

ENERGOCHŁONNOŚĆ SKUMULOWANA W INTENSYWNEJ PRODUKCJI ROŚLINNEJ

MAŁGORZATA HOLKA¹, JERZY BIEŃKOWSKI, JANUSZ JANKOWIAK

*Zakład Systemów Produkcji Rolniczej, Instytut Środowiska Rolniczego
i Leśnego Polskiej Akademii Nauk, ul. Bukowska 19, 60-809 Poznań*

Synopsis. W pracy przedstawiono ocenę skumulowanych nakładów energetycznych w intensywnym, konwencjonalnym systemie produkcji pszenicy ozimej, kukurydzy na ziarno, buraków cukrowych i rzepaku ozimego. Badania przeprowadzono w latach 2010–2013, w wielkotowarowym gospodarstwie rolnym, położonym w województwie wielkopolskim. Największą energochłonnością charakteryzowała się produkcja buraków cukrowych. Kolejno plasowały się uprawy kukurydzy na ziarno, rzepaku ozimego i pszenicy ozimej. W łącznych nakładach energii skumulowanej największy udział miał strumień surowców i materiałów, a następnie strumień bezpośrednich nośników energii, środków inwestycyjnych oraz pracy ludzkiej. Spośród wyróżnionych procesów technologicznych w uprawie roślin, największe nakłady energetyczne były związane z nawożeniem mineralnym. Ponadto, w kształtowaniu energochłonności skumulowanej produkcji buraków cukrowych i kukurydzy na ziarno stosunkowo duże znaczenie miało także stosowanie nawozów naturalnych. W podziale zużycia energii na bezpośrednią i pośrednią, przeważający udział miała energia pośrednia. Największy wskaźnik efektywności energetycznej stwierdzono w produkcji buraków cukrowych, a najmniejszy w rzepaku ozimym.

Słowa kluczowe: intensywna produkcja roślinna, nakłady energii skumulowanej, energia bezpośrednia, energia pośrednia, wskaźnik efektywności energetycznej

WSTĘP

Produkcja żywności wymaga dużych nakładów energii. Zapotrzebowanie na energię w cyklu „od pola do stołu” stanowi około 26% całkowitego zużycia energii w Unii Europejskiej [Monforti-Ferrario i in. 2015]. Energia potrzebna do produkcji rolniczej pozyskiwana jest głównie z nieodnawialnych źródeł energii, którymi są paliwa kopalne, takie jak węgiel kamienny, węgiel brunatny, ropa naftowa i gaz ziemny [Pawlak 2013]. Na świecie ich zużycie wzrasta, a zasoby maleją. Uzupełnianie nieodnawialnych zasobów energii, w przeciwieństwie do odnawialnych, jest długotrwałe lub nawet niemożliwe do osiągnięcia. Ponadto, spalanie paliw kopalnych powoduje emisje gazów cieplarnianych oraz zanieczyszczenia gleby, wody i powietrza [Bilgen 2014, Wójcicki 2007a].

Ocenia się, że wprowadzanie nowoczesnych rozwiązań technologicznych zarówno w procesach wytwarzania przemysłowych środków produkcji, jak i w uprawie roślin powoduje oszczędności energii [Górecki 2003, Wójcicki 2007b]. Prowadzenie analiz energochłonności w produkcji roślinnej umożliwi rozpoznanie poziomu osiągniętej efektywności energetycznej i kierunku dalszych działań w zakresie dążenia do zmniejszania zużycia energii w rolnictwie [Meyer-Aurich i in. 2013, OECD 2017].

¹ Adres do korespondencji – *Corresponding address*: małgorzata.holka@isrl.poznan.pl

Celem podjętych badań była ocena i analiza energochłonności skumulowanej w intensywnej produkcji roślinnej.

MATERIAŁ I METODY

Badania przeprowadzono w latach 2010–2013 w Zakładzie Rolnym Trzebiny (51°50' N, 16°26' E), położonym w województwie wielkopolskim, w powiecie leszczyńskim. Zakład wchodzi w skład Przedsiębiorstwa Rolnego Długie Stare Sp. z o.o., które zalicza się do spółek strategicznych o szczególnym znaczeniu dla gospodarki narodowej i znajduje się pod nadzorem właścicielskim Krajowego Ośrodka Wsparcia Rolnictwa. Przedsiębiorstwo ukierunkowane jest w produkcji roślinnej na uprawę zbóż, rzepaku i buraków cukrowych, a w dziale produkcji zwierzęcej – na produkcję mleka, chów jałówek cielnych i bydła mięsnego. Osiąga wysokie wyniki w produkcji roślinnej i produkcji zwierzęcej. Powierzchnia użytków rolnych w Zakładzie Rolnym Trzebiny wynosi 492 ha. Gospodarstwo charakteryzuje się intensywną produkcją rolną, o czym świadczy między innymi wysoki poziom nawożenia mineralnego (NPK) (tab. 1). W strukturze zasiewów zboża stanowiły 61,1%. Duży udział (20,8%) miały rośliny przemysłowe (buraki cukrowe i rzepak ozimy). Na wysoką intensywność produkcji rzutowała także produkcja zwierzęca. Obsada zwierząt była ponad 2-krotnie niższa od przyjętej ze względów środowiskowych górnej granicy 1,5 DJP·ha⁻¹ UR [Duer i in. 2004]. Na potrzeby żywienia bydła mlecznego prowadzono produkcję pasz objętościowych, stąd uprawa roślin pastewnych jedno- i wieloletnich (kukurydza na kiszonkę) i wieloletnich (lucerna) stanowiła łącznie 18,1% w całko-

