Gospodarka wodna S2

opracowano na podstawie:

1. Chełmicki W.: ***Woda. Zasoby, degradacja, ochrona***., Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2002
2. Ciepielowski A.: ***Metodyka zagospodarowania zasobów wodnych w małych zlewniach rzecznych***, Wyd. SGGW, Warszawa, 1995
3. Ciepielowski A.: ***Podstawy gospodarowania wodą***, Wyd. SGGW, Warszawa, 1999
4. Ciepielowski A., Bodulski J., ***Wykorzystanie typowych hydrogramów wezbrań do projektowania obiektów technicznych małej retencji***
5. Gądek W.: ***Wyznaczanie wezbrań hipotetycznych metodą Politechniki Warszawskiej i metodą Politechniki Krakowskiej w zlewniach kontrolowanych - część I – opis metod.***
6. Groniec M.: ***Systemy wspomagania decyzji w gospodarce wodnej***, IMGW, Warszawa, 2006
7. Lambor J.: ***Gospodarka wodna na zbiornikach retencyjnych***, Arkady, Warszawa, 1962
8. Lenar-Matyas A., Poulard Ch., Ratomski J., Royet P.: ***KONSTRUKCJA I DZIAŁANIE SUCHYCH ZBIORNIKÓW PRZECIWPOWODZIOWYCH O RÓŻNEJ CHARAKTERYSTYCE I LOKALIZACJI***
9. Łabędzki L. Doroszewski A.: ***Monitoring susz i nadmiarów wody oraz możliwości ograniczania ich skutków w rolnictwie***
10. Łopatka A.: ***Stan aktualny i perspektywy rozwoju małej retencji wodnej w świetle analiz przestrzennych***
11. Mikulski Z.: ***Gospodarka wodna***, Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa, 1998
12. Słota H.: ***Zarządzanie systemami gospodarki wodnej,*** I M G W, Warszawa, 1997
13. Szpindor A.: ***Gospodarka wodna***, PWN, Warszawa, 1974
14. *USTAWA z dnia 20 lipca 2017 r. Prawo wodne (Dz.U. z 2017 r. poz. 1566)*

Zbiorniki wodne (retencyjne) umożliwiają **wyrównanie odpływu rzecznego** przez magazynowanie (retencjonowanie) wody w okresach jej nadmiaru (wezbrań) i korzystanie w okresach niedoboru (susza). Zadaniem zbiorników jest zatrzymanie lub częściej transformacja fal wezbraniowych. Skuteczność zbiornika jest funkcją jego pojemności, która zależy od wielkości odpływu rzecznego, kształtu i wielkości doliny rzecznej tworzącej czaszę zbiornika. Zdolność wyrównania odpływu rzecznego mierzy się stosunkiem ogólnej pojemności zbiornika do wielkości rocznego odpływu rzecznego.

Naturalnymi zbiornikami magazynującymi wody są jeziora, powodujące wyrównanie przepływu rzek jeziornych. W celu zwiększenia pojemności jeziora podnosi sie jego poziom przez tzw. podpiętrzenie jeziora, dokonywane zwykle przez ustawienie budowli piętrzącej (np. jazu) na odpływie z jeziora. Podpiętrzenie może być zastosowane także w przypadku wykorzystania jeziora do nawodnień przez umożliwienie grawitacyjnego odpływu wody z jeziora na teren nawadniany.
Zbiornik do dysponowania w pewnych okresach roku wodą nazywamy ***użytkowym***.
Zbiorniki wyłącznie do ochrony przed powodzią to ***powodziowe*** (*przeciwpowodziowe*) często bez urządzeń do regulowania przepływów (bez zamknięć, jednozadaniowe) - ***suche.***
Gdy funkcje połączone to ***zbiornik użytkowo -powodziowy***.

Funkcje zbiorników użytkowych:

- **energetyka**
- **żegluga** -zbiorniki dla wydłużenia okresów żeglugi oraz gromadzące wodę do śluzowania statków
- **zaopatrzenie w wodę -** szczególnie dużych miast
- **nawadnianie terenów** rolnych
- **wyrównanie przepływów** (w zasadzie wszystkie zbiorniki), w tym **zbiorniki wyrównawcze** towarzyszące zbiornikom retencyjnym z elektrowniami szczytowymi lub szczytowo –pompowymi. Dla elektrowni szczytowych z członami pompowymi zapewniają odpowiednią ilość wody do pracy pomp
- **rybołówstwo** jednak tylko ekstensywne. Intensywne (hodowla) ze względu na ochronę jakości wody nie jest możliwe
- **wypoczynek i rekreacja** – czasem jednak względy sanitarne skutkują zakazami korzystania rekreacyjnego i sportów wodnych (dla ochrony ujęć)
- **zbiorniki sanitarne** (np. wstępne powyżej właściwego zbiornika dla zatrzymania unosin i wleczyn) oraz osadniki
- **zbiorniki ekologiczne** (dla zwiększenia uwilgocenia ekosystemów)
- **jeziora nadpiętrzone** (za pomocą jazów z zamknięciami)

Ochrona przed powodzią. Wszystkie zbiorniki (również przepływowe) mogą być wykorzystywane w ochronie przeciwpowodziowej, choć nie wszystkie mają stałą rezerwę – wtedy przechwytywanie fal wezbraniowych odbywa się w zakresie pojemności użytkowej.

Pojemności zbiorników:
- małe do kilku mln m^3,
- średnie do 100 mln m^3,
- duże do 500 mln m^3,
- bardzo duże –powyżej

Kształty zbiorników:
- kształt jeziora (doliny równinne o szerokim obszarze zalewowym),
- wydłużony (doliny wąskie, duże wahania poziomów wody),
- rozgałęziony

Powierzchnia zbiornika od kilku ha do kilkuset km^2 :
- do 300 ha małe
- do 5000 ha średnie
- do 50 000 ha duże (500 km^2)
- powyżej bardzo duże

<u>Oddziaływanie zbiorników retencyjnych na rzekę i jej dolinę:</u>
- wpływ na warunki hydrologiczne (wyrównanie odpływu rzecznego)
- zmiana warunków klimatu lokalnego (z reguły korzystna) przez zmniejszenie amplitudy temperatury powietrza, jednak w stosunkowo niewielkim jego zasięgu (maksymalnie do kilku kilometrów), częściowe zwiększenie wilgotności powietrza (głównie w wyniku podpiętrzenia wód gruntowych w otoczeniu zbiornika), zwłaszcza przy wyższej temperaturze powietrza,
- zmiana warunków fizycznych, chemicznych i biologicznych wody zatrzymywanej w zbiorniku. Zbiorniki zbudowane na słabo zanieczyszczonych rzekach spełniają role ośrodka kumulacji i redukcji mineralnych związków chemicznych, przyczyniając sie tym samym do wzmożonego samooczyszczania wód rzecznych, a w przypadku znacznego zanieczyszczenia rzek, zwłaszcza w zbiorniku głębokim, występują warunki niekorzystne;
- kształtowanie sie nowego ustroju termicznego i lodowego w zbiorniku i oddziaływanie na ustrój poniżej. Zmiany te mogą być zarówno korzystne, jak i niekorzystne, w zależności od sposobu wykorzystania zbiornika oraz celów, którym ma służyć rzeka;
- zmiana dna i brzegów zbiornika w wyniku osadzania sie rumowiska rzecznego, erozji brzegów zbiornika, powstawanie osuwisk;
- oddziaływanie na stanowisko dolne i erozję dna poniżej zapory, na dość znacznym nieraz odcinku rzeki (do kilkunastu kilometrów);
- podtapianie terenów wokół zbiornika w wyniku spiętrzenia wód gruntowych;
- wpływ na istniejące ekosystemy wodne i zależne od wody (zniszczenie biotopów).

Charakterystyki reżimu zbiornika:

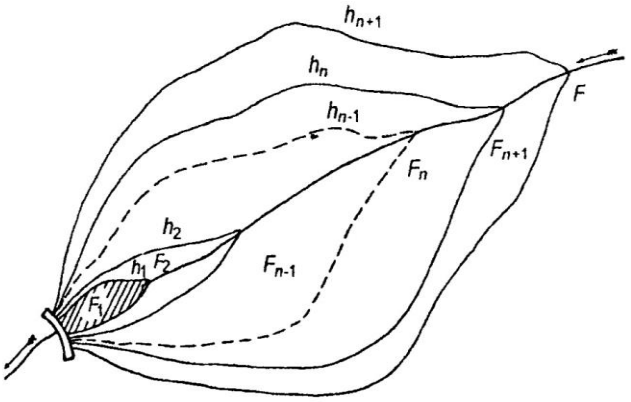
<u>1. Charakterystyki morfologiczne czaszy zbiornika</u>
- krzywa powierzchni zalewu $F = f(h)$
- krzywa pojemności zbiornika $V = F(h)$

<u>2. Hydrogram dopływu do zbiornika</u>

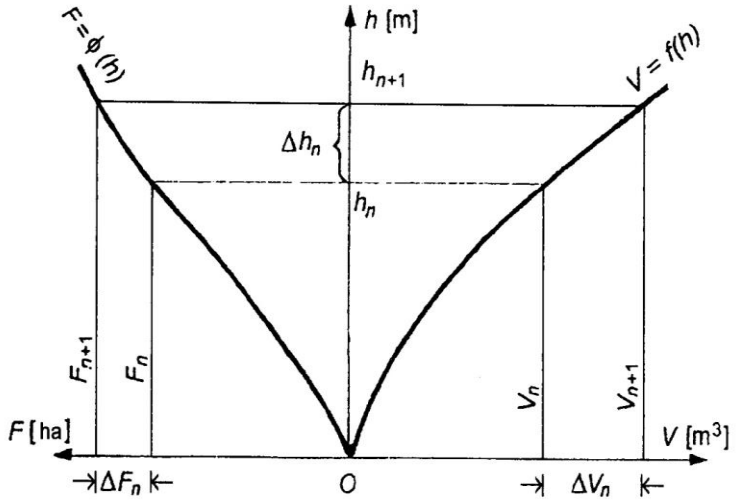
Jest to krzywa przedstawiająca wydatek wody dopływającej do zbiornika w funkcji czasu. W szczególności mogą być wyznaczone hydrogramy dopływów powodziowych.
Hydrogramy charakteryzują stosunki hydrologiczne w zlewni zbiornika.

<u>3. Krzywe wydatku urządzeń upustowych</u>

Krzywe wydatku urządzeń upustowych są to krzywe przedstawiające wydatek urządzeń upustowych w funkcji wysokości zwierciadła wody $Q = f(h)$ oraz zależność między wydatkiem urządzeń zrzutowych a pojemnością zbiornika $Q_w = f(V)$.



RYSUNEK 70. Warstwice czaszy zbiornika



RYSUNEK 71. Krzywe powierzchni zalewu $F = \Phi(h)$ i pojemności $V = f(h)$ zbiornika retencyjnego

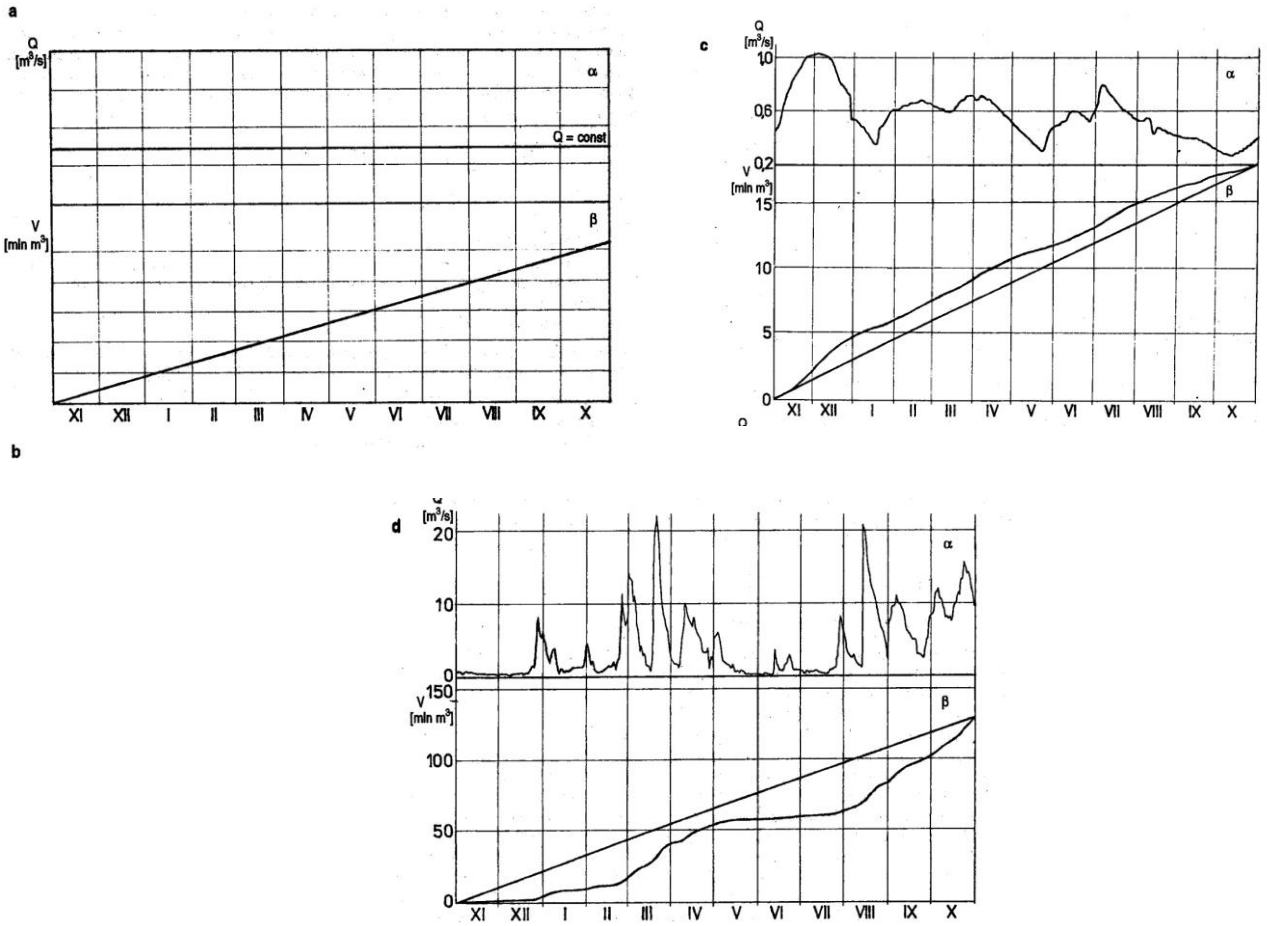
W Polsce nie istnieją sprzyjające warunki naturalne do budowy dużych zbiorników wodnych. Rzeki nie są zbyt zasobne w wodę, niekorzystne do posadowienia większych zapór i utworzenia dużych zbiorników retencyjnych są także warunki geomorfologiczne w dolinach rzecznych oraz warunki geologiczne.

