

Janusz FILIMOWSKI

INSTYTUT METEOROLOGII
I GOSPODARKI WODNEJ
KRAKÓW

PROBLEMY STEROWANIA ZBIORNIKAMI WÓD SŁONYCH

Streszczenie. Sterowanie systemem zbiorników dozujących do rzeki solankę w celu zabezpieczenia się przed przekroczeniem stężeń dopuszczalnych w okresie niskich przepływów jest problemem złożonym, wymagającym optymalizacji. Optymalizacji, prowadzonej metodą programowania liniowego podlega zrzut z poszczególnych zbiorników w określonym przedziale czasu. Optymalizowane jest również ustalenie parametrów sterowania zbiornikami dla zapobieżenia ich przepełnieniu, stwarzając hierarchię zrzutów.

1. Wprowadzenie

Zasolenie Wisły górnej wodami wypompowywanymi z kopalni węgla doprowadziło do znacznego przekroczenia stężenia dopuszczalnego. W r.1975 zezwolono kopalniom na przekroczenie obowiązującego dotychczas stężenia dopuszczalnego ustalając graniczną normę 1000 g/m^3 sumy chlorków i siarczanów, co ma obowiązywać do końca 1984 r. Ładunek chlorków w przekroju Dwory wynosi obecnie 2800 t/dobę a w r.1990 osiągnie 4400 t/dobę, co przy średnim niskim przepływie da stężenie 1650 g/m^3 /uwzględniono jedynie zrzuty resortu górnictwa/. Dla rozwiązania tego problemu przewiduje się:

- odsalanie wód mocno zasolonych /pow. $50 \text{ kg/m}^3 \text{ Cl}'$ /, stanowiących 40% zrzutów /w sensie ładunków/,
- przerzuty do Wisły poniżej Dunajca wód średnio zasolonych /od 25 - $50 \text{ kg/m}^3 \text{ Cl}'$ w ilości około 20% zrzutów,
- retencjonowanie w zbiornikach wód średnio zasolonych w ilości około 40% zrzutów,
- zrzuty bezpośrednie do rzek wód słabo zasolonych, stanowiących poniżej

1% ładunku globalnego.

Zamierzenia powyższe, mogące doprowadzić do uzyskania w Wiśle odpowiednich stężeń chlorków, wymagają nakładów inwestycyjnych w wysokości około 12 mld zł [3].

Od szeregu lat rozbudowuje się system zbiorników retencyjnych wody słonej z kopalń węgla. Działanie pojedynczego zbiornika wód słonych jest zdeterminowane przez zasolenie występujące w miejscu zrzutu i dopuszczalne stężenie w tym punkcie. Pojemność jego musi być wystarczająca dla przetrzymania solanki w okresie niskich przepływów w rzece, a urządzenia upustowe powinny mieć dostateczną przepuszczalność, by można było zbiornik szybko opróżnić w czasie trwania zwiększonych przepływów w rzece. Gdy zbiorników leżących wzdłuż rzeki jest kilka, doprowadzenie do dopuszczalnego zasolenia w górze rzeki mogłoby uniemożliwić zrzut ze zbiorników niżej leżących i spowodować ich przepełnienie. W praktyce mogłaby wystąpić również sytuacja odwrotna. Wzajemne oddziaływanie zbiorników na siebie nie jest zależne wyłącznie od sytuacji w rzece, ale również od pojemności zbiorników i stężenia dopływającej do nich solanki. Dobór pojemności jest niejednokrotnie ograniczony przez warunki topograficzne, hydrogeologiczne itp. Szczególnie istotne jest ograniczenie piętrzenia w zbiornikach ze względu na możliwość filtracji solanki do wód gruntowych. Nie analizując problemów projektowych, w artykule ograniczono się do przedstawienia problemów związanych z ustaleniem zasad sterowania zbiornikami wód słonych.