Tabela 1. Charakterystyka badanego gospodarstwa (średnie z lat 2010–2013)
Table 1. Characterization of studied farm (averages for the years 2010–2013)

Wyszczególnienie Specification	Min.	Max.	Średnia Mean	Odchylenie standardowe Standard deviation
Powierzchnia UR/Area AL (ha)	–	–	492,3	–
Nawożenie NPK/NPK fertilization (kg·ha ⁻¹ UR/AL)	215,1	298,2	245,9	43,6
Obsada zwierząt (DJP·ha ⁻¹ UR)/ Livestock density (AU·ha ⁻¹ AL)	0,65	0,68	0,66	0,01
Struktura zasiewów/Cropping pattern (%):				
– zbożowe/cereals	52,6	69,0	61,1	8,2
– okopowe/root crops	7,1	9,2	7,9	1,2
– oleiste/oil plants	1,4	22,5	12,9	10,7
– pastewne jednoroczne/annual fodder crops	8,8	18,0	13,4	4,6
– pastewne wieloletnie/perennial fodder crops	0	7,1	4,7	4,1
Plony roślin/Crop yields (t·ha ⁻¹)				
– pszenica ozima/winter wheat	6,52	6,95	6,74	0,22
– kukurydza na ziarno/grain maize	10,1	11,7	11,1	0,81
– buraki cukrowe/sugar beet	56,6	77,0	65,1	11,7
– rzepak ozimy/winter rape	0,32	2,62	2,39	1,24

witej powierzchni zasiewów Średnie plony roślin były wyższe od podawanych przez GUS dla Polski [GUS 2012, GUS 2013, GUS 2014]. Plon ziarna pszenicy ozimej wynosił $6,74 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (był wyższy od średniej w kraju o 60,0%), kukurydzy uprawianej na ziarno – $11,1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (wyższy o 58,7%), a buraków cukrowych – $65,1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (wyższy o 12,4%).

Skumulowane nakłady energetyczne analizowano w uprawie pszenicy ozimej, kukurydzy na ziarno, buraków cukrowych i rzepaku ozimego. W obliczeniach energochłonności skumulowanej (E_s) uwzględniono nakłady pochodzące z czterech strumieni energii [Anuszewski i in. 1979]:

$$E_s = E_n + E_m + E_i + E_p \text{ (MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\text{)}, \quad (1)$$

gdzie:

E_n – nakłady energetyczne bezpośrednich nośników energii ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$),

E_m – nakłady energetyczne surowców i materiałów rolniczych ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$),

E_i – nakłady energetyczne środków inwestycyjnych ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$),

E_p – nakłady energetyczne pracy żywej ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$).

Kalkulacje każdego strumienia energii dokonano na podstawie danych o nakładach poniesionych na produkcję roślin uprawnych w badanym gospodarstwie oraz wskaźników jednostkowej energochłonności skumulowanej z literatury (tab. 2), według poniżej przedstawionych równań.

Nakłady energetyczne bezpośrednich nośników energii w uprawie roślin:

$$E_n = (p \cdot w_p) + (e \cdot w_e) \text{ (MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\text{)}, \quad (2)$$

gdzie:

p – zużycie paliwa ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$),

w_p – wskaźnik jednostkowej energochłonności paliwa ($\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$),

e – zużycie energii elektrycznej ($\text{kWh}\cdot\text{ha}^{-1}$),

w_e – wskaźnik jednostkowej energochłonności energii elektrycznej ($\text{MJ}\cdot\text{kWh}^{-1}$).

Nakłady energetyczne w zastosowanych surowcach i materiałach w uprawie roślin:

$$E_m = (n \cdot w_n) + (s \cdot w_s) + (o \cdot w_o) + (r \cdot w_r) \text{ (MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\text{)}, \quad (3)$$

gdzie:

n – zużycie nawozów w czystym składniku ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$),

w_n – wskaźnik jednostkowej energochłonności nawozów ($\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$),

s – ilość zużytego materiału siewnego ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$),

w_s – wskaźnik jednostkowej energochłonności materiału siewnego ($\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$),

o – zużycie substancji aktywnej w środkach ochrony roślin ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$),

w_o – wskaźnik jednostkowej energochłonności środków ochrony roślin ($\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$),

r – zużycie smarów ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$),

w_r – wskaźnik jednostkowej energochłonności smarów ($\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$).

