

Wojciech S. Budzyński, Krzysztof J. Jankowski, Michał Szczepirot
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Katedra Produkcji Roślinnej

Wydajność energetyczna różnych technologii uprawy rzepaku ozimego

Energy efficiency of different cultivation technologies of winter oilseed rape

Słowa kluczowe: rzepak ozimy, technologia uprawy, plon, jakość nasion, wskaźnik efektywności energetycznej

W pracy przedstawiono wyniki 3-letnich badań nad energochłonnością 5 technologii uprawy rzepaku ozimego, zróżnicowanych głównie sposobem uprawy roli.

Technologia standardowa była najbardziej produktywna ($34,4 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ nasion). Spłyconie orki lub zastąpienie jej kultywatorowaniem obniżyło plon nasion o $6,4 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$. Najniższy plon nasion zapewnił siew bezpośredni po stalerzowaniu ścierniska lub chemicznym jego zniszczeniu (spadek plonu o 34–43%).

Największy wolumen energii użytecznej do produkcji estrów (zawartej w oleju) uzyskano w technologii standardowej. Spłyconie uprawy płuznej lub zastąpienie jej kultywatorowaniem powodowało obniżenie wartości energetycznej plonu tłuszczu o $9,1\text{--}9,4 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Wartość energetyczna plonu tłuszczu uzyskanego w warunkach siewu bezpośredniego była aż o 40% niższa w stosunku do technologii standardowej.

Najkorzystniejszym wskaźnikiem efektywności energetycznej produkcji nasion (3,64) charakteryzowała się technologia standardowa. Wskaźnik ten w technologiach ze spłyconą uprawą płuzną lub bezorkową wynosił 2,34–3,07. Po uwzględnieniu wartości energetycznej słomy wskaźnik efektywności uprawy rzepaku wynosił od 6,93 (technologia standardowa) do 5,25–6,39 (technologie uproszczone).

Key words: winter oilseed rape, cultivation technology, yield, seeds quality, index of energy efficiency

This paper present the results of a 3-year investigation into the energy consumption of five winter rape cultivation technologies which differ mainly in the soil tillage.

The standard technology was the most productive ($34.4 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ seeds). Shallow plough cultivation or replacement with cultivating operations resulted in a decrease of seed yield to $6.4 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$. The lowest seed yield was obtained from direct sowing applied after stubble discing or its chemical treatment (yield decrease by 34–43%). The analyzed cultivation technologies did not significantly differ in respect to the nutritional components in the rape seeds.

The energy value of 1 kg of rape seed oil increased with simplification of the cultivation technology. In contrast, the energy value of the fat-free dry matter was higher in the standard technology. Cultivation technologies did not affect energy value of 1 kg of straw.

The greatest volume of energy (in oil) suitable for the fuel industry was obtained from the standard technology. The application of shallow plough cultivation or replacement with cultivating operations resulted in the decrease of the energetic value of oil yield by $9.1\text{--}9.40 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. The energy value of oil yield obtained with the technology of direct sowing was as much as 40% lower than in the standard technology.

The total energy input per cultivation of 1 ha of rape amounts to 21–23 GJ. The energy consumption into a given technology was determined mainly by material input, whereas the energy consumption of the soil cultivation was determined by the energy of the fuel.

The most advantageous energy efficiency factor of seed production (3.64) was obtained in the standard technology. This indicator ranged between 2.34–3.07 in the technologies of shallow plough cultivation or no-tillage cultivation. After adding the energy value of straw the rape cultivation efficiency indicator ranged from 6.93 (standard technology) to 5.25–6.39 (simplified technologies).

Wstęp

Postęp technologiczny w rolnictwie spowodował kilkakrotny wzrost zużycia energii na 1 ha użytków rolnych i zmiany w strukturze nakładów energetycznych. Wzrost nakładów energii nie powoduje — według prawa malejącej efektywności nakładów — proporcjonalnego przyrostu efektów (Roszkowska 2001). Dlatego też coraz częściej podkreśla się konieczność stosowania energooszczędnych technologii produkcji, których wprowadzenie należy poprzedzić oceną zużycia energii skumulowanej w pracy ludzkiej, nośnikach energii, maszynach i urządzeniach oraz materiałach (Maciejko 1984). Wielicki (1989) oraz Krasowicz i Podolska (1996) stwierdzili, że w analizie energetycznej kluczowym wskaźnikiem jest efektywność energetyczna, gdyż pozwala na porównanie wyników uzyskanych w różnym miejscu i czasie, niezależnych od zmienności cen oraz warunków meteorologicznych.

Spośród wszystkich gałęzi produkcji rolniczej produkcja roślinna wyróżnia się najkorzystniejszym wskaźnikiem efektywności energetycznej (Weizsacker i in. 1999). Wartość tego wskaźnika uzależniona jest od wielkości nakładów energetycznych poniesionych na technologię uprawy oraz wartości energetycznej plonu. Wskaźnik efektywności energetycznej produkcji nasion rzepaku ozimego wynosi 3,2–6,1 (Budzyński i Kosecki 1997, Jankowski i in. 1998a, b; Jankowski i Budzyński 2000; Orlik i Klima 2000; Jankowski 2002).

Uproszczone technologie produkcji rzepaku mogą mieć uzasadnienie siedliskowo-ekologiczne (erozja, przemieszczanie i wymywanie składników pokarmowych, zmiana stosunków aeracyjno-wodnych, etc.), bądź energetyczne (zmniejszenie nakładów energii produkcji surowców rolniczych) (Jankowski 2001, Budzyński i Jankowski 2002). Bilans energetyczny uprawy rzepaku ma duże znaczenie w jego uprawie na cele energetyczne (nasiona — biopaliwo, słoma — energia cieplna) (Budzyński i Jankowski 2003).

Systemy uprawy uproszczonej są stosowane w wielu krajach, szczególnie w niektórych stanach USA, a z krajów europejskich — w Wielkiej Brytanii, Niemczech, Szwajcarii czy sąsiednich Czechach (Maillard i Vez 1993, Darby i Yeoman 1994, Pudelko i in. 1994, Saueremann i Holz 2000, Vašák 2000). Systemy te nie mają w Polsce wielkiej tradycji, głównie z braku uzasadnienia klimatycznego, siedliskowego i organizacyjnego (Gawrońska-Kulesza 1997).

Celem pracy było określenie efektywności energetycznej różnych technologii uprawy rzepaku ozimego zróżnicowanych sposobem uprawy roli, regulacji zachwaszczenia i zastosowania nawozów doglebowych.

Metodyka badań

Ocenę efektywności energetycznej przeprowadzono na polach produkcyjnych Zakładu Produkcyjno-Doświadczalnego w Bałczynach, w latach 1999–2002. W doświadczeniu skwantyfikowano pod względem energetycznym 5 technologii uprawy rzepaku ozimego (tab. 1). Technologie te różniły się głównie sposobem uprawy roli, która to modyfikowała pozostałe elementy agrotechniki.

