

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 Beckera¹⁷⁾.

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:

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

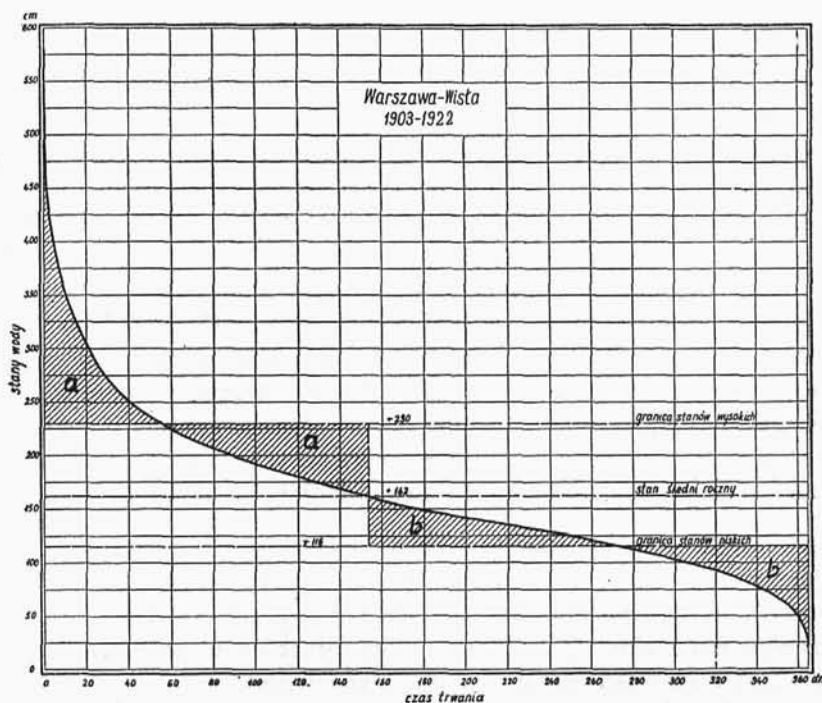
W ciągu lat kilkunastu obliczane były te wartości w rocznikach hydrograficznych wymienionych państw a także państw sukcesyjnych, między innymi w Polsce. Obecnie rozgraniczenia tego zaniechano, okazało się ono bowiem zbyt sztywne. W rzekach górskich, o bardzo wysokich wezbraniach i długotrwałych niskich 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 Niesułowski¹⁸⁾, wcią-

¹⁷⁾ Hydrologia, część I, str. 185.

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

gając w rachubę oprócz wysokości także czasy trwania. Wychodząc ze stanu średniego rocznego, jako podstawowego, Niesułowski oznacza stany graniczne jako $h_{gr} = \frac{\sum h t}{\sum t}$, przy czym w zależności od jakości granicy bierze się h powyżej lub poniżej stanu średniego. Rys. 56. przedstawia graficznie schemat podziału.



Rys. 56.

Granice stanów wysokich i niskich według S. Niesułowskiego.

Wprowadzenie elementu czasu należy uważać za duży postęp. To też wody średnie, które w pierwotnym projekcie obejmowały stałe 50% elewacji i rozciągały się na okres czasu od 7 do 8 miesięcy, trwają przy tym podziale od 6 do 8 miesięcy i mają różną elewację, zależnie od charakterystyki ścieku. Odkryło się to jednak wyłącznie na korzyść stanów wysokich, których i elewacja i czas trwania zostały zresztą słusznie przedłużone, ale czas trwania stanów niskich został przy tym sposobie obliczenia skrócony.

Sprawę rozgraniczenia stanów wysokich, średnich i niskich należy zatem uważać na razie jako nierozwiązaną. Zresztą dla charakterystyki ścieku można ją uważać poniekąd za obojętną, inne

bowiem cechy uzyskane ze statystyki wodowskazowej najzupełniej wystarczają. Natomiast duże znaczenie może mieć ustalenie pojęcia różnego rodzaju wód dla regulacji rzek. Tak np. ściśle określenie średniej wysokiej wody lub średniej niskiej wody, które się przyjmuje często jako stany normalne dla regulacji, nie będzie mogło nastąpić tak długo, dopóki granic tych stanów nie określimy.