Dla wszystkich ciągników, maszyn samojezdnych, narzędzi i urządzeń wykorzystywanych w procesach produkcji roślin określono zużycie na podstawie masy sprzętu w kilogramach i czasu pracy w całym okresie eksploatacji w gospodarstwie, które następnie przeliczono za pomocą wskaźników energochłonności na megadzule. Uwzględniono przy tym części zamienne i materiały do napraw. Masę części zamiennych przyjęto na poziomie 30% zużycia masy maszyn samojezdnych i narzędzi rolniczych, a materiały do napraw stanowiły 4% masy części zamiennych [Harasim 2002]

Energię przekazaną w ciągu jednej godziny użytkowania sprzętu „ k ” w gospodarstwie (D_k) obliczono zgodnie z formułą:

$$D_k = \frac{(m_k \cdot w_c + m_{zk} \cdot w_z + m_{mk} \cdot w_m)}{T_k \cdot L_k} \text{ (MJ}\cdot\text{h}^{-1}\text{)}, \quad (4)$$

gdzie:

m_k – masa sprzętu „ k ” (ciągnika, maszyny samojezdnej, narzędzia, urządzenia) (kg),

Tabela 2. Wskaźniki jednostkowej energochłonności skumulowanej dla wybranych środków produkcji rolniczej

Table 2. Specific cumulated energy consumption indexes of selected means of agricultural production

Rodzaj nakładu energetycznego Kind of energy input	Produkt Product	Jednostka Unit	Wskaźnik energochłonności skumulowanej Cumulated energy consumption index (MJ)	Źródło Source
Bezpośrednie nośniki energii Direct energy carriers	olej napędowy/diesel oil	kg	48	Wójcicki 2007a
	energia elektryczna/ electricity	kWh	6	Wójcicki 2007a
	gaz LPG/liquefied petroleum gas	kg	50	Wójcicki 2007a
Surowce i materiały rolnicze Raw materials and other agricultural inputs	nawozy azotowe/ nitrogen fertilizers (N)	kg	55	BioGrace 2015
	nawozy fosforowe/ phosphorous fertilizers (P ₂ O ₅)	kg	15	BioGrace 2015
	nawozy potasowe/ potassium fertilizers (K ₂ O)	kg	10	BioGrace 2015
	wapno nawozowe/lime fertilizer (CaO)	kg	1,1	BioGrace 2015
	obornik/manure	kg	0,3	Wójcicki 2007a
	gnojowica/slurry	kg	0,2	Wójcicki 2007a
	herbicydy/herbicides (s.a./a.s.)	kg	264-454	Lillywhite i in. 2007
	fungicydy/fungicides (s.a./a.s.)	kg	168	Lillywhite i in. 2007
	insektycydy/insecticides (s.a./a.s.)	kg	214	Lillywhite i in. 2007
	ziarno zbóż/cereal grain	kg	9	Wójcicki 2007a
	nasiona oleistych/oil seeds	kg	12	Wójcicki 2007a
	nasiona buraków/beet seeds	kg	30	Wójcicki 2007a
Środki inwestycyjne Investment inputs	ciągniki i maszyny samojezdne/ tractors and self-propelled machinery	kg	125	Wójcicki 2007a
	narzędzia i urządzenia/machines and technological equipment	kg	110	Wójcicki 2007a
	części zamienne/spare parts	kg	80	Harasim 2002
	materiały do napraw/ materials for the repair	kg	30	Harasim 2002
	smary/greases	kg	22	Wójcicki 2007a
	stal/steel	kg	3,1	GREET 2015
	beton/concrete	m ³	1,2	GREET 2015
Praca żywa Labour	praca ludzi/human labour	rbh	80	Wójcicki 2007a

w_c – wskaźnik jednostkowej energochłonności ciągnika, maszyny samojezdnej, narzędzia lub urządzenia ($\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$),

m_{zk} – masa części zamiennych dla sprzętu „k” (kg),

w_z – wskaźnik jednostkowej energochłonności części zamiennych ($\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$),

m_{mk} – masa materiałów do napraw dla sprzętu „k” (kg),

w_m – wskaźnik jednostkowej energochłonności materiałów do napraw ($\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$),

T_k – czas wykorzystania w roku sprzętu „k” w gospodarstwie (h),

L_k – liczba lat użytkowania sprzętu „k” w gospodarstwie.

Znając D_k , kalkulowano nakłady energetyczne środków inwestycyjnych:

$$E_i = \sum_{k=1}^n \frac{(D_k \cdot t_k)}{p_k} E_i = \sum_{k=1}^n \frac{(D_k \cdot t_k)}{p_k} (\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}), \quad (5)$$

gdzie:

n – łączna liczba ciągników, maszyn samojezdnych, narzędzi i urządzeń, wykorzystywanych w produkcji roślin,

t_k – czas użytkowania sprzętu „k” w roku, w produkcji danego gatunku rośliny (h),

p_k – powierzchnia uprawy rośliny.

Nakłady energetyczne związane z pracą ludzi w produkcji roślin:

$$E_p = l \cdot w_l E_p = l \cdot w_l (\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}), \quad (6)$$

gdzie:

l – praca ludzi ($\text{rbh}\cdot\text{ha}^{-1}$),

w_l – wskaźnik jednostkowej energochłonności pracy ludzi ($\text{MJ}\cdot\text{rbh}^{-1}$).

Analizując procesy transportu, założono, że jednostkowy nakład energii skumulowanej na przewiezienie jednej tony towaru na odległość jednego kilometra wynosi 1,22 MJ [Ecoinvent 2018].