Powierzchnia poletka do zbioru wynosiła 0,8–1,0 ha. Pola rozlosowano według metody losowanych bloków, w dwóch powtórzeniach. Corocznie doświadczenia lokalizowano na glebie płowej typowej, pylastej, wytworzonej z gliny lekkiej. Glebę zaliczono do 2 kompleksu przydatności rolniczej. Zasobność gleby w przyswajalny fosfor była wysoka (1999, 2001) i średnia (2000), w potas średnia, w magnez — bardzo wysoka (1999) i wysoka (2000, 2001). Odczyn gleby był lekko kwaśny (5,8–6,1 pH w 1 M KCl). Przedplonem rzepaku był jęczmień jary (1999), pszenica ozima (2000) bądź pszenżyto ozime (2001) (tab. 2). Rozwinięta, klasyczna uprawa roli (X_1) obejmowała: talerzowanie ścierniska, średnią orkę siewną (20–22 cm), przedsięwną uprawę agregatem. W uprawie płuznej spłyconej (X_2) orkę wykonano na głębokość 10–12 cm, zaś pozostałe elementy uprawy roli były analogiczne jak w technologii X_1 .

Uprawa uproszczona bezpłużna polegała na stalerzowaniu ścierniska na głębokość 3–4 cm i zabronowaniu oraz wysiewie nasion siewnikiem przystosowanym do siewu bezpośredniego (X_3) lub zastosowaniu, zamiast talerzówki, grubera (głębokość pracy części roboczych — 8 cm) (X_4). Uproszczenia w uprawie roli były jednokrotne w rotacji (poprzedzała je orka średniogłęboka). W technologii X_5 uprawę roli ograniczono do zastosowania (na 7–8 dni przed siewem nasion) 990 g·ha⁻¹ glifosatu i wysiewu nasion do gleby za pomocą siewnika do siewu bezpośredniego. Przedsięwnie, we wszystkich obiektach, stosowano 40 kg N w formie mocznika, 90 kg P₂O₅ w superfosfacie potrójnym oraz 90 kg K₂O w soli potasowej. W obiektach X_1 i X_2 nawożenie przedsięwne stosowano przed użyciem agregatu uprawowego, w obiekcie X_3 — na ściernisko przed talerzowaniem, w X_4 — na ściernisko przed kultywatorowaniem, a w X_5 — na ściernisko bez przykrycia. Po ruszeniu wegetacji zaaplikowano 100 kg N·ha⁻¹ w formie saletry amonowej oraz 60 kg N·ha⁻¹ na początku pąkowania w formie mocznika. We wszystkich obiektach (X_1 → X_5) rzepak nawożono dolistnie 5% wodnym roztworem siarczanu magnezu. Zaprawione nasiona rzepaku odmiany Lisek wysiewano w rozstawie rzędów 20 cm, w ilości 90 (obiekty X_1 i X_2), 110 (obiekt X_3) i 130 (obiekty X_4 i X_5)

Tabela 1

Technologie uprawy rzepaku ozimego — *Cultivation technology of winter oilseed rape*

Wyszczególnienie <i>Item</i>	Technologia uprawy — <i>Cultivation technology</i>				
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
Uprawa roli <i>Soil tillage</i>	klasyczna uprawa plużna <i>classical plough cultivation</i>	splycona uprawa plużna <i>shallow plough cultivation</i>	plytka uprawa bezorkowa <i>shallow no-tillage cultivation</i>	średnioplytka uprawa bezorkowa <i>middle-depth no-tillage cultivation</i>	uprawa zerowa <i>no-tillage cultivation</i>
Siew (liczba nasion na 1 m ²) <i>Sowing (No seeds per 1 m²)</i>	konwencjonalny (90) <i>conventional sowing (90)</i>	bezpośredni (90) <i>direct sowing (90)</i>	bezpośredni (110) <i>direct sowing (110)</i>	bezpośredni (110) <i>direct sowing (110)</i>	bezpośredni (130) <i>direct sowing (130)</i>
Regulacja zachwaszczenia <i>Weed control</i>	jesień — <i>autumn</i> : metazachlor (999 g·ha ⁻¹) + chinomerak (249 g·ha ⁻¹) wiosna — <i>spring</i> : chizalofop-P-etylowy (5 ml·ha ⁻¹)				wiosna — <i>spring</i> : chloryralid (120 g·ha ⁻¹); chizalofop-P-etylowy (5 ml·ha ⁻¹)
	jesień — <i>autumn</i> : metazachlor (999 g·ha ⁻¹) + chinomerak (249 g·ha ⁻¹) haloksyfop-R (52 g·ha ⁻¹)				jesień — <i>autumn</i> : haloksyfop-R (52 g·ha ⁻¹)
	jesień — <i>autumn</i> : metazachlor (999 g·ha ⁻¹) + chinomerak (249 g·ha ⁻¹) haloksyfop-R (52 g·ha ⁻¹)				
Nawożenie mineralne <i>Mineral fertilisation</i>	kg·ha ⁻¹	jesień — <i>autumn</i> : 40 N; 90 P ₂ O ₅ ; 90 K ₂ O; wiosna: 160 N (100 + 60)			
	sposób aplikacji <i>method of application</i>	doglebowo — <i>soil application</i>			na ściernisko <i>on stubble</i>
Nawożenie dolistne <i>Foliar fertilisation</i>		5% wodny roztwór siarczanu magnezu (15 kg MgSO ₄ ·7H ₂ O·ha ⁻¹) 5% solution sulphur magnesium (15 kg MgSO ₄ ·7H ₂ O·ha ⁻¹)			
Zbiór — <i>Harvesting</i>		jednoetapowy — <i>one stage harvesting</i>			

Tabela 2

Charakterystyka warunków glebowych — *Description of soil conditions*

Wyszczególnienie — <i>Specification</i>	Sezon wegetacyjny — <i>Vegetation period</i>		
	1998/1999	1999/2000	2000/2001
Typ gleby — <i>Soil type</i>	gleba płowa typowa — <i>soil lessives typical</i>		
Gatunek gleby — <i>Soil species</i>	głina lekka — <i>light clay</i>		
Odczyn gleby (1 M KCl) — <i>Soil pH (1 M KCl)</i>	5,8	6,0	6,1
Klasa bonitacyjna — <i>Soil valuation class</i>	R-IIIa		
Kompleks przydatności rolniczej <i>Soil suitability complex</i>	pszenny dobry — <i>good wheat</i>		
Zwartość przyswajalnych składników (mg·kg ⁻¹ gleby) <i>Content of nutrients (mg·kg⁻¹ soil)</i>			
P ₂ O ₅	155	149	252
K ₂ O	170	162	150
Mg	100	87	73

kiełkujących nasion na 1 m². Jesienią chwasty dwuliścienne zwalczano stosując metazachlor + chinomerak (Butisan Star 416 SC) po siewie (obiekt X₁, X₂) lub w fazie 2–4 liści (stadium 22–24) (obiekty X₃ i X₄). Chlopyralid (Lontrel 300 SL) aplikowano po ruszeniu wegetacji (stadium 41). W doświadczeniu chwasty jedno-liścienne zwalczano używając chizalofop-P-etylowy (Targa Super 05 EC) po wytworzeniu przez rzepak 4 liści (stadium 24) (obiekty X₃, X₄) lub po ruszeniu wegetacji (stadium 41) (obiekty X₁, X₂ i X₃). Haloksyfop-R (Perenal 104 EC) stosowano jesienią w fazie 2 liści (stadium 22).