KRZYWA SUMOWA ODPŁYWU

Krzywa całkowa (sumowa) = zbiór punktów o współrzędnych *t, V* (*t* czas, *V* całkowita objętość odpływu od początku sumowania do chwili *t*). Nie znamy ciągłej postaci funkcji *Q(t)* dlatego nie całkujemy jej lecz sumujemy wartości odpływu z kolejnych przedziałów czasu *Δt* (dobowych, godzinnych)

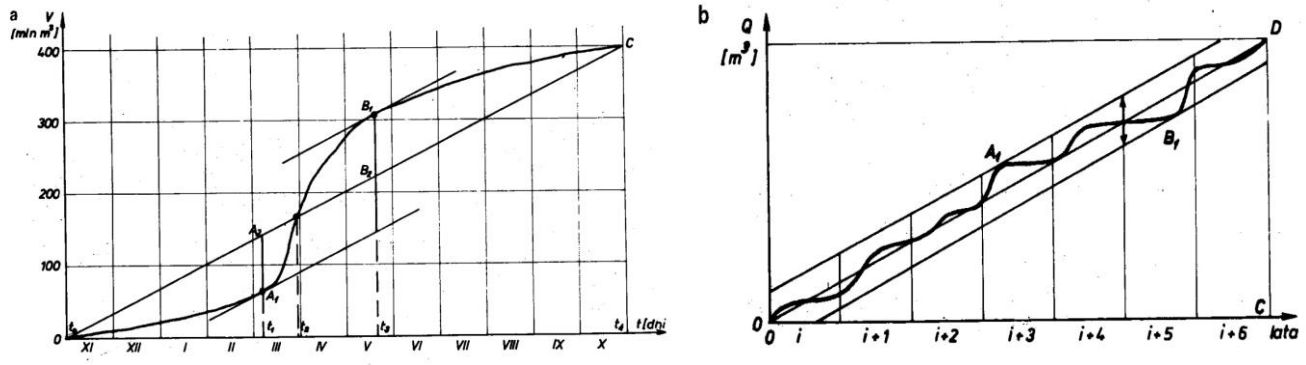
$$V_i = \sum_{j=1}^{j=i} \Delta t \cdot Q_j = \Delta t \cdot \sum_{j=1}^{j=i} Q_j$$

V_i -kolejna rzędna krzywej sumowej w chwili:
t_i =objętość wody jaka przepłynęła przez przekrój pomiarowy od chwili początkowej $t_0=0$ do $t_i=i\cdot\Delta t$.
Przepływ nieujemny ⇒krzywa sumowa niemalejąca tzn. $V(t_2)\geq V(t_1)$ jeśli $t_2>t_1$.
Przepływ średni $Q_{śr}=V_k/(t_k-t_0)=\mathrm{tg}\alpha$, prosta o nachyleniu α przedstawia stały przepływ.
Nachylenie stycznej do wykresu w dowolnym punkcie odpowiada przepływowi chwilowemu



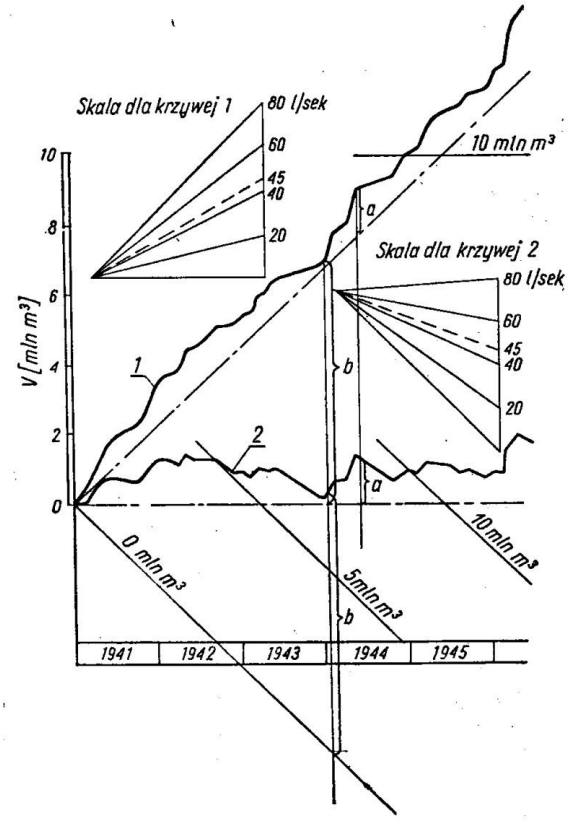
Wielkości odpływu w poszczególnych latach zróżnicowane, dlatego wielkości zbiorników określa się dla okresu wieloletniego (wyrównanie zupełne). Tak określona pojemność jest jednak praktycznie niemożliwa do osiągnięcia.

Krzywa sumowa dostarcza podstawowych informacji dla projektowania gospodarki wodnej na zbiornikach retencyjnych.



Krzywa sumowa pozwala na:

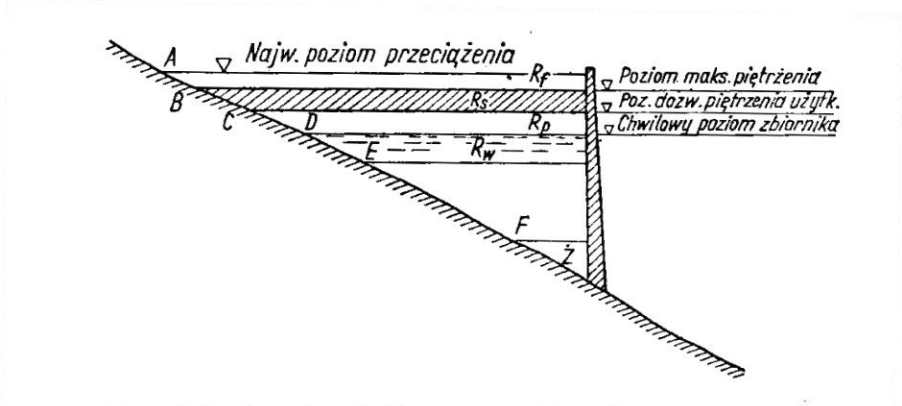
- obliczanie wieloletniego wyrównania i odpływu zaregulowanego w przedziale wieloletnim,
- obliczanie wyrównania w określonym przedziale czasu przy pomocy zadanej pojemności rezerwy użytkowej,
- wyznaczanie potrzebnej wielkości użytkowej niezbędnej do osiągnięcia wymaganego wyrównania,
- przeprowadzenia rozrządu wody w okresie wielolecia (dane historyczne), przy ustalonych założeniach i parametrach eksploatacji,
- wyznaczanie założeń i parametrów gospodarki wodnej na zbiorniku.



Rys. 2-4. Krzywa sumowa w układzie prostokątnym i skośnym (przedstawienie porównawcze)
1 — w układzie prostokątnym, 2 — w układzie skośnym

Potrzebna wielkość zbiornika do wyrównania odpływu jest tym większa im dłuższy okres rozpatrujemy.
W praktyce nie jest możliwe wyrównanie odpływu (SSQ) i dlatego określa się graniczne odpływy.
Odpływ zaregulowany graniczny dolny to najniższy odpływ, który przy założonej gospodarce wodnej może zaistnieć. **Odpływ zaregulowany graniczny górny** to maksymalny, który dopuszczamy w trakcie pracy zbiornika. Odpływy zaregulowane są przepływami o określonym prawdopodobieństwie.
Miarą stopnia zaregulowania jest stosunek odpływu zaregulowanego górnego do dolnego.
Im ten stosunek bliższy jedności tym pełniejsze wyrównanie. Przy stosunku równym 1 mamy zupełne wyrównanie wieloletnie (idealne, praktycznie nieosiągalne).
Regulacja odpływów wymaga dysponowania odpowiednią wielkością zbiornika nie jako całości, ale części jego objętości biorących udział w gospodarowaniu wodą (rezerwa powodziowa i użytkowa). Rezerwa powodziowa musi gwarantować obniżenie przepływów maksymalnych do zaregulowanego górnego, a użytkowa do uzyskania zaregulowanego dolnego.
Rezerwa powodziowa wypełniana jest wodami wezbraniowymi, a rezerwa użytkowa pozostaje w dyspozycji do uzupełnienia niedoborów. Warstwa zbiornika pomiędzy tymi rezerwami jest do wykorzystania zgodnie z przeznaczeniem zbiornika.

Pojemność zbiornika jest ograniczona warunkami naturalnymi: topograficznymi, geologicznymi i hydrologicznymi oraz ekonomicznymi. Z tego względu budowa zbiornika wymaga szczegółowych analiz ekonomicznych kosztów uzyskania określonej pojemności zbiornika i korzyści z uzyskanych z uzyskania zaregulowania przepływów.



Rys. 3-3. Strefy użytkowania zbiornika retencyjnego

Podział pojemności zbiornika:

Całkowita rezerwa powodziowa: $R = R_s + R_p + R_w + R_f$

- *C górny poziom dozwolonego piętrzenia użytkowego (NPP)*
- *B poziom najwyższego piętrzenia (Max PP)*
- *B-C=R_s* ***rezerwa stała*** *(powinna być pusta i może być zapełniana tylko wodami powodziowymi)*
- *D aktualny poziom wody (pomiędzy Min PP a MaxPP)*
- *C-D=R_p* ***rezerwa przypadkowa*** *(nie uwzględnia się jej w obliczeniach)*
- *D-E=R_w* ***rezerwa wymuszona*** *(przy sprawnej sieci pomiarów hydrologiczno –meteorologicznej możemy przygotować zbiornik na nadejście fali wypuszczając przepływ dozwolony) -inaczej przygotowana*
- *A najwyższy poziom przeciążenia (dopuszczalny przez krótki czas)*
- *A-B=R_f* ***rezerwa forsowana***
- *pomiędzy Min PP i NPP rezerwa użytkowa*
- *Ż* ***pojemność martwa*** *nieużyteczna ze względu na gospodarowanie wodą, ale zwiększa wysokość spadu dla elektrowni – poniżej absolutnie min PP, który najczęściej jest na poziomie dolnej krawędzi upustów dennych.*

WYZNACZANIE REZERWY POWODZIOWEJ

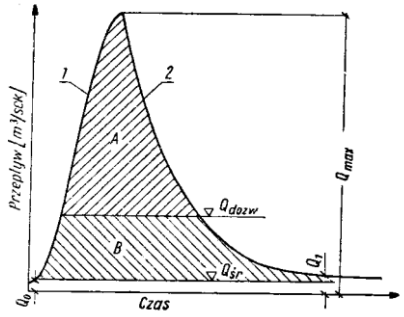
Zbiornik musi zmagazynować szczyt fali powodziowej, ale powinien być w pełni wykorzystany. Gospodarka wodna na zbiorniku ma prowadzić do tego aby przy minimum objętości uzyskać maksimum korzyści i gwarancję bezpieczeństwa.

Prowadzenie racjonalnej gospodarki na zbiorniku wymaga przewidywania wezbrań (ich wielkości, czasu wystąpienia i długości trwania). Możliwość tego przewidywania zależy od genezy wezbrań (opadowe, roztopowe, zimowe, sztormowe).

Prognozy hydrologiczne mogą być

- **krótkoterminowe** – oparte na stwierdzonych stanach wód w górze dorzecza (oparte na związkach wodowskazów),
- **średnioterminowe** – oparte na pomiarach opadów (związek pomiędzy opadem i odpływem),
- **długoterminowe** – oparte o długoterminowe prognozy meteorologiczne lub metody statystyczne.

Prognozy te mają zastosowanie do przewidywania wezbrań, a <u>podział nie zależy od długości okresu prognostycznego</u> (jak ma to miejsce w meteorologii).



Rys. 3-1. Elementy fali powodziowej
A — szczyt fali powodziowej, B — podstawa fali powodziowej; 1 — gałąź wznosząca się, 2 — gałąź opadająca
V = A + B — całkowita objętość fali powodziowej

Konieczność prognozowania wezbrań jest związana z racjonalną gospodarką wodną na zbiorniku. Różne cele w tej gospodarce są ze sobą w sprzeczności (zbiornik pusty lub wypełniony wodą) i prognozowanie pozwala na osiąganie tych różnych celów.

Wielkość przepływu dozwolonego determinuje wielkość fali powodziowej, a tym samym niezbędną wielkość zbiornika retencyjnego.

Małe fale powodziowe mieszczą się w całości (razem z podstawą) w objętości rezerwy powodziowej, duże wymagają przygotowania zbiornika, który mieści tylko szczyt takiej fali.

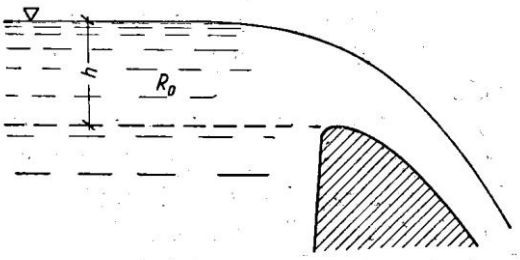
<u>Przepływ dozwolony nie tylko nie może wyrządzać szkód powodziowych, ale również nie może powodować uszkodzeń koryta rzecznego oraz budowli regulacyjnych.</u>

Przy jego wyznaczaniu uwzględnia się więc:

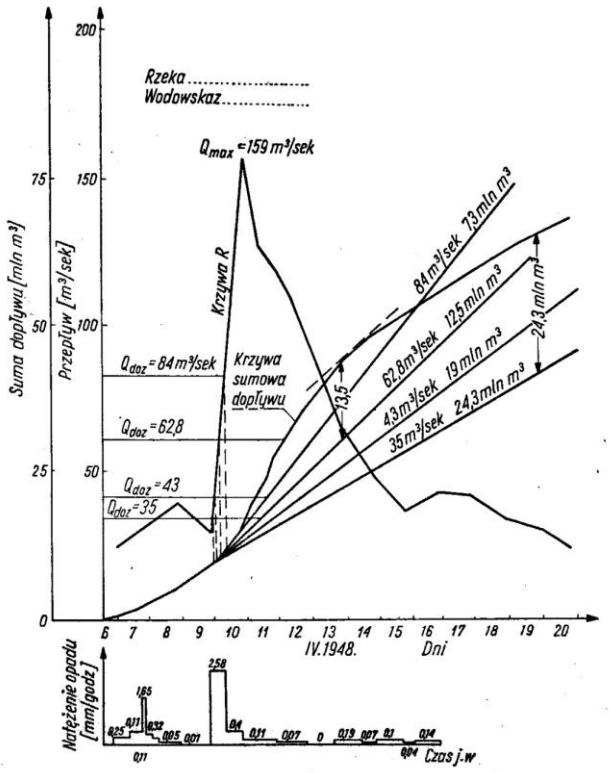
- stan wody nieszkodliwy dla niżej położonych terenów,
- stan wody brzegotwórczej (stan odpowiadający przepływowi najsilniej kształtującemu koryto),
- stan wody brzegowej (odpowiadający całkowitemu wypełnieniu koryta głównego),
- wielką wodę o prawdopodobieństwie 50%

Przepływ dozwolony nie powinien być mniejszy niż przy stanie brzegotwórczym oraz brzegowym oraz nie większy niż wielka woda o prawdopodobieństwie 50%.
Wybudowanie zbiornika i w konsekwencji zwiększenie zagospodarowania doliny rzecznej może prowadzić do zmniejszenia przepływu dozwolonego, czego konsekwencją mogą być problemy związane z właściwą eksploatacją zbiornika.

Przepływ dozwolony daje podstawę do obliczenia rezerwy powodziowej wymuszonej. Jest ona iloczynem tego przepływu i czasu. Czas jest zależny od okresu uprzedzenia – czyli czasu od chwili zasygnalizowania wezbrania do chwili nadejścia fali.
Rezerwa forsowana to niewielka warstwa (kilkadziesiąt cm), która ze względu na powierzchnię zbiornika daje znaczącą objętość. Rezerwa ta jest wykorzystywana najczęściej jako warstwa powstała po włączeniu do pracy przelewów awaryjnych (tj. tych bez zamknięć, działających samoczynnie) – rezerwa forsowana otwarta. Wykorzystuje się tu zjawisko retencji hydraulicznej (jeziorowej) – szczyt fali ulega samoczynnemu złagodzeniu, a ponieważ objętość fali pozostaje stała wydłuża się czas trwania fali.



Rys. 3-4. Rezerwa forsowana otwarta R_0 na zbiorniku retencyjnym



Rys. 3-6. Przykład analizy fali powodziowej 6. IV—20. IV. 1948

Podstawą ustalenia pojemności zbiornika jest wyznaczanie **potrzebnej retencji powodziowej (należy ją odróżnić od rezerwy powodziowej)**, która polega na ustaleniu pojemności jaką należy dysponować, aby zatrzymać największą znaną lub spodziewaną falę powodziową. Nie zawsze jest równa **rezerwie powodziowej,** ponieważ ze względów ekonomicznych rezerwa ta jest mniejsza.
W celu wyznaczenia potrzebnej retencji powodziowej poddaje się analizie dotychczas zaobserwowane fale wezbraniowe.

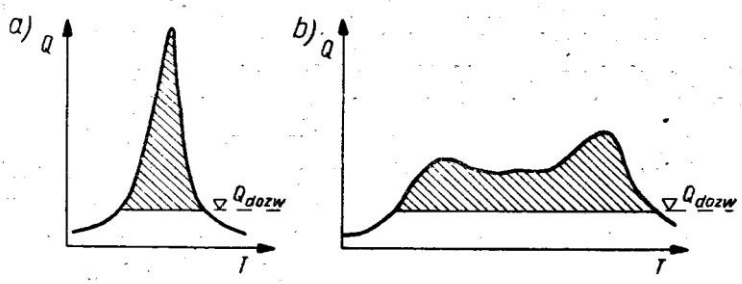
Przeprowadzona analiza pozwala określić retencję powodziową: całkowitą objętość fal powodziowych oraz objętość szczytu fali dla założonych przepływów dozwolonych.
W praktyce przyjęcie rezerwy powodziowej równej maksymalnej potrzebnej retencji powodziowej jest nieekonomiczne, a czasem wręcz niemożliwe do uzyskania.
Możemy jednak wskazać pewne zasady ustalania rezerwy powodziowej.

Wg Lambora:

- wszystkie fale mniejsze niż 100 letnia fala powinny być retencjonowane w całości, uwzględniając swobodny odpływ dozwolony lub dopuszczalny,
- fala trafiająca się raz na 100 lat powinna być magazynowana w całości lub sprowadzona do fali trafiającej się raz na 20 lat,
- fala o prawdopodobieństwie pojawienia się raz na 1000 lat powinna być sprowadzona do fali 50 letniej,
- stała rezerwa powodziowa nie powinna pozostawać niewykorzystana przez długi czasu (możliwość jej wykorzystania)

Każdorazowo wymaga to jednak indywidualnej analizy ze względu na warunki lokalne np. związane z zagospodarowaniem niżej położonych terenów.

Ciąg maksymalnych stanów (przepływów) wody nie pokrywa się z ciągiem ich objętości, a do określenia potrzebnej retencji istotne są objętości.



