

ISBN 83-88031-79-1

INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA
INSTITUTE OF SOIL SCIENCE AND PLANT CULTIVATION



Adam Harasim

**KOMPLEKSOWA OCENA
PŁODOZMIANÓW
Z RÓŻNYM UDZIAŁEM ROŚLIN
ZBOŻOWYCH I OKOPOWYCH**

ROZPRAWA HABILITACYJNA

**MONOGRAFIE
I ROZPRAWY
NAUKOWE**

1

PUŁAWY

2002

INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA
INSTITUTE OF SOIL SCIENCE AND PLANT CULTIVATION

Dyrektor: prof. dr hab. *Seweryn Kukula*

Recenzent
prof. dr hab. *Bogdan Klepacki*

Opracowanie redakcyjne
dr *Irena Marcinkowska*

Nakład 250 egz., B-5, zam. 29/F/02
Dział Upowszechniania i Wydawnictw IUNG w Puławach
tel. (081) 8863421 w. 301, i 307; fax (081) 8864547
e-mail: iung@iung.pulawy.pl; <http://www.iung.pulawy.pl>

Adam Harasim

KOMPLEKSOWA OCENA PŁODOZMIANÓW
Z RÓŻNYM UDZIAŁEM ROŚLIN
ZBOŻOWYCH I OKOPOWYCH

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP I PRZEGLĄD LITERATURY	7
1.1. Przegląd metod oceny płodozmianów	8
1.2. Kryteria i wskaźniki oceny płodozmianów	10
1.3. Cel pracy	13
2. WARUNKI, ZAKRES I METODYKA BADAŃ	13
2.1. Doświadczenia polowe	13
2.2. Badania w warunkach produkcyjnych	15
2.3. Kryteria i dobór wskaźników oceny płodozmianów	18
2.3.1. Wskaźniki oceny produkcyjnej	20
2.3.2. Wskaźniki oceny przyrodniczo-ekologicznej	20
2.3.3. Wskaźniki oceny organizacyjnej	22
2.3.4. Wskaźniki oceny ekonomicznej	23
2.3.5. Wskaźniki oceny energetycznej	25
2.3.6. Wskaźniki oceny syntetycznej	26
3. OMÓWIENIE WYNIKÓW I DYSKUSJA	28
3.1. Ocena produkcyjna	28
3.2. Ocena przyrodniczo-ekologiczna	35
3.3. Ocena organizacyjna	42
3.4. Ocena ekonomiczna	51
3.5. Ocena energetyczna	57
3.6. Kompleksowa ocena płodozmianów	67
3.6.1. Związki struktury zasiewów z niektórymi wskaźnikami oceny płodozmianów	67
3.6.2. Zapotrzebowanie płodozmianów na czynniki produkcji	69
3.6.3. Ocena punktowa płodozmianów	76
4. WNIOSKI	79
5. LITERATURA	81
6. STRESZCZENIE	89

Motto:

*„Mierz wszystko, co jest mierzalne
a zrób wymiernym to
co bezpośrednio nie da się zmierzyć”*

Galileusz

1. WSTĘP I PRZEGLĄD LITERATURY

Płodozmian z punktu widzenia agrotechnicznego jest to zmianowanie zaplanowane w czasie (na kolejne lata) i przestrzeni (dla określonej powierzchni pól), dostosowane do warunków ekonomiczno-organizacyjnych konkretnego gospodarstwa i rynków zbytu, z uwzględnieniem warunków przyrodniczych. Natomiast z punktu widzenia ekonomiczno-organizacyjnego jest uważany za podstawowy element systemu organizacji produkcji roślinnej w gospodarstwie rolnym, gdyż stanowi część składową planu organizacji i urządzenia gospodarstwa, a także określa kierunki produkcji wynikające z potrzeb gospodarstwa (67). Według N i e w i a - d o m s k i e g o (111) płodozmian to centralne ogniwo gospodarstwa, które łączy ekologię, agrotechnikę i ekonomikę oraz zaszczości kulturowe, polityczne i nawykowe.

W warunkach, gdy środki do produkcji (nawozy mineralne i środki ochrony roślin) i usługi były tanie zagadnienie racjonalnego następstwa roślin nie zawsze było brane pod uwagę przez producentów rolnych. Wówczas błędy popełniane w agrotechnice i doborze roślin można było częściowo niwelować zwiększonymi nakładami plonotwórczych i plonochronnych środków produkcji. Natomiast w warunkach gospodarki rynkowej, gdy ceny środków produkcji, głównie nawozów i środków ochrony roślin, oraz nośników energii i inflacja rosą szybciej niż ceny produktów rolnych (4, 5, 123, 124), zagadnienie doboru następstwa roślin z punktu widzenia ekonomicznego nabiera coraz większego znaczenia.

W programie „rolnictwa jutra” wskazywano na potrzebę łączenia efektów ekologicznych z ekonomicznymi i ukierunkowanie na realizację systemu rolnictwa zintegrowanego (113). W ostatnich latach natomiast już pojawia się dążenie do urzeczywistniania idei rozwoju zrównoważonego, w której zakłada się powiązanie ze sobą rozwoju gospodarczego z ochroną zasobów naturalnych i równowagą ekosystemów (158). Rozwój zrównoważony w rolnictwie nie jest jednoznacznie zdefiniowany (18, 21, 157). Ten system gospodarowania jedni określają mianem rolnictwa zachowawczego (21) lub zintegrowanego (84), a inni – rolnictwem zrównoważonym (158). Istotą gospodarowania zrównoważonego w rolnictwie jest dążenie do uzyskiwania stabilnej, a zarazem opłacalnej ekonomicznie i akceptowanej społecznie produkcji, w sposób nie zagrażający środowisku przyrodniczemu. Dąży się zatem do jednoczesnego osiągnięcia, w sposób harmonijny, trzech celów: pro-

dukcyjnego, ekonomicznego i ekologicznego. Cel produkcyjny polega na wytwarzaniu w odpowiedniej ilości produktów rolnych o właściwościach wymaganych przez konsumenta lub przemysł przetwórczy. Celem ekonomicznym jest uzyskiwanie dochodu rolniczego zapewniającego godziwy poziom życia rodziny rolnika i umożliwiającego rozwój jego gospodarstwa rolnego. Natomiast cel ekologiczny polega na zapewnieniu, w długim okresie czasu, równowagi agrosystemu i zapobieganiu degradacji środowiska naturalnego.

Zagadnienie gospodarowania zrównoważonego w rolnictwie może być rozpatrywane na poziomie kraju, regionu, gospodarstwa rolnego i pola produkcyjnego. Pole jest podstawową jednostką obszarową w gospodarstwie rolnym, na której uprawia się rośliny. Stąd też uprawa roślin na poszczególnych polach produkcyjnych, jak i w całym płodozmianie, oprócz zapewnienia określonych plonów i efektów ekonomicznych, powinna być prowadzona w sposób przyjazny środowisku. Obecnie wskazuje się na pilną potrzebę podjęcia badań zmierzających do wyznaczenia parametrów rozwoju zrównoważonego gospodarstw rolnych (27). Zatem w ocenie systemu rolniczego użytkowania ziemi ważnym elementem powinna być analiza i ocena płodozmianów, uwzględniająca wskaźniki produkcyjne, ekonomiczne i ekologiczne jako podstawowe charakterystyki gospodarowania zrównoważonego.

1.1. PRZEGLĄD METOD OCENY PŁODOZMIANÓW

Płodozmian jest elementem integrującym wiedzę z różnych dyscyplin naukowych. Poprawne jego opracowanie i stosowanie wymaga bowiem wszechstronnej wiedzy z zakresu gleboznawstwa, biologii roślin, ogólnej i szczegółowej uprawy roślin, mechanizacji produkcji i organizacji gospodarstw (67). Można więc stwierdzić, że płodozmian jest zarówno wynikiem różnorodnych oddziaływań, jak też sam wpływa na szereg elementów o charakterze przyrodniczym, agrotechnicznym, organizacyjnym, technologicznym i ekonomicznym. N i e w i a d o m s k i (111) w syntezie wieloletnich badań nad płodozmianami stwierdził, że metodyka ich oceny należy do zagadnień najrzadziej reprezentowanych w piśmiennictwie i nadal pozostaje sferą trudną, a także dyskusyjną. Podobną opinię wyraził P y t k o w s k i (128) wskazując, że przeprowadzenie szczegółowej analizy i oceny płodozmianu jest zadaniem trudnym i pracochłonnym.

Z biometrycznego punktu widzenia badania nad płodozmianami koncentrowały się głównie na ich ocenie z wykorzystaniem analizy statystycznej wyników uzyskanych z wieloletnich doświadczeń płodozmianowych, punktowej wycenie stanowisk i całych płodozmianów oraz konstrukcji optymalnych płodozmianów na podstawie programowania liniowego (22, 24). Sposoby opracowywania doświadczeń płodozmianowych można znaleźć w pracy F i l i p i a k (22), a modele matematyczne analizy wariancji i testowania hipotez w doświadczeniach płodozmianowych w przeglądowej rozprawie P r z y b y s z a (125).

Metoda liczbowa ma różny zakres zastosowania w ocenie płodozmianów. W Polsce jako pierwszy tę metodę w odniesieniu do stanowisk w zmianowaniu zaproponował W a l e s k i (145), który za pomocą skali 5 punktowej szacował łączną wartość przedplonów i przedprzedplonów. Metoda była stosowana do określania wartości stanowisk przy danej strukturze zasiewów w gospodarstwie lub rejonie. Cechuje ją znaczny subiektywizm i zarazem jednostronność, gdyż uwzględnia tylko jeden czynnik.

Bardziej kompleksowa jest metoda bonitacyjna waloryzacji specjalistycznych zmianowań przedstawiona przez N i e w i a d o m s k i e g o (114), obejmująca 13 wskaźników ekologicznych i ekonomicznych. Niektóre z proponowanych wskaźników są niemierzalne i można je tylko oszacować drogą pośrednią. Niedoskonałością metody jest również to, że w końcowym modelu wszystkim cechom przypisuje się jednakową wagę.

Ocenę systemów płodozmiennych uwzględniającą aspekty ekonomiczne, technologiczne, techniczne i organizacyjne zaproponował P y t k o w s k i (128). Analiza i ocena płodozmiannu przeprowadzona tą metodą ma na celu sprawdzenie, czy przyjęty system użytkowania roli jest właściwy, oraz wskazanie ewentualnych błędów i nieprawidłowości. Mimo zastosowania wielu mierników końcowa ocena płodozmiannu jest przybliżona. Spośród uwzględnionych mierników, za jeden z najważniejszych w ocenie płodozmiannu uznano żyzność gleby.

K r z y m u s k i (76) modelową metodę oceny kompleksowej wartości płodozmianów oparł na trzech głównych syntetycznych wskaźnikach: produkcji roślinnej brutto, kosztach tej produkcji i zmianach w żyzności gleby. Teoretyczna ocena płodozmiannu wynika z produktywności roślin będących w różnych układach następstwa roślin w zmianowaniu korygowanej wskaźnikami wartości stanowiska. Drugi wskaźnik dotyczy nakładów pracy na produkcję, zaś zmiany żyzności gleby traktuje się marginalnie.

Autorem przyrodniczo-ekonomicznej metody oceny płodozmianów jest F i l i p i a k (22), która uściśliła i zmodyfikowała bonitacyjno-liczbową metodę K r z y m u s k i e g o (76). Model liczbowy składa się z dwóch elementów – oceny stanowisk w zmianowaniu i oceny wartości produkcji – dających w efekcie kompleksową ocenę zmianowania. Ocena stanowisk w zmianowaniu odpowiada w przybliżeniu plonowi wyrażonemu w procentach plonu maksymalnego dla danych warunków siedliska. Ocena wartości produkcji określa przeciętny roczny efekt produkcji roślinnej brutto wyrażony wartościowo (w zł) lub w jednostkach zbożowych. Dla potrzeb praktyki rolniczej metoda została przedstawiona w postaci algorytmu i jest upowszechniona w formie Komputerowego Doradztwa Płodozmianowego (25).

Podjęmowane są również próby wyznaczenia najlepszego płodozmiannu za pomocą metody programowania matematycznego w zależności od czynników siedliskowo-agrotechnicznych i organizacyjno-ekonomicznych (30).

Próby systematyki badań i oceny płodozmianów przedstawił K r z y m u s k i (78). W badaniach mogą być wykorzystywane analizy wyników doświadczeń, dane

z produkcji (ankiety, dokumentacja) i rozwiązania modelowe. Jednak do oceny płodozmianów wykorzystuje się najczęściej dwie metody (24). Są to metody eksperymentalne, które w połączeniu z analizą statystyczną wyników dają podstawę do oceny przyrodniczo-produkcyjnej płodozmianów, oraz metody teoretyczne, bazujące częściowo na wynikach eksperymentów polowych i uwzględniające wskaźniki techniczno-ekonomiczne.

Większość badań nad zmianowaniem roślin i płodozmiarem opiera się na wynikach wieloletnich doświadczeń polowych (22, 126). Bezpośrednie porównywanie ze sobą różnych płodozmianów jest poprawne pod warunkiem, że oceną obejmuje się te same sezony wegetacyjne. Płodozmiany najczęściej ocenia się na podstawie plonów, ale jest to trudne ze względu na występowanie różnych roślin. Do porównania płodozmianów służą plony rzeczywiste wybranych roślin (rośliny testowe) i plony przeliczeniowe wszystkich roślin występujących w porównywanych płodozmiarach, wyrażone w jednostkach porównywalnych. Plony zarówno roślin testowych, jak i przeliczeniowe stanowią podstawę do oceny przyrodniczo-produkcyjnej płodozmianów (22, 24), natomiast ich przydatność do oceny ekonomicznej jest ograniczona (30).

1.2. KRYTERIA I WSKAŹNIKI OCENY PŁODOZMIANÓW

W ocenie płodozmianów najczęściej stosuje się jedno (17, 29-31, 50, 58, 61, 71, 72, 86, 87, 91, 109, 115, 116, 127, 132, 141, 142, 145, 146, 150) lub dwa kryteria waloryzacji (20, 22, 40, 41, 80, 85, 90, 114, 163-166). Natomiast do nielicznych należą prace zawierające ocenę wieloaspektową, w której uwzględniano trzy (52, 53, 67, 76, 119) i cztery czynniki (77, 83, 128). Jako pojedyncze dość często jest stosowane kryterium produkcyjne (17, 29, 58, 61, 109, 142), ekonomiczne (30, 31, 50, 71, 86) i energetyczne (72, 87, 91, 116, 127, 132, 141, 146, 150). Z oceną produkcyjną łączono aspekty przyrodnicze (80, 85, 163), ekonomiczne (90, 164) lub energetyczne (20), a także stosowano inne podwójne kryteria: ekonomiczne i energetyczne (40, 41, 164, 166), ekonomiczne i ekologiczne (114) oraz przyrodnicze i ekonomiczne (22). W pracach zawierających oceny wieloaspektowe uwzględniano różne zestawy kryteriów: produkcyjne i ekonomiczne łącznie z przyrodniczym (52, 53, 76), energetycznym (119) bądź energetycznym i przyrodniczym (83) lub ekologicznym i technologicznym (77). Prezentowano także wartościowanie płodozmianów na podstawie oceny przyrodniczej, organizacyjnej i ekonomicznej (67) oraz analizę i ocenę systemu płodozmianowego użytkowania roli pod względem ekonomicznym, technologicznym, technicznym i organizacyjnym (128). Z powyższego przeglądu literatury wynika, że w ocenie płodozmianów w różnym zakresie stosuje się kryteria produkcyjne, przyrodnicze, ekologiczne, ekonomiczne, energetyczne, technologiczne i organizacyjne.

Ważnym zagadnieniem jest dobór do każdego kryterium właściwych wskaźników oceny – analitycznych i syntetycznych. Jednym z najtrudniejszych metodologicznie problemów występujących w tego rodzaju badaniach jest dobór lub opra-

cowanie wskaźników syntetycznych, umożliwiających charakterystykę czynników lub zbioru cech za pomocą jednej wartości liczbowej. W badaniach najczęściej mamy do czynienia ze wskaźnikami analitycznymi, zróżnicowanymi co do wartości i miana.

Podstawą **oceny produkcyjnej** płodozmianów są plony roślin rzeczywiste i przeliczeniowe. Plonami rzeczywistymi można posługiwać się przy ocenie płodozmianów zbożowych, obliczając przeciętne plony ziarna w rotacji (58, 61, 75, 80, 83, 108) bądź też globalną produkcję ziarna ze zmianowania (58, 61, 108, 142). Do porównania różnych płodozmianów służą również plony rzeczywiste tzw. rośliny testowej (29, 58, 61, 83, 90, 108, 142). Mianem tym określamy roślinę uprawianą na równoległych polach porównywalnych płodozmianów, testującą wartość stanowisk (90, 85) i zmiany w urodzajności gleby (30). Dość często jest to ostatnia roślina w rotacji. Wyrażany jest pogląd, że plony roślin testowych są mało przydatne do oceny płodozmianów, gdyż ich zróżnicowanie zależy w większym stopniu od doboru przedplonów niż struktury zasiewów (83). Stąd plon rośliny testowej bywa też uwzględniany jako wskaźnik w ocenie przyrodniczej płodozmianów (80).

W ocenie produkcyjnej płodozmianów, ze względu na występowanie różnych roślin, plony z całej rotacji mogą być podstawą do porównań dopiero po przeliczeniu na jednostki porównywalne. Najpowszechniej stosowaną miarą wielkości produkcji uzyskiwanej w płodozmianie są jednostki zbożowe (29, 31, 70, 76, 77, 80, 83, 85, 108, 109, 112, 119, 128, 146, 163, 164, 166). Jednostka zbożowa służy również do mierzenia produktywności ziemi i jest wykorzystywana do syntetycznego wyrażania produkcji rolniczej w kraju, jednostkach administracyjnych i w gospodarstwach rolnych (38, 155). Na tle innych mierników służących do ujmowania różnorodnych produktów wytwarzanych w gospodarstwach rolnych przy pomocy jednej liczby, jednostka zbożowa wydaje się być miernikiem najlepszym (154). Jednak są uwagi krytyczne, które dotyczą jej przydatności do oceny poziomu produkcji całego gospodarstwa rolnego (30). Jest ona mało przydatna do wyceny produkcji zwierzęcej i przetwórstwa rolniczego (38).

Produkcyjność płodozmianów jest także wyrażana w plonach suchej masy (17, 80, 85, 108, 112, 141), białka ogólnego (17, 29, 80, 108, 112, 141, 146, 163, 164) i jednostkach owsianych (17, 108, 112, 146, 163). Przydatność tych wskaźników do oceny płodozmianów budzi również szereg wątpliwości, bowiem nie cała sucha masa jest bezpośrednio użyteczna, a plony białka i jednostek owsianych mogą być wykorzystywane głównie do waloryzacji płodozmianów pastewnych (30).

Do wskaźników **oceny przyrodniczej** płodozmianów zalicza się wartość stanowisk w zmianowaniu (22, 76, 145), stan zachwaszczenia (19, 29, 70, 80, 163), porażenie roślin przez patogeny (29, 80, 80, 105, 163) oraz zawartość substancji organicznej w glebie (67, 70, 133) i bilans składników pokarmowych (80) lub w szerszym ujęciu właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne gleby (80, 83, 85, 119, 163). Problemem jest zdefiniowanie i opracowanie syntetycznego wskaźnika żyzności gleby. Wymienione wskaźniki są także uważane za właściwe do **oceny**

ekologicznej płodozmianów (114). Jako kryterium ekologiczne traktowany jest poziom chemizacji produkcji rolniczej (77).

W **ocenie ekonomicznej** płodozmianów podstawą rachunku są nakłady, koszty i produkcja w znaczeniu efektu procesu wytwórczego oraz ustalenie najkorzystniejszych relacji (różnica, iloraz) między wartością produkcji i kosztami jej wytworzenia. Dobór kategorii i wskaźników ekonomicznych zależy w dużym stopniu od celu i metodyki badań, uwarunkowanych głównie dostępnością danych źródłowych. W związku z tym w ocenie płodozmianów mają zastosowanie różne kategorie nakładów i dochodów. Najczęściej, obok wartości produkcji potencjalnie towarowej, oblicza się koszty bezpośrednie (31, 41, 50, 71, 77, 83, 86, 119, 166), zysk brutto (31, 41, 50, 86, 119, 165, 166) lub nadwyżkę bezpośrednią (40, 71) i wskaźnik opłacalności (40, 41, 50, 70, 82, 85, 89, 117, 163, 164). W ocenie płodozmianów stosowano również rachunek ekonomiczny oparty na ustaleniu kosztów zmiennych, marży brutto i efektywności kosztów zmiennych (67). Ustalaną kategorią wynikową był także dochód rolniczy (30) oraz zysk osiągnięty z zaangażowania czynników produkcji – ziemi, pracy i kapitału (77).

W warunkach nasilającego się kryzysu energetycznego oraz częstych zmian cen coraz powszechniej do oceny efektywności produkcji w rolnictwie jest stosowany ciągniony rachunek energetyczny (7, 94, 147, 151, 159). Zaletą tego rachunku jest możliwość porównywania wyników niezależnie od relacji cen, a także stosowania go do ocen kompleksowych (7, 15, 94, 147). Analiza energetyczna jest wykorzystywana w rolnictwie wielokierunkowo: do oceny pojedynczych zabiegów uprawowych (36, 92), systemów uprawy roli (20, 35), efektywności produkcji wybranych ziemiopłodów (8, 16, 40, 54, 110, 116, 118, 130, 147, 148, 151, 153, 166), elementów zmianowań i całych płodozmianów (41, 72, 83, 87, 91, 119, 127, 132, 141, 146, 151, 153, 166, 168) oraz gospodarstw rolnych (94, 117, 160) i rolnictwa na poziomie kraju (7). W **ocenie energetycznej** płodozmianów ustala się wartość energetyczną plonów (41, 72, 83, 86, 116, 141, 151, 165), nakłady energii i wskaźnik efektywności energetycznej (41, 72, 83, 86, 91, 116, 119, 132, 146, 151, 166). Wartość energetyczną plonów jest określana na podstawie wartości pokarmowej pasz (122, 169), z wykorzystaniem norm żywienia zwierząt gospodarskich (41, 72, 83, 86, 119, 141, 165) lub tabel składu i wartości pasz krajowych (74, 164, 168). Wartość energetyczną produkcji roślinnej ocenia się również na podstawie plonów suchej masy (40, 116, 151), przyjmując jak w badaniach FAO, że 1 kg suchej masy plonu podstawowego ma wartość 5,1 kWh, czyli 18,36 MJ (150). W nakładach energetycznych uwzględnia się cztery strumienie energii: bezpośrednio nośniki energii (paliwa i energia elektryczna), surowce i materiały (nawozy, nasiona, sadzeniaki, środki ochrony roślin), środki inwestycyjne (zużycie maszyn i narzędzi w czasie eksploatacji oraz części zamienne) i nakłady pracy ludzkiej (8, 147, 159, 162). Syntetycznym wskaźnikiem efektywności energetycznej produkcji biomasy jest stosunek energii zawartej w plonach do poniesionych nakładów energetycznych.

Ocena organizacyjna płodozmianów jest uwzględniana tylko w nielicznych pracach (67, 128). Analizą obejmuje się organizację – procesu wytwarzania i procesu pracy, a ocenie podlega m.in. wykorzystanie okresu wegetacyjnego i pracochłonność płodozmianów (128). W węższym zakresie przedmiotem analizy jest zapotrzebowanie na siłę roboczą (67).

Z przeprowadzonego przeglądu literatury obejmującego zagadnienie waloryzacji płodozmianów wynika, że każdy dobór kryteriów i wskaźników oceny w pewnym stopniu jest niedoskonały i czasem dyskusyjny. Na złożoność problematyki badawczej płodozmianów i trudności w ich ocenie wskazują niektórzy autorzy (22, 24, 30, 76, 77, 83, 111, 114, 128).

1.3. CEL PRACY

W pracy przedstawiono wyniki badań o charakterze metodyczno-poznawczym, których celem było:

- opracowanie metodyki wieloaspektowej analizy i oceny płodozmianów, uwzględniającej różne kryteria i dobór wskaźników przydatnych do waloryzacji płodozmianów;
- zastosowanie przyjętej metodyki do oceny specjalistycznych płodozmianów;
- przeprowadzenie kompleksowej oceny porównywanych płodozmianów, kończącej się na etapie zbioru ziemiopłodów.

2. WARUNKI, ZAKRES I METODYKA BADAŃ

Podstawę do oceny płodozmianów stanowiły wyniki ścisłych eksperymentów polowych i badań przeprowadzonych w warunkach produkcyjnych w Rolniczym Zakładzie Doświadczalnym IUNG w Błoniu-Topoli (woj. łódzkie), w latach 1988–1991.

2.1. DOŚWIADCZENIA POLOWE

Do badań wykorzystano dwa statyczne doświadczenia płodozmianowe prowadzone w RZD Błonie-Topola pod nadzorem metodycznym Zakładu Płodozmianów IUNG w Puławach. W pierwszym, założonym w 1971 r., porównywano 4 płodozmiany z różnym udziałem zbóż, a w drugim, rozpoczętym w 1981 r., oceniano 4 płodozmiany o zróżnicowanym udziale roślin okopowych. Każde z doświadczeń założono polami wszystkich roślin równocześnie, w 4 powtórzeniach. Zlokalizowano je na glebie brunatnej wylugowanej, zaliczonej do kompleksu 2 – pszennego dobrego, która cechowała się średnią zawartością makroskładników i lekko kwaśnym odczynem.

Dobór gatunków roślin i ich następstwo przedstawiono w tabeli 1, natomiast dawki nawozów mineralnych i mierniki chemicznej ochrony roślin w tabelach 8 i 9 (w następnej części pracy w podrozdziale 3.2). Nawozy wapniowe stosowano

Tabela 1

Charakterystyka porównywanych płodozmianów
Comparison of crop rotations

Pole płodozmianowe Crop rotation field	Płodozmiany zbożowe; Cereal crop rotations				Płodozmiany okopowe; Root crop rotations			
	A	B	C	D	E	F	G	H
I	burak c. ⁺⁺ sugar beet	burak c. ⁺⁺ sugar beet	groch ⁺⁺ peas	kukurydza ^{++/1/} maize	burak c. ⁺⁺ sugar beet	burak c. ⁺⁺ sugar beet	burak c. ⁺⁺ sugar beet	burak c. ⁺⁺ sugar beet
II	jęczmień j. spring barley	jęczmień j. spring barley	jęczmień j. spring barley	jęczmień j. spring barley	owies+wsiewka ^{3/} oats+undercrop	burak c. sugar beet	jęczmień j. spring barley	ziemniak potatoes
III	groch peas	owies oats	owies oats	owies oats	mieszanka konicz. z trawą clover-grass mixture	kukurydza ^{2/} maize	ziemniak ⁺⁺ potatoes	burak c. ⁺⁺ sugar beet
IV	pszenica oz. winter wheat	pszenica oz. winter wheat	pszenica oz. winter wheat	pszenica oz. winter wheat	pszenica oz. winter wheat	pszenica oz. winter wheat	pszenica oz. winter wheat	pszenica oz. winter wheat
Rośliny Crops	udział w strukturze zasiewów; share in cropping system (%)							
Okopowe Root crops	25	25	-	-	25	50	50	75
Strączkowe Legumes	25	-	25	-	-	-	-	-
Pastewne Fodder crops	-	-	-	-	50	25	-	-
Zboża Cereals	50	75	75	100	25	25	50	25

1/ kukurydza na ziarno; maize for grain

2/ kukurydza na kiszonkę; maize for silage

3/ owies na zielonkę + wsiewka mieszanki koniczyny czerwonej z kostrzewą łąkową; oats for green forage + undercrop red clover – meadow fescue mixture

++ obornik 30 t/ha; manure 30 t/ha

systematycznie jeden raz w 4-letniej rotacji zmianowania, w dawce 1 t CaO/ha. Uprawa roli była typowa dla ogniwa zmianowania: przedplon – roślina następcza. W przypadku każdego gatunku rośliny uprawiano zrejonizowane odmiany, stosowano optymalne ilości i terminy wysiewu, jednakowe we wszystkich płodozmianach każdego z doświadczeń. Oprócz mechanicznej pielęgnacji zasiewów, w zależności od nasilenia występowania agrofagów, stosowano środki chemiczne przeciwko chwastom, chorobom i szkodnikom, wykorzystując preparaty aktualnie dostępne na rynku.

W ocenie płodozmianów wykorzystano plony roślin uzyskane w obydwu doświadczeniach w latach 1988–1991, obejmujących jedną rotację zmianowań. W przypadku płodozmianów zbożowych okres ten obejmował 17–20 rok, a dla płodozmianów okopowych był to 7–10 rok prowadzenia doświadczenia. Wyniki badań z wcześniejszych lat wykorzystano w różnych publikacjach (50, 71, 72, 85-89, 105, 109, 133). W analizie i ocenie płodozmianów posługiwano się plonami rzeczywistymi wybranych gatunków (rośliny testowe) i przeciętnymi plonami ziarna z powierzchni obsianej zbożami oraz średnią wydajnością z rotacji, wyrażoną w suchej masie, jednostkach zbożowych i białku ogólnym. Do interpretacji statystycznej różnic między obiektami wykorzystano test Tukeya.

2.2. BADANIA W WARUNKACH PRODUKCYJNYCH

Warunki i niektóre wyniki gospodarowania RZD Błonie-Topola były przedmiotem badań i publikacji (10-14, 42, 44, 45, 51, 55, 56). W tej pracy przedstawiono tylko wybrane wskaźniki charakteryzujące gospodarstwo rolne, w którym przeprowadzono doświadczenia polowe i wykonano badania w warunkach produkcyjnych obejmujące technologie produkcji poszczególnych roślin uprawnych oraz wykorzystanie ciągników i maszyn rolniczych.

Areał gruntów ornych gospodarstwa był podzielony na 8 pól o przeciętnej powierzchni około 15 ha (51). Średnia rzeczywista odległość pól od podwórza gospodarstwa, mierzona wzdłuż dróg, wynosiła 0,81 km (14). Dominują gleby kompleksów pszennych – dobrego i bardzo dobrego, które wówczas stanowiły 88% powierzchni gruntów ornych. Przeciętna produktywność ziemi wynosiła ok. 50 jednostek zbożowych (plonów głównych) z 1 ha (14, 51). W latach 1988–1991 struktura zasiewów kształtowała się następująco: 37% stanowiły zboża, 24% okopowe, 14% strączkowe na nasiona, 10% oleiste (rzepak ozimy), a pozostałe 15% inne rośliny uprawne.