Proces ustalenia tych zasad opiera się na optymalizacji parametrów sterowania realizowanej poprzez wielokrotną symulację pracy zbiorników na historycznym ciągu obserwacji przepływów w rzece. W każdym przedziale czasu prowadzony jest ponadto optymalny dobór zrzutów spełniający warunki nieprzekroczenia dopuszczalnego zasolenia rzeki. Ustalone parametry służą za podstawę do określania wymaganych ładunków w rzece przy sterowaniu zbiornikami w czasie rzeczywistym, np. w przedziale dobowym natomiast ustalenie zrzutów z tych zbiorników dla krótszych przedziałów czasu odbywa się w dostosowaniu do zmieniających się w sposób ciągły warunków przepływu i zasolenia w rzece.

2. Założenia symulacyjnego modelu zasolenia rzeki.

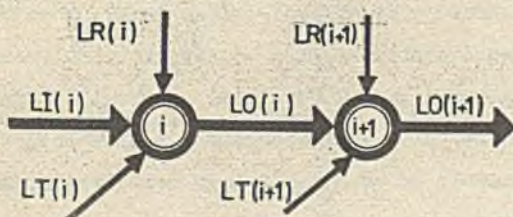
Proces zasolenia rzeki można prosto przedstawić, analizując tylko rozcieńczanie soli przez wody rzeki, nie rozważając jednocześnie innych reakcji, jak np. wiązania z innymi związkami chemicznymi w wodzie.

W miejscach gdzie zrzucana jest solanka lub następuje zmiana przepływu w rzece /albo w innym dowolnie wybranym przekroju/, należy zbilansować ilości wody i ładunek soli w celu określenia stężenia soli. W zależności od charakteru zasolenia można rozpatrywać kilka rodzajów soli lub jeden o charakterze wiodącym w celu uproszczenia obliczeń. W przypadku opisywanych tu prac [2], [3], [4] jako reprezentatywne wybrano chlorki.

W modelu zasolenia rzeki przekroje bilansowe można przedstawić w formie węzłów. Łuki łączące węzły obrazują jedynie relacje połączeń, nie mówią natomiast nic o procesach zachodzących pomiędzy tymi węzłami. W przypadku wskaźników jakości wody podlegających samoczyszczeniu konieczna jest budowa modeli tych procesów, gdyż redukcja stężeń nie jest proporcjonalna do przyrostu przepływu [1].

W omawianych pracach występujące procesy mieszania zostały pominięte poprzez założenie, że nastąpi pełne wymieszanie wody rzecznej i ścieków między węzłami i nie będą występować koncentracje zasolenia wpływające niekorzystnie na życie biologiczne w rzece.

Rozpatrując ciąg przepływów w dyskretnych przedziałach czasu można dokonać symulacji zasolenia rzeki, w której wejściowymi wielkościami będą historyczne - obserwowane - przepływy w analizowanych przekrojach i przypisane im ładunki zasolenia powstałe w zlewni, a wyjściowymi będą stężenia soli spowodowane wprowadzeniem ładunków zrzucanych ze zbiorników. Aby spełnić warunek nieprzekroczenia dopuszczalnego stężenia konieczne jest dopasowanie zrzutów a w dalszej kolejności zoptymalizowanie ich.



Rysunek 1. Schemat modelu zasolenia rzeki

Schemat modelu przedstawiono na rysunku 1. Rozwiązanie pojedynczego węzła sprowadza się do sprawdzenia warunku nieprzekroczenia stężenia dopuszczalnego i stąd równania bilansowe przedstawiają się następująco:

