

HENRYK MANTEUFFEL, JAN ZAWILSKI
Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach
MIECZYŚLAW ZALESKI

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego — Akademia Rolnicza w Warszawie

OPTYMALIZACJA REGIONALNEGO SYSTEMU NAWODNIENI

Artykuł niniejszy zawiera dwie wyraźnie wyodrębnione części modeli. Część pierwsza zarysowuje ogólnie koncepcję systemu optymalizacyjnych służących rozwiązaniu zagadnienia tytułowego. Obejmuje on również pełną optymalizację produkcji rolniczej w regionie intensywnego nawadniania. System ten stanowi wg autorów punkt docelowy prac modelowych w zakresie modelowania regionalnych systemów nawodnień. W drugiej części artykułu prezentowany jest model szczegółowy systemu nawadniającego w zlewni Górnej Noteci, stanowiący przykład zastosowania w okrojonej formie koncepcji zarysowanej w części pierwszej. Z optymalizacji wyłączona tu została większość zagadnień produkcji rolniczej, poza przestrzennym rozmieszczeniem produkcji roślinnej. Nacisk położony został na modelowanie samego systemu melioracyjnego. Model ten traktować można jako etap prac nad budową wspomnianego systemu modelującego region nawadniany.

Założenia teoretyczne

Genezą niniejszej pracy była próba przybliżonego wyboru terenów do nawodnień oraz przybliżonego wyboru wariantu budowy poszczególnych urządzeń pilotowego systemu nawadniającego na obszarze zlewni Górnej Noteci. Wybory te pośrednio mają wpływ na kierunki, rozmieszczenie i wielkość produkcji rolniczej w regionie nawadnianym, jakim jest w tym przypadku zlewnia Górnej Noteci, o granicach skorygowanych nieco w ten sposób, by pokrywały się z granicami gmin leżących w przeważającej części na obszarze tej zlewni.

W celu modelowego ujęcia terenów rolniczych regionu obszar jego podzielony został na mikroregiony przyrodniczo-rolnicze, a te z kolei na typy produkcyjne przestrzeni przyrodniczo-rolniczej. „Mikroregion rolniczy to obszar o względnie jednolitych warunkach przyrodniczych i ekonomicznych, o wyraźnie wykształconym centrum administracyjno-gospodarczym, o koncentrycznie ukształtowanej sieci dróg w stosunku do

centrum administracyjno-gospodarczego. Rozłóg mikroregionu rolniczego powinien być zamknięty (a zarazem oddzielony od sąsiedniego mikroregionu rolniczego) granicami naturalnymi takimi jak: wody, lasy, kanały, drogi i inne granice naturalne. W większości przypadków granice mikroregionów pokrywają się z granicami gmin" [10]. Pod pojęciem typu produkcyjnego przestrzeni przyrodniczo-rolniczej rozumie się obszar względnie jednorodny pod względem:

- a) struktury jakości gruntów ornych (procentowy udział gleb dobrych i gleb słabych),
- b) struktury użytków rolnych (udział trwałych użytków zielonych w strukturze użytków rolnych),
- c) struktury obszarowej gospodarstw,
- d) zasobów siły roboczej,
- e) tradycji uprawy roślin i chowu zwierząt.

Na podział terytorialny wg typów produkcyjnych nałożony jest podział na grunty potencjalnie nawadniane i nienawadniane wykonany ze względu na warunki glebowe oraz na mieszczące się w racjonalnie uzasadnionych przedziałach kosztów możliwości dostarczenia wody do nawodnień. W rezultacie otrzymuje się w rejonie terytorialnie zlokalizowane potencjalnie nawadniane obszary typów produkcyjnych.

Przewiduje się możliwość budowy dwuszczeblowego modelu optymalizacyjnego systemu nawadniającego i rolnictwa nawadnianego w rejonie. Na pierwszym szczeblu optymalizowana jest produkcja rolnicza w poszczególnych rodzajach gospodarstw rolnych z punktu widzenia tych gospodarstw, natomiast na drugim szczeblu optymalizowany jest system nawodnień łącznie z produkcją rolniczą w regionie z punktu widzenia ogólnospołecznego. W ten sposób zachowana jest zasada oceny z punktu widzenia decydenta, która nie dopuszcza do przyjęcia rozwiązań nie-realnych. Natomiast dwuszczeblowość modelu pozwala na zmianę kryterium na wyższym, regionalnym szczeblu modelowania na takie, które odpowiada ogólnospołecznemu punktowi widzenia.

Na pierwszym szczeblu opracowane są optymalne modele nawadnianych gospodarstw małoobszarowych (indywidualnych) i wielkoobszarowych (uspołeczniionych). Modele optymalne gospodarstw małoobszarowych opracowane są osobno dla każdego z występujących w rejonie typów produkcyjnych w kilku wersjach obszarowych. Zakłada się, że w pewnych przedziałach wielkości obszar nie ma większego wpływu, a po ich przekroczeniu ma wpływ na kierunek produkcji gospodarstwa. Kryterium optymalizacji w przypadku gospodarstw chłopskich jest dochód rolniczy, a w przypadku gospodarstw uspołeczniionych zysk brutto.

Po uzyskaniu optymalnych modeli gospodarstw charakteryzujących

się danym zestawem cech określających ich typ produkcyjny i daną powierzchnią użytków rolnych oblicza się następnie średni ważony roczny zysk z punktu widzenia gospodarki narodowej z 1 hektara gruntów chłopskich w warunkach nawadniania na terenie poszczególnych potencjalnie nawadnianych typów produkcyjnych. W tym celu trzeba posiadać informacje co do struktury agrarnej na obszarze poszczególnych typów produkcyjnych i co do rozkładu pod względem cech określających typ produkcyjny gospodarstw w poszczególnych grupach obszarowych. Następnie oblicza się średni ważony zysk w poszczególnych grupach obszarowych ważąc zyski z 1 ha uzyskiwane w poszczególnych modelach danej grupy przez udziały gospodarstw o danym zestawie cech określających typ produkcyjny. Takie średnie zyski dla poszczególnych grup waży się następnie przez udział powierzchni gospodarstw danej grupy w powierzchni danego typu produkcyjnego.