W celu ustalenia pracochłonności poszczególnych roślin i płodozmianów badaniami objęto wszystkie pola produkcyjne. Dla każdego pola w latach 1988–1991 prowadzono karty dokumentacyjne, w których rejestrowano zabiegi wykonywane w ciągu całego cyklu produkcyjnego – począwszy od uprawek przeprowadzonych po zbiorze przedplonu, a skończywszy na zbiorze plonów (łącznie z transportem

Tabela 2

Pracochłonność ważniejszych zabiegów agrotechnicznych w polach produkcyjnych
RZD Błonie-Topola w latach 1988–1991
Labour consumption of major agronomic practices in crop fields
of Błonie-Topola Experiment Station in the years 1988–1991

Zabiegi agrotechniczne Agronomic practices	Maszyna Machine	Typ Type	Nakłady pracy na 1 ha Labour inputs per 1 ha			
			rbh: man-hours		cnh: tractor-hours	
			zakres range	średnia mean	zakres range	średnia mean
1	2	3	4	5	5	7
Orka; Ploughing: - płytka (podorywka) shallow - średnia primary - głęboka deep	plug 5-skilbowy five-furrow plough plug 3-skilbowy three-furrow plough plug 3-skilbowy three-furrow plough	U 025 U 023 U 023	2,0-2,5	2,3	2,0-2,5	2,3
Uprawa roli: Soil cultivation: - przedsiewna pre-sowing - pielęgnacyjna mechanical cultivation	agregat uprawowy cultivation unit brona średnia 5-polowa medium harrow (five-section) 2 rozrzutniki + 1 ładowacz 2 manure spreaders + 1 manure loader	U 707 U 212	0,9-1,1	1,0	0,8-1,0	0,9
Wywożenie i rozrzucanie obornika (30 t) Dung removal and spreading		N 235 T 214	12,1-15,5	13,9	12,1-15,5	13,9

cd. tab. 2

1	2	3	4	5	6	7
Wysiew nawozów; Broadcast:						
- azotowe nitric	rozsiwacz nawozów fertilizer spreader	N 012	0,8-1,0	0,9	0,7-0,9	0,8
- fosforowe i potasowe phosphorus and potassium	rozsiwacz nawozów fertilizer spreader	N 014	0,8-1,0	0,9	0,6-0,8	0,7
Wysiew nasion; Seeding:						
- zboża cereals	siewnik zbożowy corn drill	S 043	2,7-3,6	3,2	2,1-2,2	2,1
- groch peas	siewnik zbożowy corn drill	S 043	3,1-3,7	3,5	2,8-3,6	3,4
- burak cukrowy sugar beet	siewnik do buraków beet seeder	S 041	3,2-3,9	3,6	1,6-1,9	1,8
Ochrona roślin; Plant protection:						
- opielanie weeding	pielnik ciągnikowy weeding machine	P 430	2,4-3,4	3,0	1,2-1,7	1,5
- opryskiwanie: spraying						
- zboża cereals	opryskiwacz (8 m) crop spraying machine	P 027	0,9-1,3	1,1	0,9-1,2	1,1
- buraki beets	"-" "-" "-"	P 027	1,1-1,6	1,3	0,8-1,2	1,0
Zbiór kombajnowy; Combine harvesting:						
- pszenica ozima winter wheat	kombajn zbożowy combine – harvester	Z 056	1,4-2,1	1,8	1,4-2,1	1,8
- jęczmień jary spring barley	"-" "-" "-"	Z 056	1,1-1,6	1,5	1,1-1,6	1,5
- groch peas	"-" "-" "-"	Z 056	1,9-3,5	2,8	1,9-3,5	2,8
- burak cukrowy sugar beet	kombajn buraczany sugar beet harvester	Z 413	11,6-14,2	13,1	11,6-14,2	13,1

i rozładunkiem w miejscu składowania). Ponadto, notowano typy użytych ciągników i maszyn rolniczych, ilości zużytych środków produkcji, nakłady pracy żywej i mechanicznej, wielkości plonów podstawowych i ubocznych. Wyposażenie w maszyny rolnicze i stosowane technologie w produkcji roślinnej w RZD Błonie-Topola na ogół odpowiadały II poziomowi mechanizacji (97). W przypadku niektórych prac był to już wyższy – III poziom zmechanizowania procesów technologicznych.

Dane z kart dokumentacyjnych pól produkcyjnych wykorzystano do ustalenia pracochłonności poszczególnych zabiegów agrotechnicznych (tab. 2) i dat granicznych okresów agrotechnicznych prac polowych (tab. 16). W dalszej analizie przyjęto je jako normatywy nakładów pracy żywej i mechanicznej do określenia pracochłonności płodozmianów porównywanych w ścisłych doświadczeniach.

2.3. KRYTERIA I DOBÓR WSKAŹNIKÓW OCENY PŁODOZMIANÓW

Przedmiotem oceny były płodozmiany z różnym udziałem roślin zbożowych i okopowych. Taki wybór płodozmianów ma związek z sytuacjami występującymi w produkcji roślinnej. W Polsce udział zbóż w strukturze zasiewów przekroczył 70%, w wielu gminach nawet 80%, a w niektórych gospodarstwach uprawiane są niemal wyłącznie zboża (81, 131). O dominacji zbóż decyduje głównie wielokierunkowość wykorzystania ziarna, łatwość transportu i trwałość podczas przechowywania.

Płodozmiany okopowe, zwłaszcza ze zwiększonym udziałem buraka cukrowego, są również przedmiotem zainteresowania praktyki rolniczej (34, 73, 85). Na polach położonych w pobliżu cukrowni następuje koncentracja produkcji buraka cukrowego (34) bądź są analizowane możliwości zwiększenia powierzchni jego uprawy (73), co w konsekwencji prowadzi do częstego wysiewu po sobie tej rośliny.

Na podstawie przeprowadzonego przeglądu literatury i analizy prac studialnych z zakresu metod waloryzacji płodozmianów w niniejszym opracowaniu przedstawiono propozycję kryteriów i wskaźników kompleksowej oceny płodozmianów (tab. 3). Każde kryterium jest charakteryzowane kilkoma wskaźnikami o różnym stopniu złożoności. Dobór wskaźników oceny często jest uwarunkowany możliwością uzyskania danych źródłowych.

W pracy zastosowano modelową metodę badań i oceny płodozmianów, opartą na wynikach eksperymentów polowych z uwzględnieniem różnych wskaźników techniczno-ekonomicznych, ustalonych w warunkach produkcyjnych gospodarstwa rolnego. Takie podejście metodyczne było podyktowane niemożliwością przeprowadzenia pełnego eksperymentu, którego przedmiotem byłoby całe gospodarstwo rolne z wieloma płodozmianami zróżnicowanymi w zakresie doboru gatunków roślin i ich udziału w strukturze zasiewów.

Tabela 3

Kryteria i wskaźniki oceny plodozmianów
Criteria and indicators for crop rotation assessment

Kryteria oceny; Valuation criteria			
produkcyjne production	przyrodniczo-ekologiczne natural and ecologic	organizacyjne organization	ekonomiczne economic
Plon rzeczywisty: Effective yield: - plon podstawowy main product	bilans składników mineralnych (NPK) mineral nutrients balance (NPK) bilans substancji organicznej organic matter balance	pracochłonność: labour consumption: - nakłady siły roboczej labour inputs	wartość produkcyjną production value koszty produkcji production cost
- plon uboczny by-product	zużycie substancji aktywnej consumption of active ingredient	- nakłady siły pociągowej energy inputs	nadwyżka gross margin
- plon rośliny testowej yield of test plant	liczba zabiegów ochrony roślin number of plant protection treatments	wskaźnik łącznej pracochłonności index of total labour consumption	wskaźnik gross payability index
Plon przeliczeniowy: Conversional yield:	wskaźnik pokrycia gleby roślinnością vegetation cover index	transportochłonność transport consumption	
- jednostki zbożowe cereal units		liczba dojazdów uzasadnionych trips number of technologically justified trips	
- sucha masa dry matter		wskaźnik mechanizacji mechanization index	
- białko ogólne total protein			wartość energetyczna plonów energetic value of yields energetyczne energy input on production wskaznik efektywności energy efficiency index

2.3.1. Wskaźniki oceny produkcyjnej

W ocenie produkcyjnej płodozmianów posłużono się plonami rzeczywistymi i przeliczeniowymi. Plony rzeczywiste rośliny testowej mogły być podstawą analizy, jeżeli dana roślina występowała w tym samym miejscu (polu) we wszystkich porównywanych płodozmianach, bądź grupie płodozmianów specjalistycznych. W przypadku oceny całych płodozmianów plony rzeczywiste poszczególnych roślin przeliczono na jednostki zbożowe, suchą masę i białko ogólne. Znana jest niedoskonałość tych miar (30, 38, 154), ale innych – lepszych i zarazem przydatnych do oceny produktywności płodozmianów – jeszcze nie zaproponowano. Zasadność posługiwania się określonym plonem przeliczeniowym zależy w dużym stopniu od celu i zakresu przeprowadzanej analizy oraz oceny płodozmianów.

Przy posługiwaniu się plonami należy zwracać uwagę na fakt, że wydajności roślin osiągnęte w ścisłych doświadczeniach polowych są na ogół większe od plonów tych samych gatunków roślin w warunkach produkcyjnych. W związku z tym, w celu uczynienia plonów roślin z doświadczeń polowych miarodajnymi dla warunków produkcyjnych, stosuje się współczynniki redukcyjne: 0,87 dla rzepaku i zbóż oraz 0,75 dla ziemniaków (62). Zasadniczym czynnikiem powodującym zróżnicowanie poziomu plonów jest inna agrotechnika, zwłaszcza różna częstotliwość zabiegów i dokładność zbioru, stosowana w doświadczeniach niż w produkcji. Badania przeprowadzone w RZD Błonie-Topola wykazały, że w warunkach poprawnej agrotechniki oraz podobnego poziomu nawożenia i ochrony roślin, zarówno w ścisłych doświadczeniach polowych, jak i w zasiewach produkcyjnych uzyskiwano podobne plony ziarna zbóż (44). W tej sytuacji za podstawę do oceny płodozmianów przyjęto plony roślin osiągnięte w doświadczeniach polowych, bez stosowania współczynników redukcyjnych.

2.3.2. Wskaźniki oceny przyrodniczo-ekologicznej

Propozycja takiego sformułowania kryterium wynika z bliskości czynników przyrodniczych i ekologicznych oraz trudności w doborze i jednoznacznym rozgraniczeniu wskaźników ich oceny. Z przeglądu literatury wynika, że te same wskaźniki oceny przez jednych autorów były przypisywane bądź to do kryterium przyrodniczego (22, 29, 76, 80, 163), lub też traktowano je jako charakterystyki kryterium ekologicznego (114). W ocenie agroekosystemów w szerszym zakresie uwzględnia się wskaźniki środowiskowe (136).

W przypadku stosowania kryterium przyrodniczo-ekologicznego przyjęto, że najlepiej będą je charakteryzować wskaźniki związane z urodzajnością gleb, a więc bilanse składników nawozowych i substancji organicznej oraz wskaźniki chemicznej ochrony roślin i pokrycia gleby roślinnością. Bilans składników może być sporządzany różnymi metodami na poziomie pola, gospodarstwa, rejonu i kraju (26, 27, 51, 69, 102, 120, 139). Do oceny płodozmianów właściwy jest bilans składników

mineralnych sporządzony na poziomie pola. Po stronie przychodów uwzględniono składniki zastosowane w nawozach organicznych (obornik) i mineralnych, a w przypadku azotu dodatkowo ilości tego składnika pozyskane w wyniku wiązania przez bakterie symbiotyczne i wolnożyjące w glebie oraz z opadu atmosferycznego. Składniki w oborniku obliczono na podstawie jego dawek i przeciętnego składu chemicznego (96), zaś azot wiązany przez bakterie symbiotyczne *Rhizobium* i bakterie wolnożyjące w glebie oraz przychód z opadu ustalono według metody P i e t r z a k a (120). Opad azotu z atmosfery przyjęto jako standardową wartość dla województwa płockiego – 15 kg N/ha (139), na terenie którego przeprowadzono badania. W przychodach uwzględnia się także materiał siewny i sadzeniaki (26, 69, 102). Po stronie rozchodów występuje pobranie składników z plonami; stanowiące iloczyn wielkości plonu i standardowej zawartości składnika w jednostce plonu podstawowego wraz z odpowiednią ilością plonu ubocznego (28). Oprócz sald poszczególnych składników mineralnych można obliczyć wskaźniki bilansowe wyrażające relacje ich przychodu do rozchodu.

Bilans substancji organicznej sporządzono wykorzystując koncepcję współczynników reprodukcji i degradacji glebowej materii organicznej. W niniejszej pracy korzystano ze współczynników przeliczeniowych odpowiednich dla gleb średnich (9, 79):

Rośliny uprawne	Współczynniki (t s.m./ha rok)
Okopowe	-1,40
Kukurydza	-1,05
Zboża i oleiste na nasiona	-0,53
Owies na zielonkę	-0,35
Strączkowe	+0,35
Motylkowate, ich mieszanki z trawami i trawy	+1,05
Obornik (1 t suchej masy)	+0,35

Wartość współczynników oznacza, ile ton suchej masy organicznej ubywa (-) lub przybywa (+) rocznie na 1 ha gleby pod wpływem uprawy określonego gatunku lub grupy roślin. Według przedstawionej formuły sporządza się bilans substancji organicznej w glebach gospodarstwa rolnego (27, 45, 46), regionu i kraju (95). Znane są również inne, bardziej pracochłonne metodyki sporządzania takiego bilansu (102) oraz prognozowania gospodarki substancją organiczną w glebach uprawnych (101).

Jako wskaźniki intensywności chemicznej ochrony roślin przyjmuje się zużycie substancji biologicznie czynnej w kg na jednostkę powierzchni oraz liczbę (wielokrotność) zabiegów chemicznej ochrony roślin wykonanych przy zastosowaniu pełnej dawki preparatu (104). Pierwszy wskaźnik, z powodu wprowadzania do praktyki środków ochrony roślin nowej generacji aplikowanych w bardzo małych dawkach (37, 103), staje się coraz mniej precyzyjny. W tej sytuacji za bardziej miarodajny

jest uważany wskaźnik liczby zabiegów ochrony roślin (27, 104). Powyższą ocenę przydatności wskaźników potwierdzają badania, w których stwierdzono, iż lepszą miarą intensywności chemicznej ochrony pszenicy ozimej w zasiewach produkcyjnych jest liczba zabiegów niż ilość zużytej substancji aktywnej (42).

Do wskaźników ekologicznych charakteryzujących produkcję roślinną na gruntach ornych zalicza się indeks pokrycia gleby roślinnością w okresie zimy (27, 143). Wskaźnik ten stanowi stosunek powierzchni gruntów obsianych oziminami, roślinami wieloletnimi i międzyplonami do ogólnej powierzchni gruntów ornych. W działalności rolniczej, z punktu widzenia wymogów ochrony środowiska, powinno się dążyć do możliwie ciągłego utrzymywania powierzchni gleby pod okrywami roślinnymi. Wskaźnik pokrycia gleby roślinnością obejmujący tylko okres zimy jest niepełną oceną glebochronnej funkcji roślin, gdyż pozostaje nie uwzględniony okres wegetacyjny – od ruszenia wegetacji wiosną do jesiennej jej zahamowania. W związku z tym opracowano własną metodę wyznaczania wskaźnika pokrycia gleby roślinnością dla okresu całego roku, którą wraz z przykładami zastosowania opublikowano (47). Do oceny glebochronnej funkcji różnych zasiewów zaproponowano średni ważony wskaźnik pokrycia gleby roślinnością w ciągu roku (Wp), który oblicza się według wzoru:

$$Wp = \frac{\sum P_i \times S_{pi}}{\sum P_z}$$

gdzie:

$\sum P_i \times S_{pi}$ – suma iloczynów powierzchni zasiewów roślin (ha) i stopnia pokrycia gleby przez roślinność w ciągu roku (w punktach),

$\sum P_z$ – suma powierzchni zasiewów roślin uprawnych (ha).

Inne wzory i punktowa ocena stopnia pokrycia gleby przez różne rośliny znajdują się we wcześniejszej publikacji (47). W niniejszej pracy obliczenia wskaźnika pokrycia gleby roślinnością w ciągu roku oparto na rzeczywistych danych, uzyskanych w wyniku obserwacji faz rozwojowych poszczególnych gatunków roślin w doświadczeniach płodozmianowych.

2.3.3. Wskaźniki oceny organizacyjnej

W ocenie organizacyjnej uwzględniono głównie wskaźniki związane z pracochłonnością produkcji, czyli nakłady robocizny i siły pociągowej. Wielkości nakładów pracy ludzkiej i mechanicznej określono na podstawie faktycznych danych uzyskanych w warunkach produkcyjnych, z uwzględnieniem technologii produkcji stosowanych przy uprawie poszczególnych roślin w płodozmianach zbożowych i okopowych. Do wyrażenia jedną liczbą nakładów – pracy ludzkiej oraz mechanicznej siły pociągowej i napędowej – opierając się na koncepcji (T. Nowackiego) ekwiwalentu normalnego technologicznego (ENT) – proponuje się umowny wskaźnik łącznej pracochłonności, obliczany według formuły:

$$W_{tp} = \Sigma N_{sr} + \Sigma N_{spn} \times 0,125,$$

gdzie:

W_{tp} – wskaźnik łącznej pracochłonności (ENT); przy spełnieniu równości: 1 ENT = 1 rbh = 8 kWh (162),

ΣN_{sr} – suma nakładów siły roboczej (rbh),

ΣN_{spn} – suma nakładów mechanicznej siły pociągowej i napędowej (kWh).

Ponadto, do wskaźników organizacyjnych proponuje się przyjęcie transportochłonności produkcji i liczby dojazdów uzasadnionych technologicznie oraz wskaźnik mechanizacji. Wskaźniki związane z oceną transportochłonności produkcji roślinnej można znaleźć w innej pracy (14), zaś w tej wykorzystano wskaźnik obliczany według wzoru:

$$T = \frac{Q}{P},$$

gdzie:

T – transportochłonność (t/ha),

Q – masa przewożonych ładunków (t),

P – powierzchnia zasiewów (ha).

Wskaźnik dojazdów uzasadnionych technologicznie ustalano zgodnie z metodą podaną w pracy Ł a g u n y (93), jako liczbę (sumę) koniecznych dojazdów agrotechnicznych i transportowych do jednostki powierzchni pola w ciągu roku. Wskaźnik obejmuje dojazdy w relacji ośrodek gospodarczy (podwórze) – pole uprawne (57, 93).

Wskaźnik mechanizacji procesów produkcyjnych w poszczególnych płodozmiatach obliczono według wzoru (162):

$$W_m = \frac{L_m}{L_o} \times 100,$$

gdzie:

W_m – wskaźnik mechanizacji (%),

L_m – nakłady pracy ludzkiej na bezpośrednią obsługę maszyn (rbh),

L_o – łączne nakłady pracy ludzkiej na cały proces produkcyjny (rbh).

2.3.4. Wskaźniki oceny ekonomicznej

W ocenie ekonomicznej za wskaźniki syntetyczne przyjęto nadwyżkę bezpośrednią i opłacalność brutto. Nadwyżka bezpośrednia stanowi różnicę między wartością produkcji a bezpośrednimi kosztami produkcji, zaś wskaźnik opłacalności brutto wynika z relacji tych wskaźników analitycznych (wartość : koszty). Wartość produkcji obliczono jako potencjalnie towarową wartość plonów podstawo-

wych, z wyjątkiem roślin pastewnych (nietowarowych) nie mających ceny rynkowej, których wartość wyceniono według własnych kosztów produkcji. Do wartości produkcji nie wliczano plonów ubocznych (słoma, liście buraka), przy założeniu, że równoważą wartość obornika pochodzącego z własnego gospodarstwa, którego w konsekwencji takiego podejścia nie zaliczono do kosztów produkcji.

W bezpośrednich kosztach produkcji uwzględniono: nasiona i sadzeniaki, nawozy mineralne, środki ochrony roślin, siłę roboczą, paliwa i energię elektryczną oraz koszty eksploatacji ciągników, maszyn i narzędzi rolniczych. Wielkości fizyczne nakładów środków produkcji przyjęto na podstawie faktycznego zużycia (w doświadczeniach) nawozów, materiału siewnego i sadzeniakowego oraz środków ochrony roślin. Nakłady pracy ludzkiej i mechanicznej ustalono na podstawie technologii stosowanych w doświadczeniach i pracochłonności poszczególnych zabiegów w warunkach produkcyjnych RZD Błonie-Topola. Koszty robocizny wyceniono przy zastosowaniu parytetowej opłaty, ustalonej przez IERiGŻ na podstawie średniej płacy w gospodarce narodowej (129, 134, 135). Koszty eksploatacji ciągników i maszyn rolniczych obliczono posługując się metodyką IBMER (32, 33, 106), przy jednoczesnym uwzględnieniu obowiązujących gospodarstwa uspołecznione rocznych stawek amortyzacyjnych. Przyjęto 8-letni okres użytkowania ciągników i środków transportowych oraz 10-letni dla maszyn rolniczych. Badania własne wykazały, że średni wiek ciągników rolniczych będących na wyposażeniu RZD Błonie-Topola wynosił około 8 lat (11). Koszt części zamiennych i napraw ustalono w wysokości 30% kosztu amortyzacji (161), a koszt smarów i olejów silnikowych stanowi 20% wartości zużytego paliwa (32, 161). Zużycie paliwa obliczono według wzoru:

$$Z_p = M_n \times P_s \times 0,13;$$

gdzie:

Z_p – ilość zużytego paliwa (kg),

M_n – moc nominalna silnika – ciągnika, kombajnu samojezdnego (kW),

P_s – czas pracy silnika (h),

0,13 – współczynnik odpowiadający przeciętnemu jednostkowemu zużyciu paliwa (kg/kWh).

W kalkulacjach przyjmuje się, że wykorzystanie mocy ciągnika w pracach rolniczych wynosi ok. 50%, co przy jednostkowym zużyciu paliwa przez silniki ciągników – wynoszącym ok. 260 g/kWh – daje wielkość przeciętnego zużycia w ilości 130 g/kWh (162).

Rachunek ekonomiczny, z uwagi na występujące w ostatnim 10-leciu dość częste zmiany cen i relacji między nimi na rynku rolnym (4, 5, 49, 66, 123, 124), oparto na cenach środków produkcji i ziemiopłodów z kilku lat. Informacje o cenach pochodziły z różnych źródeł (32, 33, 39, 106, 123, 124). Wskaźniki ekonomiczne dla wszystkich lat obliczono w nowych złotych. W ocenie ekonomicznej płodozmianów obejmującej lata 1988–1991 uwzględniono plony roślin oraz wielkości nakładów pracy ludzkiej i uprzedmiotowionej z poszczególnych lat badań polowych, na-

tomiast za podstawę obliczeń wykonanych dla lat 1997 i 2000 przyjęto średnie plony i przeciętne nakłady pracy. Takie podejście w kalkulacjach miało na celu poznanie wpływu czynnika „cenowego” na opłacalność produkcji roślinnej w różnych warunkach, przy zmiennych (1988–1991) oraz stałych (1997 i 2000) plonach i nakładach pracy. Z innych badań wynika, że opłacalność produkcji roślinnej w warunkach gospodarki rynkowej, szczególnie w okresie przejściowym, była kształtowana bardziej przez ceny niż technologię produkcji (49, 66).

2.3.5. Wskaźniki oceny energetycznej

Podstawą oceny energetycznej produkcji roślinnej jest ustalenie wartości energetycznej plonów, wielkości nakładów energii na produkcję i wskaźnika efektywności energetycznej obliczanego jako relacja wartości plonów do nakładów w ujęciu energetycznym. W ocenie energetycznej płodozmianów uwzględniono plony podstawowe, których wartość energetyczną określono na podstawie zawartości suchej masy według metodyki zalecanej przez FAO (151). W metodzie tej przyjęto, że 1 kg suchej masy plonu podstawowego ma wartość 18,36 MJ. Nakłady środków produkcji i pracy przeliczono na MJ, wykorzystując przy tym odpowiednie wskaźniki energochłonności, stosowane w ciągnionym rachunku energetycznym produkcji roślinnej (8, 64, 159, 160). Przy obliczaniu nakładów związanych ze zużyciem nośników energii stosowano następujące współczynniki:

nawozy mineralne:

– azotowe (N)	77 MJ/kg
– fosforowe (P_2O_5)	14 MJ/kg
– potasowe (K_2O)	10 MJ/kg
nawozy wapniowe (CaO)	5 MJ/kg
obornik	200 MJ/t
nasiona zbóż i strączkowych	7,5 MJ/kg
nasiona buraków i roślin drobnonasiennych	30 MJ/kg
ziemiaki sadzeniaki	2,5 MJ/kg
środki ochrony roślin (substancja aktywna)	300 MJ/kg
olej napędowy	48 MJ/kg
energia elektryczna	11 MJ/kWh
węgiel	27 MJ/kg
zużycie ciągników i maszyn rolniczych	112 MJ/kg
części zamienne	80 MJ/kg
materiały do napraw	30 MJ/kg
smary	22 MJ/kg
praca ludzi	40 MJ/rbh.

Wielkość jednostkowych nakładów energetycznych skumulowanych w ciągnikach i maszynach rolniczych odnosi się do 1 kg ich masy. Sposób obliczania zużycia w czasie eksploatacji ciągników i maszyn rolniczych jest analogiczny, jak ustalanie

kosztów amortyzacji, z tą jednak różnicą, że tu określamy umowne zużycie maszyn w kg/h ich pracy i przeliczamy na MJ. Masę części zamiennych określano na poziomie 30% zużycia (masy) ciągników i maszyn, a więc wykorzystano taki sam wskaźnik, jak przy ustalaniu kosztów części zamiennych i napraw względem kosztu amortyzacji (161). Materiały zużyte do napraw stanowiły 4% masy części zamiennych (64, 65), a smary 4% zużytego paliwa (33, 65).

Wskaźnik efektywności energetycznej (E_e) obliczono według wzoru:

$$E_e = \frac{P_e}{N_e},$$

gdzie:

P_e – wartość energetyczna plonu uzyskanego z 1 ha (MJ),

N_e – wielkość nakładów energetycznych poniesionych na uzyskanie plonu z 1 ha (MJ).

2.3.6. Wskaźniki oceny syntetycznej

Ze względu na różne wartości i miana wskaźników analitycznych posługiwanie się nimi w ocenie porównawczej jest dość trudne. Stąd dąży się do stosowania wskaźników syntetycznych, które w ramach każdego z kryteriów waloryzacji najlepiej charakteryzują porównywane płodozmiany. W końcowym etapie oceny kompleksowej chodzi o uwzględnienie kilku wskaźników jednocześnie. Pojawia jednak się problem, bowiem wartości różnych wskaźników nie można sumować. W tej sytuacji stosuje się metody punktowe, pozwalające na wyrażenie wartości różnych wskaźników jedną liczbą. W tym celu może być wykorzystany wskaźnik względnej efektywności punktowej lub punktowy wskaźnik kolejności (98, 167). Obydwa wskaźniki są mało dokładne, gdyż w pierwszym przypadku przyjęta rozpiętość skali ocen jest zbyt duża (100–0 punktów), a w drugim nie uwzględnia się wielkości różnic między wartościami bezwzględными poszczególnych obiektów (punkty odpowiadają lokacie w rankingu).

Lepszym, bardziej obiektywnym, wydaje się być wskaźnik punktowy. Do określania wartości liczbowej tego wskaźnika opracowano następujący algorytm:

- 1) tworzenie uporządkowanego szeregu liczbowego dla wartości analizowanej cechy gdzie:

$$x_1 = \min < x_2 < x_3 < \dots < x_n = \max$$

- 2) wyznaczanie długości przedziału klasowego według wzoru:

$$d = \frac{x_n - x_1}{n}$$

gdzie:

$x_n - x_1$ jest różnicą między skrajnymi wartościami uporządkowanego szeregu liczbowego,

n – liczba elementów szeregu;

3) konstrukcja przedziałów klasowych.

Wartości graniczne przedziałów wylicza się z kolejnych wyrazów ciągu arytmetycznego, w którym pierwszy wyraz (a_1) odpowiada najmniejszej wartości szeregu liczbowego ($x_1 = \min$), zaś kolejne wyrazy ciągu są większe od wyrazu poprzedniego o stałą wartość d , a ostatnim wyrazem jest największa wartość szeregu ($x_n = \max$); czyli:

$$a_1 = x_1, a_2 = x_1 + d, a_3 = x_1 + 2d, \dots, a_n = x_1 + (n - 1)d, a_{n+1} = x_n$$

4) bonitacja punktowa obiektów.

Elementy szeregu liczbowego x_j zalicza się na podstawie ich wielkości do odpowiednich klas (przedziałów) wyznaczonych ciągiem a_i , stąd każdy element x_j należący do przedziału $\langle a_i, a_{i+1} \rangle$ przyjmuje wartość punktową równą i , tj. wartość rangi przyznaną tej klasie. Wobec tego ocena punktowa każdej wartości $x_j \in \langle a_1, a_2 \rangle$ jest równa 1, dla $x_j \in \langle a_4, a_5 \rangle$ wynosi 4 itd.

W ocenie punktowej porównywanych płodozmianów przyjęto 8 przedziałów klasowych dla każdej cechy (wskaźnika oceny). Najkorzystniejsza wartość cechy otrzymała 8 punktów, a najmniej korzystna – 1 punkt.

W wielokryterialnej waloryzacji, na podstawie sum punktów uzyskanych za wszystkie wskaźniki oceny, ustalono kolejność (ranking) porównywanych płodozmianów. Dla określenia zależności między wybranymi wskaźnikami oceny płodozmianów a udziałem roślin zbożowych i okopowych w strukturze zasiewów zastosowano korelację liniową oraz, w przypadku małej liczebności danych, korelację rang. Współczynnik korelacji rang (Q), zwany też kolejnościowym współczynnikiem korelacji, obliczano według wzoru (68):

$$Q = 1 - \frac{6 \sum (r_x - r_y)^2}{n^3 - n} ,$$

gdzie:

r_x – rangi, czyli numery porządkowe nadane wartościom cechy x w szeregu uporządkowanym,

r_y – rangi, czyli numery porządkowe nadane wartościom cechy y w kolejności od wartości najmniejszej do największej,

n – liczebność zbiorowości.

W pierwszym podejściu dokonano oceny płodozmianów w ramach poszczególnych kryteriów na podstawie większej liczby wskaźników o różnym stopniu złożoności (tab. 3), zaś w ocenie punktowej uwzględniono tylko najbardziej podstawowe, głównie syntetyczne wskaźniki. Do nich zaliczono plony (podstawowe) jednostek zbożowych, suchej masy i białka ogólnego, wskaźniki bilansowe NPK i substancji organicznej, liczbę zabiegów ochrony roślin, wskaźnik łącznej przechłonności (ENT) oraz wskaźniki opłacalności brutto i efektywności energetycznej. Natomiast do wskaźników gospodarowania zrównoważonego na poziomie pola,

w ocenie punktowej płodozmianów, zaliczono plon jednostek zbożowych, wskaźnik opłacalności brutto i syntetyczny wskaźnik ekologiczny (stanowiący sumę punktów z łącznej oceny bilansów NPK i substancji organicznej oraz liczby zabiegów ochrony roślin).

3. OMÓWIENIE WYNIKÓW I DYSKUSJA

3.1. OCENA PRODUKCYJNA

Przed zasadniczą oceną płodozmianów przeprowadzono analizę wydajności poszczególnych roślin w zakresie plonów rzeczywistych i przeliczeniowych, wyrażonych w jednostkach zbożowych, suchej masie i białku ogólnym. W tabelach 4 i 5 podano plony roślin jako średnie z 4-letniej rotacji porównywanych płodozmianów. Przeciętne plony rzeczywiste uzyskane w doświadczeniach płodozmianowych były na ogół większe (zwłaszcza buraka cukrowego i zbóż) lub co najmniej równe (ziemniak, mieszanka koniczyny z trawą) plonom osiągalnym na glebach kompleksów pszennych (22). Jedynie groch w uprawie na nasiona plonował na poziomie niższym od osiągalnego. Za osiągalny uważa się plon uzyskiwany w określonych warunkach naturalnych, przy stosowaniu poprawnej agrotechniki (23). Dla pól produkcyjnych wyznacznikiem plonu osiągalnego jest często jego przeciętny poziom w ścisłym doświadczeniu polowym.

Pośród uprawianych roślin największym plonem podstawowym jednostek zbożowych zdecydowanie wyróżnił się burak cukrowy (120–165 j.z./ha), a najmniej wydajnymi były groch w uprawie na nasiona oraz owies na zielonkę z wsiewką motylkowato-trawistą (odpowiednio ok. 30 i 40 j.z./ha). Plon ziemniaka w jednostkach zbożowych był większy niż zbóż, ale zarazem mniejszy o 50% w porównaniu z burakiem cukrowym (tab. 5). Pod względem wielkości plonu suchej masy wyróżniły się takie rośliny jak burak cukrowy, kukurydza w uprawie na kiszonkę, owies na zielonkę z wsiewką oraz mieszanka koniczyny czerwonej z kostrzewą łąkową w roku pełnego użytkowania. Natomiast groch, podobnie jak w przypadku jednostek zbożowych, cechował się najmniejszą wydajnością suchej masy. W zakresie plonu białka ogólnego na uwagę zasługują duże wydajności mieszanki koniczyny z trawą, kukurydzy na kiszonkę i owsa na zielonkę z wsiewką (zbiór ściernianki).