Rys. 3-9. Typy fal o różnej objętości niezależnej od ich wysokości

Z tego względu w praktyce w projektowaniu zbiorników uwzględniamy **krzywe prawdopodobieństwa objętości**, a nie maksymalnych przepływów. Należy tu brać pod uwagę wszystkie największe fale, a nie tylko maksima roczne.

Ze względu na to, że najczęściej mamy do czynienia ze zbiornikami wielozadaniowymi dlatego istotny jest również czas utrzymywania rezerwy powodziowej (nie w każdym miesiącu prawdopodobieństwo wystąpienia wezbrania jest jednakowe) i stąd wynika podział na poszczególne rezerwy (stała, wymuszona...).

OBLICZANIE FAL WEZBRANIOWYCH

Analityczne równanie fali powodziowej pozwala na określenie typowego przebiegu fali o określonym prawdopodobieństwie pojawienia się. Pozwala na określenie teoretycznego kształtu fali, przy braku lub niepełnych danych o falach rzeczywistych.

Dla wezbrań prawdopodobnych (uwzględnianych w projektowaniu) znamy tylko ich kulminację, a nie przebieg.

Fala hipotetyczna to pojęcie wprowadzone na potrzeby projektowania, w rzeczywistości takie wezbrania nie istnieją. Nie wynikają one bezpośrednio z genezy formowania się odpływu ze zlewni. Kształt fali wezbraniowej zależy od cech fizjograficznych zlewni czy hydraulicznych koryta cieku, ale również od warunków początkowych, zarówno w zlewni, jak i w cieku.

Fale hipotetyczne są uproszczeniem wykorzystywanym na potrzeby projektowania obiektów inżynierskich wykorzystywanych w gospodarce wodnej.

Fale hipotetyczne wykorzystuje się nie tylko w gospodarowaniu zasobami wodnymi na zbiornikach, ale również w ochronie przed powodzią, projektowaniu budowli piętrzących, siłowni, polderów i zbiorników retencyjnych, analizach przelania się wód przez wały, awarii wałów czy zapór oraz do sporządzania map zagrożenia powodziowego. Fale te, w odróżnieniu od przepływów miarodajnych i kontrolnych, zawierają dodatkowo informacje o objętości wezbrania, jego przebiegu w czasie oraz o czasie wznoszenia i opadania, co jest wykorzystywane do projektowania objętości retencyjnej zbiorników przeciwpowodziowych oraz do opracowywania instrukcji sterowania nimi.

Równanie Reitza i Krepsa

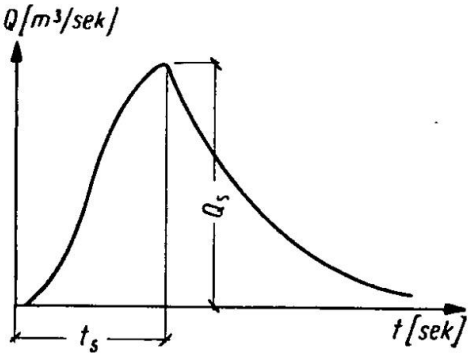
dla *t≤ts* - krzywa przyboru (gałąź wznoszaca):

$$Q_t = Q_s \cdot \sin^2 \frac{\pi \cdot t}{2 \cdot t_s}$$

dla *t≥ts* - krzywa opadania:

$$Q_t = Q_s \cdot e^{-\alpha \cdot (t - t_s)}$$

$$\alpha = \frac{\ln 2}{(n-1) \cdot t_s}$$



Rys. 6-1. Kształt fali powodziowej wg Reitza i Krepsa

Parametry równań ustala się w oparciu o analizę wezbrań historycznych oraz charakter zlewni zlewni.

Metody oparte o odwzorowanie fali wg figur geometrycznych (trapez, trójkąt…):

Metoda Koczerina (trójkąt):

dla *t≤ts* - krzywa przyboru (gałąź wznoszaca):

$$Q_t = Q_s \cdot \frac{t}{t_s}$$

dla *t≥ts* - krzywa opadania:

$$Q_z = Q_s \cdot \frac{t_0 - z}{t_s}$$

z – czas od momentu kulminacji

Parametry równań ustala się w oparciu o analizę wezbrań historycznych oraz charakter zlewni zlewni.

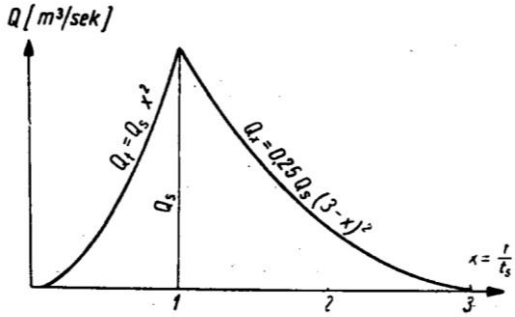
Metoda Sokołowskiego (parabole):

dla *t≤ts* krzywa przyboru (gałąź wznoszaca):

$$Q_t = Q_s \cdot \left(\frac{t}{t_s}\right)^m$$

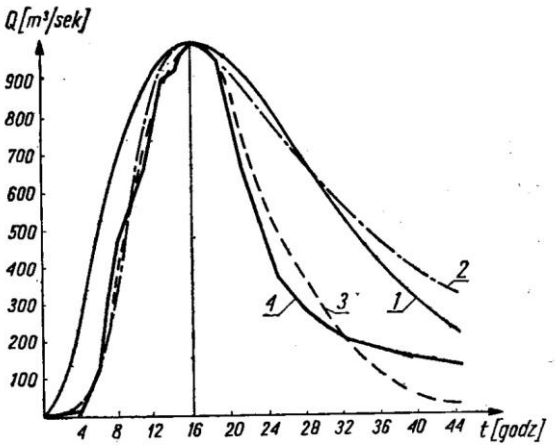
dla *t≥ts* krzywa opadania:

$$Q_z = Q_s \cdot \left(\frac{t_0 - z}{t_s}\right)^n$$



Rys. 6-3. Fala powodziowa z roztopów wiosennych wg równań Sokołowskiego

Krzywe ciągłe – zachowujące ważność dla całego przedziału czasowego (od początku do końca wezbrania). Różne krzywe stosowane w statystyce, np. rozkład Goedricha, krzywe Pearsona IV i V typu.



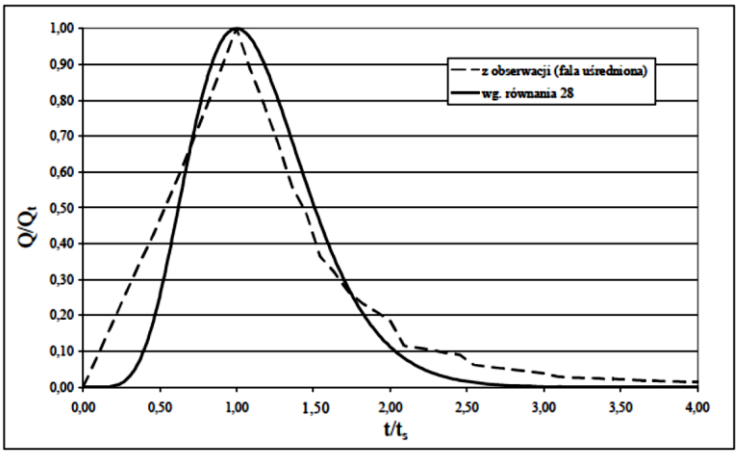
Rys. 6-4. Fala powodziowa odwzorowana wg krzywych Pearsona (Krościenko 1958 r.) i fala obserwowana
1 — wg równania typu V, 2 — wg równania typu IV, 3 — wg równania (21), 4 — fala obserwowana

Równanie McEnroe (fali wezbraniowej w zlewniach kontrolowanych hydrologicznie):

$$\frac{Q_t}{Q_m} = \left(\frac{t}{t_s}\right)^p \cdot exp\left[-p \cdot \left(\frac{t}{t_s} - 1\right)\right]$$

gdzie:
Q_t *– przepływ w czasie t od początku wezbrania* $Q_t = f(ts)$ *[m³/s],*
Q_m *– podstawa fali, czyli różnica* $(Q_{max} - Q_p)$ *[m³/s];*
Q_{max} *– przepływ maksymalny wezbrania [m³/s],*
Q_p *– przepływ w podstawie fali [m³/s],*
t_s *– czas przyboru fali [s],*
p – parametr charakteryzujący kształt fali wezbraniowej.

Przy wyznaczaniu parametru *p* można zastosować dwa kryteria. Pierwsze polega na takim dopasowaniu parametru *p*, aby kształt hydrogramu obliczeniowego był najbardziej zbliżony do kształtu hydrogramu obserwowanego. W tym celu logarytmujemy obustronnie równanie i wyznaczamy *p*.
Według drugiego kryterium parametr *p* dobiera się tak, aby różnica objętości między falą obserwowaną (V_{obs}) a falą obliczeniową (V_{obl}) była jak najmniejsza.

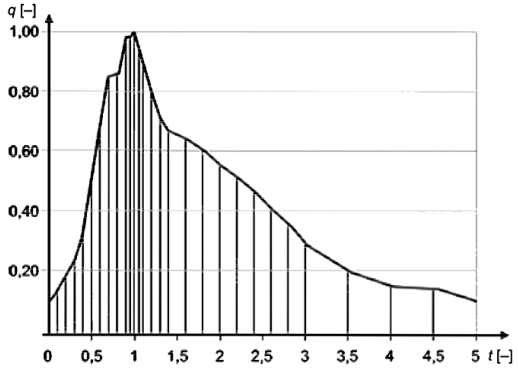


Rys. 1. Porównanie kształtów bezwymiarowych hydrogramów otrzymanych na podstawie obserwacji oraz na podstawie równań (28) Wkra do przekroju Brudnice

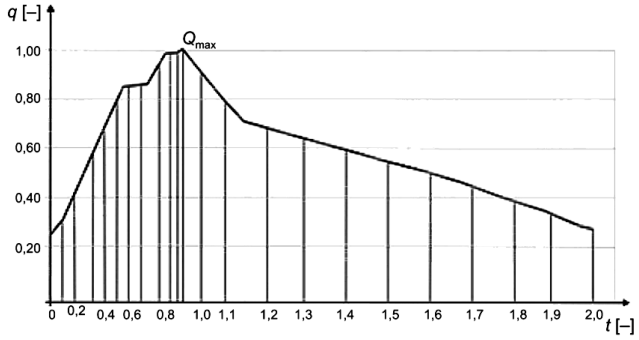
Metoda Politechniki Warszawskiej oraz Metoda Politechniki Krakowskiej

Podstawą jest opracowanie przebiegów wezbrań jednostkowych UHJ i wyznaczenie średniego UHJ. Na ich podstawie, uwzględniając czas wznoszenia i zadaną wartość przepływu maksymalnego wyznaczenie przebiegu fali hipotetycznej

W metodzie Politechniki Krakowskiej dodatkowo uwzględnia się zróżnicowany czas trwania wezbrania oraz jego objętość.



Rys. 2. Znormalizowany jednostkowy hydrogram UHJ$_t$ fali wezbraniowej dla przekroju obliczeniowego



Rys. 4. Znormalizowany jednostkowy hydrogram UHJ$_t$ fali wezbraniowej dla wybranego przekroju wodowskazowego

GOSPODAROWANIE REZERWĄ POWODZIOWĄ (NAPEŁNIANIE I OPRÓŻNIANIE REZERW):

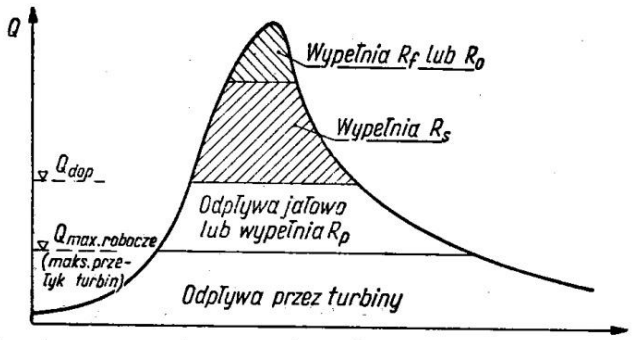
Gospodarowanie wodą na zbiorniku:

- *gospodarka wodna w okresie powodzi*
- *gospodarka wodą użytkową*

Gospodarka wodna na zbiorniku prowadzona jest w warunkach normalnych, pomiędzy poziomami: *minimalnym i normalnym*. Gospodaruje się wówczas pojemnością *użytkową*. W przypadku wystąpienia powodzi, można piętrzyć zbiornik do *poziomu maksymalnego,* wykorzystując tzw. *stałą pojemność* powodziową. Jeśli wezbranie jest wyjątkowo duże, dopuszczalne jest piętrzenie zbiornika do poziomu *nadzwyczajnego*, jednak nie może to trwać zbyt długo, należy jak najszybciej powrócić z piętrzeniem do poziomu maksymalnego.

Poziom *minimalny*, to poziom, poniżej którego niemożliwa jest normalna praca zbiornika (poniżej tego poziomu nie można opróżnić zbiornika, lub nie jest to wskazane np. ze względu na osady na dnie). Stąd nazwa - pojemność martwa. Na poziomie minimalnego poziomu piętrzenia z reguły zlokalizowane są tzw. *upusty denne,* które pozwalają obniżyć piętrzenie do tego poziomu (jaz z reguły ma próg wyżej). Upuszczanie wody ze zbiornika prowadzi się tylko przez jaz, w wyjątkowych sytuacjach, przewidzianych w instrukcji gospodarowania wodą na zbiorniku - upustami dennymi.

Zbiorniki górskie, bardzo często posiadają tzw. *upusty boczne, powodziowe*, którymi woda przelewa się automatycznie, po osiągnięciu pewnego poziomu. Chodzi o to, aby nie dopuścić do przelewania się wody przez koronę zapory.

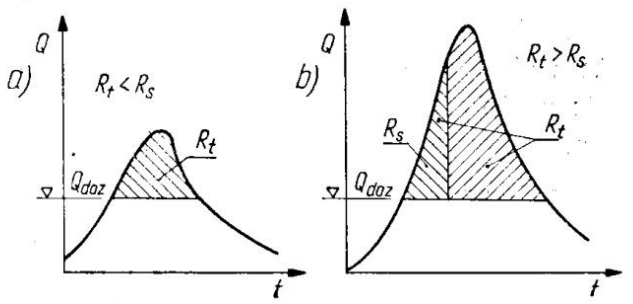


Rys. 3-5. Teoretyczny podział roli różnych rodzajów rezerwy powodziowej

Napełnianie rezerwy powodziowej.

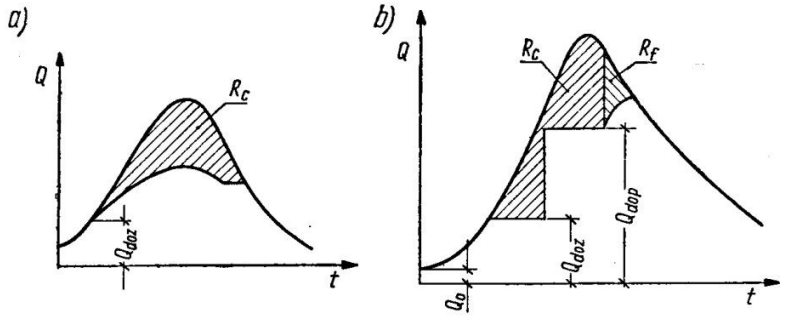
Napełnianie powinno być tak prowadzone, aby uchwycić i zmagazynować szczyt fali, ponieważ te przepływy wyrządzają największe szkody.

Gospodarka sztywna sposób najprostszy. Do pojawienia się przepływu dozwolonego, wypuszcza się cały bieżący dopływ, nie magazynując nic w zbiorniku. Po przekroczeniu przepływu dozwolonego, nadmiar magazynuje się w rezerwie stałej, ewentualnie wymuszonej. Przy falach o objętości większej niż rezerwa powodziowa zbiornik może nie spełnić swojego zadania.
Szczególnym przypadkiem gospodarki sztywnej jest **gospodarka zautomatyzowana** (na suchych zbiornikach).



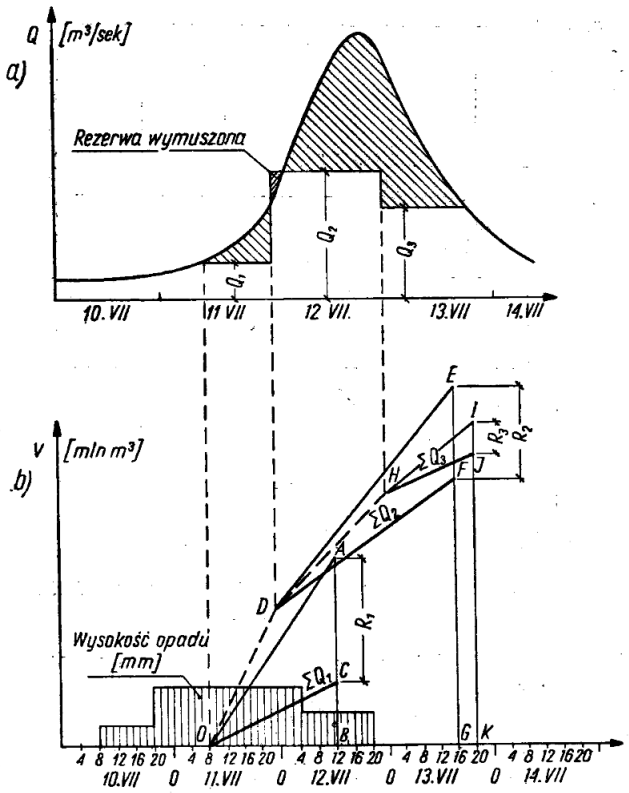
Rys. 3-20. Gospodarowanie rezerwą powodziową przy metodzie sztywnej: a, b) różne przypadki

Gospodarka półsztywna polega na bieżącym dostosowywaniu wypływu ze zbiornika, uwzględniającym przepływ dopuszczalny.