$$LO(i) = LI(i) + LT(i) + LR(i)$$

$$LI(i) = LO(i-1)$$

$$LR(i) = SR(i) * QR(i)$$

$$SO(i) = LO(i) / (Q(i) + QR(i))$$

$$SO(i) \leq SGR(i)$$

$$QO(i) = Q(i) + QR(i)$$

gdzie

LO(i) - ładunek soli odpływający z węzła i

LI(i) - ładunek soli dopływający do węzła i

LT(i) - ładunek soli z dopływu bocznego rzeki

LR(i) - ładunek soli ze zbiornika

SR(i) - stężenie solanki w zbiorniku

QR(i) - zrzut solanki do rzeki

Q(i) - przepływ w rzece w przekroju węzła i

SO(i) - stężenie soli w odpływie z węzła i

SGR(i) - dopuszczalne stężenie soli w węźle

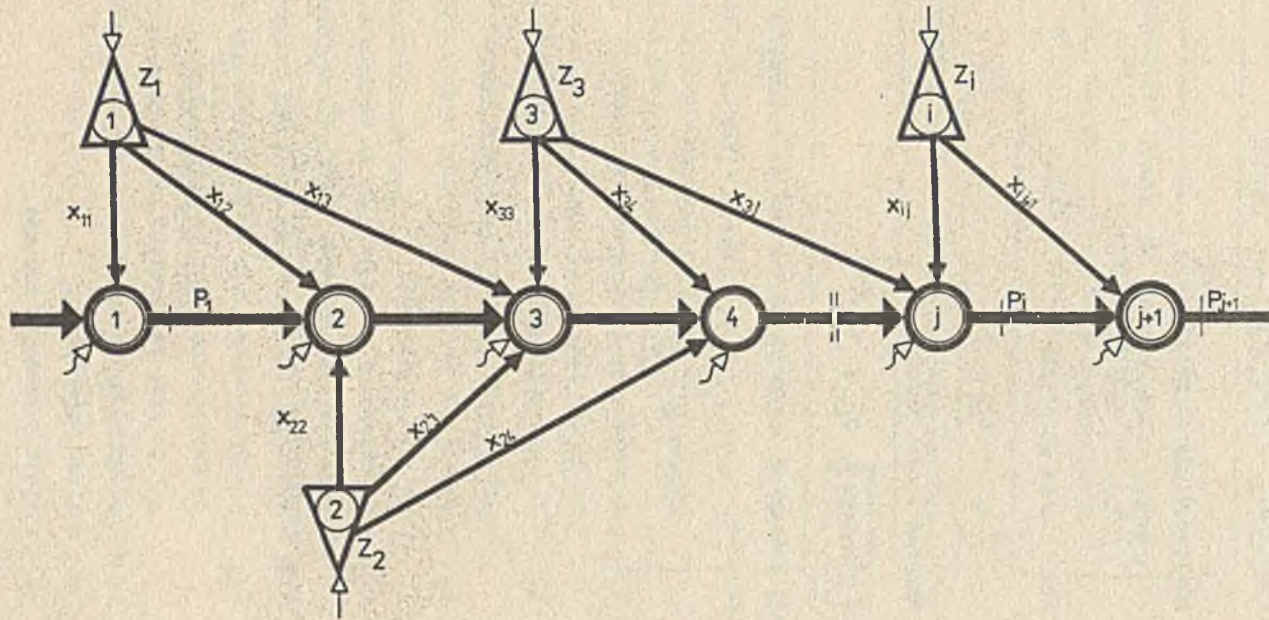
QO(i) - przepływ odpływający z węzła i

t - indeks przedziału czasu

3. Model sterowania zbiornikami wód słonych

Dla określenia zrzutów ze zbiorników dozujących solankę do rzeki przedstawiono model w formie zadania sieciowego, które ilustruje rys.2. Poszczególne węzły /koła/ o indeksach "j" przedstawiają przekroje rzeki, natomiast węzły /trójkąty/ o indeksach "i" przedstawiają zbiorniki do-

zujące. Łuki x_{ij} obrazują zrzuty solanki do rzeki. W modelu tym wyróżnić można łuki bezpośrednich zrzutów ze zbiornika do rzeki /i=j/ oraz przerzuty rurociągiem na przekroje poniżej zbiornika. Ogólne rozwiązanie modelu zezwala na prowadzenie dowolnych analiz projektowych, a także wykorzystanie modelu do sterowania przy dowolnych układach-zbiornik i przerzut rurociągiem.