Wartość stanowisk w porównywanych płodozmianach oceniono na podstawie plonów roślin testowych. W płodozmianach zbożowych roślinami testowymi były jęczmień jary i pszenica ozima, a w płodozmianach okopowych – burak cukrowy i pszenica ozima (tab. 6 i 7). Jęczmień jary wysiewano w drugim roku po nawożeniu obornikiem; w płodozmianach A, B i C – po bardzo dobrych przedplonach (burak cukrowy, groch) a w płodozmianie D po warunkowo dobrym przedplonie – kukurydzy uprawianej na ziarno (tab. 1). Różnice w plonach ziarna jęczmienia okazały się nieistotne, przy czym w stanowisku po kukurydzy (D) jego plon był

Tabela 4

Plony poszczególnych roślin w płodozmianach zbożowych
(średnie z lat 1988–1991)
Crop yields in cereal crop rotations (means from 1988–1991)

Płodozmian Crop rotation	Roślina uprawna Field crop	Plon podstawowy Main product t/ha	Plon jednostek zbożowych z 1 ha Yield of cereal units per 1 ha		Plon suchej masy podstawowy Dry matter main product t/ha	Plon białka ogólnego podstawowy Total protein main product kg/ha
			plon podstawowy main product	plon łączny* total yield		
A	burak c ⁺⁺ sugar beet	48,31	120,8	161,6	11,63	763
	jęczmień j. spring barley	5,19	51,9	57,7	4,41	607
	groch peas	2,40	28,8	34,2	2,04	521
	pszenica oz. winter wheat	7,22	72,2	78,5	6,14	880
B	burak c ⁺⁺ sugar beet	48,68	121,7	163,6	11,73	770
	jęczmień j. spring barley	4,92	49,2	54,8	4,18	575
	owies oats	5,62	56,2	65,3	4,78	650
	pszenica oz. winter wheat	6,42	64,2	70,0	5,46	782
C	groch ⁺⁺ peas	2,47	29,6	35,1	2,10	536
	jęczmień j. spring barley	5,12	51,2	57,0	4,35	598
	owies oats	5,64	56,4	65,5	4,79	652
	pszenica oz. winter wheat	6,35	63,5	69,3	5,40	774
D	kukurydza ⁺⁺ maize	7,16	71,6	87,7	6,09	694
	jęczmień j. spring barley	4,85	48,5	54,0	4,12	567
	owies oats	5,53	55,3	64,3	4,70	639
	pszenica oz. winter wheat	6,31	63,1	68,9	5,36	769

* plon podstawowy i uboczny; main product and by-product

niewielki niż po buraku w płodozmianie A (tab. 6). Kukurydza jest zaliczana do gorszych przedplonów dla zbóż, zwłaszcza ozimych (58). Natomiast dla zbóż jarych oraz w warunkach stosowania herbicydów szybko rozkładających się w glebie wartość przedplonowa kukurydzy jest dobra (60). W przypadku stosowania w doświadczeniach herbicydów persystentnych (triazynowych) dla zmniejszenia ich ujemnego wpływu na roślinę następczą, wykonywano oprysk po wschodach roślin ograniczoną (1/2) dawką preparatu wraz z dodatkiem oleju roślinnego

Tabela 5

Plony poszczególnych roślin w płodozmianach okopowych
(średnie z lat 1988–1991)
Crop yields in root crop rotations (means from 1988–1991)

Płodo- zmian Crop rotation	Roślina uprawna Field crop	Plon podstawowy Main product t/ha	Plon jednostek zbożowych z 1 ha Yield of cereal units per 1 ha		Plon suchej masy podstawowy Dry matter main product t/ha	Plon białka ogólnego podstawowy Total protein main product kg/ha
			plon podstawowy main product	plon łączny* total yield		
E	burak c. ⁺⁺ sugar beet	55,10	137,7	187,5	13,30	873
	owies+wsiewka oats+undercrop	36,05	39,2	39,2	10,12	1268
	koniczyna+trawa clover+grass	60,93	53,5	53,5	11,39	1844
	pszenica oz. winter wheat	6,09	60,9	66,4	5,18	742
F	burak c. ⁺⁺ sugar beet	58,80	147,0	197,5	13,65	896
	burak c. sugar beet	54,68	136,7	185,4	13,22	868
	kukurydza maize	47,13	47,1	47,1	15,92	1692
	pszenica oz. winter wheat	6,66	66,6	72,3	5,67	812
G	burak c. ⁺⁺ sugar beet	65,78	164,4	217,3	15,88	1042
	jęczmień j. spring barley	5,09	50,9	56,7	4,33	595
	ziemniak ⁺⁺ potatoes	33,88	84,4	84,4	8,10	714
	pszenica oz. winter wheat	7,57	75,7	81,9	6,44	923
H	burak c. ⁺⁺ sugar beet	64,02	160,0	212,9	15,49	1017
	ziemniak potatoes	32,10	80,2	80,2	7,71	679
	burak c. ⁺⁺ sugar beet	58,73	146,8	202,6	14,15	929
	pszenica oz. winter wheat	7,71	77,1	83,3	6,55	940

* plon podstawowy i uboczny; main product and by-product

i emulgatora. Podobną reakcję jęczmienia jarego na przedplony stwierdzono w II, III i IV rotacji ocenianych płodozmianów (89); wówczas średnio za 12 lat w płodozmianach z 75 i 100% udziałem zbóż (B, C i D) plonował tylko o 2–4% niżej niż w płodozmianie norfolkskim (A).

W płodozmianach okopowych przedplonem dla buraka cukrowego – pierwszej rośliny rotacji, uprawianej na oborniku – była pszenica ozima. Największe plony korzeni buraka zbierano w płodozmianach G i H, w których 2-krotnie w rotacji stosowano obornik w dawce 30 t/ha niezależnie od udziału roślin okopowych

w strukturze zasiewów. W płodozmianach E i F jego wydajność była istotnie mniejsza (tab. 7). Taką samą reakcją buraka na nawożenie obornikiem stwierdzono w pierwszej rotacji tego doświadczenia (85).

Pszenica ozima w obydwu doświadczeniach płodozmianowych była czwartą rośliną rotacji, dlatego też można bezpośrednio dokonywać oceny porównawczej jej wydajności we wszystkich 8 stanowiskach (tab. 1). W płodozmianach zbożowych pszenicę uprawiano po grochu (A) i owsie (B, C i D), natomiast w płodozmianach okopowych po mieszance koniczyny czerwonej z trawą (E), kukurydzy na kiszonkę (F) oraz roślinach okopowych – ziemniaku (G) i buraku cukrowym (H) nawożonych obornikiem. W płodozmianach zbożowych pszenica ozima największy plon ziarna wydała po grochu w płodozmianie A z 50% udziałem zbóż (tab. 6). Natomiast w płodozmianach zawierających 75% (B i C) oraz 100% zbóż (D), w stanowisku po owsie, jej wydajność była o 11–13% mniejsza. Z porównania jej plonów uzyskanych w płodozmianach A i B wynika, że owies był istotnie gorszym przedplonem od grochu. W doświadczeniu z porównaniem płodozmianów okopowych największe plony ziarna pszenicy uzyskano w stanowiskach po roślinach okopowych zasilanych obornikiem (G, H), a istotnie mniejsze po mieszance koniczyny z trawą (E) i kukurydzy przeznaczonej na kiszonkę (F); (tab. 7). Rośliny motylkowate i ich mieszanki z trawami są przedplonami alternatywnymi, bowiem każdorazowo wartość ich zależy w dużym stopniu od terminu zbioru ostatniego pokosu oraz stanu uwilgotnienia i doprowadzenia gleby przed siewem pszenicy ozimej. Przy opóźnionym zbiorze motylkowatych, w suchych rejonach i w warunkach niedoboru opadów stanowisko bywa zbyt przesuszone. W omawianym doświadczeniu po zbiorze mieszanki koniczyny z trawą stwierdzano większe przesuszenie gleby niż po innych przedplonach. Uzyskane wyniki wskazują, że na plonowanie pszenicy ozimej większy wpływ wywierał dobór przedplonów niż udział zbóż w strukturze zasiewów (tab. 6 i 7). Jęczmień jary słabo reagował na przedplon i następstwo roślin w płodozmianie (tab. 6). Brak ujemnego wpływu zwiększonego udziału zbóż w zasiewach na plonowanie pszenicy ozimej wynikał z korzystnego doboru gatunków zbóż (owies i kukurydza). Obniżka plonów ziarna tych zbóż nie była spowodowana wzrostem zachwaszczenia ani też większym porażeniem przez patogeny. Pielęgnacja mechaniczna zasiewów (bronowanie) i chemiczne zabiegi ochrony roślin skutecznie ograniczały występowanie agrofagów. Podobne zróżnicowanie wydajności pszenicy i jęczmienia, jako roślin testowych, w płodozmianach o różnej strukturze zasiewów stwierdzali również inni autorzy (58, 80, 89). Groch i rośliny okopowe są dla pszenicy przedplonami bardzo dobrymi, a owies uznaje się za przedplon dobry (59, 89) – w płodozmianach zbożowych pełniący rolę rośliny fitosanitarnej i regenerującej (1, 2, 59, 61). Z badań przeprowadzonych w zasiewach produkcyjnych wynika, że najczęściej istotny wpływ na wydajność pszenicy ozimej mają takie czynniki jak przedplon, termin siewu, wielkość dawki azotu i liczba zabiegów ochrony roślin (42).

Z porównania produktywności płodozmianów zbożowych wynika, że zwiększenie liczby pól obsianych zbożami z dwóch (płodozmian A) do trzech (płodozmiany

Tabela 6

Plony roślin testowych, globalna produkcja ziarna i przeciętna wydajność płodozmianów zbożowych (średnie z lat 1988–1991)
Yields of test crops, overall grain production and average output of cereal rotations (means from 1988–1991)

Wyszczególnienie Specification	Płodozmiany; Crop rotations				NIR LSD ($\alpha = 0,05$)
	A	B	C	D	
Plon ziarna roślin testowych (t/ha): Grain yield of test plants:					
- jęczmień jary spring barley	5,19 (100)*	4,92 (95)	5,12 (99)	4,85 (93)	r.n.
- pszenica ozima winter wheat	7,22 (100)	6,42 (89)	6,35 (88)	6,31 (87)	0,378
Globalna produkcja ziarna w płodozmianie (t) Gross production of grain in crop rotation	12,41 (100)	16,95 (137)	17,10 (138)	23,84 (192)	2,237
Przeciętny plon ziarna z płodozmianu (t/ha) Mean grain yield in crop rotation	6,21 (100)	5,65 (91)	5,70 (92)	5,95 (96)	r.n.
Plon jednostek zbożowych z 1 ha płodozmianu: Yield of cereal units per 1 ha in crop rotation:					
- plon podstawowy main product	68,4	72,8	50,2	59,6	7,71
- plon łączny main product and by-product	83,0	88,4	56,7	68,7	8,62
Plon suchej masy** Dry matter main product (t/ha)	6,06	6,54	4,16	5,07	0,66
Plon białka ogólnego** Total protein yield (kg/ha)	693	694	640	667	r.n.

* plon względny (%); relative yield

** plon podstawowy; main product

r.n. – różnice nieistotne; differences not significant

Tabela 7

Plony roślin testowych i przeciętna wydajność płodozmianów okopowych
(średnie z lat 1988–1991)
Yields of test crops and average output of root crop rotations
(means from 1988–1991)

Wyszczególnienie Specification	Płodozmiany; Crop rotations				NIR LSD ($\alpha = 0,05$)
	E	F	G	H	
Plon podstawowy roślin testowych (t/ha): Main product of test plants:					
- burak cukrowy sugar beet	55,1 (100)*	58,8 (107)	65,8 (119)	64,0 (116)	4,03
- pszenica ozima winter wheat	6,09 (100)	6,66 (109)	7,57 (124)	7,71 (127)	0,908
Plon jednostek zbożowych z 1 ha płodozmianu: Yield of cereal units per 1 ha in crop rotation:					
- plon podstawowy main product	72,8	99,4	93,4	116,0	11,95
- plon łączny main product and by-product	86,6	125,6	110,1	144,7	14,90
Plon suchej masy** Dry matter main product (t/ha)	10,00	12,12	8,69	10,97	1,82
Plon białka ogólnego (kg/ha)** Total protein yield	1182	1067	818	891	151,7

* plon względny (%); relative yield

** plon podstawowy; main product

B i C), a więc o 50%, pozwoliło na zwiększenie łącznej produkcji ziarna o około 37% (tab. 6). Zatem wzrost produkcji ziarna był o 13% mniejszy od wzrostu powierzchni obsianej zbożami. W wielogatunkowej monokulturze zbożowej z polem kukurydzy uprawianej na ziarno (D) powierzchnia zajęta przez rośliny zbożowe była dwukrotnie większa niż w płodozmianie norfolkskim (A), a produkcja ziarna wzrosła do 192%. Przeciętny plon ziarna z jednostki powierzchni w płodozmianach z 75% udziałem zbóż (B i C) był o 8–9% mniejszy od uzyskanego w płodozmianie A (50% zbóż), zaś w monokulturze zbożowej (D) obniżka przeciętnego plonu ziarna wynosiła tylko 4% (tab. 6). Podobne zależności pomiędzy produkcją i przeciętnym plonem ziarna a udziałem zbóż w płodozmianach na glebach pszennych dobrych we wcześniejszych badaniach stwierdził J e l i n o w s k i (58). Ponadto wykazał, że warunkiem uzyskania w monokulturze zbożowej wzrostu globalnej produkcji ziarna proporcjonalnego do zwiększanej powierzchni zbóż była uprawa na każdym polu innego gatunku zboża, w tym kukurydzy na ziarno. Jeżeli w płodozmianie z 50% udziałem zbóż przeciętny plon ziarna przekraczał 5 t z ha, to uzyskanie tej samej wydajności ziarna w monokulturze było możliwe przy plonach kuku-

rydzy wyższych o 2 t z ha (58). W przypadku porównywanych płodozmianów (A i D) plon ziarna jęczmienia jarego przekraczał 5 t z ha, a plony pszenicy ozimej i kukurydzy nie różniły się między sobą – osiągnęły poziom 7,2 t ziarna z ha (tab. 4). Z innych badań wynika, że w wielogatunkowej monokulturze składającej się z samych zbóż kłosowych występują znaczne większe obniżki przeciętnego plonu ziarna (61, 80, 88, 109, 142). Analiza zależności pomiędzy udziałem zbóż w strukturze zasiewów a ich plonowaniem wykazała, że zwiększenie udziału zbóż w zasiewach o 10% (w przedziale od 50 do 100%) na glebach dobrych i średnich obniża przeciętny plon ziarna ze zmianowania o około 3% (82).

Przy porównywaniu produktywności całych płodozmianów z udziałem wielu różnych roślin konieczne jest podawanie plonów w jednostkach przeliczeniowych. W związku z tym analizą objęto plony jednostek zbożowych, suchej masy i białka ogólnego (tab. 6 i 7). O wydajności jednostek zbożowych decydował głównie udział buraka cukrowego w płodozmianie. Wydajnością jednostek wyraźnie przewyższa inne rośliny (tab. 4 i 5), co również stwierdzali inni autorzy (29, 85, 89, 163). W grupie płodozmianów zbożowych istotnie większe plony mierzone tym wskaźnikiem osiągnięto w płodozmianach A i B, w których burak był uprawiany w pierwszym polu rotacji (tab. 6). Zastąpienie buraka cukrowego innym gatunkiem uprawianym w polu roślin okopowych prowadziło do zdecydowanego obniżenia wydajności jednostek zbożowych. W przypadku płodozmianu C, w którym burak cukrowy zastąpiono grochem, przeciętny plon jednostek z rotacji obniżył się o około 30%. Natomiast zwiększenie udziału buraka w strukturze zasiewów do 50% (F i H) istotnie zwiększyło plon jednostek zbożowych (tab. 7). W płodozmianie z 75% udziałem roślin okopowych (dwa pola obsiane burakiem i jedno z ziemniakiem) wydajność była wyższa o około 60% w porównaniu z płodozmianem typu norfolckiego (E).

Pod względem suchej masy bardziej wydajne od zbożowych okazały się płodozmiany okopowe (tab. 6 i 7), co było spowodowane większą produktywnością buraka cukrowego, mieszanki koniczyny z trawą i kukurydzy kiszonkowej (tab. 4 i 5). Najmniejsze plony zebrano w płodozmianie C (25% udział grochu i 75% zbóż) i wielogatunkowej monokulturze zbożowej (D).

Płodozmiany zbożowe cechowały się dość wyrównanymi plonami białka ogólnego (tab. 6), zaś płodozmiany okopowe pozwalały osiągnąć wyższą i zarazem istotnie zróżnicowaną wydajność tego składnika (tab. 7). Największe plony białka uzyskano w płodozmianach z udziałem mieszanki motylkowato-trawiastej (E) i kukurydzy kiszonkowej (F). W pierwszym przypadku większą rolę odegrała zawartość białka w plonie mieszanki, a w drugim duży plon suchej masy kukurydzy. Burak cukrowy mimo dużej wydajności suchej masy daje relatywnie małe plony białka (tab. 4 i 5).

Na podstawie wielkości uzyskiwanych plonów przeliczeniowych jednostek zbożowych, suchej masy i białka ogólnego do wyróżniających się dodatnio można zaliczyć płodozmiany okopowe z 50% udziałem buraka cukrowego (F i H) i płodozmian typu norfolckiego z mieszanką motylkowato-trawiastą (E). Natomiast zde-

cydowanie najniższe wartości tych wskaźników cechowały płodozmian, w którym 25% powierzchni zajmował groch a 75% zboża. Najwyższe plony ziarna, przy co najmniej 50% udziale zbóż w strukturze zasiewów, zapewniał płodozmian typu norfolskiego (A). A d a m i a k (2, 3) na podstawie syntezy wieloletnich badań (dotyczących granicy wysycenia płodozmianów zbożami i roślinami nie zbożowymi) przeprowadzonych w różnych ośrodkach naukowych Polski wykazał, że udział zbóż w zasiewach bez ryzyka obniżki plonów może wynosić 60–65%, a udział buraka cukrowego w krótkim okresie czasu i przy wysokim nawożeniu organicznym może dochodzić nawet do 50%. Czynnikiem korzystnym jest wydłużenie rotacji płodozmianu, gdyż umożliwia zwiększenie liczby gatunków roślin oraz ułatwia dobór i rozmieszczenie roślin regenerujących glebę.

3.2. OCENA PRZYRODNICZO-EKOLOGICZNA

Spośród roślin występujących w porównywanych płodozmianach największe dawki nawozów mineralnych otrzymywały: burak cukrowy, ziemniak, owies na zielonkę + wsiewka, mieszanka koniczyny z trawą i kukurydza, a najmniejsze – groch w uprawie na nasiona (tab. 8 i 9). Obornik stosowano pod rośliny uprawiane w polu okopowych oraz dodatkowo pod ziemniak i burak cukrowy w trzecim polu rotacji w płodozmianach G i H.

Intensywność chemicznej ochrony roślin scharakteryzowano dwoma wskaźnikami – zużyciem substancji aktywnej (kg/ha) i liczbą wykonanych zabiegów ochrony roślin. Największe ilości substancji aktywnej zastosowano w ochronie buraka cukrowego (3,7–4,6 kg s.a./ha) i pszenicy ozimej (ok. 3,5 kg s.a./ha), mniejsze w przypadku grochu, kukurydzy i ziemniaka, a najmniejsze w zbożach jarych (ok. 1 kg s.a./ha). Pod względem liczby zabiegów ochrony roślin zdecydowanie wyróżnić należy pszenicę ozimą, bowiem jej zasiewy wymagały wykonania około 5 oprysków przeciwko agrofagom. W uprawach innych roślin wykonywano znacznie mniej zabiegów, przy czym mieszanka koniczyny z trawą nie wymagała chemicznej ochrony roślin.

Z oceny pokrycia gleby roślinnością w ciągu roku wynika, że najkorzystniejszym wskaźnikiem cechują się zasiewy pszenicy ozimej, owsa z wsiewką i mieszanki koniczyny z trawą (tab. 8 i 9). Przez stosunkowo krótki okres glebę pokrywają zboża jare, kukurydza i ziemniak, a najmniej korzystny wskaźnik pokrycia ma groch.

Współczesne rolnictwo musi realizować w coraz szerszym zakresie cele ekologiczne, rozumiane jako ochrona środowiska przed skażeniami i różnego rodzaju zagrożeniami ze strony działalności rolniczej. Podstawę do oceny ewentualnych zagrożeń dla środowiska ze strony gospodarstwa rolniczego na poziomie pola dają bilanse składników mineralnych i substancji organicznej w glebie. W badanych płodozmianach podstawowym źródłem składników pokarmowych dla roślin były nawozy mineralne i obornik (tab. 10). Na ogół większe ilości składników dostarczano w nawozach mineralnych niż w oborniku. Jedynie w płodozmianie G, zawie-

Tabela 8

Nawożenie, ochrona roślin i pokrycie gleby roślinnością w płodozmianach zbożowych
Fertilization, plant protection and vegetation cover in cereal crop rotations

Płodozmian Crop rotation	Roślina uprawna Field crop	Dawki nawozów mineralnych Mineral fertilizers doses (kg/ha)			Zużycie substancji aktywnej Consump. of active ingred. kg/ha	Liczba zabiegów ochrony roślin No. of plant protection measures	Pokrycie gleby roślinnością w roku (pkt) Vegetation cover during the year (points)
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O			
A	burak cukrowy ⁺⁺ sugar beet	120	90	120	3,72	1,25	3,6
	jęczmień jary spring barley	70	60	80	1,28	1,00	2,7
	groch peas	40	60	80	3,01	2,50	1,8
	pszenica ozima winter wheat	70	60	80	3,57	5,25	7,6
B	burak cukrowy ⁺⁺ sugar beet	120	90	120	3,72	1,25	3,6
	jęczmień jary spring barley	60	60	80	1,28	1,00	2,7
	owies oats	70	60	80	1,08	1,25	2,8
	pszenica ozima winter wheat	80	60	80	3,57	5,25	7,6
C	groch ⁺⁺ peas	40	90	120	3,01	2,50	1,8
	jęczmień jary spring barley	60	60	80	1,28	1,00	2,7
	owies oats	70	60	80	1,08	1,25	2,8
	pszenica ozima winter wheat	80	60	80	3,57	5,25	7,6
D	kukurydza ⁺⁺ maize	100	90	120	2,01	1,00	3,1
	jęczmień jary spring barley	60	60	80	1,28	1,00	2,7
	owies oats	70	60	80	1,08	1,25	2,8
	pszenica ozima winter wheat	80	60	80	3,57	5,25	7,6

⁺⁺ obornik; manure – 30 t/ha

rającym po 50% roślin okopowych i zbóż, przy 2-krotnym stosowaniu obornika w 4-letniej rotacji, dopływ składników mineralnych z obydwu źródeł był niemal równoważny. W płodozmianach okopowych poziom nawożenia, jak i łączny dopływ składników mineralnych, był wyższy przeciętnie o około 50% niż w zbożo-

Tabela 9

Nawożenie, ochrona roślin i pokrycie gleby roślinnością w płodozmianach okopowych
Fertilization, plant protection and vegetation cover in root crop rotations

Płodozmian Crop rotation	Roślina uprawna Field crop	Dawki nawozów mineralnych Mineral fertilizers doses (kg/ha)			Zużycie substancji aktywnej Consump. of active ingred. kg/ha	Liczba zabiegów ochrony roślin No. of plant protection measures	Pokrycie gleby roślinnością w roku (pkt) Vegetation cover during the year (points)
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O			
E	burak cukrowy ⁺⁺ sugar beet	120	100	180	4,64	2,00	4,2
	owies+wsiewka oats+undercrop	180	120	180	0,30	0,25	7,3
	koniczyna+trawa clover+grass	180	150	200	-	-	7,2
	pszenica ozima winter wheat	70	70	70	3,35	4,75	7,5
F	burak cukrowy ⁺⁺ sugar beet	120	100	180	4,64	2,00	4,2
	burak cukrowy sugar beet	165	140	220	4,25	1,75	4,2
	kukurydza maize	120	80	200	2,26	1,00	2,7
	pszenica ozima winter wheat	70	70	70	3,35	4,75	7,5
G	burak cukrowy ⁺⁺ sugar beet	120	100	180	4,64	2,00	4,2
	jęczmień jary spring barley	60	70	70	1,19	1,25	2,6
	ziemniak ⁺⁺ potatoes	90	60	120	1,73	3,25	2,6
	pszenica ozima winter wheat	70	70	70	3,35	4,75	7,5
H	burak cukrowy ⁺⁺ sugar beet	120	100	180	4,64	2,00	4,2
	ziemniak potatoes	130	100	160	1,73	2,75	2,6
	burak cukrowy ⁺⁺ sugar beet	120	100	180	4,25	1,75	4,2
	pszenica ozima winter wheat	70	70	70	3,35	4,75	7,5

⁺⁺ obornik; manure – 30 t/ha

wych. W płodozmianach zbożowych nawożenie kształtowało się na poziomie około 230 kg NPK/ha w nawozach mineralnych i 110 kg NPK/ha w oborniku, zaś w płodozmianach okopowych odpowiednio – 350 kg NPK/ha oraz 110 (płodoz. E i F) i 220 kg NPK/ha (G i H). Według M a z u r a (99) za bezpieczne dla środowi-

ska, w odniesieniu do płodozmianu, można uznać 238 kg NPK/ha w nawozach mineralnych i 126 kg NPK/ha w nawozach organicznych. Na podstawie tych wielkości granicznych stwierdza się, że nawożenie stosowane w płodozmianach zbożowych nie stwarzało zagrożenia dla środowiska. W przypadku płodozmianów okopowych, zwłaszcza z dwoma polami w rotacji nawożonymi obornikiem (G i H), takie zagrożenie potencjalnie istnieje. Stosowanie zbyt dużych dawek nawozów prowadzi do zachwiania równowagi między glebą i rośliną oraz nawozowej degradacji gleb; wynikiem tego może być skażenie roślin azotanami i dużą koncentracją potasu oraz zanieczyszczenie wód gruntowych (100).

W porównywanych płodozmianach pobranie azotu i potasu z plonami roślin na ogół przewyższało dopływ tych składników z nawozów i innych źródeł, zaś saldo fosforu było dodatnie (tab. 10). Największe niedobory N i K wystąpiły w płodozmianach okopowych z 50% udziałem buraka cukrowego (F i H). Szczególnie w płodozmianie F z powodu dużej ujemnej różnicy bilansowej N i K grozi degradacja gleby, zaś znaczne nadwyżki P w kilku płodozmianach będą prowadzić do straty tego składnika. Jedynie w płodozmianie zbożowym C (25% grochu + 75% zbóż) bilans składników mineralnych można uznać za zrównoważony. Relacje między dopływem a odpływem składników syntetycznie charakteryzuje wskaźnik bilansowy; jego wartość większa od 1 świadczy o dodatnim bilansie danego składnika (tab. 10). Z analizy bilansu składników mineralnych wynika, że praktycznie w żadnym płodozmianie nawożenie nie stanowiło wyraźnego zagrożenia dla środowiska. Zatem wcześniejsze stwierdzenie, oparte na liczbach granicznych M a z u r a (99), o takim zagrożeniu przy stosowaniu płodozmianów okopowych nie zostało potwierdzone. Tę rozbieżność ocen można tłumaczyć poziomem uzyskiwanych plonów; w cytowanej pracy (99) za podstawę do obliczeń przyjęto osiągalne w skali kraju plony roślin na poziomie 43 jednostek zbożowych z ha, natomiast wydajność roślin w rotacji ocenianych płodozmianów okopowych wynosiła 73–116 jednostek zbożowych/ha (tab. 7). Stąd pobranie składników mineralnych z tak dużymi plonami przewyższało przychody azotu i potasu. W związku z tym można stwierdzić, że saldo bilansu składników mineralnych zależy od płodozmianu (struktury zasiewów), poziomu nawożenia i wydajności roślin. Bilans sporządzany „na powierzchni pola” umożliwia ocenę stopnia obciążenia gleby składnikami mineralnymi (26, 27, 69, 103, 111), a prawidłowo skonstruowany płodozmian zapobiega degradacji gleby (107).

