

WŁADYSŁAW BYSZEWSKI, JANUSZ PAŁA

*Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego —  
Akademia Rolnicza w Warszawie*

## PRZYCZYNEK DO MOŻLIWOŚCI ZMNIEJSZENIA DEFICYTU ENERGII W ROLNICTWIE

Nawet po uwzględnieniu wzrostu zapotrzebowania na energię we wszystkich działach gospodarki, po zbilansowaniu jej zasobów w biosferze dojdziemy do wniosku, że na razie ludzkość nie ma powodów do niepokoju. Aktualne zapotrzebowanie na energię słoneczną, docierającą z przestrzeni kosmicznej do powierzchni ziemi, jak również utrwaloną w postaci paliw kopalnych, czy zamienianą dzięki fotosyntezie roślin uprawnych w żywność jest na tyle dobre, że umożliwia zaledwie 5% ogółu ludności bezpośrednio zatrudnionej w rolnictwie wyżywić pozostałą część społeczeństwa. Sytuacja może się jednak radykalnie zmienić ponieważ, obserwujemy bardzo szybki wzrost zapotrzebowania na energię. Przyczyn tego zjawiska jest kilka. Do jednej z najważniejszych należy intensyfikacja produkcji, która mimo iż w rolnictwie jest często sprowadzana do mechanizacji i stosowania wysokich dawek nawozów mineralnych, herbicydów, fungicydów i insektycydów, obejmuje również wszystkie inne zabiegi związane z utrzymaniem gleby w wysokiej kulturze, z uzyskiwaniem surowców roślinnych o najwyższej jakości technologicznej i spożywczej z udoskonalaniem i uzdatnianiem produktów rolniczych.

Opracowując prognozy należy założyć, iż zapotrzebowanie na energię i surowce energetyczne będzie nadal wzrastało dynamicznie m.in. wskutek zwiększania się liczby ludzi na ziemi oraz ich wymagań w stosunku do ilości i jakości produktów rolniczych.

Analiza metod produkcji rolniczej na przestrzeni dziejów wykazuje, że większą wydajność okupywano zawsze zwielokrotnieniem nakładów energii, czy to w postaci siły mięśni ludzkich, siły pociągowej zwierząt, czy wreszcie w epoce burzliwego rozwoju techniki — maszyn i narzędzi napędzanych energią uzyskiwaną z paliw kopalnych, jak węgiel, a przede wszystkim ropa naftowa.

Zaspokajając głód, a niejednokrotnie również zachcianki, człowiek od bardzo dawna przestał kierować się racjonalną zasadą, iż nie ma sensu zużywać więcej energii na wytworzenie jakiegoś produktu pochodzenia rolniczego, niż wyzwoli on jej po spaleniu w organizmie ludzkim.

Z drugiej strony należy jednak przyznać, iż stan ten został spowodowany również przyczynami obiektywnymi. Konieczność wyżywienia rosnącej dynamicznie populacji ludzkiej spowodowała bowiem, że człowiek musi produkować coraz więcej żywności nie bacząc na nakłady. Postulat ten usprawiedliwia wszystkie koszty o ile służą one maksymalizacji celu, tj. uzyskaniu z jednostki powierzchni największej ilości produktów rolniczych.

Można stwierdzić z dużą dozą prawdopodobieństwa, iż zasada ta będzie obowiązywać w coraz większym stopniu także w przyszłości. Przyczyniają się do tego zmiany wywołane przez człowieka w biosferze, w tym przede wszystkim naruszenie równowagi biologicznej, która sprzyja wzajemnemu ograniczaniu liczebności populacji owadów, chwastów, szkodników zwierzęcych itp. Choćby jednorazowe naruszenie tej równowagi zmusza do ciągłych, doraźnych interwencji. W wypadku produkcji roślinnej polega to przeważnie na systematycznym zwalczaniu chorób i szkodników. Można przewidzieć, że częstotliwość i skala tych interwencji będą nadal intensywnie wzrastały, aż co się wydaje dość nieprawdopodobne, dojdzie do sytuacji, w której produkty pozbawione resztek związków oddziałujących szkodliwie na organizm ludzki, będzie można uzyskiwać tylko w warunkach laboratoryjnych.

Można również sądzić, iż wzrastająca konieczność wyręczenia przyrody będzie zmuszała człowieka do produkowania coraz doskonalszych i wszechstronniej działających środków ochrony roślin, nawozów mineralnych itp. Produkty te będą wymagały jeszcze większych nakładów energii niż obecnie.

Produkcja roślinna jest jedną z nielicznych dziedzin działalności człowieka, w której następuje transformacja energii w biomasę. Przy czym zainteresowani jesteśmy takim przebiegiem tego procesu przy którym przy użyciu tej samej ilości energii uzyskamy najwyższe plony. Wydaje się, że w tym zakresie szczególnie ważne są następujące zagadnienia:

- stworzenie takich warunków agroekologicznych, aby osiągnąć możliwie wysoki plon,
- wypracowanie systemów produkcji, pozwalających na racjonalne gospodarowanie energią.

Istnieje wiele badań, wyniki których wskazują na możliwość zwiększenia plonów. Należy sądzić, że w omawianym aspekcie szczególnie duże znaczenie ma ograniczenie ubytków i strat. Chodzi mianowicie o to, że w gospodarce intensywnej wzrastają nakłady na środki produkcji, w tym również na energię. Przy czym olbrzymia większość ich jest zużywana na wytwarzanie tej części biomasy, która nie jest bez-

pośrednio przydatna dla człowieka. Szacuje się, że z dużym przybliżeniem, iż w produkcji rolniczej i leśnej użytkuje się zaledwie 15—20%, a często mniej niż 10% z całej biomasy wytworzonej przez rośliny. Pozostała ilość zużywana jest na oddychanie roślin, organy starzejące się, odpadające lub uszkodzenia w okresie wegetacji. Doliczyć tu należy jeszcze straty powstające w wyniku chorób i szkodników, „gubienia” części plonu przy zbiorze itd. Tak więc, dążąc do racjonalnego wykorzystania energii należy tak zorganizować produkcję, aby możliwie ograniczyć ilości biomasy zużywane na cele nie związane bezpośrednio z użytkowym przeznaczeniem.

