

z lat poprzednich dają jednak wskazówki: w jakich porach roku jak wielkich ilości dopływu można się spodziewać oraz poniżej jakiego minimum można z wielkością odpływu nie schodzić, nawet w roku najsuchszym, jak również jakiego maximum można się spodziewać w roku wyjątkowo mokrym. Te wielkości graniczne są niemal zupełnie dokładnie ustalone na podstawie wykresów z dość długiego okresu lat ubiegłych.

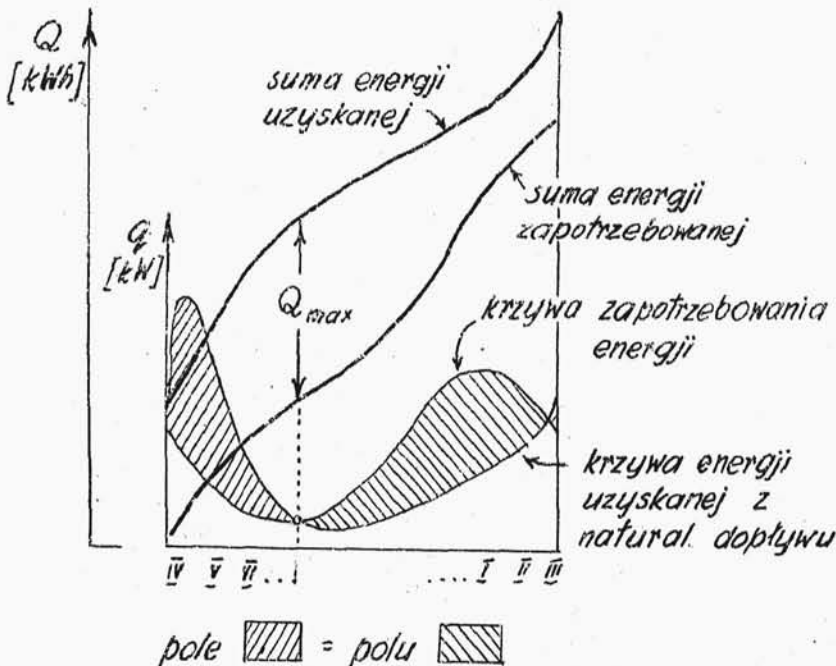
GOSPODARKA WODNA NA POSZCZEGÓLNYCH ZBIORNIKACH.

W poprzednim rozdziale dla wyjaśnienia podstaw gospodarki wodnej na zbiorniku mowa była stale o jednostajnym odpływie ze zbiornika, co odpowiadało równomiernemu zapotrzebowaniu wody. W rzeczywistości zapotrzebowanie nigdy nie jest równomierne. Zmienność zapotrzebowania powoduje, że linja " odpływu " nie będzie prostą lecz krzywą, inną w wypadku zasilania kanału żeglugi lub wodociągów, a inną w razie obsługiwaniania zakładu wodnoelektrycznego.

Poszczególne te wypadki zostaną omówione poniżej.

Zbiornik dla
zakładu wodnego.

Krzywe przedstawiające wahania zapotrzebowania energii elektrycznej w ciągu roku i wahania rozrządzalnej energii /dopływającej wody/ oraz krzywe całkowite tych dwóch krzywych przedstawione są na rys.56.



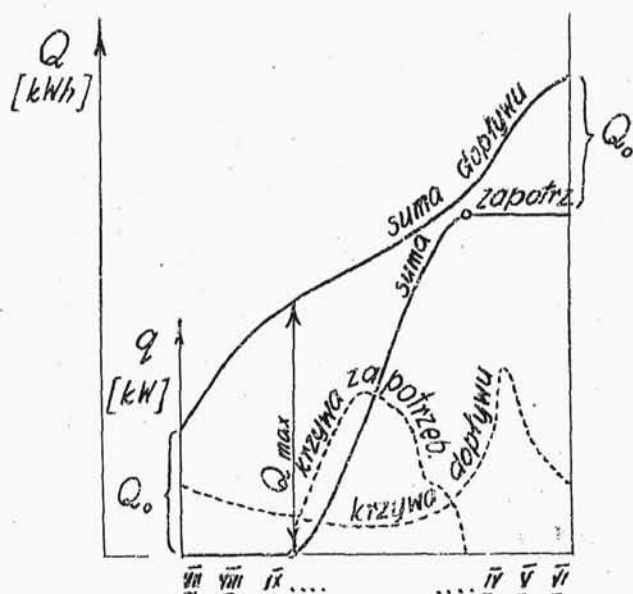
rys. 56.

Pojemność zbiornika określona jest odcinkiem rzędnej zawartym między krzywami całkowymi i jednocześnie przechodzącym przez punkt przecięcia się

krzywych wahań zapotrzebowanej i uzyskiwanej energii.

Dla zakładu, kryjącego zimowe zapotrzebowanie energii, w okresie czasu, gdy zakłady /korzystające zwłaszcza z wody lodowcowej/ produkują najmniejsze ilości energii, a tymczasem jej zapotrzebowanie jest największe, wykres gospodarki wodnej przedstawiony jest na rys. 57. Największą pojemność określona jest tu odcinkiem

rzędnej między krzywami całkowymi, poprowadzonym w punkcie rozpoczęcia się zapotrzebowania energii elektrycznej.

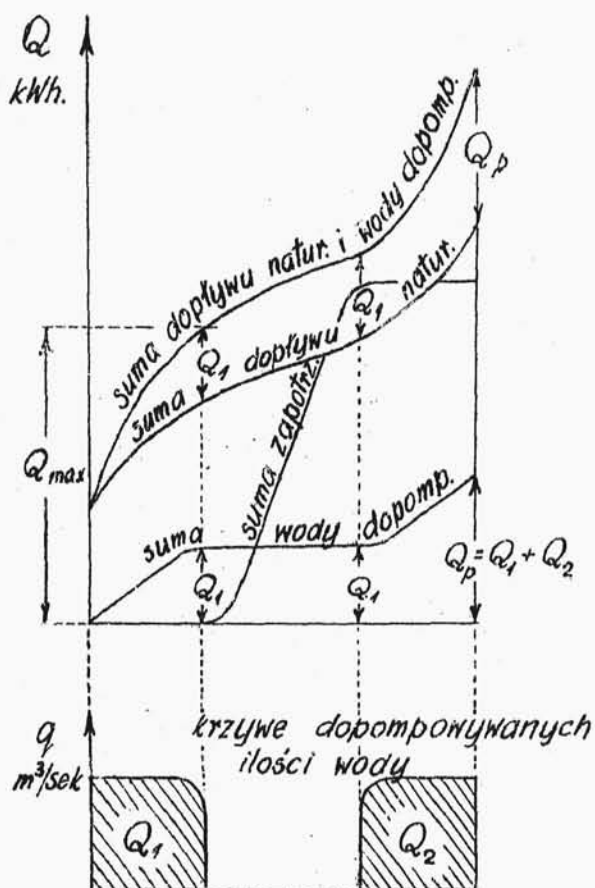


rys. 57.

Pojemność zbiornika wypadła największa wtedy, gdy zbiornik skończył się napełniać wodami letnimi i zakład zaczął pracować.

Takie wykresy ułożone obok siebie robi się dla

szeregu lat, aby wyeliminować wpływ wahań ilości dopływającej wody w latach suchych i mokrych.



rys. 58.

Jeśli zakład zbiornikowy ma zbiornik o zbyt małym dorzeczu, ale warunki terenowe są korzystne dla budowy obszernego zbiornika, wtedy w okresie letnim można dopompowywać wodę do zbiornika /rys.58/, czerpiąc ją oczywiście z innego dorzecza i zużywając na pompowanie

zbywającą energję innych zakładów, niezbiornikowych.

W ten sposób pracuje dużo zakładów w Alpach, tam bowiem rzeki zasilane lodowcami prowadzą bardzo dużo wody latem i dają wówczas ten nadmiar energii,

który może być zużyty na dopompowanie znacznych ilości wody brakujących w zimie.

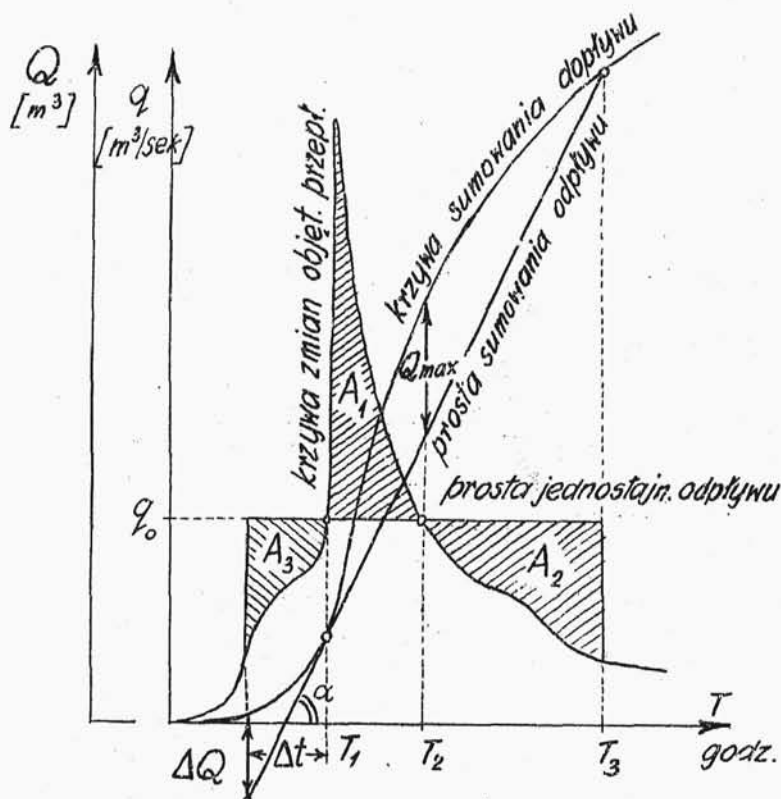
Z b i o r n i k d l a u j ę c i a
f a l i p o w o d z i o w e j .

Przebieg wezbrania /dla rzek górskich/ pokazany jest na rys. 13 i 14. Przebieg fali wezbrania musi być dokładnie znany. Odpowiedni wykres sporządza się na podstawie zaobserwowanych stanów wody bądź zanotowanych na taśmie limnigrafu, bądź bezpośrednio odczytywanych na wodowskazie, tak jednak często, by cały przebieg fali mógł być dokładnie wykreślony.

Znając związek między objętościami przepływającej wody a odpowiadającymi im stanami wody w rzece /określony krzywą konsumpcyjną/, można przejść od krzywej stanów wody do krzywej objętości przepływu wezbrania. Tę ostatnią krzywą całkujemy i otrzymujemy krzywą sumowania dopływu do zbiornika /rys.59/.

Następnie należy ustalić wielkość q_0 - tej największej objętości, którą poniżej zbiornika może rzeka pomieścić w swym korycie. Kreśląc na wykresie /rys.59/ prostą poziomą na wysokości rzędnej q_0 odcinamy pod krzywą zmian objętości przepływu pole A_1 ,

które oznacza objętość fali powodziowej $[m^3]$, która musi być zatrzymana w zbiorniku, aby zapobiec wystąpieniu rzeki z brzegów.



rys. 59.

Objętość q_0 m^3/sek możemy stale ze zbiornika wypuszczać zatem kreśląc prostą sumowania jednostajnego odpływu $/q_0/$, a więc prostą nachyloną do poziomemu pod α takim, że $tg\alpha = q_0$, przyczem w ten spo-

sób, by była ona styczna do krzywej sumowania dopływu i całkowicie przebiegała pod nią - otrzymamy poszczególne objętości napełnienia zbiornika jako różnice rzędnych obu krzywych sumowania oraz potrzebną największą pojemność zbiornika, odpowiadającą największej różnicy rzędnych.

Punkt styczności określa chwilę T_1 , w której zaczyna się napełnianie zbiornika spowodowane tem, że rzeką zaczyna przepływać objętość większa od nie-szkodliwej: Q_0 . Maximum napełnienia zbiornika Q_{max} wypada w czasie opadania fali wezbrania, w momencie T_2 gdy rzeką - gdyby nie było zbiornika - zaczynałyby już przepływać objętości mniejsze od Q_0 . W dalszym ciągu odprowadzając wodę nagromadzoną w zbiorniku, dojdziemy do chwili T_3 , w której zbiornik będzie już pusty, a korytem przepływać będą ilości naturalnego dopływu.

Pole A_1 odpowiada Q_{max} , czyli największej pojemności zbiornika, i jest równe polu A_2 , wskazującego na objętość oddawanej wody, która poprzednio została zamagazynowana.

Przez cały czas trwania wezbrania i po jego przejściu przez upust w zaporze przepuszczany ciągle

objętość Q_0 m³/sek aż do momentu całkowitego opróżnienia zbiornika /a więc w okresie czasu $T_1 \dots T_3$ /.

Jak to już wyżej było omówione /str.34/, można zawsze z pewną dokładnością oznaczyć zgóry czas Δt , w którym można rozpocząć opróżnianie zbiornika, uprzedzając wezbranie. Odcinając ten czas Δt na wykresie /rys.59/ wstecz od punktu styczności prostej sumowania odpływu z krzywą sumowania dopływu, otrzymujemy - jako różnicę rzędnych - tę objętość ΔQ wody, którą można wypuścić ze zbiornika przed nadejściem fali wezbrania, nie przekraczając dopuszczalnej, mieszczącej się jeszcze w korycie ilości Q_0 .

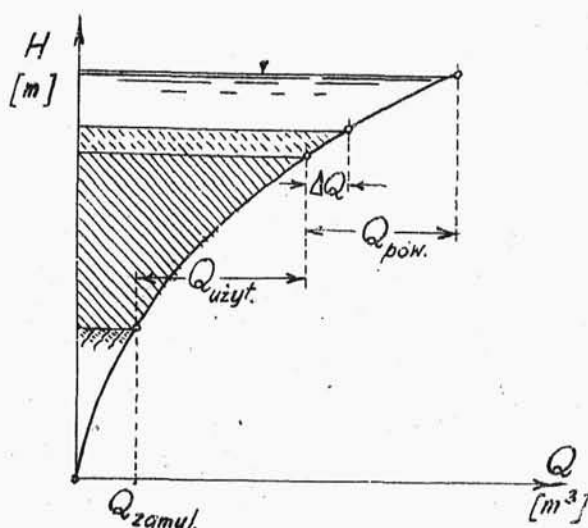
O objętość ΔQ można zmniejszyć pojemność powodziową zbiornika i przyłączyć ją do pojemności użytkowej. Objętości ΔQ odpowiada zakreskowane pole A_3 na rys. 59.

A zatem nawet w okresie, w którym powódzie się zdarzają, warstwa użytkowa może być powiększona o tę część warstwy powodziowej $[\Delta Q]$, którą można wypuścić ze zbiornika, uprzedzając nadejście fali powodziowej /rys.60/.

W ten sposób można zredukować objętość warstwy przeznaczonej wyłącznie na przyjęcie powodzi i jako

takiej przez dużą część roku straconej na cele użytkowe.

Wielkości Δt i ΔQ należy przyjmować ostrożnie, mniejsze niżby to wypadło z obliczeń i obserwacji.



rys. 60.

Z b i o r n i k i

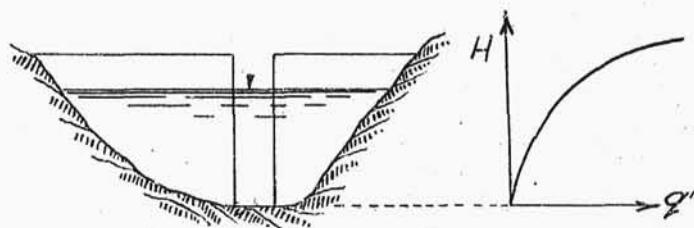
w y ł ą c z n i e p o w o d z i o w e .

Zbiorniki przeznaczone wyłącznie dla ujęcia fali powodziowej powinny otrzymać urządzenia do samoczynnego opróżniania zbiornika. Do wypuszczania ze zbiornika powodziowego ilości wody Q_0 służą

następujące urządzenia:

1. upusty otwarte,
2. upusty w dnie zbiornika,
3. przelewy,
4. lewary.

Upust otwarty ma krzywą konsumpcyjną /wydatku/ styczną do osi rzędnych i zdążającą asymptotycznie do prostej poziomej /rys.61/.

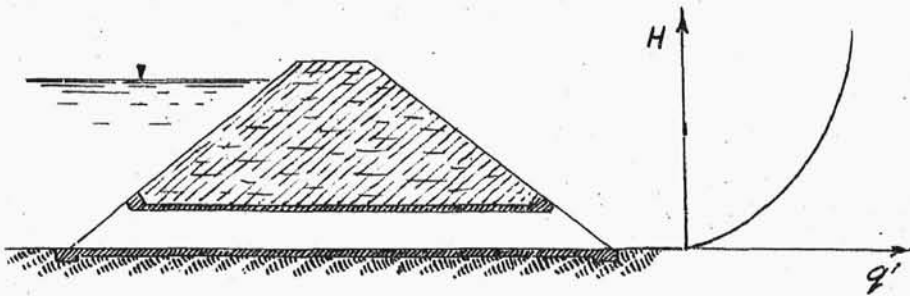


rys. 61.

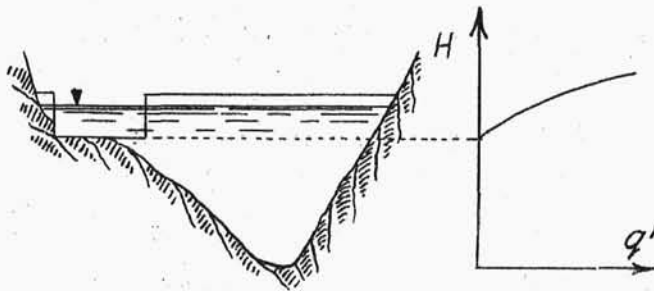
Ilości wypuszczanej wody rosną więc w geometrycznym stosunku w zależności od napełnienia zbiornika.

Dla upustu w dnie doliny /rys.62/ krzywa wydatku wykazuje początkowo szybki wzrost jednostkowego odpływu, dalej jednak przy wyższych poziomach piętrzenia wydatek dąży do ustalenia się na pewnej wartości.

Przelew /rys.63/ ma krzywą konsumpcyjną taką, jak upust otwarty, lecz którego próg jest umieszczony na pewnej wysokości nad dnem doliny.

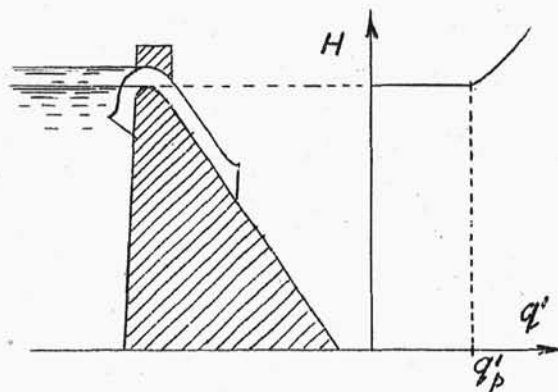


rys. 62.



rys. 63.

Lewary /rys.64/ mają podobną krzywą, jak upusty : wydatek ich rośnie wraz z piętrzeniem lecz nie od zera, jak przy upuście, a od pewnej znacznej wartości q'_p .



rys. 64.

Z porównania krzywych wydatku wynika, że do samoczynnego regulowania odpływu wielkiej wody ze zbiornika najodpowiedniejsze są tylko upusty w dnie, które przepuszczają odrazu większe ilości wody i następnie prawie ją ustalają na pewnej wartości mimo podnoszenia się zwierciadła wody w zbiorniku.

Celem obliczenia potrzebnej pojemności zbiornika dla zniżenia fali wezbrania do wartości Q_0 m³/sek, przeprowadza się następujące obliczenie.

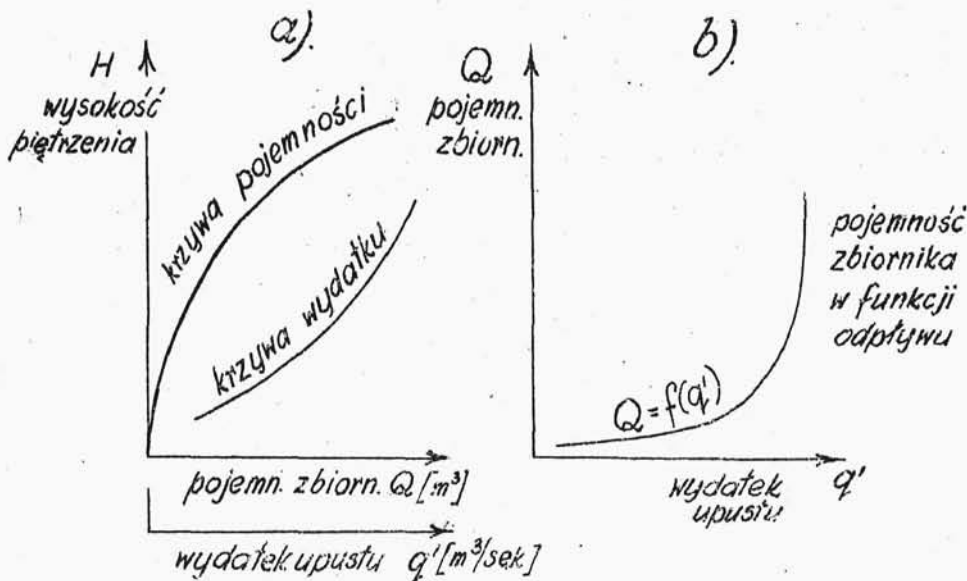
Zbiornik w określonym położeniu ma znaną krzywą pojemności. Dla upustu o przyjętych wymiarach można określić wydatek jego przy różnych poziomach piętrzenia. Krzywą wydatku oraz krzywą pojemności nanosimy na wspólny wykres /rys.65^a/. Na podstawie obu tych krzywych można wyznaczyć krzywą zmian wydatku upustu $/Q'/'$ w zależności od pojemności zbiornika $/Q/'$ /rys.65^b/.

Jeśli w okresie czasu T_1 dopłynęło do zbiornika Q_1 , a odpłynęło Q_1' /rys.66 na str. 104/, to ilość wody zatrzymanej w zbiorniku wynosi:

$$Q_{z1} = Q_1 - Q_1'$$

/oznaczenie Q_2 wprowadzone zostało dla lepszej przejrzystości następującego niżej wywodu; jest ono

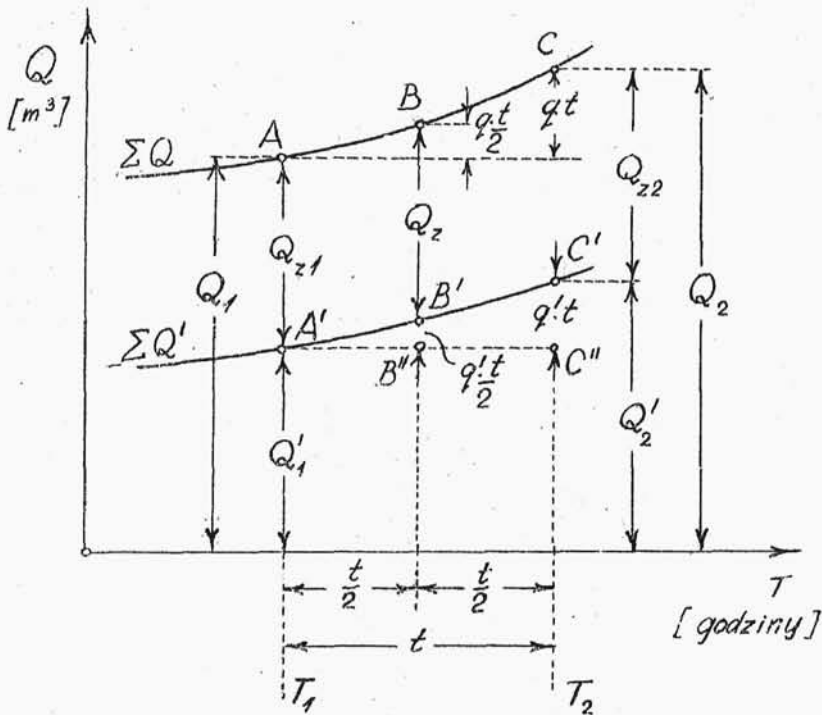
równoznaczne z poprzednio stosowanym symbolem Q dla oznaczenia pojemności zbiornika/.



rys.65.

W przeciągu przyjętego, dostatecznie krótkiego okresu czasu t / $t=1, 2, 3....$ godzin/ - dopływ powiększył się o q^t do wartości Q_2 /odpowiedni czas $T_2 = T_1 + t$ /, zaś odpływ powiększył się o $q't$ do wielkości Q'_2 . Jeśli okresy czasu t będą dostatecznie krótkie, to odcinki krzywych sumowania dopływu ΣQ i odpływu $\Sigma Q'$ będzie można uważać za proste. Chcąc jednak uczynić jak najmniejszy błąd, wynikający z takiego przyjęcia, przyjmujemy styczną do krzywej w środku okresu czasu t za miarodajne

pochylenie odcinka krzywej sumowania odpływu $\Sigma Q'$
/na rys.66 odcinka $A'C'$ /.



rys. 66.

Tak więc, przyjmując odcinki krzywych za proste, dochodzimy do następującej zależności w środku okresu t /rys.66/ :

$$Q_z + \frac{q'.t}{2} = Q_{z1} + \frac{q.t}{2};$$

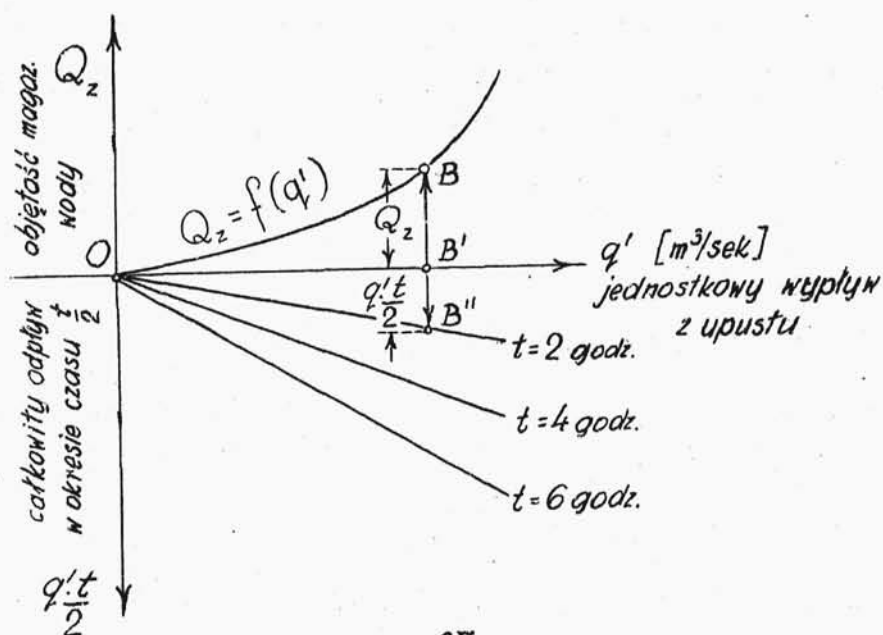
i w końcu okresu t :

$$Q_{z2} + q'.t = Q_{z1} + q.t;$$

W równaniach powyższych znane nam są wielkości dopływu sekundowego q w każdej chwili, a pojemność początkowa Q_z , jest znana jako objętość końcowa z poprzedniego okresu, wpierw już obliczonego. Można więc znaleźć przebieg krzywej sumowania odpływu, aby na tej podstawie ustalić objętość zbiornika.

W tym celu sporządzamy wykres podany na rys. 65^b, ustalający związek między wydatkiem upustu o pewnych przyjętych wymiarach a pojemnością zbiornika, i na tym samym wykresie wyrysujemy proste sumowania wydatku /wypływu z/ upustu dla różnych połówek okresu czasu:

$$\frac{t}{2} = \frac{1}{2}, \frac{2}{2}, \frac{3}{2} \dots \text{godz. /rys. 67/}.$$



rys. 67.

Jeśli weźmiemy teraz w cyrkiel rozmiar

$$BB'' = Q_z + \frac{q' \cdot t}{2};$$

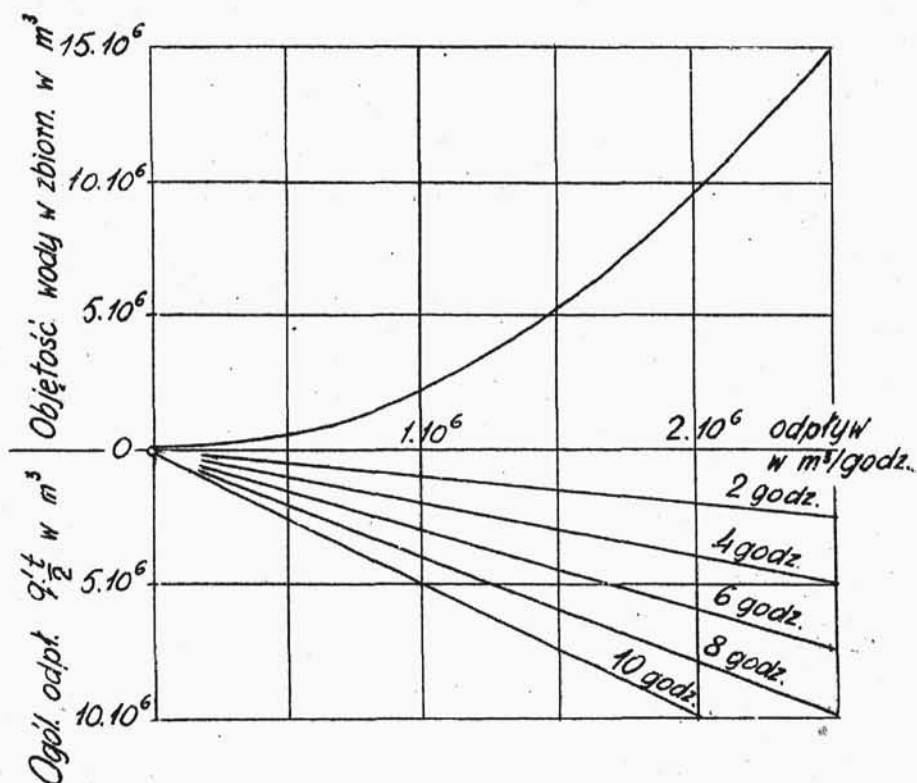
z rys.66, to znajdziemy ten sam rozmiar na wykresie 67 pomiędzy krzywą pojemności Q_z oraz prostą $\frac{q' \cdot t}{2}$ dla przyjętego okresu czasu t , odpowiadającego okresowi $T_2 - T_1 = t$ na rys.66 /na rysunku przyjęto $t = 2$ godz./.

Wymiar BB'' mieści się między wymienionymi krzywymi w odległości OB' od początku układu współrzędnych, czemu odpowiada ilość sekundowego odpływu q' oraz suma odpływu w czasie $\frac{t}{2}$ równa $\frac{q' \cdot t}{2}$, a w czasie t równa $q' \cdot t$. Odcinając obie te wartości sumarycznego odpływu na rys.66 od punktów B'' i C'' w górę, otrzymamy punkty B' i C' krzywej sumowania odpływu oraz zarazem nową pojemność zbiornika Q_{z2} po upływie czasu T_2 .

Przechodząc z sum do odpływów sekundowych, można wykreślić całą krzywą przebiegu odpływu /porów.rys.69/, regulowanego zbiornikiem o pojemności Q_{max} dla znanego przebiegu fali wezbrania oraz założonych wymiarów upustu. O ile q'_{max} i Q_{max} odbiegają od wartości dopuszczalnych q_o i $max.Q_{max}$, trzeba obliczenie powtórzyć dla nowych przyjętych wymiarów upustu i próbami ustalić ostateczne jego rozmiary.

Przykład.

Niżej /na str.108 i 109/ podane jest /w formie zestawienia/ obliczenie zbiornika powodziowego i upustu w Lockington /Stany Zjedn.Amer.Pół./. Wyniki obliczeń przedstawione są na rys.68 i 69.



rys.69.

okres	T_1	T_2	$t = T_2 - T_1$	zaobserwowany dopływ			$\frac{q \cdot t}{2}$
				Q_1 na począt. okresu „t”	Q_2 na końcu okresu „t”	$q = \frac{Q_1 + Q_2}{2}$ przeciętny	
	godz	godz	godz	m ³ /godz	m ³ /godz	m ³ /godz	m ³
0	0	0	0	¹⁾ 72 000	¹⁾ 72 000	72 000	-
1	0	7	7	72 000	216 000	144 000	504 000
2	7	13	6	216 000	346 000	281 000	843 000
3	13	17	4	346 000	521 000	434 000	868 000
4	17	21	4	521 000	1248 000	884 000	1768 000
5	21	25	4	1248 000	2600 000	1924 000	3848 000
6	25	31	6	2600 000	3020 000	2810 000	8430 000
7	31	35	4	3020 000	2850 000	2935 000	5870 000
8	35	41	6	2850 000	2060 000	2455 000	7365 000
9	41	46	5	2060 000	1800 000	1930 000	4825 000
10	46	53	7	1800 000	1404 000	1602 000	5607 000
11	53	60	7	1404 000	1082 000	1243 000	4350 000
12	60	70	10	1082 000	842 000	962 000	4810 000
13	70	80	10	842 000	653 000	748 000	3740 000
14	80	90	10	653 000	491 000	574 000	2870 000
15	90	100	10	491 000	381 000	438 000	2190 000

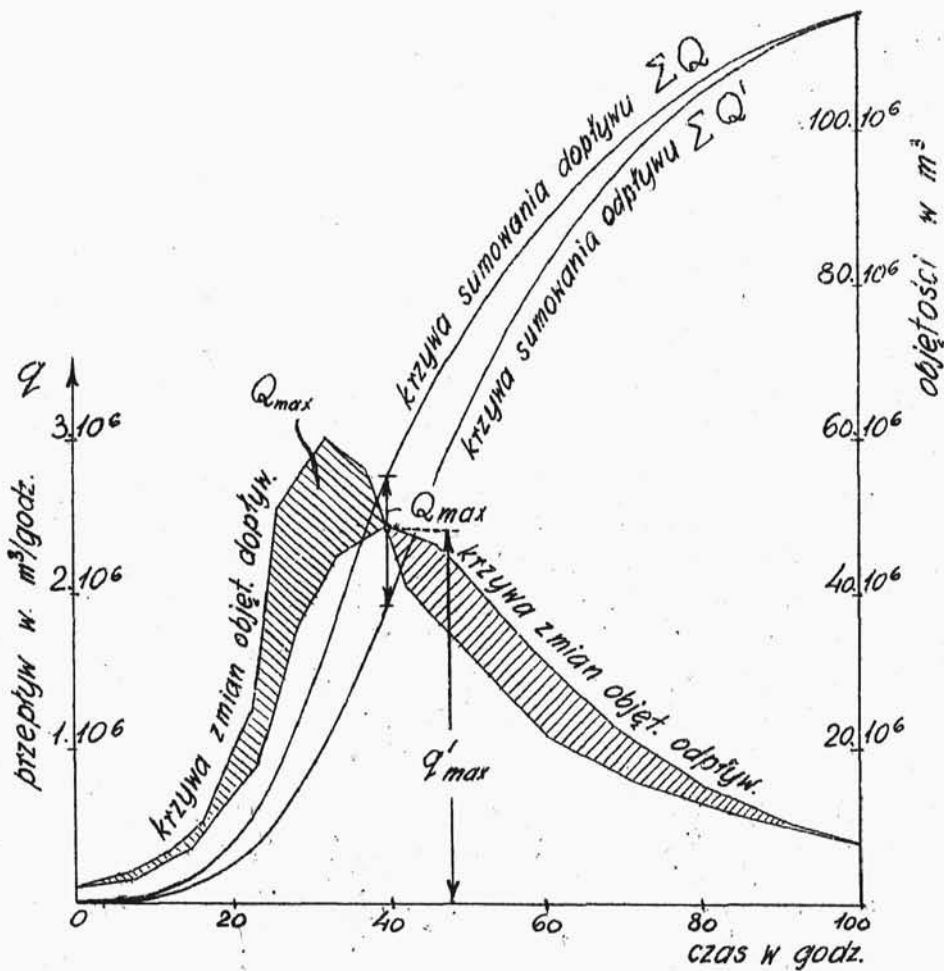
¹⁾ Dane z wykresu przebiegu zmian dopływającej wody.

²⁾ Objętość początkowa Q_{z1} w każdym okresie odpowiada objętości końcowej Q_{z2} okresu poprzedzającego. W okresie zerowym przyjęto $q' = q = 72\,000$ m³/godz, a tej wartości q' przy $t=0$ odpowiada $Q_{z1} = Q_{z2} = 50\,000$ m³ z rys.69.

pojemność początkowa Q_{z1}	$Q_{z1} + \frac{q \cdot t}{2} =$ $= Q_z + \frac{q' \cdot t}{2}$	przeciętny odpływ q'	$q' \cdot t$	pojemność końcowa $Q_{z2} =$ $= Q_{z1} + q't - q't_i$	stan wody w zbiorn. H
m^3	m^3	m^3/godz	m^3	m^3	m.n.p.m.
2) 50 000	50 000	3) 72 000	0	50 000	269,1
50 000	554 000	140 000	980 000	78 000	269,8
78 000	921 000	240 000	1440 000	324 000	271,4
324 000	1192 000	400 000	1600 000	460 000	271,7
460 000	2228 000	680 000	2720 000	1276 000	272,9
1276 000	5124 000	1140 000	4560 000	4412 000	275,2
4412 000	12842 000	1770 000	10620 000	10652 000	277,8
10652 000	16522 000	2230 000	8920 000	13472 000	278,3
13472 000	20837 000	2380 000	14280 000	13922 000	278,6
13922 000	18747 000	2310 000	11550 000	12022 000	278,0
12022 000	17629 000	2070 000	14490 000	8746 000	277,1
8746 000	13096 000	1720 000	12040 000	5406 000	275,8
5406 000	10216 000	1290 000	12900 000	2126 000	273,8
2126 000	5866 000	870 000	8700 000	906 000	272,3
906 000	3776 000	600 000	6000 000	646 000	272,0
646 000	2836 000	470 000	4700 000	326 000	271,4

3) Znalezione z wykresu na rys.68.

4) Określone na podstawie krzywej pojemności zbiornika /jak na rys.65 α /.



rys.69.

Dla przybliżonego ustalenia stosunku między pojemnością zbiornika a największym odpływem można przeprowadzić następujące obliczenie, zakładając, że objętość zbiornika wzrasta według formuły:

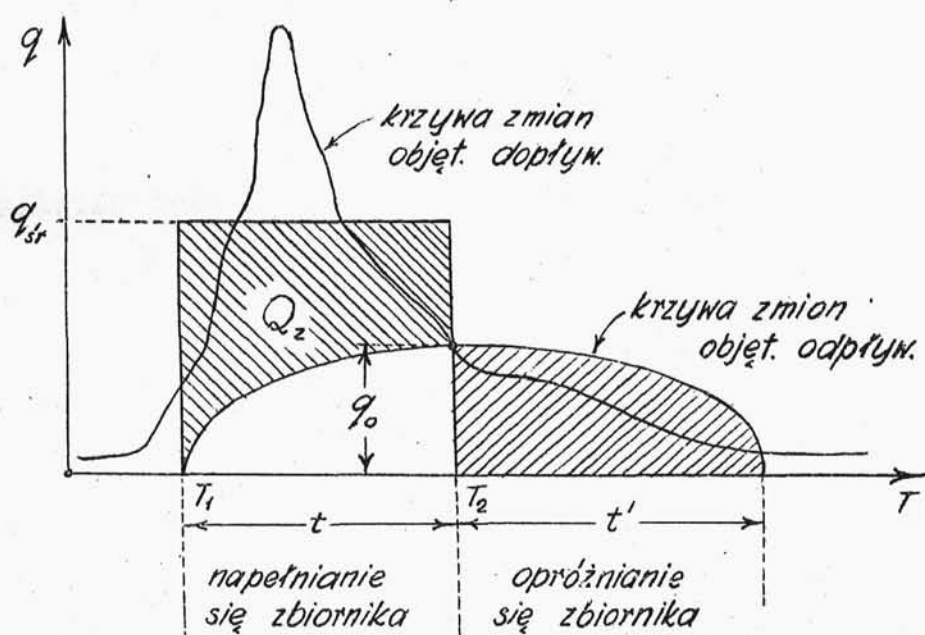
$$Q = \frac{2}{5} \cdot c \cdot H^{\frac{5}{2}};$$

/porów.str.52/ zaś odpływ z upustu rośnie w stosunku:

$$q' = c \cdot H^{\frac{5}{2}};$$

gdzie H jest wysokością piętrzenia w zbiorniku.

Zastępujemy zmienny dopływ wody do zbiornika dopływem równomiernym q_{sr} m³/sek, a odpowiadającą mu krzywą przepływu - prostokątem zastępczym. Krzywa odpływu podnosi się od zera do wartości q_0 , którą osiąga, gdy zbiornik przestał się już napełniać,



pole  = Q_z całkow. objęt. zamagaz. wody

pole  -- całkow. objęt. oddawanej wody = Q_z ;

rys.70.

a rozpoczyna się opróżnianie /rys.70/, /porów.rys.59 i odpowiednie objaśnienie na str.97./.

Krzywa zmian objętości odpływających przy tych założeniach i pewnych dalszych uproszczeniach będzie złożona z dwóch parabol o osi poziomej, odwróconych od siebie i przecinających się na rzędnej czasu T_2 , gdzie odpływ osiąga swą największą wartość q_0 /rys.70/. W czasie napełnienia się zbiornika można przyjąć odpływ - zamiast zmienny według parabol - za stały, równomierny o średniej wartości $\frac{5}{6} q_0$, zaś w czasie opróżniania zbiornika: $\frac{4}{5} q_0$ /rys.71/.

W ten sposób dochodzimy do zależności określającej pojemność zbiornika:

$$Q_z = q_{sr} \cdot t - \frac{5}{6} \cdot q_0 \cdot t,$$

oraz

$$Q_z = \frac{4}{5} \cdot q_0 \cdot t';$$

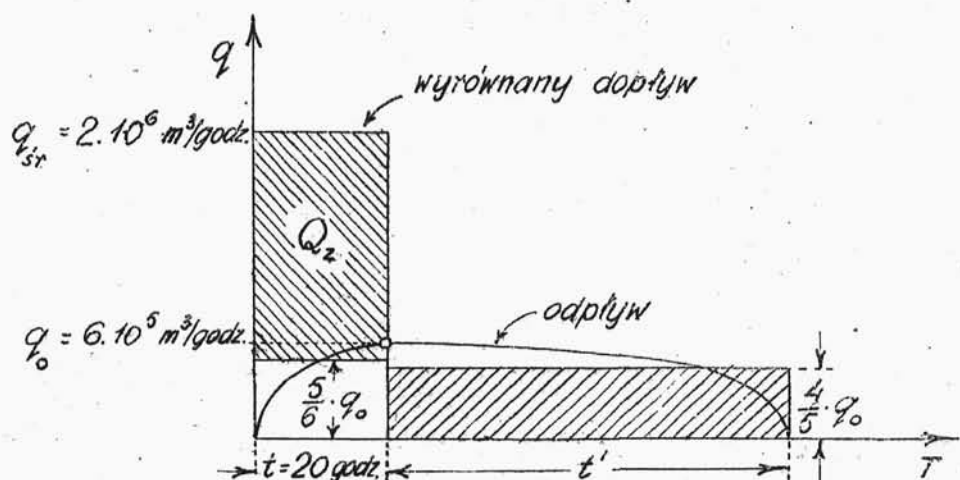
/porów.zakreskowane pola na rys.70 i 71/.

W równaniach tych znane jest q_{sr} , q_0 i t , można więc określić Q_z oraz t' , lub odwrotnie dla znanego Q_z można znaleźć q_0 .

Przykład.

Przez $t=20$ godz. dopływa do zbiornika przeciętnie po $q_{sr} = 2 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{godz}$. Koryto poniżej zbiornika

przyjmuje bez szkód powodziowych $q_0 = 600\ 000\ \text{m}^3/\text{godz}$
/porów.rys.71/.



rys.71.

Przeciętny odpływ w czasie napełniania się
zbiornika:

$$\frac{5}{6} \cdot q_0 = \frac{5}{6} \cdot 600\ 000 = 500\ 000\ \text{m}^3/\text{godz.}$$

całkowity odpływ wyniesie zatem

$$\left(\frac{5}{6} \cdot q_0\right) \cdot t = 500\ 000 \cdot 20 = 10 \cdot 10^6\ \text{m}^3$$

Ponieważ całkowity dopływ w tym czasie wynosi

$$q_{sr} \cdot t = 2 \cdot 10^6 \cdot 20 = 40 \cdot 10^6\ \text{m}^3$$

więc zamagazynowana pojemność wody wynosi

$$Q_z = q_{sr} \cdot t - \frac{5}{6} \cdot q_0 \cdot t = 40 \cdot 10^6 - 10 \cdot 10^6 = 30 \cdot 10^6\ \text{m}^3$$

w trakcie opróżniania się zbiornika przeciętny odpływ wynosi

$$\frac{4}{5} \cdot Q_0 = \frac{4}{5} \cdot 600\,000 = 480\,000 \text{ m}^3/\text{godz.}$$

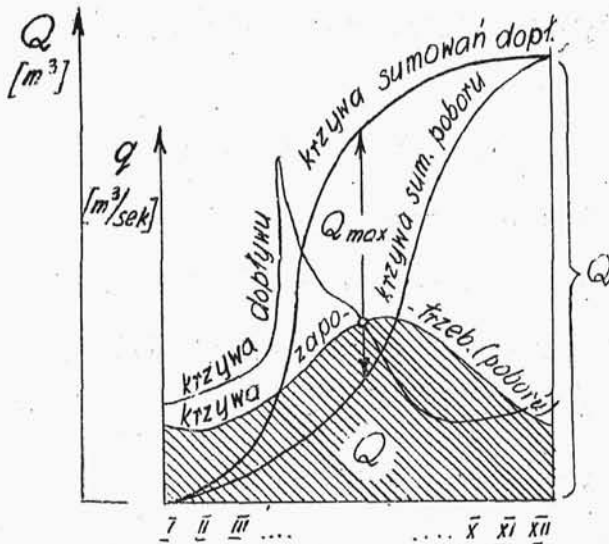
a czas całkowitego opróżnienia

$$t' = \frac{Q_z}{\frac{4}{5} \cdot Q_0} = \frac{30 \cdot 10^6}{480\,000} = 62 \text{ godz. } 30 \text{ min.}$$

Bliższe dane dotyczące obliczenia szczegółowego i przybliżonego: "Hydraulic of the Miami flood control project". Sherman M. Woodward /raport techniczny/.

Z b i o r n i k

d l a z a s i l a n i a w o d o c i ą g ó w .



rys.72.

Odpowiedni wykres gospodarki wodnej podany jest na rys.72. Wykres skonstruowany jest w ten sposób, że ogólna ilość dopływającej w roku wody odpowiada dokładnie zapotrzebowaniu.