiałów [$\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$],
 ΣE_{pal} – suma energochłonności zużytego paliwa [$\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$],
 ΣE_r – energochłonność pracy ludzkiej [$\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$].

Wprowadzenie

W ostatnich latach wyraźnie wzrosło zainteresowanie pozyskiwaniem energii ze źródeł odnawialnych. Duże znaczenie w pokryciu tego zapotrzebowania pokłada się w wykorzystaniu biomasy w tym pozyskiwanej ze specjalnych plantacji roślin energetycznych. W Polsce wśród roślin energetycznych, praktyczne znaczenie ma wierzba wiciowa [Dreszer i in. 2003; Kwaśniewski 2006], która zdominowała również uprawy energetyczne w innych państwach Europy [Dahlgren 1999]. Oprócz niej istnieje jednak wiele gatunków roślin energetycznych o znacznym potencjale produkcyjnym [Majtkowski 2006]. Oceniając technologie uprawy roślin, wielu autorów odwołuje się do ich oceny energetycznej [Niedziółka 2000]. Podejście takie jest szczególnie ważne podczas produkcji roślin energetycznych a podstawowym ocenianym parametrem jest efektywność energetyczna produkcji [Kisiel i in. 2003, Piskier 2008]. W celu określenia potencjalnych możliwości zmniejszenia nakładów lub usprawnienia energetycznego technologii produkcji wskazane jest również analizowanie struktury nakładów energetycznych ocenianych technologii lub uprawianych roślin.

Cel badań

Celem przeprowadzonych badań było przeanalizowanie struktury nakładów energetycznych oraz określenie efektywności energetycznej produkcji dwóch odmian topinamburu, uprawianych z przeznaczeniem ich części nadziemnej na opał.

Metodyka i warunki badań

Jednoczynnikowe doświadczenie polowe, w którym badano wielkość i strukturę nakładów energetycznych poniesionych na produkcję dwóch odmian topinamburu, założone w czterech powtórzeniach w układzie losowanych bloków, przeprowadzono w latach 2004–2007. Prezentowane wyniki badań dotyczą lat 2006, 2007. Pola zlokalizowane były w Rzepkowie pow. koszaliński na glebie średniozwięzłej o składzie granulometrycznym piasku gliniastego mocnego IVa klasy bonitacyjnej. Topinambur uprawiano w stanowisku po ośmioletnim odłogu. Ponieważ topinambur jest rośliną wieloletnią, w analizowanych latach badań (3. i 4. rok uprawy) zabiegi agrotechniczne ograniczono jedynie do wykonania nawożenia mineralnego ($\text{N } 70 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ } 80 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, $\text{K}_2\text{O } 30 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) oraz rzędowania roślin za pomocą pielnika. Zabieg ten miał za zadanie ograniczenie obsady roślin, zmniejszenie zachwaszczenia oraz wymieszanie nawozów z glebą. W roku 2007 wystąpiły

ogniska zgnilizny twardzikowej, zastosowano więc oprysk fungicydem. Zbioru dokonywano zimą po przemarznięciu i przeschnięciu łądyg, wykorzystując jednorzędową przyczepianą siewkarnię do kukurydzy.

W ramach przeprowadzonych badań określono:

- wielkość i strukturę poniesionych nakładów energetycznych,
- wielkość plonu biomasy (łądyg),
- wartość produkcji energii,
- efektywność energetyczną produkcji.

Do analizy nakładów energetycznych ponoszonych na produkcję biomasy topinamburu zastosowano metodykę energochłonności skumulowanej [wg. IBMER, Anuszewski, Pawlak, Wójcicki 1979; Wójcicki 2002]:

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

Ponieważ określenie ilości energii wniesionej w postaci pracy ludzkiej (ΣE_r) w warunkach polowych nie było możliwe do wyznaczenia, pominięto ten składnik energii skumulowanej a wzór przyjął postać:

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

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 $77 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ N}$, potasowych $10 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$, fosforowych $15 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$, dla oleju napędowego $48 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, dla pestycydów $300 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ substancji aktywnej [Wójcicki 2002].

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 i dosuszając do stałej masy w temperaturze 105°C. Następnie plon biomasy przeliczono na plon suchej masy i przemnożono przez wartość opałową suchej masy topinamburu wynoszącą 15,93 MJ·kg⁻¹ [Piskier 2004] wyznaczając w ten sposób wartość energetyczną plonu (P_e) w MJ·ha⁻¹. Nakłady pracy ludzkiej (wyrażone w rbh·ha⁻¹) określono stosując chronometraż pełny [Kuczewski, Majewski 1985].

