

zapoczątkował na Renie Honsell a ulepszył Tein, usiłując związek między czasem przenoszenia się fali a położeniem stacji wodowskazowej ująć w formułę matematyczną, która miała kształt równania wykładniczego. Zasady metody wykreślnej przedstawiliśmy poprzednio na rys. 76.

Ogólny przebieg powodzi proponował Kleitz³³⁾ przedstawić w postaci związku między położeniem stacji wodowskazowej i czasem dla różnych objętości wody. Jeżeli objętości te od pewnego punktu ponownie maleją, otrzymamy krzywe zamknięte. Dla powodzi wiślanej z 1925 r. ten sposób przedstawienia podaje rys. 79.

6. Retencja

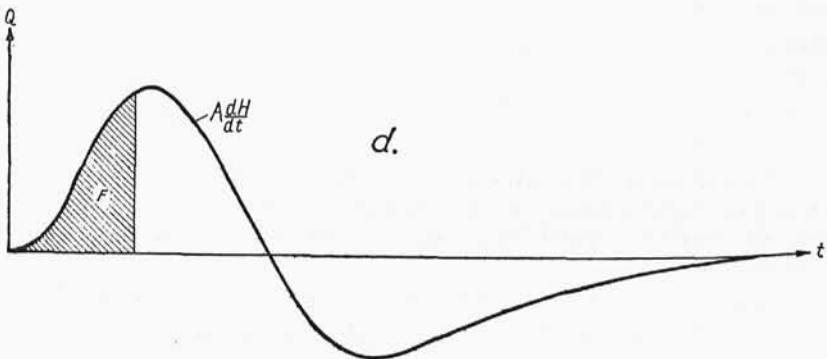
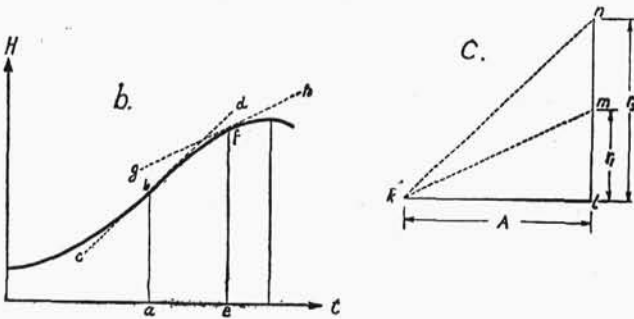
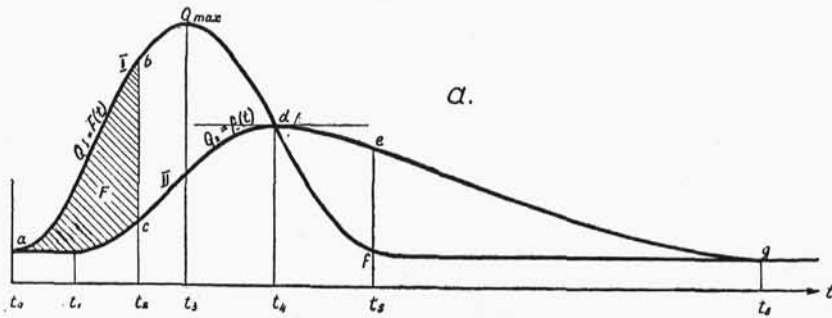
Z opisu przebiegu fali wezbrania wynika, że głównym czynnikiem zniekształcającym tę falę jest czasowe wstrzymanie spływających wód. Mówiąc o stosunku opadu do odpływu rozważaliśmy wpływ chwilowej retencji terenu i roślinności oraz długotrwałej retencji zimowej i gruntowej. Nie mają one wpływu na przekształcanie się fali powodziowej, badamy ją bowiem dopiero od chwili, kiedy spływ dosięgnął koryta ścieku. Natomiast dużą rolę odgrywa wspomniana już retencja koryta rzeki wraz z przyległym terenem zalewowym.

Mówiliśmy, że w czasie wezbrania następuje kolejne napełnianie się i opróżnianie koryta z wody czyli czasowe zatrzymanie pewnej ilości wody w korycie. Sam więc fakt wezbrania jest tu ściśle związany z retencją. Jeżeli jednak wszystkie przekroje rzeki będą jednakowe to tego rodzaju retencja nie spowoduje żadnej zmiany w kształcie fali powodziowej. Dopiero różnica w polu przekroju zmieni ilość zatrzymywanej wody w poszczególnych punktach rzeki a przez to i kształt fali wezbrania.

Jeżeli w przekroju I o polu A_1 przepływ wody Q_1 powiększy się w czasie dt o dQ_1 , a w sąsiednim przekroju II oddalonym o dl objętość Q_2 zmieni się o dQ_2 , to w czasie dt przepłynie w przekroju I ilość wody $\left(Q_1 + \frac{dQ_1}{2}\right) dt$ zaś w przekroju II: $\left(Q_2 + \frac{dQ_2}{2}\right) dt$.

$$\text{Stąd retencja} \quad r = dt \left[\left(Q_1 + \frac{dQ_1}{2}\right) - \left(Q_2 + \frac{dQ_2}{2}\right) \right] \quad (21)$$

³³⁾ Kleitz. Note sur la théorie du mouvement non permanent des liquides et sur son application à la propagation des crues des rivières, Annales des ponts et chaussées, Paris, 1877, II semestre.



Rys. 80a, b, c, d.
Retencja jeziorowa.

Przy wzbieraniu wody $Q_1 > Q_2$, czyli retencja będzie dodatnia, przy opadaniu $Q_1 < Q_2$, retencja będzie miała znak ujemny.

Najprostszym przykładem retencji jest jezioro, przez które rzeka przepływa. Na rys. 80a przedstawiono związek pomiędzy objętością przepływu powyżej i poniżej jeziora a czasem. Różnica pomiędzy