Rys. 3-22. Metoda półsztywna gospodarowania rezerwą powodziową: a, b) różne przypadki

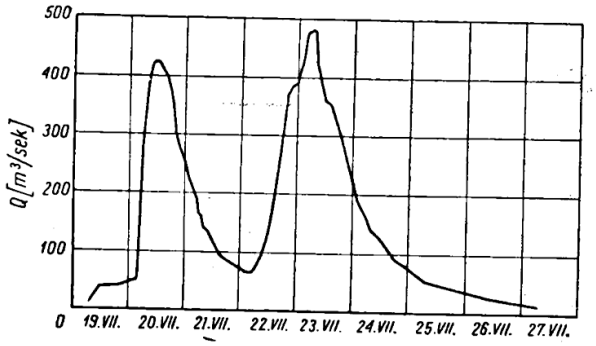
Gospodarka przewidywalna oparta na prognozie objętości fali. Na podstawie sytuacji opadowej w dorzeczu można przewidzieć wielkość fali i do tej prognozy dostosowuje się odpływ ze zbiornika.



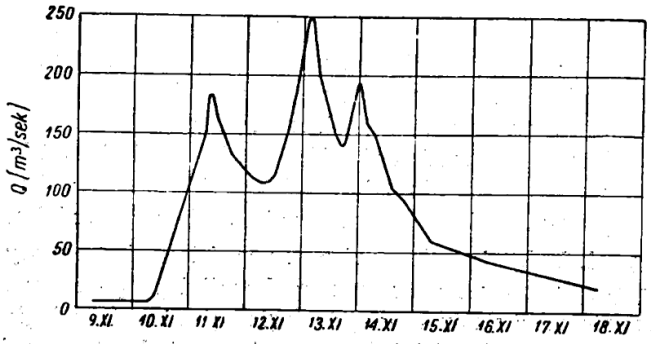
Rys. 3-24. Gospodarowanie rezerwą powodziową metodą przewidywania: a) hydrogram fali powodziowej, b) przewidywana suma dopływu

Gospodarka sterowana to modyfikacja gospodarki przewidywanej uwzględniająca inne potrzeby np. wynikające z zagrożenia nałożenia się fal spływających rzeką i jej recypientem.

Gospodarka przewidywana lub sterowana może być stosowana tylko w przekrojach środkowych i dolnych biegów rzek o dużych zlewniach.



Rys. 3-28. Przykład bliźniaczej fali powodziowej obserwowanej na rzece Sole w Tresnej w 1949 r.



Rys. 3-29. Przykład fali potrójnej obserwowanej w 1947 r. na rzece Sole w Tresnej

Opróżnianie rezerwy powodziowej -konieczne natychmiastowe w przypadku spodziewania nadejścia kolejnej fali. Spotykamy bowiem fale podwójne i potrójne.

Sposób sztywny po obniżeniu dopływu poniżej przepływu dozwolonego zachowujemy odpływ na poziomie dozwolonym aż do opróżnienia rezerwy stałej. Część wody odpływa jałowo.

Sposób półsztywny polega na niezwłocznym opróżnieniu rezerwy, ale tylko maksymalnym wydatkiem turbin (bez uwzględnienia szczytów zapotrzebowania).

Sposób swobodny rezerwa jest opróżniana dowolnie przez turbiny (może być stosowany gdy nie ma zagrożenia kolejną falą).

Sposób sterowany polega na dostosowywaniu wypływu ze zbiornika do sterowania przebiegiem fali wezbraniowej (jej opóźnieniu lub przyspieszeniu), co pozwala np. na dostosowanie odpływu do fali wezbraniowej na recypiencie lub wykorzystania wody w okresach niedoborów dla żeglugi.

Sposób automatyczny dotyczy suchych zbiorników retencyjnych.

W różnych okresach zależnie od zagrożenia powodziowego mogą być stosowane różne sposoby opróżniania rezerwy.

SUCHE ZBIORNIKI RETENCYJNE

Suche zbiorniki retencyjne – zbiorniki o niewielkiej pojemności (kilka mln m^3) budowane w rejonach górskich, zamykające zlewnie do kilkuset km^2. Są to zbiorniki powodziowe, mające za zadanie opóźnienie spływu fali powodziowej. Przeważnie niesterowane.

W zaporze zbiornika znajduje się upust denny obliczony na przeciętną ilość wody, która powinna pozostać w korycie. Fala przekraczająca przepustowość tych upustów zatrzymuje się w zbiorniku (piętrzenie wody). Wzrost poziomu wody w zbiorniku powoduje wzrost wielkości odpływu przez upust - maksymalny przepływ występuje przy maksymalnie wypełnionym zbiorniku. Jeśli fala przekracza pojemność zbiornika do pracy włączają się dodatkowe przelewy – zaprojektowane tak aby przepuszczały każdy nadmiar.

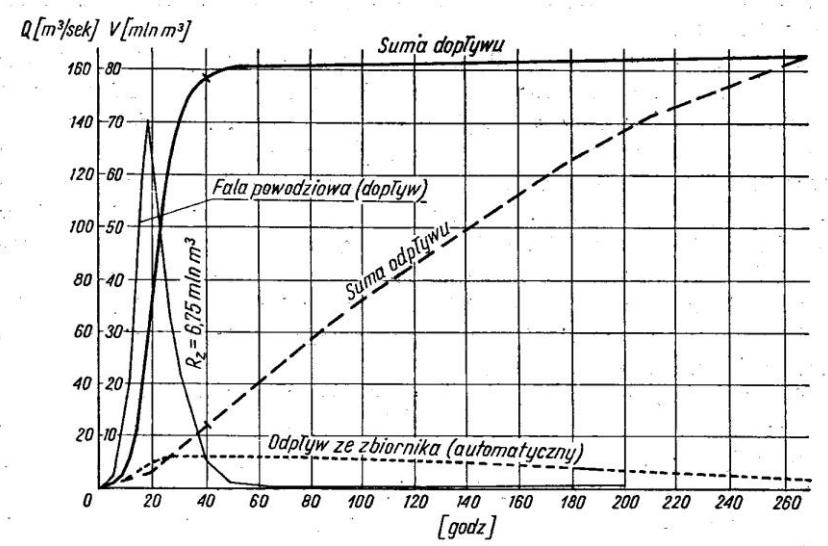
Koryto doprowadzające pozostaje w stanie naturalnym, a czasza zbiornika tworzy dogodne warunki bytowania dla fauny i flory, napełniając się okresowo, w czasie wezbrań

Po przejściu fali w miarę spadku poziomu wody w zbiorniku, maleje wypływ przez upusty denne, aż do opróżnienia zbiornika. Fala która naturalnie spływałaby w ciągu kilku godzin, spływa kilka dni, a kulminacja zostaje zredukowana.

Zaopatrzenie upustów w zamknięcia pozwala na przetrzymanie wody w zbiorniku i jej wykorzystanie np. w niżej położonych elektrowniach.

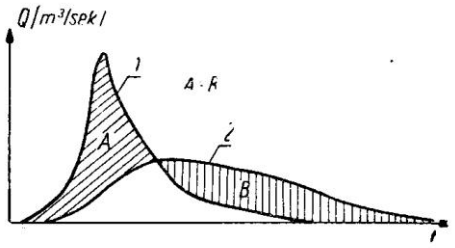
Pojemność suchych zbiorników ustala się w oparciu o maksymalne deszcze o określonym prawdopodobieństwie pojawienia się, ponieważ w zlewniach górskich maksymalne wezbrania są pochodzenia opadowego.

Deszcz krytyczny to taki, którego czas trwania jest równy czasowi spływu z najdalszych krańców dorzecza, bo taki daje największe przepływy.
Deszczem miarodajnym na potrzeby określania pojemności zbiornika jest taki, który trwa nie krócej niż deszcz krytyczny i daje największą pojemność zbiornika, przy określonym odpływie przez upusty denne.
W analizach przyjmuje się różne czasy trwania deszczu większe od czasu trwania deszczu krytycznego. Należy uwzględnić, że deszcze dłużej trwające mają mniejszy przepływ kulminacyjny, ale objętość fali może być większa.
Mając objętość spływu i jego przebieg (fale hipotetyczne), oblicza się odpływ upustami (zależny od napełnienia zbiornika), wyznacza krzywą sumową dopływu i odpływu i określa pojemność zbiornika.

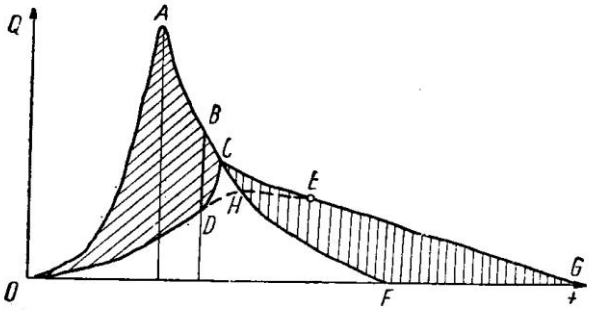


Rys. 4-1. Analiza fali powodziowej dla suchego zbiornika retencyjnego niesterowanego
R_z — potrzebna pojemność zbiornika

Suche zbiorniki z reguły działają wg zasad gospodarki automatycznej – w zakresie napełniania i opróżniania.
Po całkowitym wypełnieniu zbiornika zaczyna działać rezerwa forsowana – woda przepływa przelewani samoczynnymi. Rezerwę tą stanowi warstwa wody ponad koroną przelewu, niezbędna do wytworzenia przelewu. Warstwa ta zależy od wielkości dopływu i z tego względu im większy dopływ tym większy odpływ ze zbiornika.
Rezerwa forsowana i odpływ zaczynają maleć w chwili zrównania się dopływu z odpływem.



Rys. 4-2. Automatyczne działanie retencyjne suchego zbiornika nie wypełnionego do korony przelewów
1 — fala dopływająca, 2 — odpływ



Rys. 4-3. Automatyczne działanie retencyjne suchego zbiornika przy działaniu przelewu koronowego

Czas napełniania i opróżniania zbiornika suchego zależy od dopływu do zbiornika, jego wielkości oraz odpływu ze zbiornika (zależnego od parametrów urządzeń upustowych).
Przy braku odpływu $t = V/Q$.
W praktyce możemy wyróżnić trzy sytuacje:

- próg na poziomie dna,
- wysoki próg,
- upust denny lub otwór w korpusie.

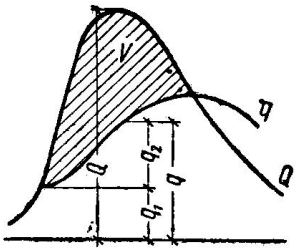
Zależnie od tych sytuacji mamy do czynienia z wypływem przez przelew lub przez otwór niezatopiony, a następnie zatopiony, przy zmieniających się poziomach wody dopływającej i odpływającej.

Ze względu na skomplikowany charakter opracowano sposoby obliczeń uproszczonych.

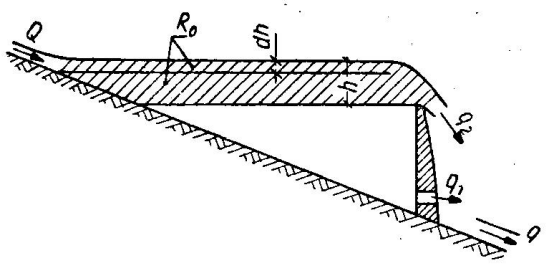
Obliczanie deformacji fali powodziowej

$$(Q-q)dt=dV=Fdh \qquad \Rightarrow \qquad qdt = Qdt - Fdh$$

Q - dopływ do zbiornika,
q - odpływ,
t – czas,
F – powierzchnia zalewu,
V – pojemność zbiornika



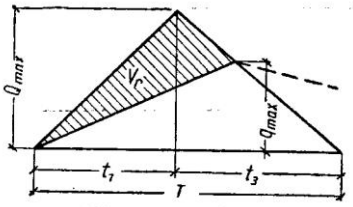
Rys. 5-1. Deformacja fali powodziowej pod działaniem retencji jeziorowej



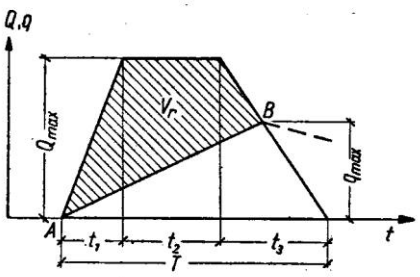
Rys. 5-2. Schemat retencji jeziorowej zbiornika
R_o — retencja forsowana otwarta

Wynika z tego, że do obliczeń niezbędna jest znajomość funkcji dopływu zależnie od czasu (hydrogram dopływu), odpływu zależnie od napełnienia zbiornika oraz powierzchni zalewu zależnie od napełnienia zbiornika.
Nie jest możliwe ustalenie przebiegu hydrogramu dopływu w postaci funkcji ciągłej, dlatego w obliczeniach posługujemy się metodami dyskretnymi zastępując *dt* przez Δt (met. Blaua, met. Urbana, met Lambora…).

W celu szybkiej oceny spodziewanego odpływu ze zbiornika można zastosować metody skrócone. Przykład:

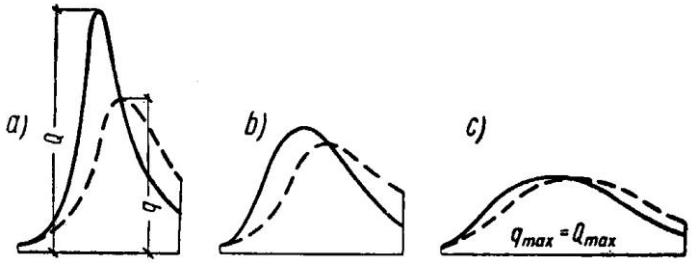


Rys. 5-7. Uproszczony schemat redukcji fali drogą retencji jeziorowej wg trójkąta



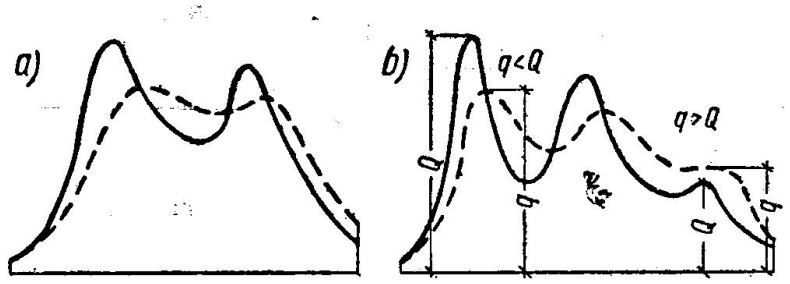
Rys. 5-8. Fala o długotrwałej kulminacji redukowana do trapezu w schemacie uproszczonym

Działanie retencji jeziorowej jest tym większe im większa jest powierzchnia zbiornika i im gwałtowniejsze wezbranie. Fale "ostre", jakie występują na zbiornikach górskich ulegają znaczącemu zredukowaniu. Fale płaskie nieznacznemu, a kulminacja fal długotrwałych może nie ulec zmniejszeniu.



Rys. 5-11. Działanie retencji jeziorowej na różnych typach fali powodziowej: a, b, c) różne przypadki

W przypadku fal bliźniaczych zanikających może się zdarzyć, że odpływ kolejnej fali zanikającej przewyższa kulminację dopływu



Rys. 5-12. Działanie retencji jeziorowej na falach bliźniacznych: a, b) różne przypadki

SUCHE ZBIORNIKI W POLSCE

Większość istniejących obiektów jest zlokalizowanych w Sudetach na obszarze województwa opolskiego i dolnośląskiego. Budowane były w latach 1905–1929 na dopływach rzeki Odry. Po wielkiej powodzi w 1897 roku, podjęto prace związane z zagospodarowaniem rzek i potoków w Sudetach, które w tym czasie należały do Prus. Projekt zawierał budowę zapór przeciw rumowiskowych, regulację stopniową potoków i budowę różnych zbiorników wodnych (wielofunkcyjnych i przeciwpowodziowych) oraz suchych zbiorników. Prace rozpoczęły się w 1901 roku.

