

P O L S K A   A K A D E M I A   N A U K  
I N S T Y T U T   G E O G R A F I I  
I P R Z E S T R Z E N N E G O   Z A G O S P O D A R O W A N I A .

---

ZESPÓŁ KOORDYNACYJNY PROBLEMU MIĘDZYRESORTOWEGO  
„PODSTAWY PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA KRAJU“

Do użytku służbowego

# BIULETYN INFORMACYJNY

ZESZYT 30

K. BIELECKA, J. OWSIŃSKI

WYBRANE MODELE SYSTEMOWE ROLNICTWA  
ICH STOSOWALNOŚĆ W ANALIZIE I  
PLANOWANIU PRZESTRZENNYM

WARSZAWA 1980



**P O L S K A   A K A D E M I A   N A U K  
I N S T Y T U T   G E O G R A F I I  
I   P R Z E S T R Z E N N E G O   Z A G O S P O D A R O W A N I A**

---

**ZESPÓŁ KOORDYNACYJNY PROBLEMU MIĘDZYRESORTOWEGO  
„PODSTAWY PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA KRAJU“**

**Do tytułu słuźbowego**

# **BIULETYN INFORMACYJNY**

**ZESZYT 30**

**K. BIELECKA, J. OWSIŃSKI**

**WYBRANE MOBELE SYSTEMOWE ROLNICTWA  
ICH STOSOWALNOŚĆ W ANALIZIE I  
PLANOWANIU PRZESTRZENNYM**

**WARSZAWA 1980**







## SPIS TREŚCI

Przedmowa - K. Bielecka .....	5
Wstęp - J. Owsiański .....	11
I. Modelowanie systemowe uwarunkowań społeczno-gospodarczego rozwoju gmin - A. Dąbkowski, Z. Sufin .....	17
II. Model optymalizujący użycie wody w rolnictwie państwowym określonego regionu glebowo-klimatycznego - L. Podkaminer, A. Józwiak, T. Wołodko-Szymczak, J. Gomułka, T. Księżopolska .....	31
III. Model optymalizujący produkcję rolniczą w regionie intensywnego nawadniania - H. Manteuffel, J. Zawilski, M. Zaleski .....	47
IV. Modelowanie wielkich kompleksów rolniczych w kontekście planowania regionalnego - I. Popczew, I. Gujewski, I. Cwietanow .....	59
V. Dynamiczny model programowania liniowego do planowania przedsięwzięć rozwojowych w rolnictwie - C. Csáki, A. Propoj .....	77
VI. Ocena stosowalności przedstawionych modeli w analizie i planowaniu przestrzennym rolnictwa - J. Owsiański ...	101





## P R Z E D M O W A

Koncepcja systemowa jako wewnętrznie zwarta postawa badawcza jest atrakcyjna dla wielu dyscyplin naukowych.

Rozwijana początkowo w naukach przyrodniczych, głównie w biologii, następnie z dużym powodzeniem w naukach technicznych, wkraczająca ostatnio, aczkolwiek powoli, do nauk społecznych, stanowi jednolity kierunek rozwoju współczesnego poznania naukowego.

Mimo braku zgodności sądów co do ujęcia systemowego i znacznej rozbieżności zasadniczych punktów widzenia co do istoty oraz realizacji takiego ujęcia, a także ogromnej trudności stosowania analizy systemowej do badania i kształtowania rzeczywistości z pozytywnym skutkiem, atrakcyjność podejścia systemowego nie maleje. Wynika to z potencjalnego zakresu poznania rzeczywistości, jakiego dostarczyć może analiza systemowa posługująca się pojęciem kompleksu zintegrowanego w całości, zakładająca traktowanie zarówno zjawisk jak i ich interpretacji, niezbędnej dla naświetlenia istoty tych zjawisk, w taki sposób, jak gdyby działały jednocześnie: organizacja, współzależność, współdziałanie i integracja części oraz elementów systemu mająca na celu ujawnienie całokształtu "życia" obiektu i mechanizmów zapewniających zmianę kierunków i warunków jego pracy.

Zainteresowanie analizą systemową wiąże się z odwiecznym dążeniem nauki do coraz lepszego poznania rzeczywistości, a co za tym idzie - do sięgania po sprawniejsze metody czy sposoby podejścia badawczego. Jako przyczyny sprawcze globalnie wzmożonego od 20-30 lat zainteresowania tym rodzajem analizy wymienić można:

- 1) dokonującą się we współczesnej nauce wąską specjalizację wiodącą do podziału wiedzy na odrębne dyscypliny więcej albo mniej komunikujące się ze sobą;
- 2) eksplozję informacji;
- 3) zapoczątkowane przez nowoczesną medycynę przestawianie się z ujęcia idiograficznego (wyjaśnianie faktów pojedynczych) na u-



jęcia nomotetyczne (formułowanie prawidłowości) będące jednym z objawów generalnej rewolucji naukowej;

4) uświadomienie sobie przez przedstawicieli nauk społecznych, że społeczeństwa nie można analizować w oderwaniu od całości zjawisk, w jakich ono funkcjonuje.

Wysoka specjalizacja wewnątrz poszczególnych dyscyplin i wzrost stopnia skomplikowania rozwiązywania podejmowanych zadań wywołują znaczne trudności przy formułowaniu zadań cząstkowych gwarantujących wykonanie zadania jako całości, zapewnieniu jednorodności rozwiązań cząstkowych, przeprowadzeniu (zastosowaniu) rozwiązań cząstkowych itp. Należy tu bowiem mieć na uwadze, że prawidłowe rozwiązanie zbioru zadań cząstkowych wcale nie musi prowadzić do rozwiązania problemu jako całości. Niektóre zadania cząstkowe tracą swoje znaczenie z punktu widzenia całości, a wyniki zmierzające do realizacji wyspecjalizowanych rozwiązań cząstkowych bardzo często prowadzą do poważnych błędów.

W tym stanie rzeczy koncepcje systemowe, które cechuje skoncentrowanie uwagi na współdziałaniu procesów i badanie zjawisk w kategoriach całości stwarzają możliwość posługiwania się wspólnym językiem przez różnych specjalistów rozwiązujących branżowe zadania cząstkowe badanego zjawiska (traktowanego jako spójna całość) w taki sposób, by każdy z nich mógł pojąć, co drugi głosi. Jest to niezbędny warunek interdyscyplinarności badań systemowych.

Zasady analizy systemowej mówią:

1) mimo że każda z części systemu może odgrywać indywidualną rolę w działaniu systemu, każda z tych części nie jest niezależna względem innych części;

2) zmiana w działaniu systemu jednej z jego części będzie miała doniosły wpływ na działanie całego systemu.

Specyfiką badań systemowych jest:

1) opis elementów nie ma charakteru samoistnego, ponieważ element jest rozpatrywany nie "sam w sobie", lecz z uwzględnieniem "jego miejsca" w całości;

2) ten sam "materiał" (substrat) może mieć w badaniu systemowym różnorodne charakterystyki, parametry, funkcje, a także różne zasady budowy; przejawia się to m. in. w hierarchicznej strukturze systemu, przy czym fakt, że wszystkie poziomy "wykonane" są z tego samego materiału, szczególnie utrudnia poszukiwanie specyficznych

mecanizmów sprzężeń różnych poziomów obiektu systemowego;

3) badanie systemu staje się z reguły niemożliwe do oddzielenia od badania warunków, w których system istnieje;

4) przy badaniach systemowych zjawia się problem wynikania cech całego systemu z cech poszczególnych elementów i - przeciwnie - zależności cech elementów od pewnych charakterystyk całego systemu;

5) przy badaniu systemowym wyjaśnienie przyczynowe (w wąskim sensie) funkcjonowania i rozwoju obiektu z reguły okazuje się niewystarczające, zwłaszcza większość systemów wykazuje zachowanie się celowe, które nie zawsze może być ujęte w ramy schematu przyczyna-skutek;

6) źródło przekształceń systemu lub jego funkcji tkwi zwykle w samym systemie; wiąże się to z celowością zachowania się systemu, to zaś dyktuje potrzebę uwzględniania pewnych indywidualnych charakterystyk i stopni swobody systemu.

W nurt przestawiania się z ujęcia idiograficznego na ujęcie nomotetyczne weszła również geografia ekonomiczna upatrująca w koncepcji systemowej narzędzie lepszego rozumienia i objaśniania komponentów wybranej rzeczywistości i wzajemnych ich związków. Analiza systemowa pozwalająca wyjść poza badania podobieństwa faktów oraz ich przypuszczalnych zależności przyczynowych stwarza tu możliwość odkrywania ukrytych procesów, które do tych związków doprowadziły i w dalszym ciągu je podtrzymują. Stosując ją geograf powinien otrzymać odpowiedź na pytanie: w jaki sposób zjawily się zróżnicowane krajobrazy gospodarcze?

Występujący w dziedzinie nauk społeczno-ekonomicznych zakres analizy systemowej: w s p ó ł d z i a ł a n i e p r o c e s ó w, poszerza się w badaniach geografii ekonomicznej o dodatkowy wymiar, jakim jest przestrzeń wielo cechowa, a zatem p r z e - s t r z e n n e w s p ó ł d z i a ł a n i e p r o c e s ó w jest pojęciem specyficznym dla geografii; odnosi się ono do związków między zespolonymi grupami faktów geograficznych. Okoliczność ta znakomicie powiększa stojące do rozwiązania trudne zadania metodologii analizy systemowej. Trzeba zarazem podkreślić, iż mimo znacznego postępu w rozwiązywaniu zadań metodologicznych analizy systemów oraz w modelowaniu matematyczno-komputerowym systemów szerokie zastosowanie analizy systemowej do badań w dzie-



dzinach nauk społecznych jest jeszcze wciąż sprawą przyszłości.

Podstawową nowoczesną techniką metod analizy systemowej jest modelowanie matematyczne i/lub komputerowe systemów, w których zachodzą badane zjawiska.

Model imituje właściwości systemu, które są dla danego celu istotne, jest on abstrakcyjnym przedstawieniem obiektu - wycinka rzeczywistości - pozwalającym na operatywne badanie stanu i zmian w obiekcie. Musi on być ściśle sprzężony z celem badań oraz wielkością i charakterem badanego systemu, a wybór techniki modelowania adekwatny do stawianego przed modelem celu.

Walory analizy systemowej z jednej strony a złożoność problematyki analizy geograficznej rolnictwa z drugiej dostatecznie uzasadniają sięgnięcie po to narzędzie badawcze.

Prace nad zastosowaniem analizy systemowej w geografii rolnictwa zostały wprowadzone z inicjatywy prof. dra Jerzego Kostrowickiego do Grupy tematycznej C3 "Struktura przestrzenna wyżywienia i rolnictwa" jako podzadanie badawcze 2.1.2 w koordynowanym przez Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN problemie MR.I.2o "Postawy przestrzennego zagospodarowania kraju". Przewadzone są we współpracy z Instytutem badań Systemowych PAN przez dwuosobowy zespół (dr Krystynę Bielecką i mgra inż. Jana W. Owsinińskiego).

Badania zespołu skoncentrowały się na ocenie istniejących modeli analizy systemowej rolnictwa z punktu widzenia możliwości wykorzystania ich w analizie przestrzennej rolnictwa. Dorobkiem zespołu jest w tej materii niniejsze opracowanie. Analizie poddano 5 celowo wybranych modeli, których autorami są m. in. badacze związani z ważnym światowym ośrodkiem rozwoju metod i zastosowań analizy systemowej - Międzynarodowym Instytutem Systemowej Analizy Systemów w Laxenburgu koło Wiednia. Instytut ten w ramach realizowanych w nim prac badawczych w programie "Żywność i Rolnictwo" oraz w grupie "Rozwój Regionalny" przewiduje opracowanie szeregu modeli rolnictwa dla różnych poziomów: produktów, mikroregionu, regionu, megaregionu i świata, przez co jego problematyka staje się szczególnie zbliżona do problematyki analizy geograficznej rolnictwa.

Omawiane w niniejszej pracy modele zostały wybrane z udostęp-



nionych nam przez Instytut Badań Systemowych PAN oryginalnych /w języku angielskim/ materiałów międzynarodowej konferencji nt. modelowania rozwoju regionów /Jabłonna 12-15 IX. 1978 r./ za co składamy w tym miejscu wyrazy podziękowania Instytutowi, a zwłaszcza jego Dyrektorowi Panu Profesorowi dr. inż. Romanowi Kulikowskiemu.

Opracowanie nasze składa się ze wstępu zawierającego omówienie podstawowych pojęć, cech i narzędzi analizy systemowej, pięciu rozdziałów autorskich, których tekst będący przekładem z oryginałów w języku angielskim został tu nieznacznie skrócony i opatrzony w przypisach naszymi komentarzami, oraz rozdziału szóstego zawierającego próbę uporządkowania myślenia o ewentualnej przydatności różnych modeli rolnictwa do badań przestrzennych.

Myśli zawarte w przedmowie mają swoje źródło w rozległej literaturze przedmiotu. Czytelników zainteresowanych zaznaczonymi tu zaledwie metodologicznymi problemami analizy systemów odsyłamy do takich pozycji jak:

Badania systemowe - Zagadnienia wybrane. Red. W. Gasparski i A. Lewicka. Prakseologia 1973, nr spec.

Habr J., Veprek J.: Systemowa analiza i synteza. Warszawa 1976.

Hurst M. E.: A geography of economic behavior. An introduction. Duxbury Press, North Situate, Mass, 1972.

Hurst M. E.: Geografia zachowań ekonomicznych. Tłum. z jęz. ang. M. Stalski. Prz. Zagr. Lit. Geogr. 1978, z. 2.

Klir N. N. /red./: Ogólna teoria systemów - Tendencje rozwojowe. Tłum. z jęz. ang. Warszawa 1976.

Problemy metodologii badań systemowych. Pr. zbior., tłum. z jęz. ros. Warszawa 1973.

Krystyna Bielecka





## W S T Ę P

### 1. Systemy i ich modele

Pojęcie s y s t e m u, tak jak jest ono najczęściej używane, a więc (np. [2] s. 9) z b i ó r e l e m e n t ó w w r a z z i c h c e c h a m i o r a z p o w i ą z a n i a m i m i ę d z y n i m i <sup>1</sup>, zjawia się nie tylko w rozważaniach czysto intuicyjnych, ale także, jakkolwiek często zakamuflowane, w próbach analiz czy syntez sformalizowanych. W rzeczywistości pojęcie takie, użyte jako narzędzie w metodzie naukowej opisu lub projektowania, nie dostarcza żadnych dodatkowych korzyści w stosunku do pojęć i metod nauk klasycznych [4]. Odpowiada ono bowiem takim pojęciom jak z e s p ó ł czy u k ł a d, przy czym np. w tym ostatnim już sama zawartość semantyczna wskazuje na pewien stopień uporządkowania (organizacji) rozważanego zbioru elementów. Zasygnalizowane pojęcie dopuszcza w gruncie rzeczy możliwości "złożenia" całości systemu z jego części - i odbicie tego faktu w rozumowaniu naukowym - jak również użycie zasady caeteris paribus <sup>2</sup> przy badaniu i opisie systemu, które to sposoby postępowania badawczego były od wieków podstawą rozwoju nauk.

---

\* Polska Akademia Nauk, Instytut Badań Systemowych, Warszawa.

<sup>1</sup> Do tego najprostszego określenia często dodaje się "stanowiący pewną całość", "roźniący się od prostej superpozycji elementów" itd., co nie wnosząc nic nowego do określenia może być źródłem niejasności.

<sup>2</sup> Ustalanie własności systemu przez badanie wpływu poszczególnych wielkości przy pozostałych ustalonych.



Z drugiej jednak strony faktem jest, że teoria systemów oraz analiza systemowa, która w dużej mierze jest z nią związana, i przystające do nich dziedziny, takie jak cybernetyka, teoria sterowania czy teoria informacji, doprowadziły do określenia niektórych własności czy metod badania obiektów zwanych systemami, nie mieszczących się w tradycyjnych dziedzinach nauki. Przede wszystkim ustalanie tzw. własności czy metod systemowych wykonuje się w abstrakcji od konkretnego charakteru systemów, do których mogą się one stosować. Wykrywane są pewne analogie czy nawet izomorfizmy w strukturze i działaniu systemów w ogóle, a na ich podstawie opracowywane techniki opisu i projektowania oraz ogólne paradygmaty systemowe. Podejście takie jest w ogromnej mierze zmatematyzowane, odpowiednio bowiem ścisłe ujęcie wymienionych wyżej działań abstrakcyjnych wymaga formalizacji matematycznej. Wywołuje to niekiedy opinię, że teoria i techniki systemowe posiadają dokładnie status dziedzin matematyki, tj. że ich obiektami są wyłącznie abstrakcje matematyczne, a zastosowalność do rzeczywistości może być określona tylko dla poszczególnych przypadków konkretnych elementów i z nich złożonych systemów.

Opinia taka nie jest jednak słuszna. Dowodzą tego zarówno wyniki osiągnięte w badaniach systemowych, jak i intuicyjna oczywistość podstawowych cech systemów, uzupełniających określenie podane na wstępie [1]:

- występowanie celów, zarówno wewnętrznych (np. przetrwanie i rozwój), jak i zewnętrznych (np. uporządkowanie), ich wielość i różnorodność;

- samoistna lub narzucona organizacja systemu, często ujawniająca się w postaci struktur wielopoziomowych, o różnych cechach, funkcjach, a nieraz i sposobach opisu poszczególnych poziomów (jedno z podejść do tego zagadnienia zaproponowano w [3]); organizacja może być związana z celami występującymi w systemie (np. zjawienie się hierarchii);

- niemożność (wynikająca na przykład z działania systemu nastawionego na osiągnięcie pewnych celów albo z istnienia "nieprzezro-

czystych" poziomów organizacji) stosowania zasady caeteris paribus<sup>3</sup>.

Dla obiektów posiadających poszczególne lub wszystkie z powyższych cech opracowano sposób postępowania oparty na ogólnych wynikach teorii systemowych i nauk szczegółowych zwany *analizą systemową*.

Jednym z głównych narzędzi analizy systemowej jest *modelowanie matematyczne i komputerowe* rozważanych systemów, pozwalające na przejście od konkretnego do abstrakcji, na poziomie której znane są pewne ogólne własności i procedury. Dysponujemy obecnie dość dużą ilością różnych klas modeli, które mogą być stosowane do przedstawiania, analizy oraz projektowania różnych systemów, w poszczególnych zaś klasach modeli ustalono szereg charakterystycznych zależności obowiązujących także dla odpowiednich modelowanych systemów. Przydatność różnych modeli powinna być oceniana oddzielnie dla każdego przypadku, dla przyjętej odpowiedniości między modelem a systemem, jednak wszystkie ogólne zależności ustalone dla danego modelu pozostają w mocy.

## 2. Prezentowane modele rolnictwa

Zamieszczone tu opisy modeli zostały zreferowane na międzynarodowym seminarium na temat zastosowań analizy systemowej w planowaniu rozwoju regionu, które odbyło się w Jabłonie 11-15 września 1978 r. z inicjatywy IBS PAN oraz Międzynarodowego Instytutu Stosowanej Analizy Systemów (MISAS<sup>4</sup>), mającego siedzibę w Laxenburgu k. Wiednia, a z którym polskie środowisko naukowe współpracuje od chwili jego powstania w 1972 r. W MISAS pracują grupy naukowe zajmujące się m. in. zintegrowanym rozwojem regionalnym (kier. prof. M.M. Albegow ze Związku Radzieckiego), modelami rolnictwa i gospodarki żywnościowej na poziomie krajowym i światowym (prof. F. Rabar, Węgry) czy migracjami i systemami osiedleńczymi (prof. A. Rogers, Stany Zjednoczone). W ramach seminarium w Jabłonie oby-

<sup>3</sup> Ta cecha może być różnie rozumiana - tu chodzi o niemożność dokonywania na tej podstawie indukcji.

<sup>4</sup> Ang. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA).



ło się posiedzenie robocze na temat modelowania problematyki wodno-rolniczej i ogólnogospodarczej basenu górnej Noteci, który został wytypowany jako jeden z obiektów współpracujący zintegrowanego rozwoju regionów MISAS z organizacjami członkowskimi, w tym przypadku Polską Akademią Nauk.

Autorzy prezentowanych prac modelowych posługują się pojęciem systemu w zasadzie identycznym z przedstawionym na samym początku, a więc w gruncie rzeczy "niesystemowym". Świadczyć o tym może również wybór dla większości modeli z tej dość jednolitej próbki metody programowania liniowego. W istocie, modele liniowe są dokładną realizacją zasady caeteris paribus, zwłaszcza modele jednowybiegowe. Również jedyny wśród przedstawionych modeli model symulacyjny, zbudowany za pomocą techniki modelowania skonstruowanej dla systemów dynamicznych o istotnych nieliniowych sprzężeniach zwrotnych, nie wykorzystuje tych możliwości techniki i może być z powodzeniem - z punktu widzenia typu struktury - traktowany na równi z pozostałymi modelami. Należy tu jednak zaznaczyć, że jawna normatywność modeli programowania niewątpliwie je "usystemawia". Należy przez to rozumieć chociażby fakt, że wyników optymalizacji nie uda się otrzymać w drodze jakiegokolwiek indukcji względem różnych elementów systemu. W jeszcze większej mierze dotyczy to - niezwykle ważnych - charakterystyk optymalnych systemu, a więc zależności obowiązujących dla warunków optymalnych. Z drugiej zaś strony optymalność jest realnym atrybutem systemu czy to w formie aspiracji, poziomu satysfakcji, czy jawnych planów i polityk. Niemożliwe jest prowadzenie prac analitycznych lub prognoz zmian przestrzennych w oderwaniu od działań warunkujących ekonomicznie i administracyjnie funkcjonowanie systemu.

#### LITERATURA

- [1] Bertalanffy L. van: General System Theory. Foundations, Development, Applications. G. Braziller, New York 1968.
- [2] Kazimierczak J.: System cybernetyczny. Wiedza Powszechna, Warszawa 1978.



- [3] Mesarovic M.D., Sanders J.L., Sprague C.F.: An Axiomatic Approach to Organizations from a General Systems Viewpoint. New Perspectives in Organizations Research. J. Wiley, New York 1968.
- [4] Popper K.: Logika odkrycia naukowego. PWN, Warszawa 1977.





Andrzej Dąbkowski, Zbigniew Sufin <sup>✉</sup>

## I. MODELOWANIE SYSTEMOWE UWARUNKOWAŃ SPOŁECZNO-GOSPODARCZEGO ROZWOJU GMIN

### 1. Wstępna charakterystyka przedsięwzięcia modelowego <sup>1</sup>

Zadaniem nauk społecznych jest kompleksowe badanie procesów rozwoju społeczno-gospodarczego całego kraju, regionów, miast, gmin. Przedmiotem badań najczęściej są pewne sfery rzeczywistości, rzadziej całokształty procesów rozwojowych. Odrębnie badane są np. procesy ludnościowe, zmiany w strukturze społecznej, migracje, zmiany w strukturze zatrudnienia. Przedmiotem innych badań są zjawiska gospodarcze, rozwój produkcji przemysłowej czy rolnej, budowa nowych obiektów przemysłowych, urządzeń infrastruktury technicznej i społecznej.

Badania cząstkowe nie dają możliwości analizowania struktury i dynamiki procesów rozwojowych, współzależności między zjawiskami ekonomicznymi a społecznymi, działania czynników dodatnio i ujemnie wpływających na rozwój społeczno-gospodarczy.

W kompleksowym badaniu procesów rozwojowych szczególnie przydatne jest modelowanie systemowe. Stanowi ono zespół metod i technik pozwalających badac dynamikę rozwoju społeczno-gospodarczego, określać mechanizmy zjawisk ekonomicznych i społecznych, ich wzajemne związki i współzależności.

Celem naszego opracowania jest przedstawienie doświadczeń związanych z opracowaniem modeli rozwoju społeczno-gospodarczego gmin

---

<sup>✉</sup> Instytut Fodstawowych Problemów Marksizmu-Leninizmu oraz Instytut Planowania.

<sup>1</sup> Tytuły części pracy wprowadzono przy redakcji.

(MSRG). W modelu MSRG wraz ze scenariuszami oddziaływań (SO) możliwe jest na przykład badanie wpływu tempa odpływu siły roboczej z gminy na wielkość i liczbę gospodarstw indywidualnych, poziom ich mechnizacji, strukturę produkcji oraz liczbę gospodarstw bez następców. Ponadto badać można przykładowo wpływ poziomu wykształcenia, dostaw środków produkcji, warunków bytu ludności itd. na poziom migracji z gminy, a także konsekwencje wpływu poziomu mechnizacji pracy na poziom produkcji rolnej w gminie. Odrębne relacje pozwalają na zbadanie zmiany poziomu docnodów, kredytów, ulg i podatków na wielkość gospodarstw indywidualnych i uspołecznionych, ich produkcję rolną oraz poziom inwestycji produkcyjnych i nieprodukcyjnych. Za pomocą modeli MSRG można badać również konsekwencje przemian infrastruktury gminy (melioracje, zaopatrzenie w wodę, strukturę transportu, budownictwo inwentarskie, sieć punktów skupu, usług, handlu) na przyrost produkcji rolnej w gminie w analizowanym horyzoncie czasowym.

Odrębne analizy dotyczą wzajemnych sprzężeń zwrotnych między produkcją roślinną a zwierzęcą, pozwalając uchwycić uwarunkowania wzrostu produkcji zwierzęcej od prawidłowej struktury upraw roślin zapewniających paszę. Ponadto w badaniach tych uwzględniono dylematy związane z oceną wpływu zmian ważnych mierników infrastruktury społecznej na przyrosty produkcji rolnej, przemiany struktury ararnej, stratyfikację rodzin rolników itd. Interesujące spostrzeżenia dotyczą problemów zjmowanych agregatowo, a więc wnioskowań obejmujących przykładowo wpływ przemian w strukturze produkcji zwierzęcej i roślinnej w konsekwencji zastosowanych instrumentów ekonomicznych, przemian w nakładach na inwestycje w gospodarstwach indywidualnych i wynikających z tego powodu zmian w strukturze migracji ludności rolniczej w gminie oraz wielkości gospodarstw specjalistycznych.

Obok zestawu modeli systemowych służących do przeprowadzenia interaktywnych analiz uwarunkowań społeczno-gospodarczego rozwoju gmin niezbędne było wypracowanie właściwie zaprojektowanego i stale aktualizowanego Banku Danych Modelowych Gmin (BDMG), zawierającego bazę danych skonstruowaną z wcześniej zebranych zestawów informacji wejściowej opisującej reprezentatywną próbkę kilkuset gmin w kraju. Baza ta w trakcie kolejnych etapów budowy systemu modeli uwarunkowań rozwoju społeczno-gospodarczego gmin ulegała



szeregu modyfikacjom i korektom stanowiąc w swojej ostatecznej postaci, obok danych statystycznych GUS, podstawowe źródło retrospektywnych danych modelowych niezbędnych do eksploatacji struktury modeli systemowych. W efekcie pierwszego etapu prac nad modelami MSRSG dały się wyróżnić cztery podstawowe kierunki działania:

- wypracowanie spójnej merytorycznie bazy danych modelowych oraz zestawu modułów operacyjno-technicznych zapewniających stałą i w miarę możliwości interaktywną ich aktualizację, modyfikację oraz rozwój zarówno w oparciu o dane pozyskiwane z Głównego Urzędu Statystycznego jak i od ankierów w wybranych do analiz gminach;

- opracowanie zbioru hierarchicznych, dynamicznych modeli systemowych o charakterze deskryptywnym wraz z zestawami scenariuszy oddziaływań analiz modeli;

- opracowanie zbioru modułów operacyjno-technologicznych umożliwiających tworzenie, aktualizację i modyfikację rozwiniętej Bazy Danych Modelowych, formalny zapis modeli oraz ich interaktywną eksploatację w trybie dialogu analityka z komputerem;

- opracowanie reguł wnioskowania i interpretacji wyników eksploatacji modeli według zestawu scenariuszy głównych i częściowych wraz z zasadami tworzenia i prezentacji końcowych raportów analiz.

## 2. Modele i zbiory danych w systemie oraz ich współdziałanie

Na przedsięwzięcie polegające na skonstruowaniu odpowiednio zbudowanej logicznie i fizycznie bazy danych modelowych, obejmującej strumień informacji składającej się z kilkunastu tysięcy danych, złożyły się trzy wyraźnie różniące się ciągi działań. Pierwszy z nich obejmował prace merytoryczne związane z koncepcyjnym projektem doboru oraz określenia struktury logicznej wiązań i zawartości bazy danych modelowych, zależnych od treści i struktury zestawu modeli MSRSG. Działanie drugie polegało na wypracowaniu procedur porządkowania poszczególnych składowych BDM-G do odpowiednio zestawionej w danym seansie interakcji struktury modeli MSRSG. Moduł ten określono skrótowo jako SZM - sektor zmiennych modelowych. Należy podkreślić, że moduł ten pozwala nie tylko na wybranie i przedstawienie danych modelowych z BDM-G do poszczególnych segmentów,

modeli, ale i na agregację danych w pożądanym grupach gmin i układach makroregionalnych oraz na wstępną ich analizę statystyczną.

Trzeci ciąg danych zmierzał do wypracowania pomocniczych procedur pozwalających na identyfikację na żądanie definicji i szeregów retrospektywnych poszczególnych kategorii społeczno-ekonomicznych tworzących dane modelowe oraz prezentacji procesu ich budowy według obowiązujących lub zaprojektowanych w analizach przedmiotowych procedurach obliczeniowych. Moduł ten określono pojęciem KZM - katalog zmiennych modelowych. Jego dalszym etapem rozwojowym będzie Generator Danych Modelowych - GDM, służący do interaktywnej analizy i przekształcenia danych w niezbędne pochodne parametry, relacje i wskaźniki stanowiące niejednokrotnie najbardziej pożądaną formę zapisu endogenicznych zmiennych modelowych. Moduł ten odrywać będzie również wspólnie z modułem BDM-G bardzo ważną rolę w konstrukcji Biblioteki Modeli Częstkowych (BMC). Moduł GDM stanowi równie ważne ogniwo w budowie i testowaniu pakietu weryfikacji statystycznej danych WBS (Schemat B). Moduł ten będzie miał szczególne znaczenie przy przebiegach modelowanych o różnych horyzontach czasowych.

Następnym nurtem prac było stworzenie modeli systemowych tworzących hierarchiczną strukturę procesów i czynników społecznych i gospodarczych odzwierciedlających złożone oddziaływania rozwojowe zestawionych w czterech podstawowych grupach problemowych. Grupy te, tworząc w efekcie wydzielone ciągi modeli cząstkowych, obejmowały przede wszystkim uwarunkowania związane z ludnością zamieszkałą w gminie i strukturą jej zatrudnienia, istniejącą strukturą agrarną gminy wraz z obiektami socjalnymi.

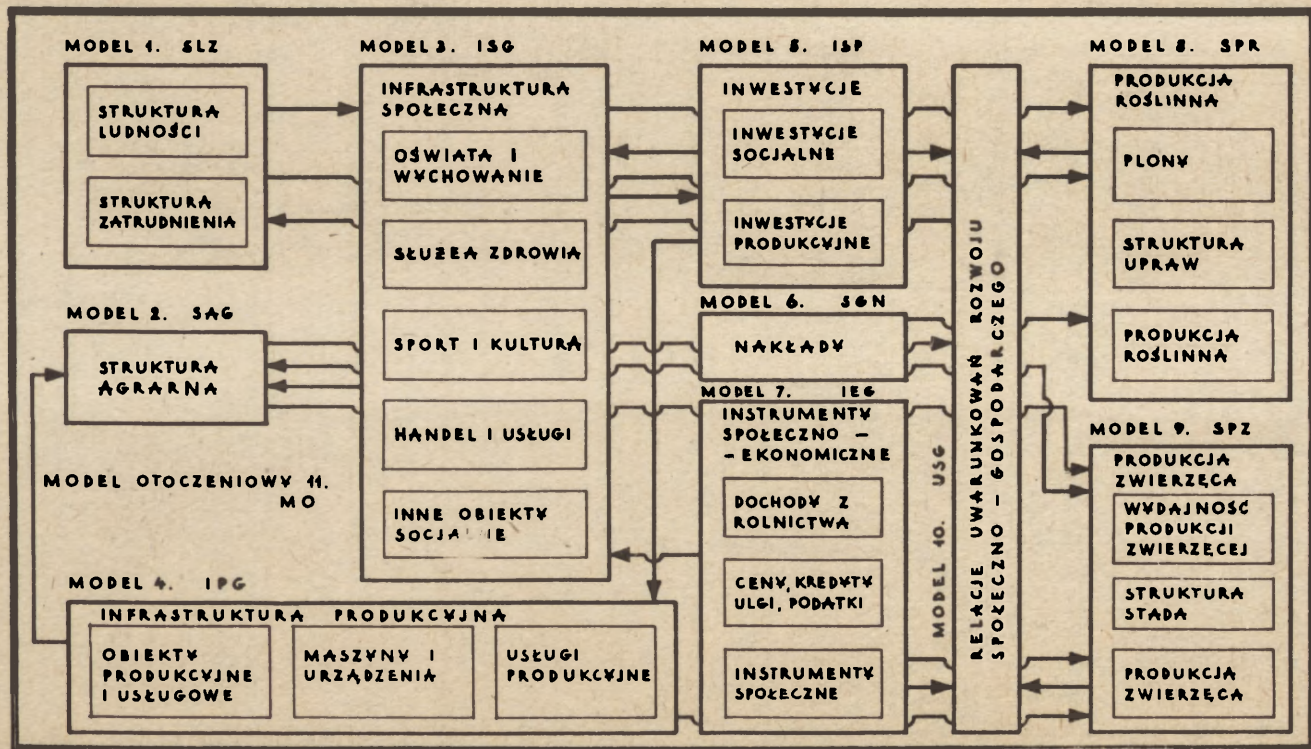
Dруги ciąg modeli cząstkowych zawiera z kolei istotne sprzężenia odnoszące się do podsystemu socjalnego (oświata i wyczerpanie, sport, kultura, higiena, częściowo inne usługi) wraz z modelami opisującymi istniejącą infrastrukturę produkcyjną w gminie.

Ciąg trzeci obejmuje modele przemian struktur ciągu pierwszego, nakłady w gminie poniesione na zmiany strukturalne oraz modele odzwierciedlające wzajemnie sprzężone instrumenty ekonomiczne i społeczne.

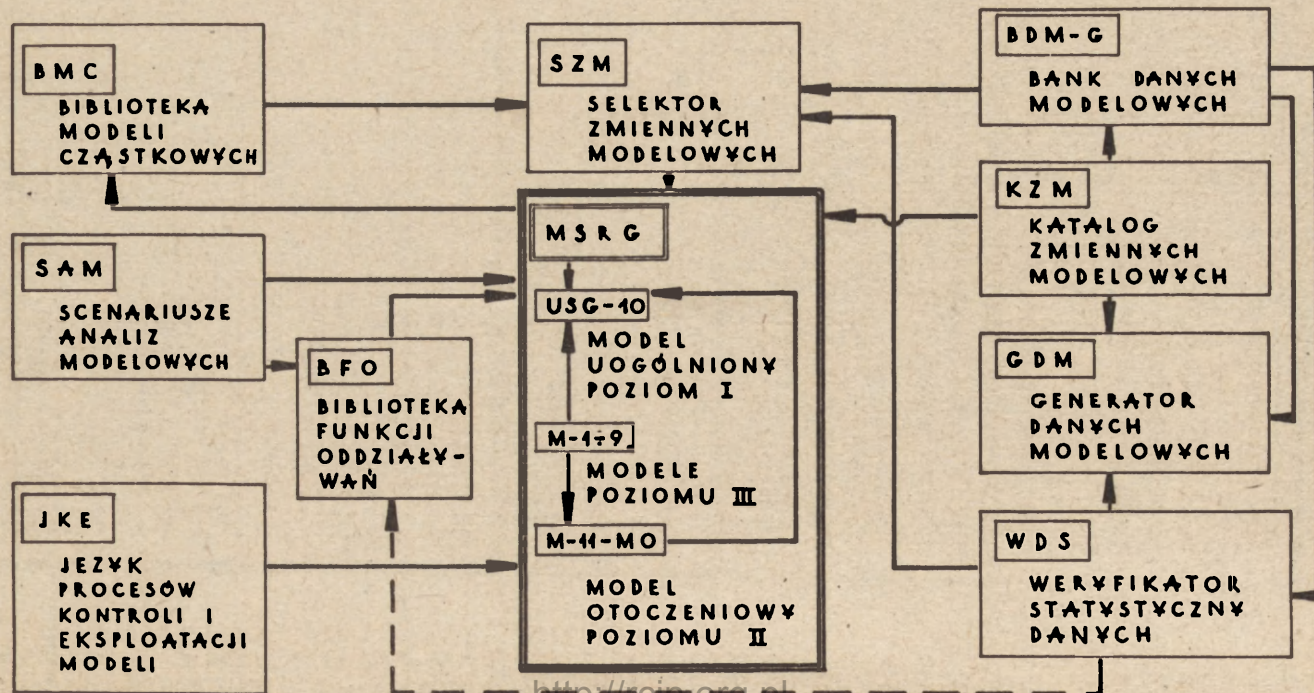
W ciągu czwartym zawarto modele uwarunkowań rozwoju produkcji roślinnej (struktura upraw, pól i produkcji roślinnej) i zwie-



SYSTEM MODELI UWARUNKOWAŃ ROZWOJU SPOŁECZNO-GOSPODARCZEGO GMIN MSR-G SCHEMAT A.



POWIĄZANIA MODUŁÓW OPERACYJNO-EKSPLOATACYJNYCH • MSR G •  
SCHEMAT B.





rzącej (struktura stada, wydajność produkcji zwierzęcej oraz produkcja sprzedana).

W efekcie tak pomyślanego zestawu czterech ciągów modeli cząstkowych, ich wzajemnych powiązań oraz podziału na mniejsze grupy problemowe powstał zestaw 25 modeli systemowych, pogrupowany w 10 podzbiorów problemowych, na trzech poziomach hierarchicznych. Idea tak pomyślanego grupowania wiązała się z jednej strony z chęcią utrzymania czterech wydzielonych uprzednio grup ciągów problemowych z drugiej zaś na dalszym rozagregowaniu modeli cząstkowych w ramach poszczególnych ciągów. W końcowym etapie prac nad konstrukcją modeli włączono w strukturę modeli MSRG takie zestawy problemów-modeli cząstkowych, jak:

- 1 - SLZ model ludność, na który złożyły się modele cząstkowe:
  - 1.1. - S1 struktura ludności
  - 1.2 - SZ struktura zatrudnienia
- 2 - SA model struktura agrarna
- 3 - ISG model infrastruktura społeczna z modelami cząstkowymi:
  - 3.1 - OW oświata i wychowanie
  - 3.2 - OZ służba zdrowia
  - 3.3 - SK sport i kultura
  - 3.4 - HU handel i usługi
  - 3.5 - OS pozostałe obiekty socjalne
- 4 - IPG model infrastruktura produkcyjna wraz z modelami cząstkowymi:
  - 4.1 - PU obiekty produkcyjne i usługowe
  - 4.2 - MU maszyny i urządzenia
  - 4.3 - UP usługi produkcyjne
- 5 - ISP model inwestycji, w tym modele cząstkowe:
  - 5.1 - IS inwestycje socjalne
  - 5.2 - IP inwestycje produkcyjne
- 6 - SN - model nakłady
- 7 - IEG - model instrumenty ekonomiczno-społeczne zawierający modele cząstkowe:
  - 7.1 - CK ceny, kredyty, ulgi, podatki
  - 7.2 - DR - dochody z rolnictwa
  - 7.3 - PE - instrumenty społeczne
- 8 - SPR - model produkcja roślinna, na który składają się modele:
  - 8.1 - SU struktura upraw

b.2 SF - plony

c.3 Pr - produkcja roslinna

9 - SFZ - model produkcja zwierzęca z modelami cząstkowymi

9.1 SS - struktura stada

9.2 WZ - wydajność produkcji zwierzęcej

9.3 FZ - produkcja zwierzęca

10 - USG - wybrane relacje uwarunkowań rozwoju społeczno-gospodarczego gminy (model uogólniony poziomu pierwszego)

11 - MOW - model otoczeniowy wybranych powiązań pomiędzmodelowych (poziom drugi)

Jak z powyższego zestawienia widać (schemat A), podstawową ideą tak rozwiniętego układu modeli było badanie uwarunkowań rozwoju ujętego w czwartym ciągu modeli, w funkcji przemian zapisanych w pierwszych trzech podzbiorach modeli cząstkowych. Funkcje wzajemnych oddziaływań poszczególnych składowych modeli zapisano za pomocą odpowiednio dobranych grup scenariuszy oddziaływań<sup>2</sup>. Scenariusze sytuacyjne systemu modeli MSR-G dotyczą między innymi wyjaśniania mechanizmów:

- tworzenia gospodarstw specjalistycznych,
- podupadania gospodarstw indywidualnych w gminie,
- tworzenia zespołów rolników indywidualnych,
- wpływu otoczenia na uwarunkowania społeczno-gospodarcze w gminie,
- wpływu instrumentów ekonomicznych i społecznych na zmiany poziomu produkcji roślinnej i zwierzęcej w rolnictwie indywidualnym i uspołecznionym w gminie.

Scenariusze te pogrupowano na dwa zasadnicze zestawy pytań. Zestaw pierwszy dotyczy scenariuszy głównych, drugi - scenariuszy szczegółowych. Odrębnym zadaniem w pracach związanych z budową zestawu scenariuszy sytuacyjnych oznaczonych skrótem SAM - scenariusze analiz modelowych - było opracowanie biblioteki standardowych funkcji oddziaływań - BFO. Z biblioteki tej dobierane są na ządanie funkcje ekstrapolujące bądź to szeregi zmiennych modelo-

---

<sup>2</sup> Modele cząstkowe jak również związki między tymi modelami były realizowane w symulacyjnym języku DYNAMO z dodaniem wstawek w języku FORTRAN. Przyjęcie założenia o takim symulacyjnym charakterze złożonych modeli niejako wymusiło szerokie użycie scenariuszy (przyp. red.).



wych, bądź też wynikające ze scenariuszy sytuacyjnych funkcji oddziaływan poszczególnych elementów modelu, "zakłócanie" egzogenicznie wyorany zestawem zapytan.

W efekcie takiej konstrukcji zbioru scenariuszy oddziaływan możliwe jest badanie w trakcie jednego seansu eksploatacji zestawu modeli MSR-G wzajemnych oddziaływan i uwarunkowan poszczególnych elementów modelu. Ponadto w ramach różnych funkcji oddziaływan możliwe jest uwzględnienie opóźnień pojawiania się i zmienności rozkładu w czasie tych oddziaływan. Tak skonstruowane scenariusze oddziaływan wraz z regułami egzogenicznego "zakłócenia" zachowan się poszczególnych składowych modeli pozwalają na zbadanie w czasie kilku seansów interaktywnej eksploatacji modeli, oddziaływan i zmian, jakie zachodzą w modelach sprzężonych z modelem badanym bezpośrednio lub też pośrednio poprzez model otoczeniowy. Zakłócenia te mogą być badane w różnych klasach opóźnień ich oddziaływan, niezależnie od opóźnień wewnętrznych zapisanych w konstrukcji poszczególnych modeli.

Kolejnym istotnym elementem budowy zestawu scenariuszy głównych były prace związane z systematyzacją scenariuszy, zmierzające do określenia motywacji przemian cząstkowych celów rozwoju społeczno-gospodarczego. Z chwilą rozpoczęcia prac nad analizami strukturalnego rozwinięcia celów cząstkowych w układach działowo-gałęziowych, branżowo-organizacyjnych oraz regionalno-przestrzennych możliwe stało się z jednej strony skonfrontowanie szeregu mierników osiągnięcia celów cząstkowych z poziomem mierników społecznych i gospodarczych badanych w modelach MSR-G gmin, z drugiej zaś z trendami przemian tych mierników na skutek zmieniających się potrzeb poszczególnych mikroukładów społecznych w gminach.

### 3. Struktura funkcjonalna systemu modeli

Kolejnym dość ważnym elementem składowym systemu MSR-3 było opracowanie zbioru modeli operacyjno-technologicznych (przedstawianych łącznie na schemacie B). Schemat ten ilustruje w sposób uproszczony sekwencję eksploatacji modeli w trybie dialogu analityka z komputerem. W sekwencji tej następuje pełne wykazanie takich modułów, jak:

- Bank Danych Modelowych - Gmin - BDM-G

- katalog Zmiennych Modelowych - KZM
- Biblioteka Modeli Cząstkowych - BMC
- Selektor Zmiennych Modelowych - SZM
- Scenariusze Analiz Modelowych - SAM
- Biblioteka Standardowych Funkcji Oddziaływań - BFO

a w dalszej kolejności:

- Generator Danych Modelowych - GDM
- Weryfikator Statystycznych Danych - WSD
- Język Kontroli i Eksploatacji Zbioru Modeli - JKE (w oparciu o zbiory scenariuszy oddziaływań).

Niezależnie od tak rozwiniętego zestawu modułów operacyjno-technologicznych budowy i eksploatacji modelu MSR-G, dostosowanych do badań nad modelowaniem systemowych powstałych struktur mikroekonomicznych, wykorzystywane są w tych procesach określonej klasy języki zorientowane problemowo oraz techniki pośrednie, umożliwiające bądź to inicjalne przyporządkowanie zbiorów danych pozyskiwanych z Głównego Urzędu Statystycznego, bądź też takie formy prezentacji wycinków, które pozwalają na umieszczenie na jednym wykresie danych wyjściowych z kilku różnych seansów analiz modeli.

Tak zestawione zbiory tablic i wykresów wycinkowych, uporządkowane zgodnie z sekwencją scenariuszy oddziaływań, stanowią podstawę do opracowania pełnej interpretacji społecznej i ekonomicznej wyników analiz modeli systemowych MSR-G.

Dotychczasowe doświadczenia z eksploatacji poszczególnych sekwencji modeli pokazały, że analizy te pozwalają na wyciągnięcie szeregu interesujących wniosków, które w badaniach cząstkowych dokonywanych zarówno za pomocą opisu statystycznego jak i metod ekonometrycznych, prognostycznych oraz analiz wieloczynnikowych byłyby nie tylko niepełne, ale i nie pozwalałyby uchwycić złożonych uwarunkowań pośrednich. Odwzorowania procesów rozwoju gmin za pomocą kilkunastu tysięcy zmiennych, relacji i wskaźników, tworzących skomplikowane układy sprzężeń, dają w efekcie trudne do uchwycenia znanymi metodami analitycznymi złożone zależności rozwoju społeczno-gospodarczego. Pamiętając zatem o umiejętnym odróżnianiu metod rachunku, a zwłaszcza złożonych technik modelowania systemowego, od metod interpretacji wyników oraz formułowania wniosków w języku polityka-decydenta, należy brać pod uwagę te zestawy wyników analiz, które w swojej formie i treści niosą najistotniejsze



elementy deskryptywne i normatywne mechanizmów społecznych i gospodarczych rozwoju gmin oraz pojawiających się w miarę tego rozwoju potrzeb społecznych. Stąd też ważny jest nie tylko zespół reguł wiązania merytorycznego poszczególnych modeli cząstkowych, ale i trafnie dobrany zestaw scenariuszy oddziaływan, umożliwiający badanie takich uwarunkowań rozwoju społeczno-gospodarczego, które są najbardziej interesujące dla interpretatora końcowych wyników analiz modeli systemowych.

#### 4. Uwagi końcowe

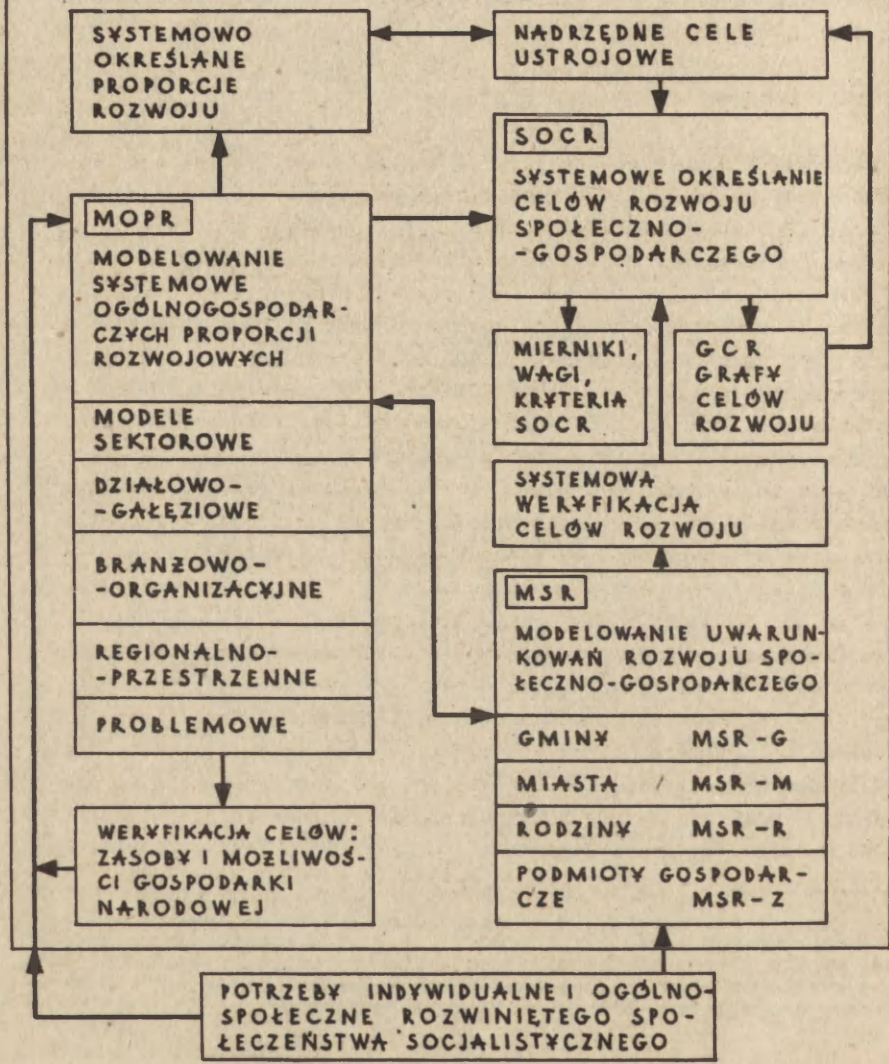
Reasumując należy podkreślić, że analizy tego typu są o tyle interesujące, że umożliwiają równoczesne uwzględnienie znacznej liczby mniej lub więcej ważących czynników, które wzajemnie się interferując i nakładając dają trudno przewidywalne efekty. Ma to miejsce zwłaszcza wtedy, kiedy wzajemne przesunięcia czasowe oddziaływań modeli odwzorowujące opóźnienia inwestycyjne oraz efekty działania instrumentów sterowania ekonomiczno-społecznego uniemożliwiają bezpośrednie wnioskowanie analityczne. Ta ocena modelowania systemowego stanowi jedną z podstawowych zalet badań analityczno-empirycznych uwarunkowań społeczno-gospodarczego rozwoju. Wzbogacona jest ona o możliwość odwzorowania w postaci sformalizowanej tych elementów modeli wyobrazeniowych, które obejmując sprzężenia społeczne, motywacyjne i odczuciowe poddają się szczególnie trudno formom dyskretnego zapisu analitycznego<sup>3</sup>.

W zakończeniu pragniemy podkreślić, że przedstawiliśmy tylko niektóre problemy analiz modeli systemowych MSR-G ukazujących tendencje do przemian i uwarunkowań rozwoju społeczno-gospodarczego gmin. Analiza tych uwarunkowań stanowi istotną składową całego ciągu badań współzależności rozwojowych (schemat C) i ma istotne znaczenie dla konkretyzacji celów rozwoju, polityki społecznej i planowania w procesie budowy rozwiniętego społeczeństwa socjalistycznego. Oznacza to, że efektem realizacji tak pomyślanego modelowa-

<sup>3</sup> Zapis scenariuszowy, w zasadzie quasi-formalny, stanowi również znaczne zubożenie treści modeli wyobrazeniowych; jego przydatność wynika natomiast przede wszystkim z możliwości zastosowania w tych złożonych modelach, w których automatyczna eksploracja przestrzeni decyzji jest niemożliwa (przyp. red.).

**SCHEMAT SPRZĘŻENIA SYSTEMOWEGO OKREŚLANIA  
CEŁÓW ROZWOJU SCHEMAT C.**

SYSTEM KIEROWANIA ROZWOJEM SPOŁECZNO-GOSPODARCZYM  
FUNKCJE: PROGRAMOWANIE - PROGNOZOWANIE -  
- PLANOWANIE - REALIZACJA - STEROWANIE





nia systemowego jest skuteczne wspomaganie procesów wyznaczania, weryfikacji i modyfikacji celów rozwoju społeczno-gospodarczego stanowiących niejako nadrzędne kryteria kontroli i sterowania procesami funkcjonowania gospodarki społeczeństwa socjalistycznego.





Leon Podkaminer, Agnieszka Jóźwiak, Teresa Wołodko-Szymczak \*  
Józef Gomułka, Teresa Księżopolska \*\*\*

## II. MODEL OPTIMALIZUJĄCY ZUŻYCIE WODY W ROLNICTWIE PAŃSTWOWYM OKREŚLONEGO REGIONU GLEBOWO-KLIMATYCZNEGO

### 1. Wstęp

Nawadnianie roślin uważane jest za bardzo ważny czynnik wzrostu poziomu plonów i ich stałości. Efektywne wykorzystanie możliwości stworzonych przez wprowadzenie nawodnień wymaga jednak starannego określenia optymalnego programu działalności rolniczej. I tak zwłaszcza przy określaniu optymalnego programu działalności rolnictwa państwowego należy wziąć pod uwagę założone zadania produkcyjne oraz dostępne środki i zasoby potrzebne do produkcji, którymi będzie można dysponować w regionie. Jeśli warunek optymalności nie będzie spełniony, to całe przedsięwzięcie melioracyjne, mimo poniesionych dużych nakładów inwestycyjnych, może okazać się fiaskiem. Fakt ten ma szczególne znaczenie na - leżących w strefie umiarkowanej - obszarach o stosunkowo obfitych opadach rocznych [31, 42].

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie modelu umożliwiającego wyznaczenie wartości zmiennych decyzyjnych określających wewnętrznie zgodne plany produkcji rolniczej przy zastąpieniu kryterium optymalnego zużycia wody w rolnictwie państwowym określonego regionu glebowo-klimatycznego.

---

\* Polska Akademia nauk, Instytut Badań Systemowych, Warszawa.

\*\*\* Instytut Ekonomiki Rolnej, Warszawa

<sup>1</sup> Przez "wewnętrznie zgodne plany" rozumie się plany zbilansowane względem struktury przepływów wewnętrznych, zasobów własnych i dostarczanych z zewnątrz oraz spełniające założone zadania (przyp. red.).

Model ten rozwiązywany wielokrotnie przy zmieniających się założeniach ("scenariuszach") co do możliwych zadań produkcyjnych i warunków produkcji powinien dostarczać informacji o zależnościach wiążących:

- 1) ograniczone zasoby - ziemi, nawozów mineralnych oraz innych środków produkcji,
- 2) pożądane struktury i rozmiary produkcji rolniczej oraz
- 3) wielkości zapotrzebowania na wodę.

Jest to dość częsty sposób wykorzystania analogicznych modeli <sup>2</sup> [1,7,11,17,19,37,38]. Szczegółowe informacje z opisywanego modelu otrzymywane przy zmieniających się danych odnoszących się do regionu mogą - po odpowiedniej agregacji i wygładzeniu - być użyte w innych modelach rozwoju regionalnego [23,24,28]. Region Zlewni Górnej Noteci jest pierwszym, do którego model ten został zastosowany (zob. Aneks).

## 2. Ważniejsze podstawowe założenia modelu

Przyjmujemy, że każdy obszar złożony z jednostek przestrzennych, co do których można założyć, że są podobne do siebie pod względem jakości gleb, warunków pogody oraz wyposażenia w inne zasoby niezbędne do produkcji, odczytujemy nazywaliśmy regionem. Definicja ta, jakkolwiek nieprecyzyjna, służy celom, które przy opisie modelu staną się bardziej oczywiste. Rzecz jasna, że im mniejsza powierzchnia regionu, tym mniejsze ryzyko błędnego określenia jego parametrów w modelu.

Do wyznaczania zbioru wszystkich możliwych wewnętrznie zgodnych planów produkcji rolniczej regionu albo nawet całego kraju (dalej nazywanego zbiorem planów dopuszczalnych) stosuje się zwykle programowanie liniowe <sup>3</sup>, a rozpatrywany obszar - region czy kraj -

<sup>2</sup> Istotnie, pojedyncze rozwiązanie optymalne zawiera zbyt mało informacji w porównaniu ze złożonością warunków, które powodować mogą jego zmianę. Niezbędne jest zatem wyznaczenie szeregu charakterystyk optymalnych dla różnych zadań, zasobów itd. (przyj. red.).

<sup>3</sup> Modele programowania nieliniowego nie zyskały takiej popularności, prawdopodobnie częściowo z powodu braku przekonujących metod rozwiązywania. Metodologia opracowana przez prof. R. Kulińskiego [25] pozwala na analizowanie rolnictwa opisanego funkcją produkcji Cobba-Douglasa, skądinąd dobrze znaną ekonomistom rolnym [36].



traktuje się jako jednostkę ekonomiczną. Taki sposób postępowania przyjęliśmy i my, zważając sobie sprawę z tego, że zarówno założenie liniowości jak i punktowości są znacznymi uproszczeniami i mogą przeto budzić szereg zastrzeżeń; niemniej jednak istnieje również wiele argumentów przemawiających na korzyść tych uproszczeń [2, 14, 18]<sup>4</sup>.

Dalsze założenia dotyczące określenia modelu (zazwyczaj, jawnie lub niejawnie, w podobnych pracach przyjmowane) są następujące:

- 1) poszukuje się rocznego planu produkcji rolniczej regionu;
- 2) o rozpatrywanym roku zakłada się, że jest gospodarczo typowy dla dłuższego okresu czasu, z czego wynika stabilność parametrów technologii rolniczych użytych w modelu;
- 3) o rozpatrywanym roku zakłada się także, że jest typowy ze względu na warunki pogodowe (uwzględniamy przy tym zmienność miesięcznych opadów i średnich temperatur, jednak nie bierzemy pod uwagę zjawisk bardzo rzadkich, jak np. przymrozki w lipcu);
- 4) otrzymany plan roczny powinien być dopuszczalny ze względu na warunki roku poprzedzającego i następnego, co oznacza, że wyklucza się możliwość rabunkowej eksploatacji ziemi<sup>5</sup>;
- 5) uwzględnione technologie rolnicze nie zawierają możliwości rewolucyjnych zmian sposobów postępowania produkcyjnego;

6) definicje zmiennych i ograniczeń modelu odpowiadają obecnemu stanowi wiedzy rolniczej, dokumentowanej dostępną literaturą.

Wiele elementów modelu określonych jest na podstawie grubych oszacowań. Niewątpliwie w modelu pominięto szereg aspektów szczegółowych zarówno agrotechnicznych jak i ekonomicznych. Jest to jednak konieczne przy rozważaniu zjawisk nie w pełni jeszcze zrozumiałych. Należałoby tu powołać się na uwagę P.A. Samuelsona: "w praktyce lepsze mogą być grube przybliżenia niż żadne" [4C].

---

<sup>4</sup> W istocie założenia te ograniczają możliwości zastosowania modeli posługujących się nimi do badań przestrzennych rolnictwa. Niektóre z dalej omawianych modeli uwzględniają np. jawny podział regionu na podregiony geograficzne albo jednostki administracyjne (przyj. red.).

<sup>5</sup> Rolnicy dysponują całkiem precyzyjną, jakkolwiek rozwlekłą, definicją rabunkowej eksploatacji ziemi. Definicja ta została przyjęta w modelu z pominięciem możliwości przyszłych jej zmian. W odniesieniu do produkcji zwierzęcej postulujemy po prostu stacjonarność stanów i struktur stad.

### 3. Zbiór dopuszczalnych planów produkcji rolnictwa regionu

Metody definiowania równań i nierówności (ograniczeń) wyznaczających zbiór dopuszczalnych planów produkcji regionu są rozwijane od ponad dwudziestu lat. Definicje ograniczeń i zmiennych przyjęte w modelu są oparte na pewnej modyfikacji metody opracowanej na Uniwersytecie Stanowym w Iowa, Ames, pod kierunkiem E.O. Heady'ego<sup>6</sup>. Nieco dalej przedstawione zostaną poczynione przez nas modyfikacje metody. Obecnie natomiast przedstawimy sposoby definiowania zmiennych i ograniczeń przejęte z podejścia Ames.

#### Zmienne

Wyróżnia się trzy grupy zmiennych:

- 1) globalne ilości pasz poszczególnych rodzajów;
- 2) opis hodowli zwierząt (ilości zwierząt poszczególnych rodzajów z uwzględnieniem przyjętych sposobów żywienia);
- 3) opis użytkowania ziemi (ilości hektarów gruntów określonych rodzajów, użytkowanych w określony sposób przy uwzględnieniu przyjętych płodozmianów).

Zmienne opisujące użytkowanie ziemi są podzielone na trzy podgrupy:

- a) powierzchnie przeznaczone pod płodozmiany, w których co najmniej jedna roślina będzie nawadniana;
- b) powierzchnie pod płodozmianami, w których żadna roślina nie będzie nawadniana, lecz położone na gruntach nadających się do nawadniania;
- c) powierzchnie pod różnymi płodozmianami na gruntach nie nadających się do nawadniania.

Poza tym wskazane jest wprowadzenie zmiennych dotyczących powierzchni gleb określonych rodzajów poddawanych zabiegom melioracyjnym, co pozwala na jawne wprowadzenie nawodnień. Ilość zmiennych w grupach 2 i 3 może wydawać się bardzo duża. Należy jednak pamiętać, że konkretne definicje zmiennych (i ograniczeń) muszą

---

<sup>6</sup> For. [4, 14, 16, 17, 30]. Metoda Ames określania ograniczeń regionalnych różni się od naszej, zwłaszcza jeśli chodzi o uwzględnienie zasobów wodnych. Przyczyn tego należy upatrywać w różnicy celów obu modeli. Model Ames ma naświetlać problem wodny całego subkontynentu, podczas gdy nasz ma odpowiadać specyficznym warunkom klimatycznym Europy środkowej.



odpowiadać specyficznym warunkom rozpatrywanych regionów. Pozwala to, przy jednoczesnym uwzględnieniu współczesnej wiedzy zootechnicznej i agronomicznej, na znaczne zredukowanie ilości zmiennych branych pod uwagę w konkretnych zastosowaniach.

#### Ograniczenia

W modelu wprowadzono cztery grupy ograniczeń dotyczących:

1) dostępnych zasobów środków produkcji: siły roboczej (ograniczenia roczne i sezonowe), budynków gospodarczych dla zwierząt i traktorów (lista uwzględnionych zasobów może być poszerzona o energię, paliwo, różne rodzaje nawozów oraz niektóre importowane pasze, jeśli nie zakłada się pełnej samowystarczalności paszowej regionu);

2) zadań produkcyjnych i gospodarczych stojących przed regionem, które mogą odnosić się do produkcji towarowej netto poszczególnych produktów lub ich przeliczeniowych agregatów (np. białka), albo do określonych wskaźników ekonomicznych;

3) powiązań między wartościami zmiennych, które zapewniają długoterminową właściwość (dopuszczalność) planów rocznych rolnictwa regionu (są to zatem równania warunkujące stabilność rozmiarów i struktur produkcji zwierzęcej, a także relacje między odcnodami z produkcji zwierzęcej i potrzebami nawozowymi produkcji roślinnej oraz wymaganiami ochrony środowiska <sup>7</sup>);

4) bilansów poszczególnych rodzajów pasz.

Należy dodać, że gleby różnych rodzajów powinny być ujęte w oddzielnych bilansach, tak aby ich własności mechaniczne oraz przydatność do nawodnień były właściwie ujęte. Bilanse te powinny oczywiście także zawierać zmienne dotyczące powierzczeni gleb poddawanych zabiegom melioracyjnym. Zmienne takie, z drugiej strony, mogą być powiązane w bilansach odzwierciedlających dostępność środków niezbędnych do przeprowadzenia melioracji.

---

<sup>7</sup> Model Ames uwzględnia dwa rodzaje ograniczeń na straty glebowe (przez erozję). Ograniczenia bezpośrednie wiążą straty substancji glebowej z poszczególnymi działalnościami (zmiennymi). Ograniczenia pośrednie polegają na uwzględnieniu określonych sposobów użytkowania ziemi zmniejszających straty 19,30. W naszym modelu stosuje się na razie tylko ograniczenia pośrednie.

#### 4. Współczynniki zapotrzebowania na wodę dla celów produkcyjnych

Współczynniki zapotrzebowania na wodę (zużycia wody) dla celów produkcji zwierzęcej mogą być wyznaczone bez trudności, natomiast ustalenie tych współczynników dla produkcji roślinnej jest znacznie trudniejsze, należy tu bowiem uwzględnić:

a) zmiany zapotrzebowań różnych upraw i ich odmian w ciągu kolejnych miesięcy okresu wegetacyjnego, co może powodować konieczność wprowadzenia miesięcznych, a nie rocznych współczynników zapotrzebowań;

b) zróżnicowanie zapotrzebowań roślin i ich odmian;

c) silne zróżnicowanie wrażliwości poszczególnych roślin i ich odmian na deficyt wody także przy zbliżonych zapotrzebowaniach;

a) dużą zmienność klimatu Polski.

Wymienione tu względy uzasadniają potrzebę rozbicia zapotrzebowań rocznych na zapotrzebowania miesięczne<sup>n</sup> i wzięcia pod uwagę rzeczywistych potrzeb związanych z konkretną sytuacją pogodową i wynikającymi z niej deficytami wody - zamiast posługiwania się średnią pogodą i zatem średnimi zapotrzebowaniami.

Przyjęliśmy, że zapotrzebowanie na wodę w rolnictwie jest równe sumie zapotrzebowania brutto na wodę przez dział hodowli oraz deficyt wody w uprawach wymagających nawodnień.

Nie uwzględniliśmy w naszym modelu:

a) odpływów wody;

b) wpływu sprawności poszczególnych typów nawodnień, metody, technologii i kompetencji stosowania nawodnień na stopień produkcyjnego wykorzystania wody wydatkowanej;

c) jakości wody dostarczanej rolnictwu.

Pominięcie tych elementów w modelu nie oznacza, iż sądzimy, że są one mało istotne. Przeciwnie, widzimy znaczenie wpływu jakości wody na glebę, plony i produkcję zwierzęcą [34]. Zdajemy sobie również sprawę, że stosunek rzeczywistego wydatku wody do jej deficytu biologicznego może wynosić 2-3 nawet przy prawidłowym użytkowaniu urządzeń nawadniających. Nieuwzględnienie w modelu tych różnych aspektów wynikało zatem wyłącznie z braku odpowiednich danych.



## 5. Wzory określające jednostkowe produkcyjne zużycie wody w produkcji roślinnej na obszarach nawadnianych

Istnieje wiele metod, za pomocą których można by próbować oszacować jednostkowe zużycie wody w produkcji roślinnej. Metoda wykorzystywana w dalszych rozważaniach, zalecana przez wielu autorów [8,9,32], zasługuje na szczególną uwagę, przynajmniej w warunkach Europy środkowej. Wzory Klatta-Pressa [21,39] wiążą optymalne<sup>8</sup> miesięczne opady deszczu dla poszczególnych roślin (wyodrębniono 39 gatunków) ze średnią miesięczną temperaturą miesiąca oraz rodzajem gleby (wyodrębniono 5 klas). Do ważniejszych czynników, których nie uwzględnia się we wzorach Klatta-Pressa, należą: nasłonecznienie, średnia prędkość wiatru i falistość terenu<sup>9</sup> (uwzględnienie czynnika falistości terenu jest dlatego możliwe, że istnieją tablice poprawek do wzorów Klatta-Pressa dla głównych krain geograficznych Polski [20]).

Należy tu zauważyć, że forma modelu nie determinuje w zasadzie rodzaju użytych wzorów na zużycie wody, a zatem dowolne wzory mogłyby być użyte. Wybór wzorów Klatta-Pressa wynika z subiektywnej oceny wyższości tych wzorów nad innymi w sensie przydatności do naszych potrzeb.

Wzory Klatta-Pressa ustalają jednostkowe optymalne miesięczne zapotrzebowanie na opady deszczu  $u_i(t, \tau, j, r)$  dla poszczególnych upraw  $i$ , miesięcy  $t$ , średniej temperatury miesiąca  $\tau$ , rodzaju gleby  $j$  oraz położenia geograficznego - przynależności do jednej z głównych krain geograficznych Polski  $r$ .

Przedstawiając wzory przyjęte przez nas przy określaniu jednostkowych wielkości zużycia wody w produkcji roślinnej pragnęlibyśmy zwrócić uwagę na następujące fakty:

- Uprawy efektywnie nawadniane różnią się pod wieloma względami od nie nawadnianych. Jest to szczególnie ważne przy rozpatrywaniu nawadniania z użyciem deszczowni.

- W polskich warunkach klimatycznych deszczowanie, które ucho-

<sup>8</sup> Optymalne, tj. gwarantujące najlepsze kombinacje jakości i wielkości plonu w warunkach rzeczywistych.

<sup>9</sup> Podobno Klatt zmodyfikował swoje wzory tak, aby dodatkowo uwzględniać wilgotność powietrza.

azi za najbardziej pożądaną formę nawadniania, można zalecać tylko tam, gdzie istnieje system odwadniająca luo gazie poziom wody grun-  
towej jest poniżej poziomu układów korzeniowych roślin. W przeciwnym przypadku istnieje niebezpieczeństwo przedawkowania, zwłaszcza jeżeli po zastosowaniu normalnej dawki deszczowania wystąpią dłuższe opady.

- Włączenie uprawy nawadnianej do planu produkcji rolniczej pociąga za sobą konieczność podjęcia strukturalnych decyzji produkcyjnych i technologicznych. Dotyczą one zarówno wyboru odmiany rośliny jak i sposobu oraz terminu siewu i zastosowanego nawożenia.

- Podjęcie tych decyzji strukturalnych powoduje konieczność zaspakajania potrzeb wodnych związanych z daną uprawą. W przypadku niepełnego zaspokojenia tych potrzeb plony będą znacznie mniejsze i bardziej zawodne niż plony roślin uprawianych w sposób tradycyjny. Tak więc oczekiwanie dużych i stabilnych plonów jest uzasadnione tylko wtedy, kiedy system nawadniająca będzie gwarantował zaspokojenie potrzeb wodnych roślin uprawianych według technologii zarządzających nawadnianie.

Wzory określające jednostkowe produkcyjne zużycie wody w uprawach nawadnianych możemy zapisać jako:

$$q_i(t, \tau, d, j, r) = \begin{cases} 0 & \text{gdy } u_i(t, \tau, j, r) \leq d \\ u_i(t, \tau, j, r) - d & \text{w przypadku przeciwnym} \end{cases} \quad (1)$$

gazie:  $d$  - opad skuteczny miesiąca  $t$ <sup>10</sup>;  $q_i(t, \tau, j, r, d)$  - wyrażone w milimetrach efektywnego opadu jednostkowe zapotrzebowanie produkcyjne rośliny i uprawianej na glebie  $j$  w makroregionie  $r$  w miesiącu  $t$  odznaczającym się średnią temperaturą  $\tau$  i opadem skutecznym  $d$ ;  $u_i(t, \tau, j, r)$  - optymalne zapotrzebowanie rośliny i obliczone zgodnie z teorią Klatta-Pressa.

Założyliśmy, że deficyty wody w uprawach nawadnianych są zawsze zaspakajane. Dlatego też nie rozważa się skutków deficytów wody.

Podobne stanowisko zajmują także autorzy innych prac poświęconych modelowaniu nawodnień. Nie uwzględnia się też technologii po-

<sup>10</sup> Zgodnie z teorią Klatta-Pressa zakłada się, że jakość opadu miesięcznego  $d$  nie wpływa na wielkość zapotrzebowan optymalnych  $u_i$ .



legających na nieoptymalnym (niepełnym) zaspokojeniu potrzeb wodnych. Uwzględnienie takich technologii byłoby oczywiście możliwe przy współpracy kompetentnych specjalistów.

Globalne miesięczne zapotrzebowanie na wodę w rolnictwie określonego regionu glebowo-klimatycznego można zatem przedstawić jako:

$$Q(t, \tau, d) = \sum_{i \in I} x_i q_i(t, \tau, d) \quad (2)$$

gdzie:  $i$  - indeks działalności produkcyjnej,  $I$  - zbiór indeksów działalności "wodochłonnych" (uprawy nawadniane oraz działalności produkcji zwierzęcej),  $x_i$  - poziom (wielkość)  $i$ -tej działalności,  $q_i(t, \tau, d)$  - jednostkowe zapotrzebowanie produkcyjne na wodę w  $i$ -tej działalności w miesiącu  $t$  oznaczającym się średnią temperaturą  $\tau$  oraz opadem  $d$ .

Ponieważ zakłada się, że zmienne w produkcji roślinnej są - w ogólnym przypadku - powierzchniami uprawianymi według określonych płocozmianów, więc wielkości  $q_i(t, \tau, d)$  są odpowiednimi średnimi po  $j$  wielkości  $q_i(t, \tau, d, j, r)$  ze wzoru (1) albo oddzielnie wyliczonymi zapotrzebowaniami produkcji zwierzęcej.

Opuszczony został indeks przynależności makroregionalnej  $r$ , założono bowiem, że mamy do czynienia z określonym regionem. Natomiast wielkości  $q_i(t, \tau, d)$  dla działalności w produkcji zwierzęcej można w zasadzie potraktować jako niezależne od wielkości pogodowych  $\tau, d$ . Tak więc dla zmiennych w produkcji zwierzęcej oblicza się jednostkowe zapotrzebowanie na wodę  $q_i(t)$  różne dla różnych miesięcy i rodzajów zwierząt.

## 6. Określenie funkcji celu

Próba zdefiniowania prostego kryterium celu w odniesieniu do przedsięwzięć gospodarki wodnej, zmieniających w sposób istotny stosunki wodne na dużym obszarze, musi prawdopodobnie być nieudana choćby dlatego, że z zrealizowaniem różnych wariantów przedsięwzięcia będzie się wiązało wiele różnych skutków natury deterministycznej i stochastycznej, odpowiadających różnym możliwym celom [26, 41]. Zwłaszcza można, z tego punktu widzenia, wiele za-

rzucic metodom, których podstawą są krótkookresowe prognozy cen rynkowych lub stopy dyskontowej.

Istnieją dwa typy metod pozwalających na określenie rozwiązań optymalnych w sytuacjach odznaczających się wielorakością celów:

1. Metody, w których szuka się funkcji użyteczności będących agregatami (multiplikatywnymi, liniowymi, kwadratowymi) zestawów celów częściowych. Tak określona funkcja użyteczności jest więc w istocie pojedynczą funkcją celu zadania programowania liniowego.

2. Podejścia optymalizacji wektorowej, w której poszukuje się rozwiązań sprawnych (rozwiązań Pareto).

Oba te podejścia mają swoich zwolenników wśród specjalistów [c, 19, 22, 29]. Również autorzy niniejszej pracy nie są w tej sprawie całkowicie jednomyślni [12, 35].

Pamiętając o tym, że model ma dostarczać wewnętrznie zgodnych (dopasowanych do określonych zadań i środków) planów rolnictwa państwowego określonego regionu (dla dłuższego okresu czasu - pr. y. red.), można ogólnie stwierdzić, że kryterium (kryteria) celu powinny odzwierciedlać postulat minimalizacji zużycia wody<sup>11</sup>.

Wzrost parametry  $d$  oraz  $\tau$  byłyby przynajmniej w przybliżeniu stałe w dłuższych okresach czasu (dla wszystkich miesięcy okresu wegetacyjnego), wówczas stosowna funkcja kryterium byłaby bardzo prosta:

$$\text{zminimalizować } Q(1, \tau, d) + Q(2, \tau, d) + \dots + Q(12, \tau, d) \quad (3)$$

skonstruowanie zaś dodatkowych nierówności, wykluczających występowanie nieporządkanych kulminacji zapotrzebowania na wodę w określonych miesiącach, nie nastroczyłoby żadnych trudności [10]. Niemniej, wartości parametrów  $\tau$  i  $d$  dla poszczególnych miesięcy okresu wegetacyjnego wykazują bardzo duże wahaniami na rozpatrywanym obszarze geograficznym. Tak więc użycie funkcji celu (3) nie wydaje się uzasadnione. Jesteśmy zatem zmuszeni rozpatrywać zadanie z wieloma celami. Celami tymi są wielkości zapotrzebowania na wodę, przejawiające się w poszczególnych miesiącach okresu wegetacyjnego

<sup>11</sup> Dotyczyłoby to również innych zasobów, jeżeli tylko w modelu uwzględnio o właściwą wielkość zadań i pominięto relacje finansowe. W przypadku Górnej Noteci woda jest zasobem najistotniejszym (przyp. red.).



i przy poszczególnych możliwych warunkach pogodowych. Oba przedstawione typy podejść, pozwalających na określenie rozwiązań optymalnych przy wielorakosci celów, mogą tu znaleźć zastosowanie<sup>12</sup>.

## 7. Dwie możliwe formy funkcji użyteczności

Najprostszą formą funkcji użyteczności syntetyzującej cele cząstkowe jest w opisywanej sytuacji funkcja liniowa w postaci następującej:

$$\sum_t \sum_{\tau, d} Q(t, \tau, d) p(t, \tau, d) \quad (4)$$

gdzie  $p(t, \tau, d)$  oznacza prawdopodobieństwo (częstość) wystąpienia w miesiącu  $t$  opadu skutecznego  $d$  oraz średniej temperatury  $\tau$ .

Wyrażenie (4), reprezentujące średnie (oczekiwane) roczne zużycie wody jest liniowe ze względu na zmienne decyzyjne modelu. Tak więc zadanie minimalizacji wyrażenia (4) przy warunkach ograniczających jest de facto zadaniem programowania liniowego. Dysponując sprawnym komputerem można więc liczyć na rozwiązanie zadań optymalizacji zużycia wody z funkcją (4) nawet przy tysiącach zmiennych i ograniczeń.

Niestety, podejście powyższe nie jest wolne od pewnych niedogodności, a mianowicie, roczne i miesięczne zapotrzebowania na wodę przy rozwiązaniu minimalizującym<sup>12</sup> (4) mogą odznaczać się bardzo dużymi wariacjami. Co więcej, nawet wartości oczekiwane zapotrzebowania na wodę w poszczególnych miesiącach mogą wykazywać bardzo duże różnice.

Minimalizacja drugich momentów (wariancji) jest z reguły przed-

<sup>12</sup> Należy wyjaśnić, że zastosowanie któregośkolwiek z podejść wymaga wielu czynności przygotowawczych. Po pierwsze, należałoby ujawnić społeczne preferencje związane ze zmiennością (i wielkością) zapotrzebowania na wodę w poszczególnych sytuacjach. Preferencje te, przyjęłyby ostatecznie postać określonego podejścia "użytecznościowego" albo podejścia optymalizacji wektorowej. Po drugie, prawdopodobieństwa lub częstotliwości wystąpienia poszczególnych sytuacji pogodowych muszą zostać oszacowane. Po trzecie, należy opracować odpowiednie algorytmy wyznaczania optymalnych (względnie sprawnych) rozwiązań zadań matematycznych powstających w wyniku poprzednich zabiegów.

kładana nad minimalizację wartości średnich. W naszym przypadku za bardziej sensowną funkcję użyteczności można by uznać formę następującą:

$$\sum_t \sum_{\tau, d} Q(r, \tau, d)^2 p(t, \tau, d) \quad (5)$$

Minimalizując wartość wyrażenia (5) uwzględnia się nie tylko wielkość, ale także zmienność zapotrzebowania na wodę w poszczególnych miesiącach. Warto zauważyć, że (5) jest dodatnio określona (właściwą od dołu) formą kwadratową zmiennych decyzyjnych. Wynika z tego, że istnieje jednoznaczne rozwiązanie optymalne zadania (liniowego) z funkcją celu (5). Ponadto, rozwiązywanie zadań tego typu powinno być (przynajmniej w teorii) tak proste jak rozwiązywanie zadań programowania liniowego<sup>13</sup>.

#### c. Możliwe podejście optymalizacji wektorowej

Najprostsza metoda optymalizacji wektorowej, możliwa do zastosowania w naszym kontekście, opiera się na postulacie minimalizacji maksymalnej wielkości zapotrzebowania na wodę w dowolnym miesiącu i przy dowolnym "prawdopodobnym" skutecznym opadzie i średniej temperaturze. Postulat ten z kolei odpowiada opinii, w myśl której przy sprawnym planie działalności produkcyjnej rolnictwa regionu nie można zmniejszyć zużycia wody w określonej sytuacji pogodowej (w określonym miesiącu okresu wegetacyjnego) bez zwiększenia zużycia przy innej sytuacji pogodowej (w jakimś miesiącu okresu wegetacyjnego).

Zapis planu spełniającego ten postulat wymaga wprowadzenia pomocniczej zmiennej o wartościach nieujemnych ( $Q$ ) reprezentującej minimalną wielkość maksymalnego zapotrzebowania miesięcznego.  $Q$  musi spełniać następujące nierówności liniowe względem  $Q$  i zmiennych decyzyjnych  $x$ :

---

<sup>13</sup> Efektowny algorytm rozwiązywania zadań programowania kwadratowego został opracowany i uruchomiony w Instytucie Badań Systemowych PAN. Może on być używany do rozwiązywania zadań o funkcji celu określonej w (5).



$$Q(t, \tau, d) - Q \leq 0$$

(6)

które należałoby zapisać dla wszystkich  $t$  (miesiące okresu wegetacyjnego) oraz "najprawdopodobniejszych" wartości parametrów  $\tau$ ,  $d$ .

Dla wyznaczenia planu minimalizującego maksymalną wielkość możliwego miesięcznego zużycia wody należy zatem rozwiązać zadanie programowania liniowego

zminimalizować  $Q$

przy warunkach (6) oraz przy warunkach ograniczających nałożonych na wartości zmiennych decyzyjnych  $x$ .

Warto zauważyć, że warunki te można dodatkowo uzupełnić, jeżeli uważa się, że pewne zapotrzebowania  $Q(t, \tau, d)$  są w jakiejś mierze bardziej "priorytetowe". Można zwłaszcza wymagać spełnienia warunków (6) tylko dla najczęściej występujących wartości  $\tau$  oraz  $d$ . Ta wersja modelu bezpośrednio odpowiadałaby zasadzie programowania stochastycznego, zwanego "chance constrained programming" [5]. Jednocześnie ta wersja modelu może o wiele bardziej odpowiadać praktyce hydrometeorologicznej.

#### Aneks. Model dla regionu Zlewni Górnej Noteci

Dla przetestowania przedstawionej koncepcji zdecydowano się zbudować mały model programowania liniowego umożliwiający wyznaczanie planów produkcji rolnictwa minimalizujących maksymalne miesięczne zapotrzebowania na wodę. Model ten przez swoje konkretne parametry odpowiada warunkom glebowym, klimatycznym i ekonomicznym Zlewni Górnej Noteci. Ostatecznie model próbny zawiera 104 zmienne w produkcji roślinnej, 65 w produkcji zwierzęcej oraz 07 ograniczeń. Wśród tych ograniczeń występuje 27 ograniczeń typu (6), odpowiadających miesięcznym danym meteorologicznym dla o kolejnych lat 1949-1956. W teorii dla 0-letniego okresu może być konieczne uwzględnienie 48 ograniczeń przy 0-miesięcznych okresach wegetacyjnych. W praktyce 21 z 48 ograniczeń okazało się zbędnych. Ich niespełnienie przez jakiegokolwiek dopuszczalne rozwiązanie zadania jest niemożliwe. Sama macierz ograniczeń okazała się raczej "gęsta". Występuje w niej około 6000 parametrów niezerowych (ustaliliśmy je wszystkie jesteśmy skłonni uwierzyć, że wyspecyfikowanie modelu Ames zajęło ponad 15 lat). Wyniki modelu będą omówione w czasopi-

mach "Gospodarka Wodna" oraz "Zagadnienia Ekonomiki Rolnej". Oczywiście, niezoładne będzie dalsze rozwijanie modelu, tak by uwzględnić np. istnienie wyodrębnionych podregionów klimatyczno-glebowych w "ramach" Zlewni Górnej Noteci.

#### Literatura

- [1] Bassoco L.M., Norton R., Silos J.: Appraisal of Irrigation Project and Related Policies and Investment. Water Resource Res. 1974.
- [2] Bishay F.K.: Models for Spatial Agricultural Development Planning. Rotterdam 1974.
- [3] Bos M.G.: Some Influences of Project Management on Irrigation Efficiencies. Int. Inst. of Land Reclamation and Improvement Reprint 1977.
- [4] Brokken R.F., Heady E.C.: Interregional Adjustment in Crop and Livestock Production: A Linear Programming Analysis. U.S. Dept. Agric. Tech. Bull. 1396, 1968.
- [5] Charnes A., Cooper W.: Chance Constrained Programming. Manag. Sci. 1959.
- [6] David L., Duckstein L.: Long-range Planning of Water Resources. A Multiobjective Approach. UNDPNN Interregional Seminar on River Basin and Interbasin Development. Budapest Center for Natural Resources, Energy and Transport. UN, New York 1975.
- [7] De Ridder N.A.: The Use of Models in Solving Agricultural Development Problems. Agriculture a. Environment 1974.
- [8] Drupka S.: Deszczownie i deszczowanie. Warszawa 1972.
- [9] Dzieżyc J.: Nawadnianie roślin. Warszawa 1974.
- [10] Dudley N.J., Howell D.T., Musgrave W.F.: Optimal Interseasonal Irrigation Water Allocation. Water Resources Res. 1971.
- [11] Gisser M., Pohoryles S.: Water Shortage in Israel: Long-Run Policy for the Farm Sector. Water Resources Res. 1977.
- [12] Gomulka J.: Metoda wariantowa w planowaniu rozmieszczenia produkcji rolniczej. Pr. dokt. Instytut Ekonomiki Rolnej.
- [13] Holmes Y., Hall W.A.: Multiobjectives in Water Resources Systems Analysis. The Surrogate Worth Trade Off Method. Water Resources Res. 1974.



- [14] Hall H.H., Heady E.O.: Models for the Analysis of Interregional Competition. Product Allocation, Land Use and Spatial Equilibrium. In: Economic Models and Quantitative Methods for Decision Making and Planning in Agriculture. Proc. East-West Seminar, Ames 1971.
- [15] Hanke S.H., Carter P.H., Bugg P.: Project Evaluation During Inflation. Water Resources Res. 1975.
- [16] Heady E.O., Dvodskin D.D.: Agricultural Energy Modelling for Policy Purposes. Amer. J. Agricult. Economics 1977.
- [17] Eyvidson R.: A Programming Model Incorporating Producing Regions, Consuming Markets and Individual Farms for Optimizing National Agricultural Patterns and Comparative Advantage, Ames 1973.
- [18] Eyvidson R., Hall H.: Applications of Linear and Nonlinear Programming Models in Specifying Land Use. Spatial Equilibrium and Prices for Agriculture. In: Economic Models, Estimation and Risk Programming. Essays in Honor of G. Tintner. New York 1969.
- [19] Eyvidson R., Madsen H.C., Nicol K.J., Hargroves S.H.: National and Interregional Models of Water Demand, Land Use and Agricultural Policies. Water Resources Res. 1973.
- [20] Grabarczyk S.: Melioracje rolne. W: Podstawy agrotechniki. Red. W.W. Niewiadomski. Warszawa 1971.
- [21] Klatt F.: Technik und Anwendung der Feldeberechnung. Berlin 1956.
- [22] Keeney R.L., Wood E.F.: An Illustrative Example of the Use of Multiattribute Utility Theory of water Resources Planning. Water Resources Res. 1977.
- [23] Kruś L.: Water Allocation Problem in an Aggregated Production System. W: Notec Region Development. Proc. Task Force Meeting II. Warszawa 1978.
- [24] Kulikowski R.: General Notec Project Modelling Methodology. W: Notec Region Development. Proc. Task Force Meeting II. Warszawa 1978.
- [25] Kulikowski R.: Analiza systemowa i jej zastosowania. Warszawa 1977.
- [26] Kusick R.B., Adams R.M., Snyder J.H.: The Value of Goods and Services - Implications for a Flexible National Water Policy. Water Resources Res. 1977.

- [27] Loughlin J.C.: The Efficiency and Equity of Cost Allocation Methods for Multipurpose Project. *Water Resources Res.* 1977.
- [28] Makowski M.: Optimization Model for the Development of the Water System at Upper Noteć. W: Noteć Region Development. Proc. Task Force Meeting II. Warszawa 1978.
- [29] Monarchi D.E., Kisiel C.S., Duckstein L.: Interactive Multi-objective Programming in Water Resources. *Water Resources Res.* 1973.
- [30] Nicol K.J., Heady E.O.: A Model for Regional Agricultural Analysis of Land and Water Use. Agricultural Structure and the Environment. A Documentation. Ames 1975.
- [31] Olson S.H.: Some Conceptual Problems of Interpreting the Value of Water in Humid Regions. *Water Resources Res.* 1966.
- [32] Ostromecki J.: Podstawy melioracji nawadniających. Warszawa 1973.
- [33] Parker D.S., Crutchfield J.A.: Water Quality Management and the Time Profile of Benefits and Costs. *Water Resources Res.* 1968.
- [34] Fincock M.G.: Assessing Impact of Declining Water Quality on Gross Value of Output of Agriculture. *Water Resources Res.* 1969.
- [35] Podkaminer L.: Planowanie optymalizacyjne w rolnictwie w warunkach niepewności. Warszawa 1977.
- [36] Podkaminer L., Zegar J.: Model rolnictwa polskiego. Zagadnienia Ekonomiki Rolnej (w druku).
- [37] Pomerada C.: Economic Analysis of Irrigation Production Function: An Application of Linear Programming. *Water Resources Bull.* 1978.
- [38] Popow I.G.: Metody matematyczne w rachunku ekonomiczno-rolniczym. Warszawa 1966.
- [39] Press H.: Praktyka sielskochozjastwiennych melioracji. Moskwa 1965.
- [40] Samuelson P.A.: Probability, Utility and Independence Axiom. *Econometrica* 1952.
- [41] Singa R.H., Wilkinson K.P.: On the Measurement of Environmental Impacts of Public Project from a Sociological Perspective. *Water Resources Bull.* 1974.
- [42] Woś A.: Zagospodarowanie rejonu Wieprz-Łrzna. Warszawa 1973.



### III. MODEL OPTIMALIZUJĄCY PRODUKCJĘ ROLNICZĄ W REGIONIE INTENSYWNEGO NAWADNIANIA

#### 1. Ogólna charakterystyka modelu <sup>1</sup>

##### 1.1. Struktura przestrzenna

Przeznaczeniem przedstawionego tu modelu jest określenie (optymalnej) struktury produkcji rolniczej i jej organizacji przestrzennej na potencjalnie nawadnianym obszarze w regionie, w którym ewentualne nawodnienia stanowią istotną część całości powierzchni upraw.

W tym celu rozważany region został podzielony na tzw. naturalne mikroregiony rolnicze, a te z kolei na tzw. obszary typów produkcji. Naturalny mikroregion rolniczy jest obszarem o względnie jednolitej hipsometrii, glebach i rodzajach upraw. Obszary typów produkcji wyróżnianie wewnątrz mikroregionów są terenami o względnie jednolitej strukturze użytkowania ziemi (procent użytków zielonych w ogólnej powierzchni użytkowanej rolniczo), strukturze gospodarstw (procent udziału gospodarstw o różnej powierzchni) i zasobach siły roboczej w gospodarstwach indywidualnych. Dokonany według podanych kryteriów podział przestrzenny został nałożony na podział obszarów na tereny nadające się i nie nadające się do nawodnień (podział ten był oparty na warunkach glebowych i na możliwościach dostarczania wody do nawodnień w rozsądnym zakresie kosztów). W wyniku obu podziałów wyznaczone zostały potencjalnie nawadniane ob-

---

<sup>✉</sup> Instytut Melioracji i Użytków Zielonych, Falenty, 05-550 Raszyn.

<sup>✉</sup> SGGW, Instytut Ekonomiki i Organizacji Rolnictwa, Nowoursynowska 166, 02-975 Warszawa.

<sup>1</sup> Tytuły części zostały wprowadzone przy redakcji.

szary typów produkcji jako podstawowe obiekty przestrzenne modelu.

## 1.2. Struktura organizacyjna

Omawiany tu model został podzielony na dwa poziomy. Na pierwszym poziomie optymalizowana jest działalność małych (indywidualnych) i dużych (uspołecznionych) gospodarstw nawadnianych. Optymalizacja ta jest przeprowadzana w oddzielnych (pod)modelach dla poszczególnych obszarów typów produkcyjnych i kilku typowych wielkości obu wymienionych rodzajów gospodarstw. Zakładano bowiem, że wielkość gospodarstwa nie ma istotnego wpływu na strukturę działalności produkcyjnej, jeśli jest zawarta w pewnym przedziale, natomiast wpływ ten musi być już uwzględniony, jeśli wielkość wychodzi poza dany przedział. Celem optymalizacji dla gospodarstw indywidualnych jest maksymalizacja rocznego dochodu brutto, natomiast dla gospodarstw uspołecznionych - maksymalizacja zysku (jako różnicy między wartością sprzedaży a kosztem produkcji - przyp. red.). Przyjęto, że kryteriami takimi posługują się podejmujący decyzje w obu rodzajach gospodarstw. Jednym z głównych ograniczeń (przy optymalizacji) dla gospodarstw indywidualnych wydaje się ilość siły roboczej. To ograniczenie nie jest brane pod uwagę przy rozważaniu gospodarstw uspołecznionych, w których za to uwzględniany jest koszt pozyskania dodatkowej siły roboczej w postaci kosztu mieszkania dla nowego pracownika.

Na podstawie obecnej struktury gospodarstw i optimów otrzymanych dla modeli gospodarstw nawadnianych wyliczana jest roczna średnia ważona efektów dla gospodarki narodowej na 1 ha ziemi w nawadnianych gospodarstwach indywidualnych dla każdego obszaru typów produkcji. Między innymi wykorzystywane są w tych wyliczeniach ceny produktów rolnych oparte na cenach obowiązujących w handlu zagranicznym. Uwzględnia się także amortyzację i opodatkowanie środków trwałych jak również koszty stałe urządzeń nawadniająco/melioracyjnych gospodarstw. Od wyliczonego w powyższy sposób efektu dla gospodarki narodowej z terenów nawadnianych odejmowany jest analogiczny efekt dla dla tego samego, lecz nie nawadnianego, obszaru typu produkcji. Efekt ten jest wyliczany dla istniejącej struktury upraw i zbiorów bez nawodnień. Taka sama procedura jest powtarzana dla gospodarstw uspołecznionych, przy czym zamiast efek-



tów na 1 ha wyznaczane są efekty ogółem. Wynika to z założenia, że nawodnienie może objąć albo całe gospodarstwo, albo wcale, nie może natomiast objąć jego części. Przez pojęcie gospodarstw uspołeczniczonych rozumie się tu nie całości aktualnie wyróżnianych wewnątrz różnorodnych gospodarstw, lecz ich części stanowiące spójne topograficznie obszary produkcji. Jednocześnie przez nawadnianie całego gospodarstwa jest rozumiane oczywiście nawadnianie (w całości) jego ustalonej, najbardziej się do tego nadającej części. Jeśli zaś chodzi o gospodarstwa indywidualne, to z uwagi na dużą ilość niewielkich takich gospodarstw na każdym obszarze typów produkcji, ilość nawadnianych hektarów wydaje się wystarczająco dobrym przybliżeniem zmiennej decyzyjnej (odnoszącej się do nawadniania). Modele pojedynczych gospodarstw nie są przedmiotem niniejszego omówienia. Niektóre z nich można znaleźć w [1] i [2].

Model regionalny, stanowiący drugi poziom modelowania, maksymalizuje roczny efekt (zysk) z całości potencjalnie nawadnianych obszarów, wyliczony z punktu widzenia gospodarki narodowej. W funkcji celu, obok zysków z terenów nawadnianych w porównaniu z nie nawadnianymi, uwzględniono również koszty regionalnego systemu magazynowania i rozprowadzania wody (te drugie stanowią uzupełnienie kosztów stałych uwzględnianych w modelach gospodarstw należących do pierwszego poziomu modelowania). Rozwiązanie modelu otrzymywane jest przy dwu założeniach co do struktury gospodarstw: po pierwsze rozkład wielkości pozostanie nie zmieniony, po drugie obszary nawadniane będą w całości należały do gospodarstw uspołeczniczonych. Głównym ograniczeniem będzie w tym zadaniu zaopatrzenie w wodę do nawadniania. Przypuszcza się, że ilość wody, jaką w granicach rozsądnych kosztów jednostkowych można dostarczyć z własnych zasobów regionu oraz z zewnątrz, może nie wystarczyć do nawodnienia wszystkich obszarów nadających się do nawodnienia. Ogólne to ograniczenie dzieli się na szereg ograniczeń szczegółowych co do ilości i wielkości możliwych do skonstruowania zbiorników i instalacji przesyłowych oraz ich wzajemnych relacji. W wyniku tego ilości wody dostarczanej potencjalnie przez system nawadniający do poszczególnych obszarów typów produkcyjnych są ograniczone.

Część modelu rolniczego regionu nawadnianego związana z zagadnieniem systemu wodnego jest nieco bardziej szczegółowo opisana w

[3]. Rozwiązano tam również prosty przykład hipotetycznego zadania optymalizacji.

## 2. Zastosowanie do regionu Górnej Noteci

### 2.1. Postać modelu

W celu przedstawienia wyników w niniejszej pracy rozwiązano za pomocą opisanego wyżej modelu dość duże zadanie dotyczące pilotowego systemu nawadniania w regionie Górnej Noteci. Istniejące dane dotyczące tego terenu oraz ograniczona ilość czasu spowodowały wprowadzenie do modelu pewnych modyfikacji i upraszczających założeń.

Przed wszystkim założono, że zbiorniki będą pracowały z horyzontem wieloletnim, jako że na to wskazywały posiadane informacje o ilościach wody wpływającej do systemu oraz przewidywanych pojemnościach zbiorników<sup>2</sup> (W. Płaza w [6]). Dla uproszczenia okres nawodnień nie został podzielony na części - podokresy - lecz uwzględniony w całości. Tereny nadające się do nawodnienia nie były dzielone według rodzaju własności. Również koszt urządzeń nawadniających w obu rodzajach własności przyjęto taki sam, jakkolwiek może tu istnieć pewna niewielka różnica na korzyść technik używanych w gospodarstwach dużych [6]. Wzrost dochodu czy zysku na 1 ha w poszczególnych obszarach typów produkcji nie były w wykonanym przykładzie wyznaczane z modeli optymalizacyjnych gospodarstw, lecz na podstawie typowych rodzajów upraw i wielkości zbiorów dla różnych kompleksów jakościowych gleb przy ich nawadnianiu, zgodnie z opisem w [5]. W wyznaczaniu tych wartości zysków założono także, że różnice w kosztach i wydajnościach między dwoma rodzajami własności będą w przyszłości poważnie zmniejszać się. Ewentualny wzrost zysków wynikał w modelu wyłącznie z produkcji roślinnej. Dopuszczono możliwość częściowego nawadniania dużych gospodarstw.

Wszystkie obszary typów produkcji obejmujące wyłącznie gleby niskich jakości zostały z góry wyłączone spod nawodnień. Jednocze-

---

<sup>2</sup> Co do założenia tego, oznaczającego znaczny (potencjalnie) udział objętości wody przetrzymywanej na następny rok lub pojemności zostawianej na wpływ w następnym roku" zdania ekspertów są podzielone" (przyp. red.).



śnie wiele gleb średniej jakości, na których nawodnienia mogłyby przynieść istotne korzyści, jest często tak przemieszanych z glebami złymi, których nawadnianie nie miałoby sensu, że dany obszar w całości nie nadają się do nawadniania.

Model poziomu drugiego w postaci, w jakiej został zastosowany do regionu Górnej Noteci, przedstawiał się następująco:

A. Maksymalizowana funkcja celu

$$\sum_{ijk} PTT_{ijk}(PI_i - IC_i - WTC_{ijk}) - \sum_{lv} LR_{lv} LRC_{lv} +$$

$$- \sum_{mv} AR_{mv} ARC_{mv} - \sum_{nv} WCS_{nv} WCSC_{nv} - \sum_n CW_n CWC_n \quad (1)$$

Niektóre zmienne decyzyjne zjawiają się w funkcji celu z zerowymi współczynnikami. Dotyczy to tych ilości wody, które nie są pobierane do nawadniania tam, gdzie się je uzyskuje, ale poniżej z danego cieką, którym pozwala się im spłynąć.

B. Ograniczenia

a. Bilans ilości wody przy każdym źródle

Źródłem wody może być instalacja przesyłowa, zbiornik, odcinek rzeki lub jeziora. Nie przedstawiamy tu zapisu tego oczywistego typu ograniczenia, aby nie mnożyć niepotrzebnie oznaczeń, wyjaśnimy jedynie, że po jednej stronie bilansów umieszczone są wpływy do danego odcinka rzeki, zbiornika lub odcinka instalacji nawadniającej. Po drugiej, naturalnie, umieszczane są odpowiednie wypływy, z uwzględnieniem wody pobranej do nawadniania obszaru typu produkcji nawadnianego z danego źródła (ilość hektarów pomnożony przez okresową głębokość nawadniania - głębokości te są ustalane dla przeciętnego roku suchego). Jeśli wypływ pozostaje w regionie, bilans przyjmuje postać równościową, jeżeli natomiast część jego opuszcza

<sup>3</sup> Pierwszy składnik odzwierciedla dochód, następne zaś koszty systemu wodnego (zasobów - jezior i zbiorników sztucznych oraz transportu wody); w kolejnych składnikach pierwszy czynnik jest ilością, drugi zaś zyskiem lub kosztem jednostkowym - zob. oznaczenia na końcu pracy (przyp. red.).

region, to bilans staje się ograniczeniem nierównościowym ( $\geq$ ).

Zagadnienia jakości wody nie zostały uwzględnione w modelu z powodu braku właściwych informacji (tak jak w [4]). Cała woda zawarta w systemie, z wyjątkiem wody pobranej przez użytkowników nierolniczych, uważana jest za nadającą się do nawodnień.

b. Wybór wariantów systemu zbiorników i instalacji przesyłowych

$$\sum_v LR_{lv} = 1 \quad \text{dla każdego } l \quad (2)$$

$$\sum_v AR_{mv} = 1 \quad \text{dla każdego } m \quad (3)$$

$$\sum_v WCS_{nv} = 1 \quad \text{dla każdego } n \quad (4)$$

Ograniczenia powyższe oznaczają, że każdy element systemu ma tzw. wariant zerowy, sprowadzający się do nierealizowania danego elementu. Nawet jeśli zostaną wybrane warianty zerowe, istnieje jednak możliwość dostarczenia pewnej ilości wody. Przyjęto bowiem, że dla jezior naturalnych wahania poziomu w granicach 10 cm (użytkowanie 10 cm warstwy wierzchniej) mogą być dokonywane bez powodowania istotnych szkód w otaczającym środowisku.

c. Ograniczenia na wydolność instalacji przesyłowych

$$CW_{ik} \leq \sum_v WCS_{nv} \cdot CWCS_n \quad \text{dla wszystkich } i \quad (5)$$

Wydolność wybranego wariantu musi zapewniać przesłanie całej wymaganej wody do nawadniania.

d. Bilans powierzchni

$$\sum_{jk} FTT_{ijk} \leq PTT_i \quad \text{dla każdego } i \quad (6)$$

Jak widać z powyższego, obszar typu produkcji może być zaopartywany z różnych źródeł różnymi sposobami. Użyto przy tym pewnego uproszczenia polegającego na zastosowaniu zunifikowanego kosztu



jednostkowego nawadniania (na 1 ha). W rzeczywistości koszt ten ma charakter stałej niezależnej od zaopatrywanej powierzchni i kosztu jednostkowego na każdą dodatkową jednostkę zaopatrywanej powierzchni. Dokładne modelowanie takiej zależności spowodowałoby jednakże konieczność uwzględnienia dodatkowych zmiennych zero-jedynkowych oznaczających włączenie danego obszaru typu produkcji do rozwiązania, a zatem znaczne wydłużenie czasu obliczeń. Dlatego też starano się uniknąć użycia takich zmiennych i wprowadzono powyższe uproszczenia. Usprawiedliwieniem tego uproszczenia może być fakt, że koszt dostarczenia wody stanowi niewielką część całkowitego kosztu nawadniania.

e. W obliczu spodziewanego bardzo wysokiego kosztu nawadniania mogło się okazać, że rozwiązanie optymalne będzie szło w kierunku gospodarki bez nawodnień, o mniejszej intensywności. Dlatego też do modelu można by wprowadzać dodatkowe ograniczenia na minimalne ilości produktów finalnych. W rozpatrywanym modelu takie ograniczenia zostały zastąpione ograniczeniami na minimalną powierzchnię nawadnianą, ponieważ zadania na ilości produktów rolniczych okazały się zbyt trudne do ustalenia. Ta minimalna powierzchnia (45500 ha) została ustalona na podstawie wstępnych zamierzeń planistycznych dla systemu pilotowego.

$$\sum_{ijk} PTT_{ijk} \geq 45500 \quad (7)$$

Do rozwiązania tak sformułowanego zadania użyto pakietu programowania mieszanego całkowitoliczbowego pochodzącego z oprogramowania IBM Mathematical Programming System Extended/370 (MPSX/370). Rozwiązania miały wskazać, jakie z nadających się do nawadniania obszarów typów produkcji powinny być nawadniane i z jakich źródeł. Z tego pośrednio można wyznaczyć strukturę i wielkości produkcji rolniczej. Dokonano również próby wyboru konkretnych konfiguracji zbiorników i instalacji przesyłowych spośród tych, które zostały określone w modelu jako dopuszczalne.

## 2.2. Wyniki optymalizacji

Model zawiera 729 zmiennych decyzyjnych, z których 134 jest ze-

rowych, oraz 309 ograniczeń. Po 15,2 minuty czasu pracy centralnej jednostki maszyny cyfrowej nie osiągnięto optymalnego rozwiązania zadania programowania mieszane. Przed napisaniem niniejszej pracy nie było sposobności powtórzenia obliczeń, tak że porzeczano na wyniku otrzymanym w pierwszej próbie. W czasie trwania obliczeń otrzymano jednak ciąg kolejnych dopuszczalnych rozwiązań zadania programowania mieszane całkowitoliczbowe, przy czym każde następne było lepsze od poprzedniego. Ostatniemu i najlepszemu z otrzymanych rozwiązań odpowiada wartość funkcji celu zaledwie <sup>4</sup> o 6,2% gorsza niż wartość funkcji celu odpowiadająca optymalnemu rozwiązaniu analogicznego zadania ciągłego. Zadanie to otrzymuje się z wyjściowego zadania programowania mieszane przez zastąpienie zmiennych całkowitoliczbowych - w tym przypadku zero-jedynkowych - zmiennymi ciągłymi - w tym przypadku o wartościach z przedziału  $[0,1]$  - oraz pozostawienie wszystkich innych - ciągłych - zmiennych jak w zadaniu wyjściowym. Wartość funkcji celu w optimum zadania ciągłego stanowi górne ograniczenie na ewentualną wartość równoważnych zadań mieszanych, przy czym ograniczenie to nie jest nigdy osiągnięte w optimum zadania mieszane poza hipotetycznym przypadkiem, gdy zmienne całkowitoliczbowe przyjmują w optymalnym rozwiązaniu ciągłym wartości całkowitoliczbowe. Ocena otrzymana podczas trwania wspomnianych obliczeń wskazywała, że żadne rozwiązanie mieszane nie mogło osiągnąć wartości funkcji celu o więcej niż 3% lepszej niż ostatnie rozwiązanie dopuszczalne otrzymane. Pozwala to nam stwierdzić, że rozwiązanie, które otrzymaliśmy, było zupełnie zadowolające i - biorąc pod uwagę stabilność zachowania się wygenerowanego ciągu rozwiązań - leżało w pobliżu optimum. Nie należy przy tym, oczywiście, zapominać jednak o wszystkich uproszczeniach i grubych przybliżeniach, które zostały dokonane przy konstruowaniu modelu.

Wartość funkcji celu w najlepszym z wyznaczonych rozwiązań wyniosła 131 808 097 zł. Oznacza to, że jeśli zbuduje się system nawadniania pokrywający powierzchnię 45500 ha, należy się liczyć z rocznymi stratami - z punktu widzenia gospodarki narodowej - w wy-

<sup>4</sup> Ta ocena powinna być oczywiście skonfrontowana z maksymalną rozbieżnością między wartościami funkcji celu dla rozwiązań dopuszczalnych (przyp. red.).



sokości ok. 3000 zł na 1 ha. Jest to istotny fakt, że wynik taki osiągnięto przy założeniu dość wysokiego wzrostu plonów na skutek nawodnień oraz przy użyciu cen produktów rolniczych zalecanych do prowadzenia rachunku efektywności inwestycji (cen opartych na kosztach) nawodnieniowo-melioracyjnych, a więc wyższych o ok. 5% od aktualnych cen skupu. Przy użyciu tych ostatnich straty wyniosłyby o ok. 5 tys. zł więcej na 1 ha. Rezultaty takie wskazują na istniejące rozbieżności między cenami produktów rolniczych a kosztami środków trwałych używanych w rolnictwie, w tym przypadku systemu wodnego. Bardzo często sam koszt urządzeń nawadniających na polach jest wyższy od oczekiwanego wzrostu wartości plonów, nawet wyliczonych przy użyciu cen kosztowych.

Jak należało się spodziewać, ograniczenie (7) na minimalną powierzchnię nawadnianą było w otrzymanym rozwiązaniu spełnione równościowo. Z drugiej zaś strony możliwości rozbudowy systemu wodnego zostały wykorzystane w znikomym stopniu. Dla nawodnienia wymuszonej powierzchni 45500 ha przerzuty wody spoza zlewiska Górnej Noteci okazały się niepotrzebne i zbyt kosztowne w stosunku do własnych zasobów basenu. Także przerzuty wody między poszczególnymi zlewniami cząstkowymi w obrębie basenu Górnej Noteci okazały się na ogół zbyteczne (w 8 na 10 możliwych przypadków). Mimo założonych znacznych rocznych głębokości nawodnień zgodnie z wytycznymi Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych wykorzystano jedynie niewielką część możliwości budowy zbiorników. Wydaje się, że obecnie istniejący system wraz ze zbiornikami obecnie budowanymi mógłby pokryć zapotrzebowanie większości nawadnianej powierzchni upraw. Z 17 potencjalnych zbiorników jeziorowych (jezior podpiętrzonych - przyp. red.) włączono do rozwiązania 9, przy czym nieomal wyłącznie w wariantach o najmniejszych pojemnościach. Natomiast z 20 zbiorników sztucznych tylko 4 znalazły się w rozwiązaniu, zazwyczaj również w wariantach o najmniejszych pojemnościach lub po prostu najmniejsze zbiorniki z podzbioru takich, które miały tylko jeden wariant pojemnościowy. Tak więc względnie bardziej kosztowne (na 1 m<sup>3</sup> zmagazynowanej wody) zbiorniki sztuczne zjawily się w rozwiązaniu znacznie rzadziej.

Spośród 267 nadających się do nawadniania obszarów typów produkcji (ponieważ wiele z nich mogło być zaopatrywanych z różnych źródeł, więc ilość zmiennych decyzyjnych typu PTT była znacznie

większa) 65 zostało wybranych w rozwiązaniu jako obiekty nawadniania, 54 w całości i 11 częściowo. Większość z nich byłaby zaopatrywana z jednego źródła, dwa tylko z dwu źródeł, a jeden z trzech źródeł. Wartości współczynników funkcji celu przy zmiennych PTT spowodowały, że do rozwiązania weszły głównie obszary typów produkcji z glebami słabymi. Było to wynikiem założenia, że największe przyrosty w produkcji roślinnej uzyskuje się właśnie na tych glebach.

Fozyteczna mogłaby się okazać analiza czułości rozwiązań na zmiany - zmniejszenia - minimalnej powierzchni nawadnianej, zwłaszcza w powiązaniu z ograniczeniem dostępnych zasobów wodnych do obecnie istniejących i pochodzących ze zbiorników, których budowa już się rozpoczęła.

Wspomniane 15 minut czasu pracy maszyny cyfrowej może być uważane, zwłaszcza wobec nieosiągnięcia optimum, za dość długi czas obliczeń. Należy jednak zdawać sobie sprawę z tego, że nawet czas obliczeń rzędu godzin, przeznaczone na analizę różnych wariantów modelu, mogą dodać jedynie drobny ułamek do całości kosztów związanych z projektowaniem a następnie realizacją systemu nawadniania. (Biorąc pod uwagę możliwe korzyści wynikające z ewentualnej racjonalizacji i uproszczenia systemu - przyp. red.) wydaje się, że użycie modelu podobnego do tu opisanego do praktycznego programowania systemu nawadniania i produkcji rolniczej jest uzasadnione.

Lista oznaczeń

Zmienne decyzyjne:

- $AR_{mv}$  - sztuczny zbiornik  $m$  w wariancie pojemnościowym  $v$ -tym, zmienna całkowitoliczbowa,
- $CF_n$  - ilość wody przesyłanej w ciągu roku przez instalację  $n$ ,
- $LR_{lv}$  - zbiornik jeziorowy  $l$ -ty w wariancie pojemnościowym  $v$ -tym, zmienna całkowitoliczbowa,
- $PTT_{ijk}$  - powierzchnia nawadniana (w hektarach) należąca do nadającego się do nawadniania obszaru typu produkcji  $i$ , zaopatrywanego ze źródła  $j$  sposobem  $k$ -tym,
- $*CS_{nv}$  - instalacja przesyłowa  $n$ -ta w wariancie wydolnościowym  $v$ -tym, zarówno do przesyłania wody wewnątrz systemu jak i do dostarczania wody spoza systemu, zmienna całkowitoliczbowa.



Parametry:

- $ARC_{uv}$  - roczny koszt magazynowania wody w sztucznym zbiorniku  $m$  w wariancie pojemnościowym  $v$ ,
- $CWC_n$  - koszt jednostkowy przesyłania wody instalacją  $n$ -tą,
- $CWSC_{nv}$  - wydolność instalacji  $n$ -tej w wariancie  $v$ -tym,
- $IC_i$  - roczny koszt nawadniania na 1 ha  $i$ -tego obszaru typu produkcji,
- $LCR_{lv}$  - roczny koszt magazynowania wody (nakłady inwestycyjne + bieżące) w  $l$ -tym zbiorniku jeziorowym w wariancie pojemnościowym  $v$ -tym,
- $PT_i$  - roczny koszt efektów (zysku, dochodu) z produkcji roślinnej na 1 ha  $i$ -tego obszaru typu produkcji przy uwzględnieniu przewidywanych plonów po nawodnieniu, obecne plony oraz standardowe koszty rolnicze,
- $PTTS_i$  - maksymalna nadająca się do nawodnienia powierzchnia  $i$ -tego obszaru typu produkcji,
- $WTC_{ijk}$  - koszty roczne (stałe i zmienne) przesyłania wody ze źródła  $j$  do obszaru typu produkcji  $i$  sposobem  $k$ -tym na 1 ha powierzchni nawadnianej,
- $WCSC_{nv}$  - koszty roczne (wyłącznie stałe) instalacji przesyłowej  $n$ -tej w jej wariancie wydolnościowym  $v$ -tym.

LITERATURA

- [1] Zaleski M., Gajewski J.: Modele państwowych gospodarstw rolnych stosujących nawodnienia deszczowniane gnojowicą oraz wodą czystą. Oprac. Inst. Ekonom. i Org. Prod. Rolnej SGGW 1975.
- [2] Gajewski J., Żurkowski J.: Koncepcja modeli optymalizacyjnych generujących typy gospodarstw rolnych wprowadzanych do modelu optymalizacyjnego dotyczącego zagospodarowania dużego obszaru bagiennego. Inst. Melioracji i Użytków Zielonych 1971. Maszyn.
- [3] Manteuffel H.: Wstępne opracowanie macierzy do sporządzania bilansu wodnego na obszarach nawadnianych dla potrzeb optymalizacji ekonomicznej produkcji rolnej. Oprac. Inst. Ekonom. i Org. Prod. Rolnej SGGW 1977.
- [4] Możliwości pozyskania dodatkowych ilości wody przez magazynowanie zasobów własnych i przerzuty ze zlewni sąsiednich. BFWM

Bydgoszcz, CBS i FBW "Hydroprojekt" Gdańsk oraz CBSiP "Bipromel" Warszawa 1977.

- [5] Parametry do obliczania zapotrzebowania wody przez rośliny nawadniane i konstrukcji modeli gospodarstw stosujących nawadnianie. Oprac. Inst. Ekon. i Org. Prod. Rolnej SGGW sporządzone pod kierunkiem M. Zaleskiego, Warszawa 1978.
- [6] Urbala S.: Wstępne zaprogramowanie różnych wariantów budowy pilotowego systemu nawadniającego na obszarze zlewni rzeki Górna Noteć. Oprac. Inst. Ekonom. i Org. Prod. Rolnej SGGW 1976.
- [7] Zaleski M., Majewski E.: Analiza i podział obszaru zlewni rzeki Górna Noteć na mikrorejony rolnicze. Oprac. Inst. Ekonom. Org. Prod. Rolnej SGGW 1978.



#### IV. MODELOWANIE WIELKICH KOMPLEKSÓW ROLNICZYCH W KONTEKŚCIE PLANOWANIA REGIONALNEGO

##### 1. Wstęp

Modelowanie działalności rolniczej staje się coraz ważniejszym elementem w procesie podejmowania decyzji o rozwoju regionalnym. Wśród przyczyn wzrostu znaczenia modelowania rolnictwa można wymienić: a) powszechność występowania procesów produkcyjnych rolnictwa, b) intensywne użytkowanie zasobów, c) silne wewnętrzne powiązania między środkami i materiałami a wytworami produkcji rolniczej oraz między rolnictwem a innymi systemami regionalnymi, d) znaczny wpływ na środowisko. Wynikająca z tego złożoność powoduje, że w analizach działalności rolniczej podkreślana jest zazwyczaj dychotomia między samą produkcją rolniczą a systemem otaczającym (tj. innymi systemami regionalnymi oddziałującymi na rolnictwo). Zasadniczą kwestią związaną z tą dychotomią jest wybór systemów otoczenia i sposób powiązania produkcji rolniczej z tym otoczeniem tak, by odpowiednio można było modelować procesy rolnicze w regionie.

Podstawowym czynnikiem kształtującym wspomnianą dychotomię jest struktura systemu zarządzania. I tak na przykład, jeśli działalność rolnicza regionu jest związana głównie z produkcją roślinną i jej przetwórstwem, to produkcja zwierzęca może być traktowana jak część otoczenia. Jednak przeważająca na przestrzeni ostatnich 20-30 lat tendencja zmierza do włączania do modeli systemu rolniczego coraz większej ilości procesów z otoczenia. Pozwala to na coraz dogłębniejszą analizę systemową wszystkich procesów w obydwóch częściach systemu, tj. na szczegółowe rozważenie oddziaływań między rolnictwem a wszystkimi podsystemami otoczenia w danym regionie.

---

\* Bułgarska Akademia Nauk, Instytut Cybernetyki Technicznej, Sofia, Bułgaria.

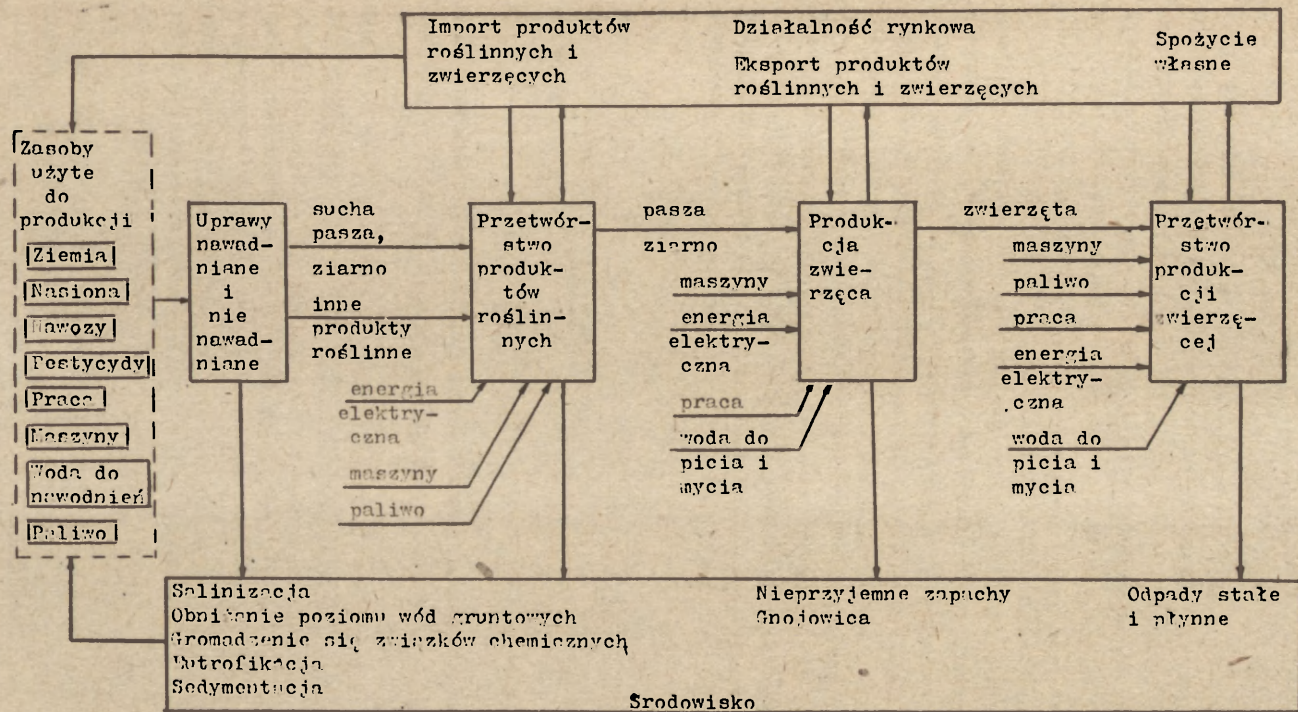
Celem przedstawionej pracy było udoskonalenie procesu modelowania wielkich kompleksów rolniczych, tak aby stała się możliwa ocena wpływu ograniczonej zasobów regionalnych na całość procesów produkcyjnych zarówno pod kątem widzenia planowania jak i samej działalności produkcyjnej.

## 2. Proces produkcyjny w kompleksie rolniczym

Proces produkcyjny zostanie omówiony dla aktualnie istniejącej struktury zarządzania w rolnictwie Bułgarii. W okresie ostatnich 35 lat rolnictwo bułgarskie przeszło dwa istotne etapy rozwoju: pierwszy polegał na organizacji gospodarstw uspołecznionych dla lepszego wykorzystania ograniczonych zasobów w późnych latach czterdziestych. W początkach lat siedemdziesiątych stwierdzono, że dalsza poprawa gospodarowania wymaga nowej organizacji i nowej struktury, które to zmiany umożliwiłyby zintegrowanie wszystkich faz procedu produkcji rolniczej od zasobów do niej użytych aż do końcowego przetworzonego produktu, a więc stworzenie nowych jednostek gospodarczych - kompleksów przemysłowo-rolniczych. Podstawowy schemat takiego kompleksu pokazano na rys. 1. Do celów modelowania kompleksu podzielono na 7 podsystemów: zasoby, produkcja roślinna, przetwórstwo produkcji roślinnej, produkcja zwierzęca, przetwórstwo produkcji zwierzęcej, działalność rynkowa i środowisko.

Zasoby takie jak ziemia, ziarno, nawozy, środki ochrony roślin, praca, maszyny, woda do nawadniania oraz paliwo używane są do produkcji roślinnej prowadzonej za pomocą rozmaitych technologii. Niektóre z tych zasobów użyte do produkcji jako środki i materiały są zakupione poza regionem przez rynek. Produkty roślinne są przetwarzane dla celów rynkowych albo do hodowli. Produkty te, włącznie z zakupionymi przez rynek, są używane do produkcji zwierzęcej, której wytwory są znowu przetwarzane i sprzedawane. Produkcja roślinna może mieć znaczny wpływ na środowisko, np. przez zasolenie gleby, naruszenie stosunków wodnych przez nadmierne nawadnianie lub melioracje, gromadzenie się różnych związków chemicznych, eutrofikację wód - głównie jezior - spowodowaną wpływem wody z nawodnien z zawartością nawozów sztucznych (ale i pepsydów - przyp.red.). Produkcja zwierzęca może również wywierać wpływ na środowisko poprzez obecność dużych ilości gnojowicy zarówno w obrębie samego





rys.1. Struktura procesu produkcji kompleksu rolniczego

chowu jak i w związku z jej usuwaniem, a także przez koncentrację nieemiłych zapachów towarzyszących zwłaszcza chowowi nierogacizny. Przetwórstwo produktów zwierzęcych powoduje również powstawanie stałych i płynnych odchodów, które mogą mieć ujemny wpływ na stan środowiska. Niektóre z wymienionych wpływów na środowisko mogą mieć znaczenie dla stanu i właściwości zasobów używanych do produkcji (ziemia, nawozy, nawodnienia).

Na rys. 1 nie podano wyraźnego podziału między systemem rolniczym a jego otoczeniem. Jako części systemu otoczenia w tym szczególnym przypadku można traktować wszystkie te procesy, które nie podlegają w całości kontroli i zarządzaniu kompleksu. Tak więc na przykład środki produkcji mogą być zakupywane poprzez rynek lub dostarczane za pośrednictwem władz regionalnych czy państwowych. Limity (górne lub dolne) na wartości eksportu czy importu mogą też być ustalane poza zasięgiem decyzji kierownictwa kompleksu. Szczegóły takie powinny być w sposób jawny ujęte w procesie modelowania ponieważ to one właśnie są jednym z istotniejszych źródeł niepewności w planowaniu przyszłego rozwoju kompleksu.

### 3. Opis modelu

Istnieją dwa zasadnicze podejścia do modelowania, w tym także procesów gospodarczych, czyli rolnictwa: symulacja i optymalizacja.

Symulacja ma na celu sportretowanie rzeczywistego zachowania się procesu w taki sposób, by można było określić wpływy różnych decyzji zewnętrznych w stosunku do procesu. Przy użytkowaniu takich modeli jako pomocy do podejmowania decyzji konieczne jest każdorazowe wykonanie szeregu przeliczeń, a ich wyniki muszą być zanalizowane z pomocą specjalnie zaprojektowanych kryteriów.

Modele optymalizacyjne natomiast mają wbudowaną funkcję wyboru decyzji. Jest to osiągnięte przez określenie pewnego kryterium jakości (funkcji celu), które następnie jest minimalizowane albo maksymalizowane w obecności zbioru ograniczeń odzwierciedlających: ilości zasobów w dyspozycji, zadania produkcyjne i normatywy środowiskowe.

W niektórych przypadkach dopiero odpowiednie połączenie dwóch tych metod daje dobre rezultaty. I tak na przykład zasoby, stan



rynku i środowisko mogą być modelowane przy użyciu procedur symulacyjnych, które pozwolą zarówno studiującemu system jak i podejmującemu decyzje na przeanalizowanie szerokiego zakresu możliwych warunków zewnętrznych, takich jak: zmienność pogody, stopień penetracji rynku, koszty produkcji itd. Następnie otrzymana w ten sposób informacja o poszczególnych zmiennych może być zredukowana do najbardziej spodziewanych wartości (wartości oczekiwanych, przedziałów o określonym poziomie ufności, rozkładów gęstości prawdopodobieństwa czy funkcji przynależności zbiorów rozmytych- przyp. red.), które są wprowadzane do modelu optymalizacyjnego.

Nie negując znaczenia modeli symulacyjnych przyjęto, że dla celów zakreślonych w niniejszej pracy zastosowanie modelu optymalizacyjnego jest korzystniejsze, zwłaszcza w warunkach nowo organizującego się kompleksu rolniczego, którego przyszły rozwój musi odbywać się w ścisłym powiązaniu z rozwojem całości regionu. Należy przy tym także zauważyć, że niezależnie od skali podejmowanego studium, czy będzie ono dotyczyło planowania lub alokacji zasobów, czy też pojedynczego podsystemu, należy uwzględnić w modelu całość zachodzących procesów, co pozwoli na wyjawienie oddziaływań między podsystemami. Jako przykład, jeśli woda do nawadniania jest traktowana jako zasób, środek do produkcji, ma ona oczywisty wpływ na produkcję roślinną, która z kolei ma wpływ na produkcję zwierzęcą, środowisko i działalność rynkową. Ten łańcuch przyczynowo-skutkowy działa również w przeciwną stronę - zwiększona produkcja zwierzęca może ograniczyć produkcję roślinną (towarową - przyp. red.), a zatem i potrzeby wodne.

Powoduje to konieczność zastosowania takiej techniki modelowania, która umożliwia łączenie różnych podsystemów rolniczych w jeden system. Po dokonaniu efektywnego połączenia można analizować cały system przez odpowiednie zmiany poszczególnych jego elementów prowadzące do optymalnej ich konfiguracji. W ciągu ostatnich 25-30 lat opracowano i udoskonalono szereg technik optymalizacyjnych, takich jak programowanie liniowe, nieliniowe lub dynamiczne. Wielka złożoność systemów rolniczych oraz luki w danych spowodowały, że największe zastosowanie znalazły modele programowania liniowego (FL). Według skali systemu objętego modelem można modele rolnicze FL podzielić na: krajowe, regionalne i odnoszące się do pojedynczego gospodarstwa rolnego.

Najwięcej uwagi w literaturze fachowej poświęca się modelom rolnictwa o skali regionu. Jako przykład, Gissex [4], Mohammach-Soltani [6]. Woropajew [7] jak również Dean i inni [3] opracowali takie modele, w których główny nacisk położony był na produkcję roślinną. W programie Żywność i Rolnictwo MISAS także dokonano poważnych wysiłków zmierzających do konstrukcji regionalnych modeli rolnictwa [1, 2] <sup>1</sup>.

We wszystkich tych modelach maksymalizowany jest dochód netto (różnica między przychodem a kosztem produkcji).

W dalszym ciągu niniejszej pracy przedstawiono optymalizacyjny model PL procesu produkcyjnego wielkiego kompleksu rolniczego tak jak go pokazano na rys. 1, skonstruowany w celu przeanalizowania wpływu użytych zasobów na proces produkcji.

### 3.1. Model optymalizacyjny procesów rolniczych

Wszystkie wejścia i wyjścia siedmiu podsystemów procesu produkcyjnego kompleksu rolniczego mogą być traktowane jak z m i e n n e d e c y z y j n e (podkr. red.). Dla uproszczenia wyjaśnień będą one ujmowane w wektory decyzyjne. Ich wartości podlegają o g r a n i c z e n i o m, które odzwierciedlają: stan zasobów, bilanse materiałowe lub zadania produkcyjne. F u n k c j a c e l u Z maksymalizuje roczny dochód netto, a więc różnicę między wartością sprzedanych produktów roślinnych i zwierzęcych a ich kosztami produkcji przy zachowaniu ograniczeń. (W zapisie przedstawionym poniżej wielkości wektorowe są oznaczone kreską u góry).

$$Z = \max \quad \bar{b}_8 \bar{x}_8 + \bar{b}_{10} \bar{x}_{10} + \bar{b}_{11} \bar{x}_{11} + \bar{b}_{14} \bar{x}_{14} + \bar{b}_{15} \bar{x}_{15} + \bar{b}_{16} \bar{x}_{16} +$$

dochody z produkcji roślinnej

dochody  
z pro-  
dukcji  
zwierzę-  
cej

<sup>1</sup> Autorzy nie wspominają o pracy C. Csakiego i A. Propoja zamieszczonej tutaj (rozdz. V), ponieważ w czasie pisania nie mogli o niej wiedzieć. Poza tym w pracy tej rozważany jest obiekt subregionalny a funkcja celu nie jest ostatecznie wyspecyfikowana (prawy red.).



$$\begin{aligned}
 & - \bar{c}_1 \bar{x}_1 - \bar{c}_2 \bar{x}_2 - \bar{c}_3 \bar{x}_3 - \bar{c}_5 \bar{x}_5 - \bar{c}_6 \bar{x}_6 - \bar{c}_7 \bar{x}_7 - \bar{c}_9 \bar{x}_9 \\
 & \text{koszty} \quad \text{koszty} \quad \text{koszty} \quad \text{koszty} \quad \text{koszty importu} \\
 & \text{produkcji} \quad \text{przetwó-} \quad \text{produk-} \quad \text{przetwó-} \quad \text{produktów ro-} \\
 & \text{roślinnej} \quad \text{stwa pro-} \quad \text{cji zwie-} \quad \text{stwa pro-} \quad \text{ślinnych} \\
 & \quad \quad \quad \text{dukcji} \quad \text{rzącej} \quad \text{dukcji} \quad \text{ślinnych} \\
 & \quad \quad \quad \text{roślinnej} \quad \quad \quad \text{zwierzę-} \\
 & \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \text{cej} \\
 & - \bar{c}_{12} \bar{x}_{12} - \bar{c}_{16} \bar{x}_{16} - \bar{c}_{17} \bar{x}_{17} - \bar{c}_{18} \bar{x}_{18} - \bar{c}_{19} \bar{x}_{19} - \bar{c}_{20} \bar{x}_{20} - \bar{c}_{21} \bar{x}_{21} \\
 & \text{koszty} \quad \text{koszty} \quad \text{koszty} \quad \text{koszty} \quad \text{koszty} \quad \text{koszty} \quad \text{koszty} \\
 & \text{importu} \quad \text{środków i} \quad \text{środków i} \quad \text{środków i} \quad \text{środków i} \quad \text{środków i} \quad \text{środków i} \\
 & \text{zwierząt} \quad \text{materiałów} \quad \text{materiałów} \quad \text{materiałów} \quad \text{materiałów} \quad \text{materiałów} \quad \text{materiałów} \\
 & \quad \quad \quad \text{do produkcji} \quad \text{do produkcji} \quad \text{do produkcji} \quad \text{do produkcji} \quad \text{do produkcji} \quad \text{do produkcji}
 \end{aligned}$$

(1)

gdzie:

- $\bar{x}_8, \bar{x}_{10}$  - odpowiednio ilości wyeksportowanej paszy (fodder) i ziarna (grains) oraz innych produktów roślinnych (warzywo, tytoń itd.)
- $\bar{b}_8, \bar{b}_{10}$  - dochody na jednostkę powyższych towarów
- $\bar{x}_{11}, \bar{b}_{11}$  - odpowiednio zapasy produktów roślinnych i jednostkowe korzyści z posiadania zapasów
- $\bar{x}_{14}, \bar{x}_{15}$  - odpowiednio ilości ziarna i innych produktów roślinnych oraz produktów zwierzęcych spożywanych przez ludność
- $\bar{b}_{14}, \bar{b}_{15}$  - dochody na jednostkę tych produktów
- $\bar{x}_{13}, \bar{b}_{13}$  - odpowiednio ilości wyeksportowanych produktów zwierzęcych i dochody na ich jednostkę
- $\bar{x}_1, \bar{c}_1$  - odpowiednio obszary upraw i koszty na 1 ha prowadzenia tych upraw
- $\bar{x}_2, \bar{c}_2$  - ilości paszy i ziarna oraz koszt ich przetwórstwa na jednostkę produktu
- $\bar{x}_3, \bar{c}_3$  - ilości innych produktów roślinnych i koszty jednostkowe ich przetwarzania
- $\bar{x}_4$  - ilość paszy i ziarna przeznaczonych dla zwierząt w kompleksie,  $c_4 = 0$ , ponieważ  $\bar{x}_4$  oznacza wobec tego produkt pośredni
- $\bar{x}_5, \bar{c}_5$  - ilość zwierząt i koszt ich utrzymania w kompleksie
- $\bar{x}_6, \bar{c}_6$  - ilość produktów zwierzęcych i koszt ich przetwórstwa
- $\bar{x}_7, \bar{c}_7$  - ilość sprowadzanej paszy i ziarna oraz koszt jednostkowy sprowadzania
- $\bar{x}_9, \bar{c}_9$  - ilość sprowadzanych innych produktów roślinnych i koszt sprowadzania

$\bar{x}_{12}, \bar{c}_{12}$  - ilość sprowadzanych produktów zwierzęcych i koszt ich sprowadzenia

$\bar{c}_{16}, \bar{c}_{17}, \bar{c}_{18}, \bar{c}_{19}, \bar{c}_{20}, \bar{c}_{21}$  - koszty zaopatrzenia w wodę do nawodnień i do picia, nawozy i środki ochrony roślin, maszyny i paliwo, praca, a także inwestycje

$\bar{x}_{16}, \bar{x}_{17}, \bar{x}_{18}, \bar{x}_{19}, \bar{x}_{20}, \bar{x}_{21}$  - ilości wymienionych środków i materiałów

Funkcja celu  $Z$  jest maksymalizowana w obecności następujących ograniczeń:

I. Bilans środków, materiałów i nakładów

a. Bilans ziemi uprawnej

$$A_{1,1}\bar{x}_1 \leq \bar{r}_1 \quad (2)$$

w którym  $A_{1,1}$  jest macierzą obszarów nawadnianych i nie nawadnianych,  $\bar{r}_1$  zaś jest wektorem obszarów nawadnianych i nie nawadnianych w dyspozycji kompleksu.

b. Bilans wody do nawodnień

$$A_{2,1}\bar{x}_1 - I\bar{x}_{16} = 0 \quad (3)$$

w którym  $A_{2,1}$  jest macierzą współczynników zużycia wody przy nawadnianiu wyrażonych w metrach sześciennych na 1 ha,  $I$  natomiast jednostkową macierzą diagonalną przekształcenia identycznościowego potrzebnego do sprowadzenia zmiennych na lewą stronę ograniczeń.

c. Bilans wody pitnej i do mycia

$$A_{3,1}\bar{x}_3 + A_{3,5}\bar{x}_5 + A_{3,6}\bar{x}_6 - I\bar{x}_{17} = 0 \quad (4)$$

gdzie  $A_{3,1}, A_{3,5}, A_{3,6}$  są macierzami współczynników jednostkowego zużycia wody wyrażonych w metrach sześciennych na jednostkę podsystemu odpowiednio do przetwórstwa produktów roślinnych innych niż pasze i ziarno, produkcji zwierzęcej i przetwórstwa produktów zwierzęcych.

d. Bilans nawozów i środków ochrony roślin

$$A_{4,1}\bar{x}_1 - A_{4,5}\bar{x}_5 - I\bar{x}_{18} = 0 \quad (5)$$

gdzie  $A_{4,1}$  jest macierzą jednostkowego zużycia nawozów i środków ochrony roślin na 1 ha różnych upraw, natomiast  $A_{4,5}$  jest macierzą odchodów zwierzęcych, które mogą być używane jako nawozy.

e. Bilans parku maszynowego, paliwa, nakładów pracy żywej oraz nakładów inwestycyjnych

$$A_{j,1}x_1 + A_{j,2}x_2 + A_{j,3}x_3 + A_{j,5}x_5 + A_{j,6}x_6 + A_{j,11}x_{11} - Ix_{j+14} = 0 \quad (6)$$

gdzie  $A_{j,1}, \dots, A_{j,i}$  są macierzami współczynników zużycia maszyn i



paliwa ( $j = 5$ ), pracy żywej ( $j = 6$ ) oraz nakładów inwestycyjnych ( $j = 7$ ) w produkcji roślinnej ( $i = 1$ ), przetwórstwie pasz i ziarna ( $i = 2$ ), przetwórstwie innych produktów roślinnych ( $i = 3$ ), produkcji zwierzęcej ( $i = 5$ ), przetwórstwie produktów zwierzęcych ( $i = 6$ ) jak również tworzeniu i utrzymywaniu rezerw ( $i = 11$ ).

## II. Bilanse produktów rolnych

a. Produkcja pasz, ziarna i innych produktów roślinnych na zadanych obszarach upraw  $\bar{x}_1$

$$A_{0,1} \bar{x}_1 - I \bar{x}_2 = 0 \quad (7)$$

$$A_{0,1} \bar{x}_1 - I \bar{x}_3 = 0 \quad (7a)$$

w którym  $A_{0,1}$  jest macierzą wydajności pasz i ziarna,  $A_{0,1}$  jest macierzą wydajności innych produktów roślinnych.

### b. Bilans produktów roślinnych

(ten zbiór ograniczeń wynika z faktu, że ilość wyprodukowanych pasz, ziarna itp. musi być równa sumie ilości tych produktów zużytych i zmagazynowanych)

$$I \bar{x}_2 + I \bar{x}_3 + I \bar{x}_7 + I \bar{x}_9 - I \bar{x}_4 - I \bar{x}_8 - I \bar{x}_{10} - I \bar{x}_{11} - I \bar{x}_{14} = 0 \quad (8)$$

### c. Bilans zapotrzebowania na pasze dla chowu zwierząt

(zwierzęta powinny otrzymywać takie ilości składników żywnościowych, które odpowiadają pożądanej wydajności zwierząt, zatem ograniczenia poniższe odpowiadają minimalnym ilościom składników)

$$A_{11,4} \bar{x}_4 - A_{11,5} \bar{x}_5 \geq 0 \quad (9)$$

przy czym  $A_{11,4}$  jest macierzą pasz i ziarna użytych do chowu zwierząt,  $A_{11,5}$  zaś jest macierzą wymagań dietowych.

### d. Bilans hodowli

$$A_{12,5} \bar{x}_5 - I \bar{x}_6 = 0 \quad (10)$$

gdzie  $A_{12,5}$  jest macierzą otrzymywanych produktów zwierzęcych.

### e. Bilans produkcji zwierzęcej

(ilości produktów zwierzęcych produkowanych i przywiezionych muszą być równe ilościom wywiezionym i spożytym)

$$I \bar{x}_6 + I \bar{x}_{12} - I \bar{x}_{13} - I \bar{x}_{15} = 0 \quad (11)$$

## III. Ograniczenia zasobów i zadania produkcyjne

(ilości niektórych lub wszystkich zasobów użytych w procesie produkcj mogą być ograniczone; w rozpatrywanym modelu tylko woda do nawodnień, nawozy i nakłady inwestycyjne są ograniczone od góry)

$$\begin{aligned} \bar{x}_{16} &\leq \bar{r}_2 \\ \bar{x}_{18} &\leq \bar{r}_3 \\ \bar{x}_{21} &\leq \bar{r}_4 \end{aligned} \quad (12)$$

gdzie  $\bar{r}_2, \bar{r}_3, \bar{r}_4$  są maksymalnymi ilościami wody do nawodnień, nawozów oraz nakładów inwestycyjnych, które mogą być w kompleksie wykorzystane;

(dwa dalsze ograniczenia nałożone na wartości wektorów zmiennych dotyczą zadań na minimalne dostarczone ilości produktów zwierzęcych oraz ziarna i innych produktów roślinnych dla ludności)

$$\begin{aligned} \bar{x}_{14} &\geq \bar{r}_5 \\ \bar{x}_{15} &\geq \bar{r}_6 \end{aligned} \quad (13)$$

gdzie  $\bar{r}_5$  jest wektorem zadań na produkty i przetwory ziarna (mąka, oleje itd.),  $\bar{r}_6$  zaś jest wektorem zadań na produkty i przetwory zwierzęce (mięso, mleko, sery, wełna itd.).

Teżne ograniczenia mogą być oczywiście jeszcze dodane do powyższego zbioru, związane np. z oddziaływaniem na środowisko.

### 3.2. Wpływ ilości i jakości zasobów

Zasoby środków użytych do produkcji jak również produkty w jej wyniku otrzymane są powiązaniem kompleksu rolniczego z innymi systemami regionalnymi. Dlatego też przebadanie wpływu charakterystyk zasobów na rozwój kompleksu było zasadniczym przedmiotem pracy tu omawianej. Głównie pytanie, na które należy w związku z tym odpowiedzieć, brzmi: jak zmieni się konfiguracja kompleksu - zarówno z punktu widzenia planowania jak i operatywnego działania kompleksu - jeśli zmiana ulegnie ilość pewnego zasobu używanego do produkcji? I pytanie dopełniające: jak zmieni się zapotrzebowana ilość pewnego zasobu, jeśli konfiguracja kompleksu ulegnie zmianie?

W rozdziale niniejszym podany zostanie zarys odpowiedzi na te pytania otrzymanych w wyniku doświadczeń zebranych dla konkretnego systemu [5].

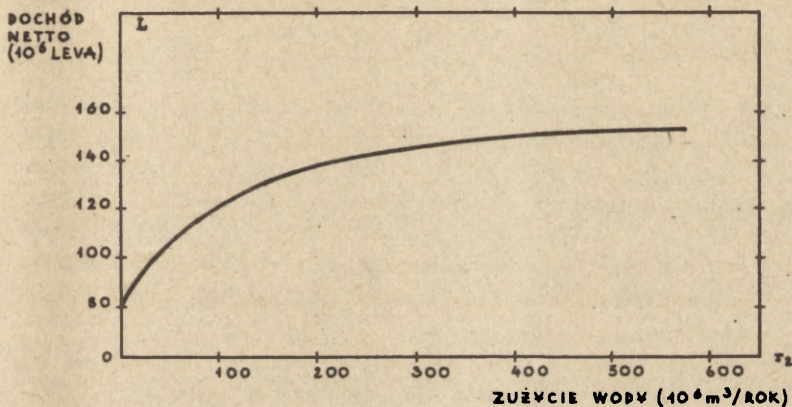
#### 3.2.1. Zapotrzebowanie na środki produkcji w planowaniu systemów rolniczych

Ograniczenia zasobów środków produkcji kształtują w znacznym sto-



pniu działalność produkcyjną kompleksu rolniczego, a więc na przykład zmniejszanie pewnego zasobu może wywołać konieczność rozmaitych substytucji zmierzających do zapewnienia wykonania zadań produkcyjnych jak również zmieniają i strukturę samych działań produkcyjnych. W modelach programowania, analogicznych do opisywanego w pktcie 3.1, tzw. marginalna (przyrostowa) wartość<sup>2</sup> lub ocena ograniczonego zasobu jest na ogół używana jako miara jego wpływu na funkcjonowanie całości systemu. Jeśli przez  $L$  oznaczymy maksimum funkcji celu (1) przy ograniczeniach (2), ..., (13), to marginalna (przyrostowa, dualna) wartość  $m_j$  ograniczonego zasobu  $j$  wynosi

$$m_j = \frac{\partial L(r_1, \dots, r_n, A_{1j}, c_j)}{\partial r_j}, \quad j = 1, \dots, n \quad (14)$$

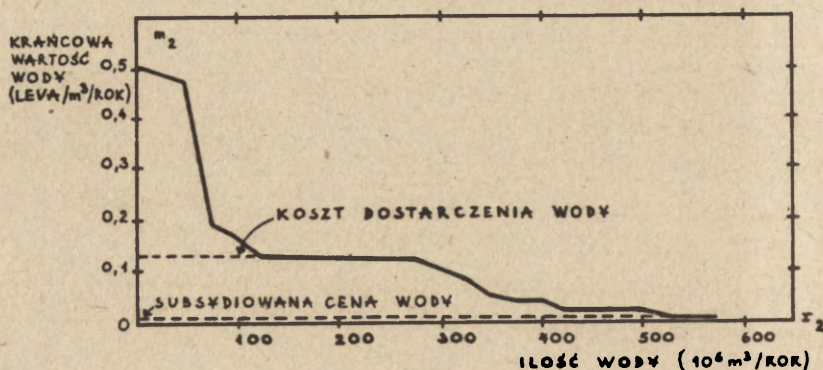


Rys. 2. Zależność funkcji celu od ilości wody

Na rys. 2 pokazano zależność dochodu netto  $L$  od ilości wody do

<sup>2</sup> mierzona w jednostkach funkcji celu, o które ulega zmianie jej wielkość przy zmianie wielkości ograniczenia danego zasobu (przyp. red.).

nawadniania  $r_2$  dostarczanej do kompleksu. Pochodna tej zależności po  $r_2$ , będąca marginalną wartością wody (np. lewa/ $m^3$ ) jest pokazana na rys. 3 w funkcji zapotrzebowania na wodę.

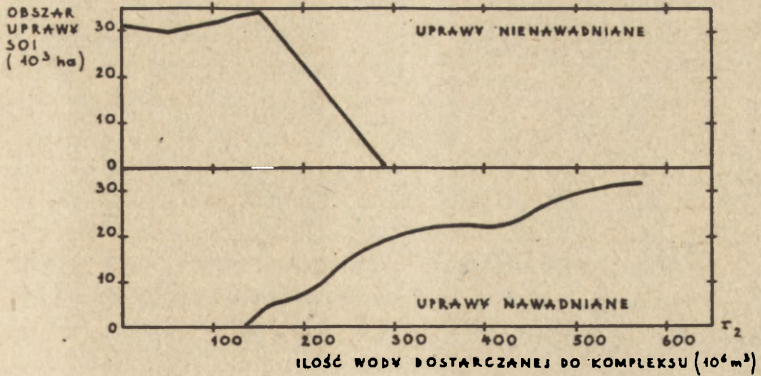


Rys. 3. Funkcja popytu na wodę

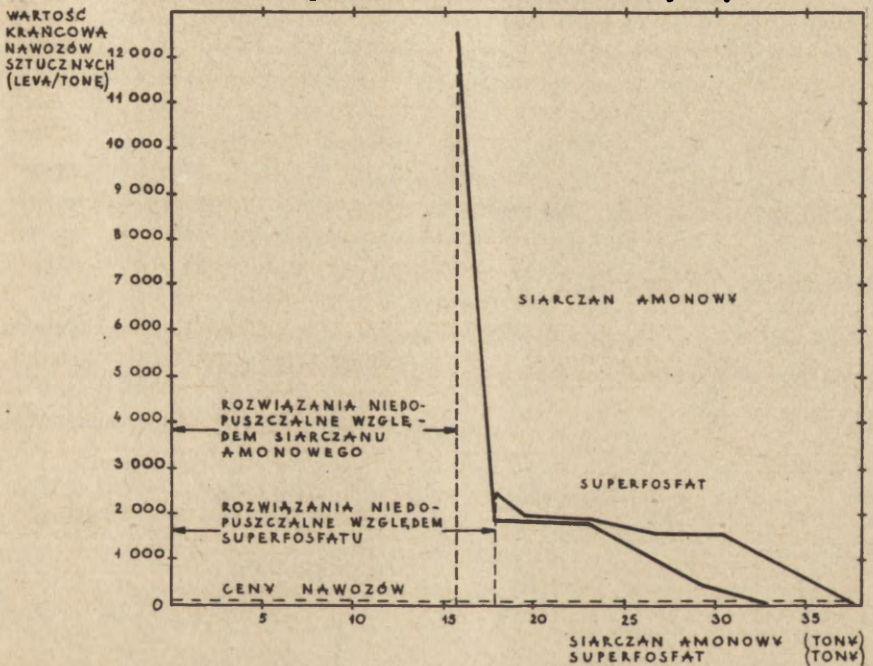
Rysunek 3 wskazuje na rosnącą wartość dualną wody dla kompleksu w szerokim zakresie zapotrzebowan na wodę. I tak na przykład, gdyby kompleks obciążono rzeczywistymi kosztami dostarczania wody (w warunkach regionu Silistra w Bułgarii - ok. 0,13 lewa/ $m^3$ ), wówczas zapotrzebowanie na wodę wyniosłoby  $125 \cdot 10^6 m^3/rok$ . Jeśli natomiast wprowadzona zostanie subsydiowana przez państwo cena 0,017 lewa za  $1 m^3$ , to zapotrzebowanie na wodę wzrośnie do  $580 \cdot 10^6 m^3/rok$ , a zatem o 360%. W tym przedziale cen wody istnieje więc szereg możliwych wartości, spośród których podejmujący decyzję może wybrać tę, która odpowiada pożądanemu poziomowi dochodu netto kompleksu (w rozważanym przedziale wartość  $L$  zmienia się o 25% jak na rys. 2). Z rysunku tego wynika także, że największe zmiany zapotrzebowania na wodę zachodzą dla cen między 0,12 a 0,13 lewa/ $m^3$  - od  $275 \cdot 10^6 m^3$  na rok do  $125 \cdot 10^6 m^3$  na rok.

Jednocześnie zmiany zapotrzebowania na wodę są związane ze zmianami w samej produkcji. Zilustrowane jest to na rys. 4 przez wykresy zależności obszarów nawadnianych i nie nawadnianych upraw soi od ilości wody. Poniżej  $580 \cdot 10^6 m^3/rok$  (otrzymany z modelu - przyp. red.) obszar upraw nawadnianych soi zaczyna się zmniejszać.





Rys. 4. Zależność wielkości nawadnianych i nie nawadnianych obszarów upraw soi od ilości dostarczonej wody



Rys. 5. Funkcja popytu dla nawozów

Poniżej  $290 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{rok}$  w rozwiązaniu pojawia się obok nawadnianej także nie nawadniana uprawa soi. Taka "alternatywa mieszana" utrzymuje się dopóty, dopóki dostarczana ilość wody nie zmniejszy się do  $130 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{rok}$ . Dla  $r_2$  poniżej tej wartości w rozwiązaniu występuje nie nawadniana uprawa soi.

Analogiczną analizę można też przeprowadzić dla nawozów. Na rys. 5 przedstawiono funkcję popytu kompleksu na siarczan amonowy oraz superfosfat. Otrzymana z modelu wartość dualna siarczanu amonowego jest zaskakująco duża - 12535 lewa/tona, podczas gdy rzeczywista cena tego nawozu wynosi 93,7 lewa/tona. Wskazuje to na kluczowe znaczenie tego nawozu dla działania kompleksu.

### 3.2.2. Funkcja strat dla środków produkcji w działaniu operatywnym systemów rolniczych

Funkcje popytu na poszczególne zasoby mogą służyć za podstawę podejmowania decyzji planistycznych o rozwoju systemów rolniczych. Jak jednak mają postępować decydenci, jeśli system został już zaprojektowany i sfinansowany przy pewnych założeniach co do ilości zasobów, a ilości tych zasobów okażą się mniejsze niż przewidywano? Muszą naturalnie wziąć udział w narodowym i regionalnym współzawodnictwie o przydział zasobów. Standardowym sposobem postępowania praktykowanym przy rozdziale ograniczonych zasobów jest minimalizacja sumy strat poszczególnych użytkowników wynikających z dostarczenia ilości zasobu mniejszej niż zapotrzebowana. Kluczowym parametrem tego postępowania jest funkcja strat, która powinna określać, o ile zmniejszy się wynik gospodarczy osiągnięty przez użytkowników, jeśli dany zasób jest dostarczony w zmniejszonej ilości.

Można pokazać, że dla modelu procesu produkcji o postaci (1) - (13) ta funkcja strat daje się łatwo otrzymać. Zauważmy najpierw, że całka z wartości dualnej  $m_j$  zasobu  $r_j$

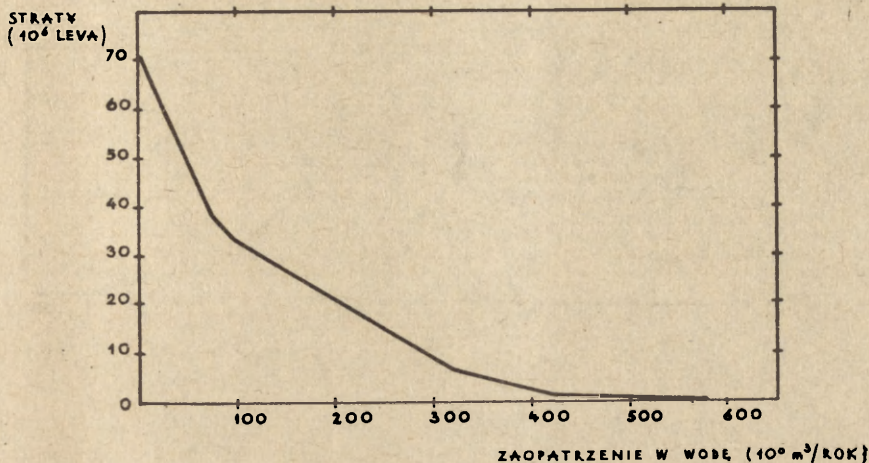
$$\int_0^{r_j^*} m_j dr_j = \int_0^{r_j^*} \frac{\partial L(r_1, \dots, r_n, A_{i,j}, c_i)}{\partial r_j} dr_j = NB^* \quad (15)$$

jest maksymalną wartością dochodu netto, jaki można osiągnąć w systemie dla ilości  $r_j^*$  zasobu  $j$ -tego, przy czym  $r_j^*$  oznacza ilość, dla



ktorej  $\partial L / \partial r_j$  jest równa zeru. Zatem, jeśli rzeczywiste  $r_j^*$  należy do przedziału  $[0, r_j^*]$ , to odpowiedni dochód netto wyniesie

$$NB = \int_0^{r_j} \frac{\partial L(r_1, \dots, r_n, A_{1,j}, c_1)}{\partial r_j} dr_j \quad (16)$$



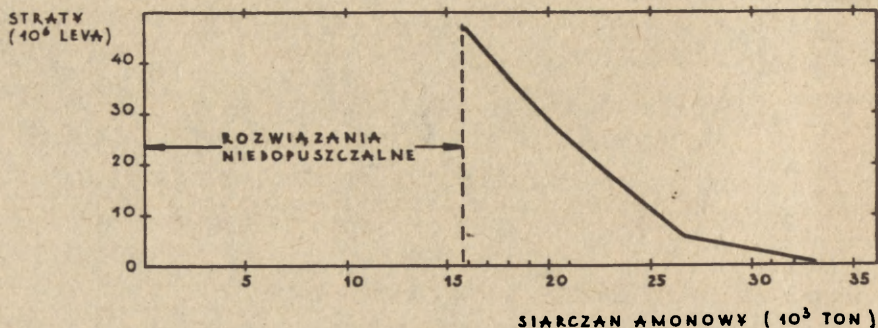
Rys. 6. Funkcja strat dla wody

Funkcja strat  $F(r_j)$  systemu wynikających z nieogoboru zasobu  $r_j$  (przy ustalonych wszystkich parametrach i ilościach pozostałych zasobów w systemie) równa jest różnicy  $NB^* - NB$  określonej dla wszystkich wartości  $r_j$  z przedziału  $[0, r_j^*]$ , to jest

$$F(r_j) = NB^* - NB = NB^* - \int_0^{r_j} \frac{\partial L(r_1, \dots, r_n, A_{1,j}, c_1)}{\partial r_j} dr_j \quad (17)$$

Kształt funkcji strat dla wody jako zasobu -  $F(r_2)$  - odpowiadający funkcji popytu opisaney w pktcie 3.2.1 pokazano na rys. 6. Przebieg tej funkcji można podzielić na 3 przedziały. W pierwszym przedziale ilości dostarczanej wody,  $425 \cdot 10^6 \leq r_2 \leq 585 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{rok}$ , wiel-

kość strat zmienia się o mniej niż 2,5% swojej wartości maksymalnej. W drugim przedziale natomiast ( $75 \cdot 10^6 \leq r_2 \leq 425 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{rok}$ ) następują szybkie zmiany wielkości strat wynikających z niedoboru wody do nawadniania. Maksymalna wielkość strat w tym przedziale wynosi 53% całości strat, jakie kompleks poniósłoby, gdyby  $r_2$  równe było zero.



Rys. 7. Funkcja strat dla siarczanu amonowego

Jak poprzednio analogiczna analiza została przeprowadzona dla nawozów. Zilustrowana została na rys. 7, na którym widac wzrost strat o  $47 \cdot 10^6$  lewa przy zmniejszeniu dostaw siarczanu amonowego z 33000 do 15500 t. Dalsze zmniejszenie dostaw tego nawozu spowoduje zaprzestanie działalności produkcyjnej zarówno roślinnej jak i zwierzęcej.

Opracowany model pozwala także na otrzymywanie funkcji strat przy jednoczesnych zmianach ilości dwu lub więcej zasobów. Zwłaszcza analizę taką przeprowadzono dla dwu powyższych zasobów, wody i nawozów, dla których wyznaczono odpowiednie wartości funkcji strat.

#### 4. Wnioski

Modelowanie kompleksów rolniczych jest doskonałym przykładem zastosowania analizy systemowej w kontekście rozwoju regionalnego z uwagi na wielką wewnętrzną złożoność i różnorodność tych systemów jak również silne zewnętrzne połączenia z systemami otoczenia



(środowisko, rynek), a także zamiennosc lub suostytutywnosc srod-  
kow produkcji oraz produktow. Uzycie metod programowania liniowego  
stwarza mozliwosc praktycznej analizy modelowej problemow o wiel-  
kiej skali, w wyniku ktorej uzyskuje sie cenna informacja dla ce-  
low planistycznych i dla operatywnego kierowniactwa dotyczaca wszys-  
tkich parametrow i wejsc (zasobow, srodkow produkcji) systemu.

Wyznaczone w wyniku takiej analizy funkcje popytu stanowia dla  
planistow i kierownikow jednostek uzyteczna informacja o wpływie  
ilosci i ograniczen zasobow na produkcje. Funkcje popytu pozwalaja  
takze na wyznaczenie funkcji strat, ktora moze sluzyc za podstawe  
dla rozdzialu zasobow w warunkach wzajemnego wzajemnego.

#### Literatura

- [1] Carter H., Csaki C., Propoj A.: Planning Long Range Agricultural Investment Projects: A Dynamic Linear Programming Approach. RM-77-38 IIASA, Laxenburg, Austria 1977.
- [2] Csaki C.: Dynamic Linear Programming Model for Agricultural Investment and Resource Utilization Policies. RM-77-36 IIASA Laxenburg, Austria 1977.
- [3] Dean G. i in.: Programming Model for Evaluating Economic and Financial Feasibility of Irrigation Projects with Expanded Development Periods. Water Resource Res. 1975 nr 3.
- [4] Gisser M.: Linear Programming Models for Estimating the Agricultural Demand Function for Imported Water in the Pecos River Basin. Water Resource Res. 1970 nr 4.
- [5] Gujewski I., Maidment D., Sikorski W.: Modelling of Agricultural Water Demands: Completion Report of the Silistra Case Study. Res. Rep. IIASA, Laxenburg, Austria (w druku).
- [6] Mohammadi-Soltani G.R.: Problems of Choosing Irrigation Techniques in a Developing Country. Water Resource Res. 1972 nr 1.
- [7] Woropajew G.V.: Riezierwy irrigacii, swiazannyje z optimizaczej ispolzowanija wodnych riesursow. W: Problemy riegulirowanija i ispolzowanija wodnych riesursow. Moskwa, Nauka 1973.





Csaba Csáki, Anatoli Propoj \*

## V. DYNAMICZNY MODEL PROGRAMOWANIA LINIOWEGO DO PLANOWANIA PRZEDSIĘWZIĘĆ ROZWOJOWYCH W ROLNICTWIE

### Wstęp

Produkcja rolnicza jest jednym z najbardziej złożonych i wieloaspektowych rodzajów działalności ludzkiej wymagającym koordynacji czynników biologicznych, technicznych, ludzkich i ekonomicznych. W ostatnich latach znaczny wysiłek włożono w sformalizowaną analizę i modelowanie systemów rolniczych. Modele opisujące systemy rolnicze mogą w swojej strukturze akcentować różne aspekty produkcji rolnej, mogą być formułowane przy użyciu rozmaitych technik oraz uwzględniać różne stopnie szczegółowości i wyrafinowania metod. Wybór techniki modelowania zależy od celu stawianego przed modelem. Niniejsza praca opisuje model przeznaczony do planowania rozwoju kompleksu rolniczego. Dla takiego modelu technika dynamicznego programowania liniowego (DPL) wydaje się być jedną z najodpowiedniejszych, jako że dla poziomu agregacji wynikającego z tak postawionego zadania stochastyczne własności procesów mogą być pominięte.

W ramach prac programu Żywność i Rolnictwo w MISAS przewiduje się opracowanie szeregu modeli rolniczych DPL dla poziomów: produktu, mikroregionu i regionu. Pierwszymi krokami w kierunku osiągnięcia tego celu były: określenie struktury matematycznej modelu DPL dla mikro- i regionalnego modeli rozwoju rolniczo-przemysłowego oraz struktury modelu hodowli drobiu. Została także nawiązana współpraca MISAS z Bułgarią oraz Węgrami zmierzająca do wykonania

---

\* Międzynarodowy Instytut Stosowanej Analizy Systemów (MISAS), Laxenburg, Austria.

przykładowych studiów szczegółowych przy użyciu struktur modeli opracowanych w MISAS.

Praca tu przedstawiona dotyczy ogólnego modelu DPL do planowania długoterminowego zróżnicowanego kompleksu (regionu) obejmującego wytwarzanie i przetworstwo w zakresie produkcji roślinnej oraz zwierzęcej. Omawiana struktura modelu została użyta jako podstawa metodyczna prac nad planowaniem kompleksu rolniczo-przemysłowego regionu Silistra w Bułgarii. Związane z tym zaganiem były prace MISAS H.O. Cartera [4], C. Csáziiego [7] i A. Propoja [18].

## 1. Ogólna struktura modelu

Przy formułowaniu zadania DPL pożyteczne jest określić i rozwiązać oddzielnie [17]:

1. Równania stanu systemu rozróżniając zmienne stanu (opisujące) i sterujące (decyzyjne).
2. Ograniczenia nałożone na wartości zmiennych.
3. Horyzont planowania  $T$  - ilość okresów objętą modelowaniem oraz długość każdego okresu.
4. Wskaźnik jakości (funkcję celu), który służy do mierzenia wkładu wartości poszczególnych zmiennych do pewnego ogólnego wyrażenia określającego wynik (np. zysk, dochód netto, wartość majątku itd.).

Ponieważ naszym celem jest określenie optymalnego planu dla całego systemu, będziemy rozpatrywać oddzielnie równania stanu i ograniczenia kolejno dla wszystkich podsystemów i następnie ustalać sposoby łączenia tych "podmodeli" w jeden ogólny model o wspólnym wskaźniku jakości i horyzoncie planowania.

W opisie systemu bierze się pod uwagę o następujących podmodeli

- podsystemu produkcji zwierzęcej,
- podsystemu produkcji roślinnej (upraw jeonorocznych i wieloletnich),
- podsystemu użytkowania bezpośrednich produktów rolniczych (dwa powyższych podsystemów),
- podsystemu przetworstwa,
- podsystemu użytkowania zakupionych środków,
- podsystemu mocy i środków produkcji,
- podsystemu zaopatrzenia w wodę,



- podsystemu finansowego.

Pierwsze trzy z nich są związane z rolniczą działalnością produkcyjną, czwarty opisuje przetwórstwo żywnościowo/paszowe, następne trzy odnoszą się do nierolniczych środków i surowców produkcji oraz do użytkowania odpowiednich zasobów, ostatni zas pozwala na rozpatrzenie skutków finansowych planowanej struktury systemu.

### 1.1. Produkcja rolnicza

W obrębie tej części systemu rozważane są i modelowane: produkcja roślinna i zwierzęca oraz użytkowanie bezpośrednich wytworów rolniczej działalności produkcyjnej.

#### 1.1.1. Podsystem zwierzęcy

Rozważany podsystem składa się z szeregu rodzajów zwierząt (w odróżnieniu od gatunków - przyp. red.) hodowlanych, przy czym wszystkie zwierzęta zależnie od typu (kierunku) hodowlanego (mleczne, mięsne, hodowlane itp.) oraz wieku lub dojrzałości podzielone są na I grup (zgodnie z [16,12,21]).

Niech

$x_i(t)$ ,  $i = 1, \dots, I$ , będą ilościami zwierząt typu  $i$  (mleczne cielę, mleczna jałowica, mleczna krowa, maciora itd.) w roku (okresie)  $t$ ,

$u_i^+(t)$  - ilościami zwierząt typu  $i$  zakupionymi w okresie  $t$ ,

$u_i^-(t)$  - ilościami zwierząt typu  $i$  sprzedanymi w okresie  $t$ ,

$a_{ij}$  - współczynnikami wskazującymi, jaka część zwierząt typu  $j$  przejdzie w następnym okresie do typu  $i$  (tj. odpowiedni współczynnik zmniejszenia stada =  $1 - a_{ij}$ ).

Możemy wówczas zapisać równania stanu podsystemu zwierzęcego

jako

$$x_i(t+1) = \sum_{j=1}^I a_{ij} x_j(t) + u_i^+(t) - u_i^-(t) \quad (1)$$

lub w postaci macierzowej

$$x(t+1) = A x(t) + u^+(t) - u^-(t) \quad (1a)$$

W drugim zapisie  $x(t) = \{x_1(t), \dots, x_n(t)\}$  jest wektorem zmiennych stanu,  $u^+(t) = \{u_1^+(t), \dots, u_1^+(t)\}$  i  $u^-(t) = \{u_1^-(t), \dots, u_1^-(t)\}$  są wektorami zmiennych sterujących.

Równania stanu (1) lub (1a) mogą być także zapisane w bardziej szczegółowej formie. Niech  $x_i^-$  będzie ilością zwierząt o typie  $i$  oraz grupie  $a$  w okresie  $t$ . Zwierzę należy do grupy  $a$ , jeżeli jest w wieku  $t$ , oraz  $a\Delta \leq t < (a+1)\Delta$ , gdzie  $\Delta$  jest danym przedziałem czasowym ( $i = 1, \dots, n$ ;  $a = 0, 1, \dots, N-1$ ;  $t = 0, 1, \dots, T-1$ ).

Wektor  $x^a(t)$  określa ilości zwierząt w poszczególnych grupach dla typu  $a$  oraz okresu  $t$ .

$$x^a(t) = \{x_1^a(t), \dots, x_i^a(t), \dots, x_n^a(t)\}$$

Niech wiek reprodukcyjny rozpoczyna się od grupy  $a_1$  i kończy na grupie  $a_2$ . (Zazwyczaj  $a_2 = N - 1$ ). Wówczas ilość zwierząt urodzonych (tj. należących do grupy  $a = 0$ ) w roku  $t+1$  równa jest

$$x^0(t+1) = \sum_{a=a_1}^N B(a) x^a(t) \quad (2)$$

gdzie  $B(a)$  jest macierzą urodzeń dla grupy  $a$ , element  $b_{ij}(a)$  tej macierzy wskazuje, jaka ilość zwierząt typu  $i$  została "wyprodukowana" ("urodzona") przez jedno zwierzę o typie  $j$  i grupie  $a$ .

Przechodzenie zwierząt z grupy  $a$  do grupy  $a+1$  jest opisane równaniem

$$x^{a+1}(t+1) = S(a) x^a(t) \quad (3)$$

w którym macierz przeżycia  $S(a)$  pokazuje, jaka część grupy zwierząt  $a$  przechodzi do grupy  $a+1$  na jeden okres czasu.

Jeśli np.  $\Delta = 1$  rok i dla grupy  $a$  współczynnik zmniejszenia wynosi  $\alpha_i^a$  ( $0 < \alpha_i^a < 1$ ) dla każdego roku, to równanie (3) można zapisać jako

$$\begin{bmatrix} x_1^{a+1}(t+1) \\ \vdots \\ x_n^{a+1}(t+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (1-\alpha_1^a) & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & (1-\alpha_n^a) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1^a(t) \\ \vdots \\ x_n^a(t) \end{bmatrix}$$

„prowadźmy wektor



$$x(t) = \{x_i^a(t)\} \quad i = 1, \dots, n, \quad a = 0, 1, \dots, N-1$$

Możemy teraz powiązać równania (2) i (3)

$$x(t+1) = A x(t), \quad t = 0, 1, \dots, T-1 \quad (4)$$

gdzie

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & B(a_1) & \dots & B(N-1) \\ s(0) & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ & s(1) & & & & \\ \vdots & & \ddots & & & \vdots \\ 0 & & & S(a_1) & \dots & \\ & & & & \ddots & \\ & & & & & S(N-1) \end{bmatrix}$$

jest macierzą wzrostu lub rozwoju stada [16, 18].

Jeżeli teraz znowu wprowadzimy zmienne sterujące

$$u^+(t) = \{u_i^{a+}(t)\} \quad \text{oraz} \quad u^-(t) = \{u_i^{a-}(t)\}$$

powrócimy do równania stanu o ogólnej postaci analogicznej do pokazanej poprzednio w (1)

$$x(t+1) = A x(t) + u^+(t) - u^-(t)$$

Zwróćmy uwagę na jeden szczegół. Współczynnik zmniejszania  $a_{ii}$  można rozdzielić na dwa składniki:

$$a_{ii} = a_{ii}^r + a_{ii}^b$$

tak, że  $a_{ii}^r$  są współczynnikami wymieralności,  $a_{ii}^b$  zaś współczynnikami zużycia, a zatem odzwierciedlony jest podział na naturalne i gospodarcze kształtowanie stada, przy czym  $a_{ii}^b$  jest parametrem systemu.

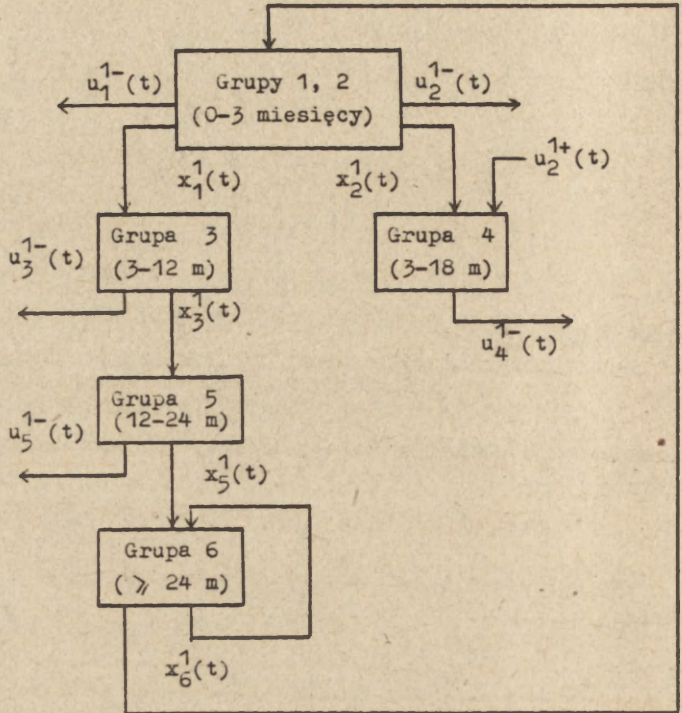
Innym sposobem wprowadzenia czynnika gospodarczego kształtowania stada jest podział wektora sterowania  $u(t)$  na dwie składowe:

$$u_i^-(t) = u_{iS}^-(t) + u_{iB}^-(t)$$

gdzie  $u_{iB}^-(t)$  jest ilością zwierząt usuniętych ze stada w ramach działań hodowlano-selekcyjnych, podczas gdy  $u_{iS}^-(t)$  reprezentuje zamierzoną sprzedaż.

Dla zilustrowania przykładem powyższego omówienia przedstawimy obecnie schemat przepływowy i równania stanu dla odpowiednich odcinków opisujące podsystem bydła.

Podsystem byłaby mlecznego o dwojakim przeznaczeniu.



jałowice

byki

$t = 1$  rok (jednostka czasu)

$x_i^1(t)$  - ilość bydła w grupie  $i$  w roku  $t$

$u_i^{1-}(t)$  - ilość bydła z grupy  $i$  sprzedana w roku  $t$

$u_i^{1+}(t)$  - ilość bydła z grupy  $i$  kupiona w roku  $t$

$a_{ij}$  - współczynniki pozostania w stadzie

$$a_{66}^1 x_6^1(t) = 0,5x_1^1(t) + 0,5x_2^1(t)$$

$$x_3^1(t+1) = a_{31} x_1^1(t) - u_1^{1-}(t)$$

$$x_4^1(t+1) = a_{42} x_2^1(t) - u_2^{1-}(t) + u_2^{1+}(t)$$



$$x_5^1(t+1) = a_{53} x_3^1(t) - u_5^{1-}(t)$$

$$0 = a_{44} x_4^1(t) - u_4^{1-}(t)$$

$$x_6^1(t+1) = a_{66} x_6^1(t) + a_{65} x_5^1(t) - u_6^{1-}(t)$$

Zmienne stanu:  $x(t) = \{x_1^1(t), \dots, x_6^1(t)\}$

Zmienne sterujące:  $u^{1-}(t) = \{u_1^{1-}(t), u_2^{1-}(t), u_3^{1-}(t), u_4^{1-}(t), u_5^{1-}(t)\}$

$$u^{1+}(t) = u_2^{1+}(t)$$

### 1.1.2. Podsystem produkcji roślinnej

Podsystem ten zawiera zarówno uprawy roczne jak i wieloletnie. Rozpatrzmy najpierw uprawy wieloletnie (bardziej szczegółowe omówienie problematyki modelowania tych upraw można znaleźć w [7]).

Niech

$y_j(t)$ ,  $j = 1, \dots, J$ , - będzie ilością hektarów pod uprawę wieloletnią  $j$  w okresie  $t$  (winogrona, brzoskwinie, lucerna<sup>1</sup> itd.)

$v_j^+(t)$  - ilością hektarów nowo przeznaczonych pod uprawę wieloletnią  $j$  w roku  $t$

$v_j^-(t)$  - ilością hektarów usuniętych spod uprawy wieloletniej  $j$  w roku  $t$

$b_{jk}$  - współczynnikiem wskaźującym, jaka część ziemi pod uprawę  $k$  przejdzie pod uprawę  $j$  w ciągu jednego roku

Równania stanu mogą być teraz zapisane jako

$$y_j(t+1) = \sum_{k=1}^J b_{jk} y_k(t) + v_j^+(t) - v_j^-(t) \quad (5)$$

lub w postaci macierzowej

$$y(t+1) = B y(t) + v^+(t) - v^-(t) \quad (5a)$$

w której

$y(t) = \{y_1(t), \dots, y_J(t)\}$  jest wektorem stanu

<sup>1</sup> Przykłady podawane w pracy są związane przeważnie z pierwszym modelowanym obiektem, a więc regionem Silistry w Bułgarii (przyp. red.).

$v^+(t) = \{v_1^+(t), \dots, v_j^+(t)\}$  oraz  $v^-(t) = \{v_1^-(t), \dots, v_j^-(t)\}$   
są wektorami sterującymi.

Możemy zilustrować równania stanu podsystemu upraw wieloletnich przykładem z działalności sadowniczej (jabłonie, śliwy, brzoskwinie itp.).

Podzielmy drzewa na grupy według wieku. Niech  $y_i(t)$  będzie ilością drzew w wieku  $i$  w okresie  $t$  ( $i = 1, \dots, n$ , gdzie  $n$  jest grupą dojrzałych lub owocujących, w pełni produktywnych drzew);  $y_i(t)$  może też przedstawiać ilość nektarów drzew z grupy  $i$  ( $i = 1, \dots, n$ ). Wówczas równania stanu opisujące działalność sadowniczą będą miały następującą postać:

$$y_1(t+1) = v_1^+(t)$$

$$y_2(t+1) = b_{21}y_1(t)$$

...

$$y_n(t+1) = b_{nn}y_n(t) + b_{n,n-1}y_{n-1}(t)$$

Zmienne  $y_1(t), \dots, y_n(t)$  są tu zmiennymi stanu;  $v_1^+(t)$  jest natomiast zmienną sterującą. Współczynniki  $b_{ij}$  pokazują szybkość zmniejszania się sadu przy przejściu z grupy  $j$  do grupy  $i$ .

Jeśli nie jest istotna i pożądana informacja o nieproduktywnych grupach drzew ( $j < n$ ), to zmienne stanu  $y_j(t)$ ,  $j < n$ , mogą być wyeliminowane

$$y_n(t+1) = b_{nn}y_n(t) + b_{n,n-1}v_1^+(t-n+1)$$

przy czym  $b = b_{n,n-1} \cdot b_{n-1,n-2} \cdot \dots \cdot b_{32}b_{21}$ .

Dodatkowo, w przypadku wybrania podstawowego okresu czasu równego  $n$  latom, opóźnienie czasowe może być pominięte

$$y_n(t+1) = \tilde{b}y_n(t) + \tilde{v}(t)$$

przy wprowadzeniu  $\tilde{v}(t)$  jako ilości drzew zasadzonych w kolejnych  $n$ -letnich okresach.

Równania stanu w przedstawionej postaci są niezbędne tylko dla upraw wieloletnich. Dla upraw jednorocznych wystarcza wprowadzenie ilości nektarów  $\tilde{y}(t)$  użytych pod te uprawy, przy czym zmienna ta jest sterująca (decyzyjna) w podsystemach przetwórstwa, użytkowania i innych.



### 1.1.3. Podsystemy użytkowania bezpośrednich produktów działalności rolniczej

Wytworzone w ramach produkcji zwierzęcej i roślinnej (wieloletniej i jednorocznej) produkty mogą być następnie przetwarzane. Różniamy tu działania produkcyjne (wytworcze) pierwotne (uzyskiwanie mleka, jabłek, ziarna itd.) i wtórne - przetwórcze (wytwarzanie mięsa, owoców paczkowanych i konserwowych itd.). Podsystem przetwórstwa pierwotnego podzielimy na 5 następujące podsystemy (użytkowanie wyników produkcji zwierzęcej, roślinnej z upraw wieloletnich i roślinnej z upraw jednorocznych).

Niech

$z_m^x(t)$ ,  $m = 1, \dots, M_x$  będąciami ilościami produktów pierwotnych typów  $m$  uzyskanych z produkcji zwierzęcej (mleko, mięso, jaja itd.)

$z_m^y(t)$ ,  $m = 1, \dots, M_y$  ilościami produktów typów  $m$  uzyskanych z upraw wieloletnich (jabłka, śliwki itd.)

$\bar{z}_m^y(t)$ ,  $m = 1, \dots, M_y$  ilościami produktów typów  $m$  uzyskanych z upraw jednorocznych (kukurydza, pszenica, wyrzywa itd.)

$z_m(t)$ ,  $m = 1, \dots, M$  ilościami zakupionych produktów (środków, surowców) typów  $m$  (nawozy, środki ochrony roślin itd.).

Zmienne powyższe są zmiennymi stanu.

Tak jak w innych podsystemach uwzględniamy tu transakcje kupna i sprzedaży (jako zmienne sterujące) produktów podsystemu. Są nimi  $z_m^{x+}(t)$ ,  $z_m^{x-}(t)$ ,  $z_m^{y+}(t)$ ,  $z_m^{y-}(t)$ ,  $\bar{z}_m^{y+}(t)$ ,  $\bar{z}_m^{y-}(t)$  oraz  $z_m^+(t)$ .

Dysponujemy poza tym innymi jeszcze zmiennymi sterującymi:

$\bar{y}_j(t)$  - ilość hektarów pod uprawami jednorocznymi typu  $j$  w okresie  $t$  (kukurydza, pszenica itd.)

$q_{mk}^x(t)$  - intensywność przetwarzania  $m$ -tego produktu pierwotnego uzyskanego z produkcji zwierzęcej (np. mleko) na  $k$ -ty produkt wtórny (np. masło) w okresie  $t$ ,  $m = 1, \dots, M_x$ ,  $k = 1, \dots, K_x$

$q_{mk}^y(t)$  -  $m = 1, \dots, M_y$ ,  $k = 1, \dots, K_y$  oraz

$\bar{q}_{mk}^y(t)$  -  $m = 1, \dots, M_y$ ,  $k = 1, \dots, K_y$  są określone analogicznie do  $q_{mk}^x(t)$  dla produktów upraw wieloletnich i jednorocznych.

1.1.5.1. Użytkowanie produkcji zwierzęcej

$$\begin{aligned}
 z_m^x(t+1) = & z_m^x(t) + \sum_i \varepsilon_{mi}^x x_i(t) + \sum_i \varepsilon_{mi}^u u_i^-(t) + \\
 & - \left[ \sum_i \alpha_{mi}^x x_i(t) + \sum_j \beta_{mj}^x y_j(t) + \sum_j \tilde{\beta}_{mj}^x \tilde{y}_j(t) + \right. \\
 & \left. + \sum_k \delta_{mk}^x q_{mk}^x(t) \right] + z_m^{x+}(t) - z_m^{x-}(t) \quad (6)
 \end{aligned}$$

W równaniu tym:

$\varepsilon_{mi}^x$  - wielkość produkcji typu  $m$  uzyskanej z jednostki zwierzęcej typu  $i$  (bez usuwania jej z systemu)

$\varepsilon_{mi}^u$  - jak, ale z usunięciem zwierzęcia z systemu

$\alpha_{mi}^x$  - ilość produktu typu  $m$  zużytego przez jednostkę zwierzęcą typu  $i$

$\beta_{mj}^x$  - ilości produktu zwierzęcego  $m$  (np. nawóz naturalny)

$\tilde{\beta}_{mj}^x$  - zużytego na 1 ha pod uprawę (wieloletnią lub jednoroczną) typu  $j$

$\delta_{mk}^x$  - zużycie produktu zwierzęcego  $m$  do produkcji jednostki produktu wtórnego  $k$

w postaci macierzowej równania (6) mogą być zapisane jako

$$\begin{aligned}
 z^x(t+1) = & z^x(t) + G^x x(t) + G^u u^-(t) - \{ \alpha^x x(t) + \beta^x y(t) + \\
 & + \tilde{\beta}^x \tilde{y}(t) + [\Delta^x Q^x(t)] \} + z^{x+}(t) - z^{x-}(t) \quad (6a)
 \end{aligned}$$

jeśli wprowadzimy macierze

$$\begin{aligned}
 G^x = \{ \varepsilon_{mi}^x \}, \quad G^u = \{ \varepsilon_{mi}^u \}, \quad \alpha^x = \{ \alpha_{mi}^x \}, \quad \beta^x = \{ \beta_{mj}^x \} \\
 \tilde{\beta}^x = \{ \tilde{\beta}_{mj}^x \}, \quad \Delta^x = \{ \delta_{mk}^x \}, \quad Q^x(t) = \{ q_{mk}^x(t) \}
 \end{aligned}$$

Równanie powyższe zostało zapisane przy założeniu, że wszystkie zwierzęta sprzedawane  $u_i^-(t)$  są przed dokonaniem transakcji przetwarzane. Odstępianie od tego założenia wymagałoby podziału zmien-



nych  $u_i^-(t)$  na składowe bezpośrednio do sprzedaży i do wstępnego przetworzenia <sup>2</sup>.

### 1.1.3.2. Użytkowanie produkcji upraw wieloletnich

$$z_m^y(t+1) = z_m^y(t) + \sum_j \alpha_{mj}^y y_j(t) +$$

$$- \left[ \sum_i \alpha_{mi}^y x_i(t) + \sum_j \beta_{mj}^y y_j(t) + \sum_k \delta_{mk}^y q_{mk}^y(t) \right] +$$

$$+ z_m^{y+}(t) - z_m^{y-}(t) \quad (7)$$

### 1.1.3.3. użytkowanie produkcji upraw rocznych

$$\tilde{z}_m^y(t+1) = \tilde{z}_m^y(t) + \sum_j \tilde{\alpha}_{mj}^y \tilde{y}_j(t) +$$

$$- \left[ \sum_i \tilde{\alpha}_{mi}^y x_i(t) + \sum_i \tilde{\beta}_{mi}^y y_j(t) + \sum_k \tilde{\delta}_{mk}^y \tilde{q}_{mk}^y(t) \right] +$$

$$+ z_m^{y+}(t) - z_m^{y-}(t) \quad (8)$$

## 1.2. Podsystem przetwórstwa

Zmienne stanu określone są jako

$s_k^x(t)$ ,  $k = 1, \dots, n_s^x$  - ilość produktu typu  $k$  uzyskanego w wyniku przetwórstwa wtórnego produktów pierwotnych (sery, masło, szynka, produkty konserwowe itd.)

$s_k^y(t)$ ,  $k = 1, \dots, n_s^y$  - ilość produktu wtórnego typu  $k$  uzyskanego z upraw wieloletnich (soki, owoce paczkowane i konserwowe, mrożonki itd.)

<sup>2</sup> w rzeczywistości podział taki nie jest konieczny, jeśli (wyjście czysto formalne) jako jeden z produktów pierwotnych  $m$  określi się samo zwierzę (przyp. red.).

$\tilde{s}_k^y(t)$ ,  $k = 1, \dots, K_S^y$  - ilość produktu wtórnego typu  $k$  uzyskanego z upraw jednorocznych (mąka, cukier itd.)

Transakcje sprzedaży (zmiennie sterujące) oznaczamy w sposób następujący:

$$s_k^x(t), s_k^y(t), \tilde{s}_k^y(t)$$

Frzy powyższych oznaczeniach równania stanu mogą być zapisane w następującej postaci:

$$s_k^x(t+1) = s_k^x(t) + \sum_m d_{mk}^x q_{mk}^x(t) - s_k^x(t) \quad (9)$$

$$s_k^y(t+1) = s_k^y(t) + \sum_m d_{mk}^y q_{mk}^y(t) - s_k^y(t) \quad (10)$$

$$\tilde{s}_k^y(t+1) = \tilde{s}_k^y(t) + \sum_m \tilde{d}_{mk}^y \tilde{q}_{mk}^y(t) - \tilde{s}_k^y(t) \quad (11)$$

w której  $d_{mk}^x$ ,  $d_{mk}^y$  i  $\tilde{d}_{mk}^y$  są ilościami produktów typu  $m$  wymaganymi do produkcji jednostki typu  $k$  dla, odpowiednio, pierwotnych produktów zwierzęcych, upraw wieloletnich i jednorocznych.

W postaci macierzowej

$$s^x(t+1) = s^x(t) + [D^x(t) Q^x(t)] - s^x(t) \quad (9a)$$

$$s^y(t+1) = s^y(t) + [D^y(t) Q^y(t)] - s^y(t) \quad (10a)$$

$$\tilde{s}^y(t+1) = \tilde{s}^y(t) + [\tilde{D}^y(t) \tilde{Q}^y(t)] - \tilde{s}^y(t) \quad (11a)$$

### 1.3. Użytkowanie zakupionych środków i surowców

Niech  $z_m(t)$  oznacza ilości zakupionych środków i surowców do produkcji rolniczej typu  $m$ ,  $m = 1, \dots, M$  (nawozy sztuczne, środki ochrony roślin itd.) w okresie  $t$ .

Mozemy zapisać teraz równanie na kształtowanie się zapasu tych środków i surowców:

$$z_m(t+1) = z_m(t) + z_m^+(t) - \sum_i \alpha_{mi} x_i(t) + \sum_j \beta_{mj} y_j(t) +$$



$$+ \sum_j \beta_{mj} \tilde{y}_j(t) - \sum_k \gamma_{mk}^x q_{mk}^x(t) + \sum_k \delta_{mk}^y q_{mk}^y(t) + \sum_k \tilde{\gamma}_{mk}^y \tilde{q}_{mk}^y(t) \quad (12)$$

przy czym  $\alpha_{mi}$ ,  $\beta_{mj}$ ,  $\tilde{\beta}_{mj}$  oznaczają zużycie zakupionych środków typu  $m$  na jednostkę, odpowiednio, zwierzęcą, upraw wieloletnich i jednorocznych;  $\gamma_{mk}^x$ ,  $\delta_{mk}^y$ ,  $\tilde{\gamma}_{mk}^y$  oznaczają zużycie zakupionych produktów typu  $m$  na jednostkę przetwórstwa typu  $k$  związanego z produkcją zwierzęcą, uprawami wieloletnimi i jednorocznymi.

Dla towarów, których nie można magazynować (np. elektryczność) równanie stanu (12) jest zastępowane równaniem:

$$z_m^+(t) - \left[ \sum_i \alpha_{mi} x_i(t) + \sum_j \beta_{mj} y_j(t) + \sum_j \tilde{\beta}_{mj} \tilde{y}_j(t) \right] + \left[ \sum_k \gamma_{mk}^x q_k^x + \sum_k \delta_{mk}^y q_k^y + \sum_k \tilde{\gamma}_{mk}^y \tilde{q}_k^y \right] = 0 \quad (13)$$

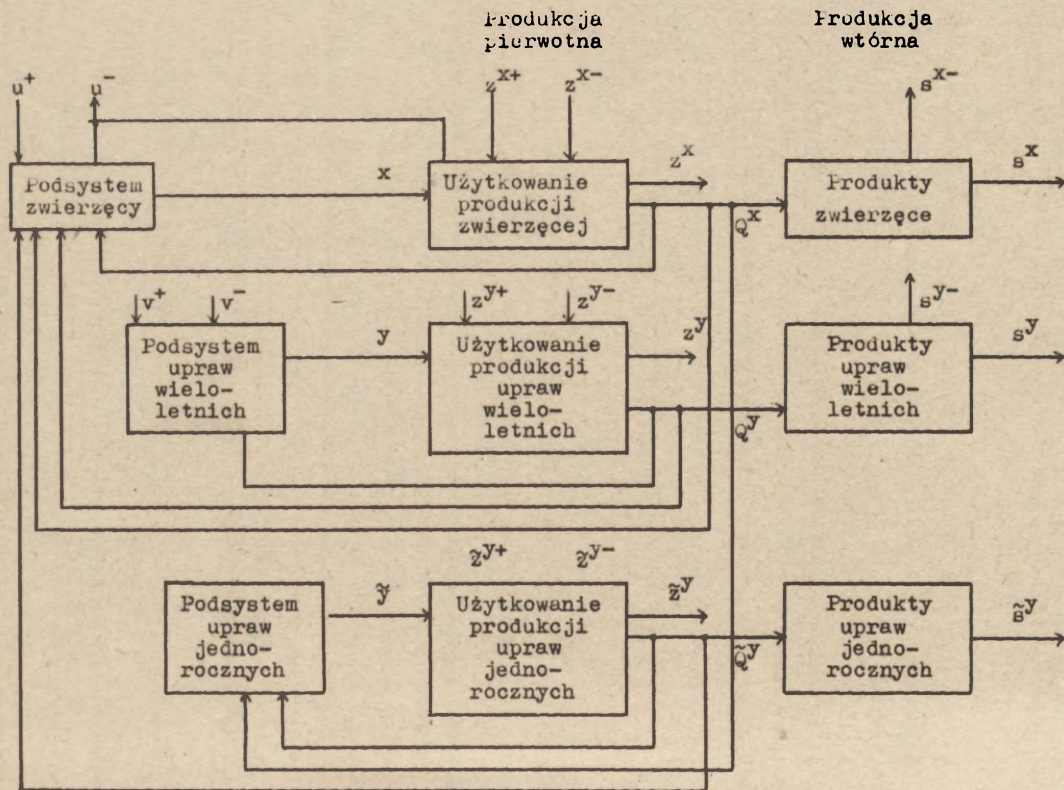
Wszystkie przedstawione dotychczas podsystemy (produkcyjne) zostały skrótowo zilustrowane na rys. 1.

#### 1.4. Podsystem mocy i środków produkcji

Zasób potencjału produkcyjnego, związany z majątkiem trwałym, budynkami, maszynami itp. może zmieniać się w przyjętym horyzoncie planowania w wyniku decyzji inwestycyjnych lub likwidacyjnych.

Niech

- $k_n^+(t)$ ,  $n = 1, \dots, N$ , będzie zasobem środków typu  $n$  (budynki, maszyny) na początek okresu  $t$
- $w_{nr}(r)$ ,  $r = 1, \dots, R$ , intensywnością działalności typu  $r$  (zakupy różnych rodzajów traktorów, budowa oóór itd.) w okresie  $t$ , zmierzającą do zwiększenia zasobu środków typu  $n$  w okresie  $t+1$
- $k_n^-(t)$  środkami  $n$ -tego typu usuniętymi z systemu w okresie  $t$
- $d_{nx}$  współczynnikiem przyrostu zasobu środków typu  $n$



Rys. 1. Schemat podsystemów produkcyjnych



$n$  w wyniku jednostkowej intensywności działalności typu  $r$  w jednym okresie

$c_n$  współczynnikiem zużycia zasobu  $n$ .

Wówczas równania stanu określone są jako

$$k_n(t+1) = c_n k_n(t) + \sum_{r=1}^R d_{nr} w_{nr}(t) - k_n^-(t) \quad (14)$$

gdzie  $k_n(t)$  są zmiennymi stanu, natomiast  $w_{nr}$  i  $k_n^-(t)$  są zmiennymi sterującymi.

Przy uwzględnieniu opóźnień równania stanu zmienia się w sposób następujący:

$$k_n(t+i) = c_n k_n(t) + \sum_r d_{nr} w_{nr}(t - \tau_r) - k_n^-(t) \quad (14a)$$

przy czym  $\tau_r$  jest czasem potrzebnym do całkowitego zużycia jednostkowego wyniku działalności  $r$ -tej.

Może się okazać, że region będący obiektem planowania rozwojowego ma początkowy kapitał produkcyjny niezgodny z zamierzonym kierunkiem rozwoju. Z tego powodu należy więc rozpatrywać nie tylko tworzenie nowych zasobów, ale także modyfikacje i restrukturyzacje istniejących. Dla tak rozszerzonego podsystemu równania stanu przybierają postać

$$k_n(t+1) = c_n k_n(t) + \sum_r d_{nr} w_{nr}(t) - \sum_s x_{ns}(t) + \sum_s \chi_{sn} x_{sn}(t) - k_n^-(t) \quad (14b)$$

W zapisie tym  $x_{sn}(t)$ ,  $n, s = 1, \dots, N$ , jest zmniejszającym się zasobem typu  $s$  w okresie  $t$ , który w tym okresie zaczął być zmieniany na zasób typu  $n$  (np. modernizacja technologii, zmiana rodzaju działalności itp.). Nazwiemy ten proces konwersją  $s \rightarrow n$ . Współczynnik  $\chi_{sn}$  pokazuje wzrost zasobu  $n$  w wyniku rekonstrukcji lub restrukturyzacji jednostki zasobu  $s$ . Zatem całkowity wzrost

zasobu środków produkcji typu  $n$  w okresie  $t$  w wyniku konwersji innych zasobów wyniesie

$$\sum_s \chi_{sn} x_{sn}(t)$$

natomiast całkowity ubytek zasobu  $n$  w okresie  $t$  w wyniku konwersji tego zasobu na inne wyniesie

$$\sum_s x_{ns}(t)$$

Oczywiście

$$c_n k_n(t) - \sum_s x_{ns}(t) \geq 0$$

dla każdego  $n$ .

Zazwyczaj proces rekonstrukcji trwa dłużej niż jeden okres. Z powyższych rozważań wynika zatem, że równania stanu środków produkcji można zapisać w sposób następujący:

$$k_n(t+1) = c_n k_n(t) + \sum_r d_{nr} w_{nr}(t - \tau_r) + \\ - \sum_s x_{ns}(t - \tau_{ns}) + \sum_s \chi_{sn} x_{sn}(t - \tau_{sn}) - k_n^-(t) \quad (14c)$$

przy czym w zapisie tym  $\tau_{ns}$  oznacza czas (ilość okresów) konwersji  $n \rightarrow s$ . Dokładniejszy opis modeli restrukturyzacji kapitału produkcyjnego zawarty jest w [13].

Wartości zasobów produkcyjnych mogą być wyliczone z równań (14). Ogólnie biorąc, zasoby te w odpowiednich kombinacjach po  $k_n(t)$ ,  $n = 1, \dots, N$  (traktory różnych rodzajów, oddzielne budynki itp.) będą tworzyły środki do poszczególnych operacji produkcyjnych

$$k_g(t) = \sum_{n=1}^N \mu_{gn} k_n(t), \quad g = 1, \dots, G \quad (15)$$



ganie współczynniki  $\mu_{gn}$  pokazują użytkowanie zasobów  $n$  na jednostkę operacji  $g$ . Często zdarza się, że  $\mu_{gn} = 1$  dla  $g = n$  oraz  $\mu_{gn} = 0$  dla wszystkich  $g \neq n$ . Wówczas

$$k_n(t) = k_n(t)$$

Ograniczenia na zasoby w dyspozycji w danym okresie  $t$  do operacji  $g$  mają więc postać następującą:

$$\begin{aligned} & \sum_i \lambda_{gi}^x x_i(t) + \sum_j \lambda_{gj}^y y_j(t) + \sum_j \tilde{\lambda}_{gj}^y \tilde{y}_j(t) + \\ & + \sum_m \sum_k \lambda_{gmk}^x q_{mk}^x(t) + \sum_m \sum_k \lambda_{gmk}^y q_{mk}^y(t) + \\ & + \sum_m \sum_k \tilde{\lambda}_{gmk}^y \tilde{q}_{mk}^y(t) \leq \sum_n \mu_{gn} k_n(t) \end{aligned} \quad (16)$$

Należy tu zauważyć, że równanie (16) jest postacią ogólną, którą można stosować do prawie wszystkich przypadków ograniczeń zasobów. W wielu z tych przypadków jednak większość współczynników równych jest zeru.

Aby opis systemu stał się całkowity, być może zajdzie potrzeba oddzielnego ograniczenia niektórych zmiennych sterujących (n. obszar ziemi uprawnej, przepisy zdrowotne itp.).

### 1.5. Podsystem zaopatrzenia w wodę

Podsystem zaopatrzenia w wodę jest bardzo istotnym elementem w planowaniu działalności rolniczej. Nieco bardziej szczegółowe rozważania dotyczące planowania systemów nawadniających zawarte są w pracach [9-11]. W niniejszej pracy przyjmuje się pewien uproszczony model zaopatrzenia w wodę jako szczególny przypadek modelu rozwoju zasobów (opisanego w poprzednim punkcie).

Niech

$q_s(t)$ ,  $s = 1, \dots, S$ , będzie możliwością zaopatrzenia w wodę typu  $s$  na początek okresu  $t$

$\tilde{q}_s(t)$  będzie wzrostem powyższych możliwości w okresie  $t$

$\alpha_s(t)$  będzie współczynnikiem zmniejszenia zasobu  $s$ .

Wówczas równanie stanu rozwoju podsystemu zaopatrzenia w wodę, podobnie do (14), będzie miało postać

$$q_s(t+1) = \alpha_s(t) q_s(t) + \tilde{q}_s(t)$$

Ograniczenia związane z popytem na wodę są analogiczne do (16)

$$\sum_j \theta_j y_j(t) + \sum_j \tilde{\theta}_j \tilde{y}_j(t) \leq \sum_s \beta_s q_s(t)$$

### 1.6. Ograniczenia na wartości zmiennych

(Zgodnie z uwagą końcową z pktu 1.4 - przyp. red.) uzupełnienie opisu systemu może wymagać nałożenia ogólnych ograniczeń na niektóre zmienne stanu i zmienne sterujące (np. możliwy obszar upraw, przepisy zdrowotne i środowiskowe itp.). Jako przykład, mogą także występować ograniczenia na ilości magazynowanych produktów o postaci

$$\begin{aligned} z_m^x(t) &\leq \bar{z}_m^x(t) & s_m^x(t) &\leq \bar{s}_m^x(t) \\ z_m^y(t) &\leq \bar{z}_m^y(t) & s_m^y(t) &\leq \bar{s}_m^y(t) \\ \tilde{z}_m^y(t) &\leq \bar{\tilde{z}}_m^y(t) & \tilde{s}_m^y(t) &\leq \bar{\tilde{s}}_m^y(t) \\ z_m(t) &\leq \bar{z}_m(t) \end{aligned} \quad (17)$$

w której wartości  $z_m^x(t)$ ,  $z_m^y(t)$ ,  $\tilde{z}_m^y(t)$ ,  $s_m^x(t)$ ,  $s_m^y(t)$ ,  $\tilde{s}_m^y(t)$ ,  $z_m(t)$  otrzymywane są z równań stanu (6)-(12). W podsystemach, w których powyższe ograniczenia możliwości magazynowania nie występują, nierówności (17) powinny być zastąpione równościami analogicznym do (13). Wszystkie występujące zmienne są, oczywiście, nieujemne.

### 1.7. Podsystem finansowy

Podsystem ten zawiera relacje związane z wynikami finansowymi działalności opisywaną w innych podsystemach modelu głównie w jednostkach fizycznych. Ponieważ sposoby prowadzenia kalkulacji finansowych mogą znacznie różnić się, zależnie od systemu gospodarczego i metod rachunkowości, przeto opisujemy w modelu jedynie



główne, najistotniejsze elementy podsystemu finansowego. Obowiązująca w danym szczególnym przypadku procedura prowadzenia rachunkowości powinna zatem dokładnie określić postać równań i ograniczeń tego podsystemu.

Przychód za okres  $t$

$$\begin{aligned} & \sum_i p_i u_i^-(t) + \sum_j p_j v_j^-(t) + \sum_n p_n k_n^-(t) + \sum_m p_m^x z_m^{x-}(t) + \\ & + \sum_m p_m^y z_m^{y-}(t) + \sum_m \tilde{p}_m^y \tilde{z}_m^{y-}(t) + \sum_m p_m^q s_m^{x-}(t) + \sum_m p_m^q s_m^{y-}(t) + \\ & + \sum_m \tilde{p}_m^q \tilde{s}_m^{y-}(t) = f^r(t) \end{aligned} \quad (18)$$

gdzie  $f^r(t)$  jest całkowitym przychodem za okres  $t$ ;  $p_i, p_j$  itd. są cenami lub odpowiednimi współczynnikami.

Wydatki za okres  $t$

$$\begin{aligned} & \sum_m p_m^x z_m^{x+}(t) + \sum_m p_m^y z_m^{y+}(t) + \sum_m \tilde{p}_m^y \tilde{z}_m^{y+}(t) + \sum_m p_m^+ z_m(t) + \\ & + \sum_i \sum_g p_g^c \lambda_{gi}^x x_i(t) + \sum_j \sum_g p_g^c \lambda_{gj}^y y_j(t) + \\ & + \sum_j \sum_g p_g^c \tilde{\lambda}_{gj}^y \tilde{y}_j(t) + \sum_m \sum_k \sum_g p_g^c \lambda_{gmk}^q q_{mk}^y(t) + \\ & + \sum_m \sum_k \sum_g p_g^c \tilde{\lambda}_{gmk}^q \tilde{q}_{mk}^y(t) = f^e(t) \end{aligned} \quad (19)$$

gdzie  $f^e(t)$  jest sumą wydatków za okres  $t$ ,  $p_g^c$  zaś oznacza wydatki na użytkowanie zasobu typu  $g$  wraz ze zmniejszenie wartości w czasie (deprecjacja).

Bilans pieniężny

$$z_p(t+1) = z_p(t) + f^r(t) - f^e(t) \quad (20)$$

$z_p(t) \geq 0$ ,  $z_p(t)$  jest dochodem wytworzonym przez system.

Inwestycje

$$\sum_i P_i u_i^+(t) + \sum_j P_j v_j^+(t) + \sum_n \sum_r P_{nr} w_{nr}(t) = f^i(t) \quad (21)$$

gdzie  $f^i(t)$  jest sumą zainwestowaną w okresie  $t$ . Inwestycje mogą być dodatkowo ograniczone

$$f^i(t) \leq z_p(t) \quad (21a)$$

lub

$$f^i(t) \leq z_p(t) + \bar{f}^i(t) + f^d(t) \quad (21b)$$

gdzie  $\bar{f}^i(t)$  jest górną granicą funduszy inwestycyjnych dostarczanych z zewnątrz.

kapitał trwały

$$z_c(t+1) = z_c(t) + f^i(t)$$

gdzie  $z_c(t)$  jest wartością kapitału trwałego w systemie.

## 2. Funkcja celu i horyzont planowania

Wielookresowe lub dynamiczne modele programowania liniowego w ogóle dotyczą skończonych horyzontów czasowych, a zatem wymagają odpowiednio do tego sformułowanych funkcji celu, procedur dyskontowania i określeń warunków końcowych (i/lub wartości kapitału trwałego).

Zagadnienie odpowiedniej funkcji jakości czy celu staje się bardziej złożone w miarę jak przechodzimy od modeli krótkookresowych do długookresowych. W zasadzie pozostaje otwarta kwestia wyboru wielkości maksymalizowanej przez decydenta w dłuższym okresie czasu i ograniczeń, przy których ta maksymalizacja jest dokonywana.

Wymienimy tu jedynie niektóre spośród celów, które były stosowane w analizie inwestycji.

1. Maksymalizacja obecnej wartości przyszłego spożycia.

2. Maksymalizacja obecnej wartości przyszłych dochodów (zysków) zarówno, gdy (a) zyski są wycofywane z systemu na końcu każdego okresu obrachunkowego jak i gdy (b) zysk jest inwestowany, gdy następuje jego obniżka.

3. Maksymalizacja zdyskontowanego przepływu pieniędzy.



4. Maksymalizacja obecnej wartości przyszłego przepływu pieniędzy.

5. Maksymalizacja końcowej wartości netto.

Tak więc np. dla zagadnienia omawianego w niniejszej pracy rozważana może być następująca funkcja celu:

$$\max \sum_{t=1}^T \omega(t) z_p(t)$$

gdzie  $\omega(t)$  jest współczynnikiem dyskonta, albo inna

$$\max z_c(T) + z_p(T)$$

w której  $z_c(T)$  jest majątkiem trwałym w końcowym roku  $T$ .

### 3. Zastosowanie praktyczne modelu DPL do planowania rozwoju rolnictwa

Opisany tu model DPL posłużył, jak wspomniano, jako podstawa do stworzenia szerszego modelu do planowania rozwoju przemysłowo-rolniczego w regionie Silistra. Na podstawie szeregu konsultacji z przedstawicielami MTSAS naukowcy bułgarscy zastosowali opracowaną metodykę do prac prowadzonych w ramach programu zintegrowanego rozwoju regionalnego Silistry. Równocześnie z tymi pracami modelowymi opracowano także model popytu na wodę dla regionu Silistry [11]. W ciągu ostatnich kilku miesięcy znaczną ilość obliczeń wykonano za pomocą modelu planowania przemysłowo-rolniczego dla Silistry a ich ostateczne wyniki wraz z analizą zostaną przedstawione w końcu 1978 r.

Jakkolwiek praca nad modelem dla Silistry nie została jeszcze całkowicie zakończona, można jednak - zarówno na podstawie dotychczasowych doświadczeń bułgarskich jak i tych, które wynikają z innych zastosowań analogicznych modeli do rolnictwa (np. na Węgrzech) - sformułować pewne wnioski odnoszące się do metod.

- Doświadczenia z zastosowań praktycznych dowiodły właściwości modeli DPL przedstawionego typu do planowania programów rozwoju rolniczego. W porównaniu z innymi podejściami modele DPL oferują istotną korzyść przez uwzględnienie dynamiki procesów naturalnych i gospodarczych. Pozwala to na modelowanie produkcji, procesów in-

westycyjnych i problemów finansowych związanych z rozwojem przemysłowo-rolniczym z dość dużą dokładnością.

- modele DFL mogą być formułowane dla różnych poziomów agregacji. Uzyskane doświadczenie z różnymi skalami modelu wskazuje, że dezagregacja powyżej pewnego, zwykle dość umiarkowanego, poziomu nie zwiększa w istotny sposób ilości użytecznej informacji w modelu DFL. Z drugiej strony operowanie modelami o wielkiej skali zarówno z punktu widzenia obliczeń jak i bazy danych jest trudne i kosztowne. Aspekty obliczeniowe DFL przedstawiono w [17] i [19].

- Miarygodna baza danych jest kluczowym warunkiem powodzenia w zastosowaniach praktycznych. Określenie parametrów modelu i współczynników technicznych różnych alternatyw technologicznych w dużej mierze opóźniło prace modelowe dla Silistry. W przypadkach przyszłych zastosowań należy zatem zwrócić uwagę na możliwość komputerowego przygotowania danych.

- W modelu DFL zakłada się stałe ceny środków i materiałów oraz produktów, co pozwala na pozostanie przy liniowości. Gdyby ceny produktów były zależne od wielkości produkcji, co może zachodzić dla wielkich programów, wówczas model powinien być przeformułowany do postaci programowania nieliniowego [18]. W praktyce odpowiednio przeprowadzona analiza czułości rozwiązań za pomocą technik programowania parametrycznego pozwala na otrzymanie dobrych przybliżeń rozwiązań nieliniowych przy zachowaniu wydajności obliczeniowej programowania liniowego.

- Innym zastrzeżeniem wobec DFL jest podejście deterministyczne do zagadnienia, które zawiera wiele elementów stochastycznych. Tu, oczywiście, szereg innych bardziej wyrafinowanych technik może być użyteczna (np. programowanie kwadratowe, programowanie stochastyczne) do prostych zadań, jednak zadania rzeczywiste, nawet operatywne, powodują powstanie trudności przez wielką ilość danych. Co więcej, istnieją dowody na to, że niektóre z tych rocznych wahań losowych są względnie małe w porównaniu z tymi, które pojawiają się w zagadnieniach długoterminowych (zmiany poziomów cen, wydajności, warunków ekonomicznych).

#### Literatura

- [1] Agrawal R.C., Heady E.O.: Operation Research for Agricultural



- Decisions. Iowa State University Press, Ames, 1972.
- [2] Beneke R.R., Winterboer R.: Linear Programming Applications to Agriculture. Iowa State University Press, Ames 1973.
- [3] Boussard J.M.: Time Horizon, Objective Function and Uncertainty in a Multiperiod Model of a Firm Growth. Amer. J. Agricultural Economics 1973 vol. 55 No. 3.
- [4] Carter H., Csáki C., Propoj A.: Planning Long Range Agricultural Investment Projects: A Dynamic Linear Programming Approach. IIASA RM-77-36, 1977.
- [5] Chien Y.I., Bradford G.L.: A Sequential Model of the Farm Firm Growth Process. Amer. J. Agricultural Economics sierp. 1976.
- [6] Cocks E.D., Carter H.O.: Micro Goal Functions and Economic Planning. Amer. J. Agricultural Economics 1970 vol. 50.
- [7] Csáki C.: Dynamic Linear Programming Model for Agricultural Investment and Resources Utilization Policies IIASA RM-77-36, 1977.
- [8] Csáki C., Varga G.: Vállalatfejlesztési tervek lineáris dinamicus modellje /Liniowy model dynamiczny rozwoju gospodarstwa rolnego/. Budapest, Adakémiiai Kiadó 1976.
- [9] Dean C.W., Carter H.O., Isyar Y., Moore C.V.: Programming Model for Evaluating Economic and Financial Feasibility of Irrigation Projects with Extended Development Periods. Water Resource Research 1973 vol. 9 No. 3.
- [10] Glickmann T.S., Allison S.V.: Investment and Planning for Irrigation Development Projects. Socio-Economic Planning Science 1973 vol. 7
- [11] Gouevski I.V., Kaidment D.R.: Agricultural Water Demand: Preliminary Results of Silistra (Bulgaria) Case Study. IIASA RM-77-44, 1977.
- [12] Hirschleifer J.: On the Theory of Optimal Investment Decision. J. Political Economics 66, sierp. 1958.
- [13] Ivanilow J.P., Fetrow A.A.: Dynamiczny międzysektorowy model produkcji (model  $\pi$ ) (w jęz. ros.). Kibernetika 1970 No. 2.
- [14] Lutz F., Lutz V.: The Theory of Investment of the Firm. Princeton, N.J., Princeton University Press 1951.
- [15] Olson R.: A Multiperiod Linear Programming Model for Studies of the Growth Problems of the Agricultural Firm. I-V. Swedish

J. Agricultural Research 1971 vol. 1-2 No. 3, 1972 vol. 2 No. 2.

- [16] Poluektow R.A. (red.): Teoria dynamiczna populacji biologicznych (w jęz. ros.). Moskwa, Nauka 1974.
- [17] Propoj A.: Problems of Dynamic Linear Programming. IIASA RM-76-78, 1976.
- [18] Propoj A.: Dynamic Linear Programming Models for Livestock Farms. IIASA, RM-77-29, 1977.
- [19] Propoj A., Kriwonozko W.: The Dynamic Simplex-Method. IIASA, RM-77-24, 1977.
- [20] Smirnow B.W.: Techniki zarządzania produkcją rolniczą (w jęz. ros.). Moskwa, Kolos 1972.
- [21] Swart W.: Expansion Planning for a Large Dairy Farm. W: Sal-kin i J. Saha (red.): Studies in Linear Programming. New York North-Holland/ Amer. Elsevier 1975.



VI. OCENA STOSOWALNOŚCI PRZEDSTAWIONYCH MODELI  
W ANALIZIE I PLANOWANIU PRZESTRZENNYM ROLNICTWA

1. Wprowadzenie

Zawarte w tym rozdziale uwagi dotyczące oceny modeli komputerowych rolnictwa jako narzędzi analitycznych czy planistycznych przeznaczonych dla geografów lub ekonomistów "przestrzennych" rolnictwa, nie wywodzą się bynajmniej z jakiejś formalnej metodyki oceny modeli, która pozwoliłaby na przedstawienie choćby jakościowych, lecz formalnie poprawnych wyników jej stosowania do pięciu omówionych modeli.

Określenie formalnej metodyki oceny stosowalności modeli komputerowych w badaniach przestrzennych rolnictwa wymagałoby:

- ściślejszego zdefiniowania celów, a zatem i potrzeb prac badawczych w analizie i planowaniu przestrzennym, oraz ich powiązań,
- przedstawienia wynikających z powyższego - "użyteczności" i preferencji - co do dokładności opisu poszczególnych elementów i aspektów rozpatrywanych systemów i wreszcie
- ustalenia pewnych - warunków minimum przydatności modeli w badaniach przestrzennych rolnictwa - których niespełnienie eliminowałoby w zasadzie model z takich zastosowań.

---

<sup>≡</sup> Polska Akademia Nauk, Instytut Badań Systemowych.

<sup>1</sup> Użyteczności lub preferencje można w najprostszy sposób określić przez zestaw różnych możliwych najmniejszych elementów, które mogą być jawnie przedstawione w modelach, np. najmniejszych różniących elementów przestrzennych czy jednostek gospodarczych, oraz sposobu ich agregacji, wraz z odpowiednimi ocenami przydatności w badaniach przestrzennych.

Użyte w takich rozważaniach "funkcje użyteczności" wyników modeli lub warunki ich akceptacji pozwoliłyby na lepsze określenie względnej jakości modeli "zadanego" systemu i zagadnienia. Muszą one być przeto ściśle sprzężone z przeznaczeniem, celem badań oraz wielkością i charakterem badanego systemu i mogą być zdefiniowane wyłącznie przez specjalistów z dziedziny geografii rolnictwa lub we współpracy z nimi. Należy w nich szczególnie uwzględnić substytucyjność poszczególnych aspektów modeli względem ich użyteczności, np. stopień i charakter zamienności dokładności geograficznej i ekonomicznej. Wykracza to poza kompetencje specjalisty modelowania komputerowego i programowania matematycznego. Dlatego też uwagi niniejsze stanowią jedynie próbę uporządkowania myślenia o ewentualnej przydatności różnych modeli rolnictwa do badań przestrzennych przez omówienie niektórych istotnych cech modeli mogących decydować o tej przydatności.

## 2. Modele rolnictwa a badania przestrzenne

### 2.1. Zagadnienia podstawowe: skala obiektu i normatywność

**S k a l a o b i e k t u.** Modele rolnictwa mogą obejmować obiekty o rozmaitej skali. Opisano więc w literaturze modele gleby, upraw i środowiska, pojedynczego gospodarstwa, mikroregionu rolniczego aż do modeli rolnictwa jako działu gospodarki narodowej czy nawet na poziomie światowym [3,6,8,11,12,17]. Jednocześnie modelowane być mogą różne aspekty czy wycinki działalności rolniczej (produkcja roślinna, produkcja zwierzęca, wpływ nawodnienia, nawożenia itd.). **U s t a l e n i e c a ł o ś c i o w e j s k a l i m o d e l i i a g r e g a c j i i c h o b i e k t ó w** jest zatem podstawowym zagadnieniem dla zastosowań przestrzennych.

Przedstawione w niniejszym opracowaniu modele rolnictwa dotyczą obiektów o skali, która wydaje się najodpowiedniejsza dla celów analiz przestrzennych. Trudno tu, oczywiście, mówić o jakichś generalnych warunkach "optymalnej" skali geograficznej modelu rolnictwa do analiz przestrzennych, jakkolwiek dla konkretnych zastosowań i danych takie warunki są do określenia. Można przyjąć, że chodziłoby tu o skalę sub- lub mikroregionalną, a więc wyraźnie

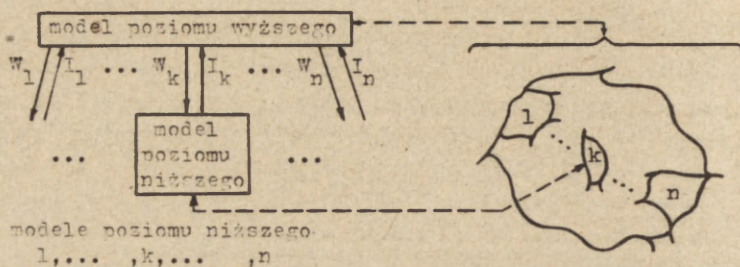


powyżej pojedynczego pola lub gospodarstwa i poniżej całego działu gospodarki narodowej czy regionu rolniczego w klasyfikacji poziomów (modelowania) systemu. I tak w kolejnych pracach opisane są modele dotyczące rolnictwa i innych procesów 'gospodarczo-społecznych w gminie, struktury rolnej subregionu oraz programu rozwoju pojedynczego kompleksu rolniczo-przemysłowego.

**N o r m a t y w n o ś ć.** Drugim ważnym zagadnieniem, obok skali obiektu modelowania, jest dla procesów społeczno-gospodarczych w ogóle sposób ujęcia celów występujących w systemie lub narzuconych mu. Z wyjątkiem jednego (rozd. I) przedstawiono tu same modele optymalizacyjne, a więc posiadające jawnie sformułowaną funkcję celu (kryterium jakości) pozwalającą na - przynajmniej względną - ocenę otrzymanyh rozwiązań jak również zaopatrzone w algorytm poszukiwania - rozwiązań najlepszych - w sensie przyjętej funkcji celu. Z punktu widzenia spójności podejścia systemowego wyjawienie - choćby nawet w przybliżeniu - celów istniejących w systemie jest bardzo istotne. Optymalizacja jednak wykonywana jest zazwyczaj kosztem daleko idących uproszczeń w opisie systemu. Dążenie do osiągnięcia dużej dokładności w opisie wiedzy do wprowadzenia modeli symulacyjnych, w których cele w sposób jawny nie występują.

Struktura złożonego systemu modeli symulacyjnych odzwierciedlających całość procesów społeczno-gospodarczych na poziomie gminy, odnoszących się przede wszystkim do rolnictwa, została przedstawiona w pierwszym z zamieszczonych opisów modeli (rozd. I). Należy tu zwrócić uwagę na to, że bardzo rozbudowane modele symulacyjne mogą przedstawiać istotne trudności interpretacyjne wobec braku podstawowych "zasad organizujących", a zatem i regularnych struktur modeli, które natomiast występują z reguły w modelach optymalizujących. To ostatnie dotyczy zwłaszcza modeli typu programowania matematycznego, w których obok funkcji celu mamy opis systemu przybierający postać zbioru ograniczeń, zwykle wywodzących się z warunków wzrostu, warunków równowagi (bilansów) oraz z wielkości dostępnych zasobów. Zadaniem metod analizy systemowej jest właśnie dostarczenie takiego opisu obiektu, który ujmując wszystkie istotne zależności pozwala na stosunkowo łatwą analizę całości systemu - przez wyróżnienie związków decydujących oraz ewentualnie - optymalnych charakterystyk tych związków.

Aby móc powiązać rozważania dotyczące skali obiektów modelowania czy zastosowania techniki modelowania z ich przydatnością dla celów badań przestrzennych, trzeba wziąć pod uwagę potencjalnie możliwe struktury i cechy modeli, które mogą być do tych celów użyte. Zilustrowano to na rys. 2. Pokazane na nim struktury należy rozumieć w ten sposób, że obraz pewnej całości przestrzennej (model wyższego poziomu) jest formowany przez obrazy jej części (modele poziomów niższych) zgodnie z zasadą przedstawioną na rys. 1.



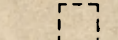
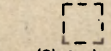
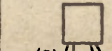
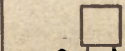

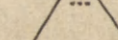
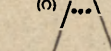
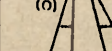


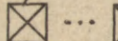
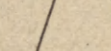
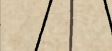


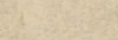
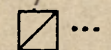
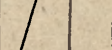
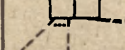
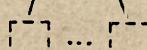

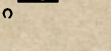
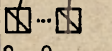
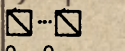
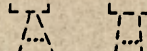
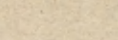
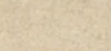
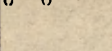
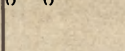
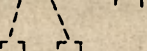
Rys. 1. Współpraca modeli dwóch poziomów systemowych

Informacja  $I_k$  przekazywana na poziom wyższy jest w zasadzie jedynie wycinkiem całości informacji dostępnej w modelu k-tym, koniecznym do stworzenia obrazu całości w modelu nadrzędnym. Badaczowi operującemu na poziomie wyższym nie jest potrzebna dokładna znajomość całości informacji w modelach 1, ..., n. Z drugiej strony modele poziomu niższego otrzymują od modelu nadrzędnego warunki  $W_k$  określające pewne globalne wartości (np. zasoby, zapotrzebowania, ceny), od których zależy ich działanie (zmiany w odpowiednich elementach przestrzennych systemu). Model nadrzędny nie jest zatem założenia prostą agregacją modeli 1, ..., n. Natomiast modele niższego poziomu 1, ..., n mogą być agregacjami informacji o obiektach przestrzennych mniejszych, np. poszczególnych gospodarstwach.

Poziom najwyższy obiektów modelowania - regionalny lub nawet ogólnokrajowy - pokazany na rys. 2 jest tym poziomem, na którym właściwa analiza czy synteza przestrzenna może być wykonana. Do-









STRUKTURY MODELOWE

POZIOM	1	2	3*	4	5
krajowy					
regionalny					
subregionalny					
obszaru typu produkcji					
pojedynczego gospodarstwa					
obszaru uprawy danej rośliny					
Modele przedstawione w tekście	1.rozdział I	4.rozdział IV 5.rozdział V	-	3.rozdział III**	2.rozdział II

\* model hipotetyczny, najbliższy realizacji w 3

\*\* istnieją modele poziomów, brak połączenia w całość

Oznaczenia:

-  gospodarstwa uspołecznione
-  gospodarstwa indywidualne
-  obiekty występujące w postaci agregatów
-  obiekty nie objęte modelem
-  możliwość optymalizacji
-  możliwość optymalizacji zależna od charakteru modeli poziomów niższych

rys. 2. Wybrane potencjalne struktury modelowe dla celów badań przestrzennych rolnictwa

piero bowiem na tym poziomie rozważań istnieje możliwość postrzeżenia współzależności przestrzennych i ich zmian. Jest rzeczą istotną, by przy ocenie przydatności struktur pamiętać o tym, że nie cała informacja z modeli poziomów niższych musi być przekazywana na poziom wyższy, tak że złożoność nie jest nadmiernie namnażana (jedna z istotnych cech systemowości). Jednocześnie zaś modele na każdym poziomie powinny odzwierciedlać pełną złożoność zjawisk charakterystycznych dla tego poziomu. Poza strukturą czwartą poziom wyższy nie jest w przedstawianych w niniejszym zbiorze pracach jawnie modelowany.

Wybór konkretnej struktury czy konfiguracji (jeśli nie jest naszym celem daleko idąca formalizacja powiązań modelowych) zależy od charakteru danego obiektu, do którego model jest stosowany, a więc na przykład od:

- ilości rozróżnialnych typów gospodarstw, obszarów upraw itp. (przy dużych ilościach typów agregowanie w nie gospodarstw jest niecelowe);

- uwzględnienia dynamiki - horyzontu i podziału czasowego (dla modelu rocznych zmian w strukturze upraw i stada konieczne są uproszczenia);

- wielkości gospodarstw;

- różnic fizjologicznych i klimatycznych itp.

Fierwszym celem ewentualnej optymalizacji w omawianych w tej pracy modelach jest wyznaczenie najlepszej - z punktu widzenia mniej lub więcej intuicyjnie oczywistego kryterium całościowego działania systemu<sup>2</sup> - struktury agrarnej oraz struktury upraw i chowu zwierząt w rozważanym obszarze, a więc organizacja całości systemu działającego według określonego ogólnie postrzeganego celu.

Oprócz tego pewien minimalny zakres optymalizacji na poziomach niższych od regionalnego (w postaci np. stałych charakterystyk optymalnych) powinien być również wprowadzony po to, by odzwierciedlić rzeczywisty sposób zachowania się elementów systemu: gospodarstw czy to indywidualnych, czy też uspołeczniionych, niewątpli-

---

<sup>2</sup> Na przykład możliwie całkowite zaspokojenie potrzeb ludności danego regionu i/lub maksymalna - agregatowo - rentowność działalności rolniczej.



wie racjonalizujących swoją działalność. Wprowadzenie niejawnych stałych zależności optymalnych (np. w postaci trendów opisujących zmiany w strukturze i działalności gospodarstw odpowiednio skorelowanych z trendami warunków społeczno-ekonomicznych) nie wydaje się przy tym prostsze od jawnej optymalizacji, a z pewnością może być bardziej obciążone błędami w zastosowaniach prognostycznych. Oczywiście, wprowadzane elementy optymalizacji dla poziomów niższych powinny być skrupulatnie sprawdzane z rzeczywistymi zachowaniami historycznymi.

O ile zatem uwzględnienie optymalizacji na poziomie elementów systemu, np. obszaru uprawy danej rośliny, lub odpowiednich agregatów tych elementów wydaje się niezbędne i realizowalne, o tyle trudno uwzględnić optymalizację na poziomie całości systemu. Oprócz zagadnienia wyboru właściwych całościowych, spójnych celów i przeprowadzenia procedury szukania najlepszego rozwiązania w warunkach wielkiej złożoności systemu, a zatem i modelu <sup>3</sup>, poważne trudności wynikają z nieokreśloności zewnętrznych warunków optymalizacji. Zilustrujemy to następującymi dwoma przykładami:

Jeśli jednym z warunków rozwoju rolnictwa w danym regionie jest budowa systemu wodnego (nawadnianie i melioracja), który swoim zasięgiem wykracza poza region, to koszty pozyskania jednostki objętości wody w wyniku tej budowy lub możliwe rozmiary systemu wodnego będą miały wpływ na ostateczną postać systemu rolnictwa regionu. Istnieje jednak i oddziaływanie odwrotne: jeśli korzyści rolnicze wynikające z budowy systemu wodnego przekraczają koszty pozyskania wody, to może to mieć wpływ na kształt systemu wodnego. Pełne określenie warunków zmian przestrzennych rolnictwa powinno zatem zawierać alternatywne, przedstawione najlepiej w postaci funkcji ciągłych, rozmiary i konfiguracje przestrzenne gałęzi współpracujących z rolnictwem wraz z odpowiednimi kosztami [2] i ewentualnie wymaganiami zaopatrzeniowymi w produkty rolnicze (a więc np. alternatywne rozmiary i konfiguracje systemu wodnego, odpowiednie koszty inwestycyjne i eksploatacyjne oraz dodatkowe zapotrzebowania żywnościowe).

---

<sup>3</sup> Często okazuje się to dla danej postaci modelu po prostu niemożliwe do przeprowadzenia przy użyciu znanych technik optymalizacji; jedna z nielicznych prób optymalizowania modelu symulacyjnego przedstawiona jest w [1].

Analogicznego przykładu dostarcza, w nieco innym układzie pojęciowym, zagadnienie ustalenia właściwego popytu i podaży<sup>4</sup>.

Tak więc uwzględnienie normatywności (tj. posługiwanie się jawną funkcją celu i dobór zmiennych modelu tak, by funkcja ta osiągała odpowiednie ekstremum - minimum lub maksimum) na wyższych poziomach modelowania systemów społeczno-gospodarczych, jest istotnie utrudnione. Trzeba jeszcze dodać, że w świetle celów badań przestrzennych, w których, gdy może np. chodzić wyłącznie o prognostyczny obraz przemian przestrzennych, a nie o sporządzenie planów, zakładające podejście normatywne i optymalizację, założenie normatywności modelu może być w ogóle niesensowne.

Oczywiście, nawet w badaniach czysto analitycznych, np. prognostycznych, należy uwzględnić fakt, że podmioty gospodarujące optymalizują w rzeczywistości swoje działanie, o czym już wspomniano w odniesieniu do niższych poziomów systemu. Uwzględnienie takiej optymalizacji na poziomach niższych jest jedynie założeniem behawioralnym i nie decyduje o normatywności (modelu) większego systemu. Podobnie można by wprowadzić założenia pozwalające na uwzględnienie optymalizacji na wyższych poziomach zarządzania (gmina, województwo). Jest to problem złożony zarówno z uwagi na słabo określone cele i reguły decydowania na tych poziomach, jak i na ewentualne nakładanie się celów zewnętrznych (rzeczywistej normatywności modelu systemu) i wewnętrznych (samooptymalizacja zachowania elementów systemu).

Fewien zakres wewnętrznej optymalizacji powinien być zatem postulowany w imię rzetelnego odzwierciedlenia rzeczywistych zachowań podmiotów gospodarujących i wszelkich decydentów w systemie, nawet jeśli nie zakłada się ogólnej normatywności modelu. Pełna normatywność powinna być natomiast stosowana z dużą ostrożnością; jakkolwiek przy analizie uwarunkowań rozwoju, przy badaniu potencjału systemu czy też - oczywiście - przy sporządzaniu planów, jej zastosowanie może być konieczne.

---

<sup>4</sup> Rozważania o zbliżonej tematyce można znaleźć w zamieszczonej w tym zbiorze pracy I. Popczewa i in. jak również w wykonywanej obecnie w Instytucie Badań Systemowych PAN pracy modelowej kierowanej przez dra M. Łakowskiego [14] dla regionu Górnej Noteci w ramach programu rządowego PR-7. Jednym z wyników tej pracy ma być połączenie z modelem rolnictwa regionalnego GRAM [3].



## 2.2. Przykładowe struktury użytkowania i możliwości zastosowań modeli

Pierwsza ze struktur pokazanych na rys. 2 odnosi się do modelu, w którym symulowany jest, głównie za pomocą języka DYNAMO, społeczno-gospodarczy rozwój gmin (rozdz. I). Złożoność i charakter proponowanego modelu gminy wykluczają jawne użycie optymalizacji. Model gminy, jakkolwiek pozbawiony wymiaru przestrzennego - z uwagi na bogactwo szczegółów, które opisuje - może służyć za podstawę do rozważań przestrzennych na poziomie wyższym (województwo, makroregion) oczywiście również w trybie symulacyjno-prognostycznym. Należy zaznaczyć, że twórca metody Systems Dynamics, z której wywodzi się język DYNAMO, Jay W. Forrester, próbował w konstruowanych przez jego zespół modelach [7] ujmować *explicit* przestrzenny aspekt obiektu. Próby te jednak nie doprowadziły do operatywnego rozszerzenia metodyki Systems Dynamics o aspekty przestrzenne. Analogiczne próby rozszerzenia DYNAMO czynione są zresztą dla macierzowych struktur modeli nakładów/wyników [15]. Szczegółowość modeli gminy pozwala w znacznej mierze na ominięcie problemu optymalizacji zachowań podmiotów gospodarujących (np. ustalone reakcje), jednak dość znaczna agregacja może ograniczać przydatność tych modeli w tych zastosowaniach, w których analizowany obszar niewiele przekracza obszar gminy, lub też istotna jest znajomość pewnych aspektów przestrzennie nie wydzielonych w modelu (np. rolnictwo uspołecznione i indywidualne). Z drugiej strony, mimo że gmina jest niewątpliwym elementem polityki rozwoju przestrzennego, jej znaczenie jako centrum decyzyjnego nie powinno być przeceniane, zwłaszcza w stosunku do bieżącego wpływu instytucji centralnych i organizacji branżowych.

Druga z przedstawionych struktur nawiązuje do liniowych modeli optymalizacyjnych państwowych kompleksów rolno-przemysłowych (Osaki i Propoj oraz Popczew i inni). Mimo że sięga ona głębiej w system niż struktura pierwsza, jej zastosowanie jest w sposób oczywisty ograniczone przez dość sztywne ramy narzucone przez technikę programowania liniowego. Struktura taka może jednak zostać dość łatwo rozszerzona na gospodarstwa indywidualne, przedstawiane na poziomie analizy przestrzennej za pomocą agregatów - typów gospodarstw (o podobnych warunkach glebowych, wielkościach, zasobach

siły roboczej, środków produkcji itd.), co zostało zilustrowane przez hipotetyczną strukturę trzecią na rys. 2.

Ta możliwość rozszerzenia w powiązaniu z łatwością operacji numerycznych, agregacji itp. powoduje, że w chwili obecnej odpowiednio powiązane modele programowania matematycznego (por. np. [13, 16, 18]), uwzględniające najistotniejsze nieliniowości procesów (np. w postaci funkcji kawałkami liniowych albo w zadaniach programowania kwadratowego) i ich dynamikę, mogą stanowić stosunkowo najodpowiedniejszą formę odwzorowania systemu. Tak bowiem jak i w innych zastosowaniach przestrzennych metod analizy systemowej (np. modelowaniu miast) okazało się, że wiele bardziej wyrafinowanych technik modelowania opartych na teoriach wyjaśniających raczej niż na strukturze danych, wykorzystywanej w modelach programowania matematycznego, nie jest jeszcze przygotowanych do prowadzenia analiz numerycznych na skalę zagadnień rzeczywistych [15, 20].

Struktury czwarta i piąta z rys. 2 są alternatywami struktury trzeciej. Posługują się one programowaniem matematycznym, mają wprowadzony dodatkowo pośredni poziom modelowy, na którym dokonywana jest agregacja gospodarstw. Propozycja struktury czwartej (rozdz. III) jest w pewnej mierze hipotetyczna, ponieważ opracowano i przebadano numerycznie oddzielne modele poziomu gospodarstw (najniższego) oraz poziomu regionu (najwyższego, z uwzględnieniem danych pochodzących z ewentualnego modelu poziomu pośredniego).

Do powyższego skróconego opisu należy jeszcze dodać, że istnieją modele rolnictwa wprowadzające jawny podział przestrzeni, przy czym w swoich zasadach odpowiadają na ogół strukturze drugiej, z tym jednak, że optymalizacja odbywa się jedynie na poziomie wyższym, opis zaś części systemu z poziomu niższego jest znacznie uproszczony (np. model programowania liniowego GRAM [3] opracowany przez M.M. Albegowa w MISAS dla potrzeb studiów tego instytutu w różnych krajach). Model taki, jakkolwiek z pewnością zawierający zbyt wiele uproszczeń, pozwala jednak na stosunkowo łatwe wyznaczenie specjalizacji rolniczej całości regionu i jego części, jako krok na przód w stosunku do specjalizacji pojedynczych gospodarstw.

Wyniki tego rodzaju powinny być również otrzymywane z bardziej dokładnych modeli użytkowanych w sposób odpowiadający strukturom czwartej lub piątej. Modele takie pozwoliłyby na określenie specjalizacji, poczynając od poziomu gospodarstw lub upraw, a także -



co niezwykle istotne wobec zwiększonych korzyści, lecz i ryzyka związanego z daleko posuniętą specjalizacją - na określenie warunków odporności tej specjalizacji na czynniki destabilizujące.

W opinii autora niniejszych uwag badania przestrzenne rolnictwa mogą być w obecnej chwili wzbogacone w największej mierze przez odpowiednio "urealnione" (nieliniowość, dynamika - np. opóźnienia, zaopatrzenie, finanse) wielopoziomowe modele programowania matematycznego lub ich wielopoziomowe systemy, uwzględniające na poziomie gospodarstwa optymalizację działań. Na poziomach najwyższych byłoby wskazane zrezygnowanie z pełnej optymalizacji na rzecz dokładniejszego opisu współzależności systemowych. W modelach należy w możliwie dużej mierze wykorzystywać te metody, które pozwalają na uniknięcie konieczności zbyt ścisłego i sztywnego opisu liczbowego systemów w warunkach dużej niepewności danych. Takimi metodami mogą być np. programowanie parametryczne, programowanie przedziałowe czy teoria zbiorów rozmytych [9]. Dotyczy to zwłaszcza określenia celów występujących w systemie i ich związków (rozbieżności między nimi, ich koordynacji, uzgadniania kompromisów itp. [10,19]) jak również powiązań wynikających z ich zależności optymalnych otrzymywanych dla różnych celów, zwłaszcza na wyższych poziomach systemowych.

### 3. Ocena zaawansowania i przydatności przedstawionych modeli

Pewne elementy oceny opisanych tu modeli zostały zawarte w punkcie 2.2 tego rozdziału. Ich częściowa ocena dotyczyła przede wszystkim struktur obiektów przestrzennych odpowiadających tym modelom. Obecnie przedstawimy pokrótce oceny wynikające z innych zaproponowanych kryteriów, a więc: wielkości opisanych elementów przestrzennych, normatywności oraz stanu prac nad modelem.

Pierwszy z prezentowanych modeli (rozd. I) jest behawiorystyczny, nie zaś optymalizacyjny, czyli zrezygnowano w nim z jawnej normatywności. Zostało to spowodowane przyjętą techniką modelowania (symulacja) i zarazem przewidywaną złożonością modelu. Model odwzorowuje z dużą dokładnością przebieg dynamicznych procesów społecznych i gospodarczych na poziomie gminy. Gmina jest bowiem podstawowym obiektem opisywanym przez ten model. Należy sądzić, że byłby on bardzo użyteczny w badaniach przestrzennych, gdyby istnia-

ła możliwość syntezy lub przynajmniej oglądu sumarycznych wyników działania takich modeli dla wielu gmin. Możliwość taka byłaby realizowana bądź za pomocą modelu poziomu wyższego (np. województwa, makroregionu), bądź przez bezpośrednie zestawienie wyników optymalnych dla pojedynczych gmin. Jednak wobec rozmiarów tego modelu (ok. 13 tys. wielkości), jego złożoności i "nieuporządkowanej" struktury, charakterystycznej dla modeli symulacyjnych, dokonanie takiej syntezy czy nawet oglądu nie wydaje się na obecnym etapie prac możliwe. Obecnie działanie tego modelu czy raczej systemu modeli jest testowane na danych z przykładowych gmin.

Jak już wspomniano, wszystkie pozostałe prezentowane modele są optymalizacyjne, a więc dostarczają wyników najlepszych w sensie pewnego jawnego kryterium jakości. Jakkolwiek dla danego modelu optymalizacyjnego istnieje pewien zakres dowolności przy określaniu kryterium jakości rozwiązania, to jednak klasa kryteriów, która w założeniach autorów odpowiada danemu modelowi, stanowi istotną charakterystykę modelu.

Z tego punktu widzenia model drugi (rozdz. II) różni się wyraźnie od następnych. Przyjmuje się w nim bowiem jako - minimalizowane - kryterium jakości - zużycie pewnego krytycznego zasobu (w przedstawianej wersji - wody) w długim okresie czasu, podczas gdy pozostałe opisywane modele optymalizacyjne nastawione są na kryteria finansowe lub produkcyjne. Przyjęcie kryterium zasobowego wydaje się z wielu względów właściwe dla celów badań przestrzennych, chociaż trzeba pamiętać, że pociąga to za sobą rezygnację z rozpatrywania bieżących, obiektywnie istniejących, przepływów finansowych. Model ten nie posiada jeszcze cech przestrzennych, to znaczy jest "punktowy", i reprezentuje w wykonanej wersji całość pewnego regionu geograficznego. Stan zaawansowania prac (wielokrotne przeliczenia, sporządzone charakterystyki optymalne w postaci quasi funkcji produkcji) i względna prostota oraz łatwość w obsłudze modelu drugiego pozwalają przypuszczać, że jego przystosowanie do podziału regionu na podregiony lub sporządzenie odpowiedniego modelu koordynacyjnego na poziomie wyższym nie powinno nastęrczać trudności.

Przedstawiony w rozdz. III model stanowi wśród omawianych modeli optymalizacyjnych niewątpliwie najambitniejsze zamierzenie. Złożony jest z dwóch zasadniczych części: modelu całościowego regio-



nu, w którym jawnie występuje podział na podregiony, oraz modeli pewnych mikroregionalnych obiektów przestrzenno-gospodarczych. Modele tych dwu poziomów nie są jednak ze sobą powiązane. Na poziomie wyższym optymalizuje się wynik finansowy rolnictwa. Wyniki otrzymane dla modelu poziomu wyższego, jakkolwiek dyskusyjne (bardzo niska opłacalność inwestycji), wskazują na potencjalne korzyści, jakie można by osiągnąć w dziedzinie krótkoterminowych badań przestrzennych przy użyciu takiego modelu odpowiednio powiązanego z modelem poziomu niższego. Jest to jedyny spośród omawianych modeli, w którym jawnie występują zależności geograficzne. Niestety, prace zostały w pewnej mierze zawieszane przed dokonaniem połączenia obu poziomów i przed dokonaniem odpowiedniej ilości wariantowych przeliczeń modelu poziomu wyższego.

Wśród omawianych tu modeli niewątpliwie najbardziej zaawansowane są prace nad modelem czwartym (rozd. IV), co wynika zarówno z jego prostoty jak i z potrzeby zastosowania dla konkretnego obiektu, dla którego wykonano szereg obliczeń i analiz. Jak wspomniano, użycie tego modelu do badań przestrzennych w warunkach polskich byłoby możliwe pod warunkiem dokonania odpowiednich uzupełnień merytorycznych oraz powiązania w strukturę dwupoziomą, w której na poziomie wyższym byłby przedstawiony przestrzenny obraz systemu. Model ten bowiem optymalizuje - tak jak poprzedni - wynik finansowy, lecz dla punktowego obiektu, którym jest kompleks rolniczo-produkcyjny. Wobec obecnego stanu prac nad modelami znacznie wartościowszymi merytorycznie, np. modelem GRAM [3], opisanym tu modelem drugim, czwartym lub nawet trzecim, mimo zawieszenia prac, przystosowywanie omawianego modelu czwartego do warunków polskich byłoby jednak niecelowe.

Ostatni model (rozd. V) jest w zasadzie modelem cząstkowym, ale jedynym optymalizacyjnym z opisywanych tu, który ujmuje dynamikę procesów w przedstawianym punktowym obiekcie. Jego przydatność przestrzenna jest w zasadzie marginesowa, ponieważ jednak odzwierciedla on tę część procesów rolniczych, która - zwłaszcza na niższych poziomach modelowania - musi być przedstawiana z odpowiednią dokładnością, został on pokazany dla zilustrowania typowej struktury takiego modelu. Może się on odnosić do pojedynczego gospodarstwa lub kompleksu albo też do większej całości, w której koszty transportu jak również transakcje kupna-sprzedazy mogą być pominię-

te. Należy założyć, że modele takie będą wymieniały niezbędne informacje z całościowymi modelami gospodarki rolnej na różnych poziomach podziału przestrzennego.

#### Literatura

- [1] Aagaard-Svendsen R., Valstorp-Frederikson P.: Optimization of Macroeconomic Models. IBSOR, Lyngby, Dania 1976.
- [2] Albegov M.M.: Possible Approach to the Sequence of IRD (Integrated Regional Development) Problem Analysis. W: Proc. IRD Task Force Meeting, 19-21 kwietnia 1977, MISAS 1977.
- [3] Albegov M.M., Kacprzyk J., Owsiański J.W., Straszak A.: Uogólniony regionalny model rolnictwa GRAM dla regionu Górnej Noteci. Prace IBS PAN (w przygotowaniu).
- [4,5] Albegov M.M., Kulikowski R. (red.): Notec Regional Development. Proc. Task Force meetings I,II. 4.I. MISAS (IIASA) RM-78-40, sierp. 1978; 5.II. IBS PAN, styczeń 1979.
- [6] Brokken R.F., Heady G.O.: Interregional Adjustment in Crop and Livestock Production: A Linear Programming Analysis. U.S. Dept. of Agriculture Tech. Bull. 1961.
- [7] Forrester J.W.: Urban Dynamics. MIT Press, Cambridge, Mass. 1969.
- [8] Heady E.O., Dvodsikin D.D.: Agricultural Energy Modelling for Policy Purpose. Amer. J. Agricultural Economics 1977.
- [9] Kacprzyk J., Owsiański J.: The Kinki Region Model System: Problem and Model Structures. W [5].
- [10] Keeney R.L., Raiffa H.: Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-Offs. New York, J. Wiley 1976.
- [11] Keyzer M.A.: Linking National Models of Food and Agriculture: An Introduction. MISAS (IIASA) RM-77-2, styczeń 1977.
- [12] Kulikowski R.: General Methodology and Construction of the System of Models for the Notec Development Project. W [4].
- [13] Kulikowski R., Korcelli F.: On Modelling and Planning of Optimum Long Range Regional Development. MISAS (IIASA) WP-76-4 1976.
- [14] Makowski M.: A Concept of Normative Modelling of Water System Development in an Agricultural Region. W [4].



- [ 15] Meadows D., Robinson J.M.: The Electronic Oracle: Computer Models and Social Decisions. J. Wiley, IIASA (w druku).
- [ 16] Modelirowanije formirowanija territorialno-proizwodstwiennych kompleksow. Nowosibirsk 1971 - Moskwa 1974.
- [ 17] Neunteufel M.: The State of the Art in Modelling of Food and Agriculture Systems. WISAS (IIASA) RM-77-27, czerwiec 1977.
- [ 18] Paelinck J.H., Nijkamp P.: Operational Theory and Method in Regional Economics. Saxon House, Lexington 1976.
- [ 19] Starr M.K., Zeleny M. (red.): Multiple Criteria Decision Making. Amsterdam, North Holland 1977.
- [ 20] Wilson A.G.: Urban and Regional Models in Geography and Planning. New York, J. Wiley 1974.







