

MARIUSZ FOTYMA

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach*

## ENERGETYCZNE ASPEKTY PRODUKCJI ROLNEJ

Rolnictwo jest gałęzią produkcji, która przetwarza energię słoneczną na energię zakumulowaną w związkach organicznych. Rozpatrywana od tej strony produkcja rolnicza ma charakter procesu biologicznego i podlega prawom odkrywanych przez nauki przyrodnicze.

Nawet na dosyć zaawansowanych etapach rozwoju społeczeństw rolnictwo posługiwało się w procesach produkcyjnych wyłącznie energią biologiczną i nie sięgało do źródeł energii zakumulowanej w paliwach stałych, płynnych czy gazowych. Sytuacja uległa gwałtownej zmianie po wprowadzeniu mechanicznej siły pociągowej, rozpowszechnieniu nawozów mineralnych i przejściu od naturalnego zaopatrzenia w żywność do podziału pracy z oderwaniem znacznej części ludzi od zajęć rolniczych. Obecnie w krajach rozwiniętych coraz większe znaczenie w rolnictwie zyskuje energia zakumulowana w paliwach. Rozpatrywana od tej strony produkcja rolnicza ma charakter procesu przemysłowego i podlega prawom ustalonym przez nauki techniczne i ekonomiczne.

*Rolnictwo jako proces biologiczny*

Ilość energii słonecznej jaka pada na powierzchnię ziemi w naszych szerokościach geograficznych wynosi  $2-3,5 \times 10^9 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$ . Z tej ilości energii rośliny wykorzystują 0,2—1,2%, przy czym zakres wahań jest uzależniony od wysokości uzyskiwanych plonów, a więc od intensywności produkcji rolniczej. W rzeczywistości ilość energii słonecznej nie jest nigdy czynnikiem limitującym plony roślin, a większe znaczenie w tym względzie mają niskie temperatury okresu zimowego czy brak wody w okresie letnim. Energia pierwotna zawarta w zbiorach roślin (w tym w roślinach spasanych przez zwierzęta na pniu) jest w dużym uproszczeniu, zużytkowana w trojaki sposób:

— dla zapewnienia zamkniętego obiegu samej produkcji roślinnej (nasiona, sadzeniaki itp.),

—na sprzedaż w postaci produktów roślinnych,

—na pasze dla zwierząt gospodarskich.

W rozwiniętych krajach świata dominuje trzeci sposób wykorzystania energii pierwotnej, gdyż ponad 70% ogólnej jej ilości przeznaczana się na pasze dla zwierząt. Przy przetwarzaniu energii roślinnej na energię produktów zwierzęcych zachodzą bardzo znaczne straty głównie w postaci rozpraszanego ciepła. Przyjmuje się, że dla uzyskania 1J energii w produktach zwierzęcych trzeba zużyć 7J energii pasz roślinnych. Wykorzystanie energii ulega dalszemu zmniejszeniu po wprowadzeniu tzw. trzeciego łańcucha pokarmowego, a więc przy skarmianiu zwierzętami pasz pochodzenia zwierzęcego (np. mleko, mączki z krwi i kości itp.). Do zagadnienia tego powrócimy. W wyniku opisanych procesów ilość energii wyprodukowanej przez rolnictwo (loco odbiorca płodów rolnych) jest znacznie mniejsza od ilości energii pierwotnej w zbiorach roślin. Kolejne straty energii zachodzą na etapie przetwarzania produktów rolnych na żywność. Straty te są bardzo zróżnicowane zależnie od przyjętego modelu gospodarki żywnościowej i dlatego trudno podać generalną ich ocenę. Prawdopodobnie w krajach rozwiniętych straty energii na tej drodze wynoszą 30—50% energii wyprodukowanej przez rolnictwo (loco odbiorca płodów rolnych). Przy braku danych krajowych w tabeli 1 przedstawiono bilans energii rolnictwa (traktowanego jako proces biologiczny) w Wielkiej Brytanii [1].