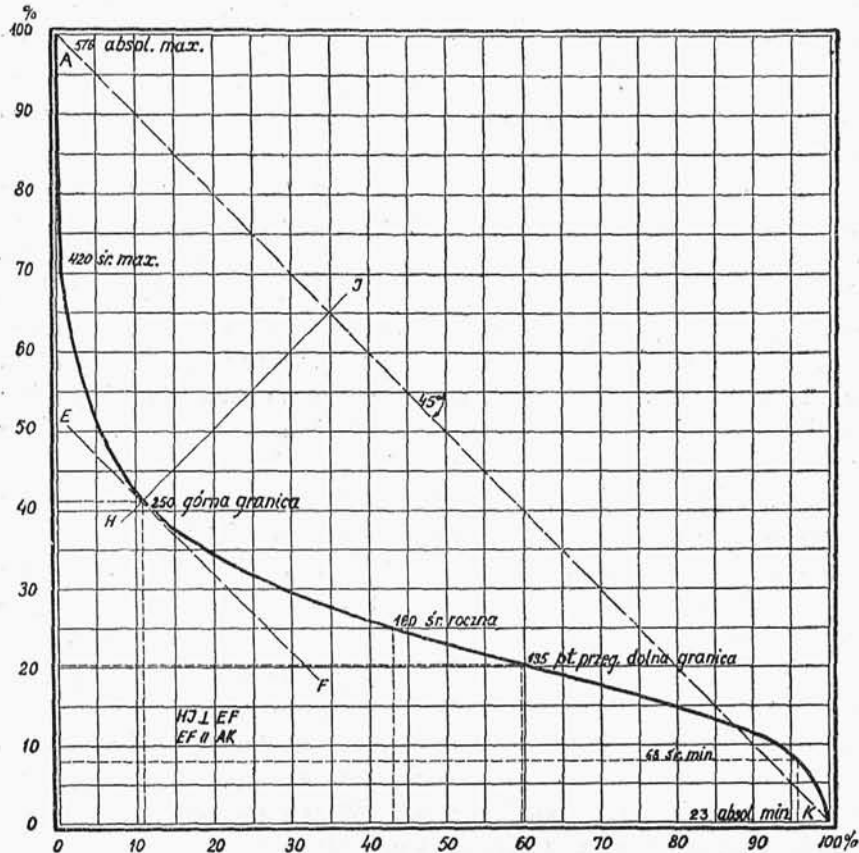
Ponieważ rozgraniczenie odnosi się właściwie nie do stanów ale do przepływów, tu należy zatem szukać podstawy do definicji. Przepływy w ściekach pochodzą bądź to bezpośrednio z opadów, przy uwzględnieniu krótkotrwałych retencji powierzchni gruntu, roślinności i koryta, bądź ze spływu wody, zatrzymanej wskutek retencji zbiorników naturalnych i bagien oraz wskutek retencji zimowej, bądź wreszcie z wód podziemnych. Otóż można by określić wody niskie jako wody, które występują w tym okresie przepływów, kiedy zaczyna się wyczerpywanie zapasów wód głębszych, kiedy więc ich odpływ staje się większy od dopływu wody przesiąkającej. Natomiast jako strefę wód wysokich można by przyjąć te okresy, kiedy bezpośredni wpływ wody opadowej odgrywa w przepływie główną rolę. Reszta stanów przypadałaby na wody średnie. Wtedy do oznaczenia granicy dolnej musimy mieć do dyspozycji pomiary przepływów w czasie posuchy i znać przepływ najniższy. Według prawa Mailleta¹⁹⁾ objętość wypływu ze zbiornika wyczerpującego się: $Q = Q_0 e^{-\alpha(t-t_0)}$ (t wyrażone w dniach, objętości w m³/sek). Q jest objętością w chwili rozpoczęcia wyczerpywania się zbiornika; po okresie $t-t_0$ nastąpi przepływ minimalny Q_0 . Znając kilka przebiegów posuch możemy wyznaczyć wielkość współczynnika ascenzji (lub regresji) α i ilość dni, po których przepływ wody spadnie do minimum Q_0 , a stąd obliczyć przepływ Q i odpowiadający mu stan wody jako graniczny między wodami małymi i średnimi. W braku tych danych można w przybliżeniu oznaczyć ten stan, badając dłuższe okresy bezdeszczowe i szukając punktu, od którego zaczyna się stały bardzo powolny spadek stanów wody aż do minimum. Badania przeprowadzone na wodowskazach polskich wykazały²⁰⁾, że granica ta w rzekach typu górskiego i mieszanego zgadza się dość dokładnie z najdłużej trwającym stanem niskim. W ten sposób granicą dolną stanów średnich na krzywej sumowania byłby jej punkt przegięcia najniżej położony.