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

Strukturę nakładów energetycznych w przeprowadzonym doświadczeniu analizowano wielokryterialnie. Rozpatrywano ją wg energii wniesionej w formie strumieni energii (tradycyjne podejście) oraz wg ilości energii wniesionej w formie zabiegów (lub grup zabiegów) agrotechnicznych.

Łączny nakład energii poniesionej na produkcję topinamburu wyniósł przeciętnie dla dwóch lat badań 16,23 GJ·ha⁻¹ i u odmiany Rubik był większy o 7,1% niż u odmiany Albik (tabela 1). Podobna zależność wystąpiła przy wszystkich badanych parametrach. Nakłady energii wniesione w postaci stosowanych agregatów były większe w przypadku odmiany Rubik o 11% (w porównaniu do Albika) i wynosiły przeciętnie 1,92 GJ·ha⁻¹. Ilość energii wniesionej w postaci zużytego paliwa była również większa w przypadku odmiany Rubik (o 13,4% w porównaniu do odmiany Albik) i wynosiła przeciętnie dla lat badań i odmian 7,33 GJ·ha⁻¹. Ponieważ nawozy i środki ochrony roślin zostały zastosowane w takich samych dawkach, ilość wniesionej w ich postaci energii nie różniła się i wynosiła 6,98 GJ·ha⁻¹.

Tabela 1. Wielkość i struktura nakładów energetycznych poniesionych na produkcję topinamburu, średnio w latach 2006, 2007 [GJ·ha⁻¹]

Table 1. The amount and structure of energy expenditures incurred for topinambour production, on average in years 2006, 2007 [GJ·ha⁻¹]

Odmiana	Strumień energii			Skumulowany nakład energii
	Stosowane agregaty	Zużyte paliwo	Materiały	
Albik	1,82	6,87	6,98	15,67
Rubik	2,02	7,79	6,98	16,79
średnio	1,92	7,33	6,98	16,23

Analizując ilość energii wniesionej w poszczególnych zabiegach agrotechnicznych (sumując energię wniesioną w stosowanych agregatach i zużytym paliwie) należy zazna-

Analiza efektywności energetycznej...

czyć, że przeciętnie na prowadzenie plantacji zużyto $1,68 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ (co stanowiło 18,1% nakładu), na zbiór plonu zużyto przeciętnie $1,52 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ (co stanowiło 16,4% nakładu), natomiast na transport plonu zużyto $6,06 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ energii (co stanowiło 65,5% nakładu) (tabela 2). W przypadku uprawy odmiany Rubik zbiór pochłonął o 14,5% a transport plonu o 16,4% energii więcej niż zużyto na produkcję odmiany Albik.

Tabela 2. Wpływ zabiegów agrotechnicznych na wielkość nakładów energetycznych, poniesionych w formie stosowanych agregatów i zużytego paliwa, w uprawie topinamburu, średnio w latach 2006-2007 [$\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$]

Table 2. The impact of agrotechnical operations on the amount of energy expenditures for topinambour growing, incurred in form of employed units and consumed fuel, on average in years 2006-2007 [$\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$]

Odmiana	Zabieg agrotechniczny			Łączny nakład energii
	Prowadzenie plantacji	Zbiór plonu	Transport plonu	
Albik	1,68	1,42	5,60	8,70
Rubik	1,68	1,62	6,52	9,82
średnio	1,68	1,52	6,06	9,26

Bardzo ważnym parametrem oceniającym technologię produkcji roślin energetycznych jest wskaźnik efektywności energetycznej określający zależność pomiędzy wielkością uzyskanego plonu energii a poniesionymi nakładami.

Topinambur uprawiany na opał generował plon suchej masy na poziomie $5,55 \text{ t}\cdot\text{s.m.}\cdot\text{ha}^{-1}$, co odpowiadało $88,4 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ energii. Różnice występujące pomiędzy odmianami nie zostały potwierdzone statystycznie mimo, że plon odmiany Rubik był większy o 10,2% od plonu odmiany Albik. Wskaźnik efektywności energetycznej wynosił przeciętnie 5,46 i również nie był istotnie różnicowany przez badane odmiany. Odmiana Rubik uzyskała o 3% większy wskaźnik efektywności energetycznej niż odmiana Albik (tabela 3).