Odnosnie zagadnienia wypracowania systemów produkcji, pozwalających na racjonalne gospodarowanie energią należy rozpatrywać je na tle różnych źródeł energii. Zasadniczo podstawową dla produkcji roślinnej jest energia kosmiczna. Dociera ona do roślin za pośrednictwem promieni słonecznych w ilościach znacznie większych niż rośliny są w stanie wykorzystać. Zaledwie bowiem w kilku procentach jest wykorzystywana dla produkcji biomasy. W miarę postępu w hodowli i uprawie roślin zyskujemy coraz większy wpływ na kształtowanie pokroju pojedynczych roślin oraz struktury populacji, takich które w znacznym stopniu zwiększają stopień wykorzystania energii kosmicznej.

Następnym ważnym źródłem energii jest tzw. „energia dynamiczna”. Wiąże się ona z pracą maszyn rolniczych i jest wzrastającą pozycją w bilansie energetycznym. Nadal jednak stanowi niewielką pozycję w stosunku do energii kosmicznej i dlatego zaliczamy ją do energii dodatkowej. Znaczenie jej jednak wzrasta wobec tendencji podnoszenia cen na podstawowe surowce energetyczne. Zużycie „energii dynamicznej” wzrasta wraz z przechodzeniem na wyższy poziom mechanizacji produkcji roślinnej. Źródła amerykańskie podają np., że nakłady na energię dynamiczną w przeliczeniu na benzynę wzrosły w ciągu 50 lat w produkcji 1 ha kukurydzy prawie 150 razy. Spowodowało to wprawdzie wzrost plonów, ale w ostatecznym obliczeniu każdy następny kwintal zwyżki plonu uzyskuje się za coraz większą cenę. Podobną tendencję obserwujemy również w wypadku innych roślin, stąd tak intensywnie prowadzone badania w zakresie wypracowania technologii produkcji mniej energochłonnych. Dla zilustrowania tego zagadnienia można przytoczyć badania Sipośa, w których stosując różne metody uprawy pszenicy uzyskiwano te same plony mimo obniżenia zużycia energii o 60%. Autor ten uzyskał również bardzo ciekawe wyniki w badaniach nad kukurydzą i burakami. Stwierdził on, że efektywność zużytej energii dynamicznej, przy różnicach dochodzących do 50%, zmieniała się bardzo wyraźnie w zależności od zastosowanego nawożenia i przy wyższym poziomie nawożenia większa ilość uprawek, czy też uprawki bardziej ener-

gochłonne nie powodowały zwyczajki plonów. Przy różnych sposobach uprawy lucerny, przy których zużycie energii różniło się o 80%, stosunkowo małe dawki nawozów mineralnych neutralizowały w zupełności korzystne zmiany fizycznych właściwości gleby wynikające z pogłębienia warstwy ornej. Podobne wyniki uzyskał również Sipoš przy uprawie słonecznika. Jest więc oczywiste, że im droższa będzie energia wytwarzana w rolnictwie, tym bardziej jej ilości niezbędne dla wykonania uprawy rzutować będą na sposób uprawy. W tym aspekcie musimy oceniać strukturę zasiewów (wybór roślin mniej energochłonnych), stosowanie zabiegów związanych z uprawą gleby (np. stosowanie głębokich upraw a uprawa bezpluzna), a nawet przydatność odmian (np. poszczególne odmiany buraka cukrowego znacznie różnią się siłą potrzebną do wydobycia korzeni z gleby). Szczególnie wyraźne ograniczenie energii dynamicznej występuje w przypadku uproszczonych systemów uprawy roślin.

Trzecim (poza energią kosmiczną i dynamiczną) ważnym źródłem energii jest tzw. energia statyczna, zawarta w środkach produkcji, takich jak nawozy, nasiona, herbicydy itp. Mimo, że zaliczamy ją do energii dodatkowej, odgrywa ona w ogólnym bilansie energetycznym coraz większą rolę. Stąd tak duże znaczenie przypisujemy możliwości zwiększenia jej efektywności. To znaczy wypracowaniu takich sposobów postępowania, aby na każdą jednostkę zużytych wymienionych środków produkcji uzyskać jak największy wzrost plonów.

Z powyższych rozważań można wysnuć wniosek o istnieniu określonego związku między ilością zużywanej w rolnictwie energii a intensyfikacją produkcji. Związek ten jest uwarunkowany obiektywnie i wynika nie tylko z przyczyn natury biologicznej, o których pisaliśmy wyżej, lecz również technicznej i ekonomicznej. Z przyczyn natury technicznej można wymienić m.in. mechanizację uprawy roli, zabiegów związanych z odchwaszczaniem, ochroną chemiczną roślin i inne. Do czynników ekonomicznych odnosimy nawadnianie, które mimo iż wymaga określonych nakładów energii, zwiększa istotnie efektywność nakładów na inne środki produkcji, w tym na nawozy mineralne, odmiany hodowlane roślin itp.

Podkreślaliśmy, że pokaźny udział w kosztach produkcji roślinnej mają nakłady na nawozy mineralne. Jak wynika ze statystyk, w 1972 r. wyprodukowano we wszystkich krajach świata łącznie 77,1 milionów ton (MT) czystego składnika nawozów azotowych, fosforowych i potasowych. Z ilości tej ponad połowę, bo 35,8 MT stanowiły najbardziej energochłonne nawozy azotowe. Na ich wytworzenie zużyto  $2860 \times 10^6$  GJ (giga dzuli) energii, gdy tymczasem na wyprodukowanie wymienionej ilości NPK zużyto  $3280 \times 10^6$  GJ. W 2000 roku światowa produkcja