Przy obliczaniu zysków w rolnictwie z punktu widzenia ogólnospołecznego stosuje się metodę zalecaną w oficjalnej instrukcji oceny efektywności inwestycji melioracyjnych [4]. Stosowane są m.in. kalkulacyjne ceny produktów rolnych, odzwierciedlające wartość tych produktów jako ewentualnych substytutów produktów importowanych. O ile w modelach gospodarstw ujęta jest zarówno produkcja roślinna jak i zwierzęca, to z punktu widzenia gospodarki narodowej w modelu regionalnym ograniczyć się można do produkcji roślinnej, gdyż podwyższone kalkulacyjne ceny produktów roślinnych stosowanych jako pasze zawierają w sobie element zysku uzyskiwanego przy przetwarzaniu ich w produkcji zwierzęcej. Do rachunku włącza się także amortyzację obliczoną na podstawie faktycznego przeciętnego okresu użytkowania poszczególnych urządzeń i oprocentowanie środków trwałych wg ogólnogospodarczej stopy procentowej 8%. Koszty stałe melioracji szczegółowych, tzn. w omawianym przypadku urządzeń nawadniających pozostających w gestii gospodarstwa, wchodzi również do rachunku. Od powyższego zysku obliczonego z ogólnospołecznego punktu widzenia odejmowany jest analogiczny przeciętny zysk z 1 nienawadnianego hektara tego samego typu produkcyjnego. Zysk ten obliczony jest na podstawie istniejącej struktury zasiewów i plonów uzyskiwanych bez nawadniania. Ujęcie takie wynika z założenia, że w modelowanym regionie wyczerpano już w zasadzie możliwości wzrostu plonów przy obecnym stanie wiedzy rolniczej, bez wprowadzenia nawodnień. Plony po ewentualnym wprowadzeniu nawodnień też odnoszą się do obecnego stanu wiedzy rolniczej. Alternatywnym ujęciem byłoby prognozowanie wzrostu plonów w warunkach bez i z nawodnieniami. Ze względu na niepewność prognozy w dłuższych okresach czasu przyjęto w uproszczeniu, że różnica pomie-

dzy poziomami plonów odpowiadałaby w tym przypadku także różnicy obecnej.

W podobny jak w gospodarstwach indywidualnych sposób oblicza się przyrosty rocznych zysków na powierzchniach gospodarstw uspołecznionych, ale zamiast zysków na hektar oblicza się zysk całkowity w gospodarstwie. Postępuje się tak dlatego, że z założenia tylko całe gospodarstwo może być nawadniane lub nienawadniane. Rozpatruje się przy tym nie obecnie istniejące kombinaty państwowe, ale poszczególne gospodarstwa (zakłady) o względnie skomasowanej powierzchni, które stanowią część wyżej wspomnianych dużych jednostek organizacyjnych. Przez nawadnianie całego gospodarstwa rozumie się niekoniecznie nawadnianie dosłownie całej jego powierzchni, lecz nawadnianie pewnej jej części ustalonej w modelu optymalizacyjnym gospodarstwa.

W odniesieniu do gospodarstw indywidualnych zakłada się, że względu na występowanie dużej ilości małych gospodarstw na terenie każdego typu produkcyjnego, że liczba nawadnianych hektarów jest wystarczająco dobrym przybliżeniem dla zmiennej decyzyjnej, określającej wielkość powierzchni nawadnianej na terenie poszczególnych typów.

Modele gospodarstw nie będą przedstawione w niniejszym artykule. Niektóre z nich prezentowane są w pracach [1] i [9].

Model regionalny (drugi szczebel modelowania) rozwiązywany jest ze względu na maksimum rocznego zysku z całej potencjalnie nawadnianej powierzchni w regionie obliczanego z punktu widzenia gospodarki narodowej. Do funkcji celu, oprócz różnic zysków z powierzchni nawadnianej w porównaniu z zyskami z powierzchni nienawadnianej, włączone są koszty regionalnego systemu magazynującego i rozprowadzającego wodę tzn. melioracji podstawowych. Podstawową z punktu widzenia budowy modelu grupą ograniczeń w modelu regionalnym jest dostępność wody do nawodnień. Przypuszcza się, że ilość wody, która może być uzyskana racjonalnie uzasadnionym (dopuszczalnym) kosztem z własnych zasobów naturalnych regionu i spoza regionu może nie wystarczyć do nawodnienia wszystkich potencjalnie nawadnianych terenów. Ta grupa ograniczeń obejmuje dość dużą liczbę ograniczeń szczegółowych dotyczących liczby i pojemności potencjalnie budowanych zbiorników i urządzeń do przerzutu wody i ich wzajemnych powiązań. W rezultacie ograniczona jest dostępna ilość wody do nawodnień dostarczana potencjalnie przez system nawadniający do poszczególnych terenów typów produkcyjnych. Szczegółowe modelowanie różnych możliwości budowy systemu nawadniającego służyć też ma do wyboru jego wariantu optymalnego, który nie musi pokrywać się z wariantem maksymalnie wykorzystującym dostępne zasoby wody.

Część modelu zajmująca się systemem wodnym, zakładająca wyrów-

nanie roczne w zbiornikach, jest opisana z pewną szczegółowością w pracy [2]. Jest tam również rozwiązany prosty hipoteczny przykład modelu.

Założenia przyjęte w próbnym rozwiązaniu zadania i źródła danych

W prezentowanej obecnie próbie rozwiązania problemu przyjęto szereg założeń upraszczających, mających przede wszystkim na celu zmniejszenie pracochłonności zadania. Wydaje się, że budowa szczegółowego systemu modeli odpowiadającego koncepcji naszkicowanej w poprzednim punkcie byłaby uzasadniona, ze względu na konieczne nakłady pracy, jedynie w przypadku bezpośredniego wykorzystania rozwiązania do prac projektowych.

