

średnią wartość spad. Pożądane jest też pomierzenie spad. również w czasie wielkich wód lub na podstawie śladów jakie zwykle pozostawia po sobie wezbranie.

5. Przepływy

Z omawianych dotąd cech ścieku zlewnia jest najbardziej stałą. W spadzie ścieku zachodzą zmiany dość częste, o ile rzeka ma dno ruchome. Natomiast przy badaniu przepływów mamy do czynienia z ciągłą ich zmiennością. Stąd badanie przepływów jest głównym zadaniem studiów hydrologicznych.

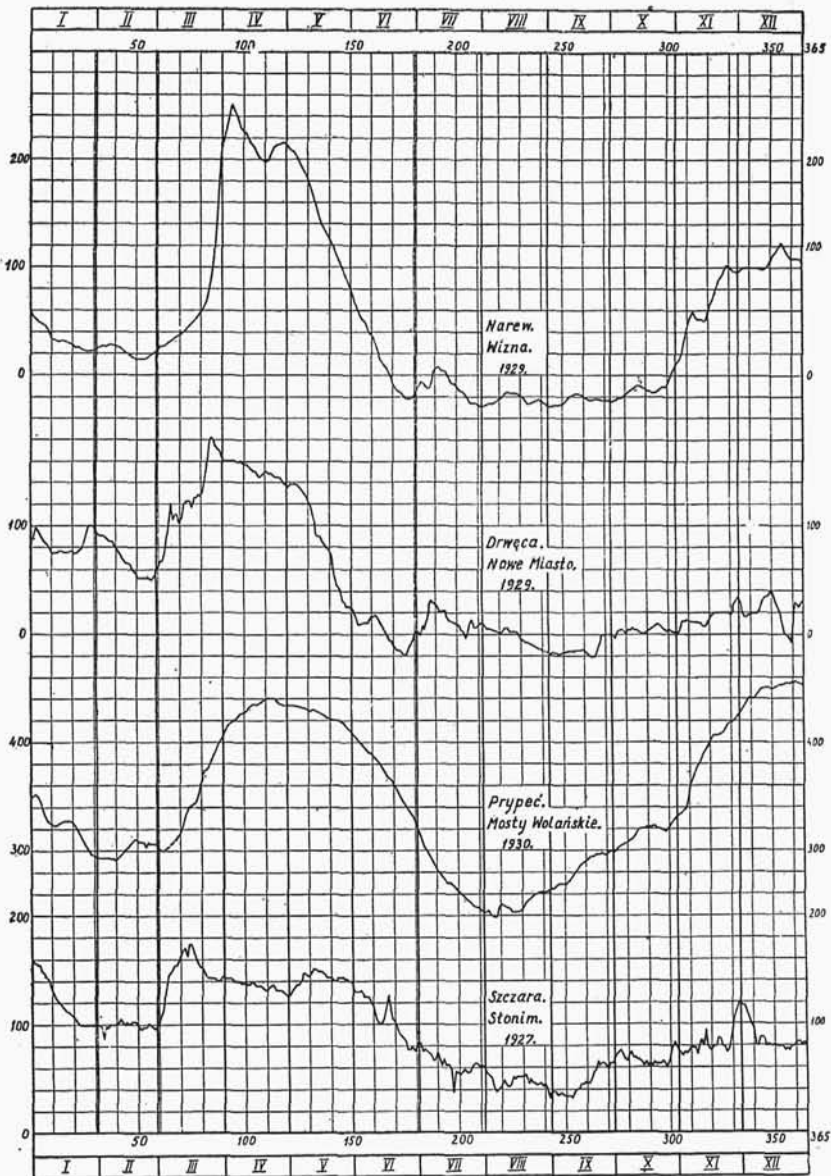
Pomijając zmiany nieperiodyczne klimatu, rozciągające się na tak długie okresy czasu, że badanie ich wpływu na przepływy usuwa się spod naszej kontroli, mamy do czynienia przede wszystkim ze zmianami zawisłymi od czynników geofizycznych. Są one jednak mało zbadane. Zalicza się do nich 11-letni okres zmian natężenia plam słonecznych i 35-letni okres Brücknera. Wobec niewielkiej ilości punktów obserwacyjnych sięgających długich okresów, badania tych zmian periodycznych są zaledwie w zaczątku.

