

Jadwiga Zaród

ANALIZA PORÓWNAWCZA ROZWIĄZAŃ JEDNO- I WIELOKRYTERIALNYCH MODELI OPTYMALIZACYJNYCH

COMPARATIVE ANALYSIS OF SOLUTIONS FOR SINGLE AND MULTI-CRITERIA OPTIMIZATION MODELS

Katedra Zastosowań Matematyki w Ekonomii, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
ul. Klemensa Janickiego 31, 71–270 Szczecin, e-mail: jzarod@zut.edu.pl

Summary. Single and multi-criteria optimization models were developed for the average farm in Zachodniopomorskie Province. The objective functions for these models were related to farm income, agricultural production and the amount of soil organic matter. To solve the multi-criteria models were used goal programming. The results of optimal solutions presented such a production structure that did not cause environmental degradation and – under the given conditions – provided the highest farm income and production. The purpose of this article is a comparative analysis of obtained solutions. The agricultural production structures in solution of these models differ slightly. Both stock raising and pig farming were profitable. Farm income earned in a farm with animals is about 16% higher than in the same farm dedicated only to crop production. In solutions of the models always achieved a positive soil organic matter balance.

Słowa kluczowe: dochód rolniczy, produkcja rolnicza, programowanie celowe, substancja organiczna gleby.

Key words: agricultural production, farm income, goal programming, soil organic matter.

WSTĘP

Rozwiązaniem optymalnym modelu jednokryterialnego jest rozwiązanie dopuszczalne, w którym funkcja celu osiąga wartość maksymalną (lub minimalną). Nie zawsze można podjąć najlepszą decyzję, ograniczając się do jednego kryterium. Modele wielokryterialne pozwalają uwzględnić różne kryteria oceny, ale aby uzyskać rozwiązanie optymalne, należy określić ich preferencje.

Celem tej pracy będzie ustalenie, za pomocą modeli optymalizacyjnych, takiej struktury produkcji rolnej, która zapewni w danych warunkach najwyższy dochód rolniczy i poziom produkcji rolnej oraz nie zdegraduje środowiska naturalnego; następnie uzyskane rozwiązania zostaną porównane. Polska, przystępując do Unii Europejskiej, zobowiązała się przestrzegać zasady zrównoważonego rozwoju we wszystkich dziedzinach gospodarki, a więc także w rolnictwie. Będzie zatem preferowana funkcja dotycząca zachowania dodatniego bilansu substancji organicznych w glebie; uzyskane rozwiązanie optymalne nazwiemy kompromisowym.

Modele jednokryterialne są szeroko stosowane w rolnictwie, natomiast modele wielokryterialne nabrały szczególnego znaczenia w ostatnich latach. Między innymi Manos i in. (2010) badali zrównoważony rozwój produkcji rolnej w rejonie Tasalii (w Grecji). Otrzymany plan produkcji

pozwoili zwiększyć rentowność brutto gospodarstw rolnych oraz zmniejszyć nawożenie i nawadnianie w badanej prowincji. Bartolini i in. (2007) opracowali projekt nawadniania plantacji (zboż, ryżu, owoców, warzyw i owoców cytrusowych) we Włoszech, minimalizując ceny i ilość zużytej wody. Problemem nawadniania zajmowali się też Riesgo i Gomez-Limon (2006). Zbudowali modele wielokryterialne dla gospodarstw rolnych położonych w dorzeczu Douro w Hiszpanii.

Przedmiotem badań w tej pracy będzie przeciętne gospodarstwo rolne w województwie zachodniopomorskim, dla którego zbudowano modele optymalizacyjne maksymalizujące dochód rolniczy i produkcję rolniczą oraz minimalizujące straty substancji organicznej w glebie.

METODA

Podstawową metodą badawczą pracy będą jednokryterialne i wielokryterialne modele optymalizacyjne.

Liniowy model optymalizacyjny ma postać (Grabowski 1980):

$$AX \leq b \text{ (warunki bilansowe)}$$

$$X \geq 0 \text{ (warunek brzegowy)}$$

$$F(X) = \sum C^T X \rightarrow \max \text{ (funkcja celu)}$$

gdzie:

A – macierz parametrów techniczno-ekonomicznych modelu (struktura zasiewów, plony roślin, potrzeby pokarmowe zwierząt, dawki nawożenia, zapotrzebowanie na roboczo-godziny);

b – wektor ograniczeń (powierzchnia zasiewów, łąk i pastwisk, stan zwierząt odpowiednich klas i gatunków, zatrudnienie);

X – wektor zmiennych decyzyjnych (areal roślin uprawnych, zwierzęta odpowiednich klas i gatunków, sprzedaż płodów rolnych, zakup środków produkcji i pasz).