Tabela 1

Struktura zasiewów i plony w warunkach nawodnień

Roślina	Plon q
Kompleks pszenno-buraczany	
buraki cukrowe	520
jęczmień jary z wsiewką lucerny	45
lucerna	550 (138)
lucerna	550 (138)
pszenica ozima	52
bobik	35
poplon ozimy	300
kukurydza na kiszonkę	700
Kompleks żytnio-ziemniaczany	
ziemniaki	360
jęczmień jary	35
strączkowe na ziarno	25
kukurydza na kiszonkę	400
Trwałe użytki zielone	
łąki	500 (118)
pastwiska trwałe	500

W części rolniczej modelu podstawowym uproszczeniem było ograniczenie modelowania do produkcji roślinnej i zastąpienia modeli pierwszego szczebla (modeli gospodarstw) przez pewne standardowe struktury zasiewów w warunkach nawadniania wyznaczone w pracy [6] w odniesieniu do gruntów dobrych (kompleks pszenno-buraczany) i słabych (kompleks żytnio-ziemniaczany). Budowa odpowiedniej liczby szcze-

gółowych modeli gospodarstw nie została zakończona do chwili próbnego rozwiązania modelu regionalnego. Zastępujące je struktury zasiewów oraz plony przyjęte w warunkach nawodnień (zbliżone do plonów zalecanych w załączniku do metodyki [4]) przedstawione są w tabeli 1.

Z powyższym łączy się zaniechanie odrębnego traktowania gruntów prywatnych i uspołecznionych. Jest to do pewnego stopnia uzasadnione tym, że koszty melioracji w obu sektorach własności są podobne [8], a różnice w kosztach agrotechnicznych i produktywności będą zapewne wyraźnie zmniejszały się w bliskiej przyszłości.

Tabela 2

*Typy produkcyjne przestrzeni przyrodniczo-rolniczej
w rejonie Górnej Noteci*

Lp.	Symbol typu	% użytków zielonych w użytkach rolnych	% gleb słabych w gruntach ornych	% gleb dobrych w gruntach ornych	Przyrost zysku w produkcji roślinnej w wyniku nawadniania na 1 ha UR bez uwzględnienia kosztu nawodnień
1	A ₁	10	0	100	7973
2	A ₂	10	25	75	12296
3	A ₃	10	50	50	14006
4	A ₄	10	75	25	17205
5	A ₅	10	100	0	*
6	B ₁	20	0	100	**
7	B ₂	20	25	75	12053
8	B ₃	20	50	50	13600
9	B ₄	20	75	25	16551
10	B ₅	20	100	0	*
11	C ₁	30	0	100	**
12	C ₂	30	25	75	11815
13	C ₃	30	50	50	13194
14	C ₄	30	75	25	15799
15	C ₅	30	100	0	*
16	D ₁	40	0	100	**
17	D ₂	40	25	75	11578
18	D ₃	40	50	50	12788
19	D ₄	40	75	25	15045
20	D ₅	40	100	0	*
21	E ₁	50	0	100	**
22	E ₂	50	25	75	11340
23	E ₃	50	50	50	12382
24	E ₄	50	75	25	14292
25	E ₅	50	100	0	*

*) zysku nie obliczono ze względu na wyłączenie z nawodnień
**) typ produkcyjny nie występuje w regionie

Z wymienionych uprzednio cech różnicujących typy produkcyjne uznano w ślad za opracowaniem [11] za istotne w odniesieniu do regionu Górnej Noteci tylko cechy a) i b).

Ostatecznie wyróżniono 25 typów produkcyjnych, z których 21 wystąpiło w rozpatrywanym regionie. Przyrosty zysków na 1 ha poszczególnych typów produkcyjnych w wyniku nawadniania przedstawiono w tabeli 2. Przyrosty te nie uwzględniają kosztów nawodnień.

Przy ich obliczaniu posłużono się normatywami kosztów agrotechnicznych zawartych w opracowaniu [7]. Wartość produkcji w warunkach nawadniania obliczono na podstawie tabel 1, 2 i cen produktów rolnych podanych w załączniku do instrukcji [4].

Wartość produkcji bez nawadniania opracowano na podstawie stanu faktycznego w regionie, przedstawionego w opracowaniu [10], używając tych samych cen.

Wszystkie tereny typów produkcyjnych posiadających wyłącznie złe gleby zostały a priori wyłączone z nawadniania. Postąpiono tak ze względu na to, że niektóre średnio wartościowe gleby, nawadnianie których przyniosłoby całkiem niezłe efekty są tam zwykle przemieszane z bardzo złymi glebami, których nawadnianie daje zbyt małe efekty przy dużych kosztach i dlatego w całości nawadnianie staje się bardzo nieopłacalne.

Po podzieleniu terenu regionu wg kryterium typu produkcyjnego otrzymano 267 terytorialnie zlokalizowanych potencjalnie nawadnianych typów produkcyjnych.

Przy obliczaniu wielkości dyspozycyjnych zasobów wody zapewnianych przez poszczególne istniejące i potencjalnie budowane zbiorniki retencyjne w różnych wariantach ich wielkości przyjęto wyrównanie wieloletnie ze wskaźnikiem wyrównania odpływu $\alpha = 1$. Obliczeń tych dokonano w pracy [8], a dla celów niniejszego opracowania dokonano pewnych niewielkich korekt. Uwzględniono przepływy nienaruszalne i parowanie netto z wolnej powierzchni zbiorników, obliczone dla okresu wieloletniego dla jeziora Gopło. Przy przerzutach wody kanałami i doprowadzalnikami otwartymi odjęto straty wody na filtrację i parowanie.

Problemy jakości wody nie były brane uod uwagę w modelu z braku informacji (tak samo postąpiono w pracy [5]). Cała woda zapewniana w systemie przez budowle magazynujące i przerzucające została uznana za możliwą do wykorzystania w procesie nawodnień, z wyjątkiem wody pobieranej przez użytkowników pozarolniczych.

Możliwość budowy zbiorników i przerzutów wody spoza i wewnątrz zlewni przyjęto w ślad za pracą [5], dodając jednak możliwości wariantowania rozmiarów poszczególnych zbiorników i urządzeń przerzuto-

wych oraz 3 dodatkowe możliwości przerzutu tam nieuwzględniane. W sumie wzięto pod uwagę budowę 20 zbiorników sztucznych, 19 jeziorowych, wykorzystanie 3 istniejących zbiorników jeziorowych oraz wprowadzenie 11 przerzutów wody. Liczba wariantów poszczególnych zbiorników i przerzutów wody wahała się od 2 do 7, włączając w to tzw. wariant zerowy, tzn. niebudowanie danego obiektu w ogóle. Liczba ta zależała od wielkości danego zbiornika lub przerzutu — im większy zbiornik czy przerzut, tym większa liczba wariantów.