Obok zmian długookresowych podlegają przepływy w ściekach ciągłym zmianom, będącym następstwem różnych ilości wody, dopływającej z powierzchni zlewni lub ze źródeł. I tu możemy odróżnić zmiany periodyczne, jaką jest fala roczna, i nieregularne, zależne bezpośrednio od opadów. Fala roczna zmian, jako następstwo zmian temperatury, występuje najwyraźniej w rzekach nizinnych o przepuszczalnym podłożu, w których bezpośredni odpływ po deszczach nie odgrywa prawie żadnej roli. W innych ściekach zaznacza się ona wyraźnie tam, gdzie duży procent wody w ścieku pochodzi z odpływów wody gruntowej. W naszym klimacie fala ta ma maximum z wiosną w czasie topnienia śniegów, minimum występuje późnym latem lub jesienią. Przykład dziennych zmian na kilku wodowskazach na rzekach nizinnych podaje rys. 6a.

Bieg dziennych obserwacji na Narwi w Wiznie w roku 1929 wykazuje ostro zarysowaną falę wiosennego przyboru, natomiast stany niskie układają się dość jednostajnie od lipca do października. Jeszcze dłuższy okres stanów niskich, bo od czerwca do końca roku, widzimy w r. 1929 na Drwęcy w Nowym Mieście, maximum przesuwają się na koniec marca. Najregularniejszą falę o kształcie zbliżonym do sinusoidy posiada Prypec w Mostach Wolańskich w r. 1930. Maximum wiosenne zostało w tym roku wyjątkowo przekroczone przez najwyższy stan w grudniu, pojawiający się zwykle jako maximum drugorzędne, może to być jednak wpływ zlodzenia. Minimum rysuje się również wyraźnie w sierpniu, a obok tego drugorzędne w lutym. Podobny przebieg ale bardziej niespokojny wykazuje Szczara w Słonimie

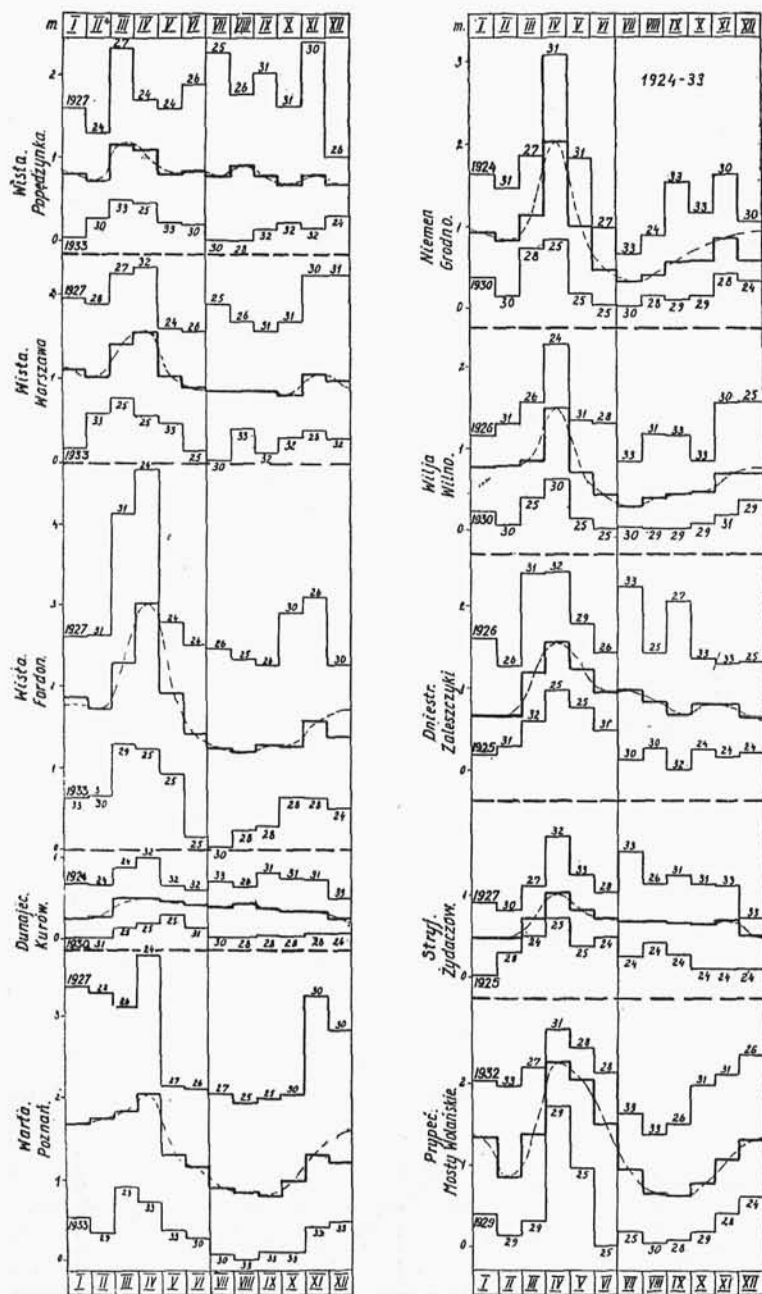
w r. 1927. Maximum w tym roku było wcześniejsze, bo w marcu, drugorzędne w listopadzie. Minimum główne we wrześniu, drugorzędne w lutym.

