

stan najwyższy i najniższy w ciągu całego okresu spostrzeżeń, wziętego do obliczeń. Jeżeli obliczenie zaczyna się od czasu założenia wodowskazu i doprowadza do ostatniej chwili, wówczas te ostatnie stany noszą nazwę najwyższych i najniższych dotychczas znanych. Natomiast unikać należy nazwy absolutnie najwyższego i najniższego stanu jako określeń nie mających uzasadnienia, stany te mogą być bowiem zawsze przekroczone.

Wartości miesięczne średnie i skrajne dla szeregu stacyj wodowskazowych uwidocznione są na rys. 7.

## 11. Związki stanów wody z czasem

Dla dokładnego zbadania stosunków przepływu, jak też dla projektów różnych urządzeń wodnych ważna jest wiadomość, jak często te same stany wody powtarzają się w pewnym okresie czasu (miesiącu, roku, szeregu lat). Objętość przepływu, odpowiadająca pewnemu stanowi wody, może być wykorzystana nie tylko w czasie trwania tego stanu, ale także wówczas gdy ściekiem przepływa objętość większa. Ponieważ przez cały ten czas pole przekroju dla przepływu danej objętości jest wypełnione wodą, przeto okres ten nazywamy okresem zwilżenia, a jego czas trwania będzie sumą wszystkich poszczególnych czasów trwania stanów wody wyższych od danego. Związki między stanami wody i czasem możemy przedstawić graficznie, odmierzając na rzędnych stany wody zaś na odciętych ich częstości powtarzania się (w dniach) zarówno dla pojedynczych stanów jak i dla sum. Wykresy te nazywamy krzywymi częstości i krzywymi sum czasów trwania stanów wody.

Obliczenia przeprowadzamy dla roku kalendarzowego lub hydrologicznego, często osobno dla okresu zimowego i letniego. Sumować czasy trwania możemy albo od dołu, wówczas otrzymamy okresy czasu z niedoborem wody, albo od góry, wtedy otrzymujemy okresy zwilżenia.

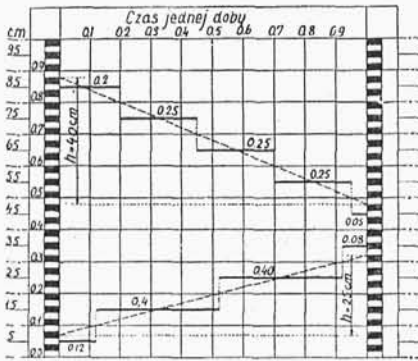
Obliczenia otrzymujemy z tą dokładnością, z jaką czynione są obserwacje, albo też z dokładnością mniejszą. Ponieważ zwykle czytamy wodowskaz z dokładnością jednego centymetra i tak obserwacje zapisujemy, przeto tok obliczeń będzie następujący. Przy obserwacjach wykonywanych raz dziennie, jeżeli stan wody do dnia następnego nie uległ zmianie, liczymy całą dobę na stan, od którego obliczenie zaczynamy; jeżeli natomiast stan wody zmienił się o  $n$  cm, to na każdy następny centymetr podziałki wodowskazowej

przypada  $\frac{1}{n}$  doby. Jeżeli obserwacje odbywają się kilka razy dziennie i na odstęp między obserwacjami wypada  $\frac{1}{m}$  doby, to przy niezmiennym stanie wody tę  $\frac{1}{m}$  zaliczamy do danego stanu, zaś przy zmianie o  $n$  cm, przypada na każdy cm  $\frac{1}{m n}$  doby.

Obliczeń w odstępach centymetrowych dokonujemy dla potoków górskich o częstych i krótkich zmianach stanów wody, lub niewielkiej elewacji (różnicy między maximum i minimum), zwykle zaś łączymy stany wody w grupy i dla nich obliczamy częstość powtarzania się. Najczęściej używamy grup 10-centymetrowych. Instrukcja polska<sup>14)</sup> przyjmuje jako granicę grup pełne decymetry +10, +20, +30 itd., lub -10, -20, -30, jeżeli więc pewnego dnia mamy odczyt wyrażony w pełnych decymetrach, to stan ten zalicza się w połowie do obu sąsiednich grup. Określa się każdą grupę przy pomocy odczytu pośredniego, a więc +5, +15, +25 itd., -5, -15, -25 itd. Łączenie stanów w grupy powoduje pewne ułatwienia ale także i utrudnienia w obliczeniach. Jeżeli stan wody zmienił się np. w ciągu doby w granicach jednej i tej samej grupy, to możemy całą dobę zapisać na konto tej grupy. Jeżeli jednak zmiana obejmie kilka grup, to musimy uwzględnić nie tylko ilość grup, przez które woda przejdzie podnosząc się lub opadając, ale także miejsca, jakie oba odczyty zajmują w swoich grupach, ażeby pierwszej i ostatniej grupie przydzielić odpowiedni czas. Jeżeli np. stan wody zmienił się z +7 jednego dnia na +32 drugiego dnia, to przechodzi on przez grupy +5, +15, +25, +35, z tych jednak tylko dwie środkowe grupy przekroczy w całości, w pierwszej obejmie tylko 0,30 w drugiej 0,20 decymetra, to też obliczając czas nie możemy podzielić doby na 4 równe części po 0,25 dnia, ale musimy podzielić ją przez różnicę odczytów (w danym wypadku przez 32-7=25) i w odpowiednim stosunku obliczyć czas. Na pierwszą grupę +5 przypadnie więc  $\frac{3}{25}=0,12$  doby, na grupę +15 i +25 po  $\frac{10}{25}=0,40$  doby, a na czwartą +35 przypadnie  $\frac{2}{25}=0,08$  doby. Jeszcze większe komplikacje zajdą, jeżeli odczyty wodowskazu odbywają się kilka razy na dobę. Dlatego zwykle nawet w tym wypadku przyjmu-

<sup>14)</sup> Państwowa Służba Hydrograficzna w Polsce. Instrukcja do obliczenia czasu trwania stanów wody. Warszawa 1925 r.

jemy do obliczenia tylko odczyty ranne, przyjmując prostolinijną zmianę stanów wody między dwoma odczytami. Stosunkowo prosto przedstawia się podział graficzny dla podanego przykładu, pokazany na rys. 51. Jednak kreślenie podziału dla każdego dnia byłoby zbyt żmudne, dlatego do instrukcji dodane są tabele, które pozwalają od razu odczytać części doby z dokładnością do 0,001 w zależności od wielkości zmiany i położenia odczytu niższego



Rys. 51.

Obliczanie czasu trwania poszczególnych stanów wody w stopniach decymetrowych w ciągu jednej doby.