rzędniemi krzywej I i II daje objętość, o jaką w danej chwili odpływ różni się od dopływu. Powierzchnia „abc” daje objętość zatrzymaną w jeziorze w czasie od „t₀” do „t₂”. W punkcie przecięcia „d” obu krzywych po czasie „t₄”, retencja uzyskuje swoją wartość największą, od tej chwili objętość odpływu staje się większą od dopływu, czyli zbiornik zaczyna się opróżniać. Chcąc otrzymać wielkość retencji po czasie „t₅”, musimy od powierzchni „abdc” odjąć powierzchnię „def.” Retencja zniknie po czasie „t₆” z chwilą kiedy powierzchnia „degf” przedstawiająca opróżnianie się zbiornika zrówna się z powierzchnią „abdc”, jeżeli pominiemy straty wskutek parowania i wsiąkania. Znając powierzchnię jeziora A możemy wyrazić retencję mnożąc tę powierzchnię przez różnicę poziomu zwierciadła, jeżeli brzegi są dostatecznie strome. Ponieważ największej retencji odpowiada najwyższy poziom zwierciadła wody w zbiorniku, a przy tym poziomie będzie też największe napełnienie pola przekroju koryta odpływowego, przeto na tę chwilę przypada też maksimum odpływu a więc kulminacja krzywej II. Równocześnie jednak maksimum retencji zbiega się z punktem przecięcia „d” krzywej I i II. W punkcie zatem „d” styczna do krzywej odpływu będzie pozioma. Ponieważ przecięcie się obu krzywych nastąpiło w czasie znacznie późniejszym od kulminacji krzywej I przeto jest rzeczą jasną, że objętość przepływu przy wyjściu z jeziora będzie mniejsza niż przy wejściu. Musi więc nastąpić spłaszczenie fali wezbrania. Z porównania objętości dopływającej i odpływającej przy równoczesnym obniżeniu krzywej odpływu wynika konieczność przedłużenia podstawy fali wezbrania. Jest też rzeczą jasną, że obniżenie fali wezbrania będzie tym większe im później nastąpi przecięcie obu krzywych I i II, czyli im większa będzie retencja.

Przykład: Jezioro Bodeńskie o objętości 1,1 miliarda m³ opóźnia kulminację Renu o 3 do 4 dni i zmniejsza przepływ maksymalny z 6000 m³/sek na 1100 m³/sek. Jezioro Genewskie o objętości 700 milionów m³ zmniejsza przepływ Rodanu z 1200 na 575 m³/sek.

Znając przebieg wezbrania na dopływie i powierzchnię jeziora, możemy w każdej chwili oznaczyć odpływ ze wzoru.

$$Adh = Q_d dt - Q_0 dt$$

$$\text{stąd} \quad Q_0 = Q_d + A \frac{dh}{dt} \quad (22)$$

$Q_0 = Q_d$ jeżeli $\frac{dh}{dt} = 0$ a więc przy stycznej poziomej, tj. przy maksymalnym lub minimalnym stanie wody w jeziorze.

Rysując związek pomiędzy wysokością wody h w zbiorniku i czasem, otrzymamy krzywą, której styczna będzie przedstawiać

wartość $\frac{dh}{dt}$. Odmierzając na osi odciętych w odpowiedniej skali powierzchnię jeziora A i kreśląc równoległe „km” i „kn” do stycznych „cd” i „gh” w dowolnych punktach „b” i „f”, otrzymamy na prostopadłej rzędne $A \frac{dh}{dt}$ (rys. 80b, c), które przedstawiać będą powiększanie się retencji $r_2 - r_1$ w danej chwili.

Kreśląc związek pomiędzy objętością dopływu Q_d i czasem, a następnie odejmując rzędne $A \frac{dh}{dt}$ (obliczone jak wyżej), otrzymamy krzywą odpływu Q_0 . Jeżeli chodzi o sam przebieg retencji wystarczy nam wówczas związek pomiędzy retencją i czasem przedstawiony we współrzędnych jak na rys. 80d.

Nie tak prosto się rzecz przedstawia, jeżeli mamy teren zalewowy płaski, na którym woda szeroko się rozlewa, a powierzchnia zalewu A zmienia się ze zmianą poziomu wody płynącej całym przekrojem. W tym wypadku kształt krzywej odpływu jest zależny tylko od kształtu przekroju. Chcąc z krzywej dopływu określić przebieg krzywej odpływu musielibyśmy znać prawa, którym podlega zmiana powierzchni zalewu w miarę postępującego wezbrania. Prawo to rzadko da się ująć w formułę matematyczną.

Dla obliczenia retencji musimy więc mieć dwa związki przepływu z czasem, na początku i na końcu terenu zalewowego. Wówczas różnica pomiędzy objętością dopływającą i odpływającą da nam retencję chwilową, zaś suma różnic od początku wezbrania da stan retencji w danym czasie.

Objętość retencji możemy też obliczyć mając dokładne zdjęcie wysokościowe terenu zalewowego. Posługując się odczytami na obu wodowskazach i przyjmując prostolinijny spad zwierciadła wody, możemy obliczyć w przybliżeniu przy każdym stanie objętości wody, zatrzymane w korycie i na terenie inundacyjnym. Źródłem błędu jest różne w rzeczywistości ukształtowanie poziomu zwierciadła wody w poszczególnych punktach obszaru rentencyjnego.

W retencji jeziorowej przyjmowaliśmy ten sam poziom wody w całym zbiorniku wobec znacznej jego głębokości. W zalewie płytkim woda płynie z dużą prędkością. Stąd maximum krzywej odpływu nie będzie koniecznie odpowiadać maximum retencji. Na przecięciu krzywej Q_d i Q_0 nie będzie miała krzywa Q_0 stycznej poziomej, objętość dopływu może dalej wzrastać.

Podniesienie się poziomu fali powodziowej w przekroju dolnym poniżej terenu zalewowego możemy otrzymać w przybliżeniu w spo-

sób następujący. Jeżeli z pierwotnej powierzchni A_0 zalanej przy pewnym stanie wody odcieśliśmy przez obwałowanie obszar A_1 , to różnica $A_0 - A_1 = \Delta A$ pomnożona przez wzrost poziomu wody ΔH da objętość dodatkową $\Delta Q = \Delta A \Delta H$, która musi się pomieścić między wałami. Jeżeli ten przyrost odbył się w czasie Δt , to na jednostkę czasu przypadnie $\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{\Delta A \Delta H}{\Delta t}$. Wywoła to wzrost pola przekroju między wałami $\Delta F = \frac{\Delta Q}{v \Delta t}$. Pomijając różnicę nieznaczną w prędkościach, otrzymamy średni przyrost głębokości dla szerokości B zwierciadła wody między wałami:

$$\Delta H_{sr} = \frac{\Delta F}{B} = \frac{\Delta A \Delta H}{\Delta t B v}$$

Ponieważ jednak przyrost głębokości w czasie t nie będzie się odbywał jednostajnie, ale będzie wzrastał od zera do $\Delta H_t = 2 \Delta H_{sr}$, przeto

$$\Delta H_t = \frac{2 \Delta A \Delta H}{\Delta t B v} \quad (23)$$

Dzieląc teren zalewowy na warstwy poziome, w których można przyjąć niezmienną A , możemy obliczyć wzrost kulminacji w profilu poniżej odciętego terenu zalewowego.