Chcąc się zorientować o właściwym przebiegu zmian, nie można operować poszczególnymi latami, wobec różnego nieraz rozkła-



Rys. 6a.

Dzienne zmiany stanów wody na rzekach nizinnych.



Rys. 7.

Średnie miesięczne stany wód.

du opadów a tym samym i spływów w ciągu roku. Trzeba w tym celu obliczyć wartości przeciętne co najmniej z lat 10. Nie nadają się jednak do tego celu obserwacje dzienne, jako zbyt nieregularnie się zmieniające, lepiej uwidocznia roczną falę wartości średnie miesięczne. Wtedy możemy podciągnąć do porównania także te ścieki, które mają częste, nieregularne i duże zmiany stanów wody. Jako przykład podajemy na rys. 7 przeciętne wartości średnich miesięcznych stanów na 10 wodowskazach na różnych rzekach w Polsce obliczone dla okresu od 1921 do 1930. Dla uwidocznienia granic w jakich wahają się średnie miesięczne w poszczególnych latach, wykreślono wartości maksymalne i minimalne z podaniem roku, do którego te cyfry się odnoszą. Na wszystkich rzekach maximum pojawia się na wiosnę zwykle w kwietniu, na południu w marcu. W dorzeczu Wisły i Dniestru spotykamy drugorzędne maximum jesienne. Więcej urozmaiczone jest występowanie minimum. Na karpackich dopływach Wisły i Dniestru pojawia się ono w zimie, na Wiśle w zimie zdarza się minimum drugorzędne, główne przypada powyżej Bugu w październiku, poniżej zaś — w sierpniu. Warta i Prypeć mają minimum we wrześniu, Niemen i Wilia w lipcu.

W rzekach górskich i w ściekach, do których spływa woda z terenów nieprzepuszczalnych, prawie każdy większy opad powoduje falę wezbrania; mimo tego przy kreśleniu biegu dziennych stanów da się wyodrębnić główną falę od krótkotrwałych fal wezbrań, jak gdyby na nią nasadzonych.

Przykład tego rodzaju zmienności stanów przedstawiają wykresy biegu dziennego na rys. 6b dla Sanu w Przemyśle, dla Raby w Proszówkach i dla Skawy w Zatorze. Zwłaszcza na tym ostatnim wykresie występuje fala podstawowa bardzo wyraźnie z maximum w kwietniu i minimum w jesieni.