Substancja organiczna kształtuje potencjał produkcyjny gleb, a jej zasoby zależą głównie od struktury zasiewów i nawożenia organicznego. W porównywanych płodozmianach reprodukcja substancji organicznej następowała zasadniczo przez nawożenie obornikiem (tab. 11). Jedynie w przypadku płodozmianów A, C i E jej przychody zależały także od uprawianych roślin – grochu i mieszanki koniczyny z trawą. Natomiast zdecydowana większość roślin przyczyniła się do degradacji substancji organicznej w glebie. Na podstawie sporządzonego bilansu można stwierdzić, że tylko płodozmiany z grochem (A i C) i mieszanką motylkowato-trawistą (E) w strukturze zasiewów oraz z 2-krotnym w rotacji nawożeniem obornikiem (G

i H) miały dodatnie saldo substancji organicznej, a w wielogatunkowej monokulturze zbożowej (D) bilans był zrównoważony. Degradująco na glebę wpływał szczególnie płodozmian okopowy z dwoma polami buraka cukrowego (F). Do ujemnego bilansu substancji organicznej prowadziło również, ale w mniejszym stopniu, stosowanie płodozmiaru z 75% udziałem zbóż i 25% buraka cukrowego (B). Wcześniejsze badania (85, 133) tych samych płodozmiarów okopowych wykazały, że w płodozmianie z 50% buraka cukrowego i ze stosowaniem tylko jeden raz

Tabela 10

Elementy i saldo bilansu składników mineralnych (formy pierwiastkowe)
Elements and balance of minerals nutrients (elementary forms)

Elementy bilansu Balance elements	Składnik Nutrient	Ilość składnika w płodozmianie (kg/ha) Amount of the nutrient in crop rotation							
		A	B	C	D	E	F	G	H
Obornik Manure	N	37	37	37	37	37	37	74	74
	P	10	10	10	10	10	10	20	20
	K	42	42	42	42	42	42	84	84
Nawozy mineralne Mineral fertilizers	N	75	83	63	78	138	119	85	110
	P	29	29	29	29	48	43	33	40
	K	75	75	75	75	131	139	91	122
Wiązanie przez bakterie symbiotyczne <i>Rhizobium</i> Nitrogen fixation by symbiotic <i>Rhizobium</i> bacteria	N	15	-	16	-	63	-	-	-
Wiązanie przez bakterie wolnożyjące w glebie Nitrogen fixation by some free-living soil-borne bacteria	N	10	10	10	10	10	10	10	10
Opad z atmosfery Precipitation	N	15	15	15	15	15	15	15	15
Razem dopływ Total input	N	152	145	141	140	263	181	184	209
	P	39	39	39	39	58	53	53	60
	K	117	117	117	117	173	181	175	206
	NPK	308	301	297	296	494	415	412	475
Pobranie z plonami roślin (odpływ) Uptake by crops (output)	N	182	186	148	173	235	268	207	255
	P	28	31	25	32	35	41	34	39
	K	151	178	110	154	262	281	214	287
	NPK	361	395	283	359	532	590	455	581
Saldo (dopływ – odpływ) Balance (input-output)	N	-30	-41	-7	-33	29	-87	-23	-46
	P	11	8	14	7	23	12	19	21
	K	-34	-61	7	-37	-89	-100	-39	-81
Wskaźnik bilansowy: dopływ/odpływ Balance index: input/output	N	0,84	0,78	0,95	0,81	1,12	0,68	0,89	0,82
	P	1,39	1,26	1,56	1,22	1,66	1,29	1,56	1,54
	K	0,77	0,66	1,06	0,76	0,66	0,64	0,82	0,72
	NPK	0,85	0,76	1,05	0,82	0,93	0,70	0,91	0,82

Tabela 11

Wskaźniki bilansu substancji organicznej, chemicznej ochrony roślin
i pokrycia gleby roślinnością
Index organic matter balance, chemical plant protection and vegetation cover

Wyszczególnienie Specification	Płodozmiany; Crop rotations							
	A	B	C	D	E	F	G	H
Bilans substancji organicznej w rotacji 4-letniej (t/ha) Organic matter balance in four-course crop rotation (t/ha)								
Reprodukcja (dopływ): Reproduction (input):								
- przez uprawę roślin through cropping	0,35	-	0,35	-	1,23	-	-	-
- przez nawożenie obornikiem through manuring	2,63	2,63	2,63	2,63	2,63	2,63	5,26	5,26
Razem dopływ Total input	2,98	2,63	2,98	2,63	3,86	2,63	5,26	5,26
Degradacja przez uprawę roślin (ubytek) Degradation through crop production (output)								
	2,46	2,99	1,59	2,64	1,93	4,38	3,86	4,73
Saldo (dopływ-odpływ) Balance (input-output)	0,52	-0,36	1,39-	-0,01	1,93	-1,75	1,40	0,53
Wskaźnik bilansowy: dopływ/odpływ Balance index: input/output	1,21	0,88	1,87	1,00	2,00	0,60	1,36	1,11
Chemiczna ochrona roślin; Chemical plant protection								
Zużycie substancji aktywnej (kg/ha) Consumption of active ingredient (kg/ha)	2,90	2,42	2,24	1,99	2,07	3,62	2,73	3,49
Liczba zabiegów ochrony roślin Number of plants protection measures	2,5	2,2	2,5	2,1	1,8	2,4	2,7	2,8
Wskaźnik pokrycia gleby roślinnością; Vegetation cover index								
Pokrycie gleby w okresie zimy (%) Vegetation cover in winter (%)	25	25	25	25	50	25	25	25
Pokrycie gleby w ciągu roku (pkt) Vegetation cover during the year (points)	3,9	4,2	3,7	4,0	6,5	4,6	4,2	4,6

w rotacji nawożenia obornikiem (F) zaznaczyła się tendencja do obniżania zawartości substancji organicznej w glebie. Zjawiska tego nie obserwowano w płodozmianach z 50 i 75% udziałem roślin okopowych, w których dwukrotnie w rotacji stosowano obornik. Zatem mimo stosowania dwóch różnych metod oceny zmian

zawartości substancji organicznej w glebie, opartych na współczynnikach reprodukcji i degradacji glebowej substancji organicznej (9, 79) oraz oznaczaniu próchnicy w glebie (85, 133), wynik porównania płodozmianów w tym zakresie jest zbieżny. Bilanse sporządzane dla gospodarstwa rolnego, a także kraju potwierdzają, że w zwiększaniu zasobów substancji organicznej w glebie zasadniczą rolę odgrywa obornik; jego udział po stronie przychodów tej substancji wynosił ponad 80% (45, 95). Wzbogacenie warstwy ornej gleby w substancję organiczną o 0,1% wymaga dawki – w zależności od rodzaju gleby – od 12 do 25 t/ha suchej masy obornika (137). Należy pamiętać, że zasilanie gleby nawozami organicznymi i zielonymi aktywizuje w niej procesy biologiczne oraz poprawia bilans składników pokarmowych i próchnicy glebowej (99–102).

Intensywność chemicznej ochrony roślin w płodozmianach zależała od doboru gatunków i ich potrzeb w zakresie zwalczania agrofagów (tab. 8 i 9). Przeciętnie najwyższą intensywnością tej ochrony, wyrażoną ilością zużytej substancji aktywnej i liczbą zabiegów (tab. 11), cechowały się płodozmiany okopowe (F, G i H) i płodozmian typu norfolckiego z polem grochu (A). Można uznać, że szczególnie płodozmian z 75% udziałem roślin okopowych (H) stwarzał największe zagrożenie dla środowiska. Najmniejsze potrzeby chemicznej ochrony roślin występowały w płodozmianie norfolckim z mieszanką motylkowato-trawiastą (E) i w płodozmianie złożonym z samych zbóż (D). Opracowania wykonane w połowie lat 70. przewidywały jako optymalne dla polskiego rolnictwa zużycie środków ochrony roślin na poziomie 2,0–2,2 kg s.b.cz./ha, zaś obecnie wskazuje się na ograniczenie wcześniejszych prognoz do około 1,5 kg (103). W badanych płodozmianach zużycie kształtowało się na średnim poziomie od 2,0 do 3,6 kg s.b.cz./ha (tab. 11). W doświadczalnych gospodarstwach Unii Europejskiej wdrażających integrowane technologie produkcji wskaźnik ten w zależności od rodzaju uprawy zawierał się w granicach 1,2–3,5 kg s.b.cz./ha (103). Przyjmuje się, że takie dawki stanowią optimum w warunkach europejskich. Polskie rolnictwo w ostatnich latach zużywało około 0,6 kg s.b.cz./ha (124), a w prognozie obejmującej okres do roku 2005 przewiduje się zwiększenie intensywności ochrony roślin do poziomu 1,2–1,4 kg s.b.cz./ha (103).

Z oceny glebochronnej funkcji roślin wynika, że tylko w płodozmianie typu norfolckiego z udziałem mieszanki koniczyny z trawą (E) wskaźnik pokrycia gleby roślinnością osiągnął 50% (tab. 11). W pozostałych płodozmianach zawierających jedno pole obsiane oziminą wynosił 25%. Bardziej miarodajny jest wskaźnik pokrycia gleby przez rośliny w ciągu całego roku, gdyż pozwala pełniej ocenić glebochronną funkcję poszczególnych płodozmianów (47). W tej ocenie również najkorzystniej wypadł płodozmian E, ale wśród pozostałych płodozmianów zróżnicowanie wskaźnika było większe niż w ocenie pokrycia gleby roślinnością w okresie zimy (tab. 11). Okazało się, że w płodozmianie C (75% zbóż + 25% grochu) okres okrywania gleby przez rośliny był najkrótszy (ocena 3,7 punktu w skali 10°). W przypadku długiego okresu w ciągu roku bez okrywy, gleba – w następstwie destrukcyjnego działania opadów, wiatru i usłonecznienia – ulega degradacji fi-

zycznej, chemicznej i biologicznej. Przyjmuje się, że w warunkach poprawnego gospodarowania wskaźnik pokrycia gleby roślinnością w okresie zimy powinien wynosić 60–80% (27), przy czym górna granica dotyczy terenów zagrożonych erozją (121, 143). W przypadku wskaźnika obejmującego okres całego roku jego optymalna wartość powinna osiągać co najmniej 6–7 punktów, co odpowiada 2/3 roku. W płodozmianach ze zwiększonym udziałem roślin zbożowych poprawę wskaźnika glebochronnej funkcji roślin można uzyskać przez uprawę międzyplonów. W działalności rolniczej, z punktu widzenia wymogów ochrony środowiska, powinno się dążyć do możliwie ciągłego utrzymywania powierzchni gleby pod pokrywami roślinnymi.

3.3. OCENA ORGANIZACYJNA

Płodozmian poprzez strukturę zasiewów wpływa na pracochłonność produkcji roślinnej. Spośród roślin występujących w porównywanych płodozmianach zdecydowanie największą pracochłonnością cechował się burak cukrowy, dwukrotnie mniej nakładów pracy wymagał ziemniak, a najmniej zboża i kukurydza na kiszonkę (tab. 12 i 13). Rośliny uprawiane w polu okopowych z powodu nawożenia obornikiem były bardziej pracochłonne niż umieszczone w innym polu płodozmianu bez tego nawożenia. Należy stwierdzić, że poziom nakładów pracy był zbliżony do pracochłonności tych samych roślin uprawianych w warunkach produkcyjnych RZD IUNG (10, 13). Analiza pracochłonności roślin wskazuje, że w gospodarstwach rolnych w wyniku postępu technicznego i technologicznego następuje zmniejszenie nakładów pracy zarówno w odniesieniu do jednostki powierzchni, jak i do jednostki plonu (10, 149). W praktyce na kształtowanie nakładów pracy istotny wpływ wywierają takie czynniki, jak: powierzchnia pola, jego oddalenie od podwórza gospodarstwa, jakość gleby i wielkość plonów (10, 13, 149). Wskazuje się również, że w warunkach gospodarstw indywidualnych pracochłonność produkcji roślinnej w największym stopniu zależy od rodzaju zastosowanej technologii produkcji i obszaru pola, a w przypadku roślin okopowych także od poziomu plonu (140).

Płodozmiany okopowe, szczególnie z 50% udziałem buraka cukrowego i 25% ziemniaka (H), cechowały się największą pracochłonnością produkcji w odniesieniu do jednostki powierzchni (tab. 14). Natomiast w przypadku płodozmianu zbożowego z 75% zbóż, w którym występują rośliny technologicznie podobne (C) oraz w wielogatunkowej monokulturze zbożowej (D) nakłady pracy były około dwukrotnie mniejsze od ponoszonych w płodozmianach okopowych. Ponadto w płodozmianach C i D najmniejsze było zaangażowanie pracy ludzkiej na wyprodukowanie 1 jednostki zbożowej. Jednostkowe nakłady siły pociągowej wykazywały znacznie mniejsze zróżnicowanie; wyjątek stanowił płodozmian C (25% grochu i 75% zbóż), w którym z powodu małego plonu jednostek zbożowych (tab. 6) i wysokiego poziomu mechanizacji prac wskaźnik ten osiągał największą wartość. Na ogół stwierdza się znaczną zgodność nakładów pracy ludzkiej i nakładów siły pociągo-

Tabela 12

Pracochłonność i transportochłonność produkcji roślinnej w płodozmianach zbożowych
(średnie z lat 1988–1991)

Labour and transport consumption of crop production in cereal crop rotations
(means from 1988–1991)

Płodozmian Crop rotation	Roślina uprawna Field crop	Pracochłonność produkcji na 1 ha Labour consumption per 1 ha		Transportochłonność (t/ha) Transport consumption (t/ha)			Liczba dojazdów uzasadnionych technologicznie na 1 ha* Number of technologically justified trips per 1 ha
		rbh man-hours	cnh tractor-hours	wywóz na pole trips to the field	przywóz z pola trips from the field	razem przewozy total trips	
A	burak cukrowy ⁺⁺ sugar beet	122,2	68,7	33,3	89,1	122,4	34,9
	jęczmień jary spring barley	24,0	19,5	1,1	9,1	10,2	4,9
	groch peas	24,2	20,4	1,7	4,6	6,3	4,3
	pszenica ozima winter wheat	34,9	28,2	2,8	13,5	16,3	7,6
B	burak cukrowy ⁺⁺ sugar beet	123,1	68,9	33,3	90,5	123,8	35,8
	jęczmień jary spring barley	23,5	19,2	1,0	8,6	9,6	4,8
	owies oats	28,6	23,0	1,2	11,6	12,9	5,9
	pszenica ozima winter wheat	33,7	27,2	2,8	12,3	15,1	7,2
C	groch ⁺⁺ peas	43,4	39,1	33,8	4,7	38,5	13,7
	jęczmień jary spring barley	23,9	19,4	1,0	9,0	10,0	4,9
	owies oats	28,7	23,0	1,2	11,6	12,9	6,0
	pszenica ozima winter wheat	33,6	27,1	2,8	12,1	14,9	7,2
D	kukurydza ⁺⁺ maize	60,4	37,0	33,2	17,9	51,1	17,1
	jęczmień jary spring barley	23,4	19,0	1,0	8,5	9,5	4,7
	owies oats	28,6	22,9	1,2	11,5	12,7	5,9
	pszenica ozima winter wheat	33,5	27,0	2,8	12,1	14,9	7,2

* pole płodozmianowe 25 ha; crop rotation field 25 ha

⁺⁺ obornik; manure – 30 t/ha

Tabela 13

Pracochłonność i transportochłonność produkcji roślinnej w płodozmianach okopowych
(średnie z lat 1988–1991)

Labour and transport consumption of crop production in root crop rotations
(means from 1988–1991)

Płodozmian Crop rotation	Roślina uprawna Field crop	Pracochłonność produkcji na 1 ha Labour consumption per 1 ha		Transportochłonność (t/ha) Transport consumption (t/ha)			Liczba dojazdów uzasadnionych technologicznie na 1 ha* Number of technologically justified trips per 1 ha
		rbh man-hours	cnh tractor-hours	wywóz na pole trips to the field	przywóz z pola trips from the field	razem przewozy total trips	
E	burak cukrowy ⁺⁺ sugar beet	127,0	68,7	33,7	104,9	138,6	39,0
	owies+wsiewka oats+undercrop	21,7	19,5	1,4	36,0	37,4	10,5
	koniczyna+trawa clover+grass	33,1	20,4	1,2	11,4	12,6	5,0
	pszenica ozima winter wheat	29,2	28,2	2,6	11,6	14,2	6,4
F	burak cukrowy ⁺⁺ sugar beet	128,0	68,9	33,7	109,3	143,0	40,2
	burak cukrowy sugar beet	110,2	19,2	1,9	103,4	105,3	30,0
	kukurydza maize	21,9	23,0	1,3	47,1	48,4	14,4
	pszenica ozima winter wheat	29,3	27,2	2,6	12,4	15,0	6,6
G	burak cukrowy ⁺⁺ sugar beet	130,3	74,5	33,7	118,7	152,4	42,4
	jęczmień jary spring barley	22,5	18,0	1,1	9,0	10,1	4,6
	ziemniak ⁺⁺ potatoes	77,1	48,5	34,6	33,8	68,4	20,4
	pszenica ozima winter wheat	31,3	26,2	2,6	13,1	15,7	7,0
H	burak cukrowy ⁺⁺ sugar beet	130,2	74,5	33,7	116,9	150,6	42,0
	ziemniak potatoes	61,2	33,1	4,7	32,1	36,8	12,3
	burak cukrowy ⁺⁺ sugar beet	125,1	67,8	31,6	114,5	146,1	40,2
	pszenica ozima winter wheat	31,5	26,2	2,6	13,9	16,5	7,0

* pole płodozmianowe 25 ha; crop rotation field 25 ha

⁺⁺ obornik; manure – 30 t/ha

Pracochłonność
Labour

Płodozmian Crop rotation	Pracochłonność Labour	
	na 1 ha per 1 ha	
	rbh man-hours	cnh tractor-hours
A	51,3	3,3
B	52,2	3,3
C	32,4	2,2
D	36,4	2,1
E	52,7	3,3
F	72,4	4,4
G	65,3	4,4
H	87,0	5,1
NIR LSD ($\alpha=0,05$)	6,14	2,2

* pole płodozmianowe 25 ha; crop rotation field 25 ha

Tabela 14

Pracochłonność i transportochłonność produkcji roślinnej w zależności od płodozmianu (średnie z lat 1988–1991)
Labour and transport consumption of crop production relative to crop rotation (means from 1988–1991)

do- ian op tion	Pracochłonność produkcji Labour consumption				Wskaźnik mechanizacji Mechani- zation index (%)	Transportochłonność Transport consumption (t/ha)			Struktura przewozów Trips structure (%)		Liczba dojazdów uzasadnionych technologicznie na 1 ha* Number of technologically justified trips per 1 ha
	na 1 ha per 1 ha		na 1 jedn.zboż. per 1 cereal unit			wywóz na pole trips to the field	przywóz z pola trips from the field	razem przewozy total trips	wywóz na pole trips to the field	przywóz z pola trips from the field	
	rbh man- hours	cnh tractor- hours	rbh man- hours	cnh tractor- hours							
	51,3	34,2	0,75	0,50	70,0	9,7	29,1	38,8	25,0	75,0	12,9
	52,2	34,9	0,72	0,48	69,3	9,6	30,8	40,4	23,8	76,2	13,3
	32,4	27,6	0,65	0,55	91,4	9,7	9,4	19,1	50,8	49,2	7,9
	36,4	26,9	0,61	0,45	81,0	9,5	12,5	22,0	43,2	56,8	8,7
	52,7	33,3	0,72	0,46	64,1	9,7	41,0	50,7	19,1	80,9	15,2
	72,4	42,3	0,73	0,43	59,8	9,9	68,0	77,9	12,7	87,3	22,8
	65,3	41,9	0,70	0,45	68,5	18,0	43,8	61,8	29,1	70,9	18,6
	87,0	50,4	0,75	0,43	60,7	18,2	69,3	87,5	20,8	79,2	25,4
05)	6,14	2,96									

plodozmianowe 25 ha; crop rotation field 25 ha

wej, co świadczy o znacznym stopniu mechanizacji procesów produkcyjnych. Największym wskaźnikiem zmechanizowania prac (ponad 80%) cechowały się płodozmiany zbożowe, zwłaszcza C i D, w których występują rośliny technologicznie podobne. Najniższy poziom mechanizacji (60%) znamionował płodozmiany okopowe z dwoma plonami buraka cukrowego (F i H), przy którego uprawie niektóre prace (przecinka, ogławianie buraków na uwrociach, prace przy zwożeniu liści) wykonywano jeszcze ręcznie. Na podkreślenie zasługuje fakt, że rośliny technologicznie podobne, zbierane kombajnem zbożowym, są najmniej pracochłonne i dlatego zapewniają wysoką wydajność pracy. Z tego też względu dla gospodarstw o małych zasobach siły roboczej odpowiednie są płodozmiany składające się z roślin zbieranych kombajnem zbożowym (6, 70).

Z pracochłonnością produkcji wiążą się takie wskaźniki jak transportochłonność i liczba dojazdów uzasadnionych technologicznie, które są zależne od struktury zasiewów i doboru gatunków roślin w płodozmianie. Burak cukrowy w porównaniu z innymi roślinami wymaga największych nakładów pracy, głównie z powodu zbioru dużej masy plonu korzeni i liści. Świadczy o tym również duża transportochłonność przewozów z pola i liczba dojazdów uzasadnionych technologicznie (tab. 12 i 13). Przeciętna transportochłonność płodozmianów z dwoma polami buraka cukrowego (F i H) była około 4-krotnie, a przy jego 25% udziale w strukturze zasiewów (A, B i E) co najmniej dwukrotnie większa od stwierdzonej w płodozmianach złożonych z roślin zbieranych kombajnem zbożowym (C i D). W analogicznym porównaniu płodozmiany z udziałem buraka cukrowego cechowały się 3 i 2-krotnie większą liczbą dojazdów uzasadnionych technologicznie niż płodozmiany zbożowe (tab. 14). W przypadku rezygnacji ze zbioru liści na paszę i pozostawieniu ich na polu do przyorania (po uprzednim rozdrobnieniu) jako nawozu, pracochłonność i transportochłonność produkcji oraz liczba dojazdów technologicznych przy uprawie tej rośliny zapewne ulegałyby znacznemu obniżeniu. W płodozmianach z udziałem roślin okopowych i pastewnych przywozy z pola plonów stanowiły 70–87% całkowitej masy ładunków i zdecydowanie przeważały nad wywozami w pole (tab. 14). Jedynie w płodozmianie z grochem i 75% udziałem zbóż (C) przewozy te były równoważne. Zbliżona struktura przewozów cechowała wielogatunkową monokulturę zbożową.

Na podstawie wielkości wskaźnika transportochłonności (t/ha), stosując typologię *W o l s z c z a n a* (154), można ocenić, że płodozmiany zbożowe (C i D) są charakterystyczne dla ekstensywnej produkcji, płodozmiany z 25% udziałem buraka cukrowego (A i B) są średnio intensywne, zaś płodozmiany norfolcki i okopowe (E, F, G i H) świadczą o bardzo intensywnej produkcji. Ze względu na dużą transportochłonność produkcji rośliny okopowe i pastewne na zielonkę najczęściej uprawia się w pobliżu gospodarstw, a na polach znacznie oddalonych upraszcza się strukturę zasiewów poprzez częstszą uprawę zbóż (14, 156). Produkcję roślinną prowadzoną w gospodarstwie RZD Błonie-Topola (w miejscu realizacji doświadczeń płodozmianowych) przy 23% udziale roślin okopowych w zasiewach produk-

cyjnych (45, 51), na podstawie transportochłonności wynoszącej około 32 t/ha można określić mianem średnio intensywnej (14). Badania W a j s z c z u k a (144) i W i e l i c k i e g o (152) wykazały, że masa przewożonych ładunków zwiększa się wraz ze wzrostem poziomu intensywności produkcji. Ponadto stwierdzono, że wielkość masy transportowej w rolnictwie wzrasta w ciągu roku o 1,5–5,5%. Transportochłonność poszczególnych roślin uprawnych zależy głównie od wielkości uzyskiwanych plonów i poziomu nawożenia, zwłaszcza organicznego oraz sposobu zagospodarowania plonu ubocznego. Przy niektórych uprawach, w przypadku zaniechania zbioru plonu ubocznego, nakłady w pracach transportowych obniżały się nawet o 30–40% (144).

W porównywanych płodozmianach dojazdy uzasadnione technologicznie były podobnie zróżnicowane jak nakłady robocizny (tab. 14). W rzeczywistości, głównie ze względu na błędy organizacyjne, awarie maszyn i niekorzystny przebieg pogody, faktyczna liczba przejazdów jest znacznie większa od ustalonej teoretycznie (12, 57, 93). Oprócz doboru gatunków roślin w płodozmianie i zastosowanej technologii produkcji częstotliwość przejazdów jest istotnie zależna od odległości pól od podwórza gospodarstwa, powierzchni pola i wielkości osiągniętych plonów (12).

Z organizacyjnego punktu widzenia ważny jest nie tylko poziom nakładów pracy żywej i uprzedmiotowionej, ale także sezonowość zapotrzebowania na prace. W związku z tym pracochłonność płodozmianów przedstawiono w ujęciu miesięcznym (tab. 15) i w układzie okresów agrotechnicznych – dat granicznych właściwych dla warunków RZD Błonie-Topola (tab. 16). W grupie płodozmianów zbożowych największe natężenie prac występowało w sierpniu (zbiór zbóż i grochu), a także w przypadku płodozmianów A i B – w październiku (zbiór buraka cukrowego). Natomiast w grupie płodozmianów okopowych wyraźny szczyt zapotrzebowania na prace przypadał na wrzesień (tab. 15), co wiązało się ze zbiorami buraka i ziemniaka oraz stosowaniem obornika. Należy dodać, że rośliny okopowe zbierano nieco wcześniej niż w płodozmianach zbożowych z powodu potrzeby przygotowania stanowiska pod pszenicę ozimą. Ponadto w płodozmianach z dwoma polami buraka cukrowego (F i H) również zwiększone zapotrzebowanie na robociznę było w maju – w związku z przerywką tej rośliny, a w płodozmianie G z 50% udziałem zbóż – także w sierpniu (okres żniw). Najmniejsze natężenie prac w poszczególnych płodozmianach na ogół przypadało na czerwiec i lipiec. Najbardziej równomiernym sezonowym rozkładem pracochłonności cechował się płodozmian norfolcki (E) z udziałem mieszanki motylkowato-trawiastej (tab. 15).

Zapotrzebowanie na prace występowało w czterech okresach agrotechnicznych, z wyjątkiem zimy i późnej jesieni (tab. 16). W takim ujęciu wyraźnie zaznaczyła się sezonowość prac, bowiem ich największe natężenie przypadało na okres V – siewów jesiennych i wykopków; 49–65% rocznych nakładów robocizny i 54–77% nakładów siły pociągowej. W tym okresie największe było natężenie prac wykonywanych w płodozmianach z 50 i 75% udziałem roślin okopowych

Tabela 15

Sezonowy rozkład pracochłonności płodozmianów
Seasonal variation in labour consumption in rotations

Płodo- zmian Crop rotation	Nakłady siły roboczej (rbh/ha); Labour inputs										Nakłady siły pociągowej (cnh/ha); Energy inputs									
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	razem total	mięsiące; months	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	razem total	
A	3,0	3,7	8,0	1,9	2,0	11,0	4,6	17,1	51,3	2,7	3,1	1,6	0,9	0,9	8,9	3,0	13,1	34,2		
B	3,0	3,4	8,3	1,9	1,3	12,5	4,6	17,2	52,2	2,6	2,7	1,9	0,8	0,4	10,4	3,0	13,1	34,9		
C	3,5	2,9	1,8	0,6	1,8	13,4	3,3	5,1	32,4	3,0	2,8	1,8	0,6	1,0	10,6	3,2	4,6	27,6		
D	2,8	2,6	2,3	0,5	0,8	12,4	10,0	5,0	36,4	2,3	2,4	2,0	0,5	0,4	10,2	4,5	4,6	26,9		
E	2,2	4,2	8,0	4,6	2,9	8,2	18,4	4,2	52,7	1,9	2,2	2,3	1,7	1,9	6,3	13,1	3,9	33,3		
F	1,5	6,1	11,7	5,8	0,3	6,5	35,2	5,3	72,4	1,4	3,3	1,5	1,7	0,2	5,5	23,6	5,1	42,3		
G	1,8	6,1	5,9	4,1	0,9	10,3	31,1	5,1	65,3	1,7	3,3	1,7	1,5	0,5	8,8	19,7	4,7	41,9		
H	1,6	7,2	12,0	6,1	0,5	6,8	45,8	7,0	87,0	1,4	3,9	1,6	2,0	0,3	5,9	28,6	6,7	50,4		

Tabela 16

Nakłady pracy w okresach agrotechnicznych (średnio z lat 1988–1991)
Labour inputs over crop management periods (mean from 1988–1991)

Płodozmian Crop rotation	Okres agrotechniczny* (daty graniczne); Crop management period (limiting date)						razem total
	I (30.11-15.03)	II (16.03-15.05)	III (16.05-12.07)	IV (13.07-11.08)	V (12.08-8.11)	VI (9.11-29.11)	
Robocizna; Labour input (rbh/ha)							
A	-	7,6	10,1	5,6	28,0 (54,6)**	-	51,3
B	-	7,5	9,6	5,9	29,2 (55,9)	-	52,2
C	-	7,4	1,4	7,7	15,9 (49,1)	-	32,4
D	-	6,8	1,3	5,7	22,6 (62,1)	-	36,4
E	-	8,6	13,2	4,3	26,6 (50,5)	-	52,7
F	-	11,2	14,1	2,5	44,6 (61,6)	-	72,4
G	-	10,5	7,4	5,4	42,0 (64,3)	-	65,3
H	-	10,9	16,4	2,8	56,9 (65,4)	-	87,0
Siła pociągowa; Energy input (cnh/ha)							
A	-	6,5	2,1	3,4	22,2 (64,9)	-	34,2
B	-	6,2	1,8	3,8	23,1 (66,2)	-	34,9
C	-	6,6	1,3	4,7	15,0 (54,3)	-	27,6
D	-	6,0	1,1	3,6	16,2 (60,2)	-	26,9
E	-	4,5	5,4	2,7	20,7 (62,2)	-	33,3
F	-	5,4	2,7	1,9	32,3 (76,4)	-	42,3
G	-	5,7	2,5	3,9	29,8 (71,1)	-	41,9
H	-	5,8	3,5	2,1	39,0 (77,4)	-	50,4

* I - zima; winter, II – siewy wiosenne; spring sowing, III – pielęgnacja okopowych i sianokosy; root crops cultivation and haymaking, IV – żniwa; harvest, V – siewy jesienne i wykopki; autumn sowing and digging, VI – prace późnojesienne; late autumn operations

** % udział w rocznych nakładach pracy; share of labour annual input (%)

(F, G i H), a najmniejsze w płodozmianie zbożowym z polem grochu uprawianego na nasiona (C). W okresie III niewielkie zapotrzebowanie na prace cechowało płodozmiany zbożowe (C i D). Natomiast dla płodozmianów z burakiem cukrowym, zwłaszcza z 50% jego udziałem w strukturze zasiewów (F i H), w okresach II i III charakterystyczne było zdecydowanie mniejsze zaangażowanie mechanicznej siły pociągowej w stosunku do nakładów pracy ludzkiej ponoszonej przy przerywce roślin. Podobne relacje między nakładami robocizny i siły pociągowej przy uprawie buraka cukrowego (w okresie po wschodach) stwierdził W e l i c k i (149). Jednak stosowanie udoskonalonej technologii produkcji buraka cukrowego, uwzględniającej precyzyjny siew punktowy nasionami jednokiełkowymi „na gotowo”, eliminuje przerywkę roślin i ogranicza nakłady pracy ludzkiej. Wyniki badań S z u k a (140) przeprowadzonych w zbiorowości 120 gospodarstw indywidualnych wykazały, że szczyt zapotrzebowania na pracę dla wszystkich roślin uprawnych przypadał na okres zbioru i wyniósł 50–60% sumy rocznych nakładów robocizny. Sezonowość nakładów pracy mechanicznej odznaczała się większą równomiernością, chociaż występowały dwa okresy spiętrzeń – przypadające na zbiór,

zwłaszcza w uprawie roślin okopowych, oraz na prace związane z siewem. Ponadto stwierdzono, że wyższy poziom zmechanizowania wpływał na obniżenie śpiętrzeń prac w okresach szczytowych. Zdaniem Klepackiego i Grontkowskiej (67) postęp techniczny i wzrost wyposażenia gospodarstw w maszyny i urządzenia zmniejsza rangę problemu sezonowości zapotrzebowania na pracę, a w związku z tym ocena organizacyjna płodozmianu traci na znaczeniu.

Z syntetycznej oceny pracochłonności dokonanej za pomocą wskaźnika łączącego nakłady siły roboczej oraz mechanicznej siły pociągowej i napędowej, wyrażonego w ENT/ha, wynika, iż płodozmiany okopowe (F, G i H) cechuje największe zapotrzebowanie na pracę, a płodozmiany zbożowe składające się z roślin technologicznie podobnych (C i D) mają najmniejsze potrzeby (tab. 17). Różnice między tymi płodozmianami w poziomie pracochłonności wynoszą 50–65%. Można stwierdzić, że pracochłonność płodozmianów w odniesieniu do jednostki powierzchni maleje w miarę wzrostu udziału zbóż w strukturze zasiewów, a zwiększa się wraz ze wzrostem udziału roślin okopowych. Inaczej kształtuje się wskaźnik łącznej pracochłonności w odniesieniu do jednostki zbożowej, jest bowiem mniej zróżnicowany niż w przeliczeniu na 1 ha powierzchni płodozmianu. Nieco większe nakłady pracy ponoszono na wyprodukowanie jednostki zbożowej w płodozmianach A i C – z udziałem grochu (tab. 17). Natomiast inne płodozmiany cechowały się mniejszą pracochłonnością produkcji jednostki zbożowej.