Większość obiektów jest usytuowana w środkowych lub dolnych częściach zlewni, a ich czasza zamyka często całą dolinę cieku. W początku XX wieku było łatwiej znaleźć i zarezerwować tereny na budowę zbiorników. Od tego czasu miasto Jelenia Góra rozszerzyło granice bezpośredniego sąsiedztwa zbiorników Cieplice i Sobieszów. Gdyby zbiorniki nie istniały, tereny te zostałyby zurbanizowane.

Większość zbiorników usytuowanych jest na terenach rolniczych, wykorzystywanych jako pastwiska.

Zapory zbiorników są zazwyczaj zaporami ziemnymi z wydzieloną betonową częścią przelewową. Zamykają szerokie doliny, a długość ich dochodzi nawet do 3 km (zapora Sobieszów). Ponieważ zapory przecinają inne cieki, wymagało to budowy dodatkowych przepustów wałowych.

Część hydrotechniczna składa się z upustów oraz przelewu awaryjnego.

Jeden z upustów zawsze zakładany jest na rzędnej równej poziomowi dna koryta dopływowego cieku. Umożliwia to odprowadzenie niskich przepływów i swobodną migrację ichtiofauny w górę i w dół cieku. Jeśli jego wydatek przy maksymalnym piętrzeniu nie jest wystarczający, w korpusie na wyższych poziomach umieszcza się dodatkowe przelewy o określonych parametrach

W pierwszych latach eksploatacji zbiorniki działały samoczynnie. Później zaopatrzone zostały w zasuwy, dzięki czemu mogły być sterowane zgodnie z zaleceniami instrukcji. Retencja wody rozpoczyna się w momencie, gdy dopływ przekracza przepustowość upustu dennego. Przy wzroście poziomu piętrzenia do współpracy włączają się upusty leżące wyżej. Umożliwia to dłuższe przetrzymywanie wód w czaszy i regulację odpływu, dostosowując ich pracę do aktualnej sytuacji w niżej położonych częściach zlewni.

Dla zabezpieczenia urządzeń przed zatkaniem przez obiekty pływające (krzaki, drzewa, deski) wloty do upustu dennego są chronione kratami.

W czasach, gdy powstawały omawiane zapory nie zwracano uwagi na czynniki środowiskowe, teraz stwierdzono, że zaburzenia środowiska naturalnego spowodowane działaniem tych obiektów są minimalne, nawet biorąc pod uwagę obecne kryteria.

Czasze zbiorników są obszarami naturalnymi, można tam znaleźć różnorodne biotopy, jak łąki, zarośla i lasy łęgowe. Miejsca te cechuje duża różnorodność flory i fauny. Na terenach mokradeł żyją bociany i kaczki, w zagajnikach mają siedliska zające, dziki i sarny. W ciekach głównych jest dużo ryb i płazów. Świadczy to o małej szkodliwości obiektu, a nawet o stworzeniu warunków do rozwoju wielu gatunków roślin i zwierząt.

POTRZEBY WODNE

Wykorzystanie wody:

- konsument – zużywający wodę (przemysł i energetyka, cele komunalne, rolnictwo i leśnictwo…)
- użytkownik – korzystający z wody bez jej zużycia (energetyka wodna, żegluga, turystyka…).

ROLNICTWO

W ostatnich latach susze w Polce pojawiają się coraz częściej, są coraz intensywniejsze i obejmują znaczne obszary kraju; wywołują ujemne skutki w rolnictwie, zwłaszcza w produkcji roślinnej. Przesuszenie wielu obszarów jest wyraźne. Lokalne zalania, podtopienia terenu i powodzie występują coraz częściej i są coraz intensywniejsze; wywołują ujemne skutki w rolnictwie, zwłaszcza w produkcji roślinnej. Ekstremalizacja warunków pogodowych, związana z obserwowaną i przewidywaną zmianą klimatu.

Susza oznacza szkody spowodowane wystąpieniem w dowolnym sześciodekadowym okresie od dnia 1 kwietnia do dnia 30 września spadku klimatycznego bilansu wodnego poniżej wartości określonej dla poszczególnych gatunków roślin uprawnych i gleb

Szkody – obniżenie wielkości plonów o 20% z powodu suszy na obszarze gminy w danym roku w stosunku do wartości średnich wieloletnich.

Gospodarowanie wodą w rolnictwie to gospodarowanie w glebie, roślinie, łanie, polu, stawie rybnym oraz zlewniach i regionach użytkowanych rolniczo. Jest to najbardziej skomplikowany (trudny i kosztowny) rodzaj gospodarki, ponieważ zarówno popyt, jak i podaż mają charakter losowy.

Wyróżniamy gospodarkę naturalną (bez ingerencji człowieka) oraz sterowaną (stosowanie odpowiednich zabiegów w celu zaspokojenia potrzeb wodnych roślin).

Technicznie gospodarka sterowana to **melioracje wodne** (głównie nawadnianie i odwadnianie).

Regulacja stosunków wodnych wpływa również na inne czynniki: **ekologiczne, powietrzne, termiczne**…

Woda w roślinach

Woda dopływa do roślin (do systemu korzeniowego) w wyniku infiltracji oraz przez podsiąk. Warunkiem tego ruchu jest gradient ciśnienia ssącego pomiędzy korzeniami i glebą. Przy pełnym nasyceniu gleby wodą pobieranie wody jest bardzo łatwe, w miarę wysychania gleby staje się coraz trudniejsze, aż ustaje całkowicie i roślina więdnie.

Woda z gleby przepływa przez włośniki do komórek korzeniowych, a następnie kanalikami sitowonaczyniowymi do przestrzeni międzykomórkowych miękisza asymilacyjnego i jako para wodna przechodzi do atmosfery. Ten ostatni etap to transpiracja. Szybkość podnoszenia się wody w roślinach wynosi ok. 5-20 m/h i jest większa w roślinach zielonych niż w drzewach.

Rośliny uprawne najekonomiczniej korzystają z wody jeśli wilgotność gleby wynosi ok. 60-70 % pełnego nasycenia (rośliny łąkowe 80%). Rośliny potrafią bronić się przed nadmiarem jak i niedoborem wody, poprzez regulowanie procesu transpiracji.

Dostępność wody dla roślin zależy od nasycenia gleby wodą oraz od przewodnictwa wodnego gleby (na różnych głębokościach może być różna) i możliwość wykorzystania wody zależy od głębokości systemu korzeniowego roślin. Związana jest z tym intensywność transpiracji, która zależy również od warunków atmosferycznych (niedosytu wilgotności powietrza, bilansu promieniowania). Intensywność transpiracji wpływa na proces fotosyntezy.

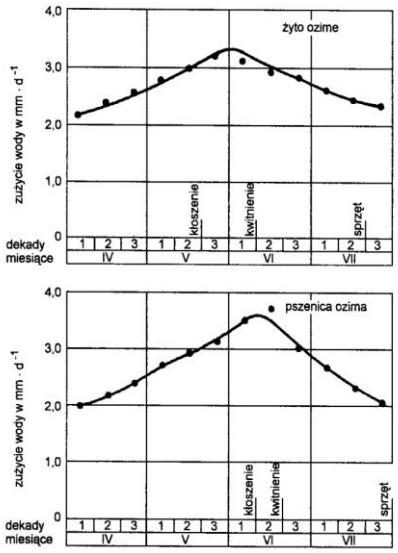
Górna granica optymalnego uwilgotnienia gleby (górne dopuszczalne uwilgotnienie) zależy od wymagań tlenowych roślin. Dolna granica (wilgotność krytyczna) określa wilgotność początku więdnięcia roślin (spowolnienie transpiracji i fotosyntezy).

Różne rośliny charakteryzują się różnymi potrzebami wodnymi, które zmieniają się zależnie od fazy ich rozwoju (początek wegetacji, kwitnienie, zawiązywanie owoców lub bulw...). Potrzeby te nie są jednoznacznie określone z uwagi na bardzo złożony charakter procesów wpływających na wielkość tych potrzeb.

Do oceny potrzeb wodnych roślin można stosować opady optymalne wymagane od siewu lub początku wegetacji do końca zbiorów. Normy odpowiednio koryguje się zależnie od rodzaju gleb

TABELA 29. Zakres plonowania, jednostkowe zużycie wody (γ) oraz przyrost plonów

Roślina	Plon [q · ha^{-1}]	Jednostkowe zużycie wody γ [mm · q^{-1}]	Przyrost plonów [q · ha^{-1}]
Buraki cukrowe	150–412	1,25–3,80	100
Buraki pastewne	297–950	0,45–1,40	300
Ziemniaki	130–310	1,25–3,80	100
Koniczyna czerwona	44–109	4,50–8,00	30
Lucerna	47–119	3,50–8,50	30
Pszenica ozima	19–35	10,0–15,0	10
Łąka nie nawadniana	80–106	4,53–5,76	–
Łąka nawadniana	108–138	4,21–5,16	30
Pastwiska nie nawodnione	93–121	3,88–5,21	–
Pastwiska nawodnione	124–157	3,76–4,70	30



RYSUNEK 41. Przebieg zużycia wody przez żyto ozime i pszenicę ozimą (wg Marcilonka 1969)

TABELA 30. Potrzeby wodne roślin (opady optymalne) w okresie wegetacyjnym w równinnej części Polski (wg Dzierżyca w „Podstawach melioracji rolnych" T. 1, 1986)

Roślina	Opady optymalne [mm]		
	gleby ciężkie	gleby średnie	gleby lekkie
Żyto	100–150	150–200	250–300
Owies	– " –	– " –	200–250
Jęczmień jary	150–200	– " –	350–400
Pszenica jara	– " –	– " –	300–350
Pszenica ozima	– " –	200–250	– " –
Pomidor	200–250	250–300	– " –
Groch	250–300	– " –	– " –
Łubin żółty	–	– " –	– " –
Ziemniak wczesny	–	– " –	250–300
Ziemniak późny	300–350	350–400	400–450
Bobik	– " –	– " –	– " –
Cebula	– " –	– " –	– " –
Seler	350–400	–	– " –
Ogórek	– " –	400–450	450–500
Lucerna	– " –	– " –	– " –
Koniczyna	400–450	– " –	– " –
Burak ćwikłowy	– " –	– " –	– " –
Marchew	450–500	– " –	– " –
Burak cukrowy	400–450	450–500	ponad 500
Burak pastewny	450–500	– " –	– " –
Kapusta biała	– " –	– " –	– " –
Kapusta czerwona i włoska	– " –	– " –	– " –

W praktyce potrzebne jest określenie niedoborów wody. Stosuje się metody:

- probabilistyczne (ustalanie niedoborów opadów o określonej częstotliwości występowania) w oparciu o ciągi rozdzielcze parowania (ustalanego na podstawie pomiarów niedosytu wilgotności powietrza)
- częściowo deterministyczne – oparte na analizie wielu czynników mających wpływ na występowanie niedoboru (suma opadów, dopływ powierzchniowy, podsiąk wód gruntowych, retencja glebowa na początku i końcu okresu bilansowania, ewapotranspiracja rzeczywista...)

Potrzeby wodne stawów rybnych

obejmują ilość wody niezbędną do zalania (nasycenie gruntu dna i terenu przyległego oraz napełnienia stawów) oraz stałej wymiany wody w okresie eksploatacji (uzupełnianie strat na filtrację przez groble, parowanie z powierzchni wody i transpirację wynurzonych części roślin).

Woda jest jednym z najważniejszych elementów w rolnictwie.

Gospodarowanie wodą na potrzeby produkcji rolnej polega na odpowiednio prowadzonych melioracjach, które powinny być systemami pozwalającymi na regulowanie odpływu w celu uzupełniania niedoboru w okresach suszy oraz odprowadzania nadmiarów w okresach wezbrań.
Oprócz nawadniania wodą stosuje się również nawodnienia ściekami, w tym wodami podgrzanymi, przy zachowaniu wymogów ochrony środowiska.
Istotnym elementem pozwalającym na racjonalne wykorzystanie wody jest mała retencja. Prawidłowe gospodarowanie wodą na terenach rolniczych pozwala na uniezależnienie produkcji rolniczej od zmian klimatycznych oraz ekstremalnych zjawisk pogodowych.

ZALECENIA W ZAKRESIE ROLNICZYCH ZASOBÓW WODNYCH I GOSPODAROWANIA NIMI W CELU ŁAGODZENIA UJEMNYCH SKUTKÓW SUSZ W ROLNICTWIE:
cele kierunkowe:

- zwiększenie lokalnych zasobów wodnych i ich dostępności dla rolnictwa
- zwiększenie efektywności wykorzystania wody w produkcji rolniczej
- zmniejszenie zapotrzebowania na wodę i zużycia wody przez uprawy rolnicze
- intensyfikacja nawodnień

CELE I ZADANIA DLA MELIORACJI I GOSPODARKI WODNEJ W ROLNICTWIE

- zatrzymanie dekapitalizacji systemów melioracyjnych, w tym systemów nawodnieniowych.
- odbudowa i modernizacja istniejących systemów, z zastosowaniem innowacyjnych rozwiązań i technologii.
- stworzenie korzystnych warunków ekonomicznych w rolnictwie dla inwestowania, utrzymania i eksploatacji systemów nawodnień.
- wdrożenie nowoczesnych energo- i wodo-oszczędnych metod i technik nawadniania.
- zwiększenie efektywności nawodnień.
- optymalizacja rozrządu wody i gospodarowania wodą w systemach melioracyjnych (nawodnieniowych) i w zlewni.
- podjęcie działań i wdrożenie metod mających na celu zwiększenie lokalnych zasobów wody o dobrej jakości i ich dostępności.

Mała retencja na użytkach rolnych może być w pewnych warunkach efektywnym ekonomicznie sposobem ograniczania skutków niedoborów wody dla upraw
Na terenie Polski w pasie nizin środkowopolskich dochodzi do współwystępowania dwu niekorzystnych z punktu widzenia gospodarki wodnej zjawisk: ujemnego klimatycznego bilansu wodnego i niskiej pojemności retencyjnej gruboziarnistych gleb polodowcowych:

Lokalizacja zbiorników małej retencji do nawodnień uzależnia się od wystepowania na analizowanym obszarze wód powierzchniowych (cieki, jeziora, stawy) oraz rowów, warunków klimatycznych, warunków glebowych rodzaju upraw, wielkości gospodarstw

Nawadnianie roślin uprawnych – próba określenia perspektyw rozwoju małej retencji na terenach UR
Dynamiczny rozwój technologii nawodnień wskazuje że mogą one w najbliższej przyszłości kształtować rozwój małej retencji na terenach UR. Prognoza lokalizacji małej retencji na UR powinna uwzględniać następujące obserwacje:

- nawadnianie daje największe efekty na obszarach występowania deficytów wody dostępnej dla roślin
- nawadnianie jest w warunkach Polski ekonomicznie opłacalne dla: ziemniaka, buraka cukrowego, warzyw i owoców
- koszty wejścia w technologię nawadniania są duże i dlatego jest to opcja dla dużych gospodarstw
- budowa zbiorników małej retencji do celów nawodnieniowych ma sens tam gdzie dostęp do wód powierzchniowych i płytkich wód podziemnych jest utrudniony

LEŚNICTWO

Lasy to jedno z największych bogactw naturalnych: źródło surowców, zbiorowisko roślin i zwierząt, źródło runa, miejsce wypoczynku, a przede wszystkim źródło czystego powietrza i wody.

Oddziaływanie lasu na zasoby wodne i klimat:

- magazynowanie wody (intercepcja szaty roślinnej, retencja gleby i ściółki, retencja gruntowa,
- regulowanie odpływu (zmniejszenie kulminacji wezbrań, zwiększenie przepływów niżówkowych),
- zmniejszenie groźby powodzi,
- opóźnienie i wydłużenie czasu topnienia śniegu,
- zmniejszenie odpływu powierzchniowego,
- zmniejszenie parowania z powierzchni gleby, przy zwiększonej transpiracji,
- zwiększenie ilości opadu,
- magazynowanie opadu – zwiększenie zapasu wilgoci,
- zmniejszenie przez intercepcję ilości wody przedostającej się do gleby,
- zmniejszenie amplitudy temperatur,
- zmniejszenie procesów erozyjnych,
- większe w porównaniu z innymi naturalnymi konsumentami zużycie wody,
- oddziaływanie na jakość zasobów wodnych (zakwaszenie wód, zmniejszenie zawartości azotanów, zwiększenie zawartości wolnego dwutlenku węgla, żelaza ogólnego i fosforanów,

Gospodarowanie wodą w lasach polega na działalności w celu zaspokojenia potrzeb wodnych roślinności leśnej, zwierząt, szkółek, obiektów gospodarczych oraz do celów przeciwpożarowych. Środkami służącymi do realizacji zadań gospodarki wodnej są m.in. zabiegi techniczne (melioracje, mała retencja oraz zabiegi chroniące przed erozją i powodziami).