Tabela 1

*Bilans energii rolnictwa Wielkiej Brytanii (jako procesu biologicznego)  
w MJ \* · 10<sup>9</sup> /rok [1]*

Ilość energii słonecznej	610 000
Energia pierwotna w zbiorach	1 116
Energia w importowanych paszach	104
Energia wyprodukowana przez rolnictwo	213
w tym: w produktach roślinnych	119
w produktach zwierzęcych	94
Energia w pożywieniu na rynku	138
w tym: w produktach pochodzenia roślinnego	65
w produktach pochodzenia zwierzęcego	73
Potrzeby energetyczne ludności	241

\* 1 MJ = 10<sup>6</sup>J    1 J = watt/sec = 0,24 cal

Z ogólnej ilości energii słonecznej jaka pada corocznie na powierzchnię Wielkiej Brytanii zaledwie 0,18% jest przetwarzane na energię pierwotną zawartą w zbiorach roślin (łącznie z roślinami skarmianymi na

pnium przez zwierzęta). Na rynek, w postaci gotowych do spożycia produktów żywnościowych trafia zaledwie 12% energii pierwotnej, przy czym efektywność przetwarzania energii przez zwierzęta jest szczególnie niska i wynosi zaledwie 6,3% w stosunku do energii zawartej w paszach z produkcji własnej i z importu.

Jak wynika z poprzednich rozważań popartych danymi zamieszczonymi w tabeli 1 efektywność przetwarzania pierwotnej energii zbiorów na energię pożywienia zależy w decydującym stopniu od udziału w diecie produktów pochodzenia zwierzęcego. Dochodząc do tych samych szacunków od odwrotnej strony, a więc od ilości energii zawartej w pożywieniu przypadającym na 1 mieszkańca danego kraju, należy pamiętać o konieczności przeliczenia wartości spożywanych produktów zwierzęcych na energię pierwotną pasz pochodzenia roślinnego. W tabeli 2 podano za Borgstromem [2] odpowiednie przeliczenia dla 4 wybranych krajów świata.

Tabela 2

*Zużycie energii pożywienia i energii pierwotnej na 1 mieszkańca/dzień w J [2]*

Kraj	Energia w pożywieniu 2+3	W tym: produkty		Energia zawarta w paszach 4	Zużycie energii pierwotnej 2+4
		roślinne 2	zwierzęce 3		
USA	$1,37 \times 10^4$	$0,77 \times 10^4$	$0,59 \times 10^4$	$4,16 \times 10^4$	$4,94 \times 10^4$
Indie	$0,83 \times 10^4$	$0,78 \times 10^4$	$0,45 \times 10^3$	$0,31 \times 10^4$	$1,09 \times 10^4$
Różnica	$0,54 \times 10^4$				$3,85 \times 10^4$
Meksyk	$1,08 \times 10^4$	$0,96 \times 10^4$	$0,12 \times 10^4$	$0,85 \times 10^4$	$1,82 \times 10^4$
Włochy	$1,24 \times 10^4$	$0,91 \times 10^4$	$0,33 \times 10^4$	$2,29 \times 10^4$	$3,21 \times 10^4$
Różnica	$0,16 \times 10^4$				$1,39 \times 10^4$

Różnica w ilości energii w pożywieniu zużywanej przez mieszkańców wymienionych krajów jest stosunkowo niewielka i nie przekracza  $0,6 \cdot 10^4$ J na dzień (ok. 1300 kcal). Różnica w ilości zużywanej energii pierwotnej jest natomiast bardzo znaczna i osiąga  $3,85 \cdot 10^4$ J na dzień (ok. 9000 kcal). Wynika to oczywiście z różnego udziału w diecie produktów pochodzenia zwierzęcego i odpowiadającego mu zróżnicowania w ilości pasz roślinnych.