Dane o wartościach energetycznych dla plonów głównych i ubocznych roślin zaczerpnięto z Norm żywienia bydła, owiec i kóz [2001]. Przyjęto, że wartość energetyczna 1 kilograma suchej masy ziarna pszenicy ozimej wynosi 18,4 MJ, ziarna kukurydzy – 18,9 MJ, korzeni buraków cukrowych – 16,8 MJ, a nasion rzepaku ozimego – 28,1 MJ. Wskaźnik efektywności energetycznej (E_e) obliczono jako stosunek wartości energetycznej plonu rośliny z 1 ha, wyrażonej w MJ (P_e) do wielkości nakładów energetycznych na uprawę rośliny, w MJ na 1 ha (E_s) [Harasim 2002]:

$$E_e = \frac{P_e}{E_s}. \quad (7)$$

WYNIKI I DYSKUSJA

Wyniki przedstawione w tabeli 3 prezentują wielkość skumulowanych nakładów energetycznych oraz ich strukturę w zależności od strumienia wykorzystanej energii, w odniesieniu do 1 hektara powierzchni uprawy wybranych gatunków roślin w badanym gospodarstwie. Zużycie skumulowanej energii było największe w uprawie buraków cukrowych, a następnie w kukurydzy na ziarno, rzepaku ozimym i pszenicy ozimej. Według danych Harasima [2002] kukurydza w uprawie na ziarno i burak cukrowy wymagały 3–4-krotnie większych nakładów energetycznych niż pszenica ozima. Energochłonność produkcji buraków cukrowych w indywidualnym gospodarstwie rolnym w województwie lubelskim, była równa $31199 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ [Gorzelański 2010]. Gorzelański i in. [2011] wykazali, że całkowite nakłady na produkcję kukurydzy na ziarno wynosiły $21217 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Niższe od uzyskanych były także nakłady energetyczne na produkcję pszenicy ozimej w Beskidzie Żywieckim ($11750,4 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) [Budyn i Kiełbasa 2008]. Większa energochłonność uprawy roślin w badanym gospodarstwie wynika z prowadzenia in-

Tabela 3. Całkowite nakłady energii i ich struktura w odniesieniu do 1 hektara uprawy wybranych gatunków roślin w badanym gospodarstwie (średnie z lat 2010–2013)

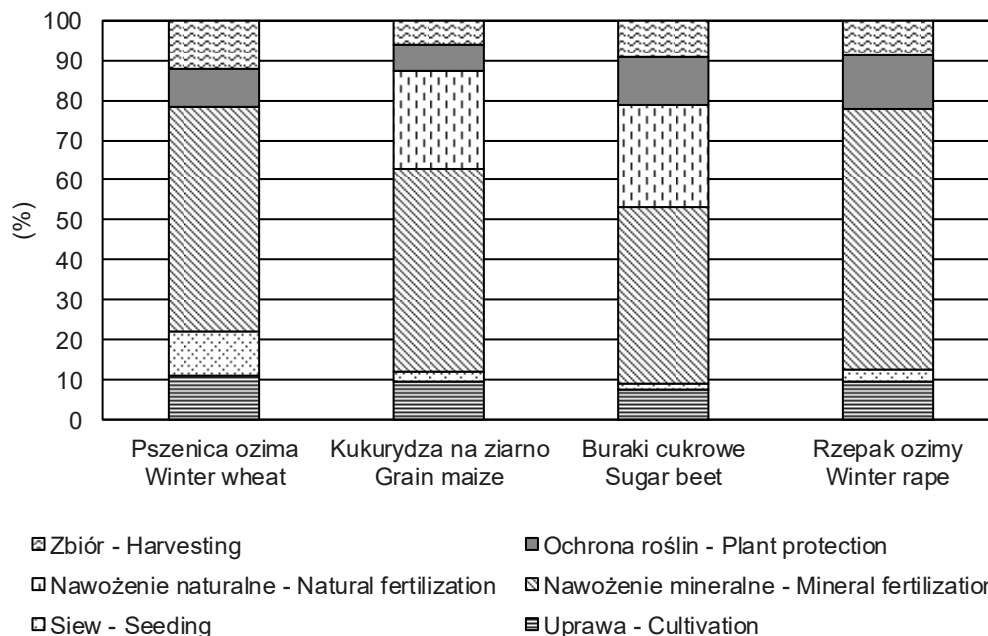
Table 3. Total energy input and its structure per 1 hectare of selected crops in studied farm (averages for the years 2010–2013)

Roślina uprawna Crop	Jednostka Unit	Bezpośrednie nośniki energii Direct energy carriers	Surowce i materiały Raw materials and other agricultural inputs	Środki inwestycyjne Investment inputs	Praca żywa Labour	Ogółem Total
Pszenvica ozima Winter wheat	MJ·ha ⁻¹	3589	12592	1980	484	18645
	%	19,3	67,5	10,6	2,6	100,0
Kukurydza na ziarno Grain maize	MJ·ha ⁻¹	3991	19977	3281	620	27869
	%	14,3	71,7	11,8	2,2	100,0
Buraki cukrowe Sugar beet	MJ·ha ⁻¹	6432	33372	5153	1212	46169
	%	13,9	72,3	11,2	2,6	100,0
Rzepak ozimy Winter rape	MJ·ha ⁻¹	3758	14094	2957	544	21353
	%	17,6	66,0	13,8	2,6	100,0

tensywnego systemu produkcji, typowego dla rolnictwa w regionie Wielkopolski. W badaniach na Opolszczyźnie na 1 ha uprawy pszenicy ozimej w konwencjonalnym, intensywnym systemie poniesiono nakłady 22931 MJ energii skumulowanej. Wykazano także, że były one dwukrotnie większe niż w uprawie pszenicy w systemie ekologicznym [Kuczuk 2013]. Dane literaturowe wskazują na różnice energochłonności produkcji roślin w zależności od technologii uprawy [Budzyński i in. 2004, Orzech i in. 2004]. Energochłonność skumulowana produkcji rzepaku ozimego w tradycyjnej uprawie wyniosła 21959 MJ·ha⁻¹, w uprawie uproszczonej – 21749 MJ·ha⁻¹, a w siewie bezpośrednim – 19435 MJ·ha⁻¹ [Dobek 2005].