Ochrona przed szkodnikami i chorobami była taka sama na wszystkich obiektach (X₁→X₅), różnicowanie dotyczyło tylko lat badań (co uwzględniono przy obliczeniach nakładów energetycznych). W pierwszym roku badań szkodniki zwalczano stosując zeta cypermetrynę (Fury 100 EC) i cypermetrynę (Cyperkill Super 25 EC). W 2 i 3 cyklu badań stosowano cypermetrynę (Cyperkill Super 25 EC). Choroby zwalczano jedynie w II i III roku badań. W pierwszym cyklu badań stosowano w fazie wzrostu elongacyjnego łądzy (stadium 47) metkonazol (Caramba 60 SL). W trzecim roku badań zwalczano grzyby chorobotwórcze stosując winchlozolinę i karbendazym (Konker 415 SC) w ostatnich dniach pąkowania. Rzepak corocznie zbierano jednoetapowo.

Wyniki plonowania oraz pomiarów biometrycznych roślin plonujących opracowano metodą analizy wariancji w sposób zgodny z metodą założenia doświadczenia. W ocenie istotności efektów głównych i interakcyjnych zastosowano test *F*. Średnie wartości z kombinacji dla badanych cech porównano testem Duncana.

Analizę energochłonności uprawy rzepaku ozimego oparto na podstawie zużycia środków produkcji, nośników energii i siły roboczej w doświadczeniu łanowym. Nakłady rozdzielono wg strumieni: (1) siła robocza, (2) nośniki energii, (3) maszyny i narzędzia oraz (4) materiały, a także wg operacji produkcyjnych (uprawa roli, nawożenie, siew, regulacja zachwaszczenia, ochrona przed szkodnikami i chorobami grzybowymi, zbiór). Zużycie paliwa mierzono metodą pełnego zbiornika przed operacją uprawową i bezpośrednio po jej zakończeniu.

W operacjach produkcyjnych wykorzystano następujący sprzęt rolniczy: U1224 + U103/1 (orka), U4512 + U212/2 (bronowanie), U1224 + U739 (kultywatorowanie), U1224 + U774/2 (uprawa agregatem uprawowym), U1224 + U248 (talerzowanie), U1224 + S052/C bądź U1224 + John Deere 704 (siew), U1224 + N039 (wysiew nawozów), U4512 + P612 (ochrona chemiczna roślin i nawożenie dolistne), Deutz Fahr 4085 HTS (zbiór nasion), U4512 + Z224/1 (zbiór słomy).

W ocenie energetycznej pracę ludzką wyceniono ekwiwalentem 40 MJ/roboczo-godzinę (Anuszewski 1987, Pawlak 1989). Nakłady energetyczne z tytułu zastosowania w procesie produkcyjnym ciągników i maszyn wyliczono mnożąc jednostkową materiałochłonność zestawu przez energetyczny ekwiwalent wynoszący 112 MJ·kg⁻¹ masy (Pawlak 1989). Wartość energetyczną składników nawozowych przyjęto na poziomie 77 MJ·kg⁻¹ N, 14 MJ·kg⁻¹ P₂O₅, 10 MJ·kg⁻¹ K₂O, środki ochrony roślin oraz paliwo wyceniono ekwiwalentem odpowiednio: 300 MJ·kg⁻¹ substancji aktywnej oraz 48 MJ·kg⁻¹ (Juszkiewicz i in. 1994). Wartość energetyczną brutto nasion, słomy, oleju oraz suchej masy beztłuszczowej określono poprzez adiabatyczne spalanie w bombie kalorymetrycznej (IŻZiGP UWM w Olsztynie).

W energetycznej ocenie technologii uprawy posłużono się kategoriami zdefiniowanymi w pracach Zaremby (1986) i Wielickiego (1989):

- zysk energii skumulowanej (MJ·ha⁻¹) będący różnicą między wartością energetyczną plonu a sumą nakładów na jego uzyskanie,
- wskaźnik efektywności (sprawności) energetycznej będący stosunkiem wartości energetycznej plonu do sumy wszystkich nakładów energetycznych.

Przy ocenie energetycznej uwzględniono wartość energetyczną plonu nasion rzepaku oraz łącznie plonu nasion i plonu słomy.

Wyniki badań i dyskusja

Plon i jego jakość

Wczesne badania Pouzet i Rollier (1983) oraz Droese i współautorów (1986) wskazywały na silny związek pomiędzy przygotowaniem roli pod zasiew (jej spulchnieniem) a plonowaniem rzepaku ozimego. Jednak jak wykazują późniejsze badania Jankowskiego i Budzyńskiego (2003a) reakcja rzepaku może być inna, a wysokie plony może zapewnić nawet orka płytka (10 cm). Brak wyraźnej reakcji na spłylenie orki wskazuje na dużą siłę przenikania korzenia palowego rzepaku ozimego przez glebę (Muśnicki 1989; Muśnicki i in. 1993, 1995; Budzyński i in. 2000). Badania Biskupskiego i Sienkiewicza (1994) wykazały, że w uprawie poźniwej zastąpienie podorywki talerzowaniem czy też kultywatorowaniem nie powoduje obniżki plonu nasion rzepaku ozimego. W badaniach Maillard i Vez (1993) rzepak uprawiany bezpluźnie (kultywatorowanie) plonował o 12% wyżej niż po orce. Odmienne wyniki zanotowali Sauermann i Holz (2000). Autorzy uprawiając rzepak po kultywatorowaniu zanotowali obniżkę plonu nasion o 5–7%. Oprócz kultywatorowania w systemach uproszczonej uprawy roli pod rzepak ozimy często interwencyjnie wykorzystywana jest talerzówka. Sieling i Christien (1999) oraz Budzyński i współautorzy (2000) siejąc rzepak po talerzowaniu zanotowali spadek plonu zaledwie o 4%, w porównaniu do uprawy pluźnej. Najbardziej skrajnym sposobem uproszczenia uprawy roli jest siew bezpośredni. Analiza literatury fachowej wskazuje na bardzo zróżnicowaną wydajność rzepaku ozimego uprawianego w siewie bezpośrednim. W badaniach Muśnickiego (1989) siew bezpośredni powodował 14–23% spadek plonu nasion rzepaku ozimego (4,5–6,0 dt·ha⁻¹). Według Darby i Yeoman (1994) rzepak siany bezpośrednio w ściernisko, przy klasycznej wcześniejszej uprawie w rotacji, plonował zaledwie o 1%, a według Budzyńskiego i współautorów (2000) o 7–8% niżej w porównaniu do uprawy klasycznej. W badaniach Radeckiego i Opica (1995) rzepak ozimy uprawiany w systemie pluźnym plonował na statystycznie jednakowym poziomie jak w systemie pluźnym, jedynie wtedy gdy w rotacji poprzedzały go orki głębokie (40, 35, 30 i 25 cm). Należy podkreślić, iż duża obniżka plonu (15%) wystąpiła na stanowiskach, gdzie przed siewem bezpośrednim kilkakrotnie w rotacji wystąpiły orki płytke (15 cm). Warto podkreślić fakt, iż siew bezpośredni po przedplonie sianym również bezpośrednio powodował spadek plonu nasion rzepaku aż o 30% (Radecki i Opic 1995).