Rysunek 2. Schemat modelu sieciowego sterowania zbiornikami wód słonych

Model przedstawiony na rysunku 2 opisują poniższe warunki ograniczające:

a/ Warunek dopuszczalnego ładunku odpływającego z przekroju

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq P_j \quad \forall j$$

b/ Warunek nieprzepełnienia zbiornika

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \geq L_{it} - Z_i \quad \forall i$$

c/ Warunek opróżnienia zbiornika

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq L_{it} \quad \forall i$$

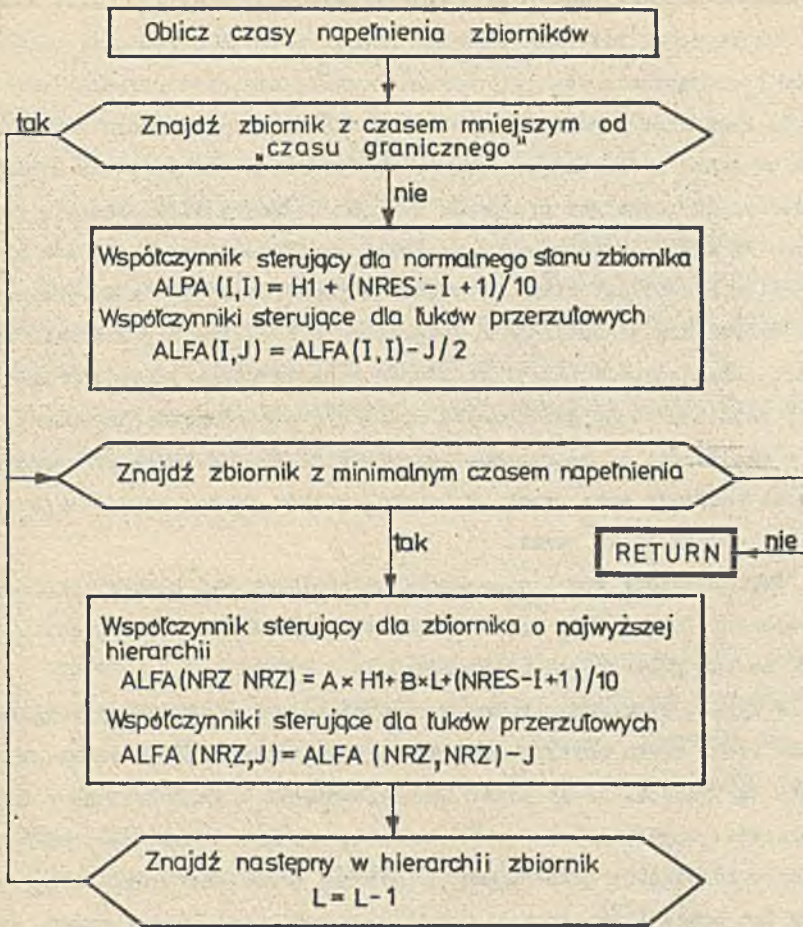
d/ Warunek przepustowości zrzutów

$$x_{ij} \leq D_{ij} \quad \forall i, \forall j$$

Optymalizację zmiennych decyzyjnych /zrzutów ze zbiornika/ prowadzi się dla funkcji celu

$$\max F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} x_{ij}$$

- Oznaczenia: P_j - dopuszczalny ładunek soli w przekroju, uwzględniający dopływ ładunku ze zlewni,
- L_{it} - ładunek soli zgromadzony w zbiorniku w okresie $t-1$, powiększony o dopływ ładunku w okresie t ,
- Z_i - maksymalny ładunek gromadzony w zbiorniku ze względu na jego pojemność,
- D_{ij} - dopuszczalny zrzut ładunku ze względu na przepustowość urządzeń zrzutpwych lub przerzutowych,
- α_{ij} - współczynniki sterujące pracą zbiorników,
- x_{ij} - zrzuty ładunków soli ze zbiorników, gdy $i=j$ jest to bezpośredni zrzut ze zbiornika do rzeki, $j > i$ jest to przerzut rurociągiem ze zbiornika "i" do przekroju rzeki "j"
- m - ilość zbiorników,
- n - ilość przekrojów zrzutów.