Suma pojemności największych z przewidywanych wariantów budowy zbiorników wyczerpuje bez reszty możliwości retencjonowania wody pochodzącej z zasobów własnych zlewni cząstkowych położonych powyżej zbiorników. Poza tym nie istnieje, ze względu na warunki terenowe, realna z ekonomicznego punktu widzenia możliwość budowy wariantów zbiorników o większej pojemności niż to przewiduje największy z wariantów poszczególnych zbiorników uwzględniony w modelu.

Roczne koszty poszczególnych wariantów zbiorników i przerzutów wody określono w opracowaniu [8] i przyjęto z małymi korektami w opracowaniu niniejszym. Obejmują one amortyzację i oprocentowanie nakładu inwestycyjnego wraz z zamrożeniem oraz bieżące koszty eksploatacji. Osobno potraktowano koszty energii zużywanej na pompowanie wody przy przerzutach. Zostały one w postaci kosztu jednostkowego umieszczone przy zmiennych modelu oznaczających ilości wody przetrucane przez poszczególne kanały.

Sezonowe dawki wody na 1 ha powierzchni poszczególnych typów produkcyjnych zostały w pracy [8] wg wytycznych Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych. Użyto dawek zalecanych dla lat średniosuwych.

W celu zmniejszenia rozmiarów modelu nie wyróżniono podokresów w ramach sezonu nawodnień. Jest to uzasadnione dodatkowo tym, że znaczna większość wody używana do nawodnień będzie magazynowana w okresie poza sezonem nawodnień, a więc z punktu widzenia bilansu wody w zbiornikach nie będzie istotne, w którym momencie sezonu nawodnień będzie ona pobrana.

Na mapie w skali 1:100 tys. wyznaczono w pracy [8] możliwe trasy doprowadzalników od poszczególnych źródeł wody do poszczególnych terytorialnie zlokalizowanych potencjalnie nawadnianych typów produkcyjnych. Przyjęto zasadę, że woda ma być doprowadzana do centrum danego obszaru typu produkcyjnego. Trasy doprowadzalników wyznaczono na podstawie map sytuacyjno-wysokościowych w skali 1:25 tys. kierując się warunkami topograficznymi. Na odcinkach, na których deniwelacje terenu nie przekraczały 2—3 m przyjmowano do-

przewodzalniki grawitacyjne. Przy większych różnicach wysokości terenu zaplanowano transport wody rurociągami tłocznymi. W przypadku doprowadzalników, w których występują rurociągi ciśnieniowe założono konieczność budowy ujęć wody i stacji pomp. Uwzględniając różnicę wysokości terenu i straty ciśnienia na długości rurociągów stwierdzono, że przy żadnym z doprowadzalników nie jest konieczne dwustopniowe podnoszenie wody. Przy obliczaniu potrzebnej przepustowości doprowadzalnika na 1 ha powierzchni nawadnianej poszczególnych typów produkcyjnych wzięto pod uwagę maksymalne jednostkowe zapotrzebowanie wody występujące w lipcu.

Po wyznaczeniu tras doprowadzalników ilość wyodrębnionych terenów typów produkcyjnych zaopatrywanych różnymi drogami z poszczególnych źródeł wody wyniosła 524. Oznacza to, że średnio przewidziano możliwość zaopatrywania jednego terenu w przybliżeniu dwoma różnymi drogami.

Roczne koszty doprowadzenia wody na 1 ha powierzchni nawadnianej w poszczególnych wariantach (trasach) doprowadzenia obejmujące amortyzację i oprocentowanie nakładów oraz koszty obsługi urządzeń, i energii (w przypadku doprowadzenia ciśnieniowego) zostały również ustalone w pracy [8].

Zastosowano zbiorczy koszt jednostkowy dostarczenia wody na hektar powierzchni nawadnianej. W rzeczywistości koszt ten ma raczej formę stałej niezależnej od wielkości powierzchni nawadnianej oraz kosztu jednostkowego związanego z każdą jednostką zaopatrywaną. Modelowanie go w ten sposób wymagałoby jednak wprowadzenia dodatkowych zero-jedynkowych zmiennych całkowitych oznaczających wejście danego terenu typu produkcyjnego do rozważania, a przez to zwielokrotniło wymagania co do czasu komputera. Z tego powodu zaniechano użycia tych zmiennych i wprowadzono do modelu powyższe uproszczenie. Koszt dostarczenia wody stanowi raczej małą część całości kosztów nawadniania co uzasadnia wprowadzenie tego uproszczenia.

Roczne koszty urządzeń deszczujących na 1 ha zostały określone [8] na poziomie zbliżonym do średniego kosztu urządzeń szpulowych przystosowanych do nawadniania niewielkich działek gruntów chłopskich, gdyż takie grunty przeważają w regionie. Jest on zresztą zbliżony do średniego kosztu urządzeń przetaczanych stosowanych w gospodarstwach wielkoobszarowych i różnica mieści się prawdopodobnie w granicach błędu oszacowania. Koszty te różnią się nieznacznie w odniesieniu do poszczególnych typów produkcyjnych ze względu na niejednakowe zapotrzebowanie wody, a co za tym idzie niejednakowe koszty energii elektrycznej zużytej na jej rozdeszczowanie. Średnio wynoszą one około 14 tys. zł na 1 ha.

W przewidywaniu bardzo dużych kosztów nawodnień dopuszczono, że rozwiązaniem optymalnym mogłoby się okazać prowadzenie w całym regionie rolnictwa nienawadnianego. Stąd też w modelu mogą się pojawić ograniczenia na minimalną wymaganą produkcję końcową netto niektórych rodzajów produkcji rolniczej.