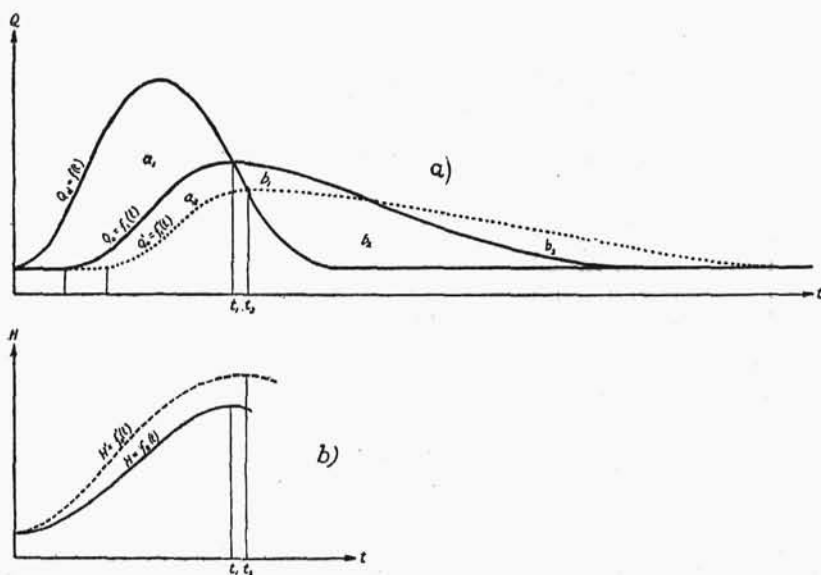
Mając do dyspozycji spostrzeżenia wodowskazowe i pomiary objętościowe z dawniejszych powodzi, możemy dla każdego stanu wody na początku terenu zalewowego ustalić objętość wody zatrzymaną, nie potrafimy jednak obliczyć przepływu poniżej obszaru retencyjnego, różnica bowiem między dopływem i odpływem zależy nie tylko od poziomu wody, ale także od szybkości przyboru, strat itp. Dopiero z większej ilości danych o dawnych powodziach możemy wybrać te, które odpowiadają wezbraniu będącemu w toku, i na tej podstawie określić wpływ retencji na obniżenie fali powodziowej.

Uporządkowanie gospodarki wodnej ścieku i przystosowanie jej do potrzeb gospodarczych człowieka wymaga nieraz zmiany istniejącej retencji koryta w kierunku jej powiększenia lub zmniejszenia. Do najczęstszych wypadków należy regulacja odpływu z jezior, obwałowanie rzek i osuszenie bagien.

Regulacja odpływu z jezior może mieć na celu zarówno powiększenie jak i zmniejszenie retencji jeziorowej. Pierwszy wypadek będzie miał miejsce wówczas, gdy chodzi o lepsze wyrównanie przepływów przez zwiększenie przepływu wód małych a zmniejszenie wód wielkich. Nadto może chodzić o inne niż w naturze rozło-

żenie przepływów dla celów melioracyjnych, energetycznych lub komunikacyjnych. Zmniejszenie retencji będzie pożądane, jeżeli wysoki poziom wód w jeziorze powoduje zalew okolicznych gruntów.

Zwiększenie retencji wymaga podniesienia stanu wody w jeziorze przy pomocy sztucznych urządzeń, jazu lub grobli, zmniejszenie pociąga za sobą konieczność zmiany przekroju odpływowego. Regulację przepływów w obu wypadkach umożliwią urządzenia sztuczne na odpływie. Regulacja odpływu powoduje zmianę przebiegu krzywej odpływu $Q_0 = f_1(t)$. Ponieważ krzywa dopływu $Q_d = f(t)$ pozostaje niezmienną, przeto zmienić się musi krzywa biegu stanu wody w jeziorze $H = f_2(t)$; rys. 81a i b.



Rys. 81a, b.

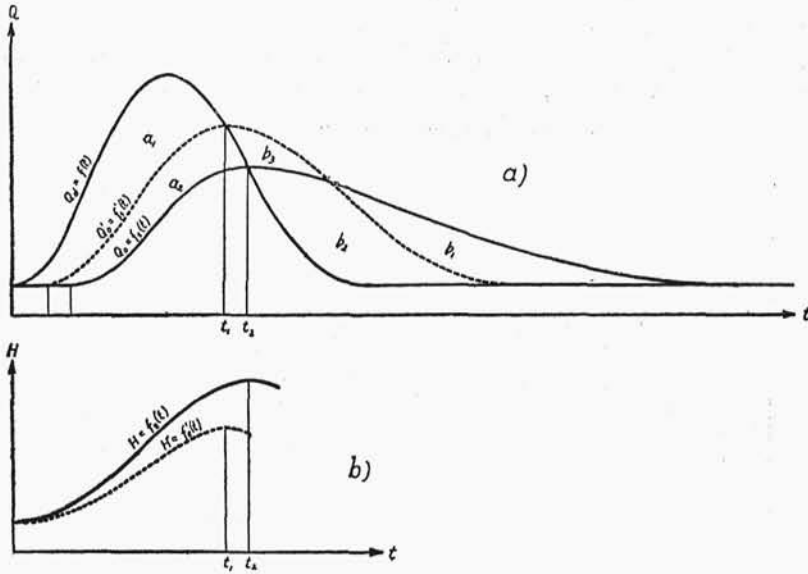
Zwiększenie retencji.

Jeżeli retencję jeziorową zmniejszamy, wówczas również zmienia się $Q_0 = f_1(t)$ i $H = f_2(t)$, ale ponieważ nowe H_{max} musi być mniejsze od dawnego, przepływy Q_0 muszą się zwiększyć, a punkt przecięcia krzywych Q_d i Q_0 zbliży się do początku układu współrzędnych (rys. 82a i b).

W obu wypadkach musi być zachowana równość sum przyływu i odpływu. Tak więc na rys. 81a retencja przed regulacją wynosi $a_1 = b_1 + b_2$, po regulacji $a_1 + a_2 = b_2 + b_3$, stąd $b_3 = b_1 + a_2$.

Na rys. 82a przy zmniejszeniu retencji: przed regulacją jest $a_1 + a_2 = b_1 + b_2$, po regulacji $b_3 = b_1 - a_2$.