W PRZYKŁADZIE PRZYJĘTO

$$A = B = H1 = 10$$

NRES - liczba zbiorników

L - liczba zbiorników o czasie napełnienia mniejszej od granicznego

NRZ - numer zbiornika

I - węzeł zbiornikowy

J - węzeł przekroju rzeki

Rys. 3 Algorytm hierarchicznego doboru współczynników sterujących

Szczegółowy przebieg hierarchicznego sposobu określania współczynników sterujących pracą zbiorników obrazuje algorytm przedstawiony na rys. 3. Preferowany jest zrzut ze zbiornika o czasie napełnienia mniejszym od czasu granicznego /pojęcie to wyjaśniono dalej/, dla którego współczynnik sterujący przyjmuje wartość będącą wielokrotnością pozostałych $/A \times H1/$. W przypadku przepełnienia rezerw granicznych w kilku zbiornikach współczynniki sterujące są powiększane o $B \times L$, gdzie L jest hierarchią przepełnienia /większe dla bardziej napełnianego zbiornika/. Dla jednoznaczności rozwiązań zadania optymalizacji równe wartości współczynników sterujących muszą być zróżnicowane, co dokonuje się w zależności od kolejności zrzutów wzdłuż cieku. Tak samo różnicowane są pomiędzy sobą przerzuty ze zbiorników do przekrojów leżących poniżej wzdłuż biegu rzeki.

Przedstawiony model sterowania zbiornikami wód słonych zapisany w powyższej formie jest rozwiązywany w każdym dyskretnym przedziale czasu metodą programowania liniowego.

W wyniku symulacji prowadzonej w oparciu o historyczny ciąg przepływów rzeki można uzyskać taki obraz pracy zbiorników, dla którego zrzuty są uzależnione od stanu ich napełnienia i wykorzystują w pełni chłonności dopuszczalne rzeki. Zapisany ogólnie model może być modyfikowany w zależności od potrzeb, np. poprzez usunięcie przerzutów w przypadku ich braku w analizowanym modelu, jak również wykorzystany jako algorytm dla eksploatacji systemu zbiorników przy wcześniej ustalonych parametrach sterowania, tj. czasach granicznych.

4. Optymalizacja parametrów sterowania zbiornikami.

W przedstawionym powyżej algorytmie ustalania współczynników sterujących pracą zbiorników użyto parametru zwanego czasem granicznym, od którego uzależniony jest hierarchiczny dobór współczynników sterowania. Przez czas graniczny rozumie się czas wypełnienia rezerwy zbiornika przez dopływ przy równoczesnym braku odpływu. Odpowiednie dobranie tych parametrów dla zbiorników gwarantuje ich dobrą współpracę. Dla optymalizacji powyższych parametrów sterowania zbiornikami przyjęto następującą postać funkcji celu

$$\min F = \sum_{i=1}^T k$$

$$k = \begin{cases} 1 & \text{; gdy } V(i) \geq 0,95 VC(i); \quad \forall i \\ 0 & \text{; gdy } V(i) < 0,95 VC(i); \quad \forall i \end{cases}$$

gdzie: $V(i)$ - aktualna pojemność zbiornika w czasie t

$VC(i)$ - całkowita pojemność zbiornika

T - liczba dyskretnych przedziałów w ciągu symulacji.

Poprzez funkcję k wpływając można na wyeliminowanie przepełnienia niektórych zbiorników, występujące poza okresami ich równoczesnego napełniania wywołanego długotrwałym okresem niżówkowym.