W naszym przypadku zostały one zastąpione przez ograniczenie na minimalną powierzchnię nawadnianą, ponieważ trudno było ustalić minimalne wymagane ilości produkcji. Ta minimalna powierzchnia została ustalona na 45000 ha, gdyż taką powierzchnię nawodnień przewidywali projektanci systemu na pierwszym etapie jego budowy.

Model optymalizacyjny został zbudowany z myślą o rozwiązaniu go techniką programowania mieszanego całkowitego.

Budowa modelu

Funkcja celu

$$\begin{aligned} & \sum_{ijk} TP_{ijk} \times (PZ_i - KN_i - KD_{ijk}) + \\ & - \sum_{lv} ZJ_{lv} \times KZJ_{lv} - \sum_{mv} ZS_{mv} \times KZS_{mv} + \\ & - \sum_{nv} PRZ_{nv} \times KPRZ_{nv} - \sum_n WPRZ_n \times KWPRZ_n + \\ & - \sum_v WPRZZJ22N_v \times KWPRZZJ22N_v + \\ & - \sum_{nv} WPRZZJ22vPRZ_n \times KWPRZZJ22vPRZ_n = \max \end{aligned}$$

Istnieją pewne zmienne decyzyjne, które wchodzi do funkcji celu ze współczynnikiem zero a tym samym nie są uwzględnione w powyższym zapisie. Są to ilości wody, które nie są pobierane do nawodnień bezpośrednio z miejsca, gdzie są pozyskiwane, tylko zrzucane i zużytkowane gdzieś poniżej wzdłuż cieku.

Ograniczenia

Bilans wodny w każdym źródle wody. Przez źródło wody rozumie się urządzenie do przerzutu wody lub zbiornik retencyjny, ale także odcinek rzeki lub jezioro, do którego zrzucają one wodę. Formalne przedstawienie ograniczenia opisującego bilans wody w każdym ze źródeł nie pomaga w wyjaśnieniu problemu, a wydłużyłoby tylko znacznie listę symboli. Wystarczy powiedzieć, że dopływ z góry rzeki, jeśli taki istnieje oraz woda dostarczana (zmagazynowana) przez zbiornik retencyjny, jeśli taki istnieje i urządzenia do przerzutu wody, jeśli takie istnieją, występują po jednej stronie bilansu. Po drugiej stronie występuje odpływ w dół cieku i woda pobrana do nawodnień typów produkcyjnych zaopatrywanych z danego źródła (liczba hektarów pomnożona przez dawkę sezonową). Jeśli odpływ pozostaje w granicach regionu bilans musi spełniać warunek równości. Jeśli odpływ opuszcza region, bilans przybiera postać ograniczenia „więcej niż lub równo”.

Wybór wariantów budowli magazynujących i przetrzucających wodę

$$\sum_v ZJlv = 1, \text{ dla każdego } l$$

$$\sum_v ZSmv = 1, \text{ dla każdego } m$$

$$\sum_v PRZnv = 1, \text{ dla każdego } n$$

Z powyższego zapisu wynika, że każda budowla posiada swój tzw. wariant zerowy, oznaczający, że dane urządzenie nie jest w ogóle budowane.

Ograniczenia przerzutów wody
 $WPRZn \leq \sum_v PRZnv \times PPRZnv$ dla każdego n .

Przepustowość wybranego wariantu urządzenia musi pozwalać na przerzut ilości wody wymaganej w modelu.

Pewna komplikacja zachodzi w przypadku zbiornika Folusz (oznaczonego ZJ22). Gospodarka wodna tego zbiornika wg studium opracowanego przez gdańską pracownię „Hydroprojektu” ma wyglądać w ten sposób, że pompuje się do niego wodę z Noteci, która to woda może pochodzić albo z własnych zasobów niektórych zlewni cząstkowych w zlewni Górnej Noteci, albo z przerzutów ze zlewni sąsiednich. Następnie woda ta może być wykorzystana przez różnych użytkowników, m.in. rolnictwo, i do przerzutów do zlewni sąsiednich.

Wobec powyższego zaistniała konieczność ograniczenia przerzutu wody do zbiornika Folusz z różnych źródeł poza sezonem nawodnień. Po pierwsze woda pochodząca z własnych zasobów zlewni Noteci powyżej ujęcia wody do pompowania do Folusza w różnych wariantach budowy tego zbiornika (rozgraniczenie takie jest konieczne ze względu na niejednakową wysokość podnoszenia w różnych wariantach) musi się mieścić w zasobach własnych zlewni niewykorzystywanych przez inne zbiorniki:

$$\sum_v WPRZZJ22Nv + \sum_{mv} ZSmv \times WZSmv + \sum_{lv} ZJlv \times WZJlv \leq WNF$$

przy czym sumowanie w powyższej nierówności odbywa się tylko dla takich m i dla takich l , odpowiadające którym zbiorniki leżą powyżej ujęcia wody do Folusza.

Następne ilości wody, przepompowane do Folusza poza sezonem nawodnień z zasobów zlewni sąsiednich, zostały ograniczone przez przepustowość odpowiednich przerzutów.

$$\sum_v WPRZZJ22vPRZn \leq \sum_w PRZnw \times PPRZPnw$$

dla każdego przerzutu n , który może dostarczać wody do Folusza.

Suma wody przetrzucana do zbiornika Folusz z różnych źródeł poza sezonem nawodnień musi się mieścić w jego pojemności:

$$\sum_u WPRZZJ22uPRZn + \sum_v WPRZZJ22Nv$$

$$\leq \sum_v ZJ22v \times (PZJ22v - WWZJ22v)$$

z tym, że sumowanie odbywa się w powyższej nierówności po wszystkich $u \leq v$.

Przerzuty wody na poszczególne warstwy piętrzenia w zbiorniku Fólusz, odpowiadające poszczególnym wariantom jego budowy, muszą się zmieścić w pojemności poszczególnych warstw:

$$\sum_n WPRZZJ22vPRZn + WPRZZJ22Nv$$

$$\leq (PZJ22v - WWZJ22v) - (PZJ22v-1 - WWZJ22v-1)$$

dla każdego v .