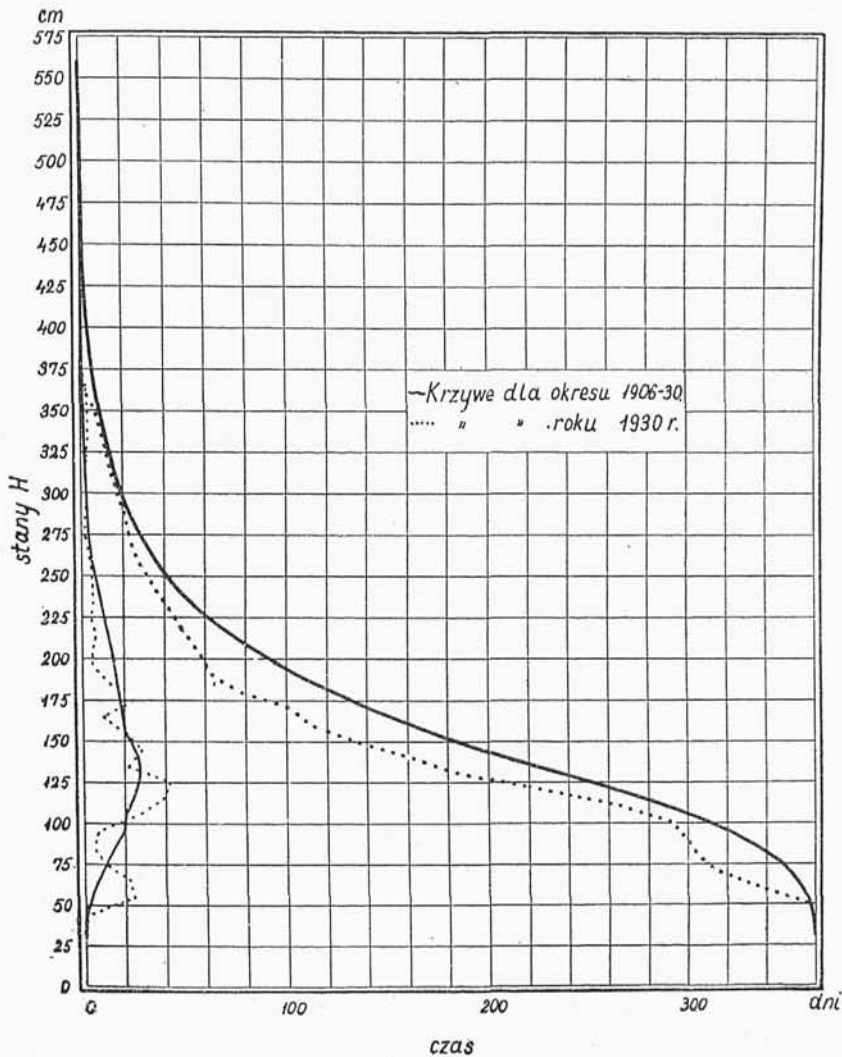
dza się te obliczenia dla okresu: żeglugi 275 dni (marzec — listopad), zimowego 90 dni (grudzień — luty) i rocznego 365 dni. Ponadto dla ważniejszych stacyj oblicza się wartości sumaryczne z 5, 10 i 20 lub 25 lat.

Przy przedstawianiu częstości poszczególnych stanów wody w postaci krzywej związku stanów wody z czasem odmierzamy na rzędnej pionowej charakterystyki grup (+ 5, + 15 itd) zaś na poziomej czas w dniach. Otrzymamy więc linię łamaną, która zbliżyć się będzie do krzywej tym bardziej, im granice grup będą bliższe. Przybiera ona bardzo różny kształt w zależności od charakteru ścieku. Ścieki górskie, przy częstych i dużych zmianach poziomów wody, odznaczają się krótko trwającymi stanami wysokimi i niskimi, natomiast posiadają długotrwałe stany średnie. Wyraźnie się u nich zaznacza stan najdłużej trwający, który też dla tego rodzaju rzek jest jednym ze stanów charakterystycznych. Rzeki nizinne mają czas trwania bardzo jednostajnie rozłożony od najwyższego do najniższego. Między tymi skrajnymi wypadkami mamy mnóstwo typów pośrednich, na kształt bowiem krzywych częstości, wpływa—obok roz-

w grupie. Jeżeli mamy obserwacje nadzwyczajne, które nie pokrywają się z prostą łączącą dwa odczyty dobowe, należy je uwzględnić, ale obliczenie trzeba wówczas przeprowadzić osobno, najlepiej wykreślić.

Obliczając w ten sposób po kolei zmiany stanów wody z dnia na dzień, dodajemy do siebie części dob, przypadające na tę samą grupę w ciągu całego okresu wziętego pod uwagę. Suma wszystkich czasów trwania musi być równą ilości dni w całym okresie obliczeniowym. W Polsce przeprowadza

łożenia opadów—przede wszystkim różnego rodzaju retencja. Retencja zimowa powoduje wiosenne wezbrania i zwiększa czas trwania wód wysokich, lodowce powiększają letnie przepływy, jeziora i bagna

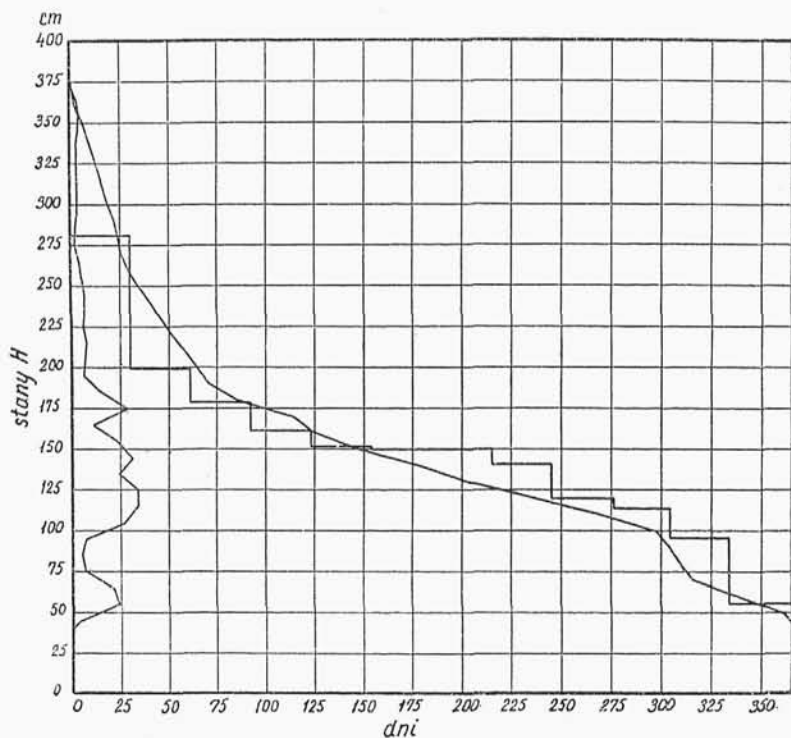


Rys. 52a.