W badaniach własnych, w warunkach doświadczenia łąnowego, najwyższy plon nasion uzyskano w technologii X₁, składającej się z klasycznej, pluźnej uprawy przedsięwnej, tradycyjnego, rzadkiego siewu, jesiennej, kompleksowej pielęgnacji odchwaszczającej, przedsięwnego (po orce) wymieszania nawozów z glebą (tab. 3).

Tabela 3

Elementy struktury plonu i plon nasion rzepaku ozimego (średnio z 3 lat)
Yield components and seed yield of winter oilseed rape (average for 3 years)

Technologia uprawy* <i>Cultivation technology</i>	Plon nasion <i>Yield seeds</i>		Liczba roślin plonujących [szt./m ²] <i>No plants per m²</i>	Liczba łuszczyzn na roślinie [szt.] <i>No siliques per plant</i>	Liczba nasion w łuszczyźnie [szt.] <i>No seeds per siliques</i>	Masa 1000 nasion <i>Weight of 1000 seeds</i> [g]
	dt·ha ⁻¹	Sx%				
X ₁	34,4±2,9	21	49,6±2,7	83±9,9	21,2±1,3	5,11±0,41
X ₂	28,0±3,0	26	50,5±2,5	66±6,6	22,4±1,4	5,15±0,42
X ₃	22,6±2,4	26	52,6±2,4	51±9,1	21,4±1,7	5,16±0,44
X ₄	25,8±1,3	13	51,5±3,5	71±9,7	17,9±2,0	5,14±0,44
X ₅	19,6±1,7	22	52,8±4,9	53±6,5	18,3±1,7	5,05±0,45
NIR — LSD	4,7	—	r.n.	10,2	r.n.	r.n.

* opis w metodyce — *description in the methods*

(±) odchylenie standardowe — *standard error*

Sx% współczynnik zmienności — *coefficient variation*

Średnio w ciągu trzech lat plon rzepaku w tej technologii wynosił 34,4 dt·ha⁻¹. Spłylenie orki przedsięwnej do 12 cm przy niezmiennych pozostałych elementach technologii (X₂) lub zastąpienie orki siewnej rozkruszeniem wierzchniej warstwy roli kultywátorem (X₄) spowodowało istotny spadek plonu o 19–25%. Wynikał on przede wszystkim z mniejszej (niż w X₁) liczby łuszczyzn na jednostce powierzchni (X₂), a także liczby nasion w łuszczyźnie (X₄). Najniższy plon nasion zapewniał siew bezpośredni po talerzowaniu ścierniska (X₃) lub w ściernisko bez spulchniania przedsięwnego (X₅). Uzyskane w tych uproszczonych technologiach plony (odpowiednio 22,6 i 19,6 dt·ha⁻¹) były o 34–43% niższe w stosunku do standardu z średniogłęboką orką przedsięwną (X₁). W tych obiektach rośliny najslabiej się rozgałęziały i wiązały najmniejszą liczbę łuszczyzn (tab. 3).

Uproszczenia w uprawie roli pod rzepak ozimy w niewielkim stopniu kształtują zawartość białka i tłuszczu w nasionach (Muśnicki i in. 1993, 1999; Jankowski i Budzyński 2003a). Muśnicki i współautorzy (1993, 1999) oceniając jakość nasion zaobserwowali, że rzepak uprawiany na orce głębokiej zawierał mniej (o 1,0%) tłuszczu surowego w porównaniu do orki średniej i płytkiej. W badaniach Jankowskiego i Budzyńskiego (2003a) spłylenie orki siewnej z 30 do 10 cm prowadziło do spadku zawartości białka ogólnego (o 0,3%) i tłuszczu surowego (o 1,5%).

W badaniach własnych nie stwierdzono istotnych różnic w zawartości tłuszczu surowego i białka ogólnego w nasionach pochodzących z obiektów o zróżnicowanej technologii uprawy (tab. 4). Zawartość tłuszczu surowego kształtowała się na średnim poziomie 43,5%, zaś białka ogólnego — 36,3% smb.

Tabela 4

Zawartość białka i tłuszczu oraz plon składników pokarmowych i suchej masy beztłuszczowej (średnio z 3 lat) — *Content protein, fat and total yield of nutritive components and fat free d.m. seeds (average for 3 years)*

Technologia uprawy* <i>Cultivation technology</i>	Zawartość — <i>Content</i>		Plon — <i>Yield</i> [kg·ha ⁻¹]		
	tłuszczu surowego [% s.m. nasion] <i>crude fat</i> [% d.m. seeds]	białka ogólnego [% smb] <i>protein total</i> [% fat <i>free d.m. seeds</i>]	tłuszczu surowego <i>crude fat</i>	smb <i>fat free d.m. seeds</i>	białka ogólnego <i>protein total</i>
X ₁	43,9	36,5	1 314±112	1 881±151	689±69
X ₂	43,3	36,1	1 056±113	1 551±166	554±53
X ₃	43,5	36,2	861±97	1 244±124	451±50
X ₄	44,0	36,3	987±46	1 417±80	511±21
X ₅	43,4	36,4	739±64	1 085±98	391±32
NIR — <i>LSD</i>	r.n	r.n	180	258	100

* opis w metodyce — *description in the methods*
(±) odchylenie standardowe — *standard error*

Najwyższą wydajnością tłuszczu, suchej masy beztłuszczowej oraz białka ogólnego charakteryzowała się technologia z orką średnią na głębokość 20–22 cm (X₁) (tab. 4). Spłylenie orki do głębokości 10 cm (X₂) lub zastąpienie jej kultywátorem (X₄) spowodowało istotny spadek wydajności tłuszczu surowego o 258–327 kg·ha⁻¹ i białka ogólnego o 135–178 kg·ha⁻¹. Wyjątkowo niską wydajnością tłuszczu i białka charakteryzowały się obiekty z siewem bezpośrednim w stalerzowane (X₃) lub chemicznie zniszczone ściernisko (X₅), gdzie plon tych składników był odpowiednio o 514 i 268 kg·ha⁻¹ niższy niż w technologii standardowej (X₁). Plon suchej masy beztłuszczowej wynosił około 1,1–1,9 t z ha. Wydajność jednostkowa beztłuszczowej reszty nasion była, w podobny sposób jak plon tłuszczu i białka, różnicowana technologią uprawy rzepaku.

Wartość energetyczna plonu

Jednostkowa wartość energetyczna nasion oraz słomy była słabo różnicowana technologią uprawy (tab. 5). Wartość energetyczna brutto oleju zwiększała się w miarę upraszczania technologii uprawy, szczególnie po zastąpieniu systemu płuznego (X₁, X₂) bezorkowym (X₃–X₅). Odwrotną tendencję obserwowano w przypadku suchej masy beztłuszczowej, której wartość energetyczna obniżała się w technologiach uproszczonych (tab. 5). Należy jednak podkreślić, iż wyżej opisane różnice nie zostały statystycznie udowodnione, dlatego też należy je rozpatrywać jako tendencję.

