

## OCENA ENERGETYCZNA TECHNOLOGII UPRAWY PSZENICY JAREJ\*

*Leszek Majchrzak, Tomasz Piechota*  
*Katedra Agronomii, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu*

**Streszczenie.** Badania przeprowadzono w latach 2011-2012 w RZD Brody należącym do Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Doświadczenie założono metodą bloków losowanych w 4 powtórzeniach. Celem badań była ocena wielkości i struktury nakładów energetycznych poniesionych w następstwie zastosowania międzyplonu i zróżnicowanych systemów uprawy roli w uprawie pszenicy jarej. Do analizy nakładów energetycznych ponoszonych na uprawę pszenicy zastosowano metodykę energochłonności skumulowanej. Na podstawie wyników przeprowadzonych obliczeń stwierdzono, że zastosowanie międzyplonu ścierniskowego z gorczycy białej wysiewanego po podorywce powodowało zwiększenie nakładu energii skumulowanej o 13,7%, a w przypadku wysiewu międzyplonu w siewie bezpośrednim o 31,5%. Zastąpienie uprawy orkowej agregatem uprawowym zmniejszyło nakłady energii skumulowanej o 9,3%. Wyliczona wartość wskaźnika efektywności energetycznej była najniższa przy uprawie pszenicy jarej w technologii orkowej i różniła się istotnie od wartości uzyskanych w pozostałych technologiach.

**Słowa kluczowe:** technologia uprawy, pszenica jara, międzyplon, energia skumulowana, wskaźnik efektywności energetycznej

### Wykaz oznaczeń:

- E<sub>cg</sub>* – energochłonność pracy ciągnika ( $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ ),  
*E<sub>e</sub>* – wskaźnik efektywności energetycznej,  
*E<sub>m</sub>* – energochłonność pracy maszyn ( $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ ),  
*E<sub>tech</sub>* – energochłonność badanej technologii ( $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ ),  
*M<sub>c</sub>* – sumaryczna masa ciągników użytych do wykonania danego zabiegu (kg),  
*M<sub>m</sub>* – sumaryczna masa maszyny użytej do wykonania danego zabiegu (kg),  
*P<sub>e</sub>* – wartość energetyczna plonu ( $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ ),  
*T<sub>nc</sub>* – normatywna liczba godzin pracy ciągnika w okresie jego użytkowania (h),  
*T<sub>nm</sub>* – normatywna liczba godzin pracy maszyny w okresie jej użytkowania (h),

---

\* Praca naukowa finansowana ze środków NCN w ramach projektu badawczego NN 310027339

- Wec* – wskaźnik jednostkowej energochłonności ciągników ( $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ),  
*Wem* – wskaźnik jednostkowej energochłonności maszyny ( $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ),  
*Wz* – wskaźnik jednostkowej energochłonności części zamiennych ( $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ),  
*W<sub>07</sub>* – wydajność eksploatacyjna agregatu podczas wykonywania danego zabiegu ( $\text{ha}\cdot\text{h}^{-1}$ ),  
*Zc* – masa zużytych części zamiennych w ciągniku (kg),  
*Zm* – masa zużytych części zamiennych w maszynie (kg),  
*ΣEagr* – suma energochłonności stosowanych agregatów ( $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ ),  
*ΣEmat* – suma energochłonności stosowanych materiałów ( $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ ),  
*ΣEpal* – suma energochłonności zużytego paliwa ( $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ ),  
*ΣEr* – energochłonność pracy ludzkiej ( $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ ),