### *Rolnictwo jako proces przemysłowy*

Wydzielenie ilości energii zakumulowanej (zawartej w paliwach) jaką zużywa samo rolnictwo jest zadaniem trudnym wobec ścisłych zwią-

ków pomiędzy różnymi gałęziami produkcji w społeczeństwie. Stosunkowo najłatwiej można wyliczyć globalne nakłady, energii ponoszone na produkcję określonej rośliny, lub grupy roślin. Wyliczenia takie, w układzie dynamicznym, dla kukurydzy zostały przeprowadzone w USA przez Pimentela [4]. W 1954 na 1 ha uprawy kukurydzy zużywano przeciętnie  $1,05 \cdot 10^{10}$  J energii zakumulowanej (paliwa, nawozy, środki ochrony roślin itp.), podczas gdy w 1970 r. zużycie energii wyniosło już  $3,26 \cdot 10^{10}$  J, a więc wzrosło o 310%. W tym samym okresie zanotowano wzrost plonów kukurydzy o 240%. W rezultacie na 1 J wydatkowanej energii paliw w 1954 r. uzyskano 3,7 J energii zawartej w suchej masie kukurydzy, podczas gdy w roku 1970 analogiczna relacja wyniosła 1 : 2,8, a więc spadła o 24%. Kolejne, wymienione wcześniej etapy produkcji, a więc przetwarzania zbiorów na produkty rolnicze i przetwarzanie produktów rolniczych na żywność wymagają również nakładów energii zakumulowanej.

W wyniku tych procesów stosunek energii pierwotnej (słonecznej) zawartej w zbiorach do energii zakumulowanej zużytej na produkcję rolną ulega dalszemu zawężaniu. Odpowiednie wyliczenia dla warunków Wielkiej Brytanii przedstawiono w tabeli 3 [1].

Tabela 3

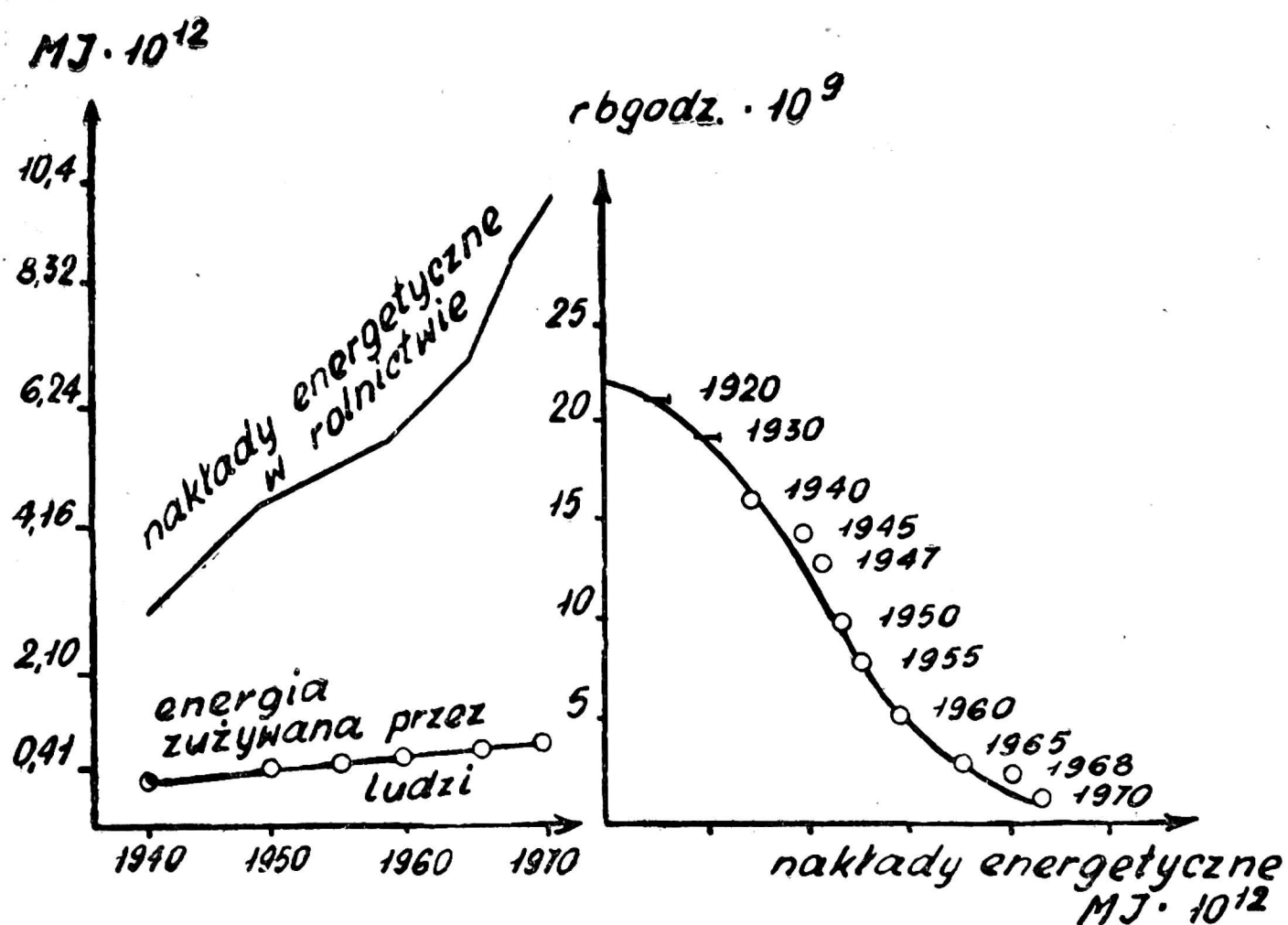
*Wskaźniki energetyczne rolnictwa Wielkiej Brytanii (jako procesu przemysłowego)*  
[1]