Tabela 5

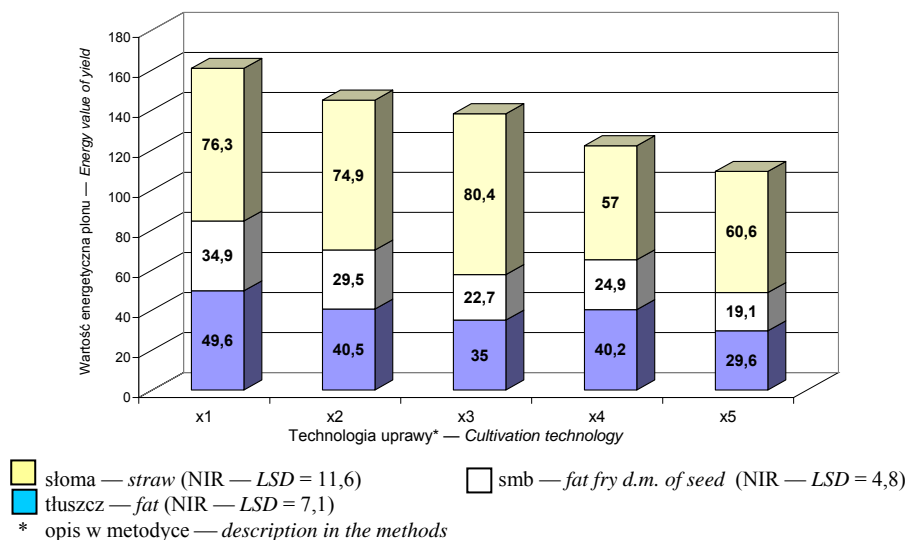
Wartość energetyczna brutto nasion, tłuszczu, suchej masy beztłuszczowej i słomy rzepaku ozimego (średnio z 3 lat) — *Energy gross seed, fat, fat free d.m. of seeds and straw (average for 3 years)*

Technologia uprawy* <i>Cultivation technology</i>	Wartość energetyczna — <i>Energy value</i> [MJ·kg ⁻¹]			
	całych nasion** <i>all seeds</i>	tłuszczu <i>fat</i>	smb** <i>fat free dry matter of seeds</i>	słomy** <i>straw</i>
X ₁	26,56	38,09	18,57	16,1
X ₂	26,88	38,52	19,02	15,9
X ₃	27,27	40,25	18,35	16,0
X ₄	27,11	40,80	17,53	16,0
X ₅	26,74	40,08	17,64	16,1
NIR — <i>LSD</i>	r.n	r.n	r.n	r.n

* opis w metodyce — *description in the methods*

** w suchej masie — *in dry matter*

Słabe zróżnicowanie jednostkowe wartości energetycznej przez technologie uprawy spowodowało, iż ilość energii zawartej w plonie nasion, oleju i suchej masy beztłuszczowej była głównie kształtowana ich produktywnością (wydajnością). Największy wolumen energii użytecznej do produkcji estrów wyższych kwasów tłuszczowych (zawartej w oleju) uzyskano w technologii standardowej (X₁) (rys. 1). Spłylenie uprawy płużnej do 10 cm (X₂) lub zastąpienie orki kultywátorem (X₄) powodowało obniżenie wartości energetycznej plonu oleju o 9,1–9,4 GJ·ha⁻¹. Zdecydowanie najmniejszy wolumen energii zawartej w oleju rzepakowym uzyskano w technologiach bezorkowych, w których płóg odkładnicowy zastąpiono talerzowaniem ścierniska (X₃) lub siewem bezpośrednim w chemicznie przygotowaną rolę (X₅). Spadek wartości energetycznej plonu tłuszczu w tych technologiach (X₃, X₅), w stosunku do technologii standardowej (X₁), sięgał 29–40% (tj. 14,6–20,0 GJ·ha⁻¹). Wartość energii zawartej w plonie beztłuszczowej reszty nasion była średnio o 33% niższa niż wartość energetyczna plonu tłuszczu. Technologie uprawy kształtowały wolumen energii użytecznej w żywieniu zwierząt (zawartej w plonie beztłuszczowej reszty nasion) w sposób analogiczny do wartości energetycznej plonu tłuszczu. Wartość energetyczna słomy uzyskanej z 1 ha rzepaku ozimego wynosiła 57–80 GJ (rys. 1).



Rys. 1. Wartość energetyczna plonu tłuszczu, suchej masy beztłuszczowej i słomy rzepaku ozimego (średnio z 3 lat) — Energy value of fat yield, fat free d.m. of seeds and straw of winter oilseed rape (average for 3 years)

Nakłady energii skumulowanej

Nakłady energii skumulowanej na uprawę 1 ha rzepaku wynoszą od 21 do 26 GJ (Budzyński i Kosecki 1997; Jankowski i in. 1998a, b; Jankowski i Budzyński 2000; Orlik i Klima 2000; Jankowski 2002). Dotychczasowe badania energochłonności uprawy rzepaku dowiodły, że klasyczna uprawa roli pochłania 6–19% wszystkich nakładów energii, siew 2–3%, pielęgnacja i ochrona 3–16%, zbiór 6–15%, zaś pozostałą część nakładów zajmuje nawożenie (Budzyński i Kosecki 1997, Jankowski i in. 1998b). W kształtowaniu energochłonności samej uprawy roli duże znaczenie ma poziom zużycia nośników energii (Gonet i Zaorski 1988, Czyż i in. 1995, Jankowski 2002). W badaniach Jankowskiego (2002) nośniki energii pochłaniały od 83% (orka głęboka i średnia) do 81% (orka płytka) całkowitych nakładów energii skumulowanej poniesionych na uprawę roli. W badaniach Gonet i Zaorskiego (1988) oraz Czyż i współautorów (1995) pochłaniały 88–92% wszystkich nakładów poniesionych na uprawę roli. Należy jednak podkreślić, iż autorzy (Gonet i Zaorski 1988, Czyż i in. 1995) w obliczeniach nakładów energii skumulowanej uwzględniali tylko dwa strumienie energii — pracę ludzką i paliwo, nie biorąc pod uwagę pracy ciągników i maszyn towarzyszących. Spłylenie orki (do 10–15 cm) zmniejsza nakłady energetyczne poniesione na nośniki energii o 40–44% (Gonet i Zaorski 1988, Jankowski 2002). Najbardziej energooszczędnym sposobem uprawy roli jest siew bezpośredni (spadek nakładów o 49–77% w stosunku do technologii płuznej) (Dzienia i Sosnowski 1990).

W badaniach własnych nakłady energii skumulowanej na uprawę 1 ha rzepaku wynosiły od 20,8 (technologia X₅) do 23,2 GJ·ha⁻¹ (technologia X₁, X₂). Tak więc wybór technologii różnicował nakłady energetyczne uprawy rzepaku w zakresie nie większym niż 10%. Strumieniowy rozkład nakładów energii ilustruje, że aż 81–91% stanowiły materiały, w tym głównie nawozy NPK (tab. 6). Następnie, w kolejności malejących nakładów, były nośniki energii (pochłaniające ok. 6–15% wydatków energetycznych uprawy 1 ha rzepaku), maszyny i ciągniki (2–3%) oraz siła robocza (ok. 1%) (tab. 6).