Można również wprowadzić poniższą funkcję dla eliminacji przerzutów solanki na niższe przekroje rzeki

$$\min G = \sum_{i=1}^T m$$

$$m = \begin{cases} 1 & \text{gd}y \quad x_{ij} > 0 \quad i \neq j \\ 0 & \text{gd}y \quad x_{ij} = 0 \quad i \neq j \end{cases}$$

Określenie powyższych parametrów wymaga przeprowadzenia szeregu symulacji pracy systemu. Optymalizacja wielu zmiennych z uwagi na konieczność wielokrotnej symulacji jest czasochłonna i wydaje się, że możliwa do przeprowadzenia tylko przy zastosowaniu metody relaksacji poszczególnych parametrów.

Przykładowo uzyskane wyniki przedstawiono w tabl. 1

Tabl. 1

Optymalne czasy graniczne zbiorników wód słonych

Kolejność zbiornika wzdłuż biegu rzeki	Dopływ ładunku chlorków w t/d	Objętość zbiornika w mln m ³	Czas graniczny w dekadach
1	206	1,7	4,5
2	48	0,7	9,5
3	2472	15,0	3,0
4	1555	30,0	1,0

Przebieg optymalizacji wykazuje stosunkowo małą czułość funkcji celu w pobliżu optymalnych wartości parametrów, lecz następują wyraźne zmiany przy odmiennej hierarchii zbiorników wyrażonej czasem granicznym.

Uzyskane wyniki wskazują na następujące cechy działania systemu:

- najmniejszy zbiornik przez większość czasu symulacji jest pusty, gdyż ma największy priorytet zrzutu, gdy pozostałe zbiorniki przekraczają graniczne rezerwy,
- niżej leżące zbiorniki nie ograniczają zrzutów zbiornikom zlokalizowanym wyżej wzdłuż biegu rzeki.

Oczywiste jest, że są to reguły specyficzne powstałe w analizowanym przykładzie.

Przedstawiony tutaj algorytm sterowania oraz optymalizacji czasów granicznych systemu zbiorników wód słonych został oprogramowany w języku FORTRAN /przy wykorzystaniu bibliotecznych pakietów optymalizacyjnych MINUIT i SIMPLEX/ na BMC CYBER 72.

LITERATURA

- [1.] Adamczyk Z., Grela J., Konieczny R., Słota H.: Symulacyjny model matematyczny procesów ilościowych i jakościowych zachodzących w rzece Wiśle na odcinku Pustynia-Niepołomice: Gospodarka Wodna nr 8, 1977 r.
- [2.] "Sterowanie systemem zbiorników retencyjnych słonych wód kopalnianych Silesia i Brzeszcze dla ochrony Małej Wisły przed zasoleniem", /maszynopis/ Biuro Proj.Górnictw, Kraków, 1978 r.
- [3.] "Założenia do projektowania systemu zbiorników retencyjnych słonych wód kopalnianych Bojszowy i Przemsza dla zmniejszenia zasolenia Wisły", /maszynopis/, Biuro Proj.Górnictw, Kraków, 1979 r.
- [4.] "Założenia do modyfikacji zagospodarowania Górnej Wisły dla zmniejszenia zasolenia Wisły zrzutami wód kopalnianych", /maszynopis/, IMGW, Kraków, 1980 r.

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕЗЕРВУАРАМИ ЗАСОВЕННЫХ ВОД.

Резюме :

Управление системой резервуаров, дозирующих в реку солянку с целью защиты от превышения допустимой концентрации в период низких течений воды это сложная, требующая оптимизации, проблема. Оптимизации с применением линейного программирования, подлежат сбросы с отдельных резервуаров. Оптимизируется также параметры управления резервуарами с целью предохранения их от переполнения создавая зеркала сбросов.

ASPECTS OF SALT WATER RESERVOIRS CONTROL.

Summary

The control of a system of reservoirs dosing brine into a river in order to prevent permissible concentrations being exceeded in low water conditions is a complex problem requiring optimization. Optimization should include discharges from particular reservoirs in a given time interval and is solved after the method of linear programming. The optimization includes also the establishment of parameters for the control of reservoirs to prevent their overflowing, thus forming the hierarchy of discharges.