Typy naturalnej gospodarki wodnej w lasach (w warunkach klimatycznych Polski):

- typ przemywany (opadowo – retencyjny) - ze względu na głębokie zwierciadło wód gruntowych przeważa ruch wody w głąb gleby. Woda z podsiąku kapilarnego nie jest dostępna dla roślin,
- typ podsiąkowy – strefa korzeniowa jest jest zasilana zarówno przez wody gruntowe z podsiąku kapilarnego jak i wody opadowe. System ten jest najkorzystniejszy dla drzewostanu,
- typ podtapiający (gruntowo – wodny) – w glebach stale uwilgotnionych. Poziom wody gruntowej jest na tyle wysoki, że opady nie mają na niego praktycznie żadnego wpływu. Warunki takie są niekorzystne ze względu na słabe przewietrzanie gleby. Możemy je poprawić przez odwodnienia i przekształcenie tego typu w typ podsiąkowy.

Bilans wodny zlewni leśnej można zapisać w postaci równania. Orientacyjnie:

- intercepcja – 10-40 % - zależnie od gatunków drzew i rozwoju ulistnienia,
- wchłanianie opadów przez ściółkę – 5-10 % opadów,
- wzrost opadów – zależy od stopnia wzrostu zalezienia,
- opad poziomy (osiadanie mgły) 30-50 % przychodu,
- zmiana odpływu w wyniku zalesiana lub wylesiania, może sięgać ok. 30 %,
- opóźnienie odpływu wód roztopowych o ok. 2 tygodnie,
- mniejsza głębokość zamarzania gleb leśnych o ok. 80 cm.
- zmniejszenie zużycia wody na produkcję biomasy (do produkcji określonej masy drewna potrzeba 2x mniej wody niż do produkcji siana),
- wzrost transpiracji o ponad 20 %,

Bilanse wodne pozwalają na określenie potrzeb wodnych drzewostanów. Potrzeby te zmieniają się w cyklach rocznych (max. to maj i czerwiec) oraz zależnie od gatunków i wieku drzewostanu.

GOSPODARKA KOMUNALNA

Struktura zużycia wody w miastach:

- zaopatrzenie ludności 45%,
- woda dla przemysłu 28%,
- potrzeby ogólnokomunalne 16%,
- straty 11%

Ścieki w miastach pochodzą z:

- gospodarstw domowych - bytowo-gospodarcze,
- odpływów z powierzchni nieprzepuszczalnych (dachy, place, jezdnie...)-opadowe,
- zakładów wytwórczych- przemysłowe,
- drenaży i infiltracji – przypadkowe.

Mieszanina tych ścieków to ścieki miejskie.

Normy zaopatrzenia w wodę pozwalają na określenie dobowego zapotrzebowania na wodę.

W praktyce istotne jest również maksymalne dobowe i godzinowe zapotrzebowanie na wodę.

Zasadnicze znaczenie ma także perspektywiczne zużycie wody związane ze zmianą (wzrostem) liczby mieszkańców.

Wielkość zużycia zależy od wyposażenia w wodociągi.

Jakość wód zwracanych (ścieków) zależy od funkcjonujących oczyszczalni ścieków.

Zużycie wody w różnych krajach jest zróżnicowane.
Są kraje gdzie zużycie na cele bytowe nie przekracza 20 l/M*d.

ROZPORZĄDZENIE MINISTRA INFRASTRUKTURY z dnia 14 stycznia 2002 r. **w sprawie określenia przeciętnych norm zużycia wody.**

Tabela 1

Przeciętne normy zużycia wody na jednego mieszkańca w gospodarstwach domowych

Lp.	Wyposażenie mieszkania w instalacje	Przeciętne normy zużycia wody	
		dm^3/mieszkańca · dobę	m^3/mieszkańca · miesiąc
1	2	3	4
1	Wodociąg bez ubikacji i łazienki (brak kanalizacji), pobór wody ze zdroju podwórzowego lub ulicznego	30	0,9
2	Wodociąg, ubikacja bez łazienki	50 -60*	1,5-1,8*
3	Wodociąg, zlew kuchenny, wc, brak łazienki i ciepłej wody	70-90*	2,10-2,70*
4	Wodociąg, ubikacja, łazienka, lokalne źródło ciepłej wody (piecyk węglowy, gazowy – gaz z butli, elektryczny, bojler)	80 -100*	2,4-3,0*
5	Wodociąg, ubikacja, łazienka, dostawa ciepłej wody do mieszkania (z elektrociepłowni, kotłowni osiedlowej lub blokowej)	140-160*	4,2-5,4*

* Wartości niższe odnoszą się do budynków podłączonych do zbiorników bezodpływowych na terenach nieskanalizowanych, a wartości wyższe odnoszą się do budynków podłączonych do sieci kanalizacyjnych.

PRZEMYSŁ

Woda w przemyśle jest wykorzystywana do chłodzenia urządzeń mechanicznych, pieców, kondensatorów, łożysk... (ok. 70%) oraz na cele produkcyjne jako surowiec, rozpuszczalnik lub do mycia (ok. 20 %).

Najwięcej wody zużywa przemysł paliwowo – energetyczny, następnie chemiczny, metalurgiczny, spożywczy, drewno -papierniczy...

Problemem związanym z wykorzystaniem wody w przemyśle są ścieki.

Oszczędności w gospodarowaniu wodą w przemyśle można uzyskać przez:

- zamknięte obiegi wody,
- wodooszczędne technologie produkcji,
- ograniczenie korzystania z wody wodociągowej na rzecz własnych ujęć,
- zmniejszenie strat na doprowadzeniu wody i w procesach produkcyjnych,
- recyrkulacja (wtórne wykorzystanie wody lub do innych celów np. rolniczych).

Określenie potrzebnej wielkości zbiornika do zaopatrzenia w wodę jest w miarę proste, bowiem pobór wody z reguły jest w miarę stały. Wykorzystuje się krzywą sumową, która pozwala stwierdzić jaka jest potrzebna wielkość zbiornika dla zagwarantowania wymaganego poboru lub jaki gwarantowany pobór można osiągnąć przy określonej pojemności zbiornika. Przy optymalizacji rozwiązania należy brać pod uwagę ciągi rozdzielcze prawdopodobieństwa niewystarczalności gwarantowanego poboru oraz prawdopodobieństwa niewykorzystanych objętości w powiązaniu z kosztami inwestycji. Można bowiem dopuścić występowanie okresowych braków, zakładając wielkość poboru absolutnie gwarantowaną.
Rownież wykresy dyspozytorskie dla zbiorników do zaopatrzenia w wodę są prostsze wykorzystanie wody nie wiąże się tu bowiem z wielkością spadu.

ENERGETYKA

Energia wód płynących wykorzystywana jest do produkcji prądu elektrycznego oraz pracy młynów, tartaków…
Oceny możliwości wykorzystania energii wodnej do produkcji energii elektrycznej dokonuje się określając potencjał energetyczny, wyrażany w kW/km (zależny od spadku i przepływu).
W Polsce ok. 60% długości rzek ma potencjał mniejszy niż 100 kW/km, a ok. 4 % większy niż 500 kW/km (Wisła, Dunajec, Odra). Nie ma wiec dobrych warunków do budowy dużych elektrowni wodnych, są jednak możliwości budowy małych i mikroelektrowni, które mogą być wykorzystywane lokalnie, na własne potrzeby.
Całkowitą teoretyczną produkcję energii wód w Polsce, w ciągu roku ocenia się na 23 TWh, z tego ok. 12-13 TWh (52 %) to zasoby techniczne, które są wykorzystywane w kilkunastu procentach.
W elektrowniach wodnych woda jest wykorzystywana, a nie zużywana.
Gospodarka wodna w elektrowni powinna być prowadzona w taki sposób aby przy minimalnych zrzutach jałowych uzyskać maksimum produkcji energii. Pomagaja w tym wykresy dyspozytorskie zawierające zależność odpływu od objętości wody w zbiorniku i mocy elektrowni, krzywe napełnienia zbiornika, obciążenia elektrowni i czasu jej pracy.

Energetyka cieplna również wykorzystuje duże ilości wody, przy stosunkowo niewielkim jej zużyciu. Woda jest wykorzystywana do napędu turbin (w postaci pary wodnej) oraz jako czynnik chłodzący. Ze względu na duże potrzeby wodne energetyki, elektrownie powinny być lokalizowane w rejonie dolnych biegów rzek, które są mniej narażone na okresowe niedobory wody.

ZBIORNIKI ENERGETYCZNE

Gospodarka wodna na zbiornikach retencyjnych powinna zapewniać pełne wykorzystanie wody, przy minimum zrzutów jałowych.

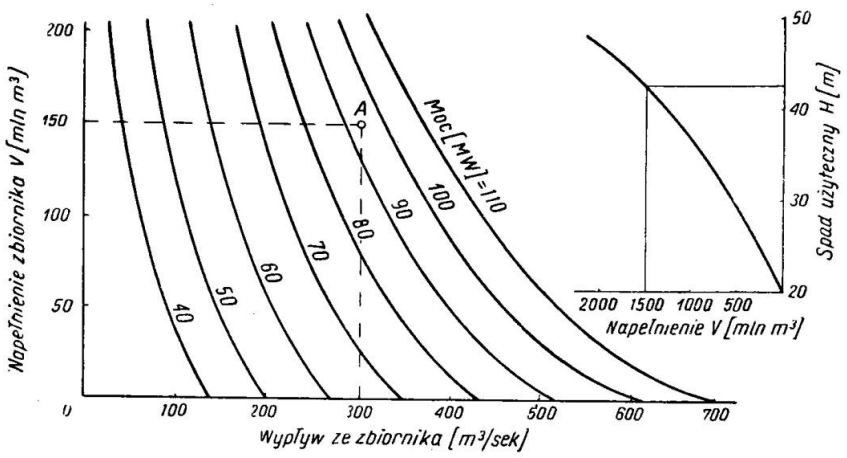
Przy zbiornikach energetycznych należy uzyskać jak największe efekty energetyczne (zwłaszcza w szczytach zapotrzebowania).
Ustalenie zasad prowadzenia tej gospodarki jest trudne z uwagi na:

- zmienność przepływów,
- ograniczoną wielkość zbiornika,
- konieczność wykorzystywania rezerw (przerzuty wody z okresu nadmiaru na okres niedoboru),
- zmienne zapotrzebowanie na energię.

W prowadzeniu racjonalnej gospodarki wykorzystuje się **wykresy dyspozytorskie elektrowni**, które pozwalają również na zautomatyzowanie pracy. Wykresy te uzależniają pracę elektrowni od bieżącego dopływu wody, uwzględniając napełnienie zbiornika oraz możliwość lub konieczność jego częściowego opróżnienia w różnych okresach roku.
Przy ustalaniu zasad gospodarowania wodą należy uwzględnić:

- **moc gwarantowaną** zakładu (moc stale i pewnie dostarczana do systemu energetycznego),
- **moc dysponowaną** (produkcję, którą można uzyskać w najbliższej przyszłości)

Moc gwarantowana (określana na podstawie materiału historycznego) pozwala na zmniejszenie potrzeb w zakresie instalacji innych elektrowni podstawowych. Moc przekraczająca tą wartość, zmniejsza jedynie koszty wytwarzania energii. Maksymalizację mocy gwarantowanej możemy uzyskać jeśli możliwe jest zmagazynowanie wody z okresów nadmiarów i wykorzystanie jej w okresach wzrostu zapotrzebowania na energię (zwiększone zapotrzebowanie może występować w okresach niedoboru wody).
Opróżnianie zbiornika powoduje zmniejszenie zapasu wody w zbiorniku oraz obniżenie spadu użytecznego. W miarę opróżniania zbiornika dla zapewnienia określonej mocy należy więc zwiększać przepływ.



Rys. 7-1. Izolinie mocy [MW] w zależności od napełnienia zbiornika i odpływu

W wykresach dyspozytorskich wyróżniamy trzy fazy:

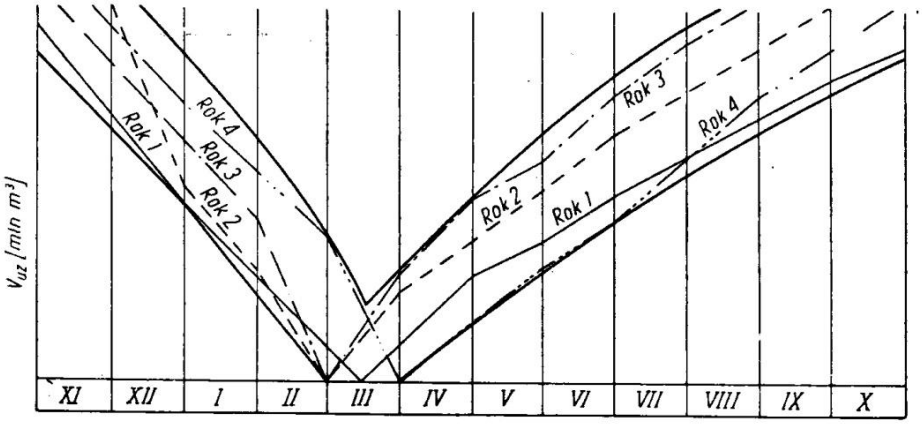
- faza napełniania zbiornika (dopływ większy niż zapotrzebowanie),
- faza opróżniania zbiornika (małe dopływy przy dużym zapotrzebowaniu),
- faza pośrednia (powinien uwzględniać przyszłe potrzeby)

Założenia do wykresów dyspozytorskich:

- dzień w którym zbiornik powinien być wypełniony dla zapewnienia gwarantowanej mocy,
- dzień w którym zbiornik może być opróżniony uwzględniając możliwość jego ponownego napełnienia,
- jaka rezerwa powinna pozostać w zbiorniku dla zapewnienia gwarantowanej produkcji jeśli napełnienie zbiornika ulega opóźnieniu,
- stosunek produkcji w poszczególnych okresach (np. lato do zimy 1:2),
- prawdopodobieństwo zagwarantowania mocy dyspozycyjnej,
- wymagania dotyczące okresów utrzymywania rezerwy powodziowej

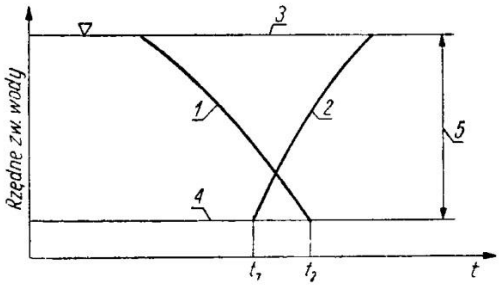
W praktyce dla każdego analizowanego roku ustalamy dzień rozpoczęcia przyborów w rzece, a następnie ustalamy wstecz jakie powinno być napełnienia zbiornika aby pokryć zapotrzebowanie (moc). Otrzymujemy linię łamaną obrazującą spracowywanie wody w danym roku.

Analogicznie od dnia rozpoczęcia przyborów w rzece możemy w następujących okresach określić wielkość napełnienia zbiornika. Przeprowadzenie takiej analizy dla kolejnych lat pozwala na ustalenie możliwych napełnień zbiornika.



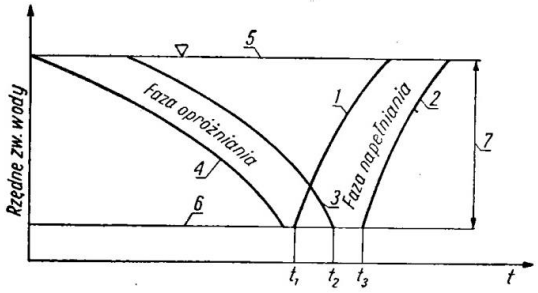
Rys. 7-3. Przykład opróżnienia i napełnienia zbiornika w okresie 4 lat (dla celów wykresu dyspozytorskiego)

Przecięcie linii ww. wykresów pozwala na określenie pojemności niezbędnej w przypadku opóźnienia wiosennego wezbrania oraz okresu pomiędzy najwcześniejszym i najpóźniejszym okresem przyboru. Wykresy te uzupełniamy o odpływy niezbędne do pokrycia zapotrzebowania na energię.