Tabela 6

Nakłady energii skumulowanej poniesione na uprawę 1 ha rzepaku (MJ) według strumieni energii (średnio z 3 lat) — *Inputs of cumulative energy for 1 ha of winter oilseed rape production, according to energy streams (average for 3 years)*

Technologia uprawy* <i>Cultivation technology</i>	Suma nakładów <i>Total inputs</i>	Strumień energii — <i>Energy streams</i>							
		siła robocza <i>labour force</i>	nośniki energii <i>energy means</i>	maszyny i ciągniki <i>machinery and tractors</i>	materiały — <i>materials</i>				
					ogółem <i>total</i>	w tym — <i>including</i>			
						nasiona <i>seeds</i>	nawozy <i>fertilisers</i>	herbicydy <i>herbicides</i>	pozostałe <i>others</i>
X ₁	23 161	318	3 443	609	18 791	123	17 833	385	450
X ₂	22 837	303	3 210	535	18 789	123	17 833	385	448
X ₃	21 612	221	2 080	472	18 839	147	17 833	385	474
X ₄	21 346	211	1 950	463	18 722	147	17 833	385	357
X ₅	20 807	148	1 323	408	18 928	196	17 833	526	373

* opis w metodyce — *description in the methods*

Nawożenie było najbardziej energochłonnym ogniwem agrotechniki rzepaku ozimego — pochłaniało 78–87% wszystkich nakładów energii skumulowanej (tab. 7). Relatywnie wysoką energochłonnością charakteryzował się zbiór nasion i słomy (6–7%). Ochrona przeciw szkodnikom i chorobom oraz regulacja zachwaszczenia pochłaniały łącznie ok. 3–4% nakładów energetycznych uprawy 1 ha rzepaku, co wynika z niskiego ekwiwalentu energetycznego substancji aktywnej w środkach nowej generacji, których zużycie na 1 ha jest bardzo małe (mierzone w gramach). Analizowane technologie uprawy różniły się przede wszystkim nakładami energetycznymi poniesionymi na uprawę roli (tab. 7).

W technologiach klasycznych — orkowych (X₁, X₂) przedsięwzięta uprawa roli pochłaniała ok. 10–11% wydatków energetycznych poniesionych na 1 ha. W technologiach uproszczonych (X₃, X₄, X₅) udział uprawy roli w całkowitych nakładach energii skumulowanej zmniejszył się do zaledwie 2–4%. (tj. w wartościach bezwzględnych 317–875 MJ·ha⁻¹).

Tabela 7

Nakłady energii skumulowanej poniesione na uprawę 1 ha rzepaku (MJ), według operacji produkcyjnych (średnio z 3 lat) — *Inputs of cumulative energy for 1 ha of winter oilseed rape production, according to operations (average for 3 years)*

Technologia uprawy* <i>Cultivation technology</i>	Suma nakładów <i>Total inputs</i>	Operacja agrotechniczna — <i>Agronomical operations</i>						
		uprawa roli <i>soil tillage</i>	siew <i>sowing</i>	nawożenie <i>fertilisation</i>	regulacja zachwaszczenia <i>weeding</i>	ochrona przeciw szkodnikom <i>pest control</i>	ochrona przed chorobami <i>disease control</i>	zbiór nasion i słomy <i>harvesting</i>
X ₁	23 161	2 438	419	18 065	479	64	101	1 595
X ₂	22 837	2 240	419	18 065	479	64	101	1 469
X ₃	21 612	875	479	18 065	479	64	101	1 549
X ₄	21 346	718	479	18 065	479	64	101	1 440
X ₅	20 807	317	588	18 065	334	64	101	1 338

* opis w metodyce — *description in the methods*

Tabela 8

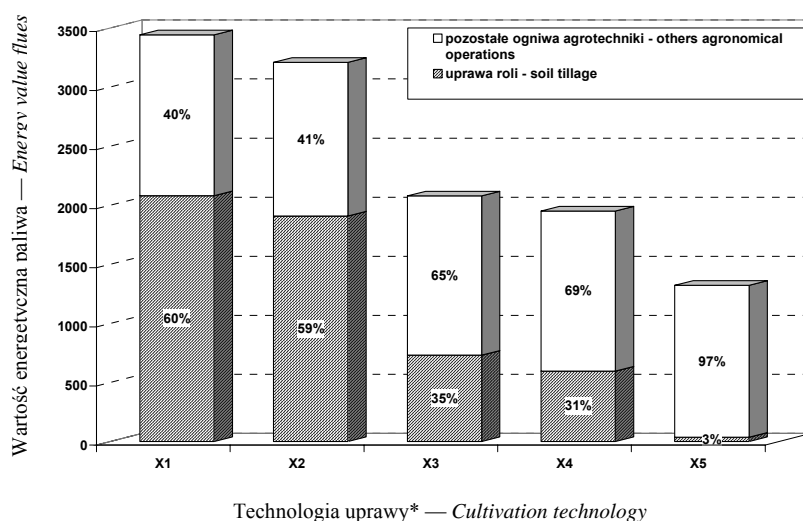
Nakłady energii poniesione na uprawę roli pod rzepak ozimy, według strumieni energii (średnio z 3 lat) — *Inputs of cumulative energy for soil tillage of winter oilseed according to energy streams (average for 3 years)*

Technologia uprawy* <i>Cultivation technology</i>	Suma nakładów <i>Total inputs</i>	Strumień energii — <i>Energy streams [MJ·kg⁻¹]</i>							
		siła robocza <i>labour force</i>		nośniki energii <i>energy means</i>		maszyny i narzędzia <i>machinery and tractors</i>		materiały <i>materials</i>	
		MJ·kg ⁻¹	%	MJ·kg ⁻¹	%	MJ·kg ⁻¹	%	MJ·kg ⁻¹	%
X ₁	2 438	162	7	2 081	85	195	8	0	0
X ₂	2 240	151	7	1 909	85	180	8	0	0
X ₃	875	67	8	731	84	77	9	0	0
X ₄	718	59	8	595	83	64	9	0	0
X ₅	317	6	2	36	11	5	2	270	85

* opis w metodyce — *description in the methods*

Splycenie orki (X₂) spowodowało obniżenie nakładów energetycznych na uprawę roli o 8% w porównaniu do orki średniej (X₁) (tab. 8). Bardziej energooszczędna od orki okazała się uprawa bezorkowa wykonana talerzówką (o 64%) i gruberem (o 71%). Zastosowanie siewu bezpośredniego było o 87% mniej

energochłonne niż średniogłęboka uprawa klasyczna. Mniejsza energochłonność uprawy roli w technologiach bezorkowych (X_3 , X_4 , X_5), w stosunku do technologii klasycznej (X_1), wynikała ze znacznego ograniczenia nakładów poniesionych na nośniki energii. Płużna uprawa roli (X_1 , X_2) pochłaniała ok. $2,2\text{--}2,4 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, z tego ok. $1,9\text{--}2,1 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ (tj. ok. 80%) stanowiło paliwo (tab. 8). Wartość energetyczna paliwa zużytego na klasyczną uprawę roli (X_1 , X_2) stanowiła aż 60% nakładów paliwowych ponoszonych na całą technologię (rys. 2). W przypadku uprawy bezpłużnej wartość paliwa zużytego na przygotowanie gleby pod zasiew rzepaku w stosunku do zużytego w całej technologii uprawy sięgała 30–35% (X_3 , X_4) i 3% (X_5) (rys. 2).