O wiele trudniej oznaczyć granicę górną stanów średnich. We-

¹⁹⁾ Hydrologia, część II, str. 167.

²⁰⁾ M. Rybczyński. Kilka uwag o charakterystyce przepływów. Biuletyn Towarzystwa Geofizyków w Warszawie, 1932 r. Zeszyt 4/5.

dług przyjętej powyżej definicji przy tych samych stanach mogą odpływać zarówno wody wezbraniowe jak i pochodzące z retencji. W rzekach i potokach górskich fale wezbrań odcinają się zwykle dość wyraźnie od fali rocznej zmian stanów wody (rys. 6), podstawa więc fali wezbrania przeciętna z wielu obserwacji może być uznana za



Rys. 57.

Dolna i górna granica stanów średnich według M. Rybczyńskiego.

tę granicę. W rzekach, które mają wyraźnie zaznaczone brzegi, między którymi mieszczą się wody małe i średnie, można uważać za granicę górną przeciętną wysokość brzegów, uznając, że wodami wysokimi są tylko te, które występują z brzegów. Przy rzekach uregulowanych można jako granicę przyjąć wysokość koron tam, zwykle dostosowaną (przynajmniej na brzegu wklęsłym) do przepływu wód średnich. Jak widać określenia te w żadnym wypadku nie są ścisłe. W braku pewniejszych danych można wyznaczyć

ten stan na rzekach górskich i mieszanych z kształtu krzywej całkowej. Dla rzek tego typu stany wysokie grupują się na prawie prostym odcinku krzywej, nieznacznie nachylonym do osi pionowej układu rzędnych. Natomiast stany średnie i niskie tworzą linię kształtu litery S ale bardzo spłaszczoną, którą również można zastąpić prostą nieznacznie nachyloną do poziomu. Pomiędzy tymi prostymi znajduje się krzywizna tym ostrzejsza im bardziej górski charakter ma rzeka. Można z dużą dozą słuszności przypuścić, że na tę krzywiznę będą się po połowie składać stany, należące zarówno do wód wysokich jak średnich.

Przedstawienie krzywych sum czasów trwania w wartościach procentowych całej rozpiętości stanów i czasu (rys. 57) okazało, że w przeważnej ilości wypadków dwusieczna kąta pomiędzy wspomnianymi prostymi odcinkami krzywej jest prawie dokładnie nachylona pod kątem 45° do poziomu, tak samo jest więc nachylona — prostopadła do niej — styczna do krzywej w punkcie jej przecięcia przez dwusieczną. Stąd wynika prosty sposób konstrukcji punktu granicznego na krzywych w dowolnej skali narysowanych. Należy w tym celu połączyć najwyższy punkt krzywej sumowania z najniższym (AK) i wykreślić do tej prostej równoległą (EF) styczną do krzywej. Punkt styczności (H) będzie górnym stanem granicznym wód średnich i początkiem wód wysokich^{*)}). Porównania z przekrojami poprzecznymi dowiodły, że tak wypośrodkowany punkt graniczny dość dobrze zgadza się ze średnią wysokością brzegów.