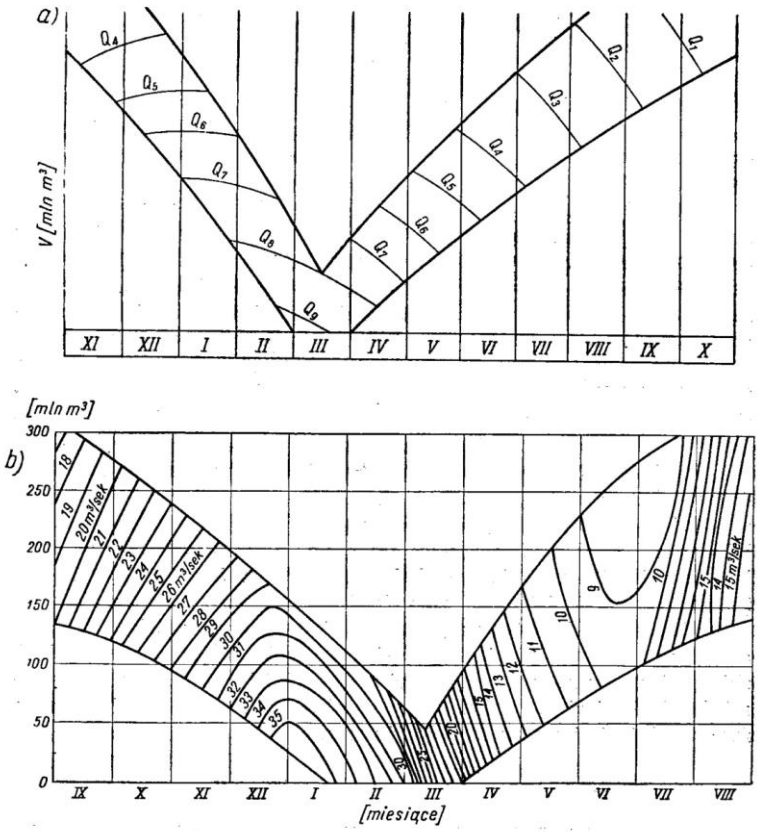
Rys. 7-4. Zasadnicze krzywe wykresu dyspozytorskiego

1 — linia opróżniania, 2 — linia napełniania zbiornika.
Dalsze oznaczenia: 3 — normalny poziom piętrzenia, 4 — najniższy poziom spracowania, 5 — grubość warstwy użytecznej



Rys. 7-5. Skrajny wariant dyspozytorskiej linii napełniania

1, 2 — obwiednie fazy napełniania, 3, 4 — obwiednie fazy opróżniania, 5 — normalny poziom piętrzenia, 6 — najniższy poziom spracowania, 7 — grubość warstwy użytecznej



Rys. 7-8. Zasada wykresu dyspozytorskiego dla gospodarki energetycznej (a) i przykład takiego wykresu dla Soliny na Sanie (b) (wg Meyera)

ŻEGLUGA

Żegluga śródlądowa jest tanim i ekologicznym środkiem transportu. Jednak spełnienie warunków nawigacyjnych wymaga działań technicznych, które znacząco ingerują w środowisko.

Gospodarka wodna w żegludze ma zapewnić przez jak najdłuższy czas odpowiednich głębokości niezbędnych do prowadzenia żeglugi. Ze względu na sezonowość przepływów w rzekach w Polsce (niżówki) problemem jest zapewnienie możliwości zasilania (alimentacji) szlaków żeglownych. Inne problemy występują w związku z występowaniem wezbrań jak również zlodzenia. Odpowiednio prowadzona gospodarka wodna na zbiornikach retencyjnych pozwala na wydłużenie kresu żeglugi.

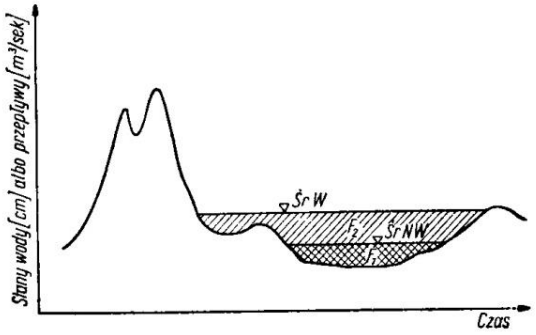
Odrębną kwestią jest zapewnienie odpowiedniej ilości wody na potrzeby śluzowania.

Potrzeby żeglugowe to:

- zużycie wody na śluzowanie,
- straty wody (wsiąkanie, parowanie, nieszczelności zamknięć...),
- zapotrzebowanie na utrzymanie głębokości tranzytowych.

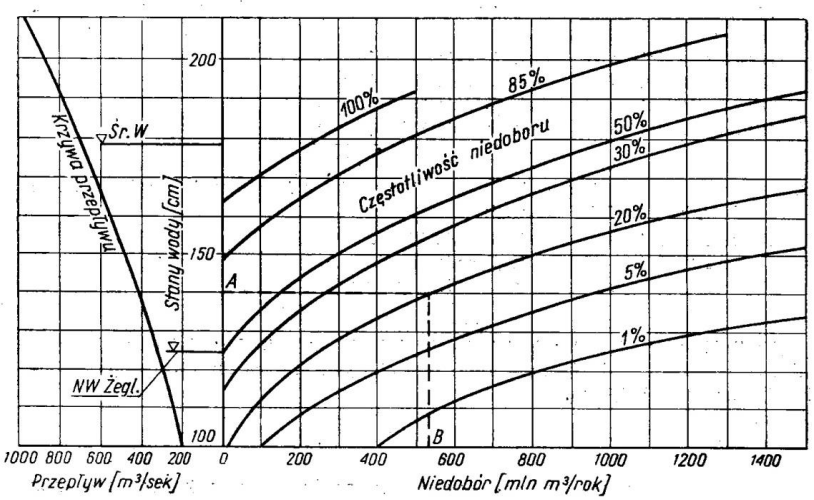
Zużycie wody na śluzowanie wynika z wielkości śluzy, zastosowanych rozwiązań (np. śluzy oszczędnościowe), intensywności ruchu. Straty na parowanie i wsiąkanie wody w kanałach i rzekach skanalizowanych zależą od warunków pogodowych.

W rzekach swobodnie płynących w okresie niżówek największe ilości wody zużywane są do utrzymania głębokości tranzytowych. Określenie potrzebnej ilości wody zgromadzonej w zbiorniku obrazuje rysunek.



Rys. 8-5. Graficzny sposób obliczenia objętości wody potrzebnej do zasilania rzeki żeglownej

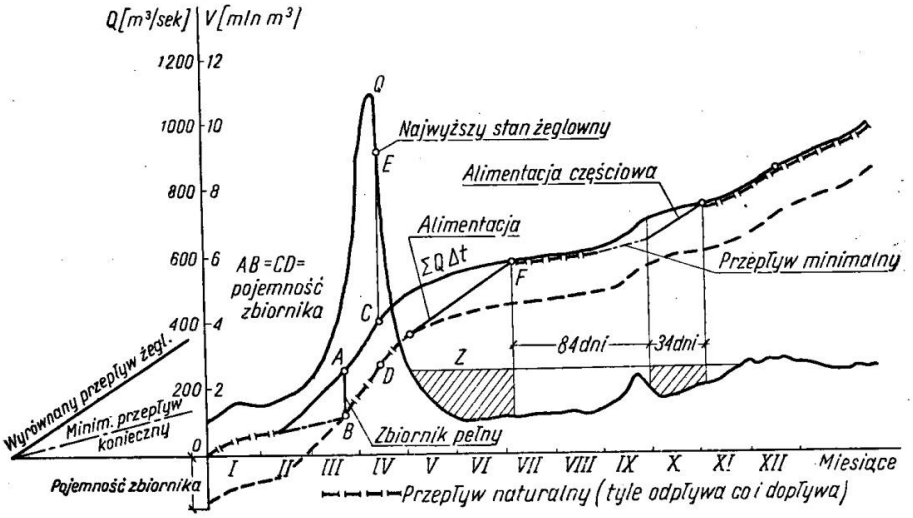
W każdym roku sytuacja może jednak być inna. Istotny jest również rozkład niedoborów w czasie oraz częstotliwość ich występowania. Jeśli dla okresu wieloletniego zestawimy ciągi rozdzielcze niedoborów, to możemy określić jakie jest prawdopodobieństwo konieczności alimentacji określoną objętością wody w celu utrzymania określonej głębokości.



Rys. 8-9. Wykres częstotliwości niedoborów w alimentacji żeglugowej Wisły w profilu Koło, poniżej ujścia rzeki Wisłoki

Zwykle nie jest możliwa budowa zbiorników retencyjnych pokrywających w pełni potrzeby żeglugowe dlatego gospodarowanie wodą na zbiornikach powinno uwzględniać przerwy w żegludze w sezonie, możliwość wykorzystania taboru przy niepełnym zanurzeniu ...
Z tego względu w przypadku takich zbiorników możemy alimentować rzeki dwoma sposobami:

- jako zasilanie ciągłe (wtedy liczymy się z tym, że zbyt mała pojemność zbiornika spowoduje występowanie przerw w żegludze – wcześniejsze zakończenie okresu żeglugowego),
- jako zasilanie falowe (wypuszczanie fal zasilających w parodniowych odstępach czasu) – żegluga nie odbywa się w sposób ciągły,



Rys. 8-10. Przykład ciągłego zasilania rzeki dla celów żeglugowych

BILANSE WODNOGOSPODARCZE ZLEWNI

Bilans wodno-gospodarczy jest jedną z najważniejszych analiz dokonywanych w gospodarce wodnej na etapie planowania i projektowania jak również eksploatacji systemów wodnogospodarczych.
Bilans wodno-gospodarczy wód powierzchniowych jest specjalistycznym opracowaniem analityczno-rachunkowym wykonywanym dla obszaru zlewni rzecznej obejmującym ilościowe i jakościowe porównanie zasobów tych wód z potrzebami użytkowników, z uwzględnieniem możliwości kształtowania tych zasobów przez obiekty hydrotechniczne, hierarchii użytkowników, powiązań z wodami podziemnymi oraz wymagań ochrony środowiska przyrodniczego.

Cele bilansu wodno-gospodarczego:

- ocena możliwości zaspokojenia potrzeb wodnych użytkowników;
- ocena stopnia spełnienia wymagań związanych z ochroną środowiska (np. zapewnienia przepływów nienaruszalnych hydrobiologicznych i krajobrazowych, częstości występowania wiosennych zalewów doliny rzecznej);
- ocena wpływu obecnego i przewidywanego użytkowania zasobów wodnych oraz oddziaływania obiektów hydrotechnicznych na reżim hydrologiczny rzek;
- ocena sposobu działania istniejących obiektów hydrotechnicznych (zbiorników retencyjnych, kanałów przerzutowych) wraz z propozycjami zmiany sposobu gospodarowania wodą;
- określenie lokalizacji, parametrów oraz zasad pracy nowych obiektów hydrotechnicznych;
- określenie obszarowego i czasowego rozkładu dyspozycyjnych zasobów wodnych (zwrotnych i bezzwrotnych) z podaniem uwarunkowań i ograniczeń ich wykorzystywania dla zaspakajania potrzeb nowych użytkowników,
- ocena kształtowania się przepływów (z uwzględnieniem wykorzystania wód),
- ocena wielkości i jakości rezerw wodnych,
- ocena wielkości i jakości ścieków odprowadzanych do wód.

Równania bilansowe naturalnych zasobów wód przedstawiają zależności pomiędzy ilością wody zasilającej a ilością wody ubywającej z danego obszaru, w określonym czasie.
Można wyróżnić bilanse wód powierzchniowych (opracowywany najczęściej dla zlewni lub dorzecza), wód podziemnych, w profilach glebowych i inne.

Równanie naturalnego bilansu zlewni:

$$P_1+P_2+P_3+P_4=H_p+H_f-H_{gd}+H_g+E_p+E_t+E_u+E_i+\Delta R_p+\Delta R_a+\Delta R_f+\Delta R_g$$

P_1 –opad atmosferyczny
P_2 –dodatkowy opad uwzględniający systematyczny błąd pomiaru,
P_3 – opad poziomy (osady atmosferyczne: sadź, mgła)
P_4 – woda z kondensacji pary wodnej (rosa szron)
H_p – odpływ powierzchniowy
H_f – odpływ powierzchniowy ze strefy wahań wód podziemnych,
H_{gd} – dopływ wód podziemnych do zlewni,
H_g - odpływ podziemny do cieków,
E_p – traspiracja drzew,
E_t – straty na itercepcję przez liście i gałęzie,
E_u – parowanie z gleby, śniegu, wód powierzchniowych i podłoża nieprzepuszczalnego,
E_i – parowanie z pozostałej roślinności,
ΔR_p – zmiany retencji powierzchniowej,
ΔR_a- zmiany retencji w strefie aeracji,
ΔR_f –zmiany retencji w strefie podpowierzchniowej saturacji (krótkookresowe),
ΔR_g - zmiany retencji w strefie saturacji (długookresowe),

W postaci uproszczonej:

$$P - H = E + \Delta R$$

P – opad całkowity,
H – odpływ całkowity,
E – parowanie,
ΔR – zmiana retencji

Bilanse wód podziemnych polegają na określeniu przychodu i ubytku wody w określonym obszarze (nie zawsze pokrywającym się z granicami zlewni wód powierzchniowych).

Ustalony w oparciu o bilans naturalny odpływ stanowi podstawę bilansu wodnogospodarczego.

Bilans wodnogospodarczy – porównanie zasobów wodnych z potrzebami użytkowników i konsumentów (uwzględniające gwarancje objętościowe i czasowe pokrycia potrzeb oraz wymogi jakościowe. Sporządzane są jako **surowe** (daje podstawy do opracowania prawidłowej gospodarki wodnej w perspektywie – rozwiązania w zakresie sterowania i technicznego wyposażenia systemu) oraz **kierowane** (dostosowanie zasobów do pokrycia perspektywicznego zapotrzebowania na wodę przez uzupełnienie wykrytych w bilansie surowym niedoborów).

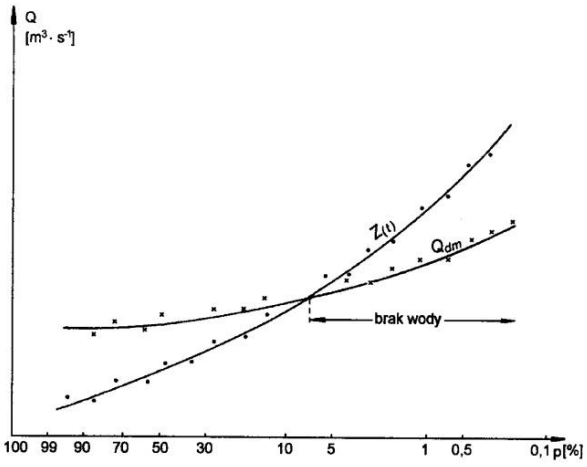
METODY BILANSOWANIA:
- **statystyczne i stochastyczne oraz**
- **jednolite bilanse wodnogospodarcze**

METODY **statystyczne i stochastyczne,** założenia:
- warunki (meteorologiczne i hydrologiczne), które wystąpiły w badanym okresie będą podobne w przyszłości,
- woda z bilansu jest w pełni przydatna i może być wykorzystywana wielokrotnie,
- deficyty będą pokryte, jeśli są techniczne możliwości i ten dodatek jest uwzględniany w następnych profilach (niżej),
- tam gdzie nie ma możliwości pokrycia deficytów nie wprowadza się przewidywanych zrzutów, a deficyty się zeruje.

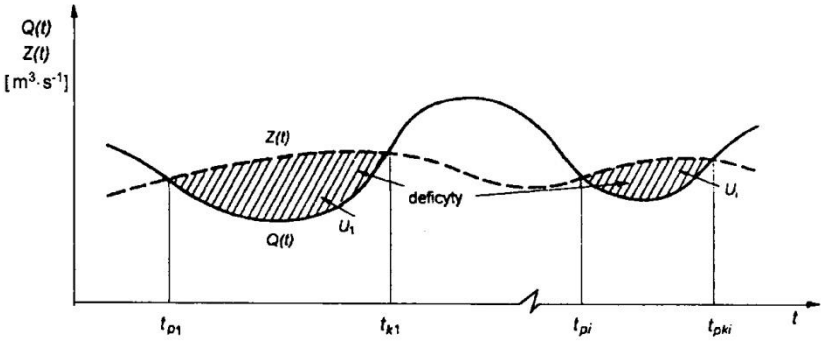
Bilanse wykonuje się jako wieloletnie lub skrócone (dla okresu miarodajnego lub wytypowanych lat charakterystycznych np. mokrych, suchych, przeciętnych. Okres miarodajny to np. rok o przepływie średnim rocznym o prawdopodobieństwie 75-80%.

Profile bilansowe:
- poniżej lub powyżej ważniejszych dopływów,
- w miejscach poboru wody na potrzeby komunalne lub przemysłowe,
- w miejscach ujęć do nawodnień
- w miejscach przyszłych zbiorników, ujęć, przerzutów wody,

Metody statystyczne *polegają na porównaniu krzywych prawdopodobieństwa zasobów dyspozycyjnych i zapotrzebowania na wodę (rys. 60).* ***Metody stochastyczne*** *polegają na porównaniu zapotrzebowania na wodę i hydrogramu przepływu w ściśle określonym czasie (rys. 62). Obie metody są jednak uproszczeniem.*



RYSUNEK 60. Porównanie krzywych prawdopodobieństwa zasobów wodnych dyspozycyjnych Q_{dm} i zapotrzebowania $Z(t)$



RYSUNEK 62. Porównanie krzywej zapotrzebowania na wodę $Z(t)$ z hydrogramem przepływu $Q(t)$

Jednolite bilanse wodnogospodarcze

Wyniki analiz bilansowych stanowią miedzy innymi podstawę do opracowywania warunków korzystania z wód dorzeczy, będących jednym z najważniejszych instrumentów racjonalnego gospodarowania woda w zlewni.

Obliczenia wykonywane są w profilach bilansowych zlewni we wszystkich przedziałach czasowych analizowanego wielolecia, jako wielookresowa symulacja rozdziału zasobów wodnych miedzy użytkowników wody.