Procent energii zużywanej w rolnictwie do całkowitego zużycia energii w kraju	3,9
Stosunek energii zawartej w zbiorach do energii zużywanej w rolnictwie	3,2 : 1
Stosunek energii zawartej w produktach rolniczych do energii zużywanej w rolnictwie	0,62 : 1
Stosunek energii zawartej w pożywieniu do energii zużywanej w rolnictwie	0,40 : 1

Należy podkreślić, że wartość 3,9% uwidoczniiona w tabeli 3 obejmuje tylko energię zakumulowaną zużywaną przez samo rolnictwo do etapu uzyskania produktów rolniczych (loco odbiorca), a więc bez nakładów energii ponoszonych na produkcję finalną żywności. Według danych Borgstroma [2] cały łańcuch produkcyjny od pola na stół konsumenta wymaga w USA wydatkowania ok.  $4,4 \cdot 10^9$  J energii zakumulowanej na 1 mieszkańca na rok. Z tej ilości  $1,04 \cdot 10^9$  J jest zużywane w samym rolnictwie,  $1,7 \cdot 10^9$  J pochłania przetwarzanie produktów rolniczych na żywność i wreszcie  $1,7 \cdot 10^9$  J jest wydatkowane na transport, handel i przygotowanie produktów żywnościowych do spożycia w domach. W sumie wyprodukowanie 1 szklanki mleka (na stole konsumenta) pociąga za sobą

konieczność zużycia energii zawartej w 0,5 szklanki ropy naftowej. Borgstrom twierdzi, że przyjęcie modelu żywnościowego jaki panuje w USA przez kraje całego świata pociągnęłoby za sobą konieczność zużycia na ten cel ponad 80% ogólnej ilości energii pozyskiwanej obecnie na świecie ze wszystkich znanych źródeł.