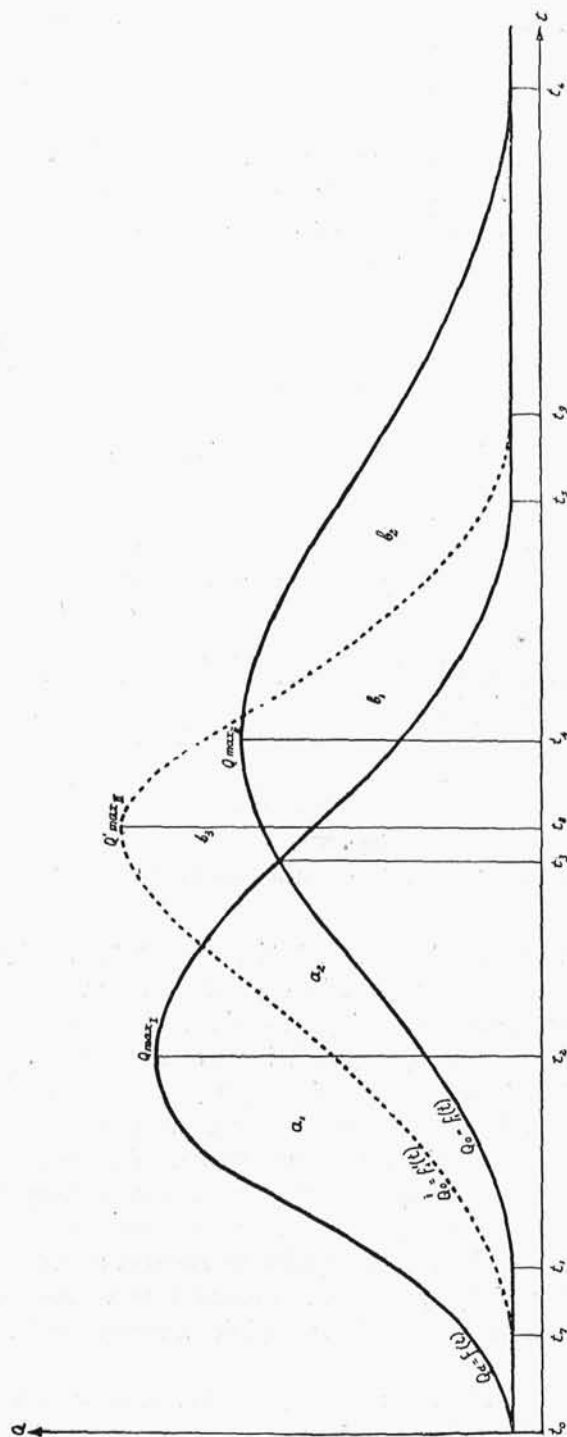
O wiele trudniej określić wpływ zmniejszenia retencji przy obwałowaniu rzek. Mając stacje wodowskazowe na początku i przy końcu terenu zalewowego możemy ustalić na podstawie dawnych powodzi szczegółowy przebieg krzywych dopływu $Q_d = f(t)$ i odpływu $Q_o = f_1(t)$, zaś ze zdjęcia terenu i odczytów wodowskazowych mamy objętości retencji. Wykreślnie otrzymamy jak przy retencji



Rys. 82a, b.

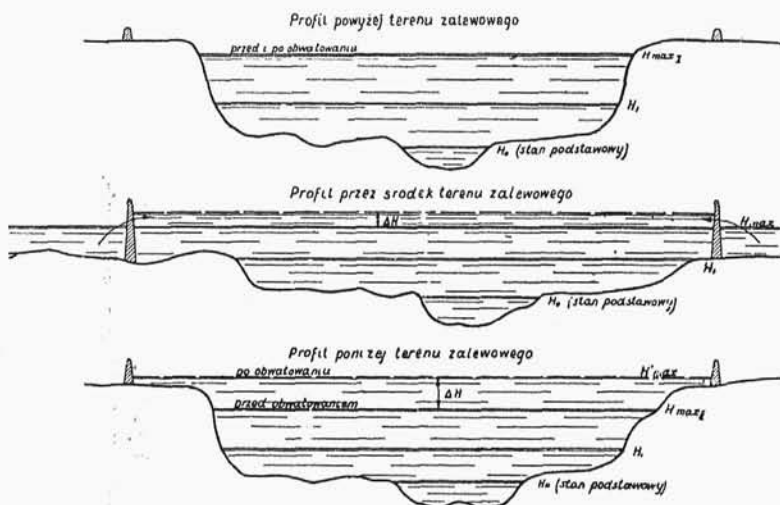
Zmniejszenie retencji.

jeziorowej 2 krzywe przecinające się w czasie, kiedy retencja osiągnęła swoje maximum (rys. 83 a). Jeżeli część terenu zalewowego została odcięta wałami, wówczas przy tym samym kształcie krzywej dopływu musi się zmienić bieg krzywej odpływu. Zmianę tę otrzymamy, jeżeli dla pewnego stanu wody na wodowskazie górnym narysujemy zasięg zalewu i obliczymy tę jego objętość, jaka przypada na obszar między wałami i granicą zasięgu. Objętość ta musi obecnie spłynąć między wałami, podnosząc poziom wody co raz bardziej w miarę zbliżania się do wodowskazu dolnego (rys. 83 b). Podniesienie się zwierciadła wody zwiększa prędkość i pole przekroju, przez to i zdolność przepuszczenia większej ilości wody. Wobec tego krzywej odpływu nie otrzymamy z rachunku od razu, ale musimy podzielić całą przestrzeń rzeki posiadającą teren zalewowy na odcinki i liczyć przepływ od przekroju do przekroju w miarę zwiększania się odciętych obszarów zalewowych. Rachunek ten należy powtórzyć



Rys. 83a.
Zmniejszenie retencji skutkiem obwałowania.

dla różnych poziomów wody. W rezultacie otrzymamy, podobnie jak przy zmianie retencji jeziorowej, nowy kształt krzywej odpływu, przecinający się z krzywą dopływu znacznie wcześniej i wyżej. Resultatem może być wyższa kulminacja w przekroju dolnym niż w przekroju górnym, zamiast istniejącego przed obwałowaniem spłaszczenia fali powodziowej. Dla dokładnego obliczenia wpływu zmiany retencji pożądanę jest istnienie kilku stacji wodowskazowych pośrednich na terenie zalewowym.



Rys. 83b.

Profil poprzeczny rzeki powyżej, w środku i poniżej terenu zalewowego.

Na tym nie kończą się jednak trudności. Ogólna objętość fali wezbrania była przed obwałowaniem na odpływie mniejsza niż na dopływie skutkiem przesiąkania i parowania oraz zatrzymania pewnych objętości wody w zakłębieniach terenu zalewowego. Obecnie po odcięciu retencji straty zmniejszają się gwałtownie i ogólna objętość fali powodziowej w profilu dolnym mało się będzie różnić od objętości, która przeszła przez profil górny. Ponieważ skoncentrowanie przepływu pomiędzy wałami zmniejsza opór koryta, przeto prędkości przepływu (a tym samym i szybkość przenoszenia się fali powodziowej) będzie większa. Wszystko to zmierza do powiększenia przepływów, a gdy dopływy na terenie inundacyjnym dorzucają znów nowe objętości, przeto nieuniknione będzie znaczne podwyższenie się kulminacji.

Zmiana prędkości pociąga za sobą również przyspieszenie pojawienia się kulminacji w niżej położonych profilach. Zjawisko to może

być bardzo niekorzystne w wypadku, kiedy fale dopływów znajdowały się w rzece głównej prędzej niż fala właściwa (Wisła). Po obwałowaniu różnica między czasem przejścia obu kulminacji może się zmniejszyć bardzo znacznie, a przez to samo objętość przepływu poniżej dopływu może wzrosnąć niepomiaralnie.