Tabela 3. Wielkość plonu energii oraz wskaźnika efektywności energetycznej uzyskanych w produkcji topinamburu, średnio w latach 2006-2007

Table 3. The values of energy crop and energy efficiency index obtained in topinambour production, on average in years 2006-2007

Odmiana	Badany parametr			Wskaźnik efektywności energetycznej
	Plon biomasy $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (s.m.)	Plon energii $\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$	Skumulowany nakład energii $\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$	
Albik	5,28	84,1	15,7	5,36
Rubik	5,82	92,7	16,8	5,52
średnio	5,55	88,4	16,2	5,46
NIR $\alpha_{0,05}$	r.n.i.	r.n.i.	-	r.n.i.

Uprawa topinamburu w trzecim i czwartym roku prowadzenia plantacji pochłania przeciętnie $20,9 \text{ rbh}\cdot\text{ha}^{-1}$. Uprawa odmiany Rubik pochłonęła o 10,2% więcej czasu pracy niż uprawa odmiany Albik, co było bezpośrednio związane z większym plonem odmiany Rubik.

Wnioski

1. Przeciętny plon suchej masy łodyg topinamburu uzyskany w latach 2006-2007 wynosił $5,55 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (co odpowiada $88,4 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) i nie był istotnie różnicowany przez testowane odmiany.
2. Wskaźnik efektywności energetycznej produkcji topinamburu wyniósł 5,46 i nie był istotnie zależny od testowanych odmian.
3. Spośród nakładów energetycznych, największe nakłady energii na produkcję topinamburu poniesione zostały w formie zużytego paliwa (45,2%) oraz materiałów (43%).
4. Najbardziej energochłonnym zabiegiem w produkcji topinamburu był transport plonu, pochłaniał on bowiem 65,5% nakładów wnoszonych w formie stosowanych agregatów i zużytego paliwa.

Bibliografia

- Anuszewski R., Pawlak J., Wójcicki Z.** 1979. Energochłonność produkcji rolniczej. Metodyka badań energochłonności produkcji surowców żywnościowych. IBMER Warszawa.
- 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. s. 104-111.
- Dreszer K., Michalek R., Roszkowski A.** 2003. Energia odnawialna – możliwości jej pozyskania i wykorzystania w rolnictwie. Wyd. PTIR Kraków-Lublin-Warszawa.
- Harasim A.** 1997. Możliwości kompensacji ujemnego wpływu stanowiska na plonowanie i efektywność produkcji pszenicy ozimej. II Efektywność ekonomiczna i energetyczna. Pamiętnik Puławski 111. s. 73-87.
- Karwowski T.** 1998. Podstawy zespołowego użytkowania maszyn (ZUM) IBMER Warszawa.
- Kisiel R., Stolarski M., Szczukowski S., Tworowski J.** 2003. Fragmenta Agronomica Nr 3. s. 87-97.
- Kuczewski J., Majewski Z.** 1985. Eksploatacja maszyn rolniczych, tom 1. PWRiL Warszawa. ISBN 83-09-00707-8.
- Kwaśniewski D.** 2006. Ocena wybranych technologii uprawy wierzby energetycznej w aspekcie ponoszonych nakładów. Inżynieria Rolnicza 3(78). Kraków. s. 217-224.
- Majtkowski W.** 2006. Długa lista, dopłaty do upraw energetycznych w Czechach. Agroenergetyka 4(18). s. 12-15.
- Niedziółka I.** 2000. Energochłonność i opłacalność produkcji ziarna kukurydzy. Inżynieria Rolnicza. Nr 8(19). Kraków. s. 133-139.
- Piskier T.** 2004. Analiza wartości opałowej topinamburu. Raport badania własne.
- Piskier T.** 2008. Ocena nakładów energetycznych wybranych technologii zakładania plantacji słazowca pensylwańskiego. Inżynieria Rolnicza Nr 10(108). Kraków. s. 193-199.
- Wójcicki Z.** 2002. Wyposażenie i nakłady materiałowo energetyczne w rozwojowych gospodarstwach rolniczych. IBMER Warszawa. ISBN 83-86264-62-4.

THE ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENCY OF TOPINAMBOUR GROWING FOR FUEL – PRELIMINARY RESEARCH RESULTS

Abstract. Field experiment involved the comparison of size and structure of energy expenditures for production of two topinambour varieties grown for use as a fuel. Cumulated energy expenditure was $15.67 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ in case of Albik variety and $16.79 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ in case of Rubik variety. On average, production energy efficiency index was 5.46 and was not significantly diversified by tested varieties.

Key words: energy efficiency, labour consumption, topinambour

Adres do korespondencji:

Tomasz Piskier email: piskier@poczta.onet.pl
Katedra Agrotechnologii
Politechnika Koszalińska
ul. Raławicka 15-17
75-526 Koszalin