## Wprowadzenie i cel badań

Efektywność energetyczna jest w praktyce wyraźnie różnicowana przez stosowane technologie produkcji (Starczewski i in., 2008). Szczegółowe analizy nakładów energetycznych ponoszonych na produkcję roślinną wskazują, że najczęściej nakładów energii wnoszone jest do produkcji w formie materiałów i bezpośrednich nośników energii, np. paliw (Harasim, 1997; Kowalski i Malaga-Toboła, 2006). Stały wzrost ich cen jest odbierany jako czynnik powodujący wzrost kosztów produkcji i dlatego dążenie do zmniejszenia zużycia tych nośników energii jest elementem ograniczania kosztów produkcji (Ortiz-Cañavate i Hermanz, 1999). W celu ograniczenia nakładów energetycznych podejmowane są próby opracowania alternatywnych technologii produkcji polegających na spłyceniu orki i zastępowaniu jej innymi zabiegami (Białczyk i in., 2007; Czarnocki i in., 2007). W celu skonfrontowania poniesionych nakładów z uzyskanymi efektami w technologii produkcji oblicza się wskaźnik efektywności energetycznej (Niedziółka, 2000).

Celem badań była ocena wielkości i struktury nakładów energetycznych oraz określenie i porównanie wskaźnika efektywności energetycznej zastosowanych systemów uprawy roli pod wysiew pszenicy jarej.

## Metodyka pracy

Badania przeprowadzono w latach 2011-2012 w RZD Brody należącym do Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Dwuczynnikowe doświadczenie polowe założono w układzie bloków losowanych w 4 powtórzeniach. Czynnikiem I rzędu był sposób uprawy międzyplonu ścierniskowego (po podorywce, w siewie bezpośrednim) lub jego brak. Czynnikiem II rzędu był sposób uprawy gleby pod wysiew pszenicy jarej (orka wiosenna, agregat uprawowy, siew bezpośredni). Pszenicę jarą odmiany Vinjet w ilości  $225 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  wysiewano w I dekadzie kwietnia. Zabiegi ochrony przeprowadzane corocznie były jednokowe, dostosowane do nasilenia występowania agrofagów, przy użyciu preparatów wg zaleceń IOR w Poznaniu.

Do analizy nakładów energetycznych ponoszonych na produkcję pszenicy zastosowano metodykę energochłonności skumulowanej (Anuszewski i in., 1979; Wójcicki, 2002).

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

Ponieważ określenie ilości energii wniesionej w postaci pracy ludzkiej ( $\sum E_r$ ) w warunkach polowych nie było możliwe do wyznaczenia, pominięto ten składnik energii skumulowanej, a wzór przyjął postać zaproponowaną przez Piskiera (2011).

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

$\sum E_{agr}$  – suma energochłonności stosowanych agregatów ( $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ ),

$\sum E_{mat}$  – suma energochłonności stosowanych materiałów ( $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ ),

$\sum E_{pal}$  – suma energochłonności zużytego paliwa ( $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ ).

W celu określenia energochłonności pracy ciągnika wykorzystano zależności (Anuszewski i in. 1979; Wójcicki 2002).

$$E_{cg} = \frac{Mc \cdot W_{ec} + Zc \cdot W_z}{T_{nc} \cdot W_{07}} \quad (\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1})$$

Analogiczny wzór zastosowano do obliczenia energochłonności pracujących maszyn

$$E_m = \frac{Mm \cdot W_{em} + Zm \cdot W_z}{T_{nm} \cdot W_{07}} \quad (\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1})$$

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

Wydajność maszyn określono za pomocą chronometrażu uproszczonego, a zużycie paliwa podczas wykonywania poszczególnych zabiegów wyznaczono poprzez pomiar bezpośredni. Energię wniesioną w formie materiałów wyliczono poprzez przemnożenie masy materiału zużytego w trakcie produkcji przez wartość energii w nim zawartej, przyjmując: dla materiału siewnego  $9 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ , nawozów azotowych  $77 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$  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 z zależności podanej przez Harasima (1997).