* opis w metodyce — description in the methods

Rys. 2. Struktura nakładów energetycznych poniesionych na nośniki energii w całej technologii produkcji (średnio z 3 lat) — Structure of cumulative energy inputs for fuels in production technology (average for 3 years)

Energetyczna efektywność

W agroekologicznych warunkach Polski w plonie nasion i słomy rzepaku ozimego z 1 ha można uzyskać ponad 165 GJ energii, w tym użytecznej do produkcji estrów metylowych (etylowych) ok. 45 GJ, zaś do produkcji komponentów paszowych — 39 GJ. Po uwzględnieniu nakładów ponoszonych na uprawę (ok. $21 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) zysk energii skumulowanej z uprawy 1 ha rzepaku ozimego stanowi równowartość prawie 3,5 t oleju napędowego oraz 8,5 t drewna. Potencjał energetyczny zawarty w plonach (nasion, słomy) jarych roślin oleistych jest relatywnie mniejszy: o 31–39% (gorczyca biała) do 62% (katran abisyński) (Jankowski i Budzyński 2003b).

W badaniach własnych, niezależnie od stosowanej technologii uprawy, bilans energetyczny uprawy rzepaku był dodatni (tab. 9). Zysk energii skumulowanej wynikający z produkcji nasion wynosił średnio od 27,9 do 61,3 GJ·ha⁻¹. Technologia z siewem bezpośrednim była co prawda najmniej energochłonna (20,8 GJ·ha⁻¹), ale dawała najniższy (27,9 GJ) zysk energii z 1 hektara (wyrażony wartością energetyczną plonu nasion). Największy zysk energii skumulowanej z hektara (61,3 GJ) otrzymano w obiektach, gdzie rzepak uprawiano w technologii standardowej (X₁). Ta technologia produkcji wyróżniała się na tle innych najwyższym wskaźnikiem efektywności energetycznej. Każdy 1 MJ poniesiony na uprawę rzepaku w technologii X₁ dawał plon nasion o wartości energetycznej 3,64 MJ. Wskaźnik efektywności energetycznej w pozostałych technologiach wahał się od 2,34 (technologia X₅) do ok. 3,07–3,06 (technologia X₂, X₄).

Po uwzględnieniu wartości energetycznej słomy wskaźnik efektywności energetycznej osiągnął wartość 5,25–6,93. Jego wielkość była różnicowana przez technologię uprawy w sposób analogiczny do wskaźnika efektywności energetycznej produkcji nasion (tab. 9).

Tabela 9
Wybrane wskaźniki oceny energetycznej uprawy 1 ha rzepaku ozimego (średnio z 3 lat)
Selected parameters of energy estimation of production of winter oilseed (average for 3 years)

Wyszczególnienie — <i>Item</i>	Technologia uprawy* — <i>Cultivation technology</i>				
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
Nakłady energii skumulowanej [GJ·ha ⁻¹] <i>Inputs of cumulative energy</i>	23,2	22,8	21,6	21,3	20,8
Wartość energetyczna plonu [GJ·ha ⁻¹] A <i>Energy value of yield</i>	84,5	70,0	57,7	65,1	48,7
B	160,8	144,9	138,1	122,1	109,3
Zysk energii skumulowanej [GJ·ha ⁻¹] A <i>Profits of energy consumption</i>	61,3	47,2	36,1	43,8	27,9
B	137,6	122,1	116,5	100,8	88,5
Wskaźnik efektywności energetycznej A <i>Index of energy efficiency</i>	3,64	3,07	2,67	3,06	2,34
B	6,93	6,36	6,39	5,73	5,25

* opis w metodyce — *description in the methods*

A — nasiona — *seeds*; B — nasiona + słoma — *seeds and straw*

Wnioski

1. Standardowa technologia była najbardziej produktywna (34,4 dt·ha⁻¹ nasion). Spłycenie orki lub zastąpienie jej kultywatorowaniem obniżyło plon nasion o 6,4 dt·ha⁻¹. Najniższy plon nasion zapewnił siew bezpośredni po stalerzowaniu ścierniska lub chemicznym jego zniszczeniu (spadek plonu o 34–43%).

Technologie uprawy nie różnicowały istotnie zawartości składników pokarmowych w nasionach rzepaku.

2. Wartość energetyczna 1 kg oleju zwiększała się w miarę upraszczania technologii uprawy, w przeciwieństwie do wartości energetycznej suchej masy beztłuszczowej, która była najwyższa w technologii standardowej. Technologie uprawy nie różnicowały wartości energetycznej 1 kg słomy.
3. Największy wolumen energii użytecznej do produkcji estrów (zawartej w oleju) uzyskano w technologii standardowej. Spłyconie uprawy płuznej lub zastąpienie jej kultywatorowaniem powodowało obniżenie wartości energetycznej plonu tłuszczu o 9,1–9,4 GJ·ha⁻¹. Wartość energetyczna plonu tłuszczu uzyskanego w warunkach siewu bezpośredniego była aż o 40% niższa w stosunku do technologii standardowej
4. Suma nakładów energii na uprawę 1 ha rzepaku sięgała 21–23 GJ. O energochłonności całej technologii decydowały głównie nakłady materiałowe, zaś o energochłonności uprawy roli — energia zużytego paliwa.
5. Najkorzystniejszym wskaźnikiem efektywności energetycznej produkcji nasion (3,64) charakteryzowała się technologia standardowa. Wskaźnik ten w technologiach ze spłyconą uprawą płuzną lub bezorkową wynosił 2,34–3,07. Po uwzględnieniu wartości energetycznej słomy wskaźnik efektywności uprawy rzepaku wynosił od 6,93 (technologia standardowa) do 5,25–6,39 (technologie uproszczone).

Literatura

- Anuszewski R. 1987. Metoda oceny energochłonności produktów rolniczych. Zag. Ekon. Rol., 4: 16-26.
- Biskupski A., Sienkiewicz J. 1994. Efektywność różnych sposobów późniewnej i przedwiewnej uprawy roli pod pszenicę ozimą i rzepak ozimy. Fragm. Agron., 1: 72-81.
- Budzyński W., Jankowski K. 2002. Technologie produkcji nasion rzepaku ozimego. Wieś Jutra, 2: 9-11.
- Budzyński W., Jankowski K. 2003. Uprawa rzepaku ozimego jako surowca dla przemysłu petrochemicznego. Wieś Jutra, 2: 34-38.
- Budzyński W., Jankowski K., Szczebiot M. 2000. Wpływ uproszczenia uprawy roli i sposobu odchwaszczania na plonowanie i koszt produkcji nasion rzepaku ozimego. Cz. I. Zimotrwałość, zachwaszczenie i plonowanie rzepaku. Rośliny Oleiste – Oilseed Crops, XXI (2): 487-503.
- Budzyński W., Kosecki A. 1997. Efektywność energetyczna różnych sposobów nawożenia rzepaku azotem. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 439: 267-271.
- Czyż E., Tomaszewska J., Sawa J. 1995. Efektywność produkcyjna i energetyczna różnych systemów uprawy roli. Fragm. Agron., 1: 20-27.
- Darby R.J., Yeoman D.P. 1994. Effects of methods of cereal straw disposal, seedbed preparation and sowing method on the establishment, yield and oil content of winter oilseed rape (*Brassica napus*), J. Agric. Science, 122: 393-404.