Bilans powierzchni

$$\sum_{jk} TP_{ijk} \leq TPM_i \text{ dla każdego } i.$$

Powyższe oznacza, że części powierzchni danego zlokalizowanego typu produkcyjnego nawadniane różnymi drogami z różnych źródeł nie mogą w sumie przekroczyć powierzchni danego terytorialnie zlokalizowanego typu produkcyjnego.

Wymagane minimum powierzchni nawadnianej w regionie

$$\sum_{ijk} TP_{ijk} \leq 45000$$

Wyniki rozwiązania modelu

Model miał 754 zmienne decyzyjne włączając w to 142 zerojedynkowe zmienne całkowitoliczbowe oraz 398 ograniczeń.

Ze względu na próbny charakter pracy nie starano się uzyskać za wszelką cenę rozwiązania optymalnego którego znalezienie przy tak dużych rozmiarach modelu mogłoby zająć bardzo dużą ilość czasu komputera. Zadowolono się znalezieniem rozwiązania dopuszczalnego zbliżonego do rozwiązania optymalnego, zakładając z góry ograniczenie czasu obliczeń do standardowej ilości 30 minut czasu pracy jednostki centralnej. Obliczeń dokonano na maszynie IBM 370 wg programu MPSX (370). W czasie dokonanego przebiegu uzyskano kilka dopuszczalnych rozwiązań całkowitoliczbowych, z których każde było lepsze od poprzednich. W ostatnim i najlepszym z nich wartość funkcji celu była o około 5 mln zł gorsza niż wartość w optymalnym rozwiązaniu ciągłym, tzn. takim rozwiązaniu gdzie wszystkie zmienne decyzyjne, także całkowitoliczbowe, są traktowane jako zmienne ciągłe. Wartość funkcji celu w optymalnym rozwiązaniu ciągłym stanowi absolutną i teoretycznie, z wyjątkiem przypadku gdy zmienne całkowitoliczbowe przez zwykły zbieg okoliczności mają już w rozwiązaniu ciągłym wartości całkowitoliczbowe, nigdy nieosiągalną granicę dla wartości funkcji celu w rozwiązaniu

całkowitoliczbowym. Z uwagi na duże rozmiary przedsięwzięcia bezwzględną różnicą między tym dwoma wartościami funkcji celu należy uznać za mało istotną.

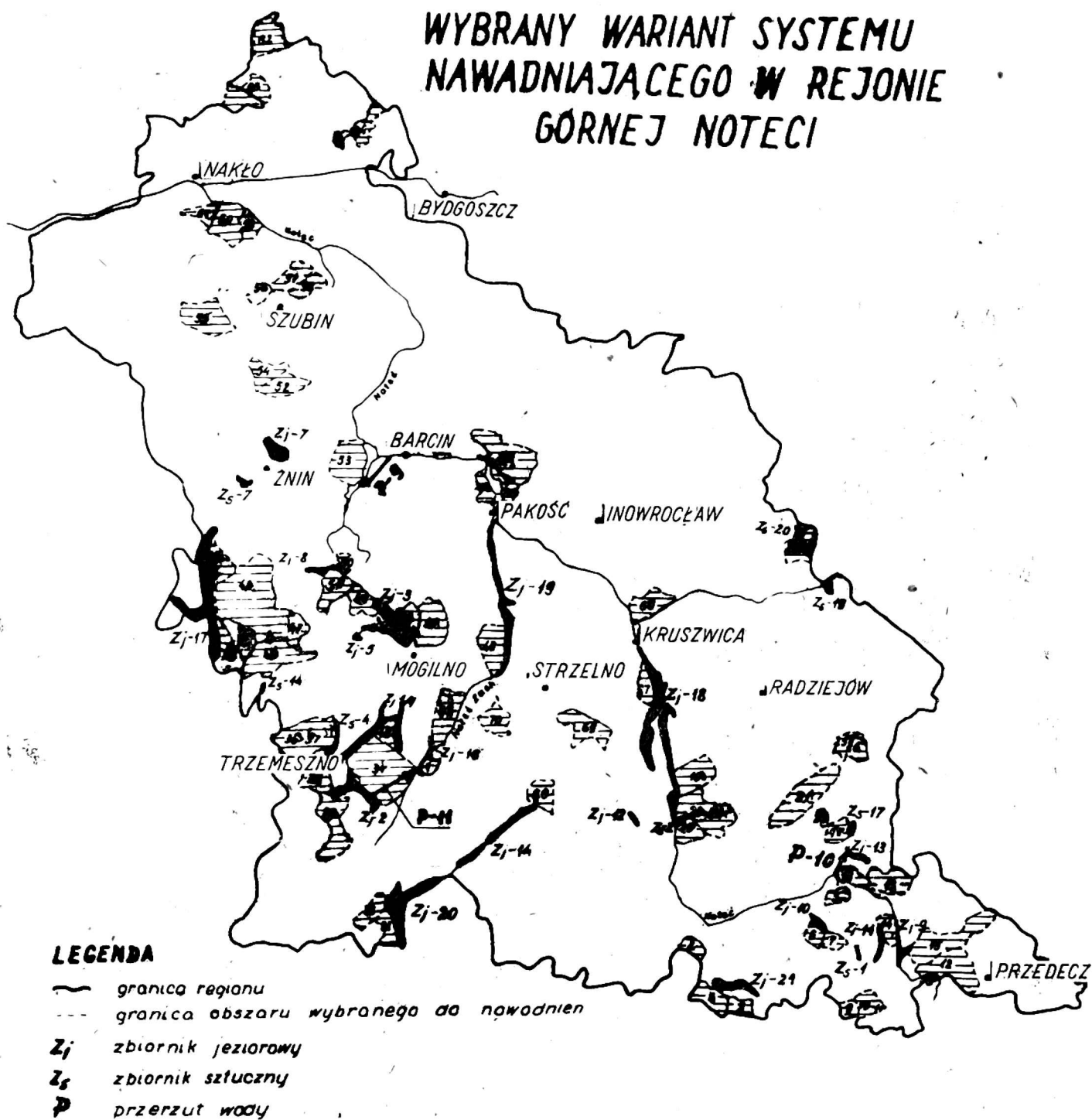


Rys. 1. Tereny przewidywane do nawodnień i potencjalne źródła wody w rejonie zlewni Górnej Noteci.