Tabela 17

Łączne nakłady siły roboczej oraz mechanicznej siły pociągowej i napędowej
Total inputs of labour traction and propulsion

Płodozmian Crop rotation	Nakłady pracy; Labour inputs			Wskaźnik łącznej pracochłonności Index of total labour consumption	
	siła robocza labour force rbh/ha=ENT/ha	ciągniki i maszyny samojezdne tractors and selfpropelled machines		ENT/ha	ENT/jedn.zboż. ENT/cereal unit
		kWh/ha	ENT/ha		
A	51,3	1377,4	172,2	223,5	3,27
B	52,2	1375,6	171,9	224,1	3,08
C	32,4	1140,2	142,5	174,9	3,48
D	36,4	1157,4	144,7	181,1	3,04
E	52,7	1296,8	162,1	214,8	2,95
F	72,4	1662,4	207,8	280,2	2,82
G	65,3	1705,7	213,2	278,5	2,98
H	87,0	2000,8	250,1	337,1	2,91

ENT – Equivalent Normal Technology

3.4. OCENA EKONOMICZNA

O efektywności ekonomicznej płodozmianów decyduje przede wszystkim dobór uprawianych roślin i ich wydajność oraz ceny środków produkcji i ziemiopłodów, a w drugiej kolejności materiałochłonność i pracochłonność produkcji. W porównywanych płodozmianach największą wartością produkcji potencjalnie towarowej wyróżniły się rośliny okopowe (zwłaszcza ziemniak), mniejszą pszenica ozima i kukurydza na ziarno (D), a najmniejszą osiągnano z uprawy grochu, owsa z wsiewką, mieszanki koniczyny z trawą i kukurydzy na kiszonkę (tab. 18 i 19). Wartość produkcji jęczmienia jarego i owsa była wyższa niż roślin pastewnych. Rośliny okopowe odznaczały się również najwyższymi kosztami produkcji, zwłaszcza burak cukrowy. Kukurydza na ziarno (D) i ziemniak (G) uprawiane na oborniku nie różniły się kosztami produkcji, które w przypadku pozostałych roślin kształtowały się na wyraźnie niższym poziomie. Największą nadwyżkę bezpośrednią i najkorzystniejszy wskaźnik opłacalności brutto, głównie dzięki dużej wartości produkcji, osiągnano w uprawie ziemniaka (tab. 18 i 19). Spośród zbóż, pod względem wielkości tych wskaźników, wyróżniła się pszenica ozima. Natomiast burak cukrowy przy poziomie plonu korzeni poniżej 58 t z ha (A, B, C, D i E) oraz uprawa grochu (A i C) i kukurydzy na ziarno (D) przynosiły stratę.

Wcześniejsze badania (1988 r.), przy innych relacjach cen na środki produkcji i ziemiopłody, wskazywały na opłacalność uprawy roślin na glebach kompleksu pszennego dobrego, a najkorzystniejszym wskaźnikiem wówczas wyróżniał się jęczmień jary (86). Należy zauważyć, że w okresie urynkowania gospodarki w Polsce następują zmiany w efektywności ekonomicznej produkcji rolniczej, zwłaszcza pogarszanie jej opłacalności w końcu lat dziewięćdziesiątych. Jako przykład może posłużyć produkcja kukurydzy na ziarno; według cen z 1988 r. wskaźnik opłacalności tej produkcji był na poziomie 220% (86), a w 1997 r. osiągnął 170–230% (110, 138), zaś z badań własnych wynika iż w 2000 r. jej uprawa była nieopłacalna (tab. 18). W bezpośrednich kosztach produkcji kukurydzy 32–30% stanowiło suszenie ziarna (110, 138).

Przeciętna wartość produkcji poszczególnych płodozmianów zależała głównie od struktury zasiewów (tab. 20). Zwiększenie udziału roślin okopowych w zasiewach wpływało na wzrost wartości produkcji płodozmianów, zaś wzrostowi udziału zbóż towarzyszyła obniżka wielkości tego wskaźnika. Płodozmiany okopowe, a zwłaszcza z 50% udziałem buraka cukrowego i 25% ziemniaka (H), wyróżniły się największą wartością produkcji. Natomiast produkcja osiągnana w płodozmianie zawierającym 75% zbóż i 25% grochu (C) cechowała się najmniejszą wartością. Podobnie kształtowały się relacje między płodozmianami w bezpośrednich kosztach produkcji (tab. 10). W strukturze kosztów produkcji liczonych w cenach 2000 r. (rys. 1), największą pozycję stanowiły koszty eksploatacji ciągników i maszyn (27–37%) oraz paliwo i energia elektryczna (23–27%), zaś mniejszy udział miały nawozy mineralne (11–21%). Relatywnie najmniejszy był udział kosztów materia-

Tabela 18

Wskaźniki ekonomiczne produkcji roślinnej w płodozmianach zbożowych
(wg cen z 2000 r.)
Economic indicators of crop production in cereal crop rotations
(acc. to prices in 2000)

Płodozmian Crop rotation	Roślina uprawna Field crop	Wartość produkcji Production value (zł/ha)	Bezpośrednie koszty produkcji Direct costs of production (zł/ha)	Nadwyżka bezpośrednia Gross margin (zł/ha)	Wskaźnik opłacalności brutto Gross payability index (%)
A	burak cukrowy ⁺⁺ sugar beet	4831	5202	-371	93
	jęczmień jary spring barley	2335	1714	621	136
	groch peas	1800	2583	-783	70
	pszenica ozima winter wheat	3971	2511	1460	158
B	burak cukrowy ⁺⁺ sugar beet	4868	5215	-347	93
	jęczmień jary spring barley	2214	1669	545	133
	owies oats	2248	1841	407	122
	pszenica ozima winter wheat	3531	2424	1107	146
C	groch ⁺⁺ peas	1853	3728	-1875	50
	jęczmień jary spring barley	2304	1689	615	136
	owies oats	2256	1844	412	122
	pszenica ozima winter wheat	3492	2418	1074	144
D	kukurydza ⁺⁺ maize	3938	4591	-653	86
	jęczmień jary spring barley	2183	1655	528	132
	owies oats	2212	1832	380	121
	pszenica ozima winter wheat	3470	2388	1082	145

⁺⁺ obornik; manure – 30 t/ha

łu siewnego i sadzeniaków (6–14%), środków ochrony roślin (7–12%) i pracy ludzkiej (9–14%).

W tabeli 21 przedstawiono jednostkowe koszty produkcji: ziarna pszenicy ozimej (rośliny testowej) występującej w czwartym polu rotacji wszystkich płodozmianów, oraz jednostki zbożowej, suchej masy i białka ogólnego jako średnie cha-

Tabela 19

Wskaźniki ekonomiczne produkcji roślinnej w płodozmianach okopowych
(wg cen z 2000 r.)
Economic indicators of crop production in root crop rotations
(acc. to prices in 2000)

Płodozmian Crop rotation	Roślina uprawna Field crop	Wartość produkcji Production value (zł/ha)	Bezpośrednie koszty produkcji Direct costs of production (zł/ha)	Nadwyżka bezpośrednia Gross margin (zł/ha)	Wskaźnik opłacalności brutto Gross payability index (%)
E	burak cukrowy ⁺⁺ sugar beet	5510	5736	-226	96
	owies + wsiewka oats + undercrop	1787	1787	0	100
	koniczyna + trawa clover + grass	1756	1756	0	100
	pszenica ozima winter wheat	3350	2227	1123	150
F	burak cukrowy ⁺⁺ sugar beet	5880	5772	108	102
	burak cukrowy sugar beet	5470	5239	231	104
	kukurydza maize	1893	1893	0	100
	pszenica ozima winter wheat	3663	2283	1380	160
G	burak cukrowy ⁺⁺ sugar beet	6580	5842	738	113
	jęczmień jary spring barley	2290	1625	665	141
	ziemniak ⁺⁺ potatoes	10140	4514	5626	225
	pszenica ozima winter wheat	4164	2381	1783	175
H	burak cukrowy ⁺⁺ sugar beet	6400	5842	558	110
	ziemniak potatoes	9630	3898	5732	247
	burak cukrowy ⁺⁺ sugar beet	5870	5426	444	108
	pszenica ozima winter wheat	4240	2372	1868	180

⁺⁺ obornik; manure – 30 t/ha

rakteryzujące plony podstawowe roślin wchodzących w skład poszczególnych płodozmianów. Koszt produkcji 1 t ziarna zależał głównie od stanowiska, w którym uprawiano pszenicę i jej wydajności. Pszenica uprawiana po owsie w płodozmianie z 75% udziałem zbóż (B i C) i w wielogatunkowej monokulturze zbożowej (D)

Tabela 20

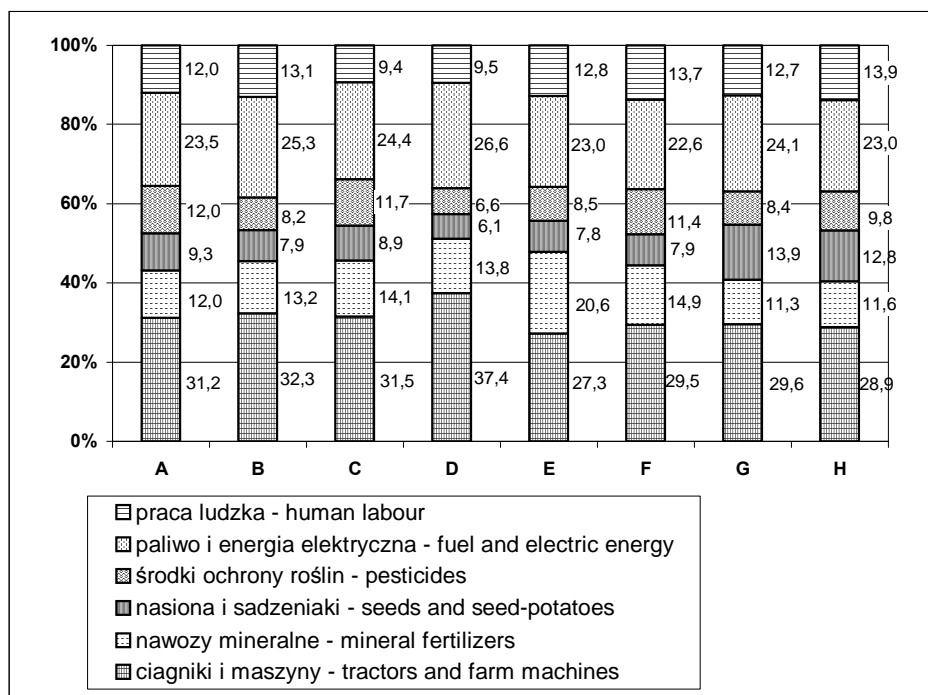
Wartość i bezpośrednie koszty produkcji roślinnej w płodozmianach
Value and direct costs of crop production in rotation

Płodo- zmian Crop rotation	Wielkość wskaźników w latach (zł/ha) Value of indices over the years (PLN/ha)					
	1988	1989	1990	1991	1997*	2000*
Wartość produkcji; Production value						
A	39,4	241,1	487,1	656,4	3049,3	3234,4
B	30,8	207,3	526,1	587,5	3003,3	3215,3
C	27,3	117,5	333,8	424,0	2231,5	2476,3
D	28,2	107,4	462,0	472,3	2742,1	2950,8
E	33,8	168,6	415,7	624,8	2810,5	3100,8
F	55,1	322,8	640,3	847,2	4039,3	4226,6
G	62,2	319,0	611,8	908,8	4367,8	5793,5
H	81,1	426,4	784,2	1055,2	5235,0	6535,1
Bezpośrednie koszty produkcji; Direct costs of production						
A	12,9	54,8	298,7	407,9	2230,7	3002,3
B	11,0	51,2	269,1	393,9	2078,3	2787,1
C	10,6	45,4	253,1	339,1	1771,6	2419,7
D	10,8	47,6	260,9	377,2	1961,6	2616,6
E	12,7	49,9	280,8	476,2	2158,2	2876,8
F	15,9	60,0	356,9	578,2	2806,0	3704,4
G	16,5	66,4	325,7	525,8	2681,4	3590,3
H	19,7	77,3	407,9	620,4	3248,1	4384,8

* dla plonów średnich z lat 1988–1991; for mean yields for years 1988–1991

cechowała się najwyższym kosztem produkcji 1 t ziarna, natomiast wysiewana w stanowiskach po ziemniaku i buraku cukrowym na oborniku w płodozmianach okopowych (G i H), dzięki dużej wydajności z 1 ha, wyróżniała się najniższym kosztem jednostkowym. Ponadto okazało się, że zdecydowanie najwyższy koszt wyprodukowania jednostki zbożowej i 1 dt suchej masy wystąpił w płodozmianie z 75% udziałem zbóż i 25% grochu na nasiona (C). Na niższym poziomie kształtowały się te koszty w przypadku płodozmiannu typu norfolkiego (A) i monokultury zbożowej (D). Najmniej kosztocłonna była produkcja jednostki zbożowej w płodozmianach okopowych z dwoma polami buraka cukrowego (F i H), co należy tłumaczyć dużą wydajnością tej rośliny (tab. 5). Podobnie w płodozmianach E i F, dzięki dużym plonom suchej masy buraka cukrowego i roślin pastewnych, na najniższym poziomie ukształtował się przeciętny koszt jednostkowy suchej masy. Pod względem kosztu jednostkowego produkcji białka ogólnego najkorzystniej wyróżnił się płodozmian norfolki z mieszanką motylkowato-trawiaistą (E), zaś najdrożej (ok. 2-krotnie) było produkowane białko w płodozmianie z 75% udziałem roślin okopowych (H).

Z oceny efektywności ekonomicznej wynika, że wszystkie porównywane płodozmiany w każdym roku objętym analizą pozwalały osiągać nadwyżkę bezpo-



Rys. 1. Struktura bezpośrednich kosztów produkcji (wg cen z 2000 r.)
Structure of direct costs of production (acc. to prices in 2000)

Tabela 21

Bezpośrednie koszty jednostkowe produkcji (zł, wg cen z 2000 r.)
Direct costs of product unit (PLN, acc. to prices in 2000)

Mierniki produkcji Production measures	Płodozmiany; Crop rotations							
	A	B	C	D	E	F	G	H
1 t ziarna pszenicy 1 t grain of wheat	348	378	381	379	366	343	315	308
1 jednostka zbożowa* 1 cereal unit	43,9	38,3	48,2	43,9	39,5	37,3	38,4	37,8
1 dt suchej masy* 1 dt dry matter	49,5	42,6	58,2	51,6	28,8	30,6	41,3	40,0
1 kg białka ogólnego* 1 kg total protein	4,33	4,02	3,78	3,92	2,43	3,47	4,39	4,92

* plon podstawowy; main product

Tabela 22

Nadwyżka bezpośrednia i wskaźnik opłacalności brutto produkcji w płodozmianach
Gross margin and gross payability index of crop production in rotations

Płodo- zmian Crop rotation	Wielkość wskaźników w latach Value of indices over the years					
	1988	1989	1990	1991	1997	2000
Nadwyżka bezpośrednia; Gross margin (zł/ha)						
A	26,5	186,3	188,4	248,5	818,6	232,1
B	19,8	156,1	257,0	193,6	925,0	428,2
C	16,7	72,1	80,7	84,9	459,9	56,6
D	17,4	59,8	201,1	95,1	780,5	334,2
E	21,1	118,7	134,9	148,6	652,3	224,0
F	39,2	262,8	283,4	269,0	1233,3	522,2
G	45,7	252,6	286,1	383,0	1686,4	2203,2
H	61,4	349,1	376,3	434,8	1986,9	2150,3
Wskaźnik opłacalności brutto; Gross payability index (%)						
A	305	440	163	161	137	108
B	280	405	196	149	145	115
C	258	259	132	125	126	102
D	261	226	177	125	140	113
E	266	338	148	131	130	108
F	347	538	179	147	144	114
G	377	480	188	173	163	161
H	412	552	192	170	161	149

średnią i korzystny wskaźnik opłacalności brutto (tab. 22). Wartości obydwu wskaźników były jednak wyraźnie zróżnicowane. Pod względem wielkości nadwyżki bezpośredniej najkorzystniej w latach 1988–1991 i w roku 1997 wyróżnił się płodozmian z 75% udziałem roślin okopowych (H), natomiast w roku 2000 nieco lepiej wypadł płodozmian zawierający 50% okopowych, w tym 25% ziemniaka (G). W tym samym okresie najmniejszą nadwyżkę bezpośrednią, przy czym w relacjach cenowych roku 2000 wyjątkowo małą, osiągnęto w płodozmianie zbożowym z 75% udziałem zbóż i 25% grochu (C). Na ogół płodozmiany okopowe odznaczały się wyższą opłacalnością produkcji niż płodozmiany zbożowe (tab. 22). Wskaźnik opłacalności najkorzystniej kształtował się w płodozmianach mających jedno pole ziemniaka (G i H), zaś najniższy był w płodozmianie zbożowym z roślinami technologicznie podobnymi (C). Na wielkość nadwyżki bezpośredniej i wskaźnik opłacalności produkcji w latach badań znaczący wpływ wywierały relacje pomiędzy cenami środków produkcji a cenami ziemiopłodów. Niekorzystne relacje cenowe szczególnie wyraźnie odbiły się na opłacalności produkcji uzyskiwanej w latach dziewięćdziesiątych. W roku 2000 nastąpiło dalsze obniżenie efektywności produkcji roślinnej, dochodzące do granic jej opłacalności (tab. 22). Po uwzględnieniu kosztów pośrednich produkcja byłaby nieopłacalna; wówczas wyjątek mogą stanowić

plodozmiany okopowe G i H zapewniające dość wysoką opłacalność nakładów ponoszonych na produkcję. Można stwierdzić, że eliminowanie z plodozmianu roślin okopowych i wprowadzenie w ich miejsce zbóż wyraźnie zmniejsza produktywność i zarazem obniża efektywność ekonomiczną produkcji roślinnej. Takie zależności wykazano również we wcześniejszych pracach (30, 31, 50, 71, 86). Według Z a w i ś l a k i in. (165) zwiększanie udziału ziemniaka w strukturze zasiewów podnosi wydajność i efektywność ekonomiczną całego plodozmianu, pod warunkiem nie przekroczenia biologicznego progu specjalizacji produkcji roślinnej. W przypadku zwiększania udziału buraka cukrowego lub ziemniaka w plodozmianie należy zwracać uwagę na dopuszczalne w określonych siedliskach progi koncentracji tych roślin (3, 85, 112), co wiąże się z obniżeniem ich wydajności spowodowanej pogarszaniem się stanu fitosanitarnego gleby oraz rozwojem chorób grzybowych i bakteryjnych (85, 165, 166). Negatywne skutki dużego udziału roślin okopowych w strukturze zasiewów można częściowo ograniczać przez uprawę odmian odpornych na choroby i szkodniki, np. odmian ziemniaka odpornych na mątwika (3, 165).

Z analizy danych zawartych w tabeli 22 wynika, że kształtowanie się cen na rynku rolnym znajduje odbicie w opłacalności produkcji roślinnej zarówno w poszczególnych latach, jak i plodozmianach. Należy przypomnieć, że uwolnienie cen w Polsce w drugiej połowie 1989 r. zapoczątkowało proces urynkowania gospodarki; nasilała się inflacja oraz następował szybki wzrost cen środków produkcji przy mniejszym wzroście cen produktów rolnych (4, 5, 123, 124). W tej sytuacji dysproporcje występujące między tymi cenami spowodowały obniżenie opłacalności produkcji rolniczej (5, 123, 129, 134, 135), co także potwierdzają wyniki własnych badań (tab. 22). Ponadto wykazano, że czynnik „cenowy” może wywierać większy wpływ na opłacalność produkcji roślinnej niż stosowana technologia produkcji (49, 66). Poziom intensywności technologii decyduje zaś w znacznym stopniu o efektywności ekonomicznej plodozmianu (77).

Na efektywność produkcji roślinnej, obok plodozmianu, technologii produkcji i relacji cen, znaczący wpływ wywiera również jakość gleby, warunkująca dobór roślin i ich plonowanie (50, 71, 74, 86). Badania wykazały, że efektywność ekonomiczna produkcji roślinnej (liczona w cenach z 1988 r.) na glebie kompleksu pszenego dobrego była o około 40% większa niż na glebie żytniej bardzo dobrej i około 110% większa niż na glebie żytniej słabej (86). Natomiast obliczenia wykonane w cenach z 1998 r. wskazywały na mniejsze zróżnicowanie efektywności w produkcji na tych glebach; odpowiednio 14 i 86% (71). Mimo zmian cen oddziaływanie jakości gleby na efektywność ekonomiczną produkcji roślinnej jest niewątpliwe.

3.5. OCENA ENERGETYCZNA

Zasadniczą cechą analizy energetycznej jest możliwość uzyskania porównywalnych wyników oceny niezależnie od czasu prowadzenia badań i relacji cen. Podstawowym elementem tej oceny jest wskaźnik efektywności energetycznej,

który w sposób syntetyczny charakteryzuje wzajemną relację pomiędzy ilością energii zawartej w plonie a energią wydatkowaną na jego uzyskanie.

Spośród roślin występujących w płodozmianach, pod względem wartości energetycznej plonów, wyróżniały się burak cukrowy, kukurydza kiszonkowa i mieszanka koniczyny z trawą (210–290 GJ/ha), a mniejszą wartość miały plony ziemniaka (ponad 140 GJ/ha); (tab. 23 i 24). W tej ocenie ze zbóż najlepiej wypadła

Tabela 23

Wskaźniki energetyczne produkcji roślinnej w płodozmianach zbożowych
(średnie z lat 1988–1991)
Energetic indicators of crop production in cereal crop rotations (means from 1988–1991)

Płodozmian Crop rotation	Roślina uprawna Field crop	Wartość energetyczna plonu podstawowego Energetic value of main product (GJ/ha)	Nakłady energetyczne na produkcję Energy inputs to production (GJ/ha)	Wskaźnik efektywności energetycznej Energy efficiency index	Zużycie oleju napędowego Consumption of diesel oil (l/ha)
A	burak cukrowy ⁺⁺ sugar beet	213,5	59,3	3,60	403,6
	jęczmień jary spring barley	81,0	19,9	4,07	129,3
	groch peas	37,5	16,9	2,22	138,2
	pszenica ozima winter wheat	112,7	24,7	4,56	174,1
B	burak cukrowy ⁺⁺ sugar beet	215,4	58,4	3,69	404,7
	jęczmień jary spring barley	76,7	18,5	4,16	126,3
	owies oats	87,8	21,3	4,12	148,5
	pszenica ozima winter wheat	100,2	24,2	4,14	164,6
C	groch ⁺⁺ peas	38,6	40,3	0,96	257,6
	jęczmień jary spring barley	79,9	18,7	4,27	128,2
	owies oats	87,9	21,3	4,13	148,8
	pszenica ozima winter wheat	99,1	24,1	4,11	165,0
D	kukurydza ⁺⁺ maize	111,8	72,5	1,54	272,5
	jęczmień jary spring barley	75,6	18,5	4,09	125,2
	owies oats	86,3	21,3	4,05	147,9
	pszenica ozima winter wheat	98,4	24,2	4,07	164,7

⁺⁺ obornik; manure – 30 t/ha

Tabela 24

Wskaźniki energetyczne produkcji roślinnej w płodozmianach okopowych
(średnie z lat 1988–1991)
Energetic indicators of crop production in root crops rotations (means from 1988–1991)

Płodozmian Crop rotation	Roślina uprawna Field crop	Wartość energetyczna plonu podstawowego Energetic value of main product (GJ/ha)	Nakłady energetyczne na produkcję Energy inputs to production (GJ/ha)	Wskaźnik efektywności energetycznej Energy efficiency index	Zużycie oleju napędowego Consumption of diesel oil (l/ha)
E	burak cukrowy ⁺⁺ sugar beet	244,2	59,7	4,09	428,5
	owies + wsiewka oats + undercrop	185,8	27,6	6,73	124,6
	koniczyna + trawa clover + grass	209,1	26,7	7,83	97,8
	pszenica ozima winter wheat	95,1	21,6	4,40	144,6
F	burak cukrowy ⁺⁺ sugar beet	250,6	61,6	4,07	432,5
	burak cukrowy sugar beet	242,7	45,0	5,39	307,9
	kukurydza maize	292,3	22,7	12,88	130,2
	pszenica ozima winter wheat	104,1	22,6	4,61	149,5
G	burak cukrowy ⁺⁺ sugar beet	291,6	59,7	4,88	441,2
	jęczmień jary spring barley	79,5	17,6	4,52	122,1
	ziemniak ⁺⁺ potatoes	148,7	45,0	3,30	326,0
	pszenica ozima winter wheat	118,2	22,5	5,25	157,4
H	burak cukrowy ⁺⁺ sugar beet	284,4	60,1	4,73	440,7
	ziemniak potatoes	141,6	36,4	3,89	227,5
	burak cukrowy ⁺⁺ sugar beet	259,8	51,7	5,03	401,8
	pszenica ozima winter wheat	120,3	22,6	5,32	157,7

⁺⁺ obornik; manure – 30 t/ha

pszenica ozima (95–120 GJ/ha), której dorównywała kukurydza w uprawie na ziarno (D), zboża jare dostarczały około 80 GJ/ha, zaś wyjątkowo małą wartością energetyczną cechowały się plony grochu (38 GJ/ha).

Nakłady energetyczne na 1 ha uprawy poszczególnych roślin były również znacznie zróżnicowane (tab. 23 i 24). Największe zużycie energii stwierdzono przy produkcji kukurydzy na ziarno i buraka cukrowego, a mniejsze ponoszono w produkcji

ziemniaka i grochu w uprawie na nasiona (C). Najmniejszą energochłonnością odznaczała się produkcja zbóż, zwłaszcza jarych, oraz grochu w płodozmianie typu norfolckiego (A). Kukurydza w uprawie na ziarno i burak cukrowy wymagały 3–4-krotnie większych nakładów energetycznych na 1 ha niż pszenica ozima i zboża jare. Natomiast energochłonność produkcji kukurydzy na kiszonkę i mieszanki koniczyny z trawą była na zbliżonym poziomie, jak u pszenicy ozimej. Podobne relacje między energochłonnością produkcji poszczególnych roślin uprawnych stwierdził W i e l i c k i (147, 148).

W ocenie ekologicznej produkcji roślinnej wielkość nakładów energetycznych jest uznawana za miernik stopnia zagrożenia środowiska; przyjęto (118), że nakłady przekraczające 15 GJ/ha powodują zagrożenie ekologiczne dla środowiska naturalnego. Ponadto wykazano, że nakłady energetyczne mniejsze od tej wielkości cechowały produkcję roślin strączkowych i motylkowatych oraz traw i tytoniu. Z badań krajowych (48, 146, 148) również wynika, że uprawa roślin motylkowatych ma charakter proekologiczny, bowiem odznacza się nakładami energetycznymi na poziomie zbliżonym do 15 GJ/ha. Obniżenie energochłonności produkcji roślinnej poniżej tego poziomu jest także możliwe w przypadku uprawy zbóż na glebach gorszej jakości, zaliczanych do kompleksów żytnich (86). W tych warunkach produkcja zbóż (żyto, owies, jęczmień) jest ekstensywniejsza z powodu mniejszej materiałochłonności i pracochłonności.

W warunkach badań własnych za najbardziej ekologiczną, według powyższego kryterium, można uznać uprawę grochu na nasiona w płodozmianie typu norfolckiego (A) oraz produkcję jęczmienia jarego (tab. 23 i 24). Natomiast produkcja roślin okopowych i kukurydzy na ziarno jest najbardziej energochłonna, co także znajduje potwierdzenie w pracach innych autorów (16, 130, 147, 148, 150, 153, 165, 166).

Spośród roślin występujących w porównywanych płodozmianach najwyższą efektywnością energetyczną odznaczała się produkcja kukurydzy na kiszonkę (F), a następnie, ale na wyraźnie niższym poziomie, sytuowała się uprawa mieszanki koniczyny z trawą (E); (tab. 24). W przypadku pszenicy ozimej (rośliny testowej) czynnikiem wpływającym zasadniczo na efektywność energetyczną nakładów było stanowisko tej rośliny w płodozmianie; zwiększanie udziału zbóż w strukturze zasiewów powodowało obniżenie efektywności energetycznej (tab. 23), a uprawa jej w płodozmianach okopowych po buraku cukrowym i ziemniaku na oborniku (G i H) przyczyniła się znacząco do poprawy tego wskaźnika (tab. 24). Pszenica ozima, jęczmień jary i owies w płodozmianach z 75% udziałem zbóż (B i C) i w wielogatunkowej monokulturze zbożowej (D) cechowały się niemal identyczną efektywnością nakładów energetycznych. Natomiast burak cukrowy odznaczał się wyższą efektywnością w płodozmianach okopowych niż w zbożowych, głównie z powodu większych plonów. Zdecydowanie niekorzystnym wskaźnikiem efektywności charakteryzowała się produkcja grochu na nasiona (A i C) i kukurydzy na ziarno (D). Ponadto stosowanie obornika pod groch (C), burak cukrowy (F)

i ziemniak (G) powodowało obniżenie efektywności energetycznej produkcji tych roślin w porównaniu z ich uprawą bez obornika (tab. 23 i 24).

Zdaniem Wielickiego (147) w przeciętnych warunkach gospodarowania na 1 jednostkę nakładów energetycznych w produkcji roślinnej powinno się uzyskać około 4 jednostki energetyczne produktu podstawowego. W przypadku badań własnych (tab. 23 i 24) ten warunek w płodozmianach zbożowych spełniała tylko produkcja zbóż, a w płodozmianach okopowych większość uprawianych roślin (wyjątek stanowił ziemniak). W produkcji buraka cukrowego i pszenicy ozimej nie zawsze udaje się osiągnąć pożądaną wielkość wskaźnika efektywności energetycznej, gdyż jest ona kształtowana głównie przez takie czynniki jak materiałochłonność, pracołłonność, płodozmian i poziom uzyskiwanych plonów (40, 147, 164, 166). Mniej efektywna energetycznie jest uprawa ziemniaka (147, 148, 165) i kukurydzy na ziarno (86, 108, 128, 145), co jest zgodne z wynikami badań własnych (tab. 23 i 24). Natomiast najwyższym wskaźnikiem efektywności energetycznej cechuje się uprawa roślin motylkowatych (48, 116, 146–148), zaś rośliny strączkowe ze względu na stosunkowo małą wartość energetyczną wypadają w tej ocenie niekorzystnie (146, 147).

W zużyciu bezpośrednich nośników energii w produkcji roślinnej główną pozycję zajmuje olej napędowy. Jego zużycie jest zależne od nakładów mechanicznej siły pociągowej i napędowej – ciągników i maszyn samojezdnych. Najwięcej oleju napędowego (ponad 400 l/ha) zużywano w przypadku uprawy buraka cukrowego na oborniku, mniej przy produkcji ziemniaka i kukurydzy na ziarno, a najmniej w produkcji zbóż (tab. 23 i 24). Jednak bezwzględnie najmniejszym zużyciem paliwa (ok. 100 l/ha) odznaczała się uprawa mieszanki koniczyny z trawą.

W ocenie wartości energetycznej plonów, niezależnie od lat badań, dodatnio wyróżniły się płodozmiany okopowe (tab. 25), zwłaszcza z dwoma polami buraka cukrowego (F i H). Decydujący wpływ na kształtowanie się tej wartości miały duże plony buraka cukrowego (tab. 5). Natomiast zwiększanie udziału zbóż w strukturze zasiewów obniżało przeciętną wartość energetyczną plonów w płodozmianie, szczególnie z 75% udziałem zbóż i 25% grochu (C) i w monokulturze zbożowej (D). Wartość energetyczna plonów uzyskanych w płodozmianach okopowych (F i H) była 2–3-krotnie większa od osiągniętej w płodozmianach zbożowych (C i D).

Nakłady energetyczne, podobnie jak wartość energetyczna plonów, zależały od płodozmiannu (tab. 25). Najmniejsze zużycie energii (ok. 26 GJ/ha) cechowało płodozmian zawierający w strukturze zasiewów 75% zbóż i 25% grochu na nasiona (C), zaś zdecydowanie największe (średnio 43 GJ/ha) stwierdzono w płodozmianie z 75% udziałem roślin okopowych (H). Na ogół wraz ze wzrostem udziału roślin okopowych w płodozmianie (zwłaszcza buraka cukrowego) zwiększała się energochłonność produkcji. Większe zużycie energii w produkcji okopowych wynika ze stosunkowo dużego (w porównaniu ze zbożami) zaangażowania maszyn oraz podwyższonej materiałochłonności (nawozy mineralne i organiczne, środki ochrony roślin).