- Droese H., Radecki A., Śmierchalski L. 1986. Reakcja roślin uprawnych na stopień zagęszczenia gleby. Cz. IV. Rzepak ozimy. Roczn. Nauk Roln., A (106), 2: 91-101.
- Dzienia S., Sosnowski A. 1990. Uproszczenia w podstawowej uprawie roli a wysokość nakładów energii. Fragm. Agron., 3: 71-79.
- Gawrońska-Kulesza A. 1997. Systemy i metody uprawy roli. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 439: 185-193.
- Gonet Z., Zaorski T. 1988. Energochłonność orki w różnych warunkach glebowych. Pam. Puł., 91: 137-151.
- Jankowski K. 2001. Economic efficiency of different technologies of production of raw materials for oil production. Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Intenzivani olejninny”, Praga, 11-12.12. 2001: 38-43.
- Jankowski K. 2002. Wpływ głębokości orki na efektywność ekonomiczną produkcji nasion rzepaku ozimego. Fragm. Agron., 2: 273-284.
- Jankowski K., Budzyński W. 2000. Wpływ sposobu wiosennego nawożenia azotem na plonowanie i energochłonność produkcji rzepaku ozimego. Cz. II. Energochłonność produkcji nasion. Rośliny Oleiste – Oilseed Crops, XXI (2): 439-447.
- Jankowski K., Budzyński W. 2003a. Effect of the ploughing depth and weed control method on winter oilseed rape yield. Acta Scientiarum Polonorum, Agricultura, 2: 133-146.
- Jankowski K., Budzyński W. 2003b. Energy potential oilseed crops. Elec. J. Polish Agric. Univ., Agronomy, 6 (2) [www.ejapu.media.pl].
- Jankowski K., Budzyński W., Szempliński W. 1998a. Rolnicza, energetyczna i ekonomiczna ocena różnych sposobów wiosennego nawożenia azotem rzepaku ozimego. Rośliny Oleiste – Oilseed Crops, XIX (1): 113-123.
- Jankowski K., Kisiel R., Budzyński W. 1998b. Energochłonność oraz koszty nawożenia rzepaku ozimego chronionego i nie chronionego przeciwko szkodnikom. Roczn. AR Pozn., CCCVII: 71-78.
- Juszkiewicz M., Kaliszewicz D., Kucka E. 1994. Energochłonność uprawy kukurydzy oraz różnych sposobów jej konserwacji. Acta Acad. Agricult. Tech. Olst., Oeconomica, 30: 79-86.
- Krasowicz S., Podolska G. 1996. Efektywność energetyczna uprawy pszenicy ozimej przy różnej intensywności produkcji. Roczn. Nauk Roln., G (86), 4: 113-125.
- Maciejko Z. 1984. Rachunek ekonomiczny w rolnictwie. Zagad. Ekon. Roln., 2: 85-97.
- Maillard A., Vez A. 1993. Resultats d'un essai de culture sans labour depuis plus de 20 ans a Changins: I. Rendement des cultures, maladies et ravageurs. Revue Suisse Agric., 25, 6: 327-336.
- Muśnicki Cz. 1989. Charakterystyka botaniczno-rolnicza rzepaku ozimego i jego plonowanie w zmienionych warunkach siedliskowo-agrotechnicznych. Roczn. AR Pozn., Rozpr. nauk., 191: 1-154.
- Muśnicki Cz., Toboła P., Muśnicka B. 1993. Wpływ różnych sposobów uprawy roli i pielęgnowania zasiewów na ilość i jakość plonów rzepaku ozimego. Post. Nauk Roln., 6: 7-14.
- Muśnicki Cz., Toboła P., Muśnicka B. 1995. Plonowanie i wartość użytkowa nasion rzepaku ozimego (*Brassica napus* L.) zebranych w warunkach uproszczonej uprawy roli. Prace Komisji Nauk Rol. PTPN, 79: 81-89.
- Muśnicki Cz., Toboła P., Muśnicka B. 1999. Wpływ niektórych czynników agrotechnicznych i siedliskowych na jakość plonu rzepaku ozimego. Rośliny Oleiste – Oilseed Crops, XX (2): 459-469.
- Orlik T., Klima K. 2000. Efektywność energetyczna uprawy roślin w płodozmianie w zależności od położenia w rzeźbie terenu i nawożenia. Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, sectio E, Agricultura, vol. 55: 195-203.

- Pawlak J. 1989. Organizacyjne i ekonomiczne aspekty mechanizacji produkcji roślinnej w indywidualnych gospodarstwach rolniczych. PWRiL, Warszawa.
- Pouzet A., Rollier M. 1983. Possibilitée d'implantation du colza d'hiver par semis direct. Proc 6th Int. Rapeseed Congress, Paris: 845-853.
- Pudelko J., Wright D.L., Wiatrak P. 1994. Stosowanie ograniczeń w uprawie roli w Stanach Zjednoczonych AP. Post. Nauk Rol., 1: 153-162.
- Radecki A., Opic J. 1995. Wpływ uprawy zerowej wykonywanej na czarnej ziemi na zachwaszczenie ładu i plonowanie roślin. Roczn. Nauk Rol., A, 3-4: 47-60.
- Roszkowska B. 2001. Zmiany energochłonności stosowanych technologii produkcji na przykładzie buraka cukrowego. Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu, 5: 190-194.
- Sauermann W., Holz W. 2000. Reduzierte Bodenbearbeitung und Bestellung zu Winterraps. Raps, 18. Jg. (3), 132-137.
- Sieling K., Christen O. 1999. Yield, N uptake and N leaching after oilseed rape grown in different crop management systems in Northern Germany. Proc. 10th Int. Rapeseed Congress, Canberra. CD-ROM.
- Vašák J. 2000. Repka. Praha. Wyd. Agrospoj.
- Vašák J., Nerad D., Fogl J., Hyklova I., 2001. Sucho, vzhazeni repky, plevele. Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Intenzivani olejniny”, Praga, 11-12.12. 2001: 64-68.
- Wezsacker E.V., Lovins A.B., Lovins H.L. 1999. Mnożnik cztery – podwojony dobrobyt – dwukrotnie mniejsze zużycie zasobów naturalnych. Raport dla Klubu Rzymskiego. Wyd. Rolewski, Toruń.
- Wielicki W. 1989. Analiza efektywności energetycznej w rolnictwie. Post. Nauk Roln., 1: 69-86.
- Zaremba Z. 1986. Energetyka w systemie eksploatacji sprzętu rolniczego. PWRiL, Warszawa.