$$E_e = \frac{P_e}{E_{tech}}$$

## Wyniki badań i ich analiza

Strukturę nakładów energetycznych w przeprowadzonym doświadczeniu rozpatrywano wg ilości energii wniesionej w formie zabiegów (lub grup zabiegów) agrotechnicznych. Łączny nakład energii poniesionej na produkcję pszenicy jarej wynosił przeciętnie dla dwóch lat badań  $15,09 \text{ GJ}\cdot\text{kg}^{-1}$  (tab. 1). Przyjmując za 100% nakłady energetyczne ponie-

sione na obiektach, na których nie wysiewano międzyplonu ścierniskowego, uprawa gorczyicy białej po zbiorze przedplonu i wykonaniu podorywki powodowała ich zwiększenie o 13,7%. Z kolei aplikacja herbicydu Roundup 360 SL + AS 500 SL w dawce  $4,0 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$  +  $1,5 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$  i wysiew gorczyicy białej w technologii siewu bezpośredniego to wzrost nakładów energetycznych o 31,5%. Uprawa międzyplonu po podorywce powodowała zwiększenie nakładów energii w postaci stosowanych agregatów o 41,2%, natomiast przy jego wysiewie w technologii siewu bezpośredniego o ponad 100%. Ilość energii wniesionej w postaci zużytego paliwa była również większa w przypadku uprawy międzyplonu w technologii siewu bezpośredniego, a różnica w odniesieniu do uprawy gorczyicy po podorywce wynosiła 8,4%.

Tabela 1

*Wpływ zastosowania międzyplonu na wielkość i strukturę nakładów energetycznych poniesionych na uprawę pszenicy jarej, średnio w latach 2011-2012 ( $\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ )*

Table 1

*Influence of catch crop cultivation on amount and structure of energy input used for spring wheat cultivation, mean in years 2011-2012 ( $\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ )*

Sposób uprawy międzyplonu	Strumień energii			Skumulowane nakłady energii
	Stosowane agregaty	Zużyte paliwo	Materiały	
Bez międzyplonu	0,68	1,99	10,43	13,11
Międzyplon uprawiany po podorywce	0,96	3,11	10,83	14,91
Międzyplon uprawiany w siewie bezpośrednim	1,39	3,37	12,48	17,24
Średnio	1,01	2,82	11,25	15,09

Najmniej energii pochłaniała technologia uprawy pszenicy jarej przy zastosowaniu agregatu uprawowego (tab. 2). Było to spowodowane mniejszym nakładem energii wniesionej w postaci stosowanych agregatów (o 19,4% w odniesieniu do uprawy orkowej i 39,2% w odniesieniu do siewu bezpośredniego), a także mniejszą ilością energii wniesionej w postaci zużytego paliwa o 24,8% w porównaniu do technologii siewu bezpośredniego i 33,9% w odniesieniu do uprawy płuźnej gleby przed wysiewem pszenicy jarej. Większy nakład energii w postaci materiałów był wynikiem dwukrotnej aplikacji preparatu Roundup 360 SL + AS 500 SL w dawce  $4,0 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$  +  $1,5 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$  pod wysiew międzyplonu i  $1,0 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$  +  $1,5 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$  wiosną przed wysiewem pszenicy jarej.

W tabeli 3 przedstawiono wartość wskaźnika efektywności energetycznej, określającego zależność między wielkością uzyskanego plonu a poniesionymi nakładami.

W przypadku uprawy pszenicy po międzyplonie wysiewanym po podorywce jego wartość była najwyższa i wynosiła 1,76. Różnice pomiędzy technologiami wysiewu międzyplonu nie zostały jednak potwierdzone statystycznie.

Tabela 2

*Wpływ sposobu uprawy roli na wielkość i strukturę nakładów energetycznych poniesionych na uprawę pszenicy jarej, średnio w latach 2011-2012 (GJ·ha<sup>-1</sup>)*

Table 2

*Influence of soil tillage system on amount and structure of energy input used for spring wheat cultivation mean in years 2011-2012 (GJ·ha<sup>-1</sup>)*

Sposób uprawy gleby	Strumień energii			Skumulowany nakład energii
	Stosowane agregaty	Zużyte paliwo	Materiały	
Uprawa orkowa	1,02	3,51	10,95	15,48
Agregat uprawowy	0,76	2,32	10,95	14,04
Siew bezpośredni	1,25	2,64	11,85	15,75
Średnio	1,01	2,82	11,25	15,09

Tabela 3

*Wartość energetyczna plonu oraz wskaźnika efektywności energetycznej w uprawie pszenicy jarej, średnio w latach 2011-2012*