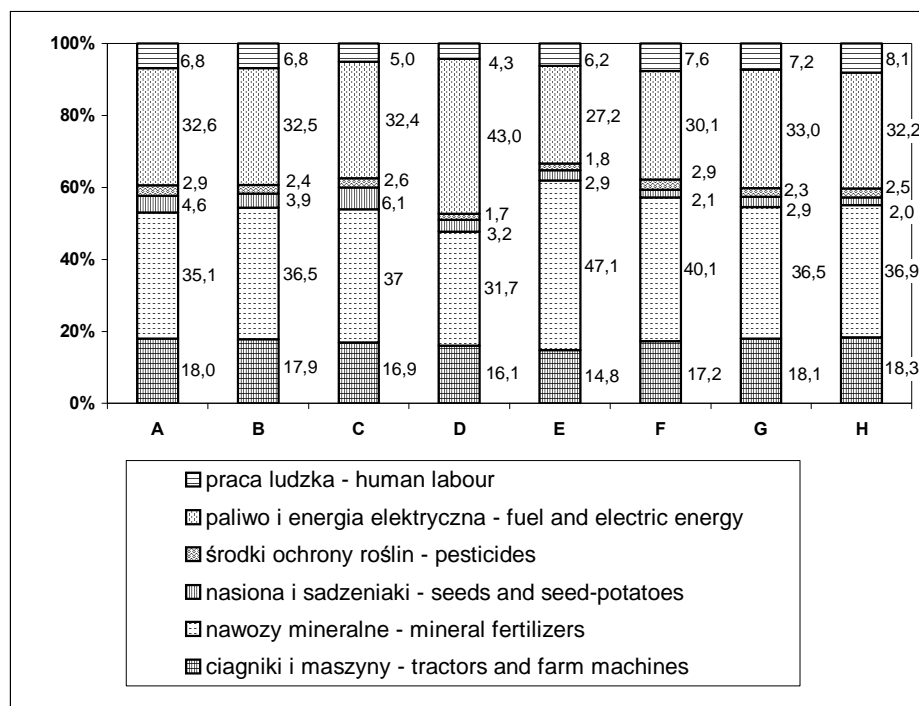
Tabela 25

Wartość energetyczna plonów i nakłady energetyczne na produkcję w płodozmianach
 Energetic value of yields and energy inputs to production in crop rotation

Płodozmian Crop rotation	Wielkość wskaźników w latach (GJ/ha) Value of indices over the years (GJ/ha)				
	1988	1989	1990	1991	Średnia Mean
Wartość energetyczna plonów; Energetic value of yields					
A	98,59	123,38	105,39	117,32	111,17
B	100,06	128,15	124,11	127,79	120,03
C	58,20	86,48	75,64	85,19	76,39
D	77,30	94,19	104,10	96,76	93,08
E	194,25	170,75	168,91	200,31	183,55
F	271,54	217,02	193,70	207,65	222,48
G	172,40	162,30	138,62	164,69	159,50
H	242,54	193,33	181,95	188,19	201,50
Nakłady energetyczne na produkcję; Energy inputs to production					
A	30,06	30,62	31,23	29,00	30,23
B	29,86	31,60	31,57	29,53	30,64
C	25,49	26,46	27,13	25,38	26,12
D	34,02	33,64	35,66	33,17	34,12
E	34,82	33,73	33,84	33,20	33,90
F	39,74	37,13	38,14	36,91	37,98
G	36,83	36,34	36,33	35,32	36,20
H	44,52	42,09	43,26	40,95	42,71

W strukturze nakładów energetycznych (rys. 2) dominujące pozycje stanowiły nawozy (32–47%) i bezpośrednie nośniki energii (27–43%), a najmniejszy udział miały nasiona i sadzeniaki (2–6%) oraz środki ochrony roślin (2–3%). Stwierdzono szczególnie duży (43%) udział paliwa i energii elektrycznej w nakładach energetycznych ponoszonych w wielogatunkowej monokulturze zbożowej (D). Powodem tego stanu była duża energochłonność zbioru kukurydzy na ziarno (omłot i dosuszanie ziarna, zbiór słomy). Jednak zdecydowanie najwyższą energochłonnością wyróżnia się uprawa kukurydzy na susz (147, 148, 153). Z analizy danych zawartych w tabeli 26 wynika, że zużycie oleju napędowego zależało głównie od udziału roślin okopowych w płodozmianie. Gdy udział okopowych wzrastał z 25% (A, B i E) do 50 (F i G) i 75% (H) to następowało zwiększenie zużycia oleju odpowiednio z około 110 l/ha do ok. 260 i 307 l/ha. Natomiast największe zużycie energii elektrycznej przypadało na monokulturę zbożową (D) w związku z dosuszaniem wilgotnego ziarna kukurydzy. Najmniejszym zużyciem tej energii cechowały się płodozmiany okopowe, w których dwa pola były obsiane burakiem cukrowym (F i G).

Na podstawie analizy energochłonności jednostkowej (tab. 27) można stwierdzić, że przeciętnie mniej energii wydatkowano na wyprodukowanie jednostki zbożowej w płodozmianach okopowych (F, G i H) niż w płodozmianach zbożowych



Rys. 2. Struktura nakładów energetycznych (średnio z lat 1988–1991)
Structure of energy – related inputs (mean from 1988–1991)

Tabela 26

Zużycie bezpośrednich nośników energii (średnio z lat 1988–1991)
Consumption of direct energy carriers (mean from 1988–1991)

Nośniki energii Energy carriers	Płodozmiany; Crop rotations							
	A	B	C	D	E	F	G	H
Olej napędowy Diesel oil (l/ha)	211,3	211,0	174,9	177,5	198,9	255,0	261,7	306,9
Energia elektryczna Electric energy (kWh/ha)	51,6	63,4	71,4	105,5	47,7	23,2	43,6	25,2

z roślinami technologicznie podobnymi (C i D). W przypadku płodozmianów okopowych na korzystne kształtowanie się tego wskaźnika zasadniczo wpłynęły duże plony jednostek zbożowych (tab. 7), zwłaszcza buraka cukrowego (tab. 5). Duża zaś energochłonność produkcji jednostki zbożowej w wielogatunkowej monokulturze zbożowej (D) i w płodozmianie z 75% udziałem zbóż i 25% grochu wynika w znacznym stopniu z mniejszych plonów przeliczeniowych (tab. 6).

Wskaźnik energochłonności jednostkowej produkcji suchej masy zależał głównie od poziomu plonów uzyskiwanych w poszczególnych płodozmianach. Na ogół większym plonom suchej masy z 1 ha (tab. 6 i 7) towarzyszyły mniejsze nakłady energetyczne na jednostkę plonu (tab. 27). W przypadku dużej wydajności suchej masy osiąganey w płodozmianach norfolkskim z mieszanką motylkowato-trawiastą (E) oraz okopowym z 50% udziałem buraka cukrowego i 25% kukurydzy kiszonkowej (F) energochłonność jednostkowa kształtowała się na najniższym poziomie. Natomiast przy uzyskiwaniu najniższej wydajności w płodozmianie zbożowym z 75% udziałem zbóż i 25% grochu (C) i w monokulturze zbożowej (D) energochłonność produkcji jednostki suchej masy była około 2-krotnie większa od stwierdzonej w płodozmianach E i F (tab. 27). Znaczący wpływ na wielkość nakładów energetycznych przypadających zarówno na jednostkę zbożową, jak i jednostkę plonu suchej masy wywierała również zmienność sezonowa (w latach). Jednak nie stwierdzono współdziałania lat z płodozmianami w kształtowaniu energochłonności jednostkowej.

Nakłady energetyczne odniesione do jednostki zbożowej i suchej masy wykazywały podobną zależność od płodozmianu, zaś w przypadku jednostki produkcji

Tabela 27

Energochłonność jednostkowa
Energy consumption per unit

Lata Years	Płodozmiany; Crop rotations							
	A	B	C	D	E	F	G	H
Nakłady energetyczne na 1 jednostkę zbożową* Energy inputs per 1 cereal unit (MJ)								
1988	503	506	659	687	425	344	378	332
1989	413	418	463	557	506	413	393	397
1990	470	404	556	535	510	399	415	381
1991	396	376	453	535	433	382	360	371
Srednia Mean	442	421	520	573	466	382	388	368
Nakłady energetyczne na 1 dt suchej masy* Energy inputs per 1 dt dry matter (MJ)								
1988	560	548	804	808	329	269	392	337
1989	456	453	562	656	363	314	411	400
1990	544	467	658	629	368	362	481	437
1991	454	424	547	629	304	326	394	399
Srednia Mean	500	468	628	673	339	313	417	389
Nakłady energetyczne na 1 kg białka ogólnego* Energy inputs per 1 kg total protein (MJ)								
Srednia 1988–1991 Mean from 1988–1991	43,6	44,1	40,8	51,2	28,7	35,6	44,3	47,9

* plon podstawowy; main product

białka ogólnego kształtowały się nieco odmiennie. Płodozmian norfolksi zawierający mieszankę koniczyny z trawą (E) wyróżniał się najmniejszym zużyciem energii na wyprodukowanie jednostki białka ogólnego (tab. 27). Największą energochłonnością cechowała się produkcja białka w wielogatunkowej monokulturze zbożowej (D) i w płodozmianie z 75% udziałem roślin okopowych (H). Należy stwierdzić, że największą energochłonnością produkcji w odniesieniu do jednostki analizowanych plonów przeliczeniowych (wyrażonych w jednostkach zbożowych, suchej masie i białku ogólnym) zdecydowanie odznaczała się monokultura zbożowa (D). Najmniejsze nakłady energetyczne nie wykazywały podobnej prawidłowości; w przypadku każdego rodzaju plonu były związane z innym płodozmianem.

Z punktu widzenia racjonalności gospodarowania energią ważny jest wskaźnik efektywności energetycznej wynikający z relacji wartości energetycznej plonów roślin do nakładów energii poniesionych w procesie produkcji. Najwyższą efektywnością nakładów energetycznych cechowały się płodozmiany okopowe, a wyraźnie mniejszą płodozmiany zbożowe (tab. 28). Wskaźnik efektywności najkorzystniej kształtował się w płodozmianie z 50% udziałem buraka cukrowego i 25% kukurydzy na kiszonce oraz zbliżone wartości przybierał w płodozmianie norfolkskim z mieszanką motylkowato-trawistą (E). Najmniej efektywne wydatkowanie energii było w wielogatunkowej monokulturze zbożowej (D) i w płodozmianie zbożowym z 75% udziałem zbóż i 25% grochu (C), co również wynika z oceny energochłonności jednostkowej (tab. 27). Zatem zwiększanie udziału zbóż i ograniczanie okopowych prowadziło do obniżki efektywności nakładów energetycznych. Jeżeli przyjąć za W i e l i c k i m (147), że wskaźnik efektywności energetycznej produkcji roślinnej (dla plonów podstawowych) powinien wynosić około 4, to płodozmian norfolksi (E) i płodozmiany okopowe (F, G i H) należy ocenić korzystnie, bowiem spełniają ten warunek. W przypadku płodozmianów z 25% udziałem buraka cukrowego (A i B), tylko w lata (1989 i 1991) sprzyjające dobremu plonowaniu roślin, wskaźnik ten kształtował się na poziomie zbliżonym do optymalnego. Gdy w ocenie uwzględniane są plony podstawowe i uboczne to wskaźnik efektywności energetycznej produkcji roślinnej powinien osiągać wartość większą od 6 (143).

Tabela 28

Wskaźniki efektywności energetycznej płodozmianów
Energy efficiency indicators of crop rotations

Lata Years	Płodozmiany; Crop rotations							
	A	B	C	D	E	F	G	H
1988	3,28	3,35	2,28	2,27	5,58	6,83	4,68	5,45
1989	4,03	4,06	3,27	2,80	5,06	5,85	4,47	4,59
1990	3,37	3,93	2,79	2,92	4,99	5,08	3,82	4,21
1991	4,05	4,33	3,36	2,92	6,03	5,63	4,66	4,60
Srednia Mean	3,68	3,92	2,92	2,73	5,41	5,86	4,41	4,72

Z prac wielu autorów (41, 72, 87, 91, 116, 119, 127, 132, 141, 146, 147, 150, 165) wynika, że płodozmian w związku z różnym doбором gatunków roślin kształtuje znacząco efektywność energetyczną produkcji roślinnej. Badania płodozmianów o stosunkowo małym (40, 50 i 60%) zróżnicowaniu udziału zbóż w strukturze zasiewów wykazały, że najlepszym z punktu widzenia efektywności energetycznej był płodozmian typu norfolckiego, zawierający w strukturze zasiewów 50% zbóż, 25% buraka cukrowego i 25% bobiku (92). Przewagę płodozmianu norfolckiego nad innymi systemami użytkowania gruntów wykazał także W i e l i c k i (150). Taki sam efekt uzyskał K u ś i n. (87) na glebach kompleksu pszennego dobrego, gdzie przy zróżnicowanym udziale zbóż (50, 75 i 100%) najlepszym okazał się płodozmian tego samego typu (50% zbóż + 25% buraka cukrowego + 25% grochu). W badaniach własnych (tab. 28) taki sam płodozmian (A) miał mniejszą sprawność energetyczną od płodozmianu z 75% udziałem zbóż (B), głównie z powodu przeciętnie małych i dość zmiennych w latach plonów nasion grochu. Z a - w i ś l a k i n. (165) oceniając płodozmiany z różnym (20, 40 i 60%) udziałem ziemniaka stwierdziła, iż duża (60%) koncentracja uprawy tej rośliny odznacza się najmniej korzystnym wskaźnikiem efektywności energetycznej. Natomiast zmniejszenie udziału ziemniaka do 40% i uprawa odmiany odpornej na mątwika przyczynia się do poprawy sprawności energetycznej płodozmianu. Z badań nad płodozmianami zbożowymi wynika, że wprowadzanie zbóż w miejsce roślin okopowych skutkuje obniżeniem efektywności energetycznej produkcji roślinnej (71). Dlatego przy poszukiwaniu możliwości poprawy efektywności płodozmianów należy brać pod uwagę dopuszczalne progi koncentracji poszczególnych roślin (2, 3, 112). Przy ocenie płodozmianów należy też pamiętać, że efektywność nakładów energetycznych, podobnie jak opłacalność produkcji, zależy od przydatności rolniczej gleb, bowiem wraz z pogarszaniem się jakości gleb obniża się wskaźnik efektywności produkcji roślinnej (48, 72, 87, 132).

Wyniki badań własnych (tab. 28) pozwalają stwierdzić, że płodozmiany okopowe wyróżniały się korzystniejszym wskaźnikiem efektywności energetycznej niż płodozmiany zbożowe, a zastępowanie buraka cukrowego zbożami lub grochem prowadziło do obniżki efektywności nakładów energetycznych. Do odmiennych rezultatów doszedł W i e l i c k i (146, 147); w modelowej ocenie efektywności energetycznej 10 płodozmianów o zróżnicowanym udziale roślin okopowych, strączkowych i zbożowych wykazał, że najwyższą efektywnością odznaczają się płodozmiany zbożowe, a najniższą okopowe. Rozbieżność tych ocen wynika z innych w obu przypadkach wydajności roślin i relacji plonów zbóż do plonów roślin okopowych, a także stosowanych technologii produkcji. W badaniach własnych uzyskano relatywnie duże plony roślin w płodozmianach okopowych, szczególnie buraka cukrowego (tab. 4 i 5), a wskaźniki nakładów pracy i poziom zmechanizowania prac ustalano w warunkach produkcyjnych gospodarstwa rolnego. Z powyższych rozważań wynika, że nie można z góry określić efektywności określonego płodozmianu, jest to bowiem zależne od szeregu czynników, m.in. od doboru roślin

i wielkości ich plonów, poziomu nakładów materiałowych i pracy, technologii produkcji, warunków glebowo-klimatycznych.

3.6. KOMPLEKSOWA OCENA PŁODOZMIANÓW

W tej części pracy określono zależności między niektórymi wskaźnikami oceny płodozmianów, a udziałem roślin zbożowych i okopowych w strukturze zasiewów. Płodozmiany poddano również ocenie na podstawie zaangażowania głównych czynników produkcji oraz z uwzględnieniem wskaźników gospodarowania zrównoważonego. Ponadto, przedstawiono syntetyczną ocenę punktową porównywanych płodozmianów.

3.6.1. Związki struktury zasiewów z niektórymi wskaźnikami oceny płodozmianów

Ze względów zarówno poznawczych, jak i praktycznych, bardzo ważne jest poszukiwanie zależności pomiędzy wskaźnikami oceny płodozmianów, a udziałem określonych grup roślin w strukturze zasiewów. Badania wykazały, że zwiększanie

Tabela 29

Regresja liniowa między wskaźnikami oceny płodozmianów ($Y_1 - Y_4$)
a % udziałem roślin zbożowych (x_1) i okopowych (x_2) w strukturze zasiewów
Linear regression giving indicators for crop rotation assessment ($Y_1 - Y_4$)
and percentage of cereals (x_1) and root crops (x_2) in cropping system

Wskaźniki oceny* Assessment indicators	Równania regresji liniowej Linear regression equations	Współczynnik korelacji Correlation coefficient (r)	Współczynnik determinacji Determination coefficient (%)
Udział roślin zbożowych w strukturze zasiewów (%) Share of cereals in cropping system (%)			
Y_1	$y = 109,104 - 0,5638x_1$	-0,675	45,56
Y_2	$y = 313,708 - 1,3980x_1$	-0,694	48,16
Y_3	$y = 3,238 - 0,01213x_1$	-0,259**	6,71
Y_4	$y = 6,091 - 0,03550x_1$	-0,834	69,56
Udział roślin okopowych w strukturze zasiewów (%) Share of root crops in the cropping system (%)			
Y_1	$y = 49,025 + 0,9169x_2$	0,900	81,00
Y_2	$y = 162,375 + 2,3390x_2$	0,958	91,78
Y_3	$y = 2,070 + 0,01768x_2$	0,250**	6,25
Y_4	$y = 4,151 + 0,01230x_2$	0,259**	6,71

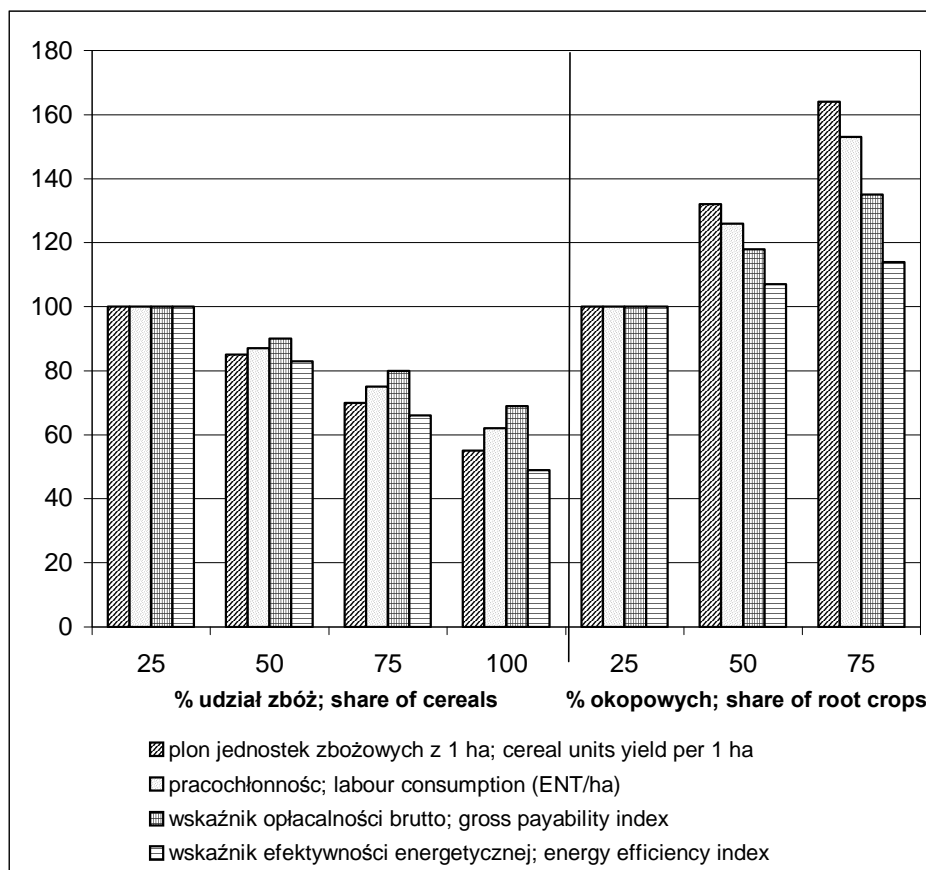
* Y_1 - plon jednostek zbożowych z 1 ha; cereal units yield per 1 ha

Y_2 - pracochłonność w ENT/ha; labour consumption in ENT/ha

Y_3 - wskaźnik opłacalności brutto; gross payability index

Y_4 - wskaźnik efektywności energetycznej; energy efficiency index

** korelacja nieistotna ($\alpha = 0,05$); correlation not significant ($\alpha = 0,05$)



Rys. 3. Zmiany wskaźników oceny płodozmianów w zależności od udziału roślin zbożowych i okopowych w strukturze zasiewów
Changes of indicators for crop rotation assessment relative to the percentage of cereals and root crops in the cropping system

udziału zbóż w strukturze zasiewów powoduje obniżkę wartości wskaźników oceny płodozmianów, zaś w przypadku wzrostu udziału roślin okopowych zależność była odwrotna (rys. 3). W tabeli 29 przedstawiono równania regresji opisujące zależności wskaźników oceny od udziału roślin zbożowych i okopowych w płodozmianie, a w tabeli 30 oszacowane za pomocą tych równań wartości poszczególnych wskaźników. Udział roślin zbożowych w strukturze zasiewów wywierał istotny, ujemny wpływ na przeciętną wydajność jednostek zbożowych w płodozmianie, pracochłonność i efektywność nakładów energetycznych; w miarę koncentracji zbóż w zasiewach (w przedziale od 25 do 100%) następowała obniżka wartości tych wskaźników. Jedynie wpływ udziału zbóż na wskaźnik opłacalności brutto okazał się nieistotny. Natomiast udział roślin okopowych w płodozmianie był silnie dodatnio skorelowany z przeciętnym plonem jednostek zbożowych i pracochłonno-

Tabela 30

Oszacowane wartości wskaźników oceny płodozmianów w zależności od udziału roślin zbożowych i okopowych w strukturze zasiewów
 Estimated value of indicators for crop rotation assessment relative to the percentage of cereals and root crops in the cropping system

Wskaźniki oceny Assessment indicators	Udział w strukturze zasiewów; Share in cropping system (%)						
	zboża; cereals				okopowe; root crops		
	25	50	75	100	25	50	75
Plon jednostek zbożowych z 1 ha Cereal units yield per 1 ha	95,0	80,9	66,8	52,7	71,9	94,9	117,8
Pracochłonność Labour consumption (ENT/ha)	278,8	243,8	208,9	173,9	220,8	279,3	337,8
Wskaźnik opłacalności brutto Gross payability index	2,93	2,63	2,33	2,03	2,51	2,95	3,40
Wskaźnik efektywności energetycznej Energy efficiency index	5,20	4,32	3,43	2,54	4,46	4,77	5,07

ścią, a nie udowodniono statystycznie jego związku ze wskaźnikami opłacalności brutto i efektywności energetycznej. Zatem okazało się, że udział w strukturze zasiewów zarówno zbóż, jak i roślin okopowych nie oddziaływał istotnie na opłacalność produkcji roślinnej. Jednak można przypuszczać, iż w przypadku zmian w relacjach cen środków produkcji do cen ziemiopłodów nastąpiłaby również zmiana współzależności między rodzajem płodozmiaru a opłacalnością produkcji roślinnej.

3.6.2. Zapotrzebowanie płodozmianów na czynniki produkcji

Interesująco przedstawiają się wyniki oceny płodozmianów przeprowadzonej na podstawie zaangażowania głównych czynników produkcji, tj. ziemi, pracy i kapitału (tab. 31). Płodozmiary okopowe (F, G i H) ze względu na osiąganie dużej wydajności roślin, zwłaszcza buraka cukrowego, wyróżniły się najmniejszą ziemiochłonnością. Na wyprodukowanie 100 jednostek zbożowych należało przeznaczyć około 1 ha gruntów ornych, a przy 75% udziale roślin okopowych niespełna 0,9 ha. W przypadku płodozmianów zbożowych, szczególnie z grochem w uprawie na nasiona (C), ziemiochłonność produkcji w odniesieniu do jednostek zbożowych była blisko dwukrotnie większa. Płodozmiary typu norfolckiego (A i E) i zbożowy z burakiem cukrowym (B) cechowała pośrednia wielkość wskaźnika ziemiochłonności. Statystycznie potwierdzono, że ziemiochłonność produkcji jednostek zbożowych w płodozmiarach istotnie zależała od udziału roślin zbożowych i okopowych w strukturze zasiewów (tab. 32). Koncentracja zbóż w zasiewach przyczyniała się do wzrostu ziemiochłonności, zaś w przypadku roślin okopowych prowadziła do obniżenia wielkości tego wskaźnika. Inaczej kształtowała się ziemiochłonność pro-

Tabela 31

Ocena płodozmianów według zaangażowania głównych czynników produkcji
Assessment of crop rotations based on the involvement of major production factors

Płodo- zmian Crop rotation	Wskaźniki oceny; Assessment indicators					
	ziemiochłonność farmland consumption		pracochołność labour consumption		kapitałochłonność* capital consumption	
	ha/100 j.z.	ha/t b.o.	ENT/ha	GJ/ha	zł/ha	zł/j.z.
A	1,46	1,44	224	7,48	1699	24,8
B	1,37	1,44	224	7,56	1522	20,9
C	1,99	1,56	175	5,72	1430	28,5
D	1,68	1,50	181	6,96	1724	28,9
E	1,37	0,85	215	7,13	1722	23,7
F	1,01	0,94	280	9,45	2205	22,2
G	1,07	1,22	279	9,17	2071	22,2
H	0,86	1,12	337	11,28	2510	21,6

* wartość nakładów materiałowych wg cen z 2000 r.; material inputs acc. to prices in 2000

j.z. – jednostki zbożowe; cereal units

b.o. – białko ogólne; total protein

dukcji białka ogólnego. Pod tym względem najkorzystniej wyróżnił się płodozmian norfolcki z udziałem mieszanki motylkowato-trawiastej (E), gdyż na wyprodukowanie 1 tony białka wystarczyło 0,85 ha gruntu ornego (tab. 31). W tej ocenie, podobnie jak w odniesieniu do produkcji jednostek zbożowych, większą ziemiochłonnością odznaczały się płodozmiany zbożowe niż okopowe.

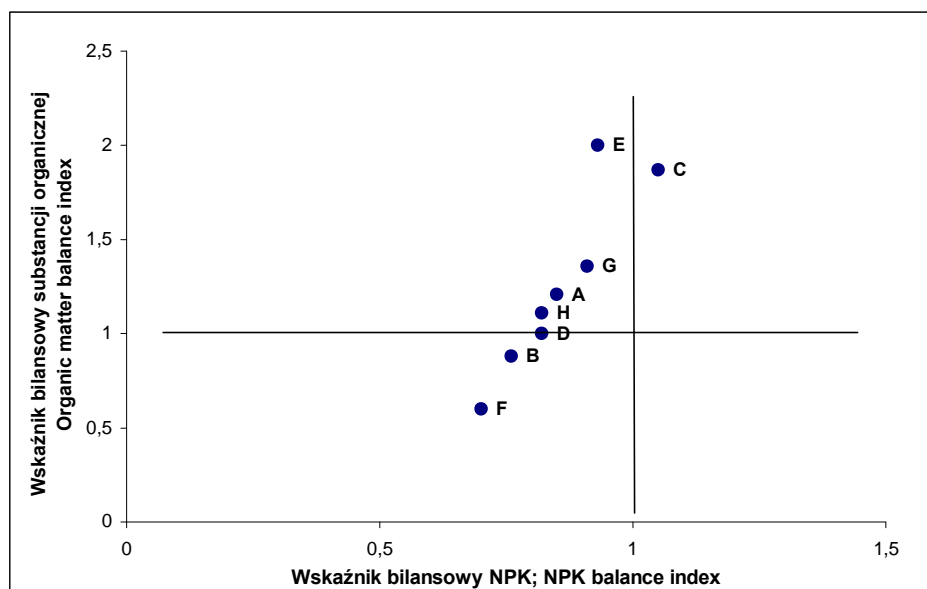
Nakłady pracy żywej i uprzedmiotowionej ujęte łącznie niezależnie od jednostek miary, wykazywały wyraźny związek z płodozmianem, a ściślej określając z udziałem roślin zbożowych i okopowych w strukturze zasiewów (tab. 31 i 32).

Tabela 32

Współzależności między udziałem roślin zbożowych i okopowych w płodozmianie
a zaangażowaniem głównych czynników produkcji
Relationship between the percentage of cereals and root crops in the rotation and the involvement
of major production factors

Udział w płodozmianie Percentage in crop rotation	Zaangażowanie czynników produkcji Involvement of production factors		
	ziemiochłonność (ha/100 jed.zboż.) farmland consumption (ha/100 c. units)	pracochołność labour consumption (ENT/ha)	kapitałochłonność* capital consumption* (zł/ha)
	współczynniki korelacji rang; rank correlation coefficients		
Zboża; Cereals	0,77	-0,60	-0,65
Okopowe; Root crops	-0,77	0,94	0,91

* wartość nakładów materiałowych obejmujących: nawozy, nasiona, sadzeniaki, środki ochrony roślin, paliwa i energię elektryczną; money value of material inputs: fertilizers, seeds, seed-potatoes, pesticides, fuel and electric energy



Rys. 4. Ocena płodozmianów według bilansów NPK i substancji organicznej
Crop rotation assessment based on NPK and organic matter balances

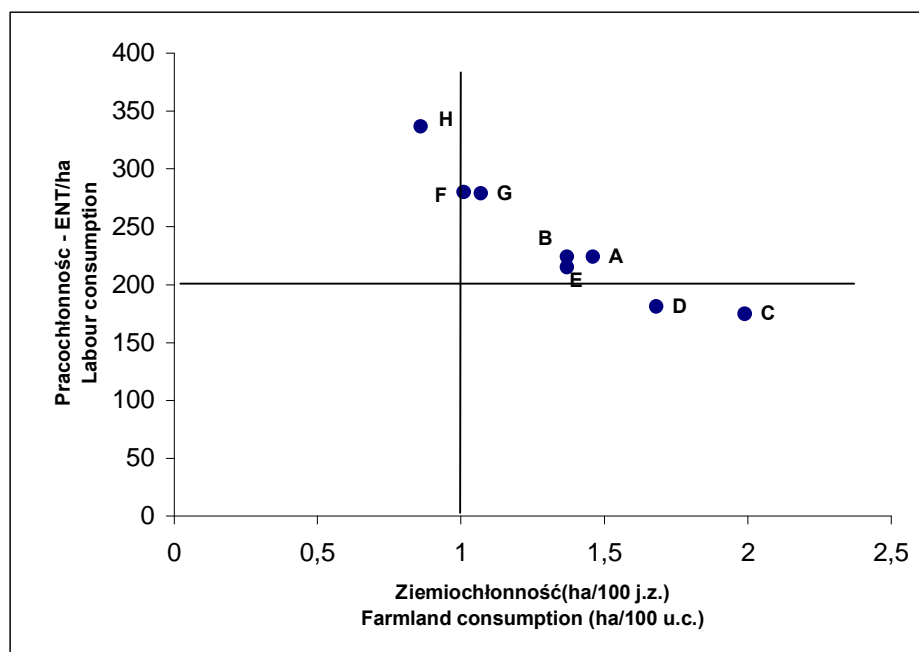
Na pracochłonność produkcji w płodozmianie silniej oddziaływał udział roślin okopowych ($r = 0,94$), niż zbóż ($r = -0,60$). Zwiększanie liczby pól z roślinami okopowymi w płodozmianie powodowało wzrost pracochłonności, zaś gdy w ich miejsce wprowadzano zboża to następowało ograniczenie nakładów pracy. Najmniejszą pracochłonnością wyróżniały się płodozmiany z roślinami technologicznie podobnymi, a więc płodozmian zbożowy C (75% zbóż + 25% grochu) i wielogatunkowa monokultura zbożowa (D), zaś największych nakładów pracy wymagał płodozmian z 75% udziałem roślin okopowych (H).