Struktura skumulowanych nakładów energetycznych dla analizowanych gatunków roślin była podobna. Dominowały w niej surowce i materiały, w tym: nawozy, środki ochrony roślin i materiał siewny (łącznie stanowiły średnio 69,4%). Wkład bezpośrednich nośników energii wynosił średnio 16,3%, a środków inwestycyjnych – 11,8%. Mniejsze znaczenie miała praca ludzi (2,5%). Klikocka i in. [2012] stwierdzili, że na wielkość nakładów energetycznych na uprawę jęczmienia jarego największy wpływ miały również surowce i materiały, w tym zwłaszcza nawozy mineralne. Wyniki badań energochłonności uprawy pszenicy ozimej w towarowym gospodarstwie rolnym w województwie warmińsko-mazurskim wykazały, że największe nakłady energetyczne były związane z nawozami (68%) i zużyciem oleju napędowego (25%) [Gołaszewski i in. 2013].

Spośród analizowanych procesów technologicznych w uprawie roślin najbardziej energochłonne było nawożenie mineralne (stanowiło od 44,2% w burakach cukrowych do 65,2% w rzepaku ozimym) (rys. 1). W energochłonności produkcji kukurydzy na ziarno i buraków cukrowych stosunkowo duży udział miało także nawożenie naturalne (odpowiednio 24,7 i 25,5%). Z kolei najmniejsze znaczenie w uprawie pszenicy miała ochrona roślin (9,6%), a dla pozostałych gatunków roślin – siew (od 1,4% w burakach cukrowych do 3,2% w rzepaku



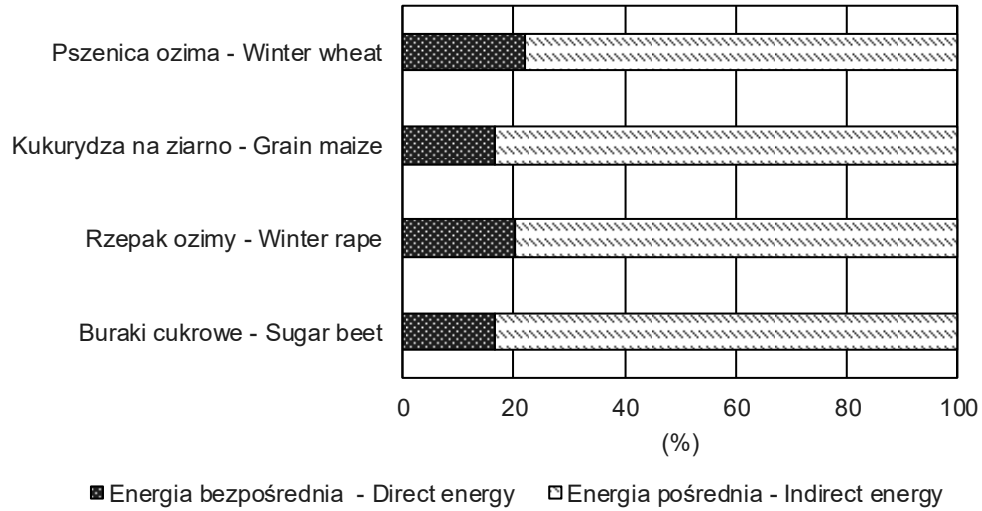
Rys. 1. Udział poszczególnych procesów technologicznych w całkowitych nakładach energii w uprawie analizowanych gatunków roślin w badanym gospodarstwie (średnie z lat 2010–2013)

Fig. 1. Share of particular technological processes in total energy input for cultivation of analyzed crops in studied farm (averages for the years 2010–2013)