W modelu wielokryterialnym zmianie ulega funkcja celu (Kalyanmoy 2001):

$$F(X) = \max\{F_1, F_2, \dots, F_n\} \text{ (kryteria celu)}$$

W tej pracy zostanie ona ograniczona do 3 kryteriów:

$$F(X) = \max\{F_1, F_2, F_3\}$$

Kryterium celu F_1 dotyczy dochodu rolniczego brutto, co wyraża wzór:

$$F_1 = C^T X \rightarrow \max$$

gdzie:

C – wektor jednostkowych dochodów dla zmiennych oznaczających działalności towarowe lub jednostkowych nakładów ponoszonych w przypadku działalności nietowarowych.

Funkcja celu F_2 , maksymalizująca wielkość produkcji rolniczej, ma postać:

$$F_2 = G^T X \rightarrow \max$$

gdzie:

G – wektor jednostkowych wydajności towarowej produkcji roślinnej i zwierzęcej.

F_3 to kryterium celu, które maksymalizuje ilość substancji organicznej w glebie:

$$F_3 = P^T X \rightarrow \max$$

gdzie:

P – wektor jednostkowych współczynników reprodukcji lub degradacji gleby.

Tak zapisany model zostanie rozwiązany za pomocą programowania celowego. Jego twórcami są Charnes i Cooper (1961). W podejściu tym należy rozwiązać zbudowany model oddzielnie dla każdego kryterium (metodą programowania liniowego). Po uzyskaniu optymalnych wyników każdą funkcję celu traktuje się jako kolejny warunek ograniczający modelu, czyli:

$$C^T X = dr$$

$$G^T X = pr$$

$$P^T X = so$$

gdzie:

dr – największa wartość dochodu rolniczego uzyskana w rozwiązaniu modelu jednokryterialnego,

pr – optymalna wielkość produkcji rolniczej uzyskana w rozwiązaniu modelu jednokryterialnego,

so – ilość substancji organicznej zachowanej w glebie w wyniku optymalnego rozwiązania modelu jednokryterialnego.

We wszystkich 3 dodatkowych warunkach występuje restrykcyjne ograniczenie typu równości, które należy osłabić. Pełnym osłabieniem równości jest przekształcenie, w którym wystąpią zmienne niedoboru (u^-) lub nadmiaru (u^+), wyrażające wielkości niespełnienia osiągniętych wartości w modelach jednokryterialnych (Szapiro 2001). Po przekształceniu dodane warunki ograniczające (elastyczne) przyjmą postać:

$$C^T X - u_1^+ + u_1^- = dr$$

$$G^T X - u_2^+ + u_2^- = pr$$

$$P^T X - u_3^+ + u_3^- = so$$

Następnie trzeba zastąpić wiele kryteriów jedną funkcją dystansową, opisującą koszty (kary) odchylenia od wartości docelowych:

$$F = u_1^+ + u_1^- + u_2^+ + u_2^- + u_3^- \rightarrow \min$$

W funkcji tej występują obie zmienne dotyczące nadmiaru lub niedoboru dochodu rolniczego i produkcji rolniczej, ponieważ nie zakłada się szczególnych zaleceń dotyczących sposobu ich osiągnięcia. Natomiast niedobór substancji organicznej w glebie należy zminimalizować (funkcja preferowana), aby nie zdegradować środowiska naturalnego.

MATERIAŁ

Do budowy modeli wykorzystano dane statystyczne (Wronkowska 2013) dotyczące gospodarstw rolnych województwa zachodniopomorskiego w roku 2012. Podstawowe charakterystyki przedstawia tab. 1.

Informacje, dotyczące przeciętnego gospodarstwa rolnego, posłużyły do ustalenia parametrów techniczno-ekonomicznych, wyrazów wolnych oraz współczynników funkcji celów modeli optymalizacyjnych.

Parametry pierwszej funkcji celu, jednostkowe dochody rolnicze, w modelu tylko z produkcją roślinną obliczono z różnicy pomiędzy wartością produkcji (cena \times plon) a kosztami produkcji (Kalkulacje rolnicze 2012), bez wyceny pracy rolnika. Następnie uzyskane dochody powiększono o dotacje bezpośrednie, a w przypadku buraków cukrowych – jeszcze o płatności cukrowe. W modelu z produkcją zwierzęcą w przypadku zmiennych dotyczących produkcji towarowej

sposób obliczania jednostkowych dochodów nie uległ zmianie. Natomiast zasiewy przeznaczone na paszę oraz zwierzęta do odchowu w funkcji celu obarczone kosztami pomniejszonymi o dopłaty, a nawozy mineralne i mieszanki treściwe – jednostkową ceną zakupu.

Tabela 1. Podstawowe charakterystyki przeciętnego gospodarstwa rolnego w województwie zachodniopomorskim

Wyszczególnienie	Jednostki	Statystyki
Powierzchnia gospodarstwa	ha	31,51
Powierzchnia użytków rolnych (u.r.)	ha	28,85
Powierzchnia zasiewów	ha	20,21
Powierzchnia łąk	ha	3,61
Powierzchnia pastwisk	ha	1,06
Struktura zasiewów, w tym:	%	100,0
zboża	%	65,7
rośliny przemysłowe	%	19,4
ziemniaki	%	1,9
rośliny pastewne	%	9,0
rośliny strączkowe	%	2,6
inne uprawy	%	1,4
Plony:		
pszenicy	dt · ha ⁻¹	45,7
żyta	dt · ha ⁻¹	36,0
jęczmienia	dt · ha ⁻¹	37,2
owsa	dt · ha ⁻¹	30,7
pszenżyta	dt · ha ⁻¹	40,1
rzepaku	dt · ha ⁻¹	28,9
ziemniaków	dt · ha ⁻¹	260,0
buraków cukrowych	dt · ha ⁻¹	608,0
łąk	dt · ha ⁻¹	40,2
pastwisk	dt · ha ⁻¹	176,0
Ceny:		
pszenicy	zł · dt ⁻¹	89,25
żyta	zł · dt ⁻¹	73,91
jęczmienia	zł · dt ⁻¹	78,84
owsa	zł · dt ⁻¹	66,10
pszenżyta	zł · dt ⁻¹	79,16
ziemniaków	zł · dt ⁻¹	25,64
buraków cukrowych	zł · dt ⁻¹	16,47
rzepak	zł · dt ⁻¹	191,39
żywca wołowego	zł · kg ⁻¹	6,31
żywca wieprzowego	zł · kg ⁻¹	5,46
mleka	zł · l ⁻¹	1,26
Liczba krów w gospodarstwie	osobniki	3,0
Liczba macior w gospodarstwie	osobniki	2,0
Zużycie nawozów mineralnych (NPK) na 1 ha u.r.	kg	140,3

Źródło: opracowano na podstawie danych GUS.

Plony poszczególnych ziemiopłodów to współczynniki drugiego kryterium celu w modelu dotyczącym tylko produkcji roślinnej. W modelu ze zwierzętami parametry funkcji celu przedstawiają wartość uzyskanej produkcji towarowej. Przekształcenie to uniezależnia wyniki od jednostek pomiaru poszczególnych zmiennych (zmienne określające produkcję roślinną wyraża się w dt · ha⁻¹, a produkcję zwierzęcą – w kg, l lub osobnikach).

Do wyznaczania parametrów trzeciej funkcji celu wykorzystano współczynniki reprodukcji i degradacji glebowej substancji organicznej według Eicha i Kindlera (tab. 2).

Źródłem materii organicznej dla gleb w modelu o profilu roślinnym jest poplon ścierniskowy (wysiany po zbiorze żyta) i przyorana słoma zbóż oraz rzepaku, a w modelu z hodowlą zwierząt – obornik i słoma rzepakowa.

Tabela 2. Współczynniki reprodukcji i degradacji materii organicznej gleby

Rośliny lub nawóz organiczny	Współczynniki reprodukcji (+) i degradacji (-) dla gleb w tonach materii organicznej na 1 ha			
	gleby			
	lekkie	średnie	ciężkie	czarne ziemie
Okopowe	-1,26	-1,40	-1,54	-1,02
Kukurydza	-1,12	-1,15	-1,22	-0,91
Zboża i oleiste	-0,49	-0,53	-0,56	-0,38
Poplony ozime i zboża na zielonkę	-0,32	-0,35	-0,38	-0,25
Strączkowe	+0,32	+0,35	+0,38	+0,38
Wsiewki motylkowe i trawy	+0,63	+0,70	+0,77	+0,77
Trawy	+0,95	+1,05	+1,16	+1,16
Motylkowe	+0,89	+1,96	+2,10	+2,10
Obornik ^a	+0,35		(ok. 4–5 t świeżej masy)	
Gnojowica ^a	+0,28		(ok.10–16 t świeżej masy)	
Słoma ^a	+0,21		(ok.1,1 t świeżej masy)	

^a na 1 t suchej masy nawozu.

Źródło: opracowano na podstawie: Fotyma i Mercik (1992).

Wartości współczynników podanych w tabeli określają stopień zubożenia lub wzbogacenia gleby w substancję organiczną (w t · ha⁻¹) przy uprawie danego gatunku roślin lub zastosowaniu 1 t suchej masy nawozu organicznego.

WYNIKI

Dla przeciętnego gospodarstwa rolnego w województwie zachodniopomorskim zbudowano 2 wielokryterialne modele optymalizacyjne. Przy ich budowie kierowano się zasadami zrównoważonego rolnictwa, czyli zaplanowano stosowanie tylko niezbędnych środków ochrony roślin, terminowe wykonanie zabiegów agrotechnicznych i dobre pokrycie gleb roślinnością. Rozwiązanie tych modeli, za pomocą programowania celowego, przebiegało dwuetapowo. W pierwszym etapie rozwiązano liniowe modele optymalizacyjne, różniące się tylko kryterium celu. Wartości ich funkcji celu wykorzystano do budowy modeli wielokryterialnych. Uzyskane wyniki (tab. 3 i 4) umożliwią porównanie otrzymanych rozwiązań.

Tabela 3. Wyniki rozwiązań modeli przeciętnego gospodarstwa z produkcją roślinną

Wyszczególnienie	Modele jednokryterialne ^a			Model wielokryterialny
	I	II	III	
Grunty orne [ha]	20,21	20,21	20,21	20,21
Pszenica [ha]	3,47	3,47	3,47	3,47
Jęczmień [ha]	9,46	4,82	6,97	5,26
Żyto [ha]	0,40	0,40	2,17	3,31
Owies [ha]	0,00	0,00	0,00	0,21
Pszenżyto [ha]	0,00	4,65	0,73	1,09
Rzepak [ha]	3,64	3,64	3,64	3,64
Ziemniaki [ha]	0,42	0,42	0,42	0,54
Buraki cukrowe [ha]	1,40	1,40	1,40	1,27
Inne uprawy [ha]	1,41	1,41	1,41	1,41
Poplon ścierniskowy [ha]	0,40	0,40	2,17	3,31
Dochód rolniczy [zł]	66 226,50			63 251,23
Produkcja rolnicza [dt]	1915,17			1856,12
Substancja organiczna [t]	3,81			1,97

^a Kryteria optymalizacji: I – dochód rolniczy, II – produkcja rolnicza, III – ilość substancji organicznej.

Źródło: obliczono za pomocą programu MATLAB.

W rozwiązaniach optymalnych modeli jednokryterialnych i modelu wielokryterialnego (tab. 3) otrzymano dokładną powierzchnię upraw na gruntach ornych analizowanego gospodarstwa rolnego o profilu roślinnym. Udział zbóż i roślin okopowych nie przekracza w żadnym rozwiązaniu odpowiednio 66% i 9% ogólnej powierzchni zasiewów. Struktura zasiewów, zwłaszcza zbóż, różni się w poszczególnych rozwiązaniach, z wyjątkiem uprawy pszenicy. Areal pszenicy został w modelu ograniczony ze względu na wysokie wymagania glebowe do ok. 25% zasiewu zbóż. Najmniej opłacalnym kierunkiem produkcji okazała się uprawa owsa.

Przy wielokryterialnej ocenie nie można zapewnić jednocześnie optymalnych wartości wszystkich funkcji celu branych pod uwagę, ale wyznaczona decyzja pozwala osiągnąć możliwie najlepsze wartości poszczególnych wskaźników.

Uzyskany dochód rolniczy w rozwiązaniu optymalnym modelu I jest o 4,5% wyższy od dochodu osiągniętego w modelu wielokryterialnym. Produkcja rolnicza w modelu wielokryterialnym zmniejszyła się o 3,1% w stosunku do modelu II, a ilość substancji organicznej w glebie – aż o 48,3% (w porównaniu z modelem III). Nadal zachowany jest dodatni bilans substancji organicznych w glebie. W celach porównawczych obliczono wartość uzyskanej produkcji w II modelu jednokryterialnym oraz w modelu wielokryterialnym; wynosi ona odpowiednio 86 257,07 zł i 83 993,65 zł.

Wybrane wyniki rozwiązań optymalnych modeli gospodarstw z produkcją zwierzęcą przedstawia tab. 4.

Tabela 4. Wyniki rozwiązań modeli przeciętnego gospodarstwa z produkcją zwierzęcą

Wyszczególnienie	Modele jednokryterialne			Model wielokryterialny
	I	II	III	
Grunty orne [ha]	20,21	20,21	20,21	20,21
Pszenica [ha]	3,47	3,47	3,47	3,47
Jęczmień [ha]	0,00	0,00	9,87	8,90
Żyto [ha]	9,87	0,00	0,00	0,00
Owies [ha]	0,00	0,00	0,00	0,00
Pszenżyto [ha]	0,00	9,87	0,00	0,96
Rzepak [ha]	3,64	3,64	3,64	3,64
Ziemniaki [ha]	1,65	1,65	1,65	1,65
Buraki pastewne [ha]	0,17	0,17	0,17	0,17
Inne uprawy [ha]	1,41	1,41	1,41	1,41
Łąki	1,73	1,73	1,74	1,74
Pastwiska	2,16	2,16	2,17	2,17
Krowy	3,00	3,00	3,00	3,00
Cielęta	2,94	2,94	2,94	2,94
Młode bydło opasowe [szt.]	2,35	2,35	2,35	2,35
Jałówki remontowe [szt.]	0,38	0,38	0,38	0,38
Krowy wybrakowane [szt.]	0,38	0,38	0,38	0,38
Lochy [szt.]	2,00	2,00	2,00	2,00
Prosięta [szt.]	32,00	32,00	32,00	32,00
Tuczniaki [szt.]	31,04	31,04	31,04	31,04
Loszki remontowe [szt.]	0,40	0,40	0,40	0,40
Lochy wybrakowane [szt.]	0,40	0,40	0,40	0,40
Dochód rolniczy [zł]	74 343,39			73 247,76
Produkcja rolnicza [zł]		108 496,92		106 496,91
Substancja organiczna [t]			2,93	2,64

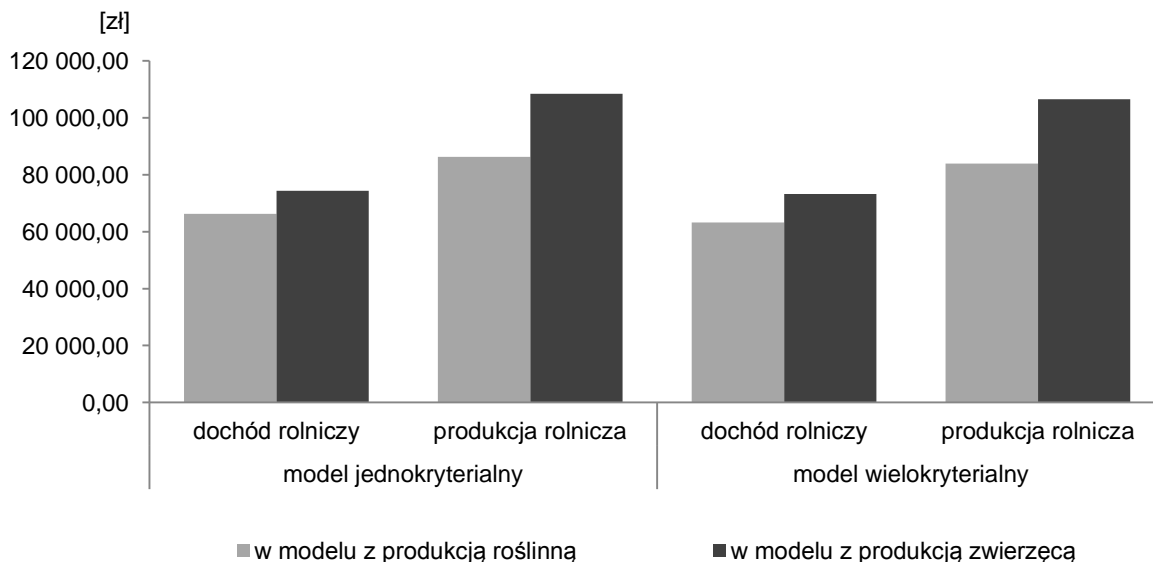
Źródło: obliczono za pomocą programu MATLAB.

Rozwiązania optymalne modeli z produkcją zwierzęcą wskazały powierzchnię upraw, stan zwierząt poszczególnych gatunków i klas, nadwyżki zbóż i ziemniaków ponad potrzeby pokarmowe zwierząt, przeznaczone na sprzedaż oraz ilość mieszanek paszowych, które należy zakupić. Struktura produkcji roślinnej uzyskana w rozwiązaniach optymalnych różni się nieznacznie. Zmiany dotyczą tylko uprawy zbóż. W I modelu jednokryterialnym, oprócz pszenicy, występuje żyto – uprawa o stosunkowo niskich kosztach produkcji; w II modelu miejsce żyta zajęło pszenżyto, które w roku 2012 wydało wysoki plon; w III modelu jęczmień okazał się rośliną najmniej zubażającą glebę.

Hodowla bydła i trzody chlewnej okazała się produkcją dochodową. W optymalizacji produkcji zwierzęcej nie skorzystano z programowania całkowitoliczbowego, aby uwzględnić zamknięty obrót stada zwierząt (czas użytkowania krowy – 8 lat, lochy – 5 lat). Stan krów i macior wynikał z danych statystycznych, a pozostałych grup zwierząt – z obrotu stada. Ułamkowe wartości, wskazujące liczbę zwierząt w rozwiązaniach, informują, jaką część roku dane zwierzę przebywało w gospodarstwie, oraz pozwalają uwzględnić koszty związane z reprodukcją stada.

W rozwiązaniu modelu wielokryterialnego wartość dochodu rolniczego jest o 1,48% niższa niż w I modelu jednokryterialnym. Nieznacznie obniżyła się też wartość produkcji (o 1,85% w porównaniu z modelem II), natomiast ilość materii organicznej w glebie zmniejszyła się o 9,9% w stosunku do III modelu jednokryterialnego.

Porównanie uzyskanych wartości dochodów i produkcji rolniczej modeli o profilu roślinnym oraz roślinnym i zwierzęcym przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Dochody i produkcja rolnicza w modelach jedno- i wielokryterialnych

Dochód rolniczy, uzyskany w rozwiązaniu optymalnym modelu jednokryterialnego o profilu roślinnym, jest niższy o 12,26% od dochodu osiągniętego w modelu z produkcją roślinną i zwierzęcą. W modelach wielokryterialnych różnica pomiędzy dochodami jest jeszcze większa i wynosi 15,8%. Wartość produkcji, osiągnięta zarówno w modelach jedno-, jak i wielokryterialnych, jest znacznie większa w gospodarstwach z hodowlą zwierząt, niż tylko z uprawą roślin, a różnice sięgają odpowiednio 25,78% i 26,79%.

Uzyskane rozwiązania modeli wielokryterialnych są rozwiązaniami kompromisowymi. Istnieje możliwość uzyskania innych rozwiązań np. poprzez obniżanie otrzymanego dochodu lub produkcji rolniczej. Należy jednak pamiętać, aby zawsze zachować dodatni bilans materii organicznej w glebie.

PODSUMOWANIE

Na podstawie rozwiązań modeli jedno- i wielokryterialnych przeciętnego gospodarstwa rolnego w województwie zachodniopomorskim porównano otrzymaną strukturę produkcji oraz wartości kryteriów celu. Zmiany w strukturze produkcji dotyczyły głównie powierzchni zasiewów zbóż. W modelach jednokryterialnych otrzymane wartości funkcji celu były zawsze większe niż w modelach wielokryterialnych. Jednak uzyskane plany produkcji były ukierunkowane tylko na realizację jednego celu. Zarządzanie gospodarstwem rolnym wymaga podejmowania decyzji zorientowanych na osiągnięcie kilku celów jednocześnie. W pracy podjęto próbę ustalenia struktury produkcji ze względu na 3 ważne kryteria, tj. dochód rolniczy, produkcję rolniczą i ilość substancji organicznych w glebie. Kryteria te mają szczególne znaczenie w zrównoważonym rozwoju rolnictwa, które zakłada zgodność celów produkcyjnych, ekonomicznych i ekologicznych. Uwzględnione kryteria nie wyczerpują gamy celów stawianych gospodarstwom rolnym. W zależności od kierunku produkcji i preferencji decydenta równie ważne może być np. zapewnienie odpowiedniej ilości i jakości pasz, minimalizacja kosztów czy zatrudnienia. Należy także nadmienić, że nie zawsze wybrane rozwiązanie kompromisowe spełnia wszystkie oczekiwania. Może się zdarzyć, że struktura rozwiązania, charakteryzująca się dobrymi mierzalnymi wartościami kryteriów, nie odpowiada specyficznym warunkom przyrodniczo-ekonomicznym. Wówczas należy wybrać rozwiązanie o gorszych parametrach, ale o strukturze lepiej dopasowanej do warunków gospodarowania.

W gospodarstwach rolnych, opartych na produkcji roślinnej i zwierzęcej, uzyskano większe wartości kryteriów celu niż w gospodarstwach o profilu roślinnym. Mimo wykazanej opłacalności produkcji zwierzęcej liczba gospodarstw z inwentarzem w województwie zachodniopomorskim z roku na rok maleje. W roku 2012 tylko 11,6% gospodarstw zajmowało się hodowlą bydła, a 11,72% – chowem trzody chlewnej (Wronkowska 2013b). Przyczyn zaniechania produkcji zwierzęcej należy szukać w wysokich wymaganiach jakościowych stawianych tej działalności po przystąpieniu Polski do Unii Europejskiej, a także w braku środków na modernizację gospodarstw oraz dużej pracochłonności.

W rozwiązaniach zarówno modeli jednokryterialnych, jak i wielokryterialnych uzyskano dodatni bilans substancji organicznej w glebie. W gospodarstwach zajmujących się tylko uprawą ziemiopłodów po uwzględnieniu kilku kryteriów nastąpił znaczny spadek (o ponad 48%) glebowej materii organicznej. W przypadku gospodarstw zajmujących się produkcją roślinną i zwierzęcą spadek wynosił niecałe 10%.

Wielokryterialne modele optymalizacyjne można wykorzystać jako narzędzie wspomagające badanie zrównoważonego rozwoju gospodarstwa rolnego. Pozwalają one dokładnie odwzorować procesy zachodzące w gospodarstwie rolnym oraz wkomponować wiele bilansów zapewniających spełnienie zasad zrównoważonego rozwoju.

PIŚMIENNICTWO

- Bartolini F., Bazzani G.M., Gallerani V., Raggi M., Viaggi D.** 2007. The impact of water and agriculture policy scenarios on irrigated farming systems in Italy: An analysis based on farm level multi-attribute linear programming models. *Agric. Syst.* 93(1–3), 90–114.
- Charnes A., Cooper W.** 1961. *Management models and industrial applications of lineal programming.* New York, Wiley.
- Fotyła M., Mercik S.** 1992. *Chemia rolna.* Warszawa, PWN.
- Grabowski W.** 1980. *Programowanie matematyczne.* Warszawa, PWE.
- Kalkulacje rolnicze.** 2012. Barzkowice, ZODR.
- Kalyanmoy D.** 2001. *Multi-objective optimization using evolutionary algorithms.* New York, Wiley & Sons.
- Manos B., Chatzinikolaou P., Kiomourtzi F.** 2010. Sustainable optimization of agricultural production. *APCBEE. Proc.* 5, 410–415.
- Riesgo L., Gómez-Limón J.A.** 2006. Multi-criteria policy scenario analysis for public regulation of irrigated agriculture. *Agric. Syst.* 91(1–2), 1–28.
- Rolnictwo w województwie zachodniopomorskim w 2012 r.** 2013. Red. R. Wronkowska, http://www.stat.gov.pl/cps/rde/xbcr/szczec/ASSETS_Rolnictwo_2012_n.pdf, dostęp: 12.12.2013.
- Szapiro T.** 2001. *Decyzje menedżerskie z Excelem,* Warszawa, PWN.
- Użytkowanie gruntów, powierzchnia zasiewów i pogłowie zwierząt gospodarskich w województwie zachodniopomorskim.** 2013. Red. R. Wronkowska, http://www.stat.gov.pl/cps/rde/xbcr/szczec/ASSETS_uzytowanie_gruntow_pow_zasiewow_poglowie_zwierzat%281%29.pdf, dostęp: 15.12.2013.