Kapitałochłonność produkcji, odpowiadająca wartości nakładów materiałowych w odniesieniu do jednostki powierzchni, korelowała w podobnym stopniu z udziałem roślin zbożowych i okopowych, jak pracochłonność produkcji (tab. 31 i 32). Zwiększanie udziału zbóż w zasiewach przyczyniało się do ograniczenia wartości nakładów materiałowych, natomiast wzrostowi udziału roślin okopowych w płodozmianie towarzyszyła większa kapitałochłonność produkcji na 1 ha. Okazało się, że kapitałochłonność w odniesieniu do jednostki zbożowej, podobnie jak ziemiochłonność, była największa w płodozmianie z 75% udziałem zbóż i 25% grochu (C) i w monokulturze zbożowej (D). Wyraźnie mniejsze nakłady finansowe przypadają na jednostkę zbożową w płodozmianie zbożowym (B) i w płodozmianach okopowych (F, G i H).

Podjęto próbę hierarchizacji badanych płodozmianów przyjmując za jej podstawę wybrane pary wskaźników oceny. Jeżeli w ocenie przyrodniczo-ekologicznej za wiodące wskaźniki przyjmie się bilanse składników mineralnych (NPK) i sub-

stancji organicznej w glebie (rys. 4), to pod tym względem dodatkowo wyróżnił się płodozmian z 75% udziałem zbóż i 25% grochu (C). Natomiast niekorzystną ocenę uzyskały płodozmiany B i F cechujące się ujemnymi saldami NPK i substancji organicznej, co w konsekwencji grozi degradacją gleby. Przy osiągniętej dużej wydajności roślin stosowane nawożenie w większości płodozmianów nie równoważyło potrzeb nawozowych roślin, zwłaszcza w odniesieniu do azotu i potasu. Bilans tych składników był ujemny. Na taki wynik oceny zapewne wpływ miało niezbyt precyzyjne określenie dawek nawozów.

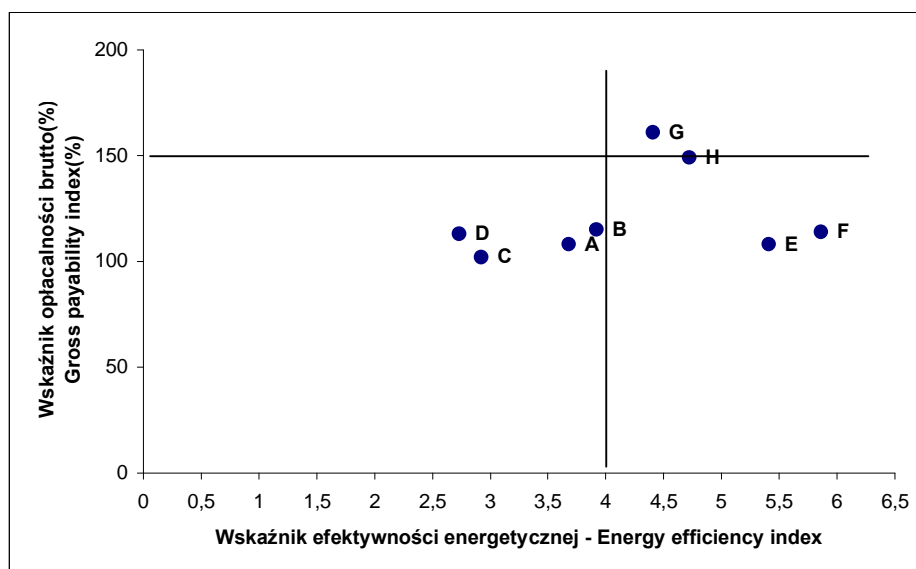
Pod względem zaangażowania pracy i ziemi trudno dokonać jednoznacznej oceny płodozmianów (rys. 5). Płodozmiany okopowe (F, G i H) wprawdzie odznaczały się mniejszą ziemiochłonnością, ale zarazem były najbardziej pracochłonne. Takie płodozmiany mogą być stosowane w warunkach ograniczonych zasobów ziemi, przy względnych nadwyżkach siły roboczej i jednocześnie dobrym wyposażeniu w specjalistyczne maszyny do zbioru roślin okopowych. Odmianą charakterystykę mają płodozmiany zbożowe (D i C), które przy najmniejszym zapotrzebowaniu na prace wykazywały dużą ziemiochłonność. Stosowanie płodozmianów z roślinami technologicznie podobnymi z dużym udziałem zbóż lub ich monokulturą jest praktykowane w gospodarstwach z dużymi zasobami ziemi, przy ograniczonych zasobach siły roboczej i dobrym wyposażeniu w maszyny do zbioru (kombajny, prasy do słomy).



Rys. 5. Ocena płodozmianów według ziemiochłonności i pracochłonności
Crop rotation on assessment based on farmland and labour consumption

W ocenie opartej na wskaźnikach efektywności ekonomicznej i energetycznej (rys. 6) wyróżniły się dwa płodozmiany okopowe (G i H), w których opłacalność produkcji brutto wynosiła co najmniej 150% a wskaźnik efektywności nakładów energetycznych przekraczał 4 jednostki, czyli wielkość uznawaną za miarę poprawnego gospodarowania (145). Za graniczną wielkość wskaźnika opłacalności brutto przyjęto 150%, gdyż w pełnym rachunku ekonomicznym należy uwzględnić jeszcze koszty pośrednie (ogólnoprodukcyjne i ogólnogospodarcze) właściwe dla każdego gospodarstwa, które w praktyce dochodzą nawet do 50% kosztów bezpośrednich. Najefektywniejsze energetycznie okazały się również dwa, ale inne płodozmiany – norfolcki (E) i okopowy z kukurydzą na kiszonkę (F), przy czym poziom opłacalności ich produkcji był znacznie niższy od stwierdzonego w płodozmianach okopowych z burakiem cukrowym i ziemniakiem (G i H). W przypadku płodozmianów zbożowych poprawę wskaźnika efektywności energetycznej można uzyskać m.in. w wyniku zmiany sposobu zbioru słomy; zamiast zbioru przyczepą objętościową zbierającą z pokosu wprowadzić zbiór słomy przy użyciu prasy.

Na podstawie powyższych ocen można stwierdzić, że płodozmiany okopowe przy osiąganej dużej wydajności roślin charakteryzowały się dodatnim bilansem substancji organicznej w glebie (wyjątek płodozmian F), dużą pracochłonnością i zarazem małą ziemiochłonnością oraz wysoką efektywnością ekonomiczną i energetyczną (rys. 4, 5 i 6). Natomiast płodozmiany zbożowe odznaczały się na ogół



Rys. 6. Ocena płodozmianów według wskaźników efektywności ekonomicznej i energetycznej
Crop rotation assessment based on economic and energy effectiveness indicators

mniej korzystnym bilansem substancji organicznej, względnie małą pracochłonnością i dużą ziemiochłonnością oraz niższą od optymalnej efektywnością ekonomiczną i energetyczną.

Klepcki i Grontkowska (67) wskazują, że ocena ekonomiczna i przydatność danego płodozmienu zależą od sytuacji w jakiej znajduje się gospodarstwo rolne. Według tych autorów cele gospodarowania adekwatne do sytuacji mogą być następujące:

- w gospodarstwie znajdującym się w korzystnej sytuacji ekonomicznej i mającym utrwaloną pozycję na rynku – za podstawowy cel gospodarowania można przyjąć osiągnięcie jak najwyższego wyniku finansowego, np. maksymalizację sumy nadwyżek bezpośrednich;
- w przypadku niedoboru środków pieniężnych na działalność bieżącą gospodarstwa – celem podstawowym rolnika może być jak najlepsze wykorzystanie czynnika znajdującego się w minimum;
- w gospodarstwie będącym na etapie powstawania, gdy jest ono niedoinwestowane i ma niskie zasoby kapitałowe – celem rolnika powinna być minimalizacja nakładów kapitałowych na inwestycje w środki trwałe i maksymalizacja efektów z ponoszonych kosztów zmiennych.

Podobnie w pracy Gędkai in. (31) wskazano na możliwości stosowania różnych płodozmianów w określonych warunkach z uwzględnieniem celu gospodarowania, którym mogło być zagospodarowanie posiadanego areалу ziemi uprawnej lub uzyskiwanie określonego poziomu produkcji roślinnej, bądź osiągnięcie maksymalnego zysku. Jeżeli celem było zagospodarowanie określonej powierzchni gruntów ornych to w warunkach niedoboru siły roboczej i pociągowej oraz ograniczonych zasobów finansowych proponowano stosowanie monokultury zbożowej lub płodozmienu zbożowego (75% zboża + 25% rośliny pastewne). Ze względu na uzyskiwanie zadowalającego wolumenu produkcji roślinnej, w warunkach względnego nadmiaru ziemi oraz siły roboczej i pociągowej, wskazywana była również monokultura zbożowa i płodozmiany z 75% udziałem zbóż. Płodozmian norfolki zalecano do stosowania w warunkach ograniczonych zasobów ziemi uprawnej i dostatku pozostałych środków produkcji; w porównaniu do płodozmianów zbożowych dawał największy zysk brutto. Na podstawie oceny ekonomicznej, przeprowadzonej metodą „przetwórczą” z wykorzystaniem programowania liniowego, wykazano, że zysk brutto był zależny od udziału zbóż w strukturze zasiewów i produktywności płodozmienu (31). Stwierdzono także, że stosowanie płodozmianów z roślinami okopowymi wymaga donajmu siły roboczej w okresach zapotrzebowania szczytowego, zaś zwiększanie udziału zbóż (75 i 100%) jest niekorzystne ze względu na zbyt niski dochód (30, 31).

Według Andrae (6) w warunkach niedostatku ziemi płodozmian powinien zapewniać wysoką jej produktywność; jest to możliwe w gospodarstwach uprawiających rośliny okopowe i prowadzących chów krów mlecznych. Natomiast w gospodarstwach zasobnych w ziemię czynnikiem występującym w minimum jest praca. W tych warunkach najlepiej jest uprawiać rośliny technologicznie podobne,

zbierane kombajnem zbożowym, co sprzyja osiągnięciu wysokiej wydajności pracy. Zapotrzebowanie ważniejszych gałęzi produkcji roślinnej na czynniki produkcji można scharakteryzować następująco:

- rośliny zbierane kombajnem zbożowym (zboża, rzepak, rośliny strączkowe i kukurydza uprawiana na ziarno) wymagają dużo ziemi a mało pracy i kapitału,
- rośliny okopowe (burak cukrowy, ziemniak, warzywa), zwane też roślinami intensywnymi ze względu na nakłady robocizny i produktywność ziemi, angażują mało ziemi i kapitału a dużo wymagają pracy.

N a r o c k i i in. (108) przedstawili analizę płodozmianów zapewniających maksymalizację produkcji roślinnej i ich związki z produkcją zwierzęcą. Wykazano, że w gospodarstwach prowadzących produkcję zwierzęcą mają zastosowanie płodozmiany z roślinami okopowymi i pastewnymi ze względu na dostarczanie dużych ilości składników energetycznych i białka. Uprawa zbóż pozwala uzyskiwać relatywnie mniejsze plony składników pokarmowych i może być prowadzona głównie z przeznaczeniem dla trzody chlewnej. Natomiast płodozmiany wielostronne składające się z roślin okopowych, pastewnych i zbożowych powinny być stosowane tam, gdzie zasoby ziemi i siły roboczej zapewniają pełne wykorzystanie posiadanych maszyn. Płodozmian zbożowo-pastewny stwarza możliwość osiągnięcia dużej wydajności składników pokarmowych w gospodarstwach zajmujących się chowem bydła. Bardzo uproszczone płodozmiany, głównie zbożowe, mogą być stosowane z konieczności jako przejściowa forma organizacyjna. W ostatnim dziesięcioleciu taki model produkcji roślinnej często stosują właściciele i dzierżawcy popiegiarowskich gospodarstw rolnych, które cechuje dostatek ziemi oraz niedobór siły roboczej i środków finansowych.

W ocenach możliwości zastosowania płodozmianów w różnych sytuacjach gospodarczych wskazywano na związki z zasobami podstawowych czynników produkcji. Na podstawie tych ocen (6,30, 31, 43, 108) i wyników badań własnych (tab. 31, rys. 5 i 6) można stwierdzić, że:

- w warunkach zagospodarowywania określonej powierzchni ziemi ornej, czyli przy jej dostatku oraz niedoborze siły roboczej i pociągowej, a także ograniczonych środkach finansowych – wskazana jest uprawa roślin technologicznie podobnych (zbieranych kombajnem zbożowym), a więc stosowanie wielogatunkowej monokultury zbożowej lub płodozmianu zbożowego z 75% udziałem zbóż i 25% roślin strączkowych;
- w sytuacji ograniczonych zasobów ziemi ornej i kapitału, a przy nadwyżkach siły roboczej i pociągowej można stosować płodozmiany okopowe, z uwzględnieniem ziemniaka jadalnego i warzyw;
- w przypadku ograniczonych zasobów ziemi a dostatku pracy i kapitału – możliwe jest prowadzenie produkcji pasz na gruntach ornych w powiązaniu z chowem bydła, a także uprawy roślin specjalnych (tytoń, chmiel, zioła).

Są to tylko niektóre z możliwych sytuacji gospodarczych, w praktyce zaś występuje ich znacznie więcej o bardziej skomplikowanym związku z czynnikami pro-

dukcji. Jednak należy pamiętać, że rośliny okopowe zapewniają na ogół wysoką produktywność ziemi, a rośliny technologicznie podobne (zbierane kombajnem zbożowym) dużą wydajność pracy. Ponadto na uwagę zasługuje fakt, że ziarno zbóż, w porównaniu z innymi ziemiopłodami wyróżnia się wielokierunkowością wykorzystania, trwałością w przechowywaniu i łatwością transportu.

Z przedstawionego przeglądu wynika, że nie ma uniwersalnych metod oceny i doboru płodozmianów do gospodarstwa. Wybór kryterium oceny i odpowiedniego do sytuacji płodozmianu każdorazowo należy do decyzji właściciela gospodarstwa rolnego.

3.6.3. Ocena punktowa płodozmianów

Za pomocą zaproponowanej metody oceny punktowej można dokładniej oszacować łączną „dobroć” każdego z płodozmianów, zarówno w ramach poszczególnych kryteriów, jak i w ujęciu kompleksowym. Jednoczesne uwzględnianie w metodzie punktowej wielu kryteriów stwarza możliwość wskazania bardziej wszechstronnego płodozmianu z punktu widzenia oceny produkcji roślinnej.

Jako kryterium produkcyjne oceny płodozmianów przyjęto plony przeliczeniowe, wyrażone w jednostkach zbożowych, suchej masie i białku ogólnym (tab. 33). Najwięcej punktów, czyli najwyższe oceny uzyskały płodozmiany okopowe (F, G i H) i norfolcki (E), a zdecydowanie niższe płodozmiany zbożowe – zwłaszcza z 75% udziałem zbóż i 25% grochu (C) i wielogatunkowa monokultura zbożowa (D).

Za podstawę oceny przyrodniczo-ekologicznej przyjęto wskaźniki bilansowe NPK i substancji organicznej w glebie oraz liczbę zabiegów ochrony roślin. W syntetycznym ujęciu wyróżnił się płodozmian norfolcki z mieszanką motylkowa-to-trawistą (E) i płodozmian zbożowy z grochem (C), zaś najniższe noty przypadły płodozmianom okopowym z dwoma polami buraka cukrowego (F i H). Pośrednią ocenę uzyskały płodozmiany – okopowy (G) i norfolcki (A) oraz monokultura zbożowa (D).

Za kryteria organizacyjne, ekonomiczne i energetyczne przyjęto pojedyncze, ale bardziej syntetyczne wskaźniki oceny (tab. 33). W ocenie organizacyjnej za podstawowy uznano wskaźnik pracochłonności (ENT/ha), ujmujący łącznie nakłady siły roboczej oraz mechanicznej siły pociągowej i napędowej. Pod tym względem korzystnie wyróżniły się płodozmiany zbożowe (C i D) i norfolcki (E), a zdecydowanie najniższe oceny uzyskały płodozmiany okopowe, zwłaszcza z 50% udziałem buraka cukrowego i 25% ziemniaka (H). W ocenie ekonomicznej za kryterium waloryzacji płodozmianów przyjęto wskaźnik opłacalności brutto. Najwyższe oceny przypadły płodozmianom okopowym z dwoma polami nawożonymi obornikiem (G i H), natomiast pozostałe tworzyły grupę dość wyrównaną, ale o bardzo niskich notach. Na podstawie kryterium sprawności energetycznej można wyróżnić trzy grupy płodozmianów: najwyżej ocenione płodozmiany okopowe (F, G i H) i norfolcki (E), zajmujące pozycję pośrednią – płodozmiany z jednym polem buraka cukrowego (A i B) i najniżej notowane płodozmiany zbożowe (C i D).

Z analizy danych zawartych w tabeli 33 wynika, że przyjęcie różnych metod oceny daje określone skutki odnośnie wyboru najlepszego płodozmianu. Na podstawie uzyskanych ocen w zakresie poszczególnych kryteriów decyzje dotyczące wyboru najkorzystniejszych płodozmianów przedstawiają się następująco:

- **ocena produkcyjna** – płodozmiany okopowe (F i H) i norfolksi (E),
- **ocena przyrodniczo-ekologiczna** – płodozmiany norfolksi (E) i zbożowy (C),

Tabela 33

Syntetyczna ocena punktowa płodozmianów
Assessment of rotations based on a synthetic score

Wskaźniki oceny Assessment indicators	Płodozmiany; Crop rotations							
	A	B	C	D	E	F	G	H
Kryterium produkcyjne; Production criteria								
Plon jednostek zbożowych Cereal units yields	3	3	1	2	3	6	6	8
Plon suchej masy Dry matter yield	2	3	1	1	6	8	5	7
Plon białka ogólnego Total protein yield	1	1	1	1	8	7	3	4
Razem; Total	6	7	3	4	17	21	14	19
Średnio; Mean	2	2	1	1	6	7	5	6
Kryterium przyrodniczo-ekologiczne; Natural and ecologic criteria								
Wskaźnik bilansowy NPK NPK balance index	4	2	8	3	6	1	6	3
Wskaźnik bilansowy substancji organicznej Balance index of organic matter	4	2	8	3	8	1	5	3
Liczba zabiegów ochrony roślin No. of plants protection measures	3	5	3	6	8	3	1	1
Razem; Total	11	9	19	12	22	5	12	7
Średnio; Mean	4	3	6	4	7	2	4	2
Kryterium organizacyjne; Organization criteria								
Wskaźnik pracochłonności Labour consumption index (ENT)	6	6	8	8	7	3	3	1
Kryterium ekonomiczne; Economic criteria								
Wskaźnik opłacalności brutto Gross payability index	1	2	1	2	1	2	8	7
Kryterium energetyczne; Energetic criteria								
Wskaźnik efektywności energetycznej Energy efficiency index	3	4	1	1	7	8	5	6
Suma punktów kryteriów oceny Total assessment score	16	17	18	16	28	22	25	22
Kolejność; Rank	7-8	5	6	7-8	1	3-4	2	3-4

Tabela 34

Ocena punktowa płodozmianów z uwzględnieniem wskaźników gospodarowania zrównoważonego
Crop rotation assessment score including sustainable farming indicators

Wskaźniki oceny Assessment indicators	Płodozmiany; Crop rotations							
	A	B	C	D	E	F	G	H
Plon jednostek zbożowych Cereal units yields	3	3	1	2	3	6	6	8
Wskaźnik opłacalności brutto Gross payability index	1	2	1	2	1	2	8	7
Syntetyczny wskaźnik ekologiczny Synthetic ecologic index	4	3	6	4	7	2	4	2
Suma punktów Total score	8	8	8	8	11	10	18	17
Kolejność; Rank	5-8	5-8	5-8	5-8	3	4	1	2

- **ocena organizacyjna** – wielogatunkowa monokultura zbożowa (D) oraz płodozmiany zbożowy (C) i norfolcki (E),
- **ocena ekonomiczna** – płodozmiany okopowe (G i H),
- **ocena energetyczna** – płodozmiany okopowe (F i H) i norfolcki (E),
- **ocena syntetyczna** – płodozmiany norfolcki (E) i okopowy (G).

W łącznej ocenie punktowej, uwzględniającej wszystkie kryteria, najkorzystniejszy okazał się płodozmian norfolcki z mieszanką motylkowato-trawiaistą (E), drugą lokatę uzyskał płodozmian okopowy G (25% burak cukrowy + 25% ziemniak), a następnie w kolejności (równorzędne) były płodozmiany okopowe F i H. Najniższą łączną ocenę uzyskał płodozmian typu norfolckiego z grochem (A) i wielogatunkowa monokultura zbożowa (D). Można też stwierdzić, że płodozmiany okopowe w kompleksowej ocenie wypadły znacznie korzystniej niż płodozmiany zbożowe. Syntetyczna ocena punktowa wykazała, że płodozmian norfolcki z udziałem rośliny motylkowatej, ze względu na swoją wszechstronność, jest nadal klasycznym wzorem systemu użytkowania ziemi ornej.

Z punktu widzenia zasad rozwoju zrównoważonego na poziomie gospodarstwa rolnego powinno dążyć się do jednoczesnego osiągnięcia trzech celów – produkcyjnego, ekonomicznego i ekologicznego. Ocena punktowa płodozmianów uwzględniająca wskaźniki gospodarowania zrównoważonego przedstawiono w tabeli 34. Za miarę produktywności przyjęto przeciętny plon jednostek zbożowych z płodozmianu, efektywność ekonomiczną wyrażono wskaźnikiem opłacalności brutto, a do oceny ekologicznej w tych rozważaniach zaproponowano syntetyczny wskaźnik ekologiczny oparty na bilansach NPK i substancji organicznej w glebie oraz liczbie zabiegów ochrony roślin. Okazało się, że wybór najkorzystniejszego płodozmianu z punktu widzenia realizacji celów gospodarowania zrównoważonego jest trudny. Najbliżej spełnienia tych warunków były płodozmiany okopowe z dwoma polami nawożonymi obornikiem (G i H), a najniższe noty uzyskały płodozmiany zbożowe (B, C i D) i płodozmian typu norfolckiego z udziałem grochu (A).

Pełna ocena przydatności płodozmianów do gospodarstwa rolnego powinna również uwzględniać produkcję zwierzęcą, dla której produkcja roślinna stwarza bazę paszową. Potwierdzeniem takiego podejścia są wyniki badań F o t y m y i K u s s i a (27) nad stopniem realizacji celów rolnictwa zrównoważonego na poziomie gospodarstwa. Gospodarstwa o wyłącznie roślinnym kierunku produkcji nie realizowały zasad rozwoju zrównoważonego, gdyż generowały stosunkowo mały dochód rolniczy, cechowały się też niskim wskaźnikiem efektywności energetycznej i stwarzały zagrożenie dla środowiska przyrodniczego z powodu licznych zabiegów ochrony roślin. Natomiast gospodarstwa specjalizujące się w chowie bydła mlecznego i wielostronne spełniały w zasadzie parametry rozwoju zrównoważonego, z wyjątkiem wskaźnika pokrycia gleby roślinnością. W przypadku gospodarstw specjalizujących się w tuczu trzody chlewnej nie uzyskano jednoznacznej oceny, gdyż dobre efekty ekonomiczne osiągnęto w warunkach zagrożenia ekologicznego. Wyniki badań własnych (tab. 34) i powyższe przykłady wskazują, że idea zrównoważonego gospodarowania zarówno na poziomie pola produkcyjnego (płodozmiannu), jak i gospodarstwa rolnego jest trudna do zrealizowania.

Na podstawie danych zawartych w tabelach 33 i 34 można stwierdzić, że wynik waloryzacji płodozmianów zależy od doboru kryteriów i charakteryzujących je wskaźników oceny. Stąd też nie można wskazać uniwersalnego zestawu kryteriów i wskaźników oceny płodozmianów, gdyż każdorazowo dobór tych elementów zależy od celu i zakresu przeprowadzanej oceny. Ponadto, należy pamiętać, że w praktyce dobór niektórych wskaźników oceny jest uwarunkowany możliwością pozyskania danych źródłowych. Jednym z trudniejszych metodologicznie problemów jest także dobór do każdego z kryteriów najważniejszych, zwłaszcza syntetycznych wskaźników oceny płodozmianów.

4. WNIOSKI

1. Kompleksową ocenę płodozmianów należy przeprowadzać na podstawie szeregu możliwych kryteriów, a zwłaszcza produkcyjnego, przyrodniczo-ekologicznego, organizacyjnego, ekonomicznego i energetycznego.

2. W syntetycznej ocenie punktowej płodozmianów do każdego kryterium proponuje się zastosować następujące wskaźniki waloryzacji:

- w ocenie produkcyjnej mogą to być plony podstawowe, wyrażone w jednostkach zbożowych, suchej masie i białku ogólnym;
- w ocenie przyrodniczo-ekologicznej podstawę mogą stanowić wskaźniki bilansowe NPK i substancji organicznej w glebie oraz liczba zabiegów ochrony roślin;
- do oceny organizacyjnej przydatny jest syntetyczny wskaźnik pracochłonności (ENT/ha), ujmujący łącznie nakłady siły roboczej oraz mechanicznej siły pociągowej i napędowej;

- w ocenie ekonomicznej zastosowanie znajduje wskaźnik opłacalności brutto;
- w ocenie energetycznej podstawę może stanowić wskaźnik efektywności energetycznej.

3. Płodozmiany zbożowe (z 75% udziałem zbóż + 25% grochu oraz monokultura zbożowa) odznaczały się korzystną oceną przyrodniczo-ekologiczną i organizacyjną, a niższe noty uzyskały ze względu na inne kryteria waloryzacji. Płodozmiany okopowe (50 i 75% roślin okopowych) wykazały natomiast wyższość nad zbożowymi w ocenie produkcyjnej, ekonomicznej i energetycznej.

4. W ocenie kompleksowej najbardziej wszechstronnym okazał się klasyczny płodozmian norfolki z mieszanką motylkowato-trawiastrą, który w większości kryteriów (z wyjątkiem ekonomicznego) cechował się korzystnymi wskaźnikami. Najniższą ocenę punktową uzyskały płodozmiany typu norfolkiego z grochem na nasiona i wielogatunkowa monokultura zbożowa.

5. Udział roślin zbożowych i okopowych w strukturze zasiewów istotnie kształtował niektóre wskaźniki oceny płodozmianów; wraz z koncentracją zbóż w zasiewach następowała udowodniona obniżka produktywności (w jednostkach zbożowych), pracochłonności i efektywności energetycznej, zaś zwiększaniu udziału roślin okopowych towarzyszył wzrost produktywności i pracochłonności.

6. Płodozmiany zbożowe w porównaniu z okopowymi cechuje zdecydowanie większa ziemiochłonność i względnie mała pracochłonność, stąd też mają praktyczne zastosowanie w warunkach dostatku ziemi ornej i przy ograniczonych zasobach pracy. Płodozmiany okopowe mogą być stosowane w sytuacji ograniczonych zasobów ziemi i względnych nadwyżek siły roboczej.

7. Pod względem realizacji celów gospodarowania zrównoważonego najbliższej spełnienia jednocześnie trzech wymogów – produkcyjnego, ekonomicznego i ekologicznego były płodozmiany okopowe z dwoma polami nawożonymi obornikiem, zaś najniższą ocenę uzyskały płodozmiany zbożowe i płodozmiany typu norfolkiego z grochem.

8. Zaproponowany zakres (dobór kryteriów i wskaźników) i metoda punktowa oceny pozwalają na dość dokładną kompleksową waloryzację płodozmianów o zróżnicowanej strukturze zasiewów. Dobór kryteriów i wskaźników do oceny płodozmianów zależy od zakresu i celu ich waloryzacji.

5. LITERATURA

1. A d a m i a k E., A d a m i a k J.: Plonotwórcza i plonochronna rola owsa w płodozmianach zbożowych. Pam. Puł., 1999, **114**: 15-21.
2. A d a m i a k J.: Proportions of cereals in crop rotation. Acta Acad. Agricult. Tech. Olst. Agricult., 1992, **55**: 173-182.
3. A d a m i a k J.: Proportions of non-cereals in crop rotations. Acta Acad. Agricult. Tech. Olst. Agricult., 1992, **55**: 183-191.
4. A d a m o w s k i Z.: Materiałochłonność produkcji w rolnictwie indywidualnym Polski w latach 1985-1996. Zag. Ekon. Rol., 1988, **4-5**: 20-36.
5. A d a m o w s k i Z.: Zmiany cen na rynku rolnym w Polsce w latach 1988–1991. Zag. Ekon. Rol., 1993, **1-2**: 22-38.
6. A n d r e a e B.: Ekstensywnie organizować – intensywnie gospodarować. PWRiL Warszawa, 1974.
7. A n u s z e w s k i R.: Energochłonność produkcji rolniczej w latach 1975–1990. Zag. Ekon. Rol., 1980, **4**: 77-94.
8. A n u s z e w s k i R.: Metoda oceny energochłonności płodów rolniczych (MET). Zag. Ekon. Rol., 1987, **4**: 16-26.
9. A s m u s F., G ö r l i t z H., K o r i a t h H.: Ermittlung des Bedarfes der Böden an organischer Substanz. Arch. Acker-u. Pflanzenbau u. Bodenk., 1979, **23(1)**: 13-20.
10. B i s K., H a r a s i m A., I g r a s J.: Analiza pracochłonności produkcji zbóż w gospodarstwach RZD IUNG. (W): Wybrane zagadnienia organizacji produkcji roślinnej. IUNG Puławy, 1994, **R(316)**: 13-30.
11. B i s K., H a r a s i m A., K r a s o w i c z S.: Ocena wykorzystania ciągników i kombajnów rolniczych. (W): Wybrane zagadnienia organizacji produkcji roślinnej. IUNG Puławy, 1994, **R(316)**: 31-54.
12. B i s K., H a r a s i m A., N i e ś c i ó r E.: Częstotliwość przejazdów między polem a podwórzem w zależności od warunków gospodarowania. Roczn. Nauk Rol., 1994, G, **86(3)**: 51-64.
13. B i s K., H a r a s i m A., N i e ś c i ó r E.: Nakłady robocizny i siły pociągowej a produktywność ważniejszych roślin uprawnych w RZD IUNG. IUNG Puławy, 1990, **R(268)**.
14. B i s K., H a r a s i m A., N i e ś c i ó r E.: Transportochłonność produkcji roślinnej na gruntach ornych. IUNG Puławy, 1991, **R(286)**.
15. B ł a ż e k M.: Metody badania energochłonności produkcji rolniczej. Roczn. AR Pozn., Ekon. Org. Rol., 1990, **212(13)**: 3-15.
16. B ł a ż e k M., W i e l i c k i W.: Efektywność energetyczna uprawy kukurydzy. Prz. Hod., 1991, **8**: 16-17.
17. C z e r n i a w s k i W., C z e r n i a w s k a A.: Porównanie zmianowań z różnym udziałem roślin pastewnych. I. Ocena produktywności zmianowań. Pam. Puł., 1988, **91**: 59-73.
18. D u e r I.: Idea „trwałego rozwoju rolnictwa” (sustainability) w świetle piśmiennictwa. Fragm. Agron., 1994, **4**: 81-85.
19. D u e r I.: Zachwaszczenie jako problem agrotechniczny w zmianowaniach z dużym udziałem zbóż. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1979, **218**: 181-189.
20. D z i e n i a S., S o s n o w s k i A.: Wpływ uproszczenia uprawy roli i nawożenia mineralnego na efektywność produkcyjną i energetyczną w zmianowaniu zbożowym. II. Efektywność energetyczna. Zesz. Nauk. AR Szczec., 1984, **110**: 137-142.
21. F a b e r A.: Rola nauki w kształtowaniu rozwoju rolnictwa. I. Analiza stanu. Fragm. Agron., 1994, **2**: 93-101.
22. F i l i p i a k K.: Metody oceny płodozmianów i opracowywania doświadczeń płodozmianowych. IUNG Puławy, 1987, **R(231)**.
23. F i l i p i a k K., K r z y m u s k i J.: Metody oceny działania czynników plonowania. IUNG Puławy, 1988, **R(253)**.