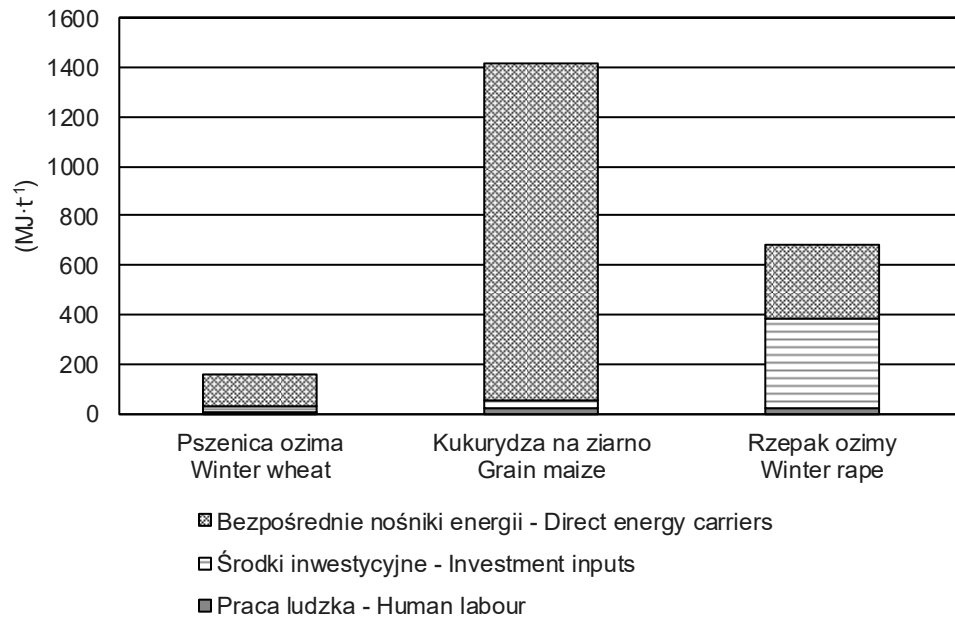
ozimym). Gołaszewski i in. [2013] zwracają uwagę na dużą energochłonność procesu nawożenia azotem. Analiza wykazała, że przy nawożeniu kukurydzy w badanym gospodarstwie na poziomie $140,9 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ na wyprodukowanie azotu nawozowego poniesiono nakład energii równy $7781,9 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Oszacowana ilość ziarna kukurydzy, która zrekompensowałaby wkład energetyczny związany z produkcją 1 kg N wynosi $3,40 \text{ kg}$ [Normy... 2001].

Struktura zużycia energii w podziale na energię bezpośrednią i pośrednią była podobna dla analizowanych gatunków roślin (rys. 2). Większość stanowiła energia pośrednia, pochodząca z materiału siewnego, agrochemikaliów, maszyn, materiałów do konserwacji i napraw (średnio $81,2\%$). Natomiast mniejszy był udział energii bezpośredniej z paliwa i pracy ludzi.

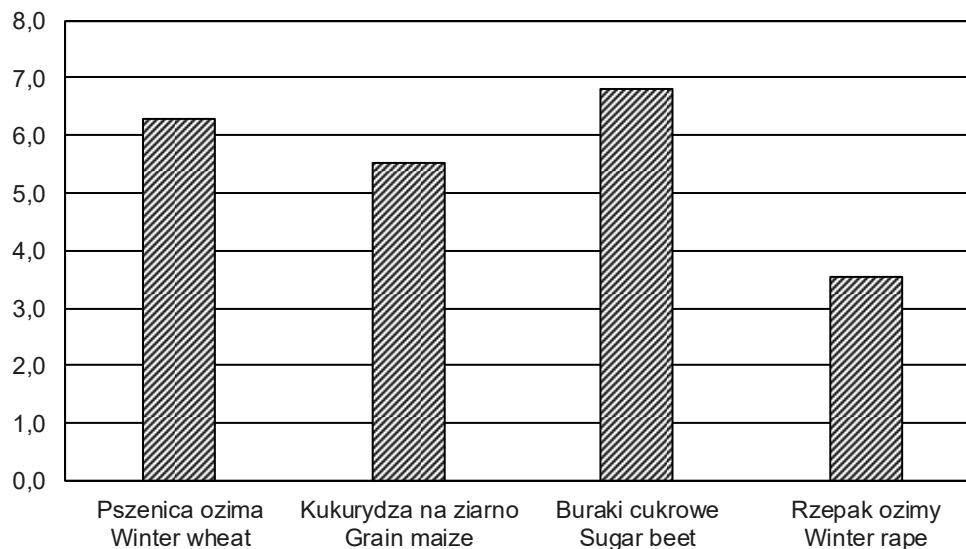
Wielkość skumulowanych nakładów energetycznych na suszenie oraz przechowywanie ziarna pszenicy ozimej, kukurydzy i nasion rzepaku obrazuje rysunek 3. Największą energochłonność tych procesów stwierdzono w produkcji kukurydzy na ziarno ($1415 \text{ MJ}\cdot\text{t}^{-1}$). Dwukrotnie mniejsze nakłady poniesiono na suszenie i magazynowanie nasion rzepaku ozimego. Najmniejszą ilość energii w tych procesach zużyto dla ziarna pszenicy ozimej ($156 \text{ MJ}\cdot\text{t}^{-1}$). Należy jednak zaznaczyć, że w badanym gospodarstwie co roku do suszenia przeznaczają się całość zebranego ziarna kukurydzy i nasion rzepaku z powodu wysokiej wilgotności. Natomiast w przypadku pszenicy ozimej suszeniu poddaje się tylko 30% zbioru. Znajduje to odzwierciedlenie w mniejszym zużyciu energii elektrycznej, gazu LPG, spalaniu oleju napędowego i zaangażowaniu maszyn w procesach produkcji po zbiorze ziarna pszenicy z pola. W łącznych nakładach ener-



Rys. 2. Udział energii bezpośredniej i pośredniej w całkowitych nakładach energii skumulowanej w uprawie wybranych gatunków roślin w badanym gospodarstwie (średnie z lat 2010–2013)
 Fig. 2. Share of direct and indirect energy in total energy input for cultivation of selected crops in studied farm (averages for the years 2010–2013)



Rys. 3. Energochłonność skumulowana procesów suszenia oraz przechowywania ziarna zbóż i nasion rzepaku w badanym gospodarstwie (średnie z lat 2010–2013)
 Fig. 3. Cumulated energy consumption in processes of drying and storage of cereal grain and rape seed in studied farm (averages for the years 2010–2013)