Podstawowe założenia:

- bilans wykonywany jest dla obszarów hydrograficznych (dorzeczy, regionów wodnych, zlewni);
- bilans ma charakter dynamiczny tzn. uwzględnia zmienność w czasie danych wejścia opisujących elementy bilansu (zasoby, potrzeby, zrzuty, zasady pracy obiektów itp.). ;
- bilans ma charakter wielookresowej symulacji rozrządu zasobów wodnych pomiędzy użytkowników w przekrojach bilansowych zlewni rzecznej dla wszystkich przedziałów czasowych analizowanego wielolecia;
- rozrząd zasobów wodnych odbywa się zgodnie z ustaloną hierarchią użytkowania wód przy użyciu modelu symulacyjno-optymalizacyjnego odzwierciedlającego obszarową strukturę systemu wodnogospodarczego (układ sieci rzecznej, trasy przerzutów wody, lokalizację punktów poboru wody i zrzutu ścieków);
- badania symulacyjne powinny obejmować możliwie najdłuższy okres, dla którego dysponuje się wiarygodnymi danymi o zasobach i potrzebach wodnych;
- zaleca się 10-dniowy (dekadowy) krok symulacji – im krótszy tym dokładniejsza analiza i tym większe wymagania odnośnie szczegółowości danych wejściowych oraz wyższy stopień komplikacji modeli matematycznych;
- zasoby wód powierzchniowych opisywane są w postaci wieloletnich ciągów przepływów średnich dekadowych zestawionych dla przekrojów wodowskazowych;
- ciągi przepływów średnich okresowych powinny spełniać warunki:
    - synchroniczności;
    - ciągłości;
    - jednorodności.
- potrzeby wodne użytkowników „nieretencjonujących wody” opisywane są ciągami średnich okresowych zapotrzebowań na wodę (gospodarka komunalna, zakłady przemysłowe) lub wymagań przepływu w określonych przekrojach rzek (przepływy nienaruszalne lub dla potrzeb żeglugi, rekreacji…);
- potrzeby wodne użytkowników „retencjonujących wodę” (np. obszary nawadniane, stawy rybne, niektóre użytkowania związane z ochroną przyrody) obliczane są z uwzględnieniem aktualnego stanu obiektu użytkownika wody oraz aktualnych warunków hydro-meteorologicznych.

Takie podejście umożliwia uwzględnienie procesu narastania wielkości potrzeb wodnych, w przypadku, gdy w poprzednich okresach nie zostały one zaspokojone. Potrzeby mogą być stałe w czasie, cykliczne i zmienne losowo

Lokalizacja przekrojów bilansowych:

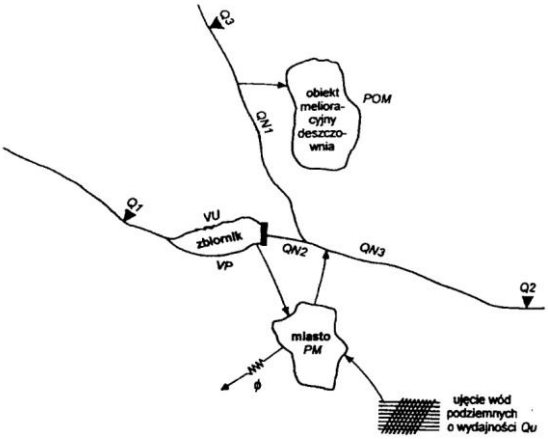
- na ciekach głównych powyżej ujść dopływów,
- w ujściach dopływów;
- w miejscach znaczących poborów i zrzutów wód,
- w miejscach usytuowania obiektów hydrotechnicznych kształtujących reżim przepływów (zbiorniki, przerzuty),
- na granicach państwa, jednostek administracyjnych i obszarów Regionalnych Zarządów Gospodarki Wodnej

Zachowanie hierarchii zaspokajania potrzeb wodnych oznacza, że dostarczenie wody dla użytkownika znajdującego sie "niżej" w hierarchii nie może spowodować wystąpienia ani pogłębienia deficytu wody u użytkownika ważniejszego".

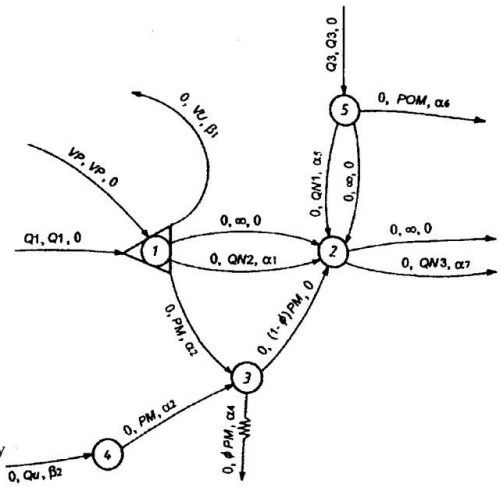
Rozporządzenie Nr 3/2014 *Dyrektora Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej w Szczecinie z dnia 3 czerwca 2014 r. w sprawie ustalenia warunków korzystania z wód regionu wodnego Dolnej Odry i Przymorza Zachodniego określa m.in. priorytety w zaspokajaniu potrzeb wodnych - w przypadku konfliktu związanego z wykorzystaniem wód na różne cele:*

1. *ochrona zasobów wód podziemnych przed zanieczyszczeniem,*
2. *woda do zaopatrzenia ludności, przemysłu spożywczego oraz farmaceutycznego,*
3. *ekostemy wodne i zależne od wód (mokradła na obszarach chronionych i poza nimi),*
4. *przemysł,*
5. *chów i hodowla zwierząt,*
6. *uprawy rolne i leśne,*
7. *energetyka wodna,*
8. *transport wodny,*
9. *turystyka, sport i rekreacja*

Do ilościowego rozdziału zasobów wód powierzchniowych wykorzystuje sie model symulacyjno-optymalizacyjny odzwierciedlający obszarową strukturę systemu wodnogospodarczego (układ sieci rzecznej, trasy przerzutów wody, lokalizacje poboru wody i zrzutu ścieków) oraz relacje miedzy wodami powierzchniowymi i podziemnymi.
Zadaniem symulacyjno-optymalizacyjnego modelu systemu wodno gospodarczego (modelu sieciowego) jest organizacja eksperymentu numerycznego polegającego na symulacji pracy tego systemu, to znaczy pracy obiektów hydrotechnicznych i rozrządu wody miedzy użytkowników w poszczególnych dekadach rozpatrywanego wielolecia.
Model sieciowy ma postać sieci przepływowej składającej sie z węzłów i łuków skierowanych, umożliwiających przemieszczanie zasob6w wodnych miedzy tymi węzłami. Węzłom sieci odpowiadają lokalizacje elementów systemu (zbiorniki retencyjne, punkty poboru wody przez użytkowników, punkty ujęć kanałów przerzutowych, punkty dopływu wody do systemu…)
Każda para węzłów *(i)* oraz *(j)* może być połączona dowolną liczba łuków, Charakterystycznymi przykładami łuków są koryta rzeczne i kanały przerzutowe. Inne to łuki dopływu wody do systemu, poboru wody, zrzutu ścieków, strat wody, napełnień początkowych i końcowych zbiorników retencyjnych…



RYSUNEK 63. Schemat lokalizacji obiektów gospodarki wodnej przykładowego systemu wodno-gospodarczego: POM – potrzeby wodne obiektu melioracyjnego, PM – potrzeby komunalne, *VU* – pojemność użyteczna zbiornika, *VP* – napełnienie początkowe, *QN* – przepływ nienaruszalny, ϕ – współczynnik strat wody, Q_1, Q_2, Q_3 – przepływy w profilach wodowskazowych



RYSUNEK 64. Schemat sieciowy algorytmu Out-Of-Kilter

Na rysunkach 63 i 64 pokazano schemat lokalizacyjny elementów gospodarki wodnej przykładowego systemu wodno gospodarczego oraz jego reprezentację sieciową,

W celu jednoznacznego zdefiniowania sieci każdy z łuków opisywany jest:

- numerem węzła początkowego *(i),*
- numerem węzła końcowego *(j),*
- dolnym ograniczeniem przepływu *(L_{ij}),*
- górnym ograniczeniem przepływu *(H_{ij})* oraz
- współczynnikiem wagowym *(c_{ij}),* określającym jednostkowy koszt przepływu wody z węzła *(i)* do węzła *(j).*

Przepływ w danym luku oznacza sie przez x_{ij}. Współczynniki wagowe *(c_{ij})* charakteryzują hierarchia ważności użytkowania zasobów wodnych. Współczynniki te w odniesieniu do użytkowników określają kolejność dostarczania wody w okresie jej niedoboru, natomiast w odniesieniu do obiektów hydrotechnicznych kolejność włączania sie ich do pracy w systemie.
Zachowanie warunku ciągłości przepływu w sieci wymaga w każdym węźle spełnienia warunku bilansu mówiącego, ze całkowita ilość wody dopływająca do węzła O_j musi być równa całkowitej ilości wody odpływającej z tego węzła, czyli:

$$\sum_{i=1}^{k_1} x_{ij} = \sum_{k=1}^{k_2} x_{jk}$$

gdzie:

k_1 -liczba łuków dochodzących do węzła *(j),*
k_2 -liczba łuków wychodzących z węzła *(j).*

Obliczenia prowadzi się dla profili kontrolnych, zamykających zlewnie. Bilans wodnogospodarczy powinien mieć charakter dynamiczny tzn. uwzględniać zmienność czasową danych wejścia (zasoby, potrzeby, zrzuty, zasady pracy…). Należy przy tym uwzględniać wzajemne relacje bilansu jakościowego i ilościowego wód powierzchniowych i podziemnych.

Przy nadwyżkach zasobów wody rozwiązanie wynika z prostego bilansu. Przy niedoborach określa się kombinację przepływów zgodnie z hierarchią użytkowania. Wtedy rozwiązaniem zadania sieciowego jest minimalizacja funkcji kryterialnej, która określa sumę strat spowodowanych niespełnieniem potrzeb uzytkowników lub niezapewnieniem wymaganych przepływów w rzece.

Praktyczne zastosowanie nie jest proste – problemem jest np. modelowanie potrzeb użytkowników retencjonujących wodę (nawadnianie, stawy rybne…) – zapotrzebowanie to jest bowiem zależne od zaspokojenia potrzeb w przeszłości (konieczne np. uwzględnienie retencji glebowej…).

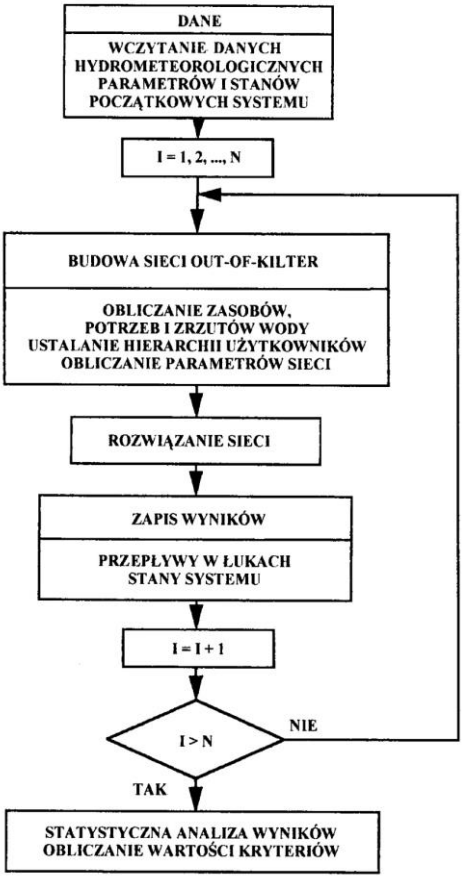
Ocena stopnia zaspokojenia potrzeb może być dokonana w oparciu o następujące kryteria:

- **gwarancję czasową,**
- **gwarancję objętościową,**
- **maksymalny czas deficytu,**
- **maksymalną "głębokość" deficytu**

Gwarancja czasowa określa częstość występowania przedziałów czasowych, w których zadanie zaopatrzenia w wodę zostało zrealizowane. Inaczej można ją wyrazić liczbowo jako stosunek liczby okresów w których potrzeby zostały spełnione do liczby okresów w których potrzeby były zgłaszane.
Gwarancja objętościowa określa stosunek sumy objętości poboru do sumy objętości zapotrzebowania.
Maksymalny czas deficytu określa czas trwania najdłuższego okresu deficytowego.
Maksymalna "głębokość" deficytu to największy okresowy niedobór wody w rozpatrywanym okresie.

Wykorzystanie jednolitego bilansu wodnogospodarczego oznacza potrzebę przeprowadzenia symulacji polegającej na wykonaniu obliczeń w kolejnych następujących po sobie przedziałach czasowych.
Łącznikiem pomiędzy kolejnymi przedziałami są nadwyżki wody w zbiornikach retencyjnych oraz użytkownicy pobierający wodę w jednym przedziale a odprowadzający w innym.

W każdej dekadzie w pierwszym kroku obliczane są wielkości pożądanych przepływów i potrzeb wodnych różnych użytkowników. Następnie określane są parametry łuków (z uwzględnieniem hierarchii ważności użytkowników). Następnie rozwiązywany jest problem rozrządu wody przy użyciu algorytmu programowania sieciowgo.
Na końcu oblicza się stany końcowe obiektów, które stają się stanem początkowym w następnej dekadzie.
W wyniku obliczeń (przy różnych parametrach systemu) uzyskujemy szereg wariantów obliczeniowych.
Wybór optymalnego jest złożonym problemem. Do jego rozwiązania wykorzystuje się metody optymalizacji wielokryterialnej.



RYSUNEK 67. Zasady prowadzenia obliczeń przy użyciu modelu symulacyjno-optymalizacyjnego: I – numer przedziału czasowego, *N* – liczba okresów objętych badaniami symulacyjnymi

ANALIZA SYSTEMOWA

System to zbiór obiektów wraz z relacjami (przyczynowo-skutkowe lub losowe) pomiędzy nimi oraz pomiędzy ich własnościami. Analiza systemowa pozwala na rozpatrzenie pracy określonego obiektu w powiązaniu z innymi, w celu podjęcia właściwej decyzji.
Pozwala na ocenę wpływu zmian w jakimś podsystemie na cały system.
Analiza systemowa jest wykorzystywana w różnych dziedzinach, również w gospodarce wodnej.
Procedury w analizie systemowej:

- sformułowanie problemu,
- wykrycie, opracowanie i selekcja wariantów,
- ustalenie stanu otoczenia (prognoza sytuacji),
- budowa modeli i ich wykorzystanie do przewidywania skutków,
- porównanie wyników i uszeregowanie wariantów.

W praktyce oznacza to:

- określenie celów,
- ocenę ekonomiczną (kosztów) rozwiązań,
- budowę modelu matematycznego,
- optymalizację i wybór wariantu najlepszego,
- opracowanie projektu i jego realizacja.

Analizę systemową można wykorzystywać w projektowaniu pojedynczych obiektów jak i dużych zespołów obiektów.
W gospodarce wodnej analizie poddaje się **systemy wodnogospodarcze** (układ obejmujący naturalne zasoby wodne - powierzchniowe i podziemne, obiekty hydrotechniczne i melioracyjne, obiekty użytkowników wód oraz powiązania pomiędzy nimi). W odniesieniu do rolnictwa określa się to mianem **systemu wodnomelioracyjnego**.

Każdy system wodnogospodarczy jest systemem sterowanym. Sterowanie polega na oddziaływaniu na przebieg procesów ilościowych i jakościowych. Sterowanie odbywa się zawsze w układzie zamkniętym.
Sterowanie może być realizowane:

- metodą sztywną (działanie w czasie wg stałych reguł, uzależnione od bieżącego stanu systemu),
- matodą elastyczną (wykorzystującą na bieżąco model optymalizacyjny).

W strukturze systemu wodnogospodarczego można wyróżnić pewne podsystemy.
Przykładowo:

- administrowania i planowania (instytucje powołane do nadzoru i kontroli użytkowników i konsumentów wody oraz planowania),
- sterowania (środki do sterowania i bieżącej kontroli podsystemów),
- techniczno - eksploatacyjny (obiekty hydrograficzne, inżynierskie oraz podmioty, których zadaniem jest utrzymanie tych obiektów w sprawności technicznej,
- informacyjny (gromadzący, przetwarzający i udostępniający informacje o gospodarce wodnej).

Optymalizacja jednokryterialna opisanie problemu równaniem matematycznym i znalezienie ekstremum takiego równania (np. min. strat lub max. zysk).
Przykład: ustalenie struktury upraw w gospodarstwie uwzględniające dostępną ilość wody, potrzeby poszczególnych upraw i dostępną siłę roboczą, w celu maksymalizacji zysku.
Optymalizacja wielokryterialna opisanie każdego z warunków równaniem matematycznym i znalezienie najlepszego rozwiązania ze względu na wszystkie równania razem. Przykładem może być poszukiwanie optymalnej wielkości zbiornika, który pozwoli na zminimalizowanie strat powodziowych (max. wielkość zbiornika), przy min. kosztów i min. oddziaływania na środowisko.