

JANUSZ HAMAN, AGNIESZKA KALETA
SGGW — Akademia Rolnicza w Warszawie

BARIERY STOJĄCE PRZED MECHANIZACJĄ ROLNICTWA

Informację na temat tego, ilu ludzi może wyżywić jeden rolnik, jak szybko maleje liczba osób zatrudnionych w rolnictwie w krajach rozwiniętych i jaka jest nadwyżka żywności produkowanej przez rolników w tych krajach można znaleźć w każdym kolejnym roczniku FAO. Wynika z niej, że rolnicy ci mogą wyżywić nie tylko mieszkańców własnego kraju, ale również krajów cierpiących na deficyt żywności. Jednocześnie rolnicy w krajach ubogich bądź o prymitywnym rolnictwie mogą z ledwością a często nawet nie mogą wyżywić swoich własnych rodzin.

Problem niedoboru żywności w tych regionach świata jest bardzo dobrze znany pomimo faktu, że w krajach tych więcej niż 60% mieszkańców zatrudnionych jest w rolnictwie. Kraje te zmuszone są do importowania żywności, nawet wtedy, gdy warunki naturalne sprzyjają produkcji rolniczej.

Co jest przyczyną tego deficytu? Jeśli pominiemy warunki naturalne, nad którymi kontrola leży poza granicami ludzkich możliwości, to pozostałe przyczyny można sprowadzić do dwóch czynników, a mianowicie: — dostępność i umiejętność wykorzystywania informacji, — możliwość dysponowania energią.

Pierwszy czynnik zawiera zarówno warunki ekonomiczne, jak i błędy w polityce agrarnej i zależy od poziomu wiedzy ogólnej i zawodowej.

Drugi czynnik natomiast zawiera te wszystkie nakłady materialne, które są zużywane przez rolnika w procesie produkcji, bowiem wszystkie nakłady takie jak budynki, maszyny, paliwa i chemikalia mogą być przedstawione w postaci skumulowanej energii. Można przedstawić cztery hipotetyczne kombinacje tych czynników ilustrujące przypadki ekstermalne, pomiędzy którymi znajdują się przypadki rzeczywiste, mianowicie:

1. Niedostateczny dostęp do informacji i niewiele źródeł energii.
2. Całkowity dostęp do informacji i niewiele źródeł energii.
3. Niedostateczny dostęp do informacji i duże rezerwy energii.
4. Całkowity dostęp do informacji i duże rezerwy energii.

* Artykuł napisany w ramach realizacji programu CPBP 04.10.03 i wygłoszony na konferencji zorganizowanej przez Zakład Biologii Rolnej i Leśnej PAN nt.: „Przyrodnicze bariery rozwoju rolnictwa” Dymaczewo 1986.

Chociaż najbardziej prawdopodobne są przypadki 1 i 4, z łatwością można wykazać istnienie krajów o dość dobrze rozwiniętej edukacji i znacznej chłonności wiedzy wśród ludzi związanych z produkcją rolniczą, które nie są zdolne rozwinąć swojej gospodarki na tyle, aby zapewnić dostateczny dopływ energii w różnych jej formach. Są również takie kraje, które mając do dyspozycji wysokie rezerwy kapitału pochodzące ze sprzedaży deficytowych surowców, mogą zapewnić rolnictwu każdą żadaną ilość środków produkcji, ale nie są w stanie zapewnić mu dostatecznego dopływu wiedzy jak również wykorzystania jej.

Każda z powyższych kombinacji czynników niesie ze sobą właściwe jej zagrożenia. Tematem niniejszego opracowania nie jest jednakże omawianie wszystkich tych zagrożeń a jedynie rozważanie ekologicznych aspektów energetyki rolniczej.

Część społeczeństwa, która dostrzega zagrożenie, jakie dla środowiska naturalnego stwarza przemysł i komunikacja czy też brutalna i bezmyślna dewastacja przyrody, często nie docenia zagrożeń, jakie niesie ze sobą rolnictwo. Dzieje się tak dlatego, gdyż wszystkie negatywne zjawiska związane z tą ostatnią formą działalności człowieka występują w formach mniej skoncentrowanych i okazałych. Nawet jeżeli dostrzega się zagrożenia jakie dla środowiska naturalnego stwarza rolnictwo, to zauważalne są przede wszystkim takie, które bezpośrednio zagrażają ludziemu zdrowiu czy środowisku naturalnemu, jak na przykład, zatrucie żywności chemikaliami, eutrofizacja i zatrucie wód czy erozja gleby. Często zagrożeniami tymi są okropnie cuchnące pola czy wody zanieczyszczone odpadami rolniczymi, których racjonalne opanowanie wydaje się niemożliwe. Z drugiej strony lekceważone są mniej widoczne efekty rozłożone w czasie, typowe dla rolnictwa, których skutki występują dopiero po kilku latach, kiedy stają się już nieodwracalne bądź wymagają ogromnych nakładów dla ich eliminacji. Tak jest w przypadku źle wykonanego drenowania kreciego, które pomimo użycia drogiego sprzętu prowadzi do nieodwracalnej dewastacji gleby. W rolnictwie można napotkać wiele tego typu przypadków.

Należy zdawać sobie sprawę z faktu, że każdy proces w rolnictwie zakłóca biocenozę i naturalny ekosystem i w konsekwencji stwarza zagrożenie dla środowiska naturalnego. Jest to jednakże cecha właściwa działalności ludzkiej, która polega na fakcie zmniejszania każdego czynnika ograniczającego wzrost populacji ludzkiej. Cecha ta zmusza do dalszego i szybszego odstępowania od naturalnych warunków życia człowieka jako elementu ekosystemu a jednocześnie do formowania specyficznego biotechnicznego środowiska, które przynajmniej pozornie, jest w zgodzie z psychologicznymi mechanizmami człowieka.

Mechanizacja rolnictwa jest oprócz chemii czynnikiem, który najbardziej agresywnie atakuje środowisko naturalne. Atak ten przyjmuje rozmaity charakter, jako że wpływ mechanizacji na agroekosystem jest różnorodny.

Można przyjąć, że głównym celem mechanizacji rolnictwa jest zastępowanie ludzi i zwierząt maszynami. Oczywiście, gdy dysponuje się wystarczającą ilością pracy żywej odpowiednie czynności mogą być wykonane „metodą chińską”. Jakkolwiek bez trudu można wykazać, że jeżeli warunki agrotechniczne zależące od klimatu i cech fizjologicznych roślin mają być spełnione, to istnieją także prace, które mogą być wykonane jedynie przy pomocy maszyn. Do takich prac należą przede wszystkim orka głęboka, intensywne nawożenie gleby, czy precyzyjna ochrona roślin.

Jeżeli zgodzimy się z tezą, że mechanizacja rolnictwa stwarza zagrożenie dla środowiska naturalnego i że należy podjąć działania zapobiegające temu zagrożeniu, to powstaje pytanie, kto powinien nakładać ograniczenia na taki rodzaj mechanizacji, który ma szkodliwy wpływ na środowisko naturalne lub inaczej, kto powinien tak pokierować rozwojem mechanizacji, aby zapewnić ochronę środowiska naturalnego. Osobiście uważamy, że zagrożenia stwarzane przez niektóre rodzaje mechanizacji występują przede wszystkim dlatego, ponieważ brak jest właśnie tego typu działań lub są one zbyt słabe.

Jeśli prześledzi się historię rozwoju mechanizacji rolnictwa, można bez trudu zauważyć, że narzędzia rolnicze służące do uprawy roli stosowane są od najdawniejszych czasów. Na rozwój tych narzędzi miało wpływ wiele czynników, a mianowicie: ekonomiczne, psychologiczne, ergonomiczne, techniczne itd. Aż do naszych czasów nie rozważano nigdy czy nowe konstrukcje będą miały niekorzystny wpływ na środowisko naturalne. Jest to ważne o tyle, że właśnie procesy biologiczne są zwykle najsłabszym punktem w technice rolniczej. Rozwój techniki rolniczej był od zarania podporządkowany technicznym możliwościom wytwarzania środków produkcji, z reguły natomiast podporządkowywał sobie agrotechnikę, co prowadziło do całkowitej zmiany technologii uprawy lub nawet do zaniechania produkcji takich upraw, których mechanizacja była zbyt trudna lub zbyt kosztowna.

Rozwój techniki rolniczej na przestrzeni wieków nie przebiegał równomiernie zaś etapy rozwoju były wyznaczane z reguły przez opanowanie takich problemów jak: wprowadzenie metali do konstrukcji narzędzi, problemy energetyczne czy biologiczne.

Sposobów podziału etapów mechanizacji rolnictwa na poszczególne okresy jest wiele, najważniejszy i najprostszy wydaje się jednak podział opierający się na efektach uzyskiwanych w wyniku zastosowania nowych

źródeł energii. Opierając się na tym podziale można wyróżnić co najmniej trzy okresy.

Pierwszy okres trwający do chwili wprowadzenia silnika parowego jako źródła energii w rolnictwie powodował przede wszystkim oszczędności w robociznie, ale nie miał bezpośredniego wpływu ani na technologię uprawy ani na plony. Wszystkie prace zmechanizowane w tym okresie mogły być wykonywane w zasadzie z tą samą wydajnością i w tym samym czasie robocizną ręczną, jeśli miało się jej pod dostatkiem. Rozwój mechanizacji w tym okresie szedł więc w kierunku rozładowania szczytów zapotrzebowania na pracę oraz zmechanizowania prac wymagających największego wysiłku. Maszyny w tych czasach charakteryzowały się małym zapotrzebowaniem energii, małymi szybkościami pracy i małym ciężarem i dlatego ich niezamierzony wpływ na środowisko był nieznaczny.

Drugi okres, który zaczął się z chwilą wprowadzenia silnika parowego i w wielu krajach trwa po dzień dzisiejszy, charakteryzuje się możliwością dysponowania dowolną niemal ilością energii pochodzącej ze źródeł mechanicznych. Okres ten spowodował wyraźny wzrost produkcji, gdyż umożliwiał wykonanie takich prac, które dla maszyn ręcznych i sprzężajnych były zbyt ciężkie lub, przy posiadanej ilości robocizny, nie mogły być wykonane w optymalnym, z punktu widzenia agrotechniki, terminie.

Okres trzeci występuje obecnie w krajach o najwyższym poziomie mechanizacji. Charakteryzuje się maszynami wymagającymi wysoko wykwalifikowanej obsługi i takim nasyceniem rolnictwa energią, które powoduje, że dalsze techniczne ulepszenia dają jedynie nieznaczne efekty produkcyjne.

Rozwój mechanizacji w tych krajach ma podłoże i skutki przede wszystkim ergonomiczne. Konieczność bowiem zatrzymania w rolnictwie dobrze płatnych operatorów maszyn, którzy są praktycznie niezastąpieni, jest związana z zapewnieniem im atrakcyjnych warunków pracy nawet kosztem znacznego wzrostu ceny maszyny.

W pierwszym okresie narzędzia wyrabiane były z reguły z inicjatywy rolnika lub przynajmniej pod jego dokładnym nadzorem. Były to narzędzia dostosowane do tradycyjnej agrotechniki i do gatunków uprawianych roślin. W drugim i trzecim okresie inicjatywa w dziedzinie konstrukcji maszyn przechodzi stopniowo do przemysłu, zostaje podporządkowana technologii produkcji maszyn, często zupełnie nie znanej rolnikom, i wywiera wpływ na rolnictwo. Wpływ ten daje się zauważyć nie tylko poprzez zmiany w agrotechnice na skutek dostosowywania jej do istniejącego wyposażenia ale również poprzez fakt hodowli takich ga-

tunków roślin i zwierząt, które byłyby najwygodniejsze dla zmechanizowanego procesu produkcji. Projektując taki proces największą uwagę zwraca się na minimalizację kosztów produkcji i konkurencję na rynku, co powoduje, że inne aspekty, włączając w to agresywne oddziaływanie maszyn na środowisko naturalne, są pomijane. Niebezpieczeństwa związanego z tym faktem nie można nie doceniać. Chociaż zdajemy sobie obecnie sprawę z faktu, iż szkody wynikłe z oddziaływania maszyn rolniczych ujawniają się dopiero po długim czasie i są często nieodwracalne, nie znaczy to jednak, że także producenci maszyn biorą ten fakt pod uwagę.

Postęp we współczesnej technice nie następuje prawie nigdy w wyniku jednej ogólnej wizji ale tworzy się ewolucyjnie na drodze stopniowych zmian w rozwiązaniach polegających często na następujących po sobie przemianach i powtarzających się błędach. Można przytoczyć wiele przykładów potwierdzających powyższe stwierdzenie.

Powróćmy jednak do poprzednich rozważań. Stwierdzono w nich fakt przejmowania przez przemysł inicjatywy w konstruowaniu maszyn rolniczych. Przemysł motywowany przede wszystkim atrakcyjnością maszyn oferowanych klientowi jest zainteresowany ich wysoką dochodowością szczególnie wtedy, gdy ceny maszyn są bardzo wysokie. Jest to bezpośrednio i ujawniające się w krótkim czasie oddziaływanie mechanizacji. Dla nabywcy maszyny ważne są bowiem skutki doraźne, a nie efekty o długim horyzoncie czasowym, tym bardziej gdy są one bezpośrednio niedostrzegalne i ujawniają się czasem w następnym pokoleniu.

Z drugiej strony przemysł naciskany przez konkurencję nie może, z braku czasu, poddawać produkowanych przez siebie maszyn dostatecznie długim testom pozwalającym na jednoznaczne stwierdzenie braku szkód wyrządzanych w środowisku naturalnym przez te maszyny. Ponadto nie ma również jednomyślności co do kryteriów określających owe szkody.

Przy rozbieżnych interesach przemysłu i rolników czy biologów stroną mocniejszą jest zawsze przemysł. Współczesna wielkoprzemysłowa technologia produkcji maszyn wprowadza na coraz szerszą skalę automatykę a ostatnio także elektronikę tworząc tak dalece wyspecjalizowaną i hermetyczną wiedzę, że nawet rolnik biegły w sprawach techniki może dać się łatwo przekonać, iż proponowane rozwiązanie jest jedynie możliwe i to raczej rolnik powinien podporządkować się oferowanej mu technice niż technika potrzebom rolnika. Poza tym potencjał finansowy będący do dyspozycji przemysłu jest nieporównywalnie duży w stosunku do możliwości finansowych jednego rolnika, co powoduje że „indoktrynacja” użytkownika po linii korzystnej dla przemysłu jest stosunkowo łatwa.

Prezentowanie tu korzyści wynikających z mechanizacji rolnictwa wydaje się bezcelowe. Są one tak widoczne jak oczywisty jest fakt, że niemożliwa byłaby produkcja żywności na skalę wymaganą w obecnych czasach i jaka będzie niezbędna w przyszłości jedynie przy pomocy pracy ręcznej.

Chcemy tutaj zwrócić uwagę na błędy metodyczne czy raczej, określając bardziej precyzyjnie, logiczne popełniane często w rozważaniach dotyczących produkcji rolniczej. Utrzymuje się mianowicie, że w wyniku produkcji rolniczej wytwarza się w przeciwieństwie do, na przykład, wydobywania surowców mineralnych, dobra odtwarzalne. Byłoby to prawdą jedynie w tym przypadku, gdyby wystarczały nam tylko takie uprawy, przy których nie używa się środków produkcji wytworzonych przez przemysł. Te środki produkcji są bowiem wyrabiane z reguły z nieodtwarzalnych surowców mineralnych i dlatego podlegają wszystkim ograniczeniom dotyczącym tych surowców. Dlatego, jeżeli stwierdzimy, że rolnictwo bez mechanizacji i bez chemizacji jest zupełnie niemożliwe, musimy zdawać sobie sprawę z tych ograniczeń.

Wróćmy znów do negatywnego wpływu mechanizacji na agroekosystem. Temat ten jest tak szeroki, że wymaga znacznego ograniczenia. Dlatego chcielibyśmy ograniczyć niniejsze rozważania do najważniejszej gałęzi produkcji rolniczej, a mianowicie do produkcji roślinnej, która odgrywa główną rolę w procesach wymiany masy i energii. Chcemy także zaprezentować przykłady dotyczące wyłącznie zużywania energii przez maszyny. Jest to ważny problem, gdyż należy zapobiegać myleniu tej energii z całą energią skumulowaną używaną w rolnictwie, w której zawiera się również cała energia niezbędna do wytworzenia środków produkcji używanych w rolnictwie. Duże ilości energii zawarte są np. w chemikaliach wprowadzanych do systemów ekologicznych; energia ta wyrażana jest poprzez zmiany metabolizmu organizmów w tych systemach. Nie jest to jednak przedmiotem naszych rozważań, choć problem ten był już poruszany wcześniej.

Również tak spektakularne i często prezentowane efekty jak całkowite zatrucie środowiska nieczystościami, odpadami czy gazami prawie że nie dotyczą mechanizacji i występują często tam, gdzie maszyny praktycznie nie są używane. W takim przypadku można mówić jedynie o zmianie skali problemu ale jest to zmiana jedynie ilościowa a nie jakościowa.

Zajmijmy się najpierw oddziaływaniem energetycznym maszyn i traktorów na glebę.

Wyłączmy z rozważań wszystkie techniczne oddziaływania mające na celu radykalną zmianę środowiska glebowego, to znaczy procesy rekultywacyjne i niwelacyjne, podstawowe użytkowanie gleby i wszystkie for-

my nawadniania. Jeżeli te procesy są źle zaprojektowane i błędnie wykonane prowadzą, jak to już było wspomniane, do całkowitego zniszczenia gleby i całej produkcji rolniczej. Jednakże mechanizacja zmienia zasadniczy sposób skalę problemu powodując, że obszar oddziaływania powyższych procesów przewyższa zjawiska lokalne, których oddziaływanie na środowisko naturalne można by było uważać za pomijalnie małe.

Wracając do problemu oddziaływania energetycznego maszyn na glebę, należy przede wszystkim określić skalę problemu. Można ją określić porównując bilans energii w rolnictwie z całkowitym bilansem energii w kraju. Dla krajów uprzemysłowionych relacja ta zawiera się w granicach 2—6%. Należy sobie jednak zdawać sprawę z faktu, że po pierwsze, w świecie przeważają kraje o bardzo słabo rozwiniętej mechanizacji, w których zużycie energii mechanicznej jest minimalne, zaś po drugie, należy brać pod uwagę nie całą energię a jedynie energię włożoną w środowisko. Rozważmy więc te dwa problemy. W krajach o bardzo intensywnej uprawie gleby i roślin maksymalne nasycenie energią, to znaczy, moc silników traktorów i wszystkich pozostałych maszyn na jeden hektar powierzchni zajętej przez rolnictwo może nawet przewyższać 10 kW, jakkolwiek średnie nasycenie nie przekracza 3 kW na hektar. Natomiast w krajach o słabo rozwiniętym, prymitywnym rolnictwie, w których przeważająca część ludności zajmuje się rolnictwem i większość prac wykonywanych jest głównie ręcznie lub za pomocą maszyn sprzężajnych, nasycenie energią rzadko osiąga poziom 1/2 kW a często wartość do 0,1 kW na hektar.

W warunkach intensywnego rolnictwa ilość energii zużywana przez maszyny i traktory do deformacji gleby może przekroczyć 300 MJ/ha. Gleba deformowana jest zarówno przez narzędzia jak i koła traktorów czy maszyn rolniczych. Należy przy tym zwrócić uwagę na fakt, że ciśnienie elementów roboczych w nowoczesnych maszynach do uprawy roli osiąga wartość 1 MPa, podczas gdy siła wywierana przez koło może osiągać 30 kN. Ponadto poruszające się koło wywiera duże siły styczne dające w wyniku siłę uciągu. Siły te osiągające czasem wartość 40—50 kN na koło powodują wzajemne przesuwanie się warstw glebowych, co jest znanym zjawiskiem poślizgu. Poślizg koła wzrasta przy towarzyszącym mu ścinaniu gleby, zaś siła nośna gleby maleje dając w wyniku większe osiadanie.

Wymieniona powyżej ilość energii odpowiada, zakładając moc użyteczną maszyn, spaleni w roku 600 kg oleju napędowego na 1 hektar. Jest to ilość paliwa, która wystarczyłaby do przejechania 16 000 km nowoczesnym samochodem osobowym lub umożliwiłaby pracę 50 kW traktora przez 60 godzin. Jeśli tę liczbę godzin przemnożyć przez prędkość i szerokość opon, okaże się, że każda część powierzchni pola jest ugnia-

tana 50 razy w roku. Energia o wartość 300 MJ/ha dostarczana do gleby przez maszyny i koła traktorów wystarczy na podniesienie całej warstwy ornej na wysokość 20 m, czy, rozważając konsekwencje, na zrzucenie jej z wysokości 20 m. Są to oczywiście wartości zbliżone do maksymalnych, mimo to obecnie w Stanach Zjednoczonych, gdzie rolnictwo nie jest najbardziej intensywne, przeciętne zużycie energii przy produkcji kukurydzy przekracza już 350 MJ na hektar, z czego około 240 MJ jest zużywane bezpośrednio na pracę narzędzi w polu. Są to więc wartości zbliżone do wymienionej powyżej. Przy uprawie bawełny zużycie to jest o 30% wyższe (pomijając energię zużywaną przy nawadnianiu)*).

Należy sobie wyobrazić jakie konsekwencje biologiczne pociągnie za sobą realizacja takiego eksperymentu — zrzucenie całej masy gleby z budynku sześciopiętrowego i powtarzanie tego doświadczenia w kolejnych latach. Mimo że w rolnictwie prace są rozłożone w czasie, co umożliwia częściową regenerację środowiska, prawo zachowania energii działa, co powoduje, że powyższa ilość energii ulega rozproszeniu w glebie. W tym właśnie leży przyczyna destrukcji gleby, jej rozdrobniania co sprzyja następnie erozji.

Problem energii w rolnictwie, w przeciwieństwie do przemysłu, nie polega na znacznej jej koncentracji, ale na przestrzennej skali rolnictwa, to znaczy skali, którą trudno określić, ponieważ do chwili obecnej w rolnictwie pracuje olbrzymia liczba ludzi i zwierząt. Jeżeli by jednakże światowe rolnictwo, które swą aktywnością pokrywa powierzchnię 40 milionów km² osiągnęło poziom mechanizacji równy obecnemu poziomowi w Polsce, to znaczy, osiągnęłoby stosunkowo niewysoki poziom, wtedy pracowało by około 150 milionów traktorów o mocy 40 kW (w przeciwieństwie do około 20 milionów używanych dzisiaj) i 10 milionów maszyn samobieżnych do zbioru roślin (w stosunku do 3,7 milionów obecnie) oraz odpowiednio więcej innych maszyn, samochodów itd. Ich całkowita moc mogłaby przekroczyć 7 milionów MW, zaś roczne zużycie paliw osiągnęłoby 1000 milionów ton. Daje to 47,5% całej światowej produkcji paliw płynnych (włączając olej opałowy), która przekracza nieznacznie wartość 2150 milionów ton rocznie. Jest to, licząc ostrożnie, około 3000 PJ rocznie, co oznacza około 10% całej bieżącej produkcji energii elektrycznej w skali światowej. Z drugiej strony wielu specjalistów widzi rozwiązanie problemu światowej produkcji żywności w intensyfikacji rolnictwa przy pomocy gwałtownego wprowadzania technologii dominujących obecnie w krajach wysoko rozwiniętych lekceważąc fakt wielkiego zagrożenia, jakie dla całego środowiska naturalnego niesie olbrzymia ilość rozproszonej w agroekosystemie energii. Aby zilustrować

*) Agriculture and Energy, ed. William Lockeretz, Acad. Press 1977.

skale problemu przytoczmy tylko jeden przykład z Polski, która jest krajem o średnim poziomie mechanizacji rolnictwa. Polska należy wprawdzie do największych producentów węgla na świecie (blisko 200 milionów ton w roku), jeżeli jednak policzymy jak wielka masa gleby jest przemieszczana każdego roku w wyniku tej działalności rolniczej o średnim poziomie mechanizacji uprawy i zbioru zbóż, to okaże się, że osiąga ona wartość 20 mld ton, to znaczy 100 razy więcej niż wydobycie węgla. Powstaje w związku z tym pytanie, czy i do jakiego stopnia wpływa to na środowisko glebowe i ekosystemu.

Dostrzegając zagrożenie, jakie dla ekosystemu niesie nadmiar energii zużywanej przez maszyny rolnicze, musimy być świadomi faktu, że zagrożenie to wynika nie z nadmiaru rozproszonego ciepła ani z nadmiernego stężenia gazów spalinowych, ale przede wszystkim, z bardzo agresywnego mechanicznego oddziaływania na glebę i rośliny. Takie oddziaływanie maszyn na glebę powoduje zmiany wszystkich jej fizycznych, chemicznych i biologicznych właściwości. Przede wszystkim zmianie ulegają właściwości wodne, powietrzne i termiczne, co doprowadza do zmian urodzajności gleby. O warunkach wodnych i gazowych w glebie decyduje struktura wolnych przestrzeni między ziarnami. Przestrzenie te występują w formie większych porów i kapilar o różnych rozmiarach. Zatrzymanie wody w glebie i jej dostępność dla korzeni roślin zależy właśnie od rozkładu wymiarów tych przestrzeni i od ich pojemności. Zależy od nich również wymiana gazowa, to znaczy, dyfuzja tlenu do gleby i dyfuzja gazów w układzie gleba-korzenie roślin. Warunki powietrzne i wodne wywierają również decydujący wpływ na mikroflorę i mikrofaunę glebową, jak również na chemizm glebowy, przede wszystkim na kompleks sorpcyjny. Ten ostatni wpływa z kolei na zdolność zatrzymywania związków chemicznych wprowadzanych do gleby w procesie nawożenia i w konsekwencji, na przesączenie się związków chemicznych do wód gruntowych i otwartych.

Ciśnienie wywierane na glebę przez elementy robocze i koła maszyn prowadzi do niszczenia systemu kapilarnego. Cechą charakterystyczną jest, że zniszczeniu ulegają przede wszystkim pory duże. Prowadzi to do zmniejszenia porowatości gleby przy jednoczesnym przemieszczaniu wody do małych kapilar, w których jej potencjał jest tak duży, że pobieranie z nich wody przez korzenie roślin jest bardzo utrudnione. Zmienia się również gwałtownie dyfuzja tlenu do gleby i jeszcze bardziej z gleby do korzeni. W tej sytuacji w wyniku procesów oddychania następuje szybkie zużywanie tlenu z powietrza glebowego przy jednoczesnym zakwaszaniu wody glebowej na skutek wydzielania dwutlenku węgla. Ponadto występujący wtedy również wzrost wydzielania etylenu wpływa na znaczne zahamowanie wzrostu korzeni. Zawartość tlenu spada często

poniżej 10%, co uniemożliwia zupełnie dalszy wzrost korzeni. Ten znany dobrze proces występujący w związku z ugniataniem gleby na dużej głębokości przez koła maszyn i narzędzia prowadzi do formowania się tak zwanej podeszwy płużnej utrudniającej penetrację korzeni w glebie.

Zahamowanie wzrostu korzeni przypisuje się bardzo dużemu oporowi mechanicznemu, który występuje w glebie silnie ugniecionej. Przypadki takie występują obecnie rzadko. W rzeczywistości spotykamy się z przypadkami zakłócania, na skutek ugniatania gleby, warunków wodnych i gazowych — daleko powyżej granic tolerancji roślin uprawnych. Z drugiej strony deficyt wody sprzyja rozwojowi roślin odpornych na takie warunki, a więc różnych chwastów i kserofitycznej mikroflory glebowej.

Sytuację pogarsza ciągle jeszcze uprawianie niektórych roślin metodą tradycyjną, a więc zużywającą nadmiar energii, lecz nawet całkowite zaniechanie uprawy nie jest zdolne przez wiele lat usunąć skutków zniszczenia. Problemy te znane dobrze rolnikom, dyskutowane były w setkach artykułów i w wielu książkach, ale nie można znaleźć w tych publikacjach precyzyjnej energetycznej interpretacji tego zjawiska. Stąd też wiele niejasności jak również wiele sprzecznych obserwacji i praktycznych zaleceń. Oczywiście niezbędne jest szukanie nowych metod uprawy, mniej energochłonnych nie tyle ze względu na gospodarkę paliwową, co ze względu na konieczność ograniczenia zakłócania ekosystemu przez mechanizację. Ostatnio coraz częściej stosuje się tak zwaną uprawę minimalną lub uprawę bezpłużną. Metoda ta prowadzi jednak z reguły do znacznej intensyfikacji nawożenia mineralnego, a zwłaszcza do zwiększonego zużycia herbicydów do zwalczania chwastów. Potrzebne w tym celu ilości chemikaliów osiągają wartość 500 kg na hektar, a więc ich dystrybucja jest niemożliwa bez użycia ciężkiego sprzętu. Energia zawarta w takiej ilości substancji chemicznych jest olbrzymia i może być bardzo szkodliwa dla środowiska naturalnego, jeżeli nie zostanie zużyta w miejscu zastosowania. Dlatego też konieczna jest nie tylko doskonała znajomość procesów biologicznych, którym te substancje mają służyć, ale również wielka precyzja w pracy maszyn. Nadmierne stężenie chemikaliów może bowiem spowodować wniknięcie ich do cieków wodnych, co przynosi szkodę roślinom, zaś niedobór powoduje obniżenia plonów, natomiast w przypadku środków ochrony roślin prowadzi do tworzenia się lokalnych źródeł zanieczyszczeń rozprzestrzeniających się często na duże powierzchnie. Najnowsze konstrukcje maszyn nie zapewniają niestety pracy o wystarczającej precyzji, zwłaszcza w przypadku stosowania chemikaliów o dużym stężeniu.

Szczególne duże zagrożenie stanowią prace wykonywane w rolnictwie przy użyciu samolotów. Zagrożenie to związane jest nie tylko z jakością systemów rozpylających. Prace tego typu wymagają bowiem dob-

rze wyszkolonego personelu i precyzyjnego wykonania tym bardziej, że użytkownik nie jest w stanie określić i skontrolować jakości prac wykonanych nad jego polami. Prędkość pracy i zasięg sprzętu lotniczego sprawia, że zagrożone są również szerokie powierzchnie otaczające pola, nad którymi wykonane były prace rolnicze.

Problem energii w rolnictwie nie ogranicza się jedynie do ogólnego bilansu lub oddziaływania na glebę. Nie jest możliwe omówienie wszystkich typów maszyn, których ogólna liczba sięga kilku tysięcy. Zajmiemy się tu tylko energochłonnością sprzętu do zbioru, gdyż zajmuje on drugie miejsce, po maszynach do uprawy roli, pod względem szkodliwości dla środowiska naturalnego. Rozważmy przy tym jedynie zbiór zbóż, których uprawa jest najbardziej rozpowszechniona w świecie. Zjawiska występujące przy zbiorze roślin okopowych są bowiem podobne do występujących przy uprawie roli. Podstawową maszyną do zbioru zbóż jest dziś kombajn zbożowy. W świecie jest obecnie prawie 4 miliony tych maszyn. Możliwość zastosowania silnika o mocy 250 kW skłania konstruktorów do budowania coraz to większych maszyn wprawdzie o bardzo wysokiej wydajności ale o ciężarze 10 ton i więcej, co przy konstrukcyjnie ograniczonych wymiarach kół prowadzi do dużych naprężeń w glebie. Nie jest to jednak jedyny negatywny efekt możliwości zastosowania dużej ilości energii w maszynach do zbioru.

Kombajn zbożowy został pomyślany jako sprzęt do zbioru ziarna, który pozostawia całą resztę rośliny na polu. W związku z tym celowe było dołączenie urządzenia młócającego podczas sprzętu. Obecnie, kiedy cały plon włączając słomę jest zbierany, młócenie na polu staje się bezcelowe. Jest to mianowicie związane z wprowadzeniem na pole bardzo ciężkiej młocarni. Ta czynność mogłaby być wykonywana w gospodarstwie, podczas gdy zbiór powinien być wykonywany przy pomocy bardzo lekkiej ciągnikowej żniwiarki pokosowej o niskiej mocy. Prowadziłoby to do oszczędności energii i wyrządzałoby mniej szkód glebie. Istnieją obecnie takie technologie zwane zbiorem całościowym nie są one jednakże stosowane na szeroką skalę, ponieważ są skomplikowane pod względem organizacyjnym i nieco droższe. Nikt nie bierze przy tym pod uwagę problemów ekologicznych, chociaż kambajn prowadzi do dalszych zniszczeń. Wszystkie dawne metody zbioru zbóż polegały na zwiezieniu całego zebranego plonu, włączając słomę, do gospodarstwa. Kombajn przeprowadza młócenie na polu zostawiając tam oprócz ziarna całą resztę rośliny, przy czym młócenie jest wykonywane w końcowej fazie dojrzałości ziarna, to znaczy o wiele później niż za pomocą innych metod. Powoduje to, że znaczna część chwastów jest rozsiana przed sprzętem, a reszta jest zbierana za pomocą kombajnu i rozprzestrzeniana po polu. Zbiór słomy za pomocą prasy przyczynia się do dalszego zachwaszczenia pola, co w

konsekwencji powoduje, że liczba chwastów dojrzewających na polu po sprzęcie kombajnem przewyższa pięciokrotnie liczbę chwastów, gdy zbiór przeprowadzony jest inną metodą.

Prowadzi to do całkowitej zmiany biocenozy i powoduje oknieczność bardzo intensywnego kontrolowania chwastów ze wszystkimi tego konsekwencjami.

Technika zbioru przy użyciu szybkich samobieźnych maszyn pracujących, z zasady, metodą objeżdżania pola ma szczególne dramatyczne konsekwencje dla życia zwierząt na polach i łąkach. Są one wypłaszane przez głośnie maszyny i gromadzą się na środku pola i są tu często, bez wiedzy operatorów maszyn, zabijane mechanizmami tnącymi maszyn. W ten sposób ginie wiele zajęcy i młodych saren. Niszczone są również gniazda ptaków — mieszkańców pól. Straty te są zwykle lekceważone, mimo że wraz z wprowadzaniem coraz większych i szybszych maszyn, wzrastają. Znanym faktem jest, że zagrożenie dla środowiska jest stwarzane zawsze przez dużą koncentrację energii. Energia ta może wyrażać się mocą maszyn stosowanych do pracy czy ilością energii potrzebnej do produkcji materiałów chemicznych używanych jako środki produkcji. W przypadku chemikaliów jest bez różnicy czy jest to energia użyta w procesie produkcji przemysłowej czy energia naturalna potrzebna do powstania surowców. To samo dotyczy przypadku, gdy wycinamy drzewa maszynami o wysokiej mocy, które czynią spustoszenia w drzewostanie lub kiedy drzewa są powalone przez naturalną olbrzymią energię huraganu. Jest dużo możliwości zredukowania wkładu energii. Wiele sugestii można znaleźć w pracy W. Lockeretza „Agriculture and Energy”. Prezentowanych tam jest szereg możliwości oszczędności energii tylko za pomocą zmian organizacyjnych i agrotechnicznych w produkcji rolniczej i przemyśle spożywczym, przy czym proponowane zmiany opierają się jedynie na dostępnych obecnie metodach. Tylko w ten sposób na przykład, w USA można zaoszczędzić energię w ilości odpowiadającej $24 \cdot 10^9$ l oleju napędowego. Ta ilość wystarczyłaby na przejechanie przez każdy samochód w tym kraju trasy 1600 km. Ponadto, jeżeli udałoby się zmienić strukturę spożycia w Stanach Zjednoczonych na równie wartościową, ale opierającą się na mniejszym spożyciu produktów zwierzęcych, oznaczałoby to oszczędzenie dalszych $3,7 \cdot 10^9$ l oleju napędowego.

Rezygnacja z palenia tytoniu wpłynęłaby na dodatkowe zaoszczędzenie $2,5 \cdot 10^9$ l oleju napędowego. Można byłoby więc zaoszczędzić w sumie prawie 20% energii. Jest charakterystyczne, że ilość energii zużywana co roku w USA przy uprawie i przerabianiu tytoniu odpowiada energii jaka jest potrzebna na przejechanie przez wszystkie samochody osobowe w Stanach Zjednoczonych trasy o długości 175 km.

Biorąc pod uwagę fakt, że rolnictwo uprzemysłowionych krajów europejskich zużywa około 30% energii więcej niż rolnictwo w USA i przyjmując realne warunki (bez zmiany struktury spożycia i rezygnacji z uprawy tytoniu) możliwe jest zaoszczędzenie energii w ilości odpowiadającej 35—45 milionom ton oleju napędowego.

Powyższe obliczenia były wykonane przy założeniu braku zmian w konstrukcji najnowszych maszyn rolniczych i rezygnacji z naturalnego rolnictwa. Powstaje więc pytanie, czy możemy spodziewać się w przyszłości oszczędności energii na skutek zmian w konstrukcji maszyn. Od dłuższego już czasu bowiem nie zauważa się znacznego postępu w konstrukcji maszyn rolniczych. Wszystko co rolnictwo otrzymuje składa się w znacznej większości z maszyn będących po prostu większymi lub mniejszymi kopiami maszyn produkowanych przez wiele dekad, to znaczy od czasów, kiedy źródło energii stanowiły zwierzęta. W tych czasach nie było problemów z zagrożeniem ekosystemu. Konstrukcje pozostały nie zmienione, wzrosła tylko 100-krotnie moc maszyn.

Aby zmienić tę sytuację trzeba pokonać wiele przeszkód, o wielu spośród nich wspomniano w sprawozdaniu z konferencji Klubu Rzymskiego w 1983 roku. Przytoczmy niektóre z nich:

- zjawiska spowodowane przez nadmierne nasycenie rolnictwa energią nie są w wystarczającym stopniu dostrzegane zarówno przez rolników jak i w jeszcze mniejszym stopniu, przez producentów maszyn,
- doraźne korzyści, do których dąży zarówno rolnictwo jak i przemysł, przemawiają za coraz większym nasyceniem rolnictwa maszynami o wysokiej mocy,
- nie ma możliwości ani potrzeby podnoszenia mechanizacji rolnictwa w świecie do poziomu krajów wysoko rozwiniętych. Leży to poza możliwościami energetycznymi całego świata a poza tym spowodowałyby nieodwracalne zniszczenia środowiska naturalnego,
- nie ma jak dotąd, realistycznej koncepcji dotyczącej rozwoju rolnictwa i techniki do stanu odpowiadającego możliwościom i potrzebom obecnego świata.

Jeślibyśmy więc mieli rozwiązać ten problem, musimy rozważyć na nowo wszystkie możliwe technologie prac w rolnictwie i zdecydować jaki typ maszyn odpowiadałby warunkom naturalnym, ekonomicznym i społecznym.

Jest to wielkie przedsięwzięcie, jako że rolnictwo w skali światowej jest najważniejszym problemem. Kto więc powinien pobudzać rozwój mechanizacji w kierunku uwzględniającym ochronę środowiska naturalnego? Sądzimy, że odpowiedź na to pytanie jest jedna. Nauka ze wszystkimi dostępnymi środkami, jako że tylko ona widzi powyższe zagrożenia we właściwej perspektywie.

Dlatego też dobrze się dzieje, że rozważanym problemem interesują się ekolodzy. Są oni bowiem w stanie, w przeciwieństwie do rolników, rozważyć ten problem dokładniej i szerzej.

Przedsięwzięcie wydaje się być niezwykle trudne, ale możemy pocieszyć się, podobnie jak Mildews mówiąc, że „w każdej sprawie nie ma precedensu dopóki nie zostanie stworzony po raz pierwszy”. Pozwalamy więc sobie zakończyć pierwszym prawem Bouldinga: „Wszystko co istnieje jest możliwe”.

Materiały nadesłano do redakcji w kwietniu 1988 r.