Rys. 4. Efektywność energetyczna w produkcji roślin po uwzględnieniu nakładów energii na procesy suszenia i magazynowania ziarna zbóż i nasion rzepaku w badanym gospodarstwie (średnie z lat 2010–2013)

Fig. 4. Energy efficiency in crop production after taking into account the processes of drying and storage of cereal grain and rape seed in studied farm (averages for the years 2010–2013)

tycznych na suszenie i magazynowanie ziarna kukurydzy i pszenicy ozimej największy udział miało wykorzystanie bezpośrednich nośników energii (wynosiło odpowiednio 96,0 i 86,2%). Dla rzepaku ozimego wielkość nakładów z bezpośrednich nośników energii w porównaniu do środków inwestycyjnych była mniejsza o 9,3%. Mniejsze zużycie bezpośrednich nośników energii w procesie suszenia nasion rzepaku wynika z faktu, że charakteryzują się one większą zawartością suchej masy (89,9%), a przez to mniejszą ilością wody do odparowania.

Jak przedstawiono na rysunku 4, największą wartością efektywności energetycznej odznaczała się produkcja buraków cukrowych (wynosiła 6,8), przy czym trzeba podkreślić, że w stosunku do pozostałych analizowanych roślin charakteryzują się one wysoką wartością energetyczną plonu z 1 ha. Po uwzględnieniu procesów suszenia i magazynowania ziarna w nakładach energetycznych, wskaźnik ten dla pszenicy ozimej i kukurydzy wynosił odpowiednio 6,3 i 5,5. Zatem wykazana efektywność energetyczna była wyższa niż podawana w literaturze na poziomie 4 jednostek energetycznych w plonie na 1 jednostkę nakładów energii w przeciętnych warunkach gospodarowania [Wielicki 1989]. W pracy Fotymy i Kusia [2000] gospodarstwa o roślinnym kierunku produkcji miały wskaźnik efektywności energetycznej w zakresie 4,2–4,7. Niską efektywnością energetyczną w badanym gospodarstwie charakteryzowała się jedynie produkcja rzepaku ozimego (wskaźnik 3,5). Decydowało o tym głównie niskie plonowanie tej rośliny z powodu występowania niekorzystnych warunków pogodowych w okresie wegetacji w pierwszym i trzecim roku badań.

WNIOSKI

1. Najbardziej energochłonna była produkcja buraków cukrowych, a najmniej skumulowanych nakładów energii poniesiono na uprawę pszenicy ozimej.
2. Surowce i materiały do produkcji zajmowały najwyższą pozycję w strukturze nakładów energetycznych na uprawę roślin. Natomiast w całkowitej puli zużytej energii większość stanowiła energia pośrednia.
3. Spośród zabiegów agrotechnicznych największą energochłonnością charakteryzowało się nawożenie mineralne. Procesy suszenia i magazynowania miały szczególne znaczenie w rachunku energetycznym produkcji kukurydzy na ziarno.
4. Efektywność wykorzystania energii na produkcję roślin była największa dla buraków cukrowych, a najmniejsza dla rzepaku ozimego.

PIŚMIENNICTWO

- Anuszewski R., Pawlak J., Wójciki Z. 1979. Energochłonność produkcji rolniczej. Metodyka badań energochłonności produkcji surowców żywnościowych. IBMER, Warszawa, ss. 58.
- Bilgen S. 2014. Structure and environmental impact of global energy consumption. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 38: 890–902.
- BioGrace 2015. Harmonised calculations of biofuel greenhouse gas emissions in Europe (<https://www.biograce.net>).
- Budyn E., Kielbasa P. 2008. Energochłonność skumulowana w produkcji wybranych roślin uprawnych w Beskidzie Żywieckim. *Inż. Rol.* 11(109): 25–31.
- Budzyński W. S., Jankowski K. J., Szczebiot M. 2004. Wydajność energetyczna różnych technologii uprawy rzepaku ozimego. *Rośl. Oleiste/Oilseed Crops* 25(2): 327–344
- Dobek T. 2005. Ekonomiczne i energetyczne porównanie różnych technologii produkcji rzepaku uprawianego na biodiesel. *Acta Agrophys.* 6(3): 595–603.
- Duer I., Fotyma M., Madej A. 2004. Kodeks dobrej praktyki rolniczej. MRiRW, MŚ, Warszawa, ss. 98.
- Ecoinvent 2018. Ecoinvent Database v. 3.5. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dubendorf, Switzerland (<https://www.ecoinvent.org>).
- Fotyma M., Kuś J. 2000. Zrównoważony rozwój gospodarstwa rolnego. *Pam. Puł.* 120(1): 101–106.
- Gołaszewski J., Stolarski M., Brodziński Z., Myhan R., Olba-Zięty E. 2013. Miary oszczędności energii w produkcji pszenicy w Polsce (warunki województwa warmińsko-mazurskiego). W: *Efektywność energetyczna w rolnictwie europejskim – studium przypadków*. Gołaszewski J. (red.). UWM, Olsztyn: 220–226.
- Gorzelański J. 2010. Koszty i energochłonność procesów produkcji buraków cukrowych. *Inż. Rol.* 1(119): 191–197.
- Gorzelański J., Puchalski Cz., Malach M. 2011. Ocena kosztów i nakładów energetycznych w produkcji kukurydzy na ziarno i kiszonkę. *Inż. Rol.* 8(133): 135–141.
- Górecki H. 2003. Środowiskowe skutki produkcji i stosowania nawozów. *Przem. Chem.* 82(8–9): 833–836.
- GREET 2015. GREET Life Cycle Model. Argonne National Laboratory (<https://greet.es.anl.gov>).
- GUS 2012. Wyniki produkcji roślinnej w 2011 r. GUS, Warszawa, ss. 108.
- GUS 2013. Wyniki produkcji roślinnej w 2012 r. GUS, Warszawa, ss. 113.
- GUS 2014. Wyniki produkcji roślinnej w 2013 r. GUS, Warszawa, ss. 98.
- Harasim A. 2002. Kompleksowa ocena płodozmianów z różnym udziałem roślin zbożowych i okopowych. *Mon. i Rozpr. Nauk. I. IUNG – PIB, Puławy*, ss. 89.
- Klikocka H., Głowacka A., Juszcak D., Cybulska M., Michałkiewicz G., Pawliszak R. 2012. Energochłonność produkcji jęczmienia jarego w warunkach zróżnicowanej uprawy roli i nawożenia mineralnego. *Fragm. Agron.* 29(3): 71–80.
- Kuczuk A. 2013. Porównanie energochłonności skumulowanej produkcji pszenicy ozimej w uprawie ekologicznej i konwencjonalnej. *J. Res. Appl. Agric. Eng.* 58(4): 29–33.