Według ostatniego z szacunków dokonanych przez program w trakcie opisywanego przebiegu żadne rozwiązanie całkowitoliczbowe nie mogłoby mieć wartości funkcji celu lepszej o więcej niż ok. 700 tys. zł, czyli 18% od wartości osiągniętej. Powyższe upoważnia do stwierdzenia, że uzyskane rozwiązanie było zadowalające i biorąc pod uwagę niewielką bezwzględną wartość górnej granicy ewentualnej zwyżki funkcji celu,

bardzo zbliżone do optimum. Oczywiście nie powinno się zapominać o wszystkich uproszczeniach i zgrubnych szacunkach, które wbudowano do modelu.

WYBRANY WARIANT SYSTEMU NAWADNIAJĄCEGO W REJONIE GÓRNEJ NOTECI



Rys. 2. Wybrany wariant systemu nawadniającego w rejonie Górnej Noteci.

Wartość funkcji celu w najlepszym z dopuszczalnych rozwiązań całkowitoliczbowych wyniosła 3920073 złote. Oznacza to, że jeśli zostanie zbudowany system nawadniający 45000 hektarów, należy się liczyć z punktu widzenia gospodarki narodowej z rocznym zyskiem około 90 zł (ha) rok. Jest to zysk tak nikły, że przyjąć można, że ocena całości przedsięwzięcia byłaby z punktu widzenia gospodarki narodowej neutralna tzn. nie byłoby ono ani zyskowe, ani deficytowe. Należy pamiętać, że uzys-

kujemy ten rezultat przyjmując, tak jak to zostało pokazane, dosyć wysokie szacunkowe przyrosty produkcji w wyniku nawodnień oraz używając kalkulacyjnych cen produktów rolnych zgodnie z obowiązującymi wytycznymi ekonomicznej oceny efektywności inwestycji melioracyjnych, o 30% wyższych od cen skupu produktów rolnych. Gdyby użyto cen skupu wystąpiłaby strata około 5 tysięcy złotych na hektar. Powyższe wyniki odzwierciedlają różnicę poziomów cen produktów rolniczych i cen środków trwałych używanych w rolnictwie, w tym przypadku budowli wodnych i urządzeń nawadniających. Bardzo często już koszty urządzeń nawadniających na polu są wyższe niż wartość przewidywanej zwwyżki zysków rolniczych, nawet obliczonych przy użyciu cen kalkulacyjnych produktów rolnych.

Ograniczenie dotyczące minimalnej powierzchni nawadnianej zostało spełnione na najniższym poziomie. Z drugiej strony możliwości budowy systemu nawadniającego pozostały częściowo niewykorzystane. W celu nawodnienia wymuszonej liczby 45000 hektarów sprowadzenie wody spoza zlewni Górnej Noteci okazało się zbyt kosztowne w porównaniu z wykorzystaniem własnych zasobów zlewni. Również przerzuty wody pomiędzy poszczególnymi zlewniami cząstkowymi wewnątrz zlewni były niepotrzebne (w 6 przypadkach na 8 możliwych).

Pomimo założenia raczej dużych rocznych dawek nawodnieniowych zalecanych w wytycznych Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych wykorzystano tylko część możliwości budowy zbiorników. Z 19 potencjalnych zbiorników jeziorowych dopuszczono w rozwiązaniu budowę 15, lecz często w najmniejszym wariantcie pojemności. Z 20 zbiorników sztucznych weszło do rozwiązania 8. Zwykle wybrano albo najmniejszy wariant pojemności zbiornika, albo też zbiorniki najmniejsze, które miały tylko jeden wariant pojemności. Względnie droższe zbiorniki sztuczne (na 1 m³ zmagazynowanej wody) pojawiły się względnie rzadziej w rozwiązywaniu.

Spomiędzy 267 potencjalnie nawadnianych terenów typów produkcyjnych (wiele z nich mogło być zaopatrywane w wodę z różnych źródeł i dlatego liczba zmiennych decyzyjnych typu TP była dużo większa) wybrano do nawadniania 66, z tego 53 całkowicie i 13 częściowo. Większość z nich była zaopatrywana w wodę wyłącznie z jednego źródła, tylko 4 z nich zaopatrywano z dwóch źródeł.

Współczynniki funkcji celu przy zmiennych typu TP dały w wyniku wybór terenów o przeważnie słabych glebach. Był to rezultat przyjętych struktur zasiewów i wysokości plonów na poszczególnych kompleksach glebowych. Wynik taki zgodny jest z rozpowszechnionym poglądem, że najlepsze efekty nawadniania uzyskuje się na glebach średnich, gdyż gleby dobre mają wystarczającą pojemność wodną umożliwiającą rośli-

nom przetrzymanie okresów bezopadowych bez większych strat. Pierwsza z załączonych map pokazuje brane pod uwagę możliwości budowy systemu nawadniającego i przestrzennego rozmieszczenia rolnictwa nawadnianego. Drugą z nich pokazuje najlepsze ze znalezionych dopuszczalnych rozwiązań całkowitoliczbowych.

Z powodu małej skali nie są na nich rozdzielone tereny poszczególnych typów produkcyjnych i zarysowane trasy doprowadzeń wody od poszczególnych źródeł do poszczególnych terenów typów produkcyjnych. Na mapie obrazującej rozwiązanie umieszczono też istniejące już zbiorniki ZJ10, ZJ20, ZJ21.

Wykaz oznaczeń

Z m i e n n e d e c y z y j n e

- PRZ n v — urządzenie przerzutowe n w wariancie pojemności v , zbudowane dla przerzutu wody wewnątrz systemu lub sprowadzenia wody z zewnątrz systemu; zerojedynkowa zmienna całkowitoliczbowa;
- TPi j k — liczba nawadnianych hektarów potencjalnie nawadnianego terytorialnie zlokalizowanego terenu typu produkcyjnego i , zaopatrywanego w wodę ze źródła j , na drodze k ;
- WPRZ n — ilość wody przierzucana rocznie przez urządzenie przerzutowe n ;
- WPRZZJ22N v — ilość wody przepompowana do zbiornika Folusz (ZJ22) w wypadku jego budowy w wariancie v , z zasobów własnych zlewni Górnej Noteci, przed sezonem nawodnień;
- WPRZJ22vPRZ n — ilość wody przierzucana do zbiornika Folusz w wariancie jego budowy pochodząca z przerzutu wody spoza zlewni Górnej Noteci przez przerzut n ;
- ZJl v — jeziorowy zbiornik retencyjny l w wariancie pojemności v ; zerojedynkowa zmienna całkowitoliczbowa;
- ZSm v — sztuczny zbiornik retencyjny m w wariancie pojemności v ; zerojedynkowa zmienna całkowitoliczbowa.

P a r a m e t r y

- KDi j k — roczne koszty (stałe i zmienne) doprowadzenia wody ze źródła j do terytorium typu produkcyjnego i na drodze k , na hektar powierzchni nawadnianej;
- KNi — roczne koszty nawodnień na hektar i -tego terenu typu produkcyjnego;

- KPRZnv — roczne koszty (tylko koszty stałe) urządzenia przerzutowego n w wariancie pojemności v ;
- KWPRZZJ22Nv — jednostkowy koszt zmienny wody przetrzucanej z zasobów własnych zlewni Górnej Noteci do zbiornika Folusz w wariancie v jego budowy;
- KWPRZn — jednostkowe koszty zmienne transportu wody przez urządzenie przerzutowe n ;
- KWPRZZJ22vPRZn — jednostkowy koszt zmienny wody przetrzucanej z zasobów zlewni sąsiedniej przez urządzenie przerzutowe n do zbiornika Folusz w wariancie v jego budowy;
- KZJlv — roczne koszty (kapitałowe, operacyjne i konserwacyjne) jeziorowego zbiornika retencyjnego l w wariancie pojemności v ;
- KZSmv — roczne koszty sztucznego zbiornika retencyjnego m w wariancie pojemności v ;
- PPRZnv — przepustowość urządzenia przerzutowego n w jego wariancie przepustowości v ;
- PPRZPnv — roczna przepustowość urządzenia przerzutowego n w wariancie jego budowy v poza sezonem;
- PZi — roczny przyrost zysku w produkcji roślinnej na hektar i - tego terenu typu produkcyjnego, biorąc pod uwagę przewidywaną produkcję po nawadnianiu, produkcję nienawadnianą i normatywne koszty rolnicze;
- PZJlv — pojemność użytkowa zbiornika jeziorowego l w wariancie jego budowy v ;
- TPMi — maksymalna potencjalnie nawadniana powierzchnia terytorialnie zlokalizowanego typu produkcyjnego i ;
- WNF — ilość wody dyspozycyjnej jaka może być potencjalnie zapewniona przez zasoby naturalne zlewni Górnej Noteci powyżej ujęcia do zbiornika Folusz;
- WWZJ22v — ilość dyspozycyjnej wody z własnej zlewni magazynowana przez zbiornik Folusz w wariancie jego budowy v ;
- WZJlv — ilość wody dyspozycyjnej zapewniana w sezonie nawodnień przez zbiornik jeziorowy l w wariancie pojemności v ;
- WZSmv — ilość wody dyspozycyjnej zapewniana w sezonie nawodnień przez zbiornik sztuczny m w wariancie jego pojemności v .

LITERATURA

1. Gajewski J., Zurkowski J.: Koncepcja modeli optymalizacyjnych generujących typy gospodarstw rolnych wprowadzanych do modelu optymalizacyjnego dotyczącego zagospodarowania dużego obszaru bagiennego. Maszynopis powielany IMUZ, Falenty 1971.
2. Manteuffel H.: Wstępne opracowanie macierzy do sporządzenia bilansu wodnego na obszarach nawadnianych dla potrzeb optymalizacji ekonomicznej produkcji rolnej. Praca wykonana na zlecenie IEiOGR SGGW, Warszawa 1977.
3. Manteuffel H., Zaleski M., Zawilski J.: Agricultural production optimization model in an intensively irrigated region. Referat na konferencję „Zastosowanie analizy systemowej w modelowaniu rozwoju regionalnego”. Jabłonna, 11—16 wrzesień 1978.
4. Metodyka określania ekonomicznej efektywności inwestycji wodnych, melioracyjnych i zaopatrzenia wsi w wodę. Instrukcja branżowa. Warszawa 1976.
5. Możliwości pozyskania dodatkowych ilości wody przez magazynowanie zasobów własnych i przerzuty ze zlewni sąsiednich. Praca zbiorowa BPWM Bydgoszcz, CBSiPBW „Hydroprojekt” Gdańsk oraz CBSiP „Bipromel”. Warszawa 1977.
6. Parametry do obliczania zapotrzebowania wody przez rośliny nawadniane i konstrukcji modeli gospodarstw stosujących nawadnianie. Maszynopis IEiOGR SGGW, praca zbiorowa pod kierunkiem M. Zaleskiego. Warszawa 1978.
7. Prokopowicz J.: Normatywy nakładów i kosztów produkcji roślinnej. Materiały pomocnicze do oceny efektywności ekonomicznej inwestycji melioracyjnych w fazie programowania i projektowania. Wydanie drugie uaktualnione do poziomu cen 1976 r. Materiały Instruktażowe IMUZ nr 33. Falenty 1979.
8. Urbala S.: Wstępne zaprogramowanie różnych wariantów budowy pilotowego systemu nawadniającego na obszarze zlewni rzeki Górne Noteć. Praca wykonana na zlecenie IEiOGR SGGW, 1978.
9. Zaleski M., Gajewski J.: Modele państwowych gospodarstw rolnych stosujących nawodnienia deszczowniane gnojowicą oraz wodą czystą. Maszynopis IEiOGR SGGW, 1975.
10. Zaleski M., Majewski E.: Analiza i podział obszaru zlewni rzeki Górna Noteć na mikroregiony rolnicze. Maszynopis IEiOGR SGGW, Warszawa 1978.
11. Zaleski M., Majewski E.: Wydzielenie obszarów o jednorodnych typach produkcyjnych w ramach mikroregionów rolniczych na obszarze zlewni rzeki Górna Noteć. Maszynopis IEiOGR SGGW Warszawa 1978.