24. Filipiak K., Krzymuski J.: Przegląd metod oceny płodozmianów. (W:) Synteza i perspektywa nauki o płodozmianach. ART Olsztyn – VŠZ Brno, 1991, cz. IV: 5-11.
25. Filipiak K., Krzymuski J., Gonet Z., Kuś J.: Komputerowe doradztwo płodozmianowe. Instr. wdroż., **140/87**. IUNG Puławy, 1987.
26. Fotyma M., Igras J., Kopiński J., Głowacki M.: Bilans azotu, fosforu i potasu w rolnictwie polskim. Pam. Puł., 2000, **120/I**: 91-99.
27. Fotyma M., Kuś J.: Zrównoważony rozwój gospodarstwa rolnego. Pam. Puł., 2000, **120/I**: 101-116.
28. Fotyma M., Mercik S.: Chemia rolna. PWN Warszawa, 1995.
29. Gawrońska-Kulesza A., Roszak W., Kowalski S., Lenart S.: Produkcyjność zmianowań o uproszczonej strukturze zasiewów. Zesz. Nauk. AR-T Olszt., Rol., 1990, **29**: 207-217.
30. Gędek S.: Zastosowanie metody programowania optymalnego do oceny przydatności różnych typów zmianowań w gospodarstwach indywidualnych. Zag. Ekon. Rol., 1989, **1**: 38-54.
31. Gędek S., Odziemkowski K., Kuś J.: Ocena zmianowań o zwiększonym udziale zbóż. V. Efektywność ekonomiczna. Pam. Puł., 1981, **74**: 33-45.
32. Goć E., Muzalewski A.: Koszty eksploatacji maszyn. Wskaźniki eksploatacyjno-ekonomiczne maszyn i ciągników rolniczych stosowanych w gospodarstwach indywidualnych. IBMER Warszawa, 1997.
33. Goć E., Pawlak J., Wójcicki Z.: Wskaźniki eksploatacyjno-ekonomiczne maszyn stosowanych w gospodarstwach indywidualnych. IBMER Warszawa, 1991.
34. Gonet D.: Organizacja bazy surowcowej Cukrowni Strzelin S.A. Roczn. Nauk. SERiA, 2001, **3(4)**: 114-118.
35. Gonet Z.: Metoda i niektóre wyniki badań energochłonności systemów uprawy roli. Fragm. Agron., 1991, **2**: 7-18.
36. Gonet Z., Zaorski T.: Energochłonność orki w różnych warunkach glebowych. Pam. Puł., 1988, **91**: 137-152.
37. Górska-Poczopko J., Ptaszowska J.: Zmiany w asortymencie fungicydów zaszle w Polsce w dziesięciolecie 1983–1993. (W:) Mat. symp. Biotyczne środowisko uprawne a zagrożenie chorobowe roślin. PTF – AR-T Olsztyn, 1993, 183-192.
38. Grądziel K.: Jednostka zbożowa jako miara produkcji gospodarstwa rolniczego. Nowe Rol., 1986, **5**: 30-32.
39. Gromadzki J.: Katalog – cennik ciągników i maszyn rolniczych. PIMR Poznań, 2000.
40. Harasim A.: Economic and energy effectiveness of selected cultural practices in winter wheat in different crop rotations. Rost. Vyroba, 1999, **45(8)**: 373-377.
41. Harasim A.: Ocena ekonomiczna i energetyczna ogniw zmianowania z różnym udziałem jęczmienia jarego. Fragm. Agron., 1989, **4**: 54-66.
42. Harasim A.: Ocena wpływu wybranych czynników na poziom plonowania pszenicy ozimej w zasiewach produkcyjnych. Roczn. Nauk Rol., 1997, A, **112(3-4)**: 63-71.
43. Harasim A.: Porównanie efektywności produkcji niektórych ziół, zbóż i rzepaku ozimego. Roczn. Nauk Rol., 1991, G, **85(4)**: 137-147.
44. Harasim A.: Porównanie plonowania zbóż w doświadczeniu polowym i zasiewach produkcyjnych. Fragm. Agron., 1997, **1**: 26-33.
45. Harasim A.: Próba bilansu materii organicznej w glebie z uwzględnieniem nawożenia obornikiem i gatunków uprawianych roślin na przykładzie RZD Błonie-Topoła. IUNG Puławy, 1988, **R(252)**.
46. Harasim A.: Sporządzanie bilansu substancji organicznej w glebach dla gospodarstwa rolnego. Służba Rol., 1988, **11-12**: 7-12.
47. Harasim A.: Wskaźnik pokrycia gleby roślinnością jako kryterium glebochronnej funkcji roślin. Fragm. Agron., 2000, **3**: 66-75.

48. Harasim A., Bochniarz J.: Porównanie plonowania i ocena przydatności kilku roślin pastewnych do uprawy na zielonkę dla trzody chlewnej. III. Ocena energetyczna produkcji zielonek. Pam. Puł., 1991, **99**: 35-42.
49. Harasim A., Krasowicz S.: Efektywność ekonomiczna wybranych technologii produkcji pszenicy i jęczmienia w latach 1989–1995. (W:) Niektóre problemy organizacji produkcji rolniczej. IUNG Puławy, 1996, **R(333)**: 5-33.
50. Harasim A., Kuś J., Krasowicz S.: Efektywność ekonomiczna płodozmianów z różnym udziałem zbóż na glebach kompleksów pszennego i żytniego. (W:) Synteza i perspektywa nauki o płodozmianach. AR-T Olsztyn – VŠZ Brno, 1991, cz. IV: 35-42.
51. Harasim A., Mieloch E., Radziszewski T.: Nawożenie a produktywność gruntów ornym w RZD Błonie-Topola. IUNG Puławy, 1986, **R(224)**.
52. Heyland K.U., Lohmann G.: Ocena płodozmianów uwzględniająca rentowność produkcji i tolerancję środowiska na różny poziom agrochemizacji. Post. Nauk Rol., 1999, **4**: 3-9.
53. Heyland K.U., Lohmann G.: The assessment of crop rotation in reference to increasing different yields and yield assuring production methods. Acta Acad. Agricult. Tech. Olst. Agricult., 1997, **64**: 185-192.
54. Heyland K., Solanský S.: Energieeinsatz und Energieumsetzung im Bereich der Pflanzenproduktion. Berichte über Landwirtschaft. Neue Folge, 1979, **57**: 15-30.
55. Hołaj J., Zatorski T.: Wykorzystanie czasu pracy maszyn rolniczych w wybranych procesach technologicznych. IUNG Puławy 1991, **R(285)**.
56. Hołaj J., Zatorski T.: Wykorzystanie kombajnów zbożowych w gospodarstwach doświadczalnych IUNG w latach 1985–1987. (W:) Wybrane zagadnienia organizacji produkcji roślinnej. IUNG, Puławy 1994, **R(316)**: 55-76.
57. Hopfer A., Łaguna T., Żebrowski W.: Wykorzystanie liczby dojazdów uzasadnionych technologicznie do lokalizacji upraw w gospodarstwach wielkoobszarowych. (W:) Synteza i perspektywa nauki o płodozmianach. AR-T Olsztyn – VŠZ Brno, 1991, cz. IV: 121-125.
58. Jelіnowski S.: Wpływ wzrastającego udziału zbóż na plony i łączną wydajność ziarna w zmianowaniu. IUNG Puławy, 1977, **R(116)**.
59. Jelіnowski S.: Znaczenie i wartość przedplonowa owsa w zmianowaniach o dużym udziale zbóż. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1979, **218**: 235-241.
60. Jelіnowski S., Kuś J., Kamińska M.: Ocena wartości przedplonowej kukurydzy dla zbóż. Pam. Puł., 1988, **91**: 123-136.
61. Jelіnowski S., Nawrocki S.: Wpływ wzrastającego udziału zbóż w zmianowaniu na ich jednostkową i globalną wydajność w rotacji. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1979, **218**: 133-139.
62. Jeżewski Z.: Próba określenia wskaźników redukcyjnych dla prognozowania plonów podstawowych roślin uprawnych w warunkach produkcyjnych w oparciu o doświadczenia ścisłe. Post. Nauk Rol., 1972, **6**: 55-80.
63. Kaczmarska M., Gawrońska-Kulesza M.: Wpływ zmianowania na plonowanie pszenicy ozimej. Post. Nauk Rol., 2000, **4**: 51-63.
64. Kijowska W.: Metodyka badania energochłonności skumulowanej eksploatacji maszyn rolniczych i nakładów materiałowo-energetycznych. IBMER Warszawa, 1986, **31(228)**.
65. Kijowska W.: Skumulowana energochłonność eksploatacji maszyn do uprawy gleby i siewu zbóż. Masz. Ciąg. Rol., 1988, **7-8**: 9-10.
66. Klepacki B.: Organizacyjne i ekonomiczne uwarunkowania postępu technologicznego w gospodarstwach indywidualnych (na przykładzie produkcji roślinnej). SGGW – AR Warszawa, 1990.
67. Klepacki B., Grontkowska A.: Miejsce i rola płodozmianu w kształtowaniu organizacji i ekonomiki gospodarstwa rolniczego. Acta Acad. Agricult. Tech. Olst. Agricult., 1998, **66**: 17-29.

68. Komosa A., Musiałkiewicz J.: Statystyka. EKONOMIK, Warszawa, 1996.
69. Kopyński J.: Uproszczony bilans składników nawozowych w gospodarstwach indywidualnych o różnej intensywności. Roczn. Nauk Rol., 1999, G, **88(1)**: 127-139.
70. Könnicke G.: Zmianowanie. PWRiL Warszawa, 1974.
71. Krasowicz S.: Ekonomiczna ocena płodozmianów zbożowych w różnych warunkach polowych. Roczn. Nauk Rol., 1999, G, **88(1)**: 117-126.
72. Krasowicz S., Kuś J., Harasim A.: Efektywność energetyczna płodozmianów z różnym udziałem zbóż na glebach kompleksów pszenno-żytniego. (W:) Synteza i perspektywa nauki o płodozmianach. AR-T Olsztyn – VŠZ Brno, 1991, cz. IV: 65-71.
73. Kryński Z., Kryńska B., Majda J.: Warunki i możliwości zwiększenia powierzchni uprawy buraków cukrowych dla cukrowni „Ropczyce” ze szczególnym uwzględnieniem woj. rzeszowskiego. Bibl. Fragm. Agron., 1997, **3**: 291-298.
74. Krześlak S.J.: Optymalizacja struktury zasiewów na glebach lekkich. Rozpr. i Monogr. **27**. UWM Olsztyn, 2000.
75. Krześlak S., Krzymuski J., Niewiadomski W.: Plonowanie zbóż w zależności od ich procentowego udziału w zmianowaniu. Acta Acad. Agricult. Tech. Olst. Agricult., 1987, **44**: 41-53.
76. Krzymuski J.: Model liczbowej oceny specjalistycznych płodozmianów. Zesz. Nauk. AR-T Olszt., 1980, **29**: 305-313.
77. Krzymuski J.: Płodozmian w różnych systemach produkcji roślinnej. Acta Acad. Agricult. Tech. Olst. Agricult., 1997, **64**: 115-125.
78. Krzymuski J.: Studies and valuation of crop rotations. Acta Acad. Agricult. Tech. Olst. Agricult., 1992, **55**: 253-262.
79. Kundler P., Görlitz H., Eich D., Witter B.: Zur Arbeit mit den Humus - bilanzen. Feldwirtschaft, 1981, **3**: 115-119.
80. Kuś J.: Ocena zmianowań z różnym udziałem zbóż. IUNG Puławy, 1984, **R(185)**.
81. Kuś J.: Organizacyjne przesłanki produkcji ziarna zbóż. Pam. Puł., 1999, **114**: 201-219.
82. Kuś J.: Plonowanie zbóż w zależności od ich udziału w strukturze zasiewów. Acta Acad. Agricult. Tech. Olst. Agricult., 1998, **64**: 221-225.
83. Kuś J.: Porównanie różnych kryteriów oceny płodozmianów zbożowych. (W:) Synteza i perspektywa nauki o płodozmianach. AR-T Olsztyn – VŠZ Brno, 1991, cz. IV: 19-25.
84. Kuś J., Fotyła M.: Stan i perspektywy rolnictwa ekologicznego. Fragm. Agron., 1992, **2**: 75-86.
85. Kuś J., Gonet Z.: Wpływ udziału roślin okopowych na produktywność zmianowań i żyzność gleby. Pam. Puł., 1989, **95**: 125-143.
86. Kuś J., Harasim A., Krasowicz S.: Studia nad możliwością zwiększenia udziału zbóż w strukturze zasiewów. V. Efektywność ekonomiczna. Pam. Puł., 1992, **101**: 169-184.
87. Kuś J., Krasowicz S., Harasim A.: Studia nad możliwością zwiększenia udziału zbóż w strukturze zasiewów. VI. Efektywność energetyczna. Pam. Puł., 1992, **101**: 185-200.
88. Kuś J., Nawrocki S.: Wpływ struktury zasiewów na produktywność zmianowania ocenianą za pomocą różnych wskaźników. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1979, **218**: 157-164.
89. Kuś J., Nawrocki S., Jelinowski S., Płoszyńska W.: Studia nad możliwością zwiększenia udziału zbóż w strukturze zasiewów. Cz. I. Doświadczenia na glebach żytnich słabych. Cz. II. Doświadczenia na glebach żytnich bardzo dobrych. Cz. III. Doświadczenia na glebach pszennych dobrych. Pam. Puł., 1990, **97**: 7-22, 23-38, 39-54.
90. Laskowski S., Dzienia S., Kasprzykowski W., Krawczyk J., Rybak A., Tomaszewska M.: Agroekonomiczna efektywność zmianowań o różnym udziale zbóż na glebie lekkiej i ciężkiej. I. Produkcyjna i ekonomiczna efektywność zmianowań o różnym udziale zbóż. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1979, **218**: 77-84.
91. Lipiński A., Łazarczyk A.: Analiza efektywności energetycznej płodozmianów zbożowych i zbożowo-okopowych. Acta Acad. Agricult. Tech. Olst. Aedif. Mech., 1993, **24**: 129-133.

92. Lipiński A., Łazarczyk A.: Efektywność energetyczna zabiegów mechanizacyjnych w uprawie zbóż na przykładzie pszenicy ozimej. *Acta Acad. Agricult. Tech. Olst. Aedif. Mech.*, 1993, **24**: 135-142.
93. Łaguna T.: Kształtowanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej przy zastosowaniu wskaźnika dojazdów uzasadnionych technologicznie. *Acta Acad. Agricult. Tech. Olst. Oecon.*, 1993, **22**, suppl. A.
94. Maciejko W.: Rachunek energetyczny w rolnictwie. *Zag. Ekon. Rol.*, 1984, **2**: 85-96.
95. Maćkowiak Cz.: Bilans substancji organicznej w glebach Polski. *Biul. Inf. IUNG*, 1997, **5**: 4-5.
96. Maćkowiak Cz., Żebrowski J.: Skład chemiczny obornika w Polsce. Nawozy i nawożenie. 2000, **4**: 119-130.
97. Maniecki F.: Organizacja i plonowanie pracy wykonawczej w gospodarstwie rolniczym. PWRiL Warszawa, 1976.
98. Mantuffel R.: Efektywność inwestycji rolniczych. PWRiL Warszawa, 1963.
99. Mazur T.: Ekologiczne uwarunkowania nawożenia w rolnictwie jutra. *Zesz. Nauk. AR Krak. Sesja Nauk.*, 1999, **349(64)**: 263-270.
100. Mazur T.: Rozważania o degradacji gleb w wyniku nawożenia. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 1995, **418**: 25-36.
101. Mazur T.: Stan i perspektywa bilansu substancji organicznej w glebach uprawnych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 1995, **421a**: 267-276.
102. Mazur T., Mineev M., Debreczeni B.: Nawożenie w rolnictwie biologicznym. AR-T Olsztyn, 1993.
103. Michna W.: Program proekologicznego rozwoju wsi, rolnictwa i gospodarki żywnościowej do 2015 roku. Synteza. MRiGŻ, NFOŚiGW, IERiGŻ, IUNG, IMUZ, Warszawa, 1998.
104. Mierzejewska W.: Mierniki intensywności chemicznej ochrony roślin. *Ochr. Rośl.*, 1998, **9**: 8-13.
105. Mróz A., Kuś J., Harasim A.: Występowanie chorób podstawy źdźbła pszenicy ozimej w zależności od stanowiska i chemicznej ochrony roślin. (W:) Synteza i perspektywa nauki o płodozmianach. AR-T Olsztyn – VŠZ Brno, 1991, cz. II: 7-14.
106. Muzalewski A.: Koszty eksploatacji maszyn. Wskaźniki eksploatacyjno-ekonomiczne maszyn i ciągników rolniczych stosowanych w gospodarstwach rolniczych. IBMER Warszawa, 2000.
107. Nawrocki S.: Siedliskowe uwarunkowania płodozmianów. *Acta Acad. Agricult. Tech. Olst. Agricult.*, 1997, **64**: 45-55.
108. Nawrocki S., Jeliniowski S., Gonet Z.: Modele zmianowań w gospodarstwach wielkoobszarowych a maksymalizacja produkcji roślinnej. *Rocz. Nauk Rol.*, 1983, G, **83(1)**: 19-31.
109. Nawrocki S., Jeliniowski S., Kuś J.: Wpływ struktury zasiewów na produktywność zmianowania w różnych warunkach glebowych. *Zesz. Nauk. AR-T Olszt. Rol.*, 1980, **29**: 167-176.
110. Niedziółka I., Ukalski J.: Ocena energetyczno-ekonomiczna produkcji ziarna kukurydzy w gospodarstwach rodzinnych. *Ann. UMCS, Sect. E*, 1999, **54(24)**: 205-214.
111. Niewiadomski W.: Nauka o płodozmianie – stan i perspektywy. *Post. Nauk Rol.*, 1995, **3**: 127-139.
112. Niewiadomski W.: Postęp w teorii konstruowania płodozmianów. *Acta Acad. Agricult. Tech. Olst. Agricult.*, 1987, **44**: 5-21.
113. Niewiadomski W.: Rolnictwo jutra. (W:) Mat. symp. Biotyczne środowisko uprawne a zagrożenie chorobowe roślin. PTF – AR-T Olsztyn, 1993: 9-23.
114. Niewiadomski W.: Waloryzacja specjalistycznych zmianowań. *Acta Univ. Agric. Brno Fac. Agron.* 1982, **30(3)**: 9-19.
115. Nowicki J., Marks M.: Techniczne uwarunkowania płodozmianów. *Acta Acad. Agricult. Tech. Olst. Agricult.*, 1997, **64**: 101-113.

116. Orlik T., Klim a K.: Efektywność energetyczna uprawy roślin w płodozmianie w zależności od położenia w rzeźbie terenu i nawożenia. *Ann. UMCS, Sect. E*, 2000, **55(21)**: 195-203.
117. Orliński J.: Metody obliczeń i analiz energochłonności skumulowanej w gospodarstwach rolnych. *Acta Acad. Agricult. Tech. Olst. Aedif. Mech.*, 1986, **15**, supp. A.
118. Osadci j V.K.: Energeticeskaja i ekologiceskaja ocenki technologij zemledelija. *Tech. Siel. Choz.*, 1989, **3**: 11-12.
119. Par y l a k D., K o r d a s L., S e b z d a J.: Produkcyjność i efektywność energetyczno-ekonomiczna specjalistycznych zmianowań zbożowych na glebie lekkiej. *Fragm. Agron.*, 1997, **3**: 48-55.
120. P i e t r z a k S.: Metoda bilansowania składników nawozowych w gospodarstwie rolnym. *Mat. instr.* **116**, IMUZ, Falenty 1997.
121. Praca zbiorowa pod red. I. Duer i M. Fotymy: Polski kodeks dobrej praktyki rolniczej. IUNG Puławy, 1999.
122. Praca zbiorowa pod red. R. Rysia: Normy żywienia zwierząt gospodarskich. PWRiL Warszawa, 1985.
123. Praca zbiorowa: Rynek rolny (notowania, oceny, tendencje). IERiGŻ, Warszawa – roczniki: 1988–1991, 1997, 2000.
124. Praca zbiorowa: Rynek środków produkcji i usług dla rolnictwa. Raporty rynkowe. MRiRW, ARR, IERiGŻ, Warszawa – roczniki: 1992, 1998, 2001.
125. P r z y b y s z T.: Statystyczne metody porównywania płodozmianów. *Rozpr. Nauk.*, **39**. AR Lublin, 1976.
126. P r z y b y s z T., M a l i c k i L.: Eksperyment polowy jako element rozwiązywania zagadnień badawczych w zakresie nauki o płodozmianach. *Fragm. Agron.*, 1996, **3**: 102-117.
127. P u d e ł k o J., W i e l i c k i W., B ł a ż e k M., W a j s z c z u k K., M a c i e j e w s k i T., S o b i e c h S.: Wpływ poziomu nawożenia mineralnego na efektywność energetyczną zmianowań. *Rocz. AR Pozn., Rol.*, 1996, **285(48)**: 75-84.
128. P y t k o w s k i W.: Systemy użytkowania roli i ich ocena. *Rocz. Nauk Rol.*, 1979, D, Monogr. **174**.
129. R e i n s t e i n J.: Koszty jednostkowe i dochodowość produkcji rolnej w gospodarstwach indywidualnych w 1991 roku. *Zag. Ekon. Rol.*, 1992, **6**: 70-97.
130. R o s z k o w s k i A.: Ocena efektywności energetycznej i ekonomicznej produkcji kukurydzy i jęczmienia. IBMER Warszawa, 1980.
131. R u d n i c k i F.: Czynniki ograniczające plonowanie pszenicy w Polsce. (W:) *Mat. konf. Biologia plonowania, agrotechnika i wykorzystanie ziarna pszenicy*. IUNG Puławy, 1998: 51-64.
132. R z e s z u t e k J., S o b c z a k E.: Energy balances of crop rotations with different structure of crops. *Acta Acad. Agricult. Tech. Olst. Agricult.*, 1992, **55**: 225-235.
133. S i u t a J.: Zawartość substancji organicznej w glebie w płodozmianach o różnej strukturze zasiewów. (W:) *Synteza i perspektywa nauki o płodozmianach*. AR-T Olsztyn – VŠZ Brno, 1991, cz. I: 57-62.
134. S k a r ż y Ń s k a A., A u g u s t y Ń s k a - G r z y m e k I.: Koszty jednostkowe i dochodowość produkcji rolniczej w gospodarstwach indywidualnych w 2000 roku. *Zag. Ekon. Rol.*, 2001, **4-5**: 79-137.
135. S k a r ż y Ń s k a A., S a d o w s k a J.: Koszty jednostkowe i dochodowość produkcji rolniczej w gospodarstwach indywidualnych w 1997 roku. *Zag. Ekon. Rol.*, 1998, **4-5**: 120-167.
136. S m i t h O.H., P e t e r s e n G.W., N e e d e l m a n B.A.: Environmental indicators of agroecosystems. *Adv. Agron.*, 2000, **69**: 75-97.
137. S m u k a l s k i M.: Quantizierung von Beziehungen zwischen Massnahmen zur Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit und Bodenfruchtbarkeitskennziffern und deren Nutzung in Pflanzenproduktionsbetrieben. (W:) *Symp. z T. Die Methoden für die Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit*. IUNG, Puławy 1986; 27-38.

138. S u l e w s k a H.: Środowiskowe i ekonomiczne uwarunkowania uprawy i kierunków użytkowania kukurydzy w Polsce. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1997, **450**: 15-29.
139. S z p o n a r L., P a w l i k - D o b r o w o l s k i J., D o m a g a ł a R., T w a r d y S., T r a - c z y k I.: Bilans azotu, fosforu i potasu w rolnictwie polskim. Prace IŻŻ, **80**. Warszawa, 1996.
140. S z u k T.: Nakłady i sezonowość pracy przy uprawie wybranych roślin w zróżnicowanych warunkach przyrodniczych i ekonomicznych. Zag. Ekon. Rol., 2001, **1**: 93-97.
141. S z w e j k o w s k i Z., A d a m i a k J.: Produkcyjność energetyczna specjalistycznych płodozmianów kukurydziano-zbożowych. Acta Acad. Agricult. Techn. Olszt. Agricult., 1987, **44**: 81-87.
142. U r b a n o w s k i S.: Udział zbóż w zmianowaniu a ich jednostkowa i globalna wydajność w rotacji. Zesz. Nauk. AR-T Olszt., Rol., 1980, **29**: 219-227.
143. V a r e i j k e n P.: A methodical way of prototyping integrated and ecological arable farming systems (I/EAFS) in interaction with pilots farms. Perspectives for Agronomy, Developments in Crop Science 25, Elsevier, Amsterdam 1997: 293-308.
144. W a j s z c z u k K.: Analiza transportochłonności produkcji rolniczej w gospodarstwach indywidualnych na terenie Wielkopolski. Zag. Ekon. Rol., 1998, **1**: 74-78.
145. W a l e w s k i K.: Metoda punktowej wyceny wartości stanowisk. Pam. Puł., 1964, **16**: 57-82.
146. W i e l i c k i W.: Analiza bilansu energii w różnych modelach zmianowań. Pr. Komis. Nauk Rol. Leś. PTPN Rol., 1987, **63**: 251-257.
147. W i e l i c k i W.: Analiza efektywności energetycznej w rolnictwie. Post. Nauk Rol., 1989, **1**: 69-86.
148. W i e l i c k i W.: Analiza porównawcza energochłonności roślin rolniczych. Roczn. Nauk Rol., 1986, C, **77(3)**: 183-190.
149. W i e l i c k i W.: Analiza pracochłonności wybranych roślin. Roczn. Nauk Rol., 1988, C, **78(1)**: 209-222.
150. W i e l i c k i W.: Badania nad sprawnością energetyczną systemów płodozmiennych. Roczn. Nauk Rol., 1986, C, **77(3)**: 889-96.
151. W i e l i c k i W.: Energochłonność produkcji roślinnej. Studium międzynarodowe. Służba Rol., 1990, **1-2**: 1-6.
152. W i e l i c k i W.: Transportochłonność produkcji rolniczej. Roczn. Nauk Rol., 1983, C, **76(1)**: 111-125.
153. W i e l i c k i W., B ł a ż e k M.: Energochłonność kierunków uprawy kukurydzy. Roczn. Nauk Rol., 1987, C, **77(2)**: 95-104.
154. W o j t a s z e k Z.: Jednostki zbożowe i inne miary wartości produktów gospodarstwa rolniczego. Zag. Ekon. Rol., 1958, **5**: 143-150.
155. W o j t a s z e k Z.: Wkład nauk ekonomiczno-rolniczych do rozwoju rolnictwa i gospodarki żywnościowej. Post. Nauk Rol., 1995, **5**: 3-15.
156. W o l s z c z a n J.: Transportochłonność rolnictwa. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1988, **348**: 35-41.
157. W o ś A.: Rolnictwo zrównoważone („Sustainable Agriculture”). Zag. Ekon. Rol., 1992, **1-3**: 9-21.
158. W o ś A.: Stan polskiego rolnictwa w świetle zasad rozwoju zrównoważonego. Bibl. Fragm. Agron., 1996, **1**: 53-59.
159. W ó j c i c k i Z.: Energochłonność produkcji rolniczej. Roczn. Nauk Rol., 1981, C, **75(1)**: 165-197.
160. W ó j c i c k i Z.: Problemy materiałochłonności produkcji rolniczej. Roczn. Nauk Rol., 1983, C, **83(2)**: 41-61.
161. W ó j c i c k i Z. i in.: Wskaźniki wyposażenia i wykorzystania środków technicznych w gospodarstwach rolniczych. IBMER Warszawa, 1996.
162. Z a r e m b a W.: Ekonomika i organizacja mechanizacji rolnictwa. PWRiL Warszawa, 1985.

163. Zawiślak K.: Stopień specjalizacji zmianowań a wydajność roślin i zmiany w glebie. Zesz. Nauk. AR-T Olszt., Rol., 1983, **37**: 3-47.
164. Zawiślak K., Rzeszutek J., Salam Saeed T.A., Adamiak E.: Produkcyjna i ekonomiczna ocena uprawy pszenicy ozimej w systemie płodozmianowym i monokulturze. Acta Acad. Agricult. Tech. Olszt. Agricult., 1998, **66**: 47-65.
165. Zawiślak K., Rzeszutek I., Rzeszutek J.: Ekonomiczna i energetyczna ocena płodozmianów z różnym udziałem ziemniaka. Roczn. Nauk Rol., 1992, G, **86(1)**: 93-108.
166. Zawiślak K., Salam T.A.H., Rzeszutek J., Rychcik B.: Ekonomiczno-energetyczna ocena uprawy buraka cukrowego w systemie płodozmianowym i w uprawie ciągłej. Roczn. Nauk Rol., 1996, G, **86(4)**: 83-93.
167. Ziętara W., Olko-Bagińska T.: Zadania z analizy działalności gospodarczej i planowania w gospodarstwie rolniczym. PWRiL Warszawa, 1986.
168. Zimny L., Kordas L.: Efektywność energetyczna produkcji buraka cukrowego. Biul. IHAR, 1997, **202**: 283-287.
169. Ziółcka A., Kuźdowicz M., Kielanowski J.: Tabele składu chemicznego i wartości pokarmowej pasz krajowych. PWN Warszawa, 1985.

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF ROTATIONS WITH DIFFERENT PERCENTAGE OF CEREAL AND ROOT CROPS

Summary

In the study are presented results from methodology research aimed at:

- proposing methods for comprehensive analysis and assessment of crop rotations that would involve different criteria and indices useful in the rating of crop rotations,
- use of the adopted methods to assess crop rotations with different percentage of cereal (50, 75 and 100%) and root crops (25, 50 and 75%),
- comprehensive assessment of crop rotations by means of a score-based evaluation.

The basis for the assessment of eight four-course crop rotations was provided by the results of replicated field trials and other on-farm investigations carried out at Błonie-Topola Experiment Farm in the years 1988–1991. The trials were run on all crop fields simultaneously and the soil was a good wheat complex.

The comprehensive rotation assessment was proposed to be performed using five criteria: agronomic, agronomic-ecological, organizational, economic and energy-related. In the synthetic score assessment each criterion was characterized by specific indices. The agronomic assessment involved conversion yields expressed as cereal units, dry matter weight and total protein. The basis adopted for the agronomic-ecological assessment was NPK and organic matter balance indices and the number of pest and disease management treatments. In the organizational assessment the synthetic labour consumption index (ENT/ha) was used. The economic assessment was based on the gross profitability index. The energetic efficacy index was the basis for energy assessment.

The cereal rotations (75% cereals + 25% peas and cereal monoculture) were found to perform well only in the agronomic-ecological and organizational assessment. Root crop rotations (50 and 70% root crops) performed well when assessed for the agronomic, economic and energetic indices. In the overall assessment the classical Norfolk rotation involving pulse-grass mixture was the best performer and scored well for the majority of criteria with the exception of the economic one.

With regard to the objectives of sustained farming the root crop rotations involving two farmyard manure fertilized fields were closest to meet all three requirements – agronomic, economic and ecological – at the same time. The worst performers in this respect were cereal rotations and a Norfolk-type rotation with peas.

The proposed assortment of criteria and indices and the score-based method make it possible to perform a fairly accurate rating of crop rotations with diverse cropping structure. Further research on the assessment of crop rotations should involve an attempt to make the assessment indices more objective and to find more accurate scoring methods.