- Lillywhite R., Chandler D., Grant W., Lewis K., Firth C., Schmutz U., Halpin D. 2007. Environmental footprint and sustainability of horticulture (including potatoes) – a comparison with other agricultural sectors. Final report of project WQ0101, Defra, London (<http://randd.defra.gov.uk>).
- Meyer-Aurich A., Balafoutis A., Dalgaard T., de Visser C., Gołaszewski J., Mikkola H., Silva L. 2013. Energy efficiency in agriculture – opportunities, constraints and research needs. Proceedings of ISAE. 4–6.10.2013, Belgrade–Zemun, Serbia: 19–25.
- Normy żywienia bydła, owiec i kóz. Wartość pokarmowa pasz dla przeżuwaczy. Opracowanie według INRA, 1988. Praca zbiorowa. 2001. IZ, Kraków, ss. 218.
- Monforti-Ferrario F., Dallemand J.-F., Pinedo Pascua I., Motola V., Banja M., Scarlat N., Medarac H., Castellazzi L., Labanca N., Bertoldi P., Pennington D., Góralczyk M., Schau E. M., Saouter E., Sala S., Notamicola B., Tassielli G., Renzulli P. 2015. Energy use in the EU food sector: State of play and opportunities for improvement. Monforti-Ferrario F., Pinedo Pascua I. (eds.). EU OP, Luxembourg, pp.174.
- OECD 2017. Improving energy efficiency in the agro-food chain. OECD Green Growth Studies. OECD, Paris, pp. 105.
- Orzech K., Marks M., Nowicki J. 2004. Energetyczna ocena trzech sposobów uprawy roli na glebie średniej. Ann. UMCS, Sec. E 59(3): 1275–1281.
- Pawlak J. 2013. Nakłady energii w rolnictwie i ich struktura. Probl. Inż. Rol. 2(80): 21–31.
- Wielicki W. 1989. Analiza efektywności energetycznej w rolnictwie. Post. Nauk Rol. 1: 69–86.
- Wójcicki Z. 2007a. Poszanowanie energii i środowiska w rolnictwie i na obszarach wiejskich. IBMER, Warszawa, ss. 124.
- Wójcicki Z. 2007b. Technologiczna i ekologiczna modernizacja rolnictwa i obszarów wiejskich. Infrast. Ekol. Ter. Wiej. 1: 5–18.

M. HOLKA, J. BIEŃKOWSKI, J. JANKOWIAK

CUMULATED ENERGY CONSUMPTION IN INTENSIVE CROP PRODUCTION

Summary

The paper presents the assessment of cumulated energy consumption in an intensive, conventional production system of winter wheat, grain maize, sugar beet and winter rape. The study was conducted in the years 2010–2013, in the large commercial farm, located in the Wielkopolska voivodship. The cultivation of sugar beet was the most energy-intensive. The next were grain maize, winter rape and winter wheat. In total energy input, the highest share had the stream of raw materials and materials, followed by the streams of direct energy carriers and investment inputs. The smallest share had human labour. Among the technological processes in crop cultivation, the largest energy input was related to mineral fertilization. In addition, the application of natural fertilizers had a significant share in the total cumulated energy consumption in production of sugar beet and grain maize. In the division of energy consumption into direct and indirect, indirect energy was the dominant. The highest value of energy efficiency index was found in production of sugar beet, and the lowest value was in winter rape.

Key words: intensive crop production, energy input, direct energy, indirect energy, energy efficiency index

Zaakceptowano do druku – *Accepted for print*: 4.02.2019

Do cytowania – *For citation*

Holka M., Bieńkowski J., Jankowiak J. 2019. Energochłonność skumulowana w intensywnej produkcji roślinnej. *Fragm. Agron.* 36(1): 16–26.