Można też oznaczyć graniczny górny stan wód średnich, dzieląc ilość dni przyjętego okresu czasu przez ilość grup (u nas decymetrów) mieszczących się w całej rozpiętości stanów wody, i szukając stopnia, dla którego sumaryczny czas trwania, liczony od najwyższego, zawiera tę samą ilość dni. W ten sposób w rejon wód wysokich wpadałyby te wszystkie grupy stanów, których czas trwania jest krótszy niżby był przeciętny dla wszystkich grup.

Dla rzek, posiadających w dorzeczu lodowce lub obszary wiecznego śniegu, zmienia się kształt krzywej sumowania wobec długo-trwającego okresu topnienia śniegu, stąd wzrasta znacznie obszar stanów średnich; dla rzek nizinnych ten sam wpływ wywierają bagna i jeziora.

Dla 54 wodowskazów polskich o okresie obserwacji 20 do 25 lat (z wyjątkiem rzek górskich, zmieniających dość szybko przekrój) otrzymano następujące wyniki obliczeń:

^{*)} Np. oznaczona na rys. 57 granica górna $+250$ odpowiada 40 dniom trwania.

TABELA 5.

Czas trwania poszczególnych stref wód,

Rodzaj rzek	Średni czas trwania strefy wód w dniach		
	wysokich	średnich	niskich
Rzeki i potoki górskie, 19 wodowskazów	23	210	132
Dolne biegi rzek górskich, 15 wodowskazów	40	207	118
Rzeki nizinne z dopływami góorskimi, 14 wodowskazów	43	186	136
Rzeki nizinne, 6 wodowskazów	31	258	76

Tabela powyższa przedstawia bardziej zróżniczkowany obraz czasu trwania poszczególnych stref, niż to można było osiągnąć przy pomocy poprzednich metod, a co najważniejsze daje znacznie dłuższy okres trwania stanów niskich (przeciętnie $4\frac{1}{2}$ mies.) zgodnie z charakterem naszych rzek. Czas trwania wysokich wód skraca się poniżej 1 miesiąca tylko dla wyraźnie górskich ścieków. Co się tyczy rzek nizinnych, dla których posługiwano się jedynie obserwacjami stacji poleskich, ten sposób rozgraniczenia wprowadza do wód średnich całą retencję bagien, wówczas naturalnie okres trwania tej strefy musiał się niepomrotnie wydłużyć. Gdybyśmy jednak chcieli tę retencję wyeliminować, musielibyśmy poprzestać na rozgraniczeniu tylko 2 stref, wód wysokich i niskich, i jako granicę przyjąć nie stan średni ale stan zwykły.

Rozdział na dwie lub trzy strefy wszystkich obserwacji wodowskazowych z pewnego okresu charakteryzuje ściek nie tylko czasem trwania poszczególnych stref ale także ich rozpiętością. Ponieważ zaś na całą rozpiętość wpływa przede wszystkim zasięg stanów wysokich, więc rozpiętość wód wysokich jest ważną cechą charakterystyczną wód płynących.

Ustaliwszy podział stanów wody na strefy, można ściśle określić stan średni, wysoki i niski, [umieszczając go w środku ciężkości pola zamkniętego krzywą częstości, osią rzędnych i granicami stref (rys. 58). Wyznaczyć środek ciężkości łatwo wykreślić, ponieważ odcięta na wysokości stanów [granicznych, mierzona od końcowych punktów krzywej sumowania, daje sumę czasu trwania całej strefy, zaś odrzucone na nią wartości dla poszczególnych grup

pozwalają na wykreślenie wieloboku sznurowego i wyznaczenia położenia wypadkowej, przechodzącej przez środek ciężkości.