Table 3

*Yield energy value and energy efficiency index value in spring wheat cultivation, mean in years 2011-2012*

Rodzaj czynnika	Badany parametr			Wskaźnik efektywności energetycznej
	Plon ziarna (t·ha <sup>-1</sup> )	Wartość energetyczna plonu (GJ·ha <sup>-1</sup> )	Skumulowane nakłady energii (GJ·ha <sup>-1</sup> )	
Bez międzyplonu	2,34	21,1	13,11	1,62
Międzyplon uprawiany po podorywce	2,91	26,2	14,91	1,76
Międzyplon uprawiany w siewie bezpośrednim	3,08	27,8	17,24	1,61
NIR <sub>40.05</sub>	0,300	2,70	-	r.n.
Uprawa orkowa	2,56	23,1	15,48	1,46
Agregat uprawowy	2,77	24,9	14,04	1,78
Siew bezpośredni	3,01	27,1	15,75	1,75
NIR <sub>40.05</sub>	0,300	2,70	-	0,18

Pszenica jara uprawiana w technologii siewu bezpośredniego generowała najwyższy plon ziarna, który kształtował się na poziomie 3,01 t·ha<sup>-1</sup>, co odpowiadało 27,1 GJ·ha<sup>-1</sup> energii. Różnice zarówno w plonie ziarna, jak i wartości energetycznej plonu, a także w wartości wskaźnika efektywności energetycznej pomiędzy obiektami, na których wykonano siew bezpośredni i bezplużną uprawę gleby agregatem uprawowym, nie zostały potwierdzone statystycznie. Podobnie wyższe wartości plonu ziarna pszenicy uprawianej w technologii siewu bezpośredniego uzyskał w swoich badaniach Fiszer i in. (2006). Z kolei Dzienia i in. (2003) nie wykazał różnic w plonowaniu pszenicy pomiędzy zastosowanymi technologiami. Natomiast Małecka i in. (2012) przy zastosowaniu siewu bezpo-

średniego w swoich badaniach wykazali spadki plonów ziarna o 25% w przypadku pszenicy ozimej, 24% – pszenżyta ozimego i 23% – jęczmienia jarego. Podobnie niższe plony pszenicy uprawianej w technologii siewu bezpośredniego uzyskali również Weber i Podolska (2008), którzy jednak zwracają uwagę na różnice odmianowe w obrębie gatunku. Technologia uprawy orkowej charakteryzowała się najniższą wartością wskaźnika efektywności energetycznej, która wynosiła 1,46 i różniła się istotnie od wartości uzyskanych przy uprawie pszenicy jarej w pozostałych technologiach.

## Wnioski

1. Zastosowanie międzyplonu ścierniskowego z gorzycy białej wysiewanego po podorywce powodowało zwiększenie skumulowanego nakładu energii o 13,7%, a w technologii siewu bezpośredniego o 37,5% w odniesieniu do obiektów bez jego uprawy.
2. Zastąpienie uprawy orkowej agregatem uprawowym zmniejszyło skumulowany nakład energii o 9,3%.
3. Siew bezpośredni pszenicy jarej nie powodował jednoznacznych różnic w wielkości skumulowanego nakładu energii (zwiększenie o 1,7%).
4. Wartość wskaźnika efektywności energetycznej była najniższa w technologii uprawy orkowej i różniła się istotnie od wartości uzyskanej w pozostałych technologiach.

