

WYKŁAD III

I. Klasyfikacja funkcjonalna planów gospodarki wodnej na zbiorniku

W zależności od celu, któremu ma służyć plan gospodarki wodnej, wyróżnia się dwa rodzaje planów:

1. Plan regulacji odpływu.

Opracowany jest na podstawie danych hydrologicznych z minionego wielolecia. Celem opracowania tego planu jest:

- ustalenie pojemności zbiornika,
- podział pojemności na warstwy funkcjonalne,
- określenie danych do wymiarowania urządzeń zrzutowych,
- ustalenie wytycznych do opracowania instrukcji eksploatacji zbiornika.

2. Plan regulacji operacyjnej

Odnosi się do regulacji gospodarką wodną na zbiorniku w warunkach eksploatacji. Na podstawie bieżących obserwacji hydrometeorologicznych i w ramach instrukcji gospodarki wodnej zbiornika określa się najkorzystniejsze warunki użytkowania wód i bezpiecznego odprowadzania ich nadmiaru w okresie przejścia fali powodziowej przez zbiornik.

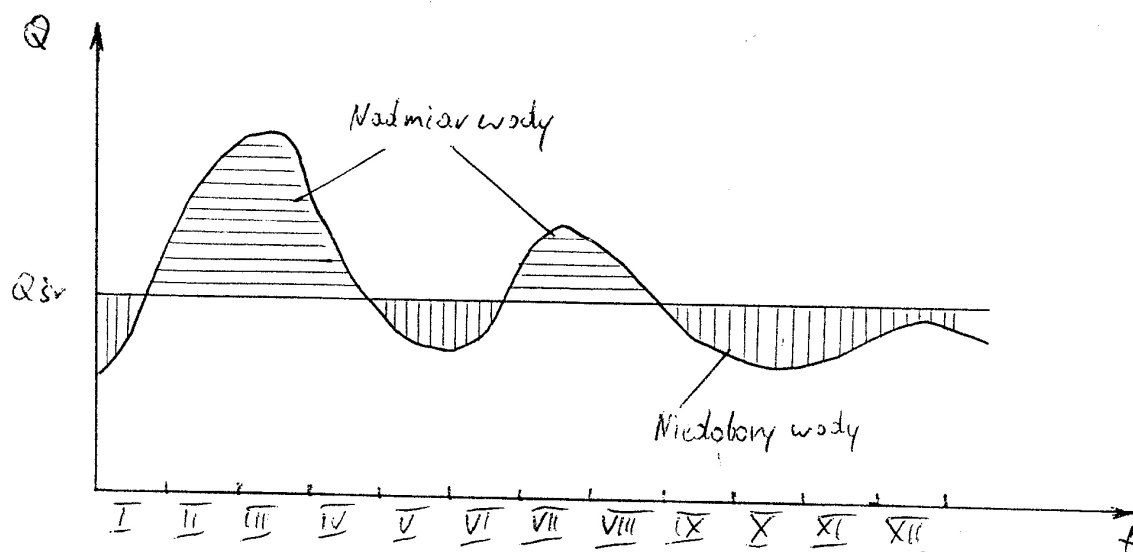
Ze względu na okresy wyrównania stosować można też inną klasyfikację:

1. Regulacja roczna

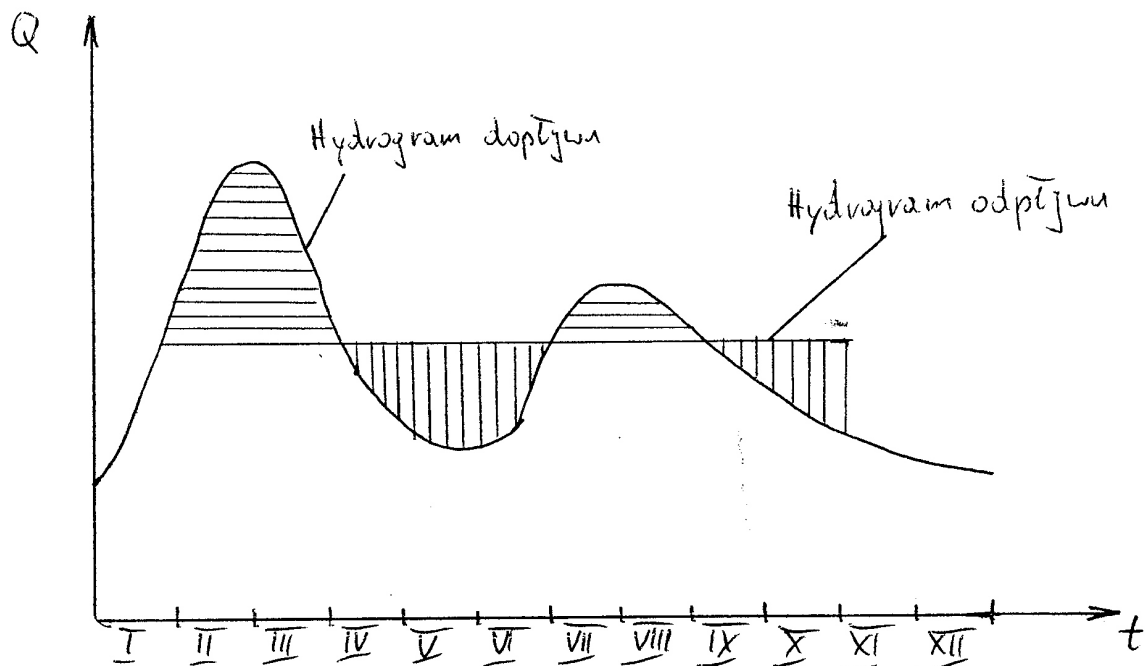
Polega na przetrzymaniu wody z okresu jej nadmiaru do okresów niedoborów, a proces wyrównania odpływu odbywa się w zamkniętym cyklu rocznym.

W zależności od czasu trwania okresu wyrównania odpływu w ciągu roku wyróżniamy:

- wyrównania roczne zupełne – polega na wyrównaniu na średni roczny przepływ.

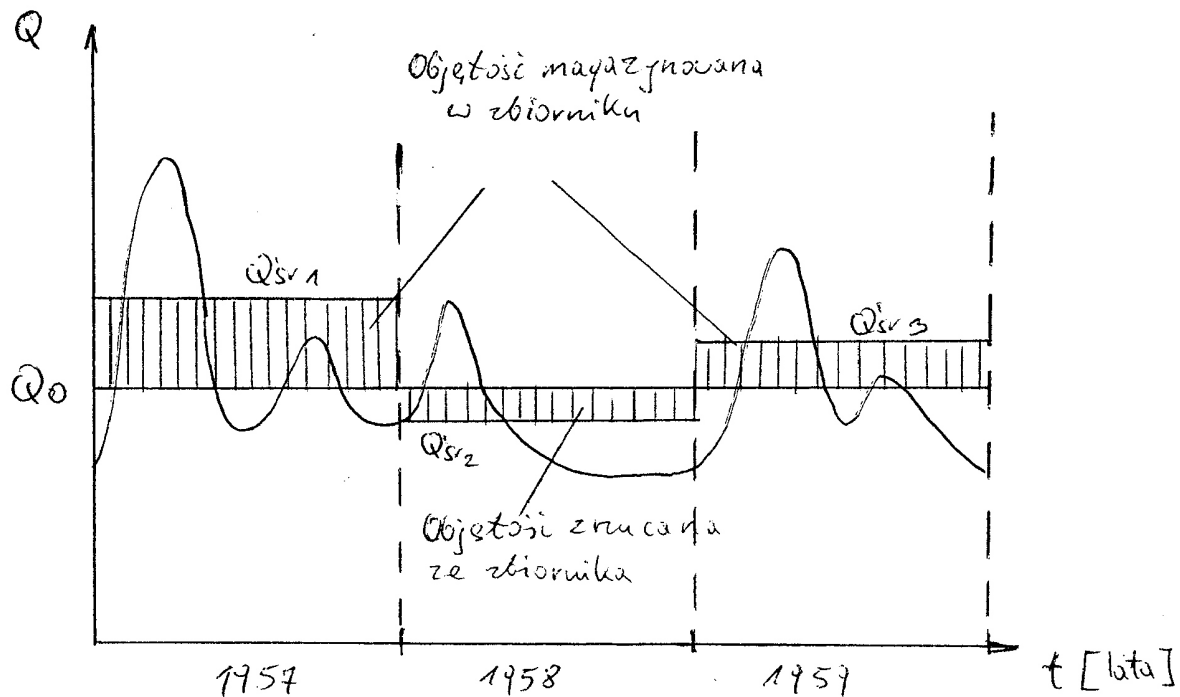


- Wyrównanie roczne niezupełne (sezonowe) – część nadmiaru wody zostaje zużyta na pokrycie części niedoborów np. największych lub leżących w sezonie zapotrzebowania.



2. Regulacja wieloletnia.

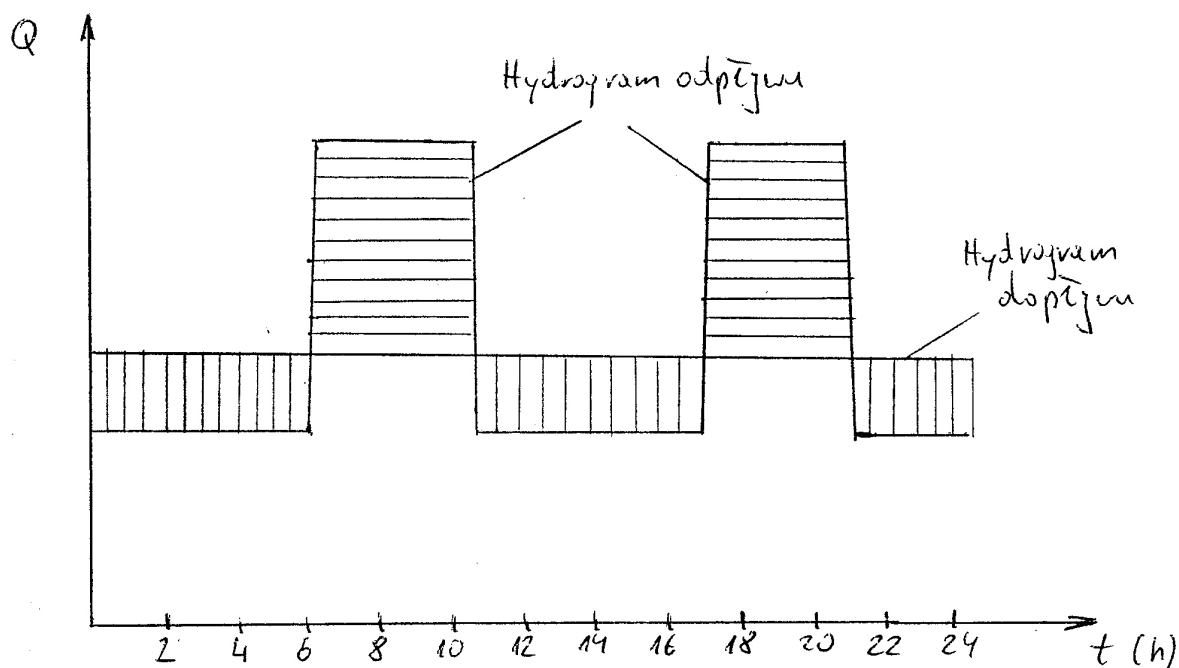
Polega na przetrzymaniu wód z okresów nadmiaru w latach mokrych do okresów niedoboru w latach suchych. Wyrównanie wieloletnie można w uproszczonej postaci przedstawić jako wyrównanie średnich rocznych odpływów Q_{sr} na średni odpływ wieloletni Q_0 .



Wyrównanie wieloletnie wymaga znacznie większej pojemności zbiornika niż wyrównanie roczne. Pamiętać należy, że wskutek długiego zalegania wody w zbiorniku zachodzą w niej przemiany jakościowe, które mogą być przyczyną jej dyskwalifikacji.

3. Regulacja dobowa odpływu.

Dotyczy przypadków gdy zapotrzebowanie wody zmienia się w ciągu doby. Przepływ w rzekach w ciągu doby traktujemy w praktyce jako stały, za wyjątkiem gwałtownych wezbrań na małych ciekach, stąd w tym przypadku zamieniamy stały dopływ na zmienny. Jest to proces odwrotny do regulacji rocznej lub wieloletniej.



Ze względu na krótki okres wyrównania pojemności zbiorników dobowych są one b. małe w porównaniu z pojemnościami zbiorników rocznych i wieloletnich.

4. Regulacja roczna lub wieloletnia kombinowana z dobową.

Występuje w przypadkach zbiorników wielozadaniowych. Dużą dobową zmienność zapotrzebowania na wodę charakteryzują się tacy odbiorcy jak wodociągi, energetyka wodna (szczytowa), częściowo rolnictwo. W tych przypadkach występuje sprzeczność między wyrównaniem rocznym, a dobowym. W regulacji dobowej zaangażowana jest cienka warstwa strefy użytkowej zbiornika o niewielkiej pojemności. Przy ustalaniu zasad długookresowej gospodarki wodnej na zbiorniku udział wyrównania dobowego może być pominięty.

II. Hydrologiczne podstawy planu gospodarki wodnej

Operat hydrologiczny powinien zawierać wszystkie dane niezbędne do opracowania planu gospodarki wodnej na zbiorniku z punktu widzenia projektu zbiornika i wytycznych do jego eksploatacji.

Operat dla zbiorników wodnych najczęściej zawiera:

1. Opis fizjograficzny zlewni zbiornika.

Zakres tego opisu zależy od materiału obserwacyjnego i metod obliczeń przepływu. W przypadku oparcia obliczeń na zlewni „analogu” niezbędna jest analiza porównawcza następujących elementów obu zlewni:

- warunków klimatycznych i fizjograficznych,
- temperatury,
- opadów,
- morfologii i geologii terenu,
- szaty roślinnej,
- występowania jezior itp.

W przypadku wystarczającej ilości danych obserwacyjnych ta część operatu może być ze względów ekonomicznych zawężona.

2. Wykaz wszystkich stacji pomiarowych zarówno meteorologicznych jak i hydrologicznych danej zlewni.

3. Zestawienie obserwacji wodowskazowych.

Przyjmuje się, że najkrótszy okres obserwacji wykorzystywanych dla celów gospodarki wodnej na zbiorniku wynosi ok. 15 lat. Przy krótszych okresach obserwacji lub przy braku obserwacji stosuje się metody tzw. zlewni „analogowej”.

4. Opracowanie ciągu przepływów.

Wykonuje się z wielolecia w okresach dekadowych. Ciąg ten stanowi podstawę obliczeń gospodarki pojemnością użytkową zbiornika.

5. Analiza probabilistyczna średnich rocznych przepływów.

Wykorzystywana do ustalenia gwarancji pokrycia zapotrzebowania na wodę poszczególnych odbiorców.

6. Opracowanie ciągu przepływów maksymalnych.

W ramach tego opracowania określa się:

- serię hydrogramów fal powodziowych

- kształt fal
- okresy występowania

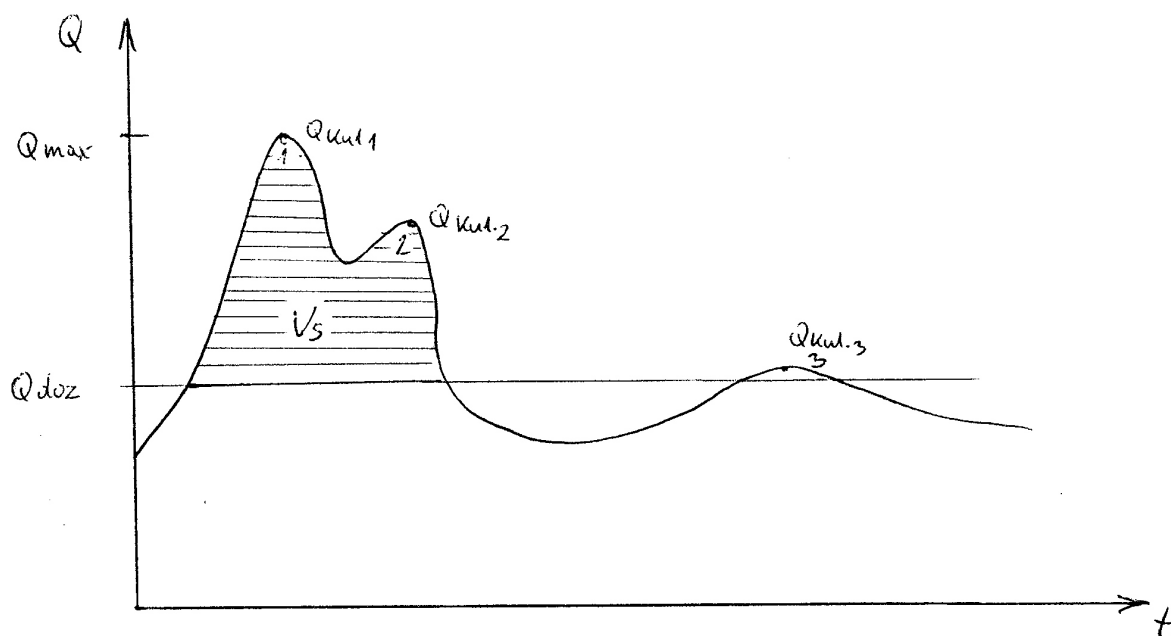
Na podstawie tych danych projektuje się pojemność rezerwy powodziowej, ustala się wytyczne gospodarki wodnej w okresie powodzi. W przypadku braku odpowiednich obserwacji konstruuje się hydrogramy charakterystycznych fal analitycznie.

7. Analiza probabilistyczna przepływów maksymalnych.

Celem tej analizy jest określenie wartości przepływów:

- miarodajnego,
- kontrolnego.

Na bazie serii hydrogramów fal powodziowych wyznacza się krzywe prawdopodobieństwa pojemności szczytów fal V_s .



8. Obliczenie parowania z wolnej powierzchni wodnej.

Obliczenia transpiracji wykonuje się celem ustalenia strat wody w zbiorniku. Straty te w pewnych przypadkach mają wpływ na gospodarkę pojemnością użytkową.

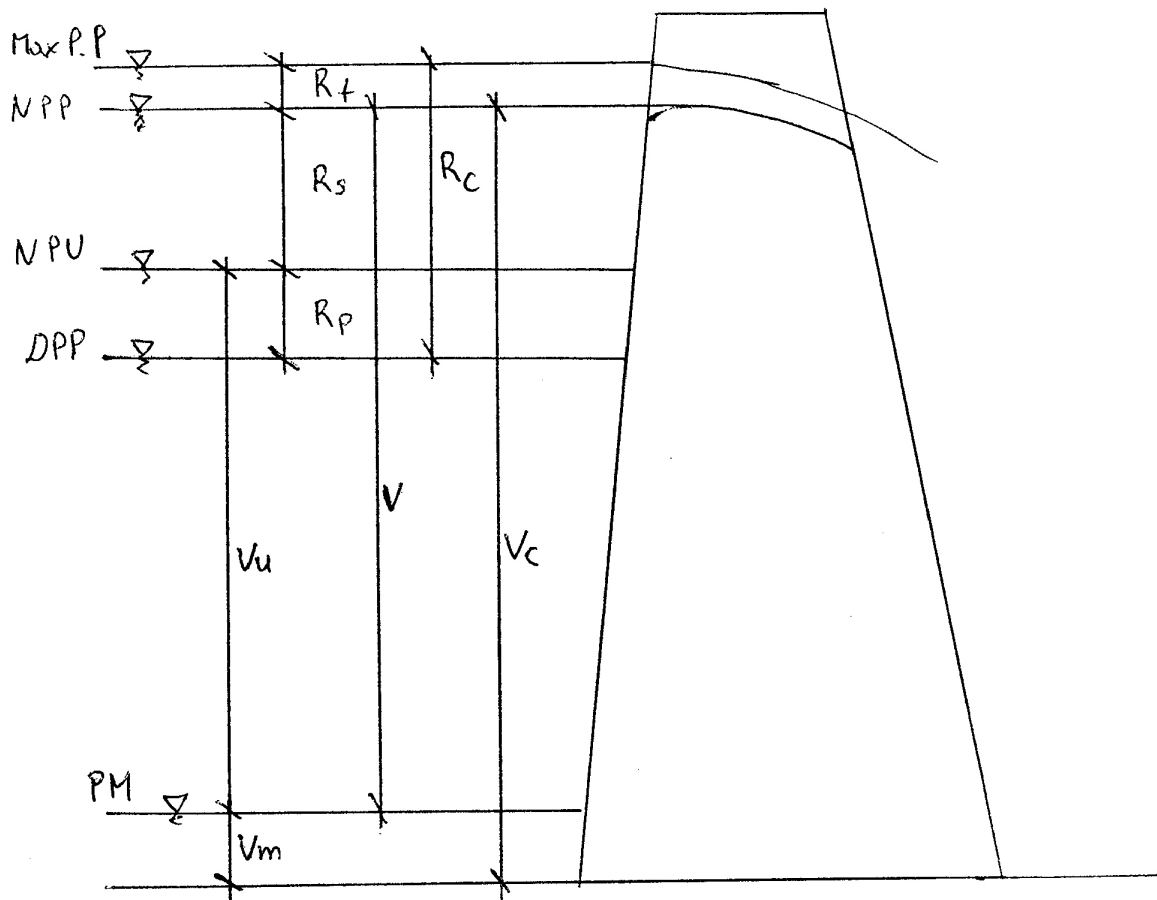
9. Filtracja ze zbiornika.

Obliczenia infiltracji wykonuje się celem ustalenia strat wody w zbiorniku. Straty te w pewnych przypadkach mają wpływ na gospodarkę pojemnością użytkową.

10. Ustalenie ilości i składu granulometrycznego rumowiska prowadzonego przez rzekę.

Badania transportu rumowiska są istotne z punktu widzenia oceny tempa zamulania czaszy zbiornika. Jest to istotne dla prognozy redukcji pojemności czynnej zbiornika.

III. Funkcjonalny podział pojemności zbiornika



PM – poziom martwy

DPP – dolny poziom rezerwy przygotowanej

NPU – najwyższy poziom piętrzenia użytkowego

NPP – normalny poziom piętrzenia

Max. PP – najwyższy poziom piętrzenia

V_m – pojemność martwa

V_u – pojemność użytkowa

V – pojemność zbiornika w normalnych warunkach eksploatacji

V_c – pojemność całkowita

R_p – rezerwa przygotowana

R_s – rezerwa stała

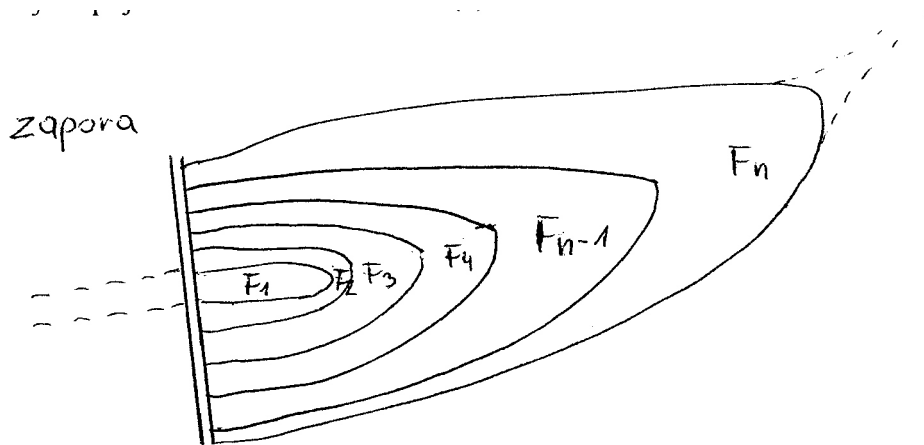
R_f rezerwa forsowna

R_c – całkowita rezerwa powodziowa

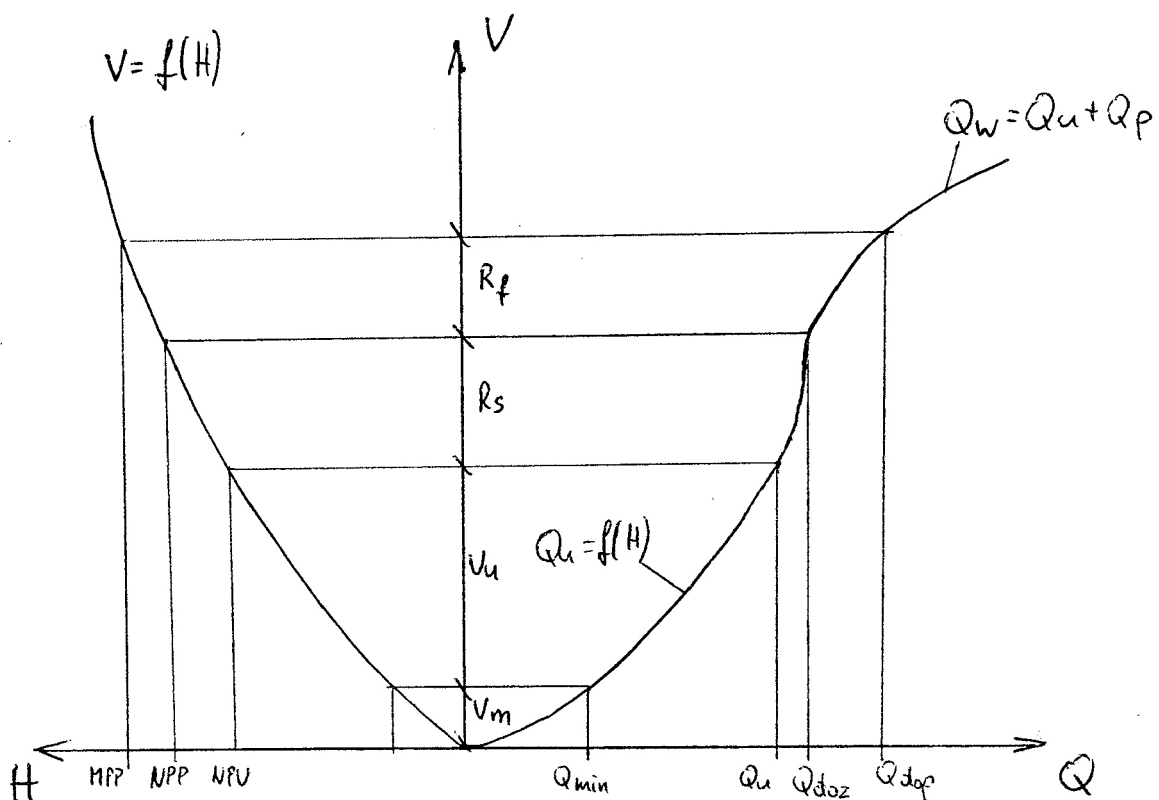
IV. Charakterystyki reżimu zbiornika

1. Charakterystyki morfologiczne czaszy zbiornika

- krzywa powierzchni zalewu $F = f(h)$
- krzywa pojemności zbiornika $V = F(h)$



Plan warstwowy czaszy zbiornika



Przyrosty objętości oblicza się z zależności:

$$\Delta V_i = \frac{\Delta h_i}{3} (F_i + \sqrt{F_i F_{i+1}} + F_{i+1})$$

Całkowita pojemność czaszy zbiornika V równa jest sumie przyrostów objętości.

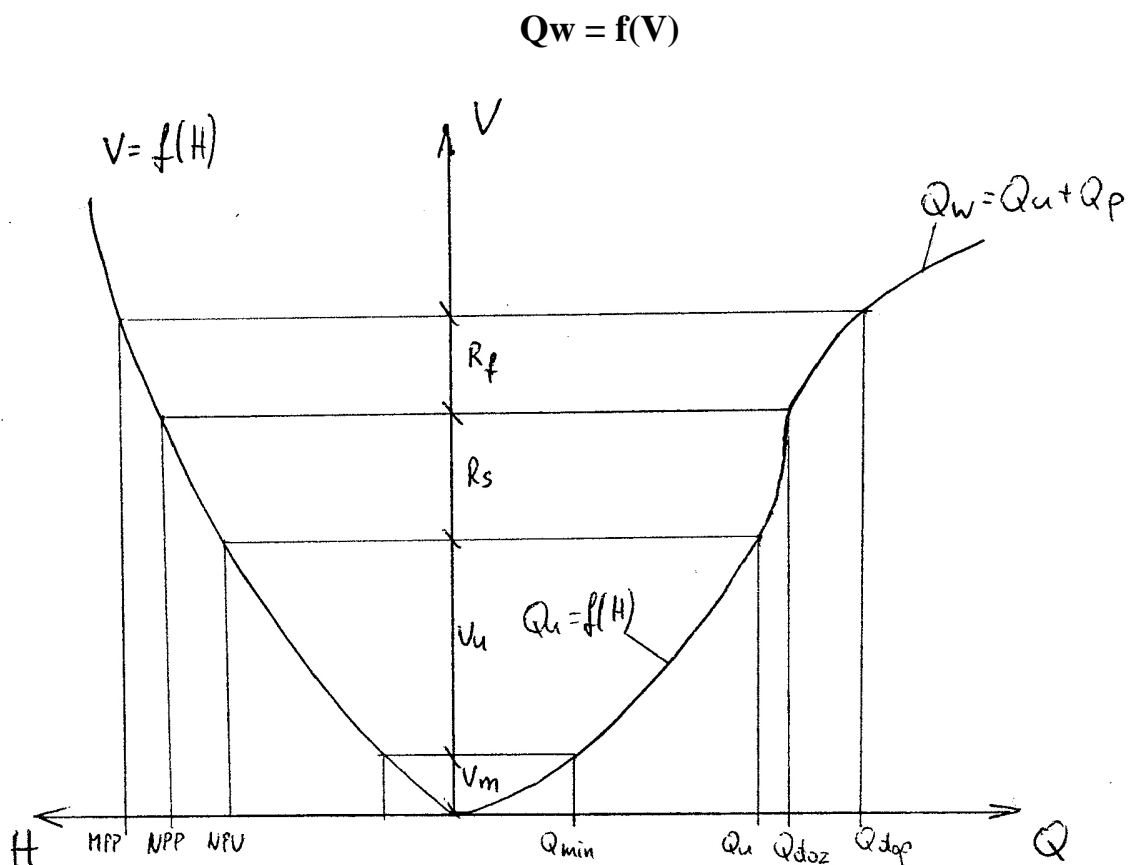
2. Hydrogram dopływu do zbiornika

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.

3. Krzywe wydatku urządzeń upustowych.

Krzywe wydatku urządzeń upustowych są to krzywe przedstawiające wydatek urządzeń upustowych w funkcji wysokości zwierciadła wody $Q = f(h)$. Najczęściej urządzenia zrzutowe projektuje się w postaci upustów dennych i przelewów. Krzywe wydatku urządzeń upustowych charakteryzują pracę zbiornika w danych warunkach hydrologicznych.

Przy analizie przejścia fali powodziowej przez zbiornik opracowuje się zależność między wydatkiem urządzeń zrzutowych a pojemnością zbiornika.



Powyższy wykres opisuje schemat pracy zbiornika wyposażonego w upusty denne z zamknięciami ruchomymi i przelew stały (bez zamknięć ruchomych).

4. Przepływy i odpływy charakterystyczne ze zbiornika

a) Miarodajne przepływy maksymalne – ustala się w celu dokonania podziału pojemności zbiornika oraz zwymiarowania urządzeń zrzutowych zbiornika.

- Przepływ miarodajny ustala się dla gospodarki na zbiorniku w normalnych warunkach eksploatacji. Służy on do ustalenia pojemności rezerwy stałej. Zakłada się, że objętość szczytu fali powodziowej o przepływie kulminacyjnym równym przepływowi miarodajnemu Q_m zmniejszona o objętość zrzucałą przez upusty o odpływie dozwolonym Q_{doz} . zmieści się w zbiorniku do krawędzi przelewu.

$$R_s = V_m - V_j$$

gdzie: V_m – objętość szczytu fali powodziowej, V_j – część objętości fali powodziowej zrzucającej przez upusty do wielkości Q_{doz} .

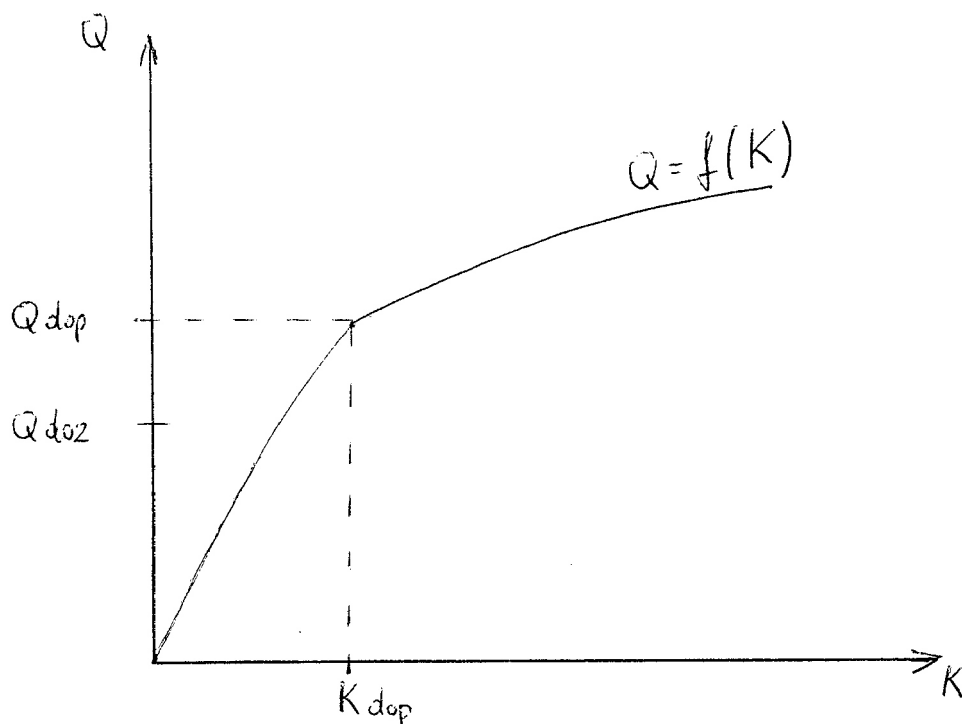
- Przepływ kontrolny Q_k – ustala się dla gospodarki na zbiorniku w nadzwyczajnych (katastrofalnych warunkach eksploatacji. Służy za podstawę do sprawdzania przyjętego podziału pojemności zbiornika oraz do wymiarowania urządzeń zrzutowych. Objętość szczytu fali V_k o przepływie kulminacyjnym równym przepływowi kontrolnemu, nie może spowodować podniesienia zwierciadła wody w zbiorniku powyżej maksymalnego poziomu piętrzenia. W tym przypadku objętość szczytu fali magazynowana w zbiorniku równa jest objętości całkowitej fali powodziowej V_k zmniejszonej o objętość zrzucałą w czasie przejścia fali powodziowej przez upusty i przelewy o natężeniu równym przepływowi dopuszczalnemu.

$$R_s + R_f = V_k - V_j$$

b) Miarodajne odpływy maksymalne. W okresie powodzi zachodzi często potrzeba odprowadzenia ze zbiornika dużej ilości wody. Woda ta musi być tak odprowadzana, by nie wyrządziła szkód w dolinie poniżej zbiornika. W tym celu wyznacza się odpływy dozwolone i dopuszczalne.

- Odpływ dozwolony Q_{doz} . – przepływ ten nie powinien wyrządzić żadnych szkód poniżej zbiornika. Za podstawę do jego określenia przyjmuje się wodę brzegową lub wielką wodę o prawdopodobieństwie 50% gdy wielkość wody brzegowej nie daje pełnej orientacji. Zrzut o wartości odpływu dozwolonego stosuje się, gdy przez zbiornik przechodzi fala powodziowa (miarodajna) o objętości odpowiadającej w przybliżeniu tej, która służyła do wyznaczenia rezerwy powodziowej stałej R_s . Przy zrzucie Q_{doz} fala powinna wypełnić zbiornik do górnej krawędzi przelewu.
- Odpływ dopuszczalny Q_{dop} – stosowany jest w przypadku nadejścia fali katastrofalnej (kontrolnej), która po wypełnieniu rezerwy stałej przepływa przez przelew. Na podstawie Q_{dop} wyznacza się pojemność forsowną zbiornika R_f . Przy tym odpływie woda występuje poza koryto rzeki i powoduje pewne szkody. Dlatego też przy wyznaczaniu Q_{dop} brany jest pod uwagę aspekt ekonomiczny. Wyznacza się w tym celu krzywą zależności między przepływem a kosztami szkód. Krzywa ta posiada z reguły załamanie,

powyżej którego koszty rosną gwałtownie przy małych przyrostach przepływu. Załamanie to określa maksymalną wartość Q_{dop} .



c) Miarodajne odpływy minimalne.

W okresie spracowywania pojemności użytkowej zbiornika przepływ w rzece nie może być całkowicie zatrzymany. Spowodowałoby to ujemne skutki dla reżimu rzeki, ogólnych warunków zagospodarowania doliny cieków poniżej zbiornika i względów ekologicznych. W tym celu powinny być uwzględnione następujące warunki spełniające kryteria ustalania miarodajnych odpływów minimalnych:

- zachowany powinien być tzw. „przepływ biologiczny”. W przeciwnym razie mogą zajść szkodliwe zmiany w biocenozie rzecznej tj. organizmach roślinnych i zwierzęcych żyjących w wodzie.
- zachowany powinien być tzw. „przepływ sanitarny”, który zapewnia właściwe rozcieńczenie zanieczyszczeń w rzece.
- zwierciadło wód gruntowych w dolinie rzeki nie może ulec zbyt niemu obniżeniu szkodliwemu pod względem gospodarczym.
- zachowany powinien być tzw. „przepływ nienaruszalny” tj. przepływ prawnie zagwarantowany.
- w przypadku rzek żeglownych powinien być zachowany „przepływ tranzytowy” tj. przepływ przy którym utrzymana jest wymagana głębokość tranzytowa.

Najwyższy z wyżej wymienionych przepływów przyjmuje się jako odpływ minimalny ze zbiornika. W praktyce może być ustalonych kilka wartości przepływów minimalnych zależnie

od takich okoliczności jak zmiana stanów wód gruntowych i przepływu biologicznego w zależności od pory roku, rytmiczności pracy zakładów przemysłowych, które wprowadzają ścieki do rzeki. W przypadku braku rozeznania co do warunków ustalenia przepływu minimalnego przyjmuje się go równym przepływowi minimalnemu z wielolecia NNQ o czasie trwania w przybliżeniu równym czasowi trwania zrzutów minimalnych.

V. Krzywa sumowa odpływu

Jest to krzywa, której rzędna każdego punktu wskazuje, jaka sumaryczna objętość wody przepłynęła przez dany profil od czasu początkowego do czasu określonego odcięcia tego punktu. Krzywą sumową wykreślamy na podstawie codziennych przepływów sekundowych dla różnych przedziałów czasowych: dobowych, pentadowych, dekadowych, miesięcznych. W przypadku przedziałów dobowych:

$$V_{dob.} = Q [m^3/s] \times 86\,400 [s]$$

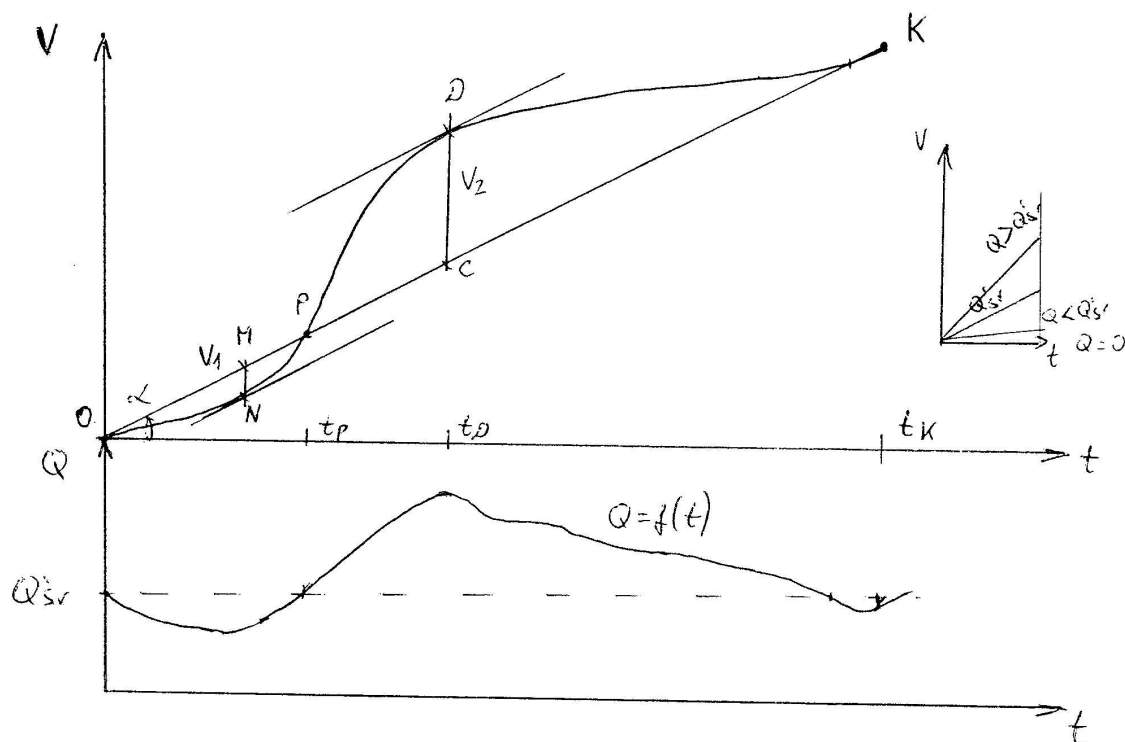
Krzywa sumowa jest krzywą całkową krzywej $Q = f(t)$ czyli hydrogramu przepływu:

$$V = \int Q dt$$

Różniczkując otrzymujemy:

$$Q = dV/dt = \operatorname{tg} \alpha$$

Styczne do krzywej sumowej w danym punkcie określają wartości przepływów w danym punkcie.



Prosta OK – jest linią stałego średniego odpływu Q_{sr} w ciągu badanego okresu

$$Q_{sr} = V_k/t_k = \text{tg } \alpha$$

Odcinek NM – oznacza pojemność V_1 potrzebną do wyrównania odpływu ze zbiornika do wartości Q_{sr} .

Odcinek CD – oznacza pojemność V_2 potrzebną do zmagazynowania nadmiaru wody w zbiorniku aby zredukować odpływ do wartości Q_{sr} .

Całkowita pojemność zbiornika wyrównującego odpływ do wartości Q_{sr} wyniesie:

$$V_K = V_1 + V_2$$

W praktyce czasami stosuje się krzywe sumowe w układzie skośnym.

VI. Gospodarowanie wodą na zbiorniku. Zbiorniki powodziowo – użytkowe

Dla tego typu zbiorników opracowujemy:

- gospodarkę wodną w okresie powodzi
- gospodarkę wodną użytkową

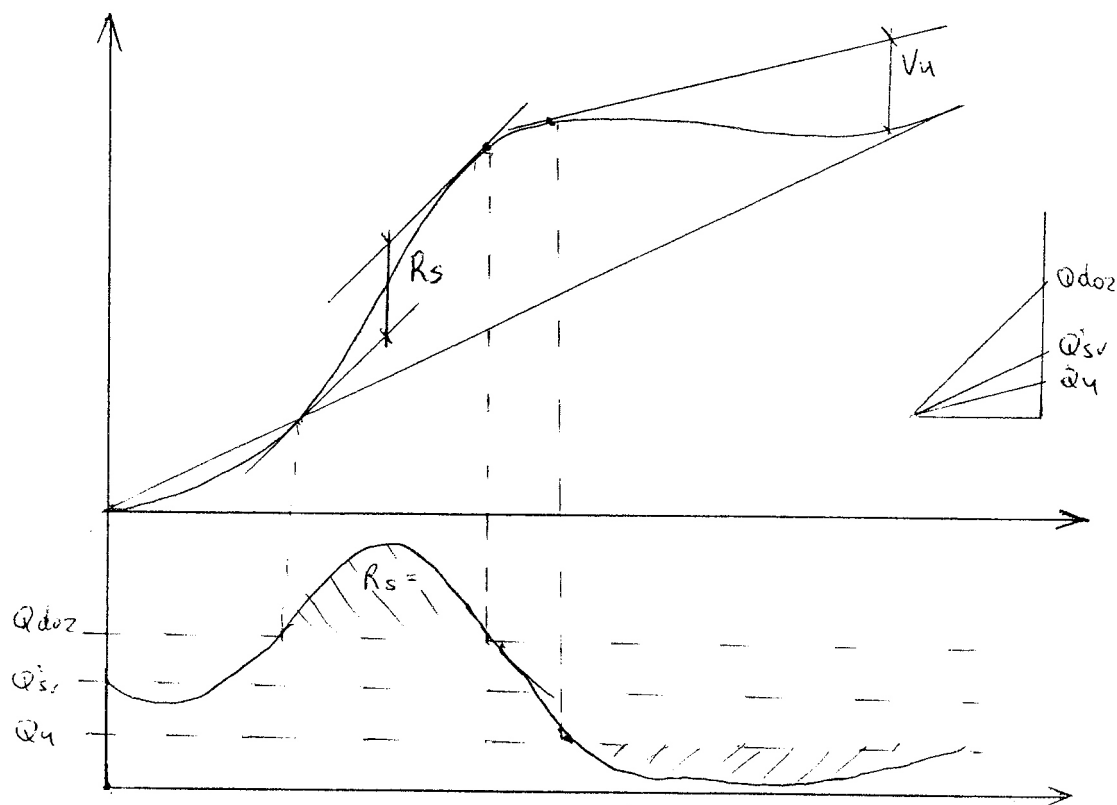
Schemat obliczeń obejmuje:

a) ustalenie pojemności martwej V_m

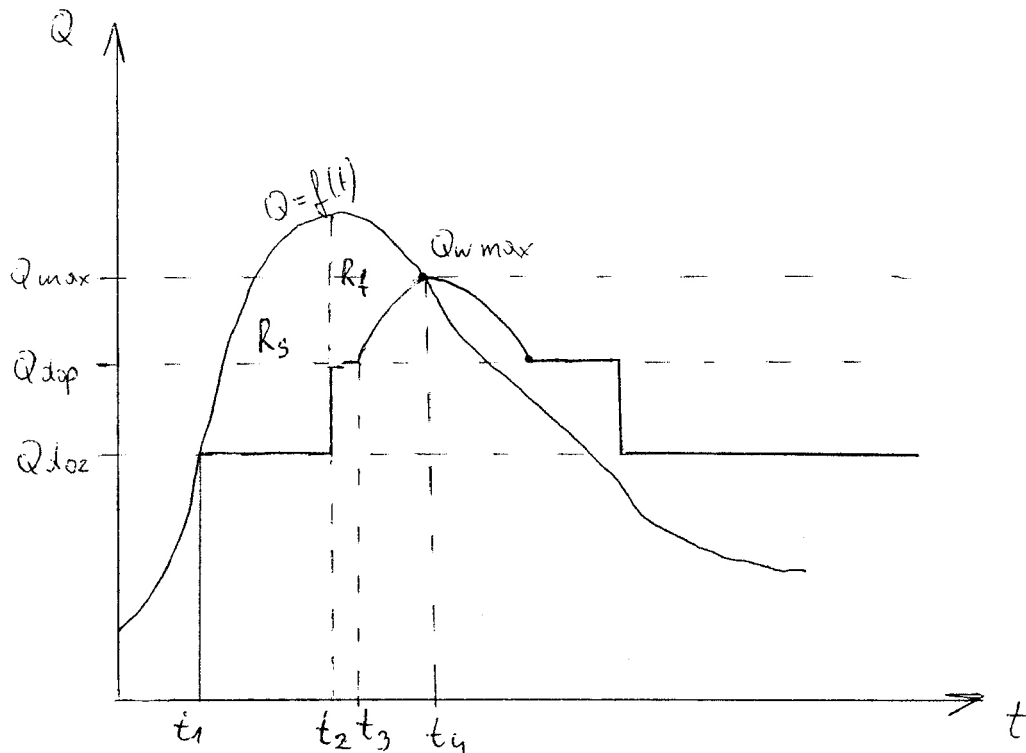
Pojemność martwa zbiornika uzależniona jest od następujących czynników:

- Kształtu czaszy zbiornika (może okazać się, że przy poziomie marywym powstają niekorzystne warunki eksploatacji zbiornika np. dla przewidywanej w zbiorniku hodowli ryb)
- Ruch rumowiska (o przyjęciu poziomu martwego może decydować ilość rumowiska jaka osadzi się w zbiorniku w okresie jego użytkowania)
- Funkcja jaką spełnia zbiornik (to kryterium stanowi właściwy punkt wyjścia do ustalenia pojemności martwej). W przypadku zbiorników rolniczych, z których pobierana jest woda do nawodnień, poziom martwy ustala się w ten sposób, aby możliwe było rozprowadzenie wody do obiektów nawadnianych.
 - ❖ Pobór wody do nawodnień może być dokonany za pomocą ujęcia do przepompowni i tłoczenia wody na pola nawadniane. W tym przypadku położenie najniższego zw. wody w miejscu ujęcia zależy od odległości kosza ssawnego od dna h_d , zanurzenia kosza pod zw. wody h_z . W związku z tym głębokość minimalna (martwa): $h_{min} = h_d + h_z$.
 - ❖ Innym sposobem poboru wody może być doprowadzenie wody w sposób grawitacyjny. W tym przypadku poziom martwy wyznacza się z warunku utrzymania minimalnego spadku niezbędnego do doprowadzenia wody do nawadnianych pól.

- ❖ W przypadku poboru wody z ciekłu poniżej zbiornika za pomocą ujęcia przy dolnym jazie poziom martwy oblicza się z warunku by przez upusty przeszedł odpływ gwarantowany do nawodnień Q_u oraz odpływ minimalny Q_n (nienaruszalny)
- b) wyznaczenie rezerwy powodziowej stałej R_s i forsownej R_f oraz wymiarów urządzeń zrzutowych.
- ❖ Przy obliczeniu pojemności rezerwy stałej R_s zakłada się, że powinna ona pomieścić miarodajną falę powodziową, przy czym odpływ ze zbiornika jest regulowany i nie przekracza odpływu dozwolonego Q_{doz} . W praktyce na hydrogramie fali miarodajnej wykreśla się Q_{doz} i poprzez planimetrywanie (scałkowanie po czasie) wyznacza się objętość szczytu fali powyżej przepływu Q_{doz} . Taki sam zabieg wykonać można na krzywej sumowej wyznaczając prostą o nachyleniu Q_{doz} i szukając punktów styczności tej prostej z krzywą różnica między dwiema prostymi równoległymi stanowi poszukiwaną wartość R_s .



- ❖ Obliczenia pojemności rezerwy forsownej polega na ustaleniu do jakiego poziomu wypełni się zbiornik przy przejściu fali katastrofalnej dla danych urządzeń zrzutowych. Uzyskane wyniki stanowią podstawę do obliczenia R_f i ostatecznego ustalenia wymiarów urządzeń zrzutowych. Obliczenia najwygodniej wykonać na podstawie analizy przejścia fali katastrofalnej.



c) ustalenie pojemności użytkowej V_u

$$V_u = V_c - (R_s + V_m)$$

- d) ustalenie sposobu i wyznaczenie rozmiarów pokrycia zapotrzebowania odbiorców oraz zwymiarowanie urządzeń roboczych dla gospodarowania pojemnością użytkową
- e) wyznaczenie rezerwy przygotowanej. Rezerwa ta powstaje przez częściowe opróżnienie pojemności użytkowej przed nadejściem fali powodziowej. Zbiornik opróżnia się stosując odpływ równy odpływowi dozwołonemu Q_{doz} . Od wielkości Q_{doz} i czasu trwania zrzutu zależą pojemność warstwy przygotowanej. Czas zrzutu zależy od czasu uprzedzenia T_p , który zależy od organizacji prognozy (osłona hydrologiczna zbiornika). Czas uprzedzenia T_p przyjmuje się równy czasowi przejścia fali od stacji obserwacyjnej do przekroju zbiornika. Jako kryterium ustalenia momentu uprzedzenia przyjmuje się chwilę gdy poziom wody w rzece przekroczy pewną wielkość krytyczną, a w związku z tym przepływy wody w rzece przekroczą pewną wielkość krytyczną.
- f) kontrola wszystkich faz pod kątem widzenia funkcji użytecznych i ochronnych zbiornika