Wynika stąd jasno konieczność skrupulatnego badania zjawiska retencji przy każdym projekcie obwałowania oraz zmian, jakie nastąpią skutkiem tego urządzenia w spływie wielkich wód.

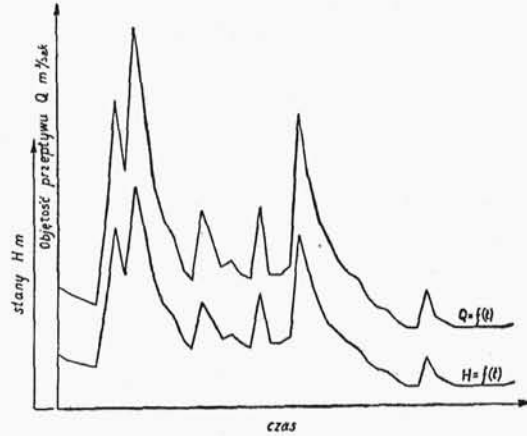
Zupełnie inny rodzaj retencji przedstawiają obszary bagienne. W okresie średnich stanów wód są one wypełnione wodą, która z reguły do ścieku nie wraca. Wody wyższe pokrywając obszary bagienne znajdują się jakby na terenie nieprzepuszczalnym i w miarę obniżania się poziomu wód w ścieku wracają do koryta. Jedynie w czasie posuchy i znacznego obniżenia stanu wód gruntowych może pewna ilość wód wielkich ulec stratom przez parowanie oraz przesiąkanie. Osuszenie bagien zwiększa możliwość przesiąkania, a przez to ogólna ilość strat się powiększy. Jeżeli osuszone bagna nie mają bezpośredniego odpływu do ścieku, wówczas objętość wody, odpowiadająca wielkości osuszenia, może być stracona. W przeciwnym razie zwiększa się przepływ w czasie wód średnich i niskich.

Tym korzystnym wynikiem przeciwstawiają się niekorzyści wynikające z szybkiego spływu wód opadowych na terenach osuszonych. W zależności od tego, który z tych czynników przeważa, wynikiem osuszenia będzie albo obniżenie się fali powodziowej, albo jej podwyższenie. W każdym wypadku należy więc zbadać szczegółowo istniejące warunki i prawdopodobieństwa zmian, jakie zajdą w przepływach. Ze wszystkich zmian naturalnej retencji ten rodzaj jest dotąd najmniej zbadany i najtrudniejszy do ujęcia.

7. Obliczenia potrzebnej pojemności oraz gospodarki wodnej na zbiorniku

Obliczenia, o którym będzie teraz mowa, najłatwiej wykonać wykreślnie. Z obserwacji dziennych stanów wodowskazu przy pomocy znanej krzywej przepływu łatwo można oznaczyć ilość sekundowego przepływu przez profil wodowskazowy (rys. 84). Wyrysowana krzywa codziennych przepływów nie nadaje się w tym stopniu do wykonania dalszych obliczeń, jak krzywa sumowanych przepływów, będąca w stosunku do pierwszej krzywą całkową. Jak wspomniano, rzędna krzywej całkowej wyraża w pewnej podziałce sumę przepływu wody przez profil wodowskazowy w okresie czasu t od

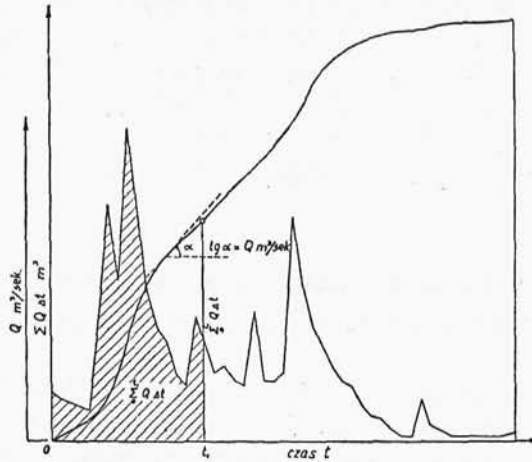
początku sumowania. Rzędna ta wyraża tym samym w pewnej podziałce pole pod krzywą dziennego przepływu w okresie czasu t (rys. 85).



Rys. 84.

Krzywe codziennych stanów wody i objętości.

Styczna do krzywej sumowania wyraża stosunek przyrostu objętości wody w jednostce czasu, a gdy jako jednostkę czasu przyj-

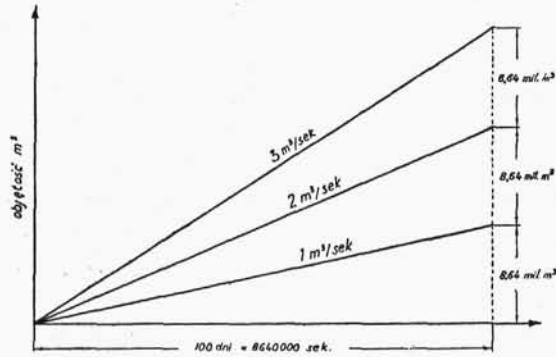


Rys. 85.

Krzywa sumowania przepływów dziennych.

miemy sekundę, nachylenie stycznej jest miarą przepływu sekundowego $\text{tg } \alpha = Q \text{ m}^3/\text{sek.}$ Nachylenie stycznych odpowiadających różnym sekundowym przepływom znajdziemy odmierzając w skali rysunku na

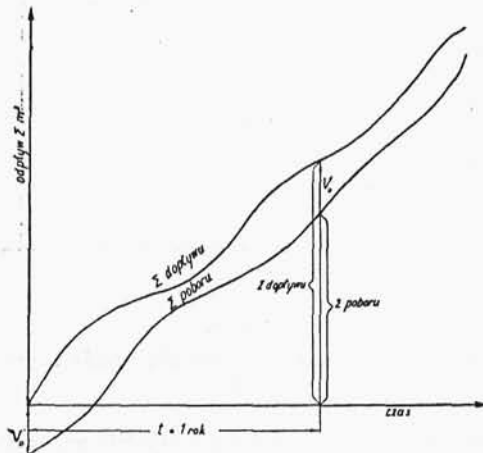
osi odciętych np. 100 dni, tj. 8640000 sek, na osi rzędnych—tyleż m^3 (rys. 86). Nachylenie prostej łączącej początek układu współrzędnych z tym punktem przedstawi nam w skali rysunku przepływ $1 m^3/sec$. Odmierzając na osi rzędnych podwójną objętość, otrzymamy nachylenie



Rys. 86.

Proste przepływu jednostkowego,

stycznej odpowiadające przepływowi $2 m^3/sec$ itd. Jest rzeczą oczywistą, że sumowanie jednostajnego przepływu da nie krzywą, lecz prostą o stałym nachyleniu stycznej.