Wyznaczone w ten sposób wartości przepływów dla średnich wysokich stanów dla 12 stacyj wodowskazowych w Polsce, na których są pomiary wielkich wód, dały następujące wyniki:

TABELA 6.
Średnie wody wysokie.

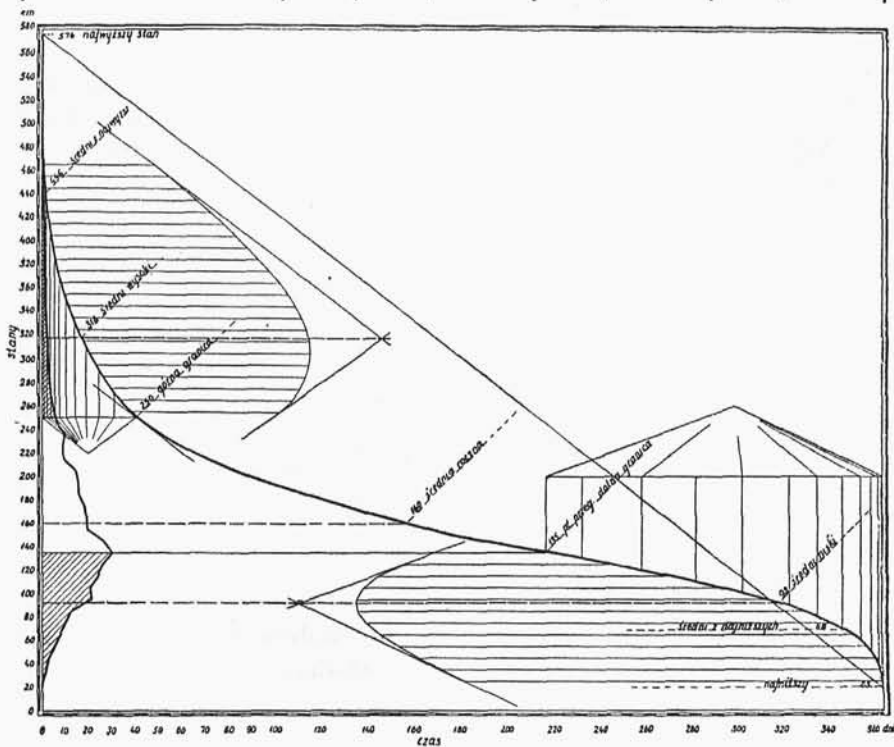
Rzeka — Wodowskaz	Znane maksimum $Q \text{ m}^3/\text{sek}$	Obliczone jako średnia z maximumów rocznych		Ustalone z położenia środka ciężkości		Położenie śr. ciężk. w strefie	Stosunek $Q \text{ max.} \text{ śr.} / Q \text{ max.}$
		Q	Czas w dniach	Q	Czas w dniach		
Soła Oświęcim	1360	—	1	250	5	1 : 5	1 : 5,4
Dunajec Kurów	1655	700	$\frac{1}{2}$	280	7	1 : 5,8	1 : 6
San Postolów	1190	710	$\frac{1}{2}$	270	5	1 : 7	1 : 4,4
" Przemyśl	1028	564	1	194	7	1 : 3	1 : 5
" Radomyśl	2500	—	1	698	15	1 : 5,7	1 : 3,5
Wisła Smolice	1750	—	1	450	13	1 : 5,4	1 : 3,5
" Warszawa	7000	3590	1	1660	16	1 : 4,4	1 : 4,2
" Toruń	9300	3940	3	2520	15	1 : 4,6	1 : 3,7
Dniestr Zaleszczyki	3400	2280	1	810	15	1 : 4,9	1 : 4,2
Warta Poznań	1584	690	3	300	13	1 : 5,9	1 : 5,3
Wilga Wilno	1650	500	4	320	17	1 : 5,3	1 : 5
Niemen Grodno	1950	840	6	620	16	1 : 5	1 : 3

Porównanie czasów zwilżenia wykazuje, że średnia z najwyższych nie może być dobrym określeniem średniej wysokości wody. Najwyżej 1 dzień trwania dla rzek górskich zaś kilka dni dla nizinnych nie może odpowiadać średniemu stanowi wysokiemu. W projektowanym sposobie oznaczenia dla rzek górskich otrzymujemy 5 do 7 dni, dla innych kilkanaście dni, zatem cyfry o wiele prawdopodobniejsze. Położenie stanu średniego wysokiego jest dość jednostajne, w przeważnej ilości wypadków leży on w $\frac{1}{5}$ wysokości strefy tych wód nad ich granicą. Wpływa tu kształt przekroju; przy większej ilości danych można by wyciągnąć ściślejsze wnioski. Stosunek wielkiej wody średniej do najwyższej znanej wynosi przeciętnie 1:5 przy rzekach górskich, 1:4 przy innych. Przy wielu projektach melioracyjnych w Małopolsce przyjmowano stosunek średniej wielkiej wody do katastrofalnej 1 : 5.

Dla tych samych rzek wyznaczono tą metodą średnią wodę niską przy czym otrzymano następujące rezultaty:

TABELA 7.
Średnie wody niskie.

Rzeka—Wodowskaz	Znane minimum $Q \text{ m}^3/\text{sek}$	Obliczone jako średnia z minimum rocznych		Ustalone z położenia środka ciężkości		Położenie śr. ciężk. w strefie	Stosunek $Q \text{ min. śr.}$ $Q \text{ min.}$
		Q	Czas w dniach	Q	Czas w dniach		
Raba Proszówki	1,4	—	5	3,0	37	1:3	1:2
Dunajec Kurów	11,6	15,0	7	26,0	48	1:3,5	1:2,3
" Biała	14,8	18,0	2	35,0	70	1:3,6	1:2,3
San Postołów	1,7	1,9	8	5,0	30	1:2	1:3
" Przemyśl	6,3	11,0	11	19,0	51	1:2,3	1:3
" Radomyśl	15,0	20,0	6	30,0	38	1:2,4	1:2
Wisła Smolice	16,0	27,5	18	34,0	46	1:3	1:2
" Warszawa	110,0	183,0	20	240,0	59	1:2,6	1:2,2
" Toruń	215,0	330,0	26	480,0	63	1:2,6	1:2,3
Dniestr Zaleszczyki	48,0	67,0	13	80,0	44	1:3	1:1,3
Warta Poznań	18,0	28,0	18	48,0	78	1:2,8	1:2,6
Wilga Wilno	37,0	46,0	4	55,0	17	1:2,3	1:1,3
Niemen Grodno	63,0	104,0	2	124,0	21	1:3	1:2



Rys. 58.
Określenie stanu średniego, wysokiego i niskiego.

Powyższe zestawienie wykazuje, że średnia niska woda, obliczona jako średnia wartość z najniższych, trwa w rzekach górskich i nizinnych z retencją jeziorową lub bagienną zaledwie kilka dni, a tylko w rzekach typu mieszanego przedłuża się do dni kilkunastu z powodu niejednoczesnego opadania wód w dopływach. Objętości przepływu bardzo nieznacznie różnią się od objętości najniższych znanych. Natomiast woda ta, obliczona z uwzględnieniem czasu, trwa od 1 do 2 miesięcy, a więc zgodnie z tym, co faktycznie w rzekach spostrzegamy. Wyjątek stanowią znów rzeki z retencją, które—jak wspomniano—mają właściwie dwa rejony: stanów niskich i wysokich. Położenie środka ciężkości da się określić jeszcze ściślej niż przy stanach wysokich. Leży on nieco niżej od $\frac{1}{3}$ elewacji całej strefy licząc od stanu granicznego. Również stosunek objętościowy średniego minimum do najmniejszego znanego przepływu jest prawie stały. Przepływ niski średni jest nieco więcej niż dwa razy większy od najniższego znanego, zgodnie z tym co przyjął we wzorach swoich Iszkowski.