## Literatura

- Anuszewski, R.; Pawlak, J.; Wójcicki, Z. (1979). Energochłonność produkcji rolniczej. Metodyka badań energochłonności produkcji surowców żywnościowych. Warszawa, *IBMER*.
- Białczyk, W.; Cudzik, A.; Koryło, S. (2007). *Ocena uproszczeń uprawowych w aspekcie oszczędności paliw płynnych*. Materiały konferencyjne IX Międzynarodowej Konferencji Naukowej „Teoretyczne i aplikacyjne problemy inżynierii rolniczej”. Wrocław-Polanica, 19-22.06.2007, 31-33.
- Czarnocki S.; Starczewski, J.; Kapela, K. (2007). *Porównanie zużycia paliwa i czasu pracy przy kilku alternatywnych technologiach przygotowania roli do siewu*. Materiały konferencyjne IX Międzynarodowej Konferencji Naukowej „Teoretyczne i aplikacyjne problemy inżynierii rolniczej”. Wrocław-Polanica, 19-22.06.2007, 71-73.
- Dzienia, S.; Puzyński, S.; Wereszczaka, J. (2003). Reakcja pszenicy ozimej na zmniejszenie intensywności uprawy roli. *Journal of Research and Application in Agricultural Engineering*, 48(3), 28-32.
- Fiszer, A.; Dworecki, Z.; Kaźmierczak, P.; Morkowski, A. (2006). Analiza porównawcza tradycyjnej i bezorkowej uprawy pszenicy ozimej. *Journal of Research and Application in Agricultural Engineering*, 51(3), 23-25.
- Harasim, A. (1997). Możliwości kompensacji ujemnego wpływu stanowiska na plonowanie i efektywność produkcji pszenicy ozimej. II Efektywność energetyczna i ekonomiczna. *Pamiętnik Puławski 111*, 73-87.
- Kowalski S.; Malaga-Toboła U. (2006). Nakłady energetyczne a kierunek produkcji i wielkość gospodarstw. *Inżynieria Rolnicza*, 3(78), 153-159.
- Małecka, I.; Bleharczyk, A.; Sawinska, Z.; Piechota, T.; Waniorek, B. (2012). Plonowanie zbóż w zależności od sposobów uprawy roli. *Fragmenta Agronomica*, 29(1), 114-123.
- Niedziółka, I. (2000). Energochłonność i opłacalność produkcji ziarna kukurydzy. *Inżynieria Rolnicza*, 8(19), 133-139.

- Ortiz-Cañavate, J.; Hermanz, J.L. (1999). Energy analysis W CIGR Handbook of Agricultural Engineering, vol. (V). *Energy and Biomass Engineering*, ASE, 13-42.
- Piskier, T. (2011). Efektywność energetyczna produkcji biomasy w teorii i praktyce. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna*, 3, 5-7.
- Starczewski, J.; Dopka, D.; Korsak-Adamowicz, M. (2008). Ocena energetyczna wybranych technologii uprawy żyta jarego. *Acta Agrophysica*, 11(3), 733-739.
- Weber, R.; Podolska, G. (2008). Wpływ sposobu uprawy roli, terminu i gęstości siewu na plonowanie odmian pszenicy ozimej. *Inżynieria Rolnicza*, 1(99), 395-400.
- Wójcicki, Z. (2002). Wyposażenie i nakłady materiałowo energetyczne w rozwojowych gospodarstwach rolniczych. Warszawa, *IBMER*, ISBN 83-86264-62-4.

## ENERGY ASSESMENT OF SPRING WHEAT CULTIVATION TECHNOLOGY

**Abstract.** A field study was carried out in 2011-2012 at the Research Station Brody belonging to Poznan University of Life Sciences. The experiment was assumed with blocks randomized in four repetitions. The objective of the study was to determine the size and structure of energy inputs incurred as a result of catch crop and varied field cultivation systems of spring wheat production use. It was found that the use of catch crop from white mustard sown after skimming resulted in the increase of the accumulated energy input by 13.7 per cent and in direct sowing technology by 31.5 per cent as compared to the treatment where catch crop was not cultivated. Replacement of plow tillage with a cultivation aggregate decreased accumulated energy inputs by 9.3 per cent. The value of energy efficiency index was the lowest at spring wheat in plow technology and there was significant difference as compared to the other technology.

**Key words:** cultivation technology, spring wheat, catch crop, accumulated energy, energy efficiency index

### Adres do korespondencji:

Leszek Majchrzak; e-mail: leszmaj@up.poznan.pl  
Katedra Agromonii  
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu  
ul. Dojazd 11  
60-632 Poznań