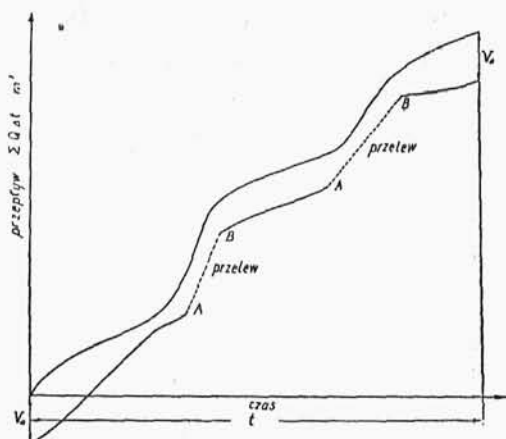
Rys. 87.

Krzywe całkowite (dopływu i poboru wody) dla zbiornika.

Jeżeli pod krzywą sumowania przepływu w rzece, który na zbiorniku możemy uważać jako dopływ wody do zbiornika, narysujemy inną krzywą czy prostą sumowania (rys. 87), odpowiadającą poboro-

wi wody ze zbiornika, różnica rzędnych między obu krzywami odpowiada sumie dopływu wody do zbiornika w okresie czasu t mniej sumie poboru wody ze zbiornika, wobec czego różnica ta będzie w podziałce rysunku objętością zamagazynowaną w zbiorniku. Oczywiście dla takiego obliczenia musimy rysować krzywą sumowania poboru wody pod krzywą dopływu, tak aby w żadnym punkcie krzywe te się nie przecinały. Krzywe mogą być zatem tylko styczne do siebie w pewnych punktach i punkty styczności oznaczają momenty, w których ilość wody zamagazynowana w zbiorniku spada do zera. O ile w pewnym okresie czasu, np. $t = 1$ rok, ilość pobranej wody ma być równa ilości dopływu, wówczas gospodarka na zbiorniku musi być w taki sposób przeprowadzona, aby na końcu okresu znajdowała się w zbiorniku ta sama ilość wody V_0 jaka była na początku okresu.

Jeśli w czasie wielkich wód część wody zostanie przepuszczona przez przelew samoczynny czy sterowany, wyrazi się to w krzywej sumowania poboru, a w danym wypadku właściwie w krzywej odpływu, nagłym wzrostem nachylenia krzywej (na rys. 88 odcinki „A B”

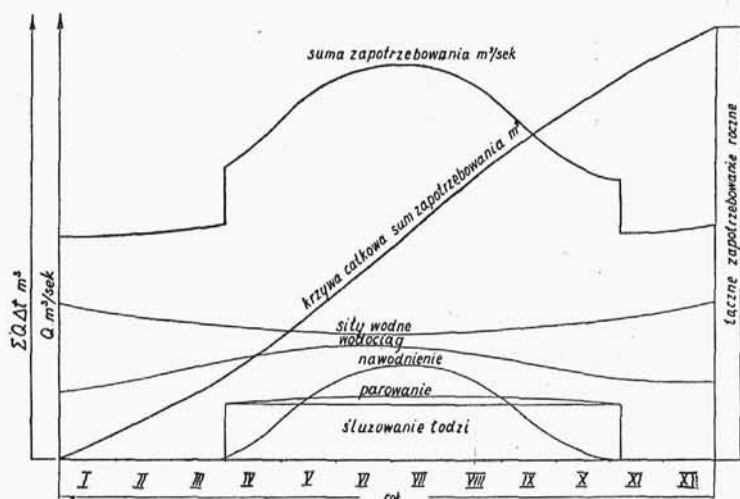


Rys. 88.

Krzywe całkowite dopływu i poboru wody z uwzględnieniem działania przelewów.

Krzywa sumowania poboru wody będzie wykonana na podstawie znanego zapotrzebowania wody dla różnych celów w zamkniętym okresie czasu, np. w roku. Rys. 89 przedstawia schematycznie krzywe zapotrzebowania wody (wyrażone w m^3 na jednostkę czasu) dla celów: wytwarzania siły wodnej, nawadniania, kanałów żeglugi (śluzowanie + parowanie), zasiłku wodociągów. O ile zbiornik służy kilku celom równocześnie, mogą być dla każdego wypadku wyznaczone

potrzebne w każdej porze roku ilości wody i z nich obliczona krzywa sumowania łącznego zapotrzebowania. Ponieważ jednak roczne sumy dopływu wody do zbiornika nie są stałe, lecz—zależnie od opadów—w każdym roku inne, krzywe czy też proste wyrównanego sumowania odpływu nie mogą być identyczne z krzywą poboru wody (poprzednio oznaczoną), lecz będą w poszczególnych latach różne,



Rys. 89.

Krzywe rocznego zapotrzebowania wody.

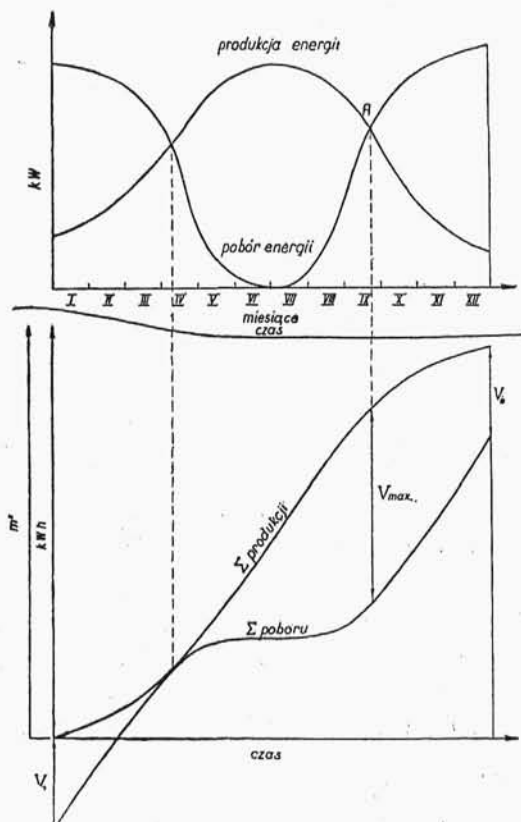
w każdym razie takie, aby we wszystkich porach roku nachylenia stycznej, tj. odpływ sekundowy ze zbiornika był większy, niż to wynika z krzywej sum zapotrzebowania wody. W takim wypadku zapotrzebowanie będzie zawsze w każdej porze roku pokryte.

1. Zbiorniki energetyczne

Zbiorniki, na których jest produkowana energia elektryczna, służą z reguły do krycia szczytów zapotrzebowania energii. Zbiorniki mogą kryć szczyty dzienne, ujawniające się w ciągu doby, lub też pojawiające się w dłuższym okresie czasu, tygodnia a nawet roku, gdy w porze zimowej zwiększa się znacznie zapotrzebowanie energii na oświetlenie, lub gdy w jesieni gospodarstwo rolne zużywa duże ilości energii w stosunkowo krótkim okresie czasu.

Pojemność zbiornika i gospodarka na zbiorniku muszą być tak unormowane, aby czasowo mogło być pokryte większe zapotrzebowanie energii. Często dla produkcji energii nie wystarcza dopływ naturalny do zbiornika i buduje się zbiorniki z wodą czasowo do-

pompowywaną, lub nawet zbiorniki czysto pompowe, nie posiadające żadnego naturalnego dopływu, korzystające wyłącznie z wody dopompowywanej przy pomocy energii obcej w okresach czasu, gdy istnieje nadmiar tej energii. Ta odpadkowa energia może być do pompowania użyta, gdyż jest albo mało albo też zupełnie bezwartościowa; natomiast odzyskana ze zbiornika energia szczytowa jest wysokowartościowa.



Rys. 90.

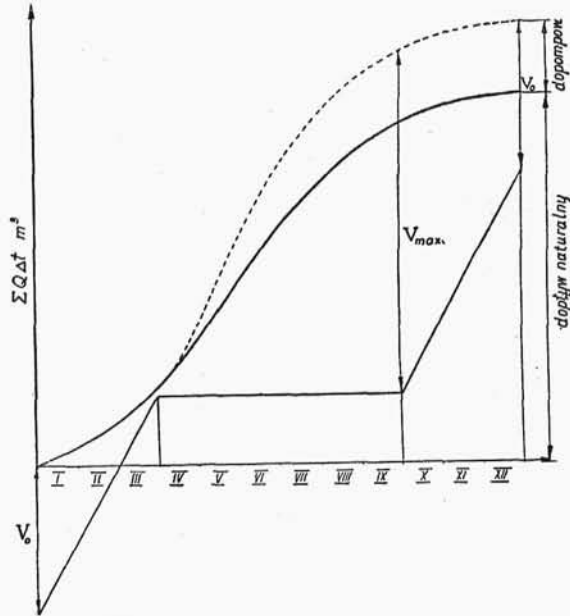
Krzywe rocznego poboru wody i produkcji energii zakładu wodnego na zbiorniku.

Rozróżniamy zatem kilka różnych wypadków gospodarki zbiornikowej dla celów energetycznych, z tych najważniejsze są niżej podane.

a) Zbiornik jest zasilany naturalnym dopływem i dostarcza energii tylko w okresach zimowych.

Przy małych zmianach w użytecznym spadzie na zakładzie zbiornikowym można uważać, że objętość wody dopływającej jest wprost proporcjonalna do produkcji energii. Możemy zatem wyrazić

energię w kW lub w m³/sek, zmieniając tylko podziałkę. Jeśli na osi odciętych będziemy odmierzać czas, na rzędnych — użyteczny dopływ do zbiornika lub wielkość dającej się na nim uzyskać energii, jeśli następnie założymy, że suma rocznie dającej się uzyskać energii będzie oddana tylko w okresie zimowym, możemy wykreślić krzywą zapotrzebowania energii, która krzywą produkcji przetnie w jakimś punkcie, tym samym określając moment, w którym produkcja nie wystarczy na pokrycie zapotrzebowania energii i w którym zaczyna się zbiornik opróżniać. Punkt przecięcia tych dwu krzywych „A” określa nam moment największego wypełnienia zbiornika (rys. 90), zatem określa potrzebną pojemność zbiornika. Pola pod krzywą produkcji i konsumpcji muszą być sobie równe. Jeśli teraz wykreślimy krzywą sumowania tak produkcji jak i konsumpcji, znajdziemy nie tylko max. potrzebnej pojemności zbiornika, ale



Rys. 91.

Krzywa całkowita dla zbiornika z wodą dopompowywaną w okresie letnim.

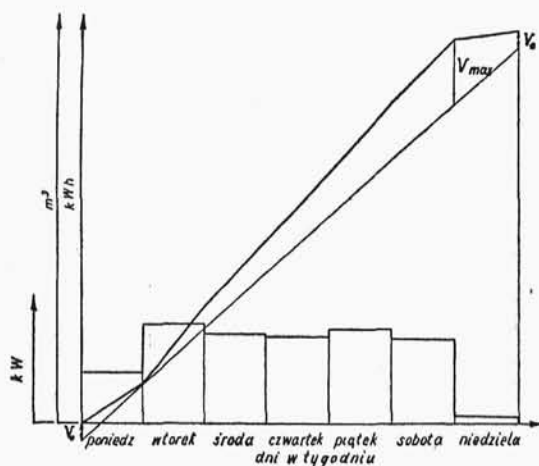
także ilości wody, znajdującej się w zbiorniku w dowolnym momencie czasu. Związkiem pomiędzy pojemnością i poziomem napełnienia możemy określić każdorazowy stan wody w zbiorniku oraz następnie spad użyteczny.

b) Zbiornik jak pod a) otrzymuje prócz naturalnego dopływu także wodę dopompowaną przy użyciu energii obcej (rys. 91). Do-

pompowanie następuje z reguły w porze letniej, zaś zużycie tej energii w porze zimowej.

O ile zakład dopompowuje stałą sekundową objętość, wykres dopływu wody będzie prostą poziomą, wykres sumowania — prostą nachyloną pod kątem odpowiadającym temu dopływowi. Dodając do rzędnych krzywej sumowania naturalnego dopływu rzędne krzywej sumowania dopływu z pomp, otrzymamy nową krzywą sumowania dopływu lub energii. Największa różnica między rzędnymi dopływu i poboru określa potrzebną pojemność zbiornika.

c) Zbiornik ma za zadanie wyrównanie tygodniowe produkcji energii. Jest rzeczą znaną, że konsumpcja energii w poszczególnych dniach tygodnia jest różna. W zbiorniku służącym do wyrównania np. rocznego należy wyznaczyć tę część pojemności zbiornika, jaka jest potrzebna dla wyrównania tygodniowego (rys. 92).



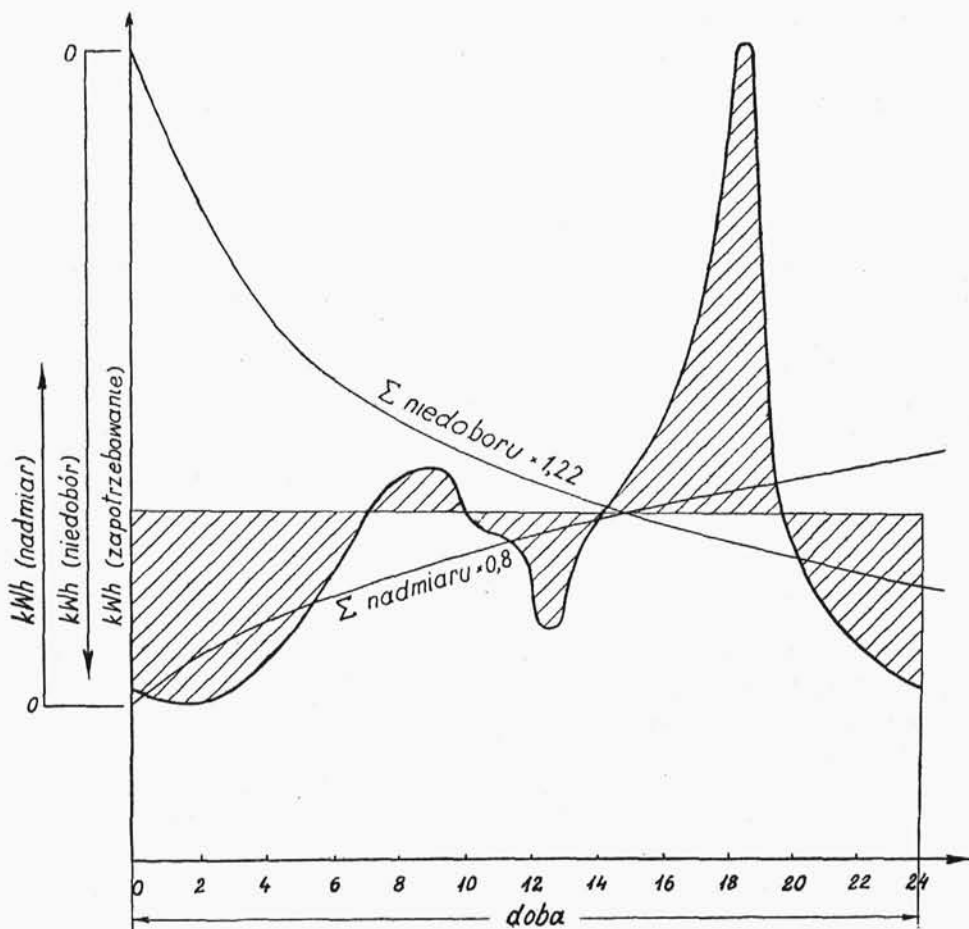
Rys. 92,

Tygodniowe zapotrzebowanie energii.

Wykreślając krzywą sumowania oddawanej energii, wyrażonej w ilości wody, oraz kreśląc prostą wyrównującą, otrzymamy maksymalną różnicę rzędnych między krzywą a prostą, wyrażającą w pewnej podziałce potrzebną dla wyrównania tygodniowego pojemność zbiornika. Pojemność ta jest niezależna od pojemności potrzebnej dla wyrównań z dłuższego okresu czasu. Gdy w poszczególnych miesiącach roku są różne stany wody w zbiorniku (tym samym różne spadki użyteczne) i pewna pojemność ma różną wartość wyrażoną w energii potencjalnej, a równocześnie zmienność tygodniowego zapotrzebowania energii jest w każdym miesiącu odmienna, wy-

kresy te muszą być wykonane dla każdego miesiąca z osobna i trzeba wyznaczyć w każdym z nich potrzebną pojemność, która będzie dodana do pojemności na cele wyrównań z dłuższego okresu czasu.

d) Zbiornik pompowy zasilany wyłącznie wodą dopompowaną korzysta z nadmiaru energii w pewnych porach doby na to, aby



Rys. 93.

Oznaczenie mocy potrzebnej do pokrycia zapotrzebowania energii z uwzględnieniem dopompowywania.

dostarczyć tej wody do zakładu turbinowego w tych porach doby, gdy zapotrzebowanie energii nie może być pokryte z normalnego źródła tejże energii. Przypuszczamy, że zakład dostarczający energię pracuje przy stałym obciążeniu, a zatem w sposób dla siebie najbardziej ekonomiczny, i że kryje on podstawę oraz część szczytów zapotrze-

bowania, oddaje zaś nadmiar energii zakładowi pompowemu. Nadmiar ten zostaje obrócony na pompowanie wody na pewną wysokość, z której woda następnie spływa na turbiny. W całym tym obiegu straty energii wynoszą przeciętnie 40%, tak iż z energii włożonej w pompowanie zostaje uzyskanych około 60%. Wykreślamy w górę krzywą sumowania nadmiaru energii (rys. 93) jako sumę pól leżących ponad najniższym punktem wykresu. Podobnie sumujemy w dół pola szczytów, od punktu najwyższego szczytu począwszy. Punkt przecięcia obu krzywych znajdzie się tam, gdzie suma dobowych braków będzie równa sumie dobowych nadmiarów energii. Poziomem, na którym leży punkt przecięcia, będzie określona stała moc, jaka jest potrzebna dla krycia całego wykresu zapotrzebowania energii, włączwszy w to straty na zakładzie pompowym. Odcięta wyrazi nam sumę kWh lub—przy znanym przeciętnym spadzie na zbiorniku—sumę m³ wody, jaka musi być dla wyrównania zmagazynowana w zbiorniku.

W krzywej sumowania nadmiaru energii musimy uwzględnić straty na całym obiegu w sposób następujący.

Sumy nadmiaru energii wyrażamy w objętościach rzeczywiście dopompowanej wody, przy uwzględnieniu strat w transformatorze, motorze, pompie i rurociągu. Współczynniki sprawności urządzeń w przybliżeniu są następujące: transformator 0,98, motor 0,96, pompa 0,86, rurociąg 0,99. Ogólny współczynnik sprawności wynosi zatem około 0,801. Aby otrzymać ilość wody rzeczywiście podniesionej przy użyciu nadmiaru energii, trzeba zatem nadmiar ten pomnożyć przez współczynnik 0,80. Sumy braku energii szczytowej musimy wyrazić również w ilości wody, uwzględniając współczynniki sprawności urządzeń do produkcji energii. Są one przeciętnie takie: dla rurociągu 0,97, turbiny 0,89, generatora 0,965, transformatora 0,98. Ogólna sprawność wynosi zatem około 0,912 i przez ten współczynnik należy podzielić ilość wody teoretycznie potrzebnej dla uzyskania wymaganej energii, lub pomnożyć przez odwrotność współczynnika, tj. przez 1,22 (gdyż dla pokrycia strat trzeba użyć więcej wody niż wynikałoby to z czysto teoretycznego obliczenia).

2. Zbiorniki powodziowe.

Do ujęcia fali powodziowej w celu obniżenia wezbrań może służyć każdy zbiornik, przeznaczony zasadniczo do innego celu. W tym wypadku urządzenia do przeprowadzenia przez zbiornik zmniejszonej fali powodziowej są sterowane, a wydatek urządzeń obliczony na przeprowadzenie maximum fali. Drugim typem zbiornika jest zbiornik przeznaczony wyłącznie do ujęcia fal powodziowej, a zatem nie sterowany