Na powyższych wykresach zastąpiliśmy przepływy stanami wody, których obserwacja jest o wiele prostsza, niż ciągłe mierzenie objętości przepływu. Możemy to uczynić na podstawie następującego rozumowania.

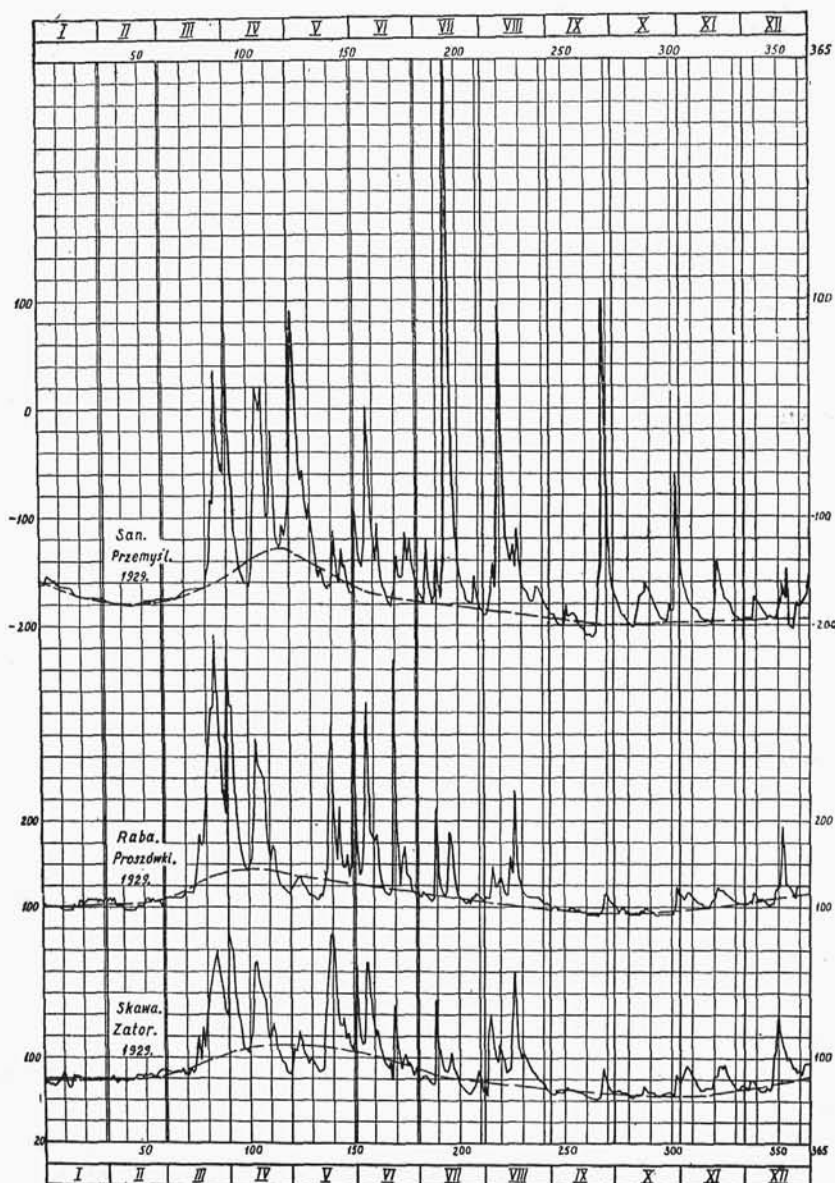
Objętość przepływu wyrażona w m³/sek $Q = A \cdot v$. . . (4)
gdzie A oznacza pole przekroju w m², zaś v prędkość średnią wody w m/sek.

Wielkość pola przekroju wypełnionego wodą zależy od poziomu wody, wyrażonego stanem wody H na wodowskazie. Możemy zatem napisać:

$$A = f_1(H)$$

Prędkość zależy od spadu, głębokości średniej koryta oraz szorstkości dna i brzegów. Ponieważ w danym przekroju szorstkość





Rys. 6b.

Dzienne zmiany stanów wody na rzekach górskich.