Do cech szczególnych współczesnego rolnictwa należy gwałtowny wzrost jego energiochłonności i stałe pogarszanie się relacji energii zawartej w żywności do wydatkowanej energii zakumulowanej. Procesy te idą w parze ze spadkiem zatrudnienia w rolnictwie i zmniejszaniem się ilości zużywanej energii biologicznej. Wymienione prawidłowości przedstawiono za Steinhartem [5] na rysunku.



Rys. Wskaźniki energetyczne rolnictwa USA [5]

Większość zużywanej obecnie energii zakumulowanej ma pochodzenie biologiczne (węgiel, ropa naftowa, gaz ziemny), można zatem twierdzić, że rolnictwo jako proces biologiczny ma do tej energii największe prawa, a jest mimo wszystko zaledwie marginalnym jej konsumentem. Niepokój budzi fakt, że przyrosty produkcji rolnej (lub ściślej zawartej w niej energii) na jednostkę wydatkowanej energii paliw są coraz mniejsze, a

więc podlegają prawu malejącej efektywności nakładów. Już w chwili obecnej w niektórych procesach produkcji krańcowy nakład liczony w jednostkach energii paliw zaledwie dorównuje (a niekiedy nawet przewyższa) krańcowy efekt liczony w jednostkach energii produktów rolnych. Zagadnienie to warto prześledzić na przykładzie.

Z ogólnej ilości energii zużywanej w rolnictwie prawie 38% stanowi energia zawarta w nawozach mineralnych i wapnie nawozowym. Według danych Tatchella i Slessora (cyt. za Blaxterem 1975) oraz Cooka (1975) na wyprodukowanie składników pokarmowych zawartych w nawozach wydatkuje się loco fabryka: na 1 kg N —  $8,4 \cdot 10^7$ J, na 1 kg  $P_2O_5$  —  $1,5 \cdot 10^7$  na 1 kg  $K_2O$  —  $0,8 \cdot 10^7$ J, a na 1 kg CaO —  $0,4 \cdot 10^7$ J.

Przy obecnym stosunkowo niewielkim zużyciu nawozów azotowych w Polsce na 1 kg N uzyskuje się zwyżkę plonu ok. 8 kg ziarna zbóż. Wartość energetyczna 1 kg ziarna zbóż wynosi ok.  $1,6 \cdot 10^7$ J. Stosunek energii zawartej w zwyżce plonu ziarna do energii zawartej w tej ilości azotu, która zwyżkę tę spowodowała wynosi zatem zaledwie 1,52:1. Relacja wartości uzyskanej zwyżki plonu (w zł) do kosztu nawozów azotowych jest natomiast znacznie korzystniejsza i wynosi ok. 4,8:1. Innymi słowy, gdyby ceny środków produkcji odpowiadały ich wartości energetycznej produkcja rolna stałaby się niesłychanie droga.

### Wnioski

1. Rolnictwo staje się procesem przemysłowym i zużywa coraz większe ilości energii zakumulowanej w paliwach.

2. W miarę intensyfikacji rolnictwa obserwuje się malejące przyrosty energii zawartej w plonach na jednostkę energii zakumulowanej wydatkowanej dla uzyskania tych plonów.

3. Dla zapobiegania ujemnym skutkom zjawiska opisanego we wniosku 2 należy dokonać dokładnego rozeznania wysokości i rodzaju nakładów energetycznych ponoszonych na produkcję rolną w poszczególnych krajach.

### LITERATURA

1. Blaxter K.L.: The energetics of British Agriculture J. Sci. Fd. Agric. 26. 1055, 1975.
2. Borgstrom G.: The price of a tractor. Ceres t. 7, 6. 16, 1974.
3. Cooke G.W.: The energy costs of the nitrogen fertilizers used in Britain. J. Sci. Fd. Agric. 26. 1965, 1973.
4. Pimentel D. i in. Food production and the energy crisis Science 182 4111, 1973.
5. Steinhart J.S., Steinhart C.E.: Energy use in the US food system Science 184, 3070, 1974.