nawozów azotowych przekroczy 100 milionów ton w przeliczeniu na czysty składnik. Mimo iż są to liczby imponujące, należy stwierdzić, że koszty produkcji nawozów mineralnych zwracają się wielokrotnie w postaci znacznie wyższych plonów ziarna, korzeni i bulw. Obliczono, że 1 kg azotu umieszczonego w glebie powoduje wyższą plon ziarna pszenicy i kukurydzy w ilości 10—25 kg, kłębów ziemniaczanych 40—200 kg, cukru 5—10 kg i traw 10—50 kg. Dzięki temu, nakłady energetyczne zwracają się w wypadku pierwszej grupy roślin w stosunku 1,7—4,2, ziemniaków 1,3—6,3, buraków cukrowych 0,8—1,7, zaś traw 1,7—8,4 (15). Powyższe liczby świadczą o opłacalności nakładów w rolnictwie, mimo że nie uwzględniają strat energetycznych związanych z działalnością wywierającą pośredni wpływ na wielkość uzyskiwanego plonu. Mamy tu na myśli transport, produkcję opakowań, sferę obsługi itp. Obliczony dla warunków holenderskich współczynnik efektywności nakładów energetycznych w postaci nawozów mineralnych wynosił dla gruntów ornych, pastwisk i gospodarstw ogrodniczych odpowiednio: 8,0:0,4:0,12. Widzimy więc, że stosowanie nawozów mineralnych, szczególnie celem uzyskania wyższej głównej produkcji rolniczej jest bardzo opłacalne z punktu widzenia uzysku energii.

### *Nakłady energetyczne na prace polowe*

Wydaje się, że liczby jakie przytoczono wyżej w pełni uzasadniają pogląd co do celowości zwiększania nakładów energetycznych w rolnictwie. Celowość ta wynika nie tylko z faktu, że w gospodarstwach rolniczych zużywa się zaledwie 1—2% rocznej światowej produkcji energii, a do napędu ciągników i innych samobieżnych maszyn pracujących w rolnictwie zużywa się 37,0% tej ilości. Mimo iż jest to ilość stosunkowo niewielka, zapotrzebowanie na różne rodzaje energii będzie wzrastało m.in. wskutek obserwowanej na całym świecie tendencji do zastępowania pracy ręcznej maszynami. Tendencja ta wynika z jednej strony ze zmniejszającej się liczby ludności wiejskiej zaś z drugiej — ze zwiększania zakresu czynności związanych np. z uprawą gleby lub roślin. Celem tych czynności może być uzyskanie wyższego plonu, albo lepszej jego jakości.

Ograniczone zasoby ropy naftowej oraz dynamiczny wzrost jej zużycia w całej gospodarce światowej zmuszają do coraz oszczędniejszego gospodarowania. Ze względu na fakt, że rolnictwo światowe dysponuje około 17 mln ciągników oraz 3 mln samobieżnych kombajnów i innych maszyn zniwnych, nawet niewielkie usprawnienia w konstrukcji lub w eksploatacji, zmniejszające zużycie paliwa, mogą dać ogromne oszczędności.

Ponieważ 95% zużywanych w rolnictwie paliw płynnych jest spalane przez ciągniki — do nich właśnie ograniczymy nasze rozważania dotyczące możliwości oszczędniejszego gospodarowania paliwami. Należy przede wszystkim stwierdzić, że obserwowanej tendencji do konstruowania ciągników o coraz to większej mocy nie towarzyszy wzrost ich wydajności. Zjawisko to może być spowodowane mniejszą efektywnością wykorzystania dużych ciągników, a także faktem, iż kierowcy jeżdżą nimi nie tak szybko, jak pozwala na to moc silnika. Istotne znaczenie ma także równomierność pracy ciągników, szczególnie w trakcie wykonywania orki. Według danych radzieckich, przy nierównomiernym cporze pługa ciągnik spala w trakcie orki o 5—10% więcej paliwa niż w warunkach pracy równomiernej, bez zrywów (12).

Poszukując możliwości zmniejszenia ilości paliw zużywanych w rolnictwie dochodzimy do wniosku, że duże oszczędności można uzyskać modyfikując lub zmieniając technologie uprawy wielu gatunków roślin. Wprowadzane zmiany mogą np. polegać na rezygnacji z części upraw, w tym nawet z orki, którą zamiast corocznie wykonuje się raz na dwa albo nawet raz na trzy lata. Stosując tę technologię nasiona wysiewa się bezpośrednio w ściernisko lub w darń po uprzednim zastosowaniu herbicydów lub wykonaniu jednej albo dwu uprawek mechanicznych sprzętem wznuszającym glebę.

Określone oszczędności daje również wprowadzenie nawożenia skumulowanego nawozami fosforowymi i potasowymi, które także stosuje się raz na kilka lat.

Doświadczenia wykonane w Wielkiej Brytanii wykazały, że np. koszt uprawy pól pod zboża można zmniejszyć o połowę, stosując tak łatwy zabieg, jakim jest agregatowanie narzędzi. Jednoczesne podłączenie do ciągnika kultywatora i brony lub innej pary narzędzi prowadzi zresztą nie tylko do zmniejszenia nakładów energii i kosztów uprawy, ale pozwala uniknąć tak niekorzystnego zjawiska, jakim jest ugniatanie gleby przez koła lub łańcuchy ciągników.

Duże oszczędności można także poczynić wykonując prace polowe w miarę możliwości na maksymalnych obrotach silnika. To samo dotyczy transportu. Tylko dzięki zmianie biegu z trzeciego na czwarty można zaoszczędzić około 10% paliwa. Ciągnik winien ponadto być tak obciążony, by poślizg kół nie przewyższał 15—20%, gdyż w tych warunkach jego moc będzie wykorzystana najlepiej. Z drugiej jednak strony niecelowe jest również nadmierne obciążanie ciągnika, mimo że zmniejszamy przy tym poślizg kół. Należy bowiem pamiętać, że obciążenie o każde 50 kg ponad dopuszczalną normę przyczynia się do większego o 1—2% zużycia paliwa.

Opór stawiany przez części robocze narzędzi rolniczych może rów-

niez wpływać istotnie na zużycie paliwa przez ciągnik w trakcie wykonywania prac uprawowych. Zużyte zęby bron, tępe noże i inne niesprawne elementy robocze kultywatorów mogą być przyczyną znacznego przekraczania norm zużycia paliwa. Przy wykonywaniu orki lub podorywek efektywność pracy ciągnika zależy nie tylko od stanu narzędzi roboczych ale również od kąta ustawienia odkładnic lub innych elementów pługa. Ustawienie odkładnic pod niewłaściwym kątem powoduje zwiększenie zużycia paliwa o ponad 10%.

Oprócz prac pielęgnacyjnych i podstawowych, stosunkowo najbardziej energochłonne są w rolnictwie czynności związane ze zbiorem roślin. Jakakolwiek zmiana technologii zbioru, przyczyniająca się nawet minimalnie do zmniejszenia nakładów na energię przyniesie w skali kraju ogromne oszczędności. Analizując jednak stosowane obecnie metody zbioru roślin zbożowych, okopowych, czy np. traw należy uwzględnić fakt, że wynikają one nie tylko z tradycji, lecz są także uwarunkowane możliwościami technicznymi gospodarstw, ilością rąk roboczych, siły pociągowej, itp. czynnikami. Uwzględniając powyższe, niejednokrotnie godzimy się ze stosowaniem metod tradycyjnych, nie zapewniających zbioru dostatecznie efektywnego. Dążąc jednak do opracowania możliwie najmniej energochłonnych metod zbioru badacze wskazują na możliwość odejścia od sposobów tradycyjnych. Można tu np. wskazać na metodę, jaką opracowano w Nottingham University w Wielkiej Brytanii. Jej istota polega na tym, że skoszone zboże pozostawia się w wałkach na polu, gdzie schnie aż do załadowania na przyczepy objętościowe, którymi przewozi się je w pobliże silosów. Tu wykonuje się jednocześnie omłot i sortowanie. Metodę tę można jednak stosować tylko podczas suchego lata. W wypadku pogody przekropnej w czasie żniw, dowiezione do gospodarstwa rośliny są przepuszczane przez obracający się bęben suszący, w którym wysoką temperaturę podtrzymuje się dzięki spalaniu słomy. Oddzielane w trakcie suszenia ziarno jest następnie przepuszczane przez sortownik, zaś słoma spalana celem podtrzymania wysokiej temperatury w bębnie. Wykazano, że ze spalenia słomy uzyskuje się więcej energii, niż jej potrzeba do wysuszenia wilgotnych roślin. Dzięki temu, żniwa można przeprowadzić w sposób ciągły niezależnie od panującej pogody bez dodatkowych nakładów na energię elektryczną lub ciepłą. Dodatkową korzyścią, uzyskiwaną przy stosowaniu opisanego sposobu zbioru jest zapobieżenie stratom wynikającym z osypywania się ziarna.

Duże ilości paliw i energii elektrycznej można zaoszczędzić wprowadzając nowe metody konserwacji pasz. Technologie rozpowszechnione aktualnie zdają rolnika na łaskę warunków klimatycznych, wskutek czego przy kapryśnej pogodzie uzyskuje się pasze złej jakości. Ilustracją

tego może być 1974 rok, gdy wskutek nadmiernej ilości opadów atmosferycznych rolnicy w ogóle nie zebrali siana, bądź było ono złej jakości.

Istniejące nowe technologie konserwacji pasz stwarzają określoną możliwość uniezależnienia się od panującej pogody oraz konserwowania trawy przy minimalnych nakładach energii. Mamy tu na myśli tzw. sianokiszonki, które można sporządzać także przy przekropnej pogodzie, jaka dość często panuje w Europie Środkowej w czasie sianokosów.

Analiza stosowanych metod konserwowania pasz wskazuje na wzrastającą tendencję do sporządzania suszu. Ze względu na dużą wartość odżywczą tego rodzaju pasz metodę tę należy uznać za bardzo wartościową, z tym że wydaje się celowe zbadanie możliwości wykorzystania odpadków organicznych zbędnych w gospodarstwie (słoma zbóż, motylkowych itp.). Inne odpadki mogą być źródłem ciepła wykorzystywanego do wysuszenia zielonej masy. Na podkreślenie zasługuje fakt, że tego rodzaju doświadczenia przeprowadzone w Wielkiej Brytanii zdały całkowicie egzamin.

#### *Niektóre aspekty zagadnień energetycznych w produkcji zwierzęcej*

Można z całą pewnością stwierdzić, że w produkcji zwierzęcej energia jest zużytkowana mniej efektywnie niż w produkcji roślinnej. Człowiek musi się jednak z tym godzić, gdyż mięso zwierzęce jest ważnym źródłem białka i soli mineralnych, bez czego nie do pomyślenia jest prawidłowe funkcjonowanie organizmu ludzkiego. Widzimy więc, że rozpatrując efektywność nakładów energetycznych w rolnictwie należy zachować określoną ostrożność. Współczynniki, odzwierciedlające efektywność nakładów energetycznych na wytworzenie jakiegoś produktu należy więc rozpatrywać tylko w odniesieniu do ściśle określonych systemów rolniczych, prowadzonych w celu wytworzenia surowców energetycznych (np. gospodarka leśna). Natomiast mija się z celem obliczanie takich współczynników przy produkcji wełny, która jest przede wszystkim białkiem.

Niższa efektywność nakładów energetycznych w produkcji zwierzęcej wynika z kilku przyczyn. Po pierwsze, już w umiarkowanych szerokościach geograficznych zwierzęta muszą przebywać w okresie zimy w pomieszczeniach ogrzewanych i ocieplanych. Po drugie, podstawową paszą dla zwierząt hodowlanych są rośliny, które niezależnie od postaci w jakiej są zadawane, są przez zwierzęta przyswajane tylko częściowo. Jeśli więc nawet na produkcję zwierzęcą nie zużywamy więcej energii niż zawierają jej rośliny skarmiane w postaci paszy, to i tak uzyska-



my po przetworzeniu tych roślin mniej energii niż zawierały jej one zanim stały się ogniwem w cyklu produkcji zwierzęcej. Musimy się z tym godzić również ze względu na fakt, że np. dzięki przeżuwaczom przetwarzamy rośliny w postać nadającą się do spożycia przez człowieka. Zwierzęta są więc w tym wypadku niejako ogniwem pośrednim między rośliną i człowiekiem.

Również dla warunków naturalnych dowiedziono istnienie określonych zależności ilościowych, umożliwiających przepływ energii z populacji roślinnych do zwierzęcych. Zdaniem R.L. Lindemana i innych autorów (20) 10—20% energii związanej przez rośliny może być przeniesione do populacji zwierząt trawożernych, a z kolei 10—20% energii związanej przez te zwierzęta może przejść do populacji pierwszego rzędu zwierząt mięsożernych żywiących się trawożernymi itd.

Godząc się więc z powyższymi faktami należy dążyć do tego, by nakłady dodatkowe sprowadzać w trakcie realizacji cyklu produkcyjnego do minimum. Cel ten można osiągnąć również w sposób pośredni dobierając odpowiednio gatunki roślin.

Realizując produkcję rolniczą powinno się więc w większym niż dotychczas stopniu uwzględniać aktywność fotosyntetyczną roślin której odzwierciedleniem jest m.in zdolność do gromadzenia suchej masy. Nawet pobieżna analiza roślin uprawnych wykazuje, że mogą się one różnić pod względem produktywności bardzo istotnie. Na przykład, trzcina cukrowa jest w stanie wytworzyć w strefie tropikalnej w ciągu jednego roku około 9000 g suchej masy na 1 m<sup>2</sup>. Nowe odmiany ryżu (np. Deege-woo-gen) uzyskane ostatnio przez hodowców filipińskich i japońskich mogą wydawać trzy plony w ciągu roku, czyli w sumie około 2000 g ziarna z 1 m<sup>2</sup>. W warunkach intensywnej uprawy kukurydzy w Stanach Zjednoczonych uzyskuje się plon ziarna sięgający 500 g na 1 m<sup>2</sup>. Jeśli uwzględnić także plewy, słomę, liście i korzenie uzyskamy produkcję netto 3—5-krotnie wyższą od wartości obliczonej dla ziarna. Mimo iż łączna produktywność netto wzorowych upraw rolniczych kształtuje się na poziomie 6000—10 000 g, to praktycznie wartość ta jest nieco niższa i wynosi około 1000—3000 g suchej masy z 1 m<sup>2</sup> w ciągu jednego roku. Wielkość ta jest również charakterystyczna dla typowych ekosystemów leśnych.

Celowość uprawy jakiegoś gatunku roślin można również oceniać na podstawie nakładów energii w trakcie całego cyklu produkcyjnego i powiązania tych nakładów z energią, uzyskiwaną w postaci użytecznych części plonu.

Wielkość współczynnika uzyskiwanego z podzielenia plonu z hektara, wyrażonego w jednostkach energii, przez ilość energii zużytej na uzyskanie tego plonu wskazuje na celowość uprawy przede wszystkim

pszenicy (przy plonie 38 q/ha  $^{\circ}E=4,6$ ), następnie buraka cukrowego (przy plonie 375 q/ha  $^{\circ}E=3,8$ ) i ziemniaka (przy plonie 262,5 q/ha  $^{\circ}E=3,5$ ). Nieco inną kolejność uzyskuje się przy obliczaniu nie ilości uzyskiwanych kalorii, lecz ilości białka w kilogramach z hektara. W tym wypadku prawie niezależnie od wielkości nakładów energetycznych czołowe miejsce zajmą rośliny motylkowe (17). Uwzględniając powyższe, jak również coraz dotkliwszy deficyt białka w świecie rośliny motylkowe należy więc uznać za jeden z najatrakcyjniejszych komponentów płodozmianu.

Można stwierdzić, że uważna analiza ciągu produkcji zwierzęcej nasuwa wnioski, iż wyższa wydajność niekoniecznie musi być osiągnięta dzięki większym nakładom, w tym m.in. środków, które można określić w jednostkach energii. Wydaje się, że szczególnie w warunkach intensywnego rolnictwa będzie wzrastała rola rezerw ukrytych w technologiach pozwalających uniknąć strat, nawet jeśli będzie to wymagało początkowo dodatkowych nakładów.

Nawet pobieżna analiza ogniw składających się na cykl produkcji zwierzęcej wskazuje na dwie grupy tych rezerw. Pierwszą grupę stanowią rezerwy ukryte w cyklu roślinnym, a więc czynności związane z przygotowaniem i skarmianiem paszy. Łatwość nabycia i stosunkowo niskie koszty środków ochrony roślin spowodowały, że stosuje się je niejednokrotnie tam, gdzie lepsze efekty dałoby zastosowanie metod agrotechnicznych, prawidłowego płodozmianu itp. metod, nie wywierających niekorzystnego wpływu na roślinę. Aby uświadomić sobie jak duże jeszcze rezerwy tkwią w aktualnie stosowanych metodach uprawy roślin, w tym przede wszystkim traw pastewnych, wystarczy zapoznać się m.in. z pracami francuskiego badacza Voisena. Wynika z nich, że straty spowodowane przez niewłaściwe nawożenie, pestycydy i choroby, niemożność skutecznego zbioru i przechowywania, a także stosowanie niewłaściwych metod konserwowania pasz są ogromne.

Słoma może być np. użytkowana jako surowiec przemysłowy do produkcji materiałów budowlanych, papieru itd. Pierwszy papier ze słomy uzyskano już na początku XIX wieku. Obecnie ocenia się, że do produkcji papieru zużywa się rocznie na świecie około 1 mln ton słomy. Na przykład, w Wielkiej Brytanii trwają prace nad budową młyna do produkcji papieru przerabiającego rocznie około 300 000 ton słomy. Wprowadzenie tego agregatu do eksploatacji zmniejszyłoby roczne zapotrzebowanie na pulpę drzewną o 4<sup>o</sup>/<sub>o</sub>.

Po odpowiednim uzdatnieniu słoma może być również wartościowym komponentem pasz. Dla polepszenia jej strawności stosowano początkowo sodę kaustyczną. Mimo uzyskiwania dobrych wyników metoda ta nie znalazła jednak szerszego zastosowania prawdopodobnie wskutek

konieczności zagospodarowania dużych ilości zanieczyszczonej wody, a ponadto uzyskiwana masa jest dość nieprzyjemna w użyciu.

Aktualnie stosowana metoda duńska przewiduje mielenie słomy, a następnie traktowanie jej stężoną sodą kaustyczną i prasowanie uzyskanej masy do postaci granulatu. Proces delignifikacji przyspiesza się działając sodą kaustyczną w podwyższonej temperaturze i pod ciśnieniem.

W Stanach Zjednoczonych bada się obecnie możliwość uzdatniania słomy za pomocą płynnego amoniaku. Metoda ta zwiększa nie tylko strawność słomy, ale również zawartość w niej azotu.

Wielu farmerów zadaje trzodzie chlewnej słomę mieloną jako paszę uzupełniającą. Zdaniem badaczy z Nottingham University, słoma w tej postaci może stanowić około 30% dziennej diety, zaś naukowcy z Livestock Commission uważają, że tylko 10%. Różnica zdań jest prawdopodobnie spowodowana faktem, że zwierzęta z Nottingham były na diecie zawierającej około 20% melasy, dzięki czemu chętnie zjadały również sproszkowaną słomę.

#### *Możliwość uzyskiwania materiałów użytkowych i energii z odpadków organicznych*

Rolnictwo charakteryzuje się stosunkowo rozrzutną gospodarką paliwami energetycznymi, energią elektryczną, a nawet słoneczną. Powyższe wypływa m.in. z faktu, że w intensywnie prowadzonych gospodarstwach rolnych prawie nie zagospodarowuje się żadnych resztek organicznych czy odpadków roślinnych. Przykładem może być np. rolnictwo brytyjskie, w którym każdego roku spala się na polach ponad 3 mln ton słomy. Nie kwestionując określonego znaczenia sanitarnego tego zabiegu należy stwierdzić, iż odpowiednie zagospodarowanie tak dużej ilości słomy mogło by przynieść znaczne korzyści praktyczne.

Na niektóre możliwości wykorzystania słomy jako paliwa już wskazyaliśmy. Tego rodzaju próby podejmowano już w epoce maszyn parowych, gdy silniki napędzające młocarnie wprawiano w ruch energią wyzwalaną przy spalaniu słomy. Bardziej współczesne przykłady można znaleźć w Danii, gdzie ciepłem uzyskiwanym ze spalania słomy ogrzewa się mieszkania.

Czynione są również próby uzyskania gazu palnego ze słomy i innych resztek organicznych. Opracowano nawet specjalne urządzenia, w których resztki roślinne są przekształcane w metan przez odpowiednio dobrane szczepy bakterii. Metan tworzy się w dwu etapach. W etapie pierwszym specyficzna grupa organizmów saprofitycznych przekształca skrobię, błonnik, białka i surowe związki organiczne w lotne kwasy

tłuszczowe. W drugim etapie procesu związki te, tj. kwasy tłuszczowe są przekształcane przez bakterie metanowe w metan i dwutlenek węgla. Intensywność podawania świeżej masy organicznej musi być tak kontrolowana, by bakterie metanowe nadały ją przekształcić w lotne kwasy tłuszczowe. Po osiągnięciu stanu równowagi urządzenie działa niejako samoczynnie.

W warunkach gospodarstw rolnych stosunkowo najprościej można wytwarzać metan metodą „pojemnikową”. Nie tylko należy ona do najprostszych, ale nie wymaga również mechanicznego uzdatniania materiału roślinnego. Pomimo stosunkowo dużej prostoty metoda ta jest stosunkowo pracochłonna ze względu na konieczność ładowania pojemników. Ciągły dopływ gazu można uzyskać po zróżnicowaniu faz produkcji w poszczególnych pojemnikach.

W metodzie produkcji ciągłej metanu transport i wymiana substratu odbywają się w sposób nieprzerwany. Pozwala to uzyskać wyższą wydajność procesu w przeliczeniu na jednostkę objętości zbiornika, w którym odbywa się przetwarzanie resztek roślinnych w gaz. System produkcji ciągłej jest początkowo znacznie droższy, gdyż wymaga wyposażenia w urządzenia nadające materiałowi roślinnemu postać, dzięki której można go wpompować i wypompować ze zbiornika. Ponieważ wszystkie te operacje są wykonywane mechanicznie, nakłady pracy ręcznej są stosunkowo niskie, zaś objętość zbiornika, w którym zachodzi rozkład masy organicznej może być o trzy czwarte mniejsza niż w metodzie pojemnikowej.

W metodzie drugiej, tj. produkcji ciągłej, intensywność wytwarzania metanu można utrzymać na bardzo wysokim poziomie, dzięki stałej dużej aktywności populacji bakterii, które są ponadto bardziej odporne na zmiany temperatury. Dowiedziono m.in., że jeśli w metodzie pojemnikowej bakterie mezofilne osiągają górną granicę aktywności w temperaturze 32°C, to w metodzie produkcji ciągłej poziom ten osiągają bakterie już w temperaturze 22°C. Powyższy fakt ma szczególne znaczenie w strefach o klimacie umiarkowanym, gdzie część wyprodukowanego gazu musi być zużywana do ogrzewania „reaktorów”, szczególnie podczas zimy (2).

### *Możliwość wykorzystania w rolnictwie innych niekonwencjonalnych źródeł energii*

Wydaje się, że istnieje szereg niekonwencjonalnych źródeł energii, których wykorzystanie w produkcji rolniczej jest zupełnie możliwe, a nawet konieczne. Oprócz siły wiatru i potoków wodnych lub rzek, źródłem napędu wielu urządzeń rolniczych może być energia promieni

słonecznych. Świadczą o tym funkcjonujące od wielu lat w Związku Radzieckim, we Francji i w innych krajach baterie słoneczne. Uzyskiwana dzięki tym bateriom energia jest wykorzystywana do ogrzewania mieszkań, odsalania wody morskiej i napędzania urządzeń irygacyjnych, gdyż te ostatnie powinny pracować najwydajniej właśnie w czasie upałów. Na przeszkodzie w rozpowszechnieniu tych urządzeń stoi jeszcze fakt, iż są one zbyt kosztowne. Powyższe odnosi się również do możliwości wykorzystania siły przyływów i odpływów morskich. Gwoli ścisłości należy jednak stwierdzić, iż również w tej dziedzinie poczyniono bardzo obiecujące próby, konstruując urządzenia przetwarzające energię przepływu i odpływu morza w energię elektryczną.

Należy ponadto stwierdzić, że dotychczas w zasadzie w niewielkiej skali wykorzystuje się możliwości, jakie stwarza metoda radiacyjna. Wprawdzie buduje się coraz więcej dużych siłowni atomowych, skonstruowano udane modele stymulatorów serca, ale nie opracowano dotychczas urządzeń, któreby zasilają w energię elektryczną oddzielne gospodarstwa rolne. Na przeszkodzie stoi zapewne fakt, że chociaż istnieją obecnie możliwości techniczne budowy takich urządzeń, to ich koszt byłby niewspółmiernie wielki do korzyści płynących z ich zastosowania.

Badacze wskazują na pośrednie źródło energii, jakim mogą być dla rolnictwa rośliny motylkowe, które jeśli rozpatrywać zagadnienie w skali całej kuli ziemskiej, należy uznać za najważniejsze naturalne źródło azotu wiązanego z powietrza. Mikroorganizmy, żyjące w symbiozie z uprawnymi roślinami motylkowymi mogą wiązać rocznie około 350 kg azotu na hektar. O wynikających stąd oszczędnościach niech świadczy fakt, że przy przemysłowym wiązaniu azotu z powietrza potrzebne jest około 6000 kcal dla związania jednego kilograma tego pierwiastka. Mimo to, ilość azotu wiązanego metodami przemysłowymi podwaja się przeciętnie co sześć lat. Należy również podkreślić, że wraz z opadami deszczu rocznie dostaje się na ziemię około 25 milionów ton azotu.

Omawiając rolę roślin motylkowych w bilansie energetycznym rolnictwa nie należy pomijać ich znaczenia jako źródła wysokowartościowego białka o składzie aminokwasowym prawie identycznym jak u mięsa. Dotyczy to w szczególności fasoli i grochu.

Rośliny motylkowe wprawdzie nie mogą być źródłem napędu dla jakiegokolwiek maszyny rolniczej, lecz ich uprawa zmniejsza zapotrzebowanie na tak energochłonny nawóz jak mocznik, saletra czy inne. Uprawa roślin motylkowych jest możliwa jednak tylko na niektórych glebach, chociaż więc przyswajanie biologiczne może być istotnym źródłem azotu, nie może być jednak jedynym jego źródłem. Tym bardziej niezwykle celowe wydają się badania nad mechanizmem przyswajania azotu z powietrza i poszukiwaniem biotypów odznaczających się dużą

intensywnością tego procesu. Sprawa wydaje się tym pilniejsza, że dotychczas zrobiono bardzo niewiele w tej dziedzinie. Na badania te nie powinno brakować środków pomimo że w skali światowej najwięcej paliwa jest zużywane w rolnictwie na pracę maszyn polowych.

*Niektóre możliwości użytkowania ładu w świetle deficytu  
paliw kopalnych*

Zgodnie z prognozami, w 2000 roku populacja ludzka podwoi się, zaś zużycie produktów roślinnych spożywanych bezpośrednio lub przekształconych w mięso albo inne produkty pochodzenia zwierzęcego, będzie trzykrotnie wyższe od zapotrzebowania człowieka na kalorie. Zużycie energii na wyprodukowanie wymienionej ilości żywności będzie się kształtowało na dzisiejszym poziomie Holandii, zaś poziom zużycia paliw kopalnych na wytworzenie niezbędnej ilości produktów roślinnych będzie 6—25-krotnie wyższy niż obecnie w tym kraju.

Prognozując rozwój produkcji rolniczej nie należy również zapominać o tym, że w ostatnich pięciu latach ropa naftowa zaspokajała około 80% światowego zapotrzebowania na energię. Wskutek ograniczonej ilości zasobów obserwuje się ostatnio tendencję do zmniejszania ilości ropy naftowej przeznaczonej na eksport. Tak więc, nawet jeśli światowa produkcja ropy wzrośnie w najbliższych 20—30 latach, to wydaje się bardzo wątpliwe by towarzyszył temu wzrost ilości ropy na rynku światowym. Nowo odkryte złoża będą bardziej uważane za majątek narcdowy niż za towar eksportowany. Należy pamiętać również o tym, że kraje będące tradycyjnymi eksporterami ropy same będą wkrótce zużywały znaczne ilości energii (11). Powyższe fakty uzasadniają pogląd, że nie należy odrzucać żadnej możliwości zwiększenia własnych zasobów energetycznych.

Zwiększając nieustannie wydobycie ropy naftowej przestano w końcu zwracać uwagę na fakt, że jej zapasy są ograniczone. Uświadomiono sobie to dopiero w wyniku kolejnego konfliktu politycznego. Od tego czasu datuje się ponowne wzmożone zainteresowanie tradycyjnymi źródłami energii, jak węgiel i drewno. Zwrócono uwagę na fakt, że rolnictwo jest dotychczas praktycznie jedyną dziedziną, w której energia słoneczna jest przekształcana w chemiczną. Jednocześnie podkreśla się, że rośliny są mało efektywnymi absorbentami tej energii, gdyż utrwalają około 1—2% w stosunku do ilości padającej na jednostkę powierzchni ziemi. Jeśli rośliny naświetla się światłem rozproszonym o długości fali najefektywniejszej pod względem aktywacji barwników fotosyntetyzujących, wówczas około 20% energii świetlnej ulega przekształceniu w chemiczną. Przy działaniu dziennym światłem słonecznym efektywność prze-

kształcenia w energię chemiczną wynosi tylko 10—11%, gdyż część tego światła ulega odbiciu, zaś inna część nie jest absorbowana przez rośliny z powodu niewłaściwej długości fali. Z ilości energii pochłoniętej, połowę zużytkowują rośliny nieproduktywnie na kontynuowanie procesów życiowych, szczególnie transpiracji i oddychania. Reszta, tj. około 5—6% światła dziennego ulega zmagazynowaniu w postaci energii chemicznej. Liczby te należy jednak uznać za zawyżone, gdyż mogą one jedynie charakteryzować rośliny asymilujące nieprzerwanie przez całą dobę i rosnące w warunkach idealnych. Jeśli wielkość tę obliczać dla całego roku wówczas okaże się, że zaledwie około 3% padającej na ziemię energii promienistej jest magazynowane przez rośliny w postaci energii chemicznej. Przy tej intensywności absorpcji energii świetlnej, czynnikiem limitującym staje się brak dwutlenku węgla. Uwzględniając również ten czynnik, należy ostatecznie przyjąć, że tylko 1% padającej na ziemię energii słonecznej jest przetwarzane przez rośliny zielone w energię chemiczną. Zdaniem Woodwella (20) w procesie fotosyntezy jest przyswajana zaledwie 0,1% energii docierającej ze słońca na ziemię. W skali światowej równa się to jednak produkcji rocznej w granicach 150—200 miliardów ton suchej masy organicznej, tak w postaci żywności produkowanej dla człowieka, jak energii utrzymującej systemy życia biosfery, w tym lasy, łąki, oceany, jeziora, rzeki, tundry i pustynie.

Zdaniem Cornfortha (6) wielkość jednego procenta dotyczy obszarów kuli ziemskiej o klimacie umiarkowanym, gdyż w klimacie tropikalnym należy ją podwoić. W skali kuli ziemskiej proces fotosyntezy jest więc najważniejszym źródłem energii, z którego w postaci aktualnie wydobywanych paliw kopalnych ludzkość nadal korzysta.

Rozpatrując możliwość poprawienia bilansu energetycznego dochodzimy do wniosku, że droga do tego celu wiedzie przede wszystkim przez lepsze wykorzystanie możliwości, jakie stworzyła człowiekowi natura. Jak najpowszechniej rozumiana realizacja procesu fotosyntezy, nie tylko przez wprowadzenie do uprawy nowych intensywnych odmian czy gatunków roślin uprawnych, ale przede wszystkim przez intensywną i racjonalną gospodarkę leśną, może istotnie poprawić zasoby energetyczne świata. Lasy należy więc uznać za najważniejsze odnawialne źródło energii. Jeśli przyjąć 30 lat za średni wiek drzewa to okaże się, że na drewno jest przetwarzane co roku około 15 miliardów ton węgla. Według szacunków, występujące na kuli ziemskiej lasy zawierają około 400—500 miliardów ton węgla.

Zasoby węgla występującego w postaci węgla kamiennego, brunatnego i zasobów ropy naftowej przekraczają przeszło 50-krotnie ilości węgla nagromadzonego w żywych organizmach. Oszacowane aktualnie zasoby węgla kamiennego na świecie wynoszą około 7500 miliardów ton.

W miarę jednak wyczerpywania się tych zasobów, znacznie wzrastać rola drewna, które po opracowaniu odpowiednich technologii przetwarzania na paliwa gazowe, płynne, a nawet pasze i produkty spożywcze stanie się surowcem, warunkującym istnienie człowieka.

#### LITERATURA

1. Bolin B.: Obieg węgla w przyrodzie. Biosfera. Zbiorowa. PWN, Warszawa 1973.
2. Boshoff W.H.: Fuel from organic waste. Span 18, 1, s. 29—30, 1975.
3. Brown H.: Wytwarzanie przez społeczeństwo materiałów jako proces zachodzący w biosferze. Biosfera. Zbiorowa. PWN, Warszawa 1973.
4. Brown L.R.: Produkcja żywności jako proces zachodzący w biosferze. Biosfera. Zbiorowa. PWN, Warszawa 1973.
5. Cloud P., Gibor A.: Obieg tlenu w przyrodzie. Biosfera. Zbiorowa. PWN, Warszawa 1973.
6. Cornforth J.W.: Energy out of agriculture. Span. 18, 1, s. 10—11, 1975.
7. Deevy E. Jr.: Obieg związków mineralnych w przyrodzie. Biosfera. Zbiorowa. PWN, Warszawa 1973.
8. Delwiche C.C.: Obieg azotu w przyrodzie. Biosfera. Zbiorowa. PWN, Warszawa 1973.
9. Hutchinson C.E.: Biosfera. Zbiorowa. PWN, Warszawa 1973.
10. Matthews J.: Energy consumption in agricultural field work. Span 18, 1, s. 25—26, 1975.
11. Newland E.V., Price G.G.: The peaking of the oil age. Span 18, 1, s. 4—6, 1975.
12. Oganiezow A.: Awtomaty idut na polia. Uradzaj, Mińsk 1974.
13. Oort A.H.: Obieg energetyczny na kuli ziemskiej. Biosfera. Zbiorowa. PWN, Warszawa 1973.
14. Penman H.L.: Obieg wody w biosferze. Biosfera. Zbiorowa. PWN, Warszawa 1973.
15. Schuffelen A.C.: Energy balance in the use of fertilisers. Span 18, 1, s. 18—19, 1975.
16. Singer S.F.: Wytwarzanie energii jako proces zachodzący w biosferze. Biosfera. Zbiorowa. PWN, Warszawa 1973.
17. Spedding C.R., Walsingham J.M.: Energy use in agricultural field systems. Span 18, 1, s. 7—9, 1975.
18. Wilton B.: Scope for straw. Span 18, 1, s. 32—33, 1975.
19. Wit de C.T.: Agriculture's uncertain claim on world energy resources. Span 18, 1, s. 2—3, 1975.
20. Woodwell G.M.: Obieg energetyczny w biosferze. Biosfera. Zbiorowa. PWN, Warszawa 1973.