Krzywa częstości i sum czasów trwania stanów wody dla Wisły w Warszawie w roku 1930 i dla przeciętnych wartości z okresu 1906—1930.

zatrzymują wezbrania, obniżając wysokie stany i podwyższając niskie itd. Kształt krzywej będzie tym regularniejszy, im dłuższe okresy weźmiemy za podstawę. Średnie wartości z okresu kilku lub kilkudziesięcioletniego dadzą przebieg zupełnie wyraźnie krzywoli-

nijny, podczas gdy wartości roczne raczej dadzą linię zygzakowatą zamiast krzywej. Podobnie działa odstęp czasu obserwacji. Obserwacje w odstępach kilkugodzinnych dadzą bardzo nieregularny przebieg linii związku. Linia ta wygląda się w miarę jak przejdziemy do odstępów coraz dłuższych, a więc dziennych, tygodniowych lub

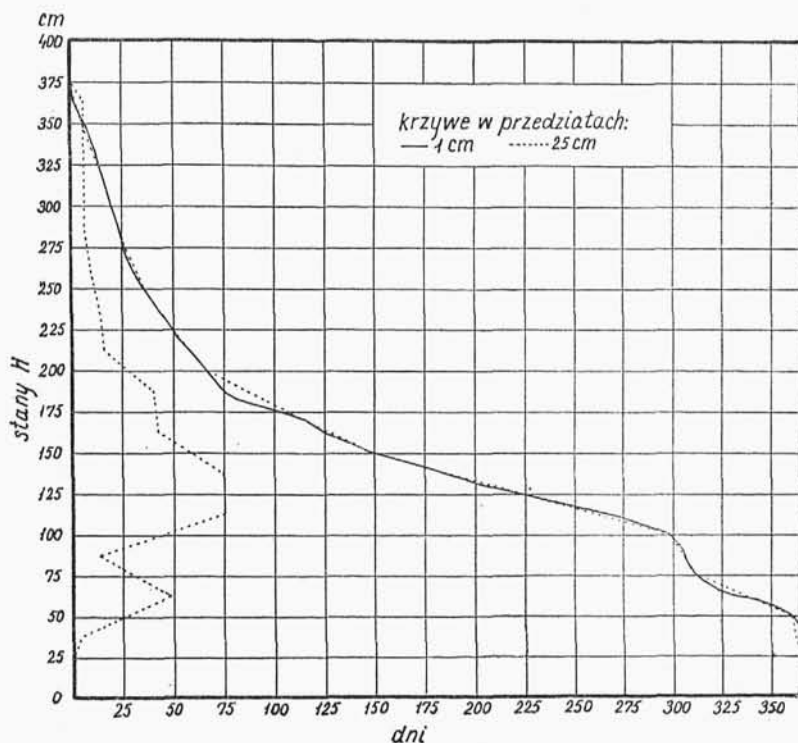


Rys. 52b.

Krzywa częstości i sum czasów trwania stanów wody w przedziałach 10 cm oraz krzywa sum czasów trwania stanów wykreślona na podstawie średnich miesięcznych.

miesięcznych. Taki sam wreszcie wpływ ma ilość obserwacji wziętych do jednej grupy. Najmniej regularny będzie przebieg odczytów centymetrowych. W krzywych sum czasów trwania punktami podziału na rzędnej wodowskazu (pionowej) będą nie liczby charakteryzujące grupy stanów, ale granice grup, zatem 0, +10, +50, +30 itd., —10, —20, —30 itd. Do kształtu krzywej sumowania odnoszą się te same uwagi, które przytoczyliśmy wyżej dla krzywej częstości. Dla uwidocznienia tych różnic przedstawiliśmy na rys. 52a krzywą częstości i sum czasów trwania dla wodowskazu na Wiśle w Warszawie w roku 1930 i dla przeciętnych wartości

z okresu 1906—1930, zaś na rys. 52 b te same krzywe z roku 1930 na podstawie obserwacji dziennych w grupach 10 cm i średnich miesięcznych, wreszcie na rys. 52 c krzywe nakreślone wprost z obserwacji centymetrowych i z grup, obejmujących obserwacje w odstępach 25-centymetrowych. Z porównania widać, że grupy:



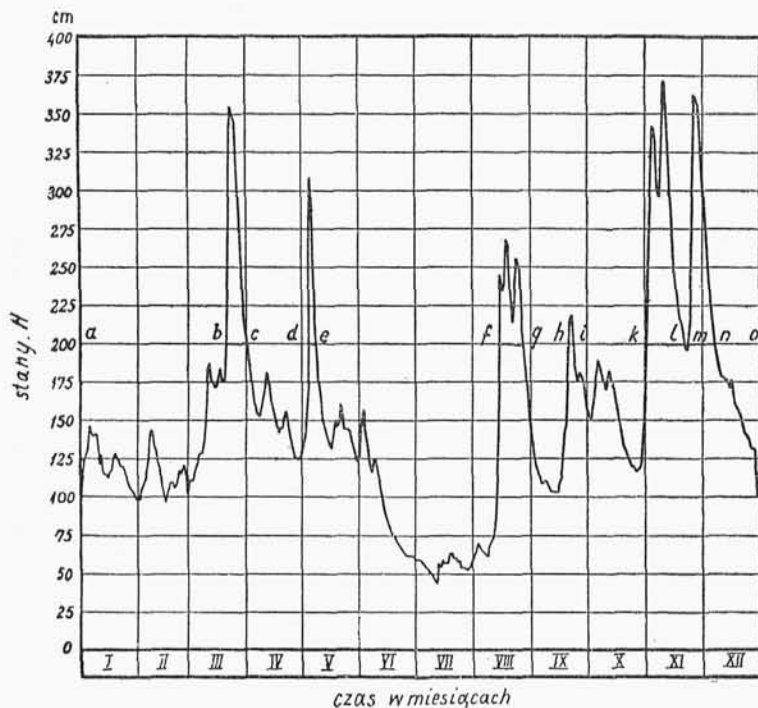
Rys. 52c.

Krzywa częstości trwania stanów wody w przedziałach 25 cm oraz krzywa sum czasów trwania w przedziałach 1 cm i 25 cm dla Wisły w Warszawie w 1930 r.

decymetrowe i centymetrowe pokrywają się prawie zupełnie; w grupie 25-centymetrowej są już znaczniejsze odchyłki; dużą zaś różnicę dają krzywe oparte na średnich miesięcznych.

Krzywe częstości i sum czasów trwania można też otrzymać w sposób wykresowy z biegu dziennego zmian stanów wody. W tym celu zacząć trzeba od krzywych sumowania. Na rys. 53 przedstawiono bieg dzienny w r. 1930 na wodowskazie na Wiśle w Warszawie. Jeżeli obserwacje podzielimy na grupy np. 25-centymetrowe i przez linie podziału nakreślimy poziome, to przetną one krzywą biegu w różnych punktach. Biorąc w cyrkiel długości pomiędzy najbliż-

szymi punktami przecięcia i sumując je wykreślnie, otrzymamy odrazu sumę czasów trwania stanów wody dla stanu odpowiadającego danej granicy. Suma ta będzie odpowiadać albo czasowi zwilżenia, albo sumie czasów trwania wszystkich stanów niższych, zależnie od tego jakie odcinki bierzemy do sumowania: b—c, d—e, f—g itd., czy też a—b, c—d, e—f itd.

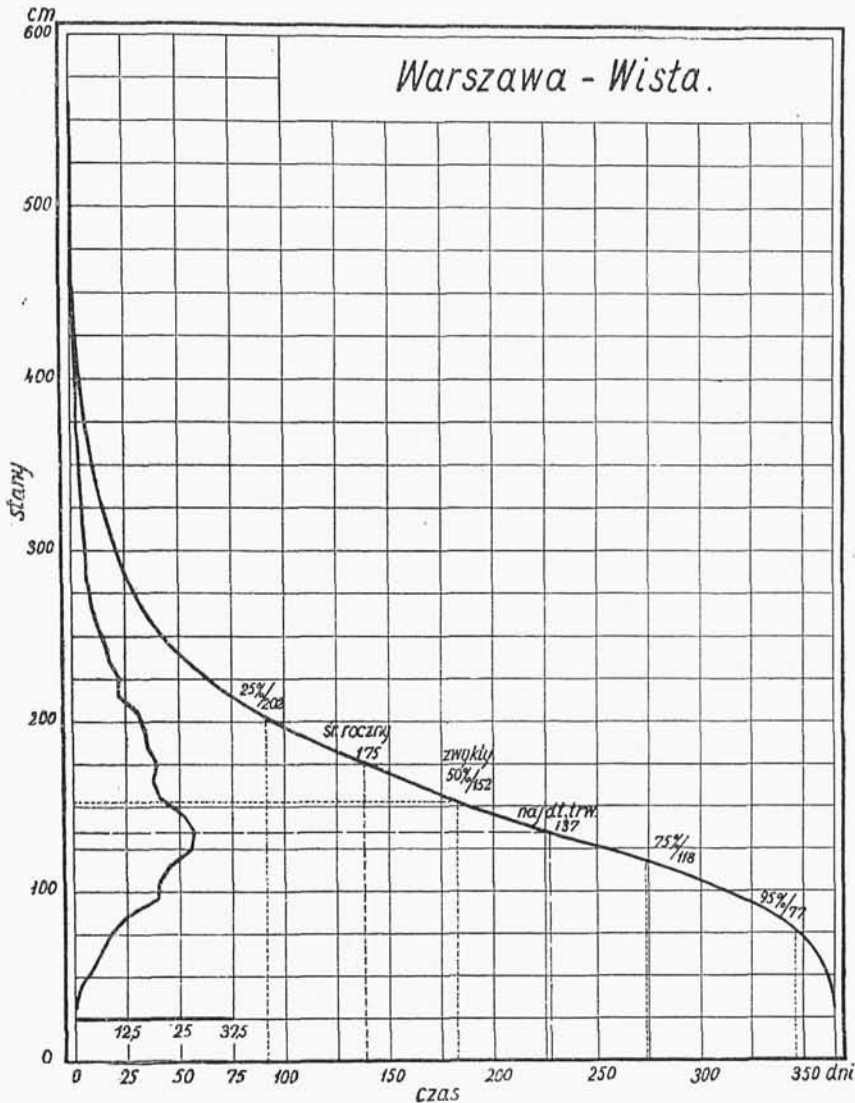


Rys. 53,

Graficzny sposób określenia sum czasów trwania z dziennych zmian stanów wody.

Krzywe częstości i sum czasów trwania na rzekach polskich nie różnią się od siebie tak jak w krajach o dużych różnicach klimatycznych, np. w Rosji, Stanach Zjednoczonych itp., mimo to i na nich zarysowują się charakterystyki poszczególnych ścieków dość wyraźnie. Jako przykład podajemy na rys. 54 a, b, c, d, e, f, g, h krzywe przeciętne co najmniej z lat 10 na wodowskazach: w Warszawie i Chełmie na Wiśle, w Jeleniu na Przemszy, w Korzeniowie na Wisłocie, w Poznaniu na Warcie, w Grodnie na Niemnie, w Nyrczy na Prypoci i w Lubieszowie na Stochodzie. Górski charakter rzeki widać na wykresie korzeniowskim. Głównymi cechami są: krótko-

trwające stany wysokie, długi okres wód średnich i niskich, skupiony na kilku zaledwie decymetrach podziałki wodowskazowej, a skutkiem tego nieznacznie nachylona do poziomu krzywa sumowania

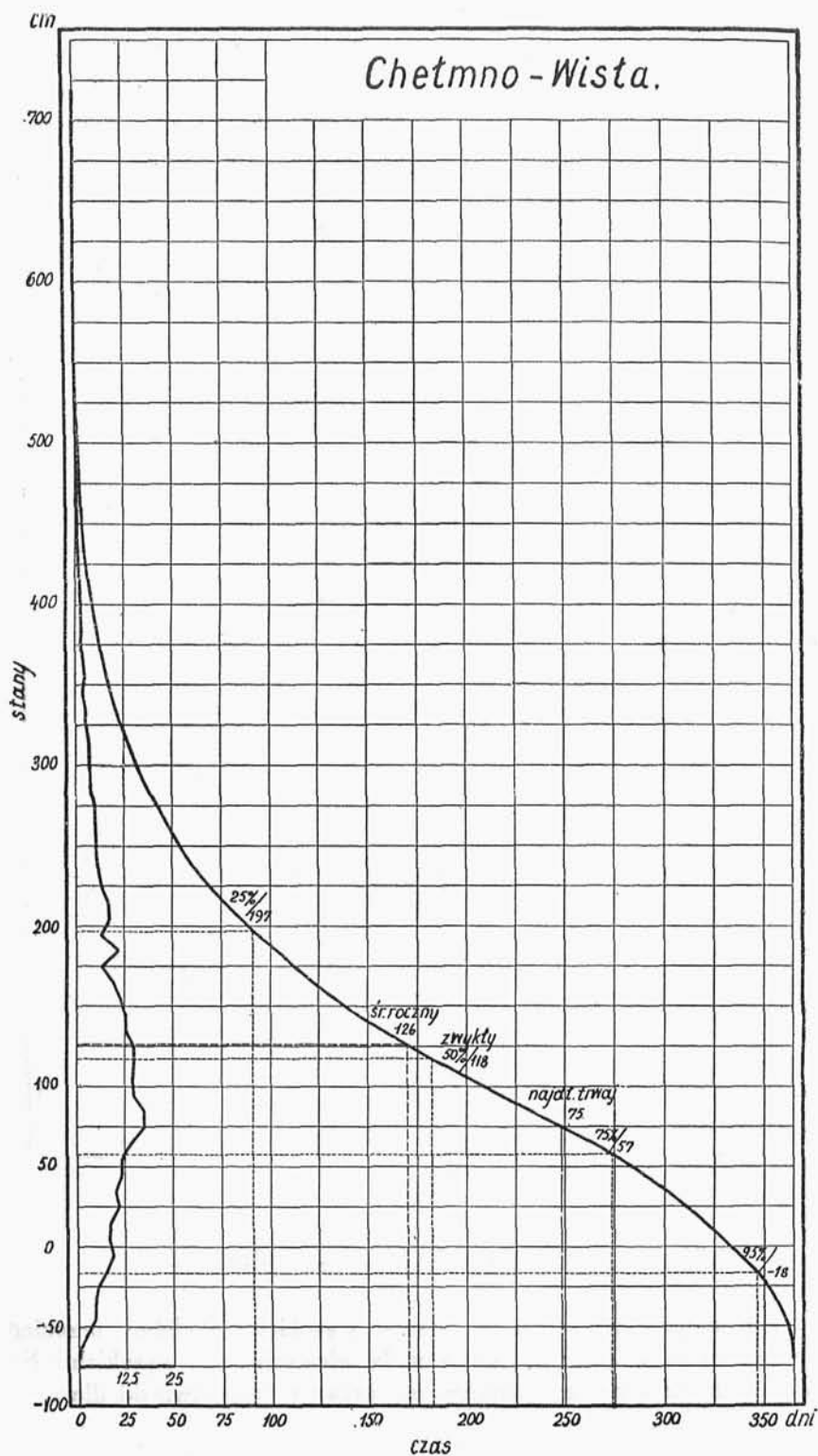


Rys. 54a.

Krzywa częstości i sum czasów trwania stanów wody.

z dość nagłym przejściem do stanów wysokich. Podobny przebieg mają krzywe w Jeleniu, ale z małą elewacją wód wysokich. Na Wiśle jeszcze krzywe warszawskie przypominają związki dla rzek

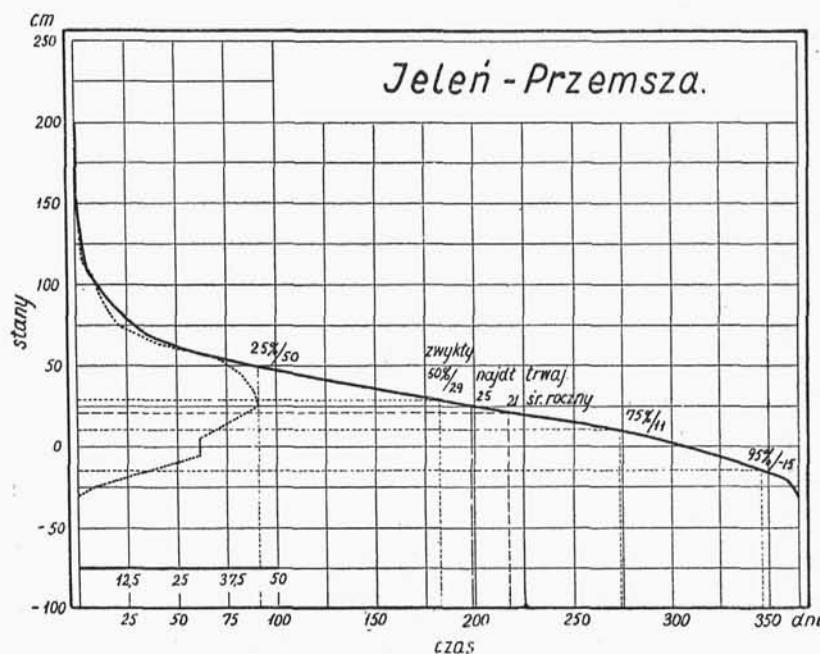




Rys. 54b.

Krzywa częstości i sum czasów trwania stanów wody.

górkich, ale stany średnie przekraczają tu już 1 m wysokości, a stąd nachylenie [do poziomu krzywej sumowania jest silniejsze. Zmienia się charakter krzywych poniżej Bugu. Związki w Chełmnie wykazują dość jednostajny przebieg krzywej częstości i bardzo silne pochylenie i zaokrąglenie krzywej sumowania. Ten sam charakter mają krzywe Poznańskie, natomiast krzywe Niemna zbliżają się kształtem raczej do warszawskich. Zupełnie odmienny kształt po-



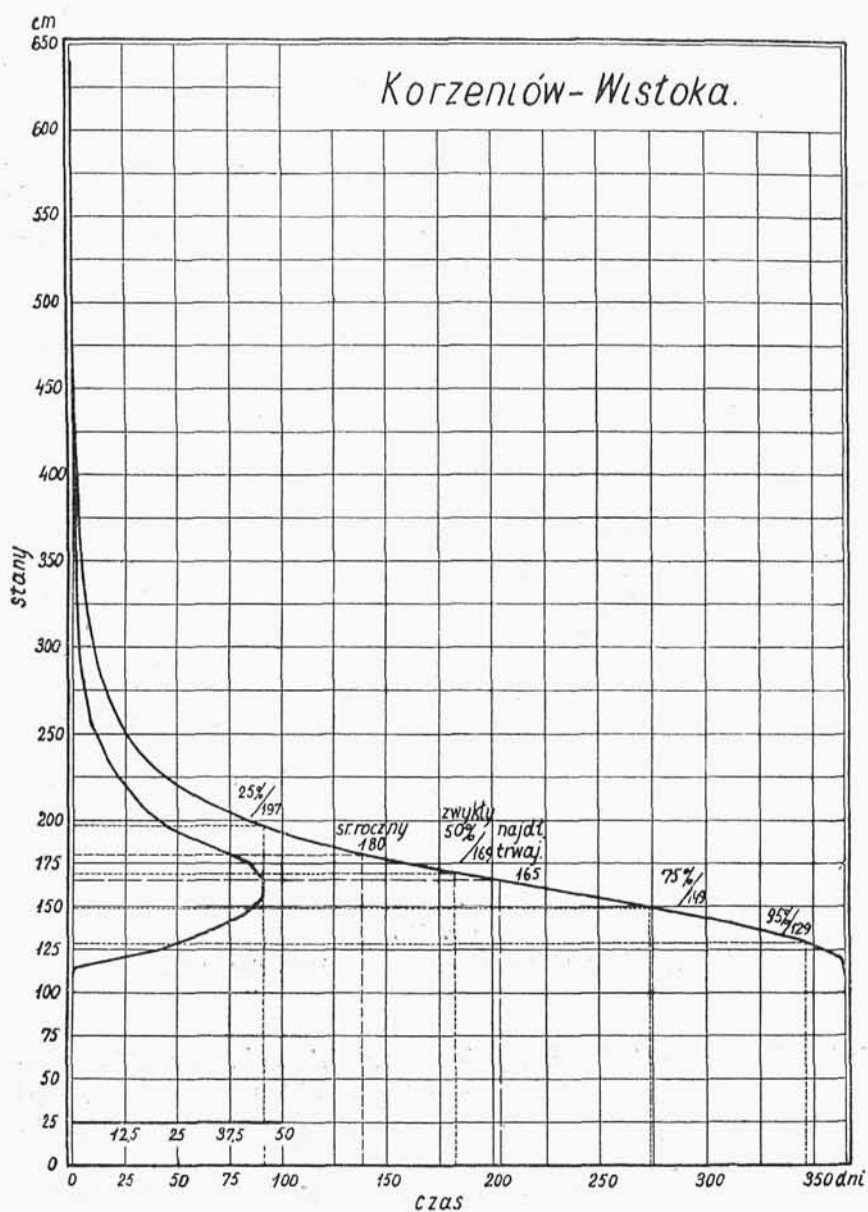
Rys. 54c.

Krzywa częstości i sum czasów trwania stanów wody.

siadają krzywe związku dla rzek czysto nizinnych, Prypeci i Stochodu. Szczególnie charakterystyczny jest przebieg krzywej częstości Stochodu z wyraźnie zaznaczonymi dwoma maximami dla wód niskich i wysokich.

Krzywe częstości i sum czasów trwania umożliwiają określenie niektórych specjalnych stanów, nadających się do zastosowań praktycznych. Do takich stanów należy stan najdłużej trwający i stan zwykły.

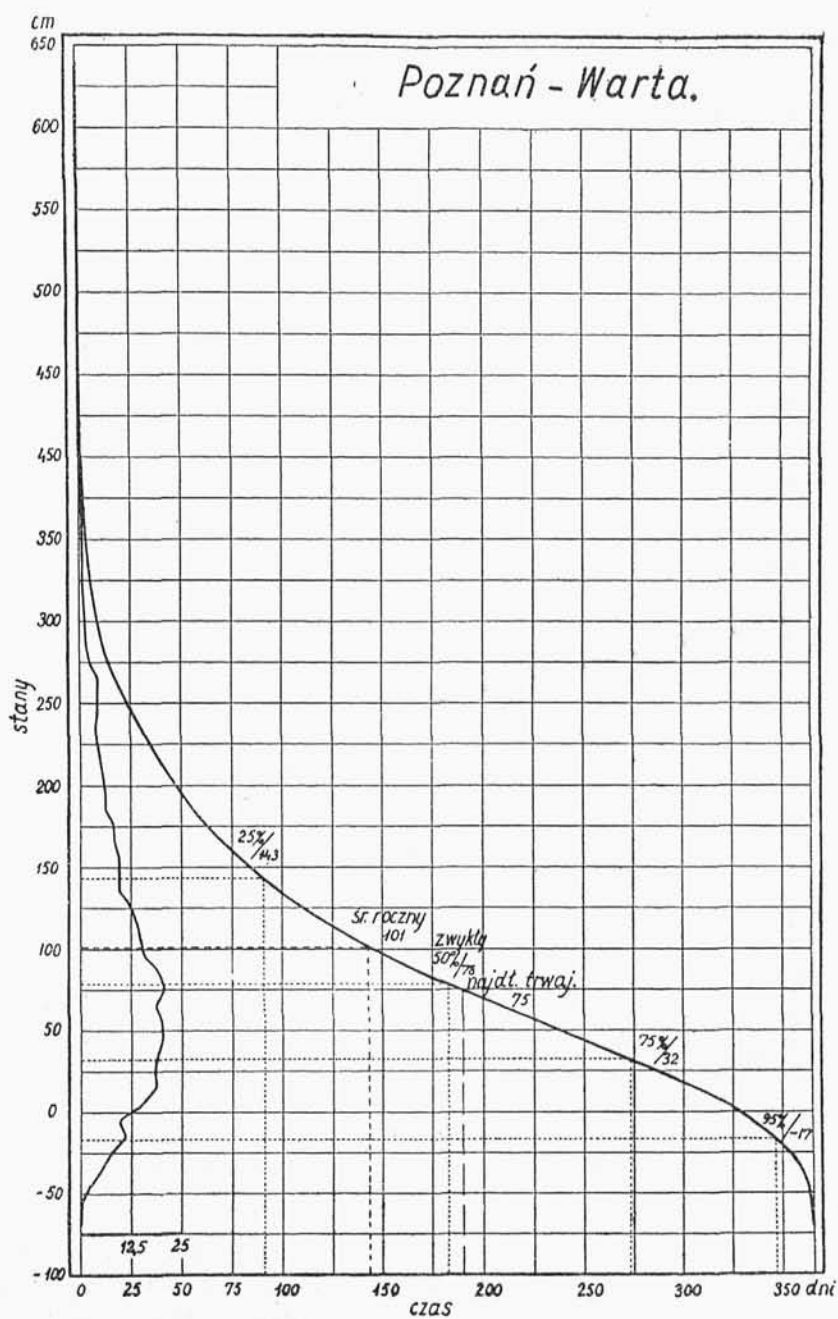
Definicja stanu najdłużej trwającego tłumaczy się sama przez się. Jest to stan, któremu na krzywej częstości odpowiada najdłuższa rzędna pozioma (czasu), a na krzywej sum czasów trwania — punkt przegięcia. Oznaczenie jego nie sprawia trudności jeżeli czę-



Rys. 54d.

Krzywa częstości i sum czasów trwania stanów wody.

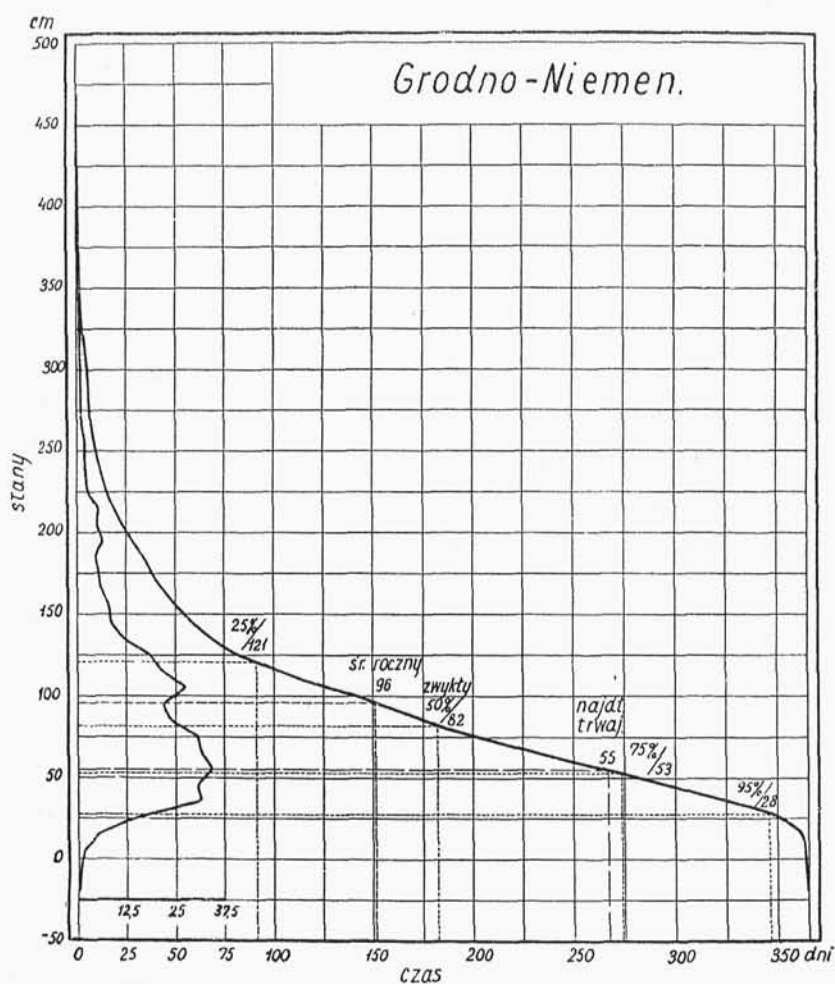
stość obliczamy dla poszczególnych obserwacji, staje się jednak wątpliwe jeżeli łączymy większą ilość obserwacji w grupy. Wtedy przy oznaczeniu położenia stanu najdłużej trwającego trzeba uwzględ-



Rys. 54e.

Krzywa częstości i sum czasów trwania stanów wody.

nić nie tylko czas trwania danej grupy, ale także obu grup sąsiednich. Najprościej wykonuje się to graficznie (rys. 55). Dla oznaczenia analitycznego proponuje Rundo<sup>15)</sup> przyjąć w danym miejscu krzy-

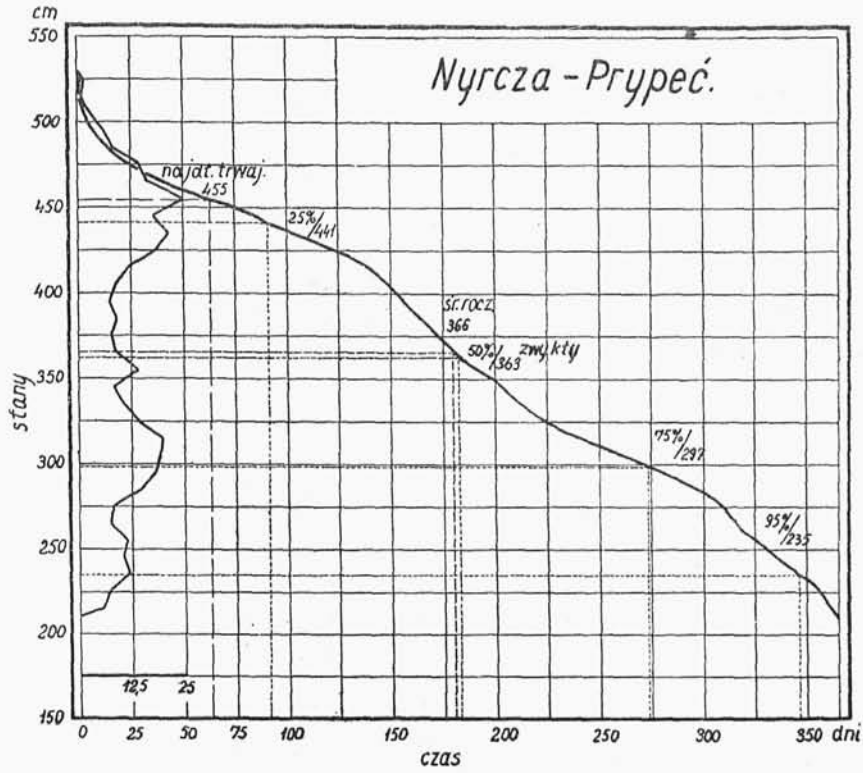


Rys. 54f.

Krzywa częstości i sum czasów trwania stanów wody.

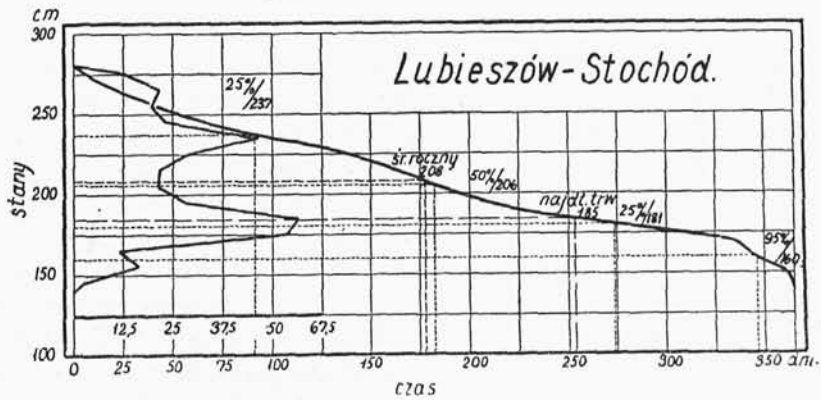
wą paraboliczną. Wówczas jeżeli czasy trwania wynoszą  $m_0$  dla grupy najdłużej trwającej,  $m_{+1}$  i  $m_{-1}$  dla grup sąsiednich, różnice  $(m_0 - m_{-1}) = dm_{-1}$  oraz  $(m_{+1} - m_0) = dm_0$ , to stan najdłużej trwający

<sup>15)</sup> A. Rundo, O wartościach charakterystycznych wodostanu i przepływu rzek, Warszawa, 1926 r.



Rys. 54g.

Krzywa częstości i sum czasów trwania stanów wody.



Rys. 54h.

Krzywa częstości i sum czasów trwania stanów wody.

$$H_o = H_{mo} - \frac{dm_{-1}}{dm_o - dm_{-1}} p \quad (p = \text{ilość cm w grupie}).$$

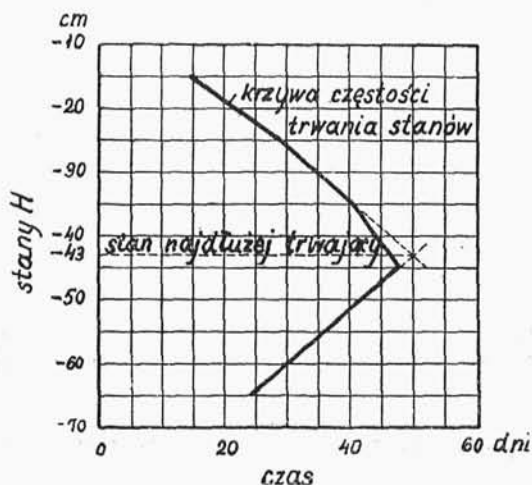
W przykładzie przedstawionym na rys. 55:

$$dm_{-1} = 9,76 - 7,81 = +1,95$$

$$dm_o = 6,58 - 9,76 = -3,18$$

$$H_o = 430 - \frac{1,95}{-3,18 - 1,95} 10 = 430 + 3,8 = 433,8 \text{ cm.}$$

W wielu ściekach, zwłaszcza nizinnych, występuje kilka stanów najdłużej trwających, najczęściej dla stanów niskich i wysokich.



Rys. 55.

Określenie stanu wody najdłużej trwającego dla  
Wisły w Dworach w 1930 r.

Drugim stanem charakterystycznym, opartym na czasie trwania, jest stan zwykły. Jest to stan, który rozdziela wszystkie stany pod względem czasu ich trwania na dwie połowy, wody wyższe trwają zatem tak długo jak niższe. Na krzywej częstości oznaczamy ten stan planimetrując pole, zawarte pomiędzy nią i osią współrzędnych, i szukając linii połowiącej to pole. Prościej znajdziemy ją na linii sum czasów trwania, odcinając połowę okresu czasu wziętego pod uwagę i kreśląc pionową aż do przecięcia się z krzywą sumowania. Dla roku będzie to więc stan odpowiadający czasowi 182 i pół dni. Sposób ten jest dokładny jedynie wówczas, jeżeli krzywe częstości i sumowania oznaczono na podstawie odczytów centymetrowych bezpośrednio, jeżeli jednak łączono je w grupy, wtedy położenie stanu zwykłego będzie tylko przybliżone. Instrukcja pruska poleca

po oznaczeniu grupy, w której leży stan zwykły, przejść następnie wszystkie odczyty wodowskazowe w poszczególnych centymetrach tej grupy i po kolei dodawać odpowiadające im czasy trwania do czasu trwania dolnego odczytu grupy aż do osiągnięcia połowy sumy dni w roku. Np. dla Warty pod Nowym Miastem stan zwykły znajduje się w przedziale + 50 do + 59, gdyż w okresie 25 lat na sumę 9131 dni odczytowi + 50 odpowiada dni 4222, zaś odczytowi + 59 odpowiada dni 4788, gdy połowa całej sumy dni wynosi  $4565\frac{1}{2}$ . Licząc grupami trzeba by określić stan zwykły dla grupy + 55. Doliczając kolejno czasy trwania dla cm + 51, + 52, + 53 itd. zatrzymamy się przy stanie + 57 gdyż suma wynosi wówczas łącznie z tym stanem 4558, zatem stan zwykły będzie leżał na początku odczytu + 58. W przybliżeniu, przyjmując prostolinijny rozkład w grupie, można stan zwykły obliczyć wzorem:

$$\frac{4565 - 4222}{566} 10 = 6, \text{ a więc stan zwykły} = 50 + 6 = + 56$$

Stan zwykły jest jednym ze stanów charakteryzujących wartość energetyczną ścieku.

Z pośród różnych stanów, jakie możemy na podstawie czasu ich trwania określić, przyjęto w różnych krajach różne wartości. Oznacza się je albo ilością miesięcy zwilżenia albo też procentem całego okresu. Międzynarodowa statystyka sił wodnych przyjmuje przepływy: średni roczny, 50% i 95% w przeciętnym roku, statystyka polska dodaje ponadto 75% i 25%. Francuski sposób oznaczania niskiego stanu żeglownego polega na odrzuceniu 10 do 20 dni z rocznego czasu trwania, a więc przyjmuje okres zwilżenia 85% do 97%. W Polsce dla regulacji rzek przyjmuje się okresy 180, 215 lub 245 dni ale w ciągu letniego okresu żeglugi (275 dni).

Charakterystyką rzeki jest też do pewnego stopnia wzajemne położenie stanów: średniego rocznego, zwykłego i najdłużej trwającego. Wszystkie te trzy stany oznaczono na krzywych na rys. 54.

Krzywe sumowania można ująć w kształt matematyczny, o ile stworzymy je z wartości przeciętnych z dłuższego okresu czasu. Najdokładniej oddadzą ten kształt równania oparte na danych jakiejś jednej rzeki lub grupy rzek o jednakowym charakterze. Tak np. Jacobi<sup>16)</sup> wyprowadził wzory na przepływy dla rzek siedmiogrodzkich dla średnich wartości z dziesięciolecia opierając się na wielkości powierzchni dorzecza, wielkości opadu, procentu zalesienia, tempera-

<sup>16)</sup> R. Jacobi, Näherungsverfahren zur rechnerischen Ermittlung der Abflussdauerlinie sowie der Wertbestimmung einer Flusstrecke, Wasserkraft und Wasserwirtschaft, 1934, Nr 21, str. 256.



tury i średniego nachylenia stoków. Jacobi podał wzory nie tylko dla przepływów charakterystycznych, jak przepływ średni, najwyższy i najniższy, ale także na przepływy zależne od czasu trwania. Wzory te są jednak bardzo zawikłane; o wiele prostsze są wzory Beckera<sup>17)</sup>.

## 12. Podział na strefy

Oprócz stanów charakterystycznych, przy określaniu rodzaju przepływu, rozróżniamy wody: wysokie (duże), średnie i niskie (małe). Podział ten używany jest nie tylko w mowie potocznej, ale i w terminologii hydrotechnicznej, mówi się bowiem o regulacji na małą wodę, o zabezpieczeniu przed wielkimi wodami, o ujęciu wód średnich itp. Ani definicje ani rozgraniczenie tych stanów nie zostały dotąd ustalone. W r. 1912 zjazd szefów służby hydrograficznej Austrii, Niemiec, Szwajcarii i Węgier spróbował po raz pierwszy ustalić rejon wód wielkich, średnich i małych przez wyraźne ograniczenie pojęcia wód średnich. Jako granicę górną wód średnich przyjęto stan, leżący w środku pomiędzy stanem średnim rocznym i średnim z najwyższych odczytów w okresie co najmniej lat dziesięciu. W podobny sposób granica dolna miała leżeć w połowie między stanem średnim rocznym i tak samo wypośrodkowanym przeciętnym ze stanów najniższych:

$$H_g = \frac{1}{2} (H_{\text{śr. max.}} + H_{\text{śr. r.}}); \quad H_d = \frac{1}{2} (H_{\text{śr. mln.}} + H_{\text{śr. r.}})$$

W ciągu lat kilkunastu obliczane były te wartości w rocznikach hydrograficznych wymienionych państw a także państw sukcesyjnych, między innymi w Polsce. Obecnie rozgraniczenia tego zaniechano, okazało się ono bowiem zbyt sztywne. W rzekach górskich, o bardzo wysokich wezbraniach i długotrwałych niskich stanach, granica górna przesuwana się bardzo wysoko, wkraczając zupełnie wyraźnie w rejon wód wysokich. W rzekach typu mieszanego stany niskie, trwające nieraz kilka miesięcy w roku, znajdują się w tym rejonie tylko wówczas, jeżeli między średnią roczną i stanami najniższymi nie ma zbyt wielkiej różnicy. W rzekach nizinnych stany średnie często nie odgrywają żadnej roli, zaś wszystkie obserwacje można podzielić na 2 grupy: stanów wysokich i niskich.

Inny sposób podziału stref zaproponował Niesułowski<sup>18)</sup>, wcią-

<sup>17)</sup> Hydrologia, część I, str. 185.

<sup>18)</sup> S. Niesułowski. O wyznaczeniu granic stref wodostanów. Biuletyn Towarzystwa Geofizyków w Warszawie. 1929 r. Zeszyt 1.