

LECH RYSZKOWSKI

*Zakład Biologii Rolnej i Leśnej Polskiej Akademii Nauk  
w Poznaniu*

## AGROEKOSYSTEMOWE ZASADY ROZWOJU ROLNICTWA \*

FAC-20

### Wstęp

Rozwijając rolnictwo człowiek nie tylko zmieniał otaczające go środowisko, ale co ważniejsze, zaczął kierować obiegiem materii jak i przepływem energii słonecznej w przyrodzie celem uzyskania żywności, włókien, skór itd. Umiejętności wykorzystania przemian energii słonecznej w chemiczną w procesach fotosyntezy czy też sterowanie procesami wymiany materii w systemie gleba-roślina-atmosfera, zdobywane były w ciągu długich okresów czasu metodą prób i błędów. Wyjałowienie gleby, wodna i wietrzna erozja zanieczyszczenie gruntowych i powierzchniowych wód składnikami nawozów i pestycydami, to tylko wybrane przykłady zagrożeń środowiska wywołanych przez rolnictwo. Szybko można rozpoznać wyjaławianie gleby, gdy brak nawożenia pól. Znacznie trudniej rozpoznać przyczyny potęgującej się erozji czy też przesuszenia gleb. W większości zagrożeń środowiskowych wywołanych przez rolnictwo sama sfera działań praktycznych nie może wskazać na środki zaradcze. Aby to uczynić należy wykorzystać osiągnięcia nauki. Uproszczony sposób myślenia zawężający analizę procesu produkcyjnego tylko do sprawności używanych w jego realizacji mechanizmów a pomijający wywołane w środowisku zmiany dominuje obecnie w rolnictwie. Nikt nie wątpi, że mechanizacja i chemizacja to główne dźwignie postępu w rolnictwie wspomagane przez selekcję nowych wysokoplennych odmian. Jednak te same czynniki, które przyczyniają się do intensyfikacji produkcji rolnej, gdy stosowane są tak intensywnie, że deformują skomplikowany system powiązań różnych procesów zachodzących na polach uprawnych często wcześniej czy później wywołują niekorzystne zmiany środowiskowe. Należy przy tym podkreślić, że sytuacja ta nie jest wynikiem jakiegś immanentnej środowiskowej szkodliwości czynników in-

\* 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.

tensyfikacji rolnictwa, ale jest wywołana niezgodnością stosowanych technologii z przyrodniczymi zasadami funkcjonowania pól uprawnych, czyli agroekosystemów.

Nasilające się różnorodne zjawiska zagrożeń środowiska obszarów wiejskich uczą nas, że abstrahowanie od istniejących zintegrowanych układów struktur i procesów występujących w środowisku prowadzi do niepowodzeń rozwoju gospodarczego obszarów wiejskich. Te niekorzystne zjawiska potęgowane są jeszcze przez to, że obszary wiejskie znajdują się pod wpływem nie tylko endogennych zagrożeń, ale są również pod wpływem wielu silnych egzogennych zagrożeń generowanych przez przemysł i urbanizację. Powszechnie narastające zagrożenia środowiskowe powodują, że wzrasta zrozumienie konieczności odejścia od nazbyt uproszczonego, technicznego sposobu traktowania produkcji w tym i produkcji rolnej. Działalność gospodarcza człowieka nie może prowadzić do zagrożeń środowiska. Stosowane technologie powinny być podporządkowane prawom obiegu materii w przyrodzie by nie prowadziły do szkodliwych kumulacji materiałów (tzw. technologie bezodpadowe). Prowadzi to do potrzeby istotnej przemiany w rolnictwie polegającej na przekształceniu dotychczasowego rolnictwa w rolnictwo ekologiczne. Dążność do tych przemian wynika z przekonania, że zrozumienie zasad funkcjonowania agroekosystemów jak i innych typów ekosystemów, a zwłaszcza poznanie podstawowych dla zrozumienia ekonomiki przyrody prawidłowości przepływu energii i obiegu materii oraz mechanizmów ich regulacji pozwoli na realizację skutecznego programu ochrony środowiska [38].

### *Ogólna charakterystyka agroekosystemów*

Ogólne właściwości przepływu energii i obiegu materii agroekosystemów można w następujący sposób scharakteryzować [36]. Dzięki działalności człowieka agroekosystemy mają uproszczoną strukturę w porównaniu do innych ekosystemów, co powoduje, że charakteryzują się małymi możliwościami modyfikacji działania czynników klimatycznych. Przemiany energetyczne są głównie ukierunkowane na produkcję masy roślinnej użytecznej dla człowieka. Agroekosystemy charakteryzują się otwartymi cyklami obiegu materii. Te cechy agroekosystemów związane są z ich małą stabilnością, stąd utrzymywanie określonej ich struktury związane jest z dużymi nakładami pracy człowieka jak i znacznym wzrostem nakładów energetycznych uzyskiwanych spoza lokalnych źródeł np. z energii kopalin.

*Produkcja pierwotna agroekosystemów*

Około połowy docierającej do roślin energii słonecznej może być absorbowana przez chlorofil i stanowi tak zwane fotosyntetycznie aktywne promieniowanie (FAR). W obecnym stanie wiedzy nie jest dokładnie znana teoretyczna wydajność fotosyntezy. Starsze oceny wynosiły około 20% (Bonner 1962) natomiast niektóre współczesne wynoszą około 11%—12% [13] chociaż istnieją dawniejsze oceny wskazujące na 12% wydajności [26]; ograniczenia wielkości teoretycznej wydajności fotosyntezy wynikają przynajmniej z dwóch ogólnych powodów [13].

- a) ograniczonej szybkości regeneracji systemu fotochemicznego w stosunku do przepływu promieniowania świetlnego. Stąd wynika znana zależność, że im mniejsza intensywność oświetlenia, tym większa wydajność fotosyntezy;
- b) kosztów energetycznych zachodzących reakcji.

Wydajność energetyczna fotosyntezy oceniona na podstawie przyrostów masy (produkcja pierwotna) musi być niższa od powyższych ocen, choćby tylko na skutek zużycia części asymilatów w procesach respiracji roślin. Cooper [5] przeanalizował dane dotyczące maksymalnych przyrostów masy roślin w krótkich okresach czasu dla optymalnych warunków hodowli. Analizując 39 ocen przyrostów masy roślin uprawnych dochodzi on do wniosku, że wśród roślin charakteryzujących się fotooddychaniem tzw. roślin typu  $C_3$  wydajność produkcji pierwotnej w optymalnych warunkach wynosi 3% w stosunku do energii całkowitego promieniowania, czyli około 6% w stosunku do FAR. Natomiast wśród roślin nie wykazujących fotooddychania (typ  $C_4$ ) wydajność produkcji pierwotnej w optymalnych warunkach może wynosić 5% w stosunku do dochodzącej całkowitej energii promieniowania, czyli około 10% w stosunku do FAR. Ta ostatnia wielkość jest zbliżona do ocen teoretycznych podanych przez Loomisa i Williamsa [26], Gregoryego [14] oraz Gooda i Bella [13]. W warunkach klimatycznych panujących pomiędzy 35° a 60° szerokości geograficznej różnice wydajności produkcji pierwotnej pomiędzy roślinami uprawnymi typu  $C_3$  i  $C_4$  są niewielkie [27]. Dlatego można przyjąć, że optymalna wydajność produkcji pierwotnej w krótkich okresach czasu wynosi w umiarkowanej strefie klimatycznej około 3—4% w stosunku do FAR. Wiele różnych czynników działających w terenie sprawia, że wydajność produkcji pierwotnej w ciągu długiego okresu (np. roku) praktycznie nie przekracza 2% FAR, a średnio wynosi około 1% FAR lub nawet mniej.

W badaniach prowadzonych przez Zakład Biologii Rolnej i Leśnej PAN nad produkcją pierwotną upraw oceniono nie tylko produkcję plonu, a również produkcję korzeni, pędów płonnych, zrzuconych liści,

kwiatów roślin uprawnych oraz całkowitą produkcję chwastów i mchów występujących na polach w okolicy Turwi (Zachodnia Polska). Oceny prowadzono dla całego roku uwzględniając również część wyprodukowanej masy przez następną roślinę uprawną w okresie jesiennym, wzrost chwastów i kiełkowanie rozsypanego ziarna na ściernisku. Uzyskano w ten sposób oceny całkowitej ilości masy roślinnej wyprodukowanej w ciągu roku na dużym polu. Ogółem w ciągu 15 lat według ujednoliconych metod, przeprowadzono 30 ocen produkcji pierwotnej [18, 19, 20, 21, 28, 40, 41, 46, 47]. Stwierdzony zakres zmienności wynosił od 906 g. sm/m<sup>2</sup>/rok do 2938 g. sm<sup>2</sup>/rok, a średnia wielkość produkcji wynosiła 1474 ± 310 g. sm/m<sup>2</sup>/rok. Stwierdzona zmienność ocen zależała przede wszystkim od długości okresu rozwoju roślinności na polu oraz od warunków wodnych. Uzyskane oceny produkcji pierwotnej pól pod uprawą żyta jako przedplonu, a następnie ziemniaków (średnio 1637 g. sm/m<sup>2</sup> tab. 1) są większe niż wartości produkcji pierwotnej pól tylko pod uprawą ozimego żyta (średnio 1328 g. sm/m<sup>2</sup>) czy tylko ziemniaków

Tabela 1.

*Wpływ długości okresu wegetacji na wielkość produkcji pierwotnej [40]*

Uprawa	Okres uprawy (miesiące)	Liczba ocen	Średnia produkcja g.sm/m <sup>2</sup> rok
Ziemniaki	5	4	1128
Żyto	9	10	1328
Żyto jako przedplon i ziemniaki jako plon główny	11	6	1637

średnio 1128 g. sm/m<sup>2</sup>). Wprowadzenie w płodozmian przedplonu rozszerzyło okres występowania roślin na polu do 11 miesięcy w ciągu roku. Przy uprawie tylko ziemniaków okres występowania roślinności na polu w ciągu roku wynosił tylko 5 miesięcy. Drugim istotnym czynnikiem modyfikującym produkcję pierwotną są warunki klimatyczne rozwoju roślinności, a zwłaszcza ilość opadów [16, 24 i wielu innych]. W ciągu 15 lat prowadzenia badań w Zakładzie Biologii Rolnej i Leśnej PAN w okolicach Turwi najmniejszą roczną produkcję 906 g. sm/m<sup>2</sup> stwierdzono w uprawie ziemniaka, gdy nie uprawiano żadnych przedplonów a pole w okresie wiosny leżało ugięte. Na uprawie tej nastąpił silny rozwój szkodnika ziemniaków — stonki ziemniaczanej, co spowodowało zniszczenie wielu roślin tak, że średnio na 1 m<sup>2</sup> przypadało 2,4 rośliny zamiast zasadzonych 4 roślin na 1 m<sup>2</sup>. Jednocześnie warunki klimatyczne i stosowane środki zwalczania chwastów uniemożliwiły ich bujny rozwój, co by mogło być czynnikiem kompensującym niską produkcję pierwotną. Na innym polu z uprawą ziemniaka, na którym w tym samym



roku zagęszczenie stonki utrzymano na niskim poziomie, roczna produkcja pierwotna wynosiła 1574 g sm/m<sup>2</sup>. Porównanie tych dwóch ocen pokazuje jak duży wpływ na ograniczenie produkcji pierwotnej mogą wywierać szkodniki upraw.

Największą roczną produkcję pierwotną w ciągu całego okresu prowadzonych badań stwierdzono na uprawie rzepaku (2938 g. sm/m<sup>2</sup>), kiedy panowały wyjątkowo sprzyjające warunki uwilgotnienia gleby jak i nasłonecznienia. Również wysoką produkcję pierwotną uzyskano przy sprzyjających warunkach klimatycznych, gdy posiano lucernę wraz z owsem. Przed pierwszym pokosem wystąpiło bardzo duże zagęszczenie pędów zarówno roślin lucerny jak i owsa (634 pędy na m<sup>2</sup>) co zadecydowało, że całkowita roczna produkcja pierwotna pola wynosiła 2029 g. sm/m<sup>2</sup>. Na 30 przeprowadzonych ocen były tylko dwa przypadki, gdy produkcja pierwotna przewyższała wielkość 2000 g. sm/m<sup>2</sup>. W pozostałych 28 rocznych ocenach, wielkość produkcji pierwotnej nie przekraczała 1900 g. sm/m<sup>2</sup>. Plony, które stanowią tylko część produkcji pierwotnej, wynosiły wśród powyższych 30 ocen od 34% do 78% całej produkcji pierwotnej. Przy czym co należy podkreślić, rodzaj rośliny uprawianej ma duży wpływ na udział masy plonu w całkowitej produkcji pierwotnej.

Wieloletnie badania produkcji pierwotnej agroekosystemów w Polsce wykazały również, że rodzaj rośliny uprawianej ma mały wpływ na całkowitą produkcję pierwotną, o ile oceny zostaną sprowadzone do rocznych okresów w wegetacji roślin i obejmują wszystkie składowe produkcji pierwotnej pola. Zachodzące różnorodne procesy kompensacyjne rozwoju roślin w całym łańcu powodują, że globalny efekt procesów fotosyntezy jest względnie podobny pomimo różnic gatunkowych czy odmianowych [40]. Jest to odmienny wynik badań niż w przypadku plonów. Powszechnie bowiem wiadomo, że wprowadzenie nowych, lepiej dostosowanych do panujących warunków odmian prowadzi do wzrostu plonów.

W wyniku realizacji Międzynarodowego Programu Biologicznego przeprowadzono w umiarkowanej strefie klimatycznej 19 pełnych ocen produkcji pierwotnej w ekosystemach leśnych [7] oraz w 22 ekosystemach trawiastych [6]. Obliczona z powyższych ocen średnia wartość produkcji pierwotnej w umiarkowanej strefie klimatycznej wynosi 1460 g. sm/m<sup>2</sup> dla ekosystemów leśnych i 1420 g. sm/m<sup>2</sup> dla ekosystemów trawiastych. Porównując średnie oceny uzyskane dla agroekosystemów okolic Turwi (1474 g sm/m<sup>2</sup>/rok) oraz lasów i ekosystemów trawiastych można stwierdzić duże podobieństwo rocznych wartości pierwotnej produkcji w tych trzech podstawowych typach ekosystemów lądowych umiarkowanej strefy klimatycznej. Podobieństwo średnich wieloletnich wartości produkcji w tych trzech odmiennych rodzajach lądowych eko-

systemów może być nazwane konwergencją wartości produkcji pierwotnej.

Dowód konwergencji wielkości produkcji pierwotnej podstawowych typów ekosystemów lądowych umiarkowanej strefy klimatycznej, w których nie występują deficyty wody został przeprowadzony w innej publikacji [40]. W tym miejscu należy tylko podkreślić, że analizując łącznie wszystkie opublikowane oceny produkcji pierwotnej agroekosystemów uzyskuje się niższe średnie oceny, niż te, które zostały uzyskane w badaniach Zakładu Biologii Rolnej i Leśnej PAN. Jest to głównie spowodowane pomijaniem produkcji pierwotnej pola poza okresem uprawy głównego plonu jak i pomijaniem produkcji chwastów [8, 40]. Dopiero porównanie całorocznych ocen produkcji pól pozwala na stwierdzenie konwergencji.

Na konwergencję produkcji pierwotnej pomimo znacznych różnic w plonach wskazują również badania zbożowych monokultur. Łapiński i Ryszkowski [28] wykazali znaczne podobieństwa rocznej produkcji pierwotnej uprawy żyta w monokulturze oraz uprawy żyta następującej po ziemniakach jak i po peluszcze w zmianowaniu norfolkskim. Jednocześnie plon żyta był niższy w monokulturze o 46% w porównaniu do plonu żyta uprawianego po ziemniakach (nawożenie organiczne), a o 24% niższy w porównaniu do plonu żyta po peluszcze. W monokulturze żyta obumierało znacznie więcej pędów oraz rozwijało się więcej chwastów, co powodowało wyższe różnice plonów. Na możliwość konwergencji produkcji pierwotnej wskazywali również inni badacze. Whittaker i Woodwel (1972) zwracając uwagę, że lasy wschodnio-północnej części USA cechują się podobnymi wielkościami produkcji pomimo różnic gatunkowych tworzących je drzew. Miller i Mooney [31] wykazują, że w podobnych warunkach klimatycznych produkcja biomasy liści w szpilkowych i szerokolistnych lasach jest podobna pomimo różnic morfologicznych. Lieth i Aselmann (1983) wykazali znaczne podobieństwo produkcji pierwotnej lasów, łąk i pól uprawnych choć stosowana przez nich metoda oceny doprowadziła do niższych ocen, niż te, które zostały uzyskane w Turwi czy też innych uzyskanych w trakcie realizacji Międzynarodowego Programu Biologicznego.

Konwergencja średnich wartości rocznej produkcji pierwotnej pól uprawnych — łąk i lasów, jeżeli uwzględnia się całą biomasą roślinną wyprodukowaną w sezonie wegetacyjnym prawdopodobnie określa tą wielkość produkcji, która może zostać wytworzona w ciągu roku w typowych klimatycznych warunkach strefy umiarkowanej. Wartość konwergencyjna wielkości produkcji pierwotnej jest więc wyrazem najbardziej prawdopodobnej efektywności wiązania słonecznej energii przez rośliny na tle panującego reżimu czynników klimatycznych. Wartość

konwergencyjna produkcji pierwotnej przekraczana jest wtedy, gdy panują w określonym roku warunki szczególnie sprzyjające wzrostowi roślin. Jednak sprzyjające wzrostowi roślin warunki w przyrodzie nie trwają długo i produkcja pierwotna zbliża się ponownie do wartości typowej. Człowiek dzięki odpowiednim nakładom energetycznym czy też poprzez nawożenie itd. podwyższa plony. Jeżeli pomimo zwiększenia plonów produkcja pierwotna agroekosystemów jest podobna do produkcji pierwotnej lasów czy ekosystemów trawiastych, oznacza to, że niekontrolowane przez człowieka warunki przyrodnicze mają przemożny wpływ na produkcję pierwotną. Zwiększając plony człowiek skierowuje na swoją korzyść coraz to większą część zasymilowanej w procesie fotosyntezy energii słonecznej nieznacznie wpływając na wielkość produkcji pierwotnej. Odnosi się to do przeciętnych warunków środowiskowych. Oczywiście w warunkach gdy występuje deficyt wody, brak jest składników odżywczych roślin itp. człowiek usuwając te ograniczenia wpływa na produkcję pierwotną.

Oceniona na około 1500 g. sm/m<sup>2</sup> czyli około 15 ton suchej masy na hektar najprawdopodobniejsza wartość potencjalnej produkcji masy roślinnej określa przyrodnicze granice zarówno dla osiągniętych plonów jak i możliwości regeneracji zasobów próchnicy. Rolnictwo, które ma na celu stworzenie stabilnych warunków produkcyjnych powinno zharmonizować wielkość zabieranej masy roślinnej w postaci plonu z wielkością masy roślinnej koniecznej dla regeneracji zasobów próchnicy. Choć wiadomo, że fizyczne i chemiczne właściwości gleb podobnie jak warunki klimatyczne czy skład chemiczny (np. stosunek ilościowy węgla do azotu itp.) rozkładających się resztek roślinnych wpływa na procesy humifikacji podobnie jak szereg czynników agrotechnicznych, czy też rodzaj zmianowania roślin uprawnych itp., to jednak kinetyka procesów humifikacji i rozkładu materii organicznej w glebie ciągle jeszcze jest bardzo słabo poznana. Dlatego ilości materii organicznej potrzebne dla regeneracji humusu są obecnie określane na podstawie doświadczeń terenowych bez wnikania w mechanizmy zachodzących procesów. W ten sposób np. wyznaczono tak zwane współczynniki odtwarzania próchnicy dla różnych gleb jak i rodzajów uprawnych roślin w Niemczech [1].

Wzrastające zapotrzebowanie na żywność jak i coraz częstsze próby wykorzystania masy roślinnej do produkcji energii przy stwierdzonej powyżej względnej stabilności wielkości produkcji pierwotnej mogą doprowadzać do sytuacji, gdy uniemożliwiona będzie pełna regeneracja zasobów próchnicy. Obecnie sytuacje takie nie są nasilone i nie doprowadzają do spadku zasobów próchnicy a tym samym i żyzności gleb w skali masowej. Jednak w świetle wyników przeprowadzonej analizy produkcji pierwotnej agroekosystemów groźba taka może być realna. Jest to



dobry przykład jak analiza procesów zachodzących w agroekosystemie wzbogaca nie tylko wiedzę ale może być wykorzystana do rozpoznania narastających zagrożeń środowiska związanych z intensyfikacją produkcji rolnej. Dlatego dla wypracowania zasad stabilnego systemu rolniczego olbrzymie znaczenie ma wiedza o płodozmianie a zwłaszcza zasady uprawy przed- i poplonów w dodatku do plonu głównego. Jest to najpewniejszy sposób optymalizacji produkcji roślinnej z punktu widzenia uzyskiwania wysokich plonów jak i zadbania o możliwości regeneracji próchnicy gleby.

Pomimo konwergencji wielkości produkcji pierwotnej obserwowana w trzech lądowych typach ekosystemów biomasa roślinności różni się bardzo. Wskazuje to, że czynnikiem różnicującym kumulację biomasy roślinnej nie jest wielkość jej rocznej produkcji, ale czynniki wpływające na dalsze losy wyprodukowanej masy roślinnej. W lasach następuje kumulacja żywej masy roślinnej, w agroekosystemach część produkcji zabierana jest przez człowieka.

Z omówionych powyżej badań produkcji pierwotnej agroekosystemów wynikają następujące ważne wnioski dla rolnictwa i ochrony środowiska.

A. Najbardziej prawdopodobna wielkość potencjalnej produkcji pierwotnej w umiarkowanej strefie klimatycznej na terenach, gdzie ilość rocznych opadów przekracza 500 mm wynosi około 1500 g. sm/m<sup>2</sup> czyli 15 ton suchej masy na hektar [41].

B. Będący wynikiem intensyfikacji rolnictwa wzrost plonów nie zawsze świadczy o wzroście produkcji pierwotnej. Wraz ze wzrostem plonów coraz większa część produkcji pierwotnej jest zabierana przez rolnika, co stwarza problemy bilansu nie tylko mineralnych składników odżywczych roślin, z czym współczesne rolnictwo na ogół radzi sobie dobrze, ale również stwarza problemy bilansu materii organicznej. Problemowi regeneracji zasobów próchnicy powinno poświęcić się więcej uwagi w rolnictwie przyszłości niż ma to miejsce w chwili obecnej.

C. Konwergencja wielkości produkcji pierwotnej lasów, ekosystemów trawiastych i agroekosystemów w umiarkowanej strefie klimatycznej implikuje również podobną wartość tych ekosystemów dla procesów regeneracji tlenu, który powstaje jako uboczny produkt fotosyntezy. Oczywiście duże różnice w strukturze biomas roślinności tych trzech typów ekosystemów znajdują swój wyraz w zupełnie odmiennych możliwościach modyfikacji warunków klimatycznych, kontroli erozji gleby itd.

D. Współczesne rolnictwo w dużej mierze osiąga swoje efekty poprzez zmiany proporcji pomiędzy komponentami produkcji pierwotnej. Selekcjonowane są odmiany roślin kierujące coraz to większą część asymilatów do organów użytecznych dla człowieka. Wydaje się, że regula-



cja warunków wodnych agroekosystemów jest obecnie najefektywniejszą drogą otrzymywania stałych i wysokich wartości produkcji pierwotnej. Techniczne rozwiązania tego problemu są jednak bardzo kosztowne, dlatego wszelkie działania poświęcone kształtowaniu struktury rolniczego krajobrazu rolniczego, które stymulują wzrost retencji wody powinny być popierane.

### *Obieg materii w agroekosystemach*

Człowiek gospodarując polami uprawnymi nie dopuszcza do rozwoju bardziej złożonych zespołów roślinnych. Świat zwierzęcy jest również mniej zróżnicowany, niż w innych ekosystemach a wśród mikroorganizmów glebowych zaczynają dominować bakterie [12, 17, 37, 39]. Jak dobrze wiadomo, pod wpływem działalności rolniczej często zmniejszają się zasoby próchnicy. Wszystko to powoduje, że w agroekosystemach wykształca się mniej rozwinięta sieć wzajemnych powiązań pomiędzy ich komponentami. Konsekwencją upraszczania struktury agroekosystemów jest zmniejszanie stopnia zamknięcia lokalnego cyklu obiegu materii. Prowadzi to do zwiększonego wymywania, wywiewania lub ulatniania i wynoszenia różnych związków chemicznych i materiałów z agroekosystemów. Badania na ten temat zostały ostatnio omówione w szeregu książkach [4, 9, 43, 44]. Celem ilustracji przytoczymy wyniki badań przeprowadzonych w Polsce przez Borowca, Skrzyczyńskiego i Kuchar-ską (1978) wykazujące zwiększone wymywanie pierwiastków ze zlewni charakteryzującej się większym udziałem pól uprawnych w strukturze krajobrazu (tab. 2). Ze zlewni rolniczych wymywane było z jednostki powierzchni średnio 2,5 raza więcej azotu, prawie trzy razy więcej fosforu i potasu oraz przeszło 1,5 raza więcej wapnia i magnezu niż z jednostki powierzchni leśnej zlewni. Pola uprawne w obu typach zlewni były intensywnie nawożone.

Wyniki powyższe świadczą o obniżonej retencji różnych związków chemicznych w polach uprawnych, wskazując jednocześnie, że wzrost pokrycia terenu zlewni przez szatę roślinną ogranicza migrację biogenów.

Zarówno dla rolnictwa jak i ochrony środowiska istotnym wnioskiem z badań obiegu materii w agroekosystemach jest to, że dążąc do uzyskania coraz wyższych plonów człowiek upraszcza strukturę agroekosystemów, co nieodłącznie związane jest ze zmniejszeniem retencji związków chemicznych w agroekosystemach. Tym niekorzystnym zjawiskom można przeciwdziałać kształtując taką strukturę krajobrazu (zadrzewienia śródpolne, łąki, drobne zbiorniki wodne), która będzie ograniczała rozprzestrzenianie się różnych związków migrujących z pól uprawnych.

Tabela 2.

Wpływ użytkowania obszaru zlewni na ilość wymywanych związków chemicznych [3]

Typ zlewni	Liczba zbadanych zlewni	Średni udział (%) w całym obszarze			Ilości odprowadzone z jednostki powierzchni zlewni (kg/ha) w okresie 1.V.1973 — 30.IV.1975				
		grun- tów ornych	lasów	użyt- ków zielo- nych	N-NO <sub>3</sub>	P-PO <sub>4</sub>	K	Ca	Mg
Polny	4	55 (55—62)	18 (8—32)	26 (13—35)	12,2 (7,1— —16,3)	0,32 (0,2— —0,44)	23,6 (25,7— —33,2)	341,3 (309— —376)	27,8 (22,8— —33)
Leśny	4	30 (21—38)	50 (44—65)	19 (14—26)	4,8 3,9— —6,0)	0,12 (0,09— —0,18)	11,0 (9,1— —15,8)	216,9 (152— —256)	15 (12— —18)

## Kształtowanie krajobrazu rolniczego

Konsekwencją rozpoznania, że agroekosystemy charakteryzują się małym stopniem zamknięcia obiegu materii jest to, że podwyższenia zdolności regenerujących (samoczyszczających) regionu rolniczego należy szukać w odpowiedniej strukturze pól uprawnych, łąk, zadrzewień, zbiorników wodnych itd. Dopiero w takim systemie przyrodniczo-gospodarczym można uzyskać wysokie efekty ekonomiczne (np. plony), jak i wysoką wydajność regeneracyjną całego układu. U podstaw optymalizacji gospodarki rolnej leży więc kształtowanie takiej struktury krajobrazu, która odpowiednio ukierunkuje drogi obiegu materii, uniemożliwiając np. kumulację czy rozprzestrzenianie się szkodliwych związków.

Miedze, łąki, zadrzewienia śródpolne są biologicznymi barierami mogącymi ograniczać migrację różnych związków chemicznych czy materiałów z pól uprawnych. Analizując koncentrację różnych jonów w wodach gruntowych płynących od pola uprawnego przez system korzeniowy zadrzewienia śródpolnego, można wykazać znaczny spadek azotanów. Spadek w koncentracji choć nie tak duży jak w przypadku azotanów występuje również w przypadku wapnia, magnezu i fosforu (tab. 3, Bar-

Tabela 3.

*Srednia wartość koncentracji (mg/dm<sup>3</sup>) nieorganicznych jonów w wodzie gruntowej przesączającej się z pola pod zadrzewienie śródpolne w okresie od sierpnia 1982 do września 1986 r.*

Rodzaj jonów	Pole	Zadrzewienie
N—NO <sub>3</sub>	37,6	1,1
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,21	0,17
Ca <sup>2+</sup>	198,0	116,0
Mg <sup>2+</sup>	41,1	18,4

toszewicz i Ryszkowski w druku). Zmniejszenie koncentracji azotanów w wodzie gruntowej przepływającej pod zadrzewieniem wywołane jest nie tylko ich pochłanianiem przez systemy korzeniowe, ale prawdopodobnie również pośrednio na drodze intensyfikacji procesów denitryfikacji [33]. Na duże znaczenie zadrzewień dla ograniczania wodnej migracji różnych związków chemicznych z pól wskazuje również Paulukevicius [32]. Eksperymentalne zmiany wywołane wśród roślinności zlewni (np. defoliacja różne sposoby wyrąbu drzew itp.) wykazały bez wątpliwości duży wpływ szaty roślinnej na chemizm wód powierzchniowych (np. Likens i Borman 1972, Likens i inni 1977). W lesie obieg azotu jest

względnie zamknięty w lokalnym obiegu azotu złożonym z gleby — roślin — heterotrofów. W większości lasów krąży około 10—30 razy więcej azotu niż wynosi jego roczny przychód lub rozchód z ekosystemu (Rosswall 1977). Często nawet w ekosystemach leśnych przychód azotu przewyższa jego rozchód, co wskazuje na magazynowanie azotu w tych ekosystemach [22, 23]. Kiedy w wyniku ingerencji człowieka układ wzajemnych powiązań pomiędzy glebą — roślinnością — heterotrofami zostaje rozerwany wówczas duża ilość ograniczonego azotu podlega mineralizacji i zostaje wymyte z gleby [29, 30, 37].

Łąki są również dobrymi barierami przeciwdziałającymi rozprzestrzenianiu się w krajobrazie rolniczym różnych związków. Już w odległości 15—25 m od granicy pola można było stwierdzić w wodzie gruntowej przemieszczającej się pod łąką redukcją azotanów z 10,4 mg/dm<sup>3</sup> do 2,4 mg/dm<sup>3</sup>. Są to średnie oceny koncentracji za okres 1981—1983 [2].

Rezultaty powyższych badań wskazują na możliwość zmiany chemizmu wód gruntowych czy powierzchniowych w zależności od manpiulacji strukturą pokrywającej teren roślinności np. od zakładania zadrzewień śródpolnych, łąk itp. Jak dobrze wiadomo roślinność obniża również intensywność migracji materii na drodze wodnej erozji. Przeciwdziałanie erozji wietrznej jest następnym problemem stojącym przed współczesnym rolnictwem. Zadrzewienia śródpolne redukujące szybkość wiatru stanowią istotny czynnik kontroli erozji wietrznej. W wyniku wieloletnich badań prowadzonych w okolicy Turwi, a podsumowanych w Zakładzie Biologii Rolnej i Leśnej PAN można stwierdzić, że zadrzewienia śródpolne istotnie modyfikują prędkość wiatru, przez co wpływają na rozkład przestrzenny opadu atmosferycznego, zmniejszają potencjalne parowanie przyległych pól, natomiast w mniejszym stopniu wpływają na reżim termiczny przyległych pól [36, 42].

Innym rodzajem środowiskowym barier przeciwko rozchodzeniu się różnego rodzaju związków chemicznych są zbiorniki wodne. Zwłaszcza małe zbiorniki wodne, których znaczenie jest obecnie prawie zupełnie niedoceniane. Mogą one być efektywnym instrumentem środowiskowym kształtowania obiegu materii. Osadzający się na ich dnie muł zawiera zmyte z pól składniki odżywcze roślin. Przez nawiezenie pól szlammem z małych i płytkich zbiorników śródpolnych, odzyskane zostają stracone z agroekosystemów mineralne składniki odżywcze roślin. Rolnik, działając w ten sposób zwiększa zamknięcie lokalnego cyklu obiegu materii, co pozwala na ograniczenie stosowanych nawozów mineralnych bez uszczerbku dla produkcji rolnej. Rozlokowane odpowiednio do reliefu terenu, tak aby tworzyć bariery dla zmywu powierzchniowego małe zbiorniki wodne mogą mieć duże znaczenie dla kształtowania dróg obiegu materii w krajobrazie [11].



Praktyczne wykorzystanie drobnych zbiorników dla przechwytywania zmywanej gleby w celu jej ponownego zwrotu na pole, znalazło ostatnio zastosowanie w programach rolniczych na Jukatanie w Meksyku. Próby uprawy na dużych polach w tamtych warunkach doprowadziły do znacznego nasilenia erozji wodnej, co doprowadzało nawet do takiego spadku żyzności gleb, że porzucano fermy. Dopiero powrót do tradycyjnych form uprawy roli na małych polach (nie większych niż 15 ha) otoczonych zadrzewieniami oraz wykopanie rowów zbierających zmywaną glebę w czasie ulewnych monsunowych deszczy, umożliwiło stworzenie prosperującego rolnictwa w tym rejonie [10].

Omówione powyżej wybrane przykłady kierowania obiegami materii mają duże znaczenie dla działalności rolniczej. Jak to wyjaśniono powyżej pola uprawne mają otwarte obiegi materii, co znaczy, że wykorzystywanie składników nawozów mineralnych jest niskie. Na przykład rolnicze wykorzystanie azotu dochodzi do 50%, a reszta albo ulatnia się do atmosfery, albo wędruje do wód powodując różnego rodzaju kłopoty środowiskowe. Stworzenie odpowiednich barier środowiskowych może doprowadzić do znacznego ograniczania migracji niewykorzystanych rolniczo związków, przeciwdziałając nasilaniu się szkodliwych procesów eutrofizacji czy też innych procesów zanieczyszczenia lub niszczenia środowiska.

### *Optymalizacja produkcji i ochrony środowiska*

Poznanie przyrodniczych zasad funkcjonowania agroekosystemów umożliwia przeprowadzenie bardziej obiektywnych ocen znaczenia nawozów mineralnych czy organicznych, pestycydów, roli różnego rodzaju zabiegów uprawnych, stosowanych płodozmianów itd., dla sprawnej gospodarki rolnej, ochrony środowiska i potrzeb społecznych. Agroekosystemowy sposób analizy jest pomocny dla pełniejszego zrozumienia i lepszego przeciwdziałania narastającym zagrożeniom obszarów wiejskich przez przemysł i urbanizację kraju. Szeroki systemowy sposób analizy zjawisk pomaga przy przewyżczeniu partykularnego, czy też branżowego sposobu traktowania zjawisk. Tak np. wypowiedane często branżowe poglądy, że należy minimalizować koszt produkcji a maksymalizować efekty produkcyjne — niewątpliwie słuszne z punktu widzenia ekonomii określonej branży — często mogą być sprzeczne z realizacją ogólnospołecznych celów związanych np. z ochroną środowiska. Tak np. zadrzewienia śródpolne, miedze, otwarte kanały melioracyjne, których brzegi porośnięte są drzewami lub krzakami oraz drobne zbiorniki wodne stanowią przeszkodę dla maszyn pracujących na polu. Stąd dążność do ich niwelacji przez rolników chcących maksymalizować efekty mechanizacji a

nie przejmujących się erozją wietrzną nie dbających o przeciwdziałanie wymywaniu niewykorzystanych składników nawozów itd. Taki ciasny i przynoszący szkody punkt widzenia może być skorygowany przez szeroką agroekosystemową perspektywę. Oczywiście, utrzymanie odpowiedniej mozaiki pól uprawnych, zadrzewień, łąk, miedz, małych zbiorników wodnych, strumieni, kanałów itd. wymaga odpowiedniej reorientacji kierunków rozwoju mechanizacji. Maszyny powinny sprawnie pracować nie niszcząc różnego rodzaju środowiskowych barier. Konstruktorzy powinni zapewnić maszynom dużą zwrotność, łatwość wykonywania różnych manewrów, możliwość spełniania wielu czynności oraz ograniczyć ich wielkość, ulepszyć regulację szybkości, zapewnić możliwość zmieniaania wielkości powierzchni styku z podłożem itd. [15].

Systemowa perspektywa pozwala nie tylko przewidywać powstawanie zagrożeń środowiska, ale co ważniejsze, stworzyć ogólnie regionalny czy też krajowy program przeciwdziałający niszczeniu otaczającej nas przyrody. Sterowanie procesami humifikacji i mineralizacji materii organicznej gleby ma podstawowe znaczenie dla rolnictwa. Niezmiernie pomocną jest tu wiedza na temat udziału różnych grup organizmów w przepływie energii w agroekosystemach. Poznanie praw obiegu materii umożliwia tworzenie tak zwanych technologii bezodpadowych. W oparciu o rozpoznanie praw obiegu materii wydajniej można stosować nawozy mineralne nie prowadząc jednocześnie do szeregu niekorzystnych zmian w jakości wody i gleby. Dlatego rolnictwo ekologiczne nie prowadzi do wyrzeczenia się współczesnych środków produkcji rolnictwa ale do ich bardziej racjonalnego wykorzystania z punktu widzenia produkcji i ochrony środowiska. Kończąc, warto jeszcze raz podkreślić, że uwzględnianie zasad rolnictwa ekologicznego wynika z jak najbardziej praktycznych potrzeb przeciwdziałania narastającym zagrożeniom środowiska i nie oznacza powrotu do mało wydajnej tradycyjnej gospodarki. Rolnictwo ekologiczne jest próbą optymalizacji produkcji rolnej w kierunku uzyskania wysokich plonów z jednoczesnym zachowaniem potencjału produkcyjnego gleb. Jest to więc rolnictwo maksymalizujące korzyści społeczne, przez wykorzystanie prawidłowości funkcjonowania agroekosystemów, co pozwala uniknąć zagrożeń środowiskowych.

#### LITERATURA

1. Asmus F., Görlitz H., Koriath H.: Arch. Acker- u Pflanzenbau u. Ba- lenkde Berlin 23: 13—20, 1979.
2. Bartoszewicz A., Ryszkowski L.: Influence of shelterbelts and meadows on the chemistry of ground water W: Dynamics of agricultural landscape (ed. L. Ryszkowski) Springer Verlag New York (w druku).
3. Borowiec S., Skrzyczyński T., Kucharska T.: Zeszyty Szczecińskiego Towarzystwa Naukowego. 47:1:1—66, 1978.

4. Clark F., Rosswall T. (ed.): *Ecol. Bull.* (Stockholm) 33: 1—714, 1981.
5. Cooper J. P.: Control of photosynthetic production in terrestrial systems. W: *Photosynthesis and productivity in different environments* ed. J. P. Cooper. Cambridge Univ. Press. Cambridge 593—621, 1975.
6. Coupland R. T.: Conclusion 335—355 W: *Glossland ecosystems of the world* (ed. R. T. Coupland) Cambridge Univ. Press. Cambridge, 1979.
7. De Angelis D. L., Gardner R. H., Shugart H. H.: Productivity of forest ecosystems studied during the IBP the woodlands data set 561—672 W: *Dynamic properties of forest ecosystems* (ed. Reichle D. E.), 1981.
8. French N. R., i in.: *Izwiestja Sibirskovo Oddielenya Akademii Nauk SSSR* Nr 2: 8—22, 1979.
9. Frissel M. J. (ed): *Agro-ecosystems* 4: 1—354, 1977.
10. Gliessman S. R.: Ecological processes of traditional agroecosystems in the humid lowland tropics of southern Mexico. 135 *Second Int. Congress of Ecology. Abstracts INTECOL* Jerusalem, 1978.
11. Golley F., Loucks O. L., Ryszkowski L.: Role of various element of agricultural landscape in the functioning of watersheds. W: *Second International Congress of Ecology, Abstracts of lectures presented at the Congress.* 137 Jeruzalem, Izrael, 1978.
12. Gołębiewska J., Ryszkowski L.: Energy and carbon fluxes in soil compartments of agroecosystem. W: *Soil organisms as components of ecosystems* (eds. Loh. U., Persson T.) *Ecol. Bull.* (Stockholm) 25: 274—283, 1977.
13. Good N. E., Bell D. H.: Photosynthesis, plant productivity, and crop yield. 3—76. W: *The biology of crop productivity* (ed. P. S. Carlson) Academic Press, New York, 1980.
14. Gregory R.P.F.: *Biochemistry of photosynthesis.* J. Wiley London pp 221, 1977.
15. Haman J.: *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 145: 201—211, 1973.
16. Kaczmarczyk W.: *Pol. Ecol. Stud.* 2: 35—42, 1976.
17. Kaszubiak H., Kaczmarek W.: *Intecol Bulletin* 12: 29—37, 1985.
18. Kukielska C.: *Zeszyty Nauk Inst. Ekologii* 5: 165—168, 1972.
19. Kukielska C.: *Ekologia Polska* 21: 73—115, 1973.
20. Kukielska C.: *Bull. Acad. Polonaise Sci.* 21: 109—115, 1973.
21. Kukielska C.: *Polish Ecological Studies.* 1:17—26, 1975.
22. Likens C. E., Borman F. H.: Nutrient cycling in ecosystems. 25—67. W: *Ecosystem structure and function* (ed. J. A. Wiens.) Oregon State Univ. Press. Corvallis, 1972.
23. Likens G. E. i in.: *Biogeochemistry of a forested ecosystem.* Springer Verlag, New York 146 p.
24. Lieth H. 1975 Modelling the primary productivity of the world. In *Primary productivity of the biosphere.* H. Lieth and R. H. Whittaker (ed.) Springer Verlag, New York 234—263, 1977.
25. Lieth H., Aselmann I.: Comparing the primary productivity of natural and managed vegetation In: *Mans impact on vegetation* Holzner W. Werger M. J. A. Ikusima J. (eds.) The Hagne Junk Publishers 25—40, 1983.
26. Loomis R. S., Williams W. A.: *Crop Science* 3: 67—72, 1963.
27. Loomis R. S., Gerakis P. A.: Productivity of agricultural ecosystems W: *Photosynthesis and productivity in different environments.* (ed. J. P. Cooper) Cambridge Univ. Press, Cambridge 145—172, 1975.

28. Łapiński S., Ryszkowski L.: Produkcja pierwotna netto żyta w monokulturze 35—39 W: *Ekologiczne skutki monokulturowej uprawy zbóż*. Instytut Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa Puławy, 1986.
29. Margowski Z.: *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. 228: 65—75, 1979.
30. Margowski Z., Bartoszewicz A.: Przenikanie podstawowych składników nawozowych do wód gruntowych 75—97. W: *Nawożenie a eurtofizacja wód*. WSI Zielona Góra, 1976.
31. Miller P. C., Mooney H. A.: The origin and structure of American arid zone ecosystems. The producers: interaction between form and function W: *Proc. 1 st Congr. Ecol. The Hague: Pudoc, 1974*.
32. Pauliukevicius G.: 1981 *Ekologičeskaja rol lesnych nasazdenii na priozernych sklonach Pergale, Wilno, 191 pp., 1981*.
33. Peterjohn W. T., Correll D. L.: Nutrient dynamics in agricultural watershed: observation on the role of a riparian forest *Ecology* 65 1466—1475, 1974.
34. Rosswall T.: The internal cycle between vegetation, microorganisms and soil 1157—167. W: *Nitrogen, phosphorus and sulfur global cycles* (eds. Svensson S. H., Soderlund R. (*Ecol. Bull Stockholm*) 22, 1976.
35. Ryszkowski L.: *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 166: 71—82, 1975.
36. Ryszkowski L.: Energy and matter economy of ecosystems 109—126. W: *Unifying concepts in ecology* (eds. W: Dobben W. H. and Lowe-Mc Connel R. H.) Junk, Hage, 1975.
37. Ryszkowski L.: Croplands 301—331 W: *Grassland ecosystems of the world* (ed. Coupland R. T.) Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1979.
38. Ryszkowski L.: *Biuletyn Komitetu Przestrzennego Zagospodarowania Kraju* nr 110, 1980.
39. Ryszkowski L.: *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 233: 7—38, 1981.
40. Ryszkowski L.: Primary production in agroecosystems In: *Options mediterraneen de Zaragoza, Spain* 77—94, 1984.
41. Ryszkowski L.: w druku Primary production W: *Dynamics of agricultural landscape* (ed. L. Ryszkowski) Springer Verlag, New York.
42. Ryszkowski L., Karg J.: Role of shelterbelts in agricultural landscape 305—309 W: *Les bocages — historie ecologie, economie* (ed. Missonnier J.) CNRS, Univ. de Rennes. Rennes, 1976.
43. SIDA/FAO: Effects of intensive fertilizer use on the human environment *FAO Soils Bulletin* 16, 360 pp. Rzym, 1972.
44. Svensson B. H., Söderlund R. (eds.): *Nitrogen, phosphorus and sulphur-global cycles. Ecol. Bull. (Stockholm), 22, 192 pp., 1975*.
45. Whittaker R. H., Woodwell G. M.: Evolution of natural communities 137—159 W: *Ecosystem structure and function* (ed. J. A. Wiens) Oregon State Univ. Press, Corvallis, 1972.
46. Wójcik Z.: Productivity of Sandy reyfield. *Ekologia Polska* 21: 340—357, 1973.
47. Wójcik Z.: 1979 Producers 305—308 W: *Grassland ecosystems of the world* R. T. Coupland) Cambridge Univ. Press Cambridge, 1979.

Materiały nadesłano do Redakcji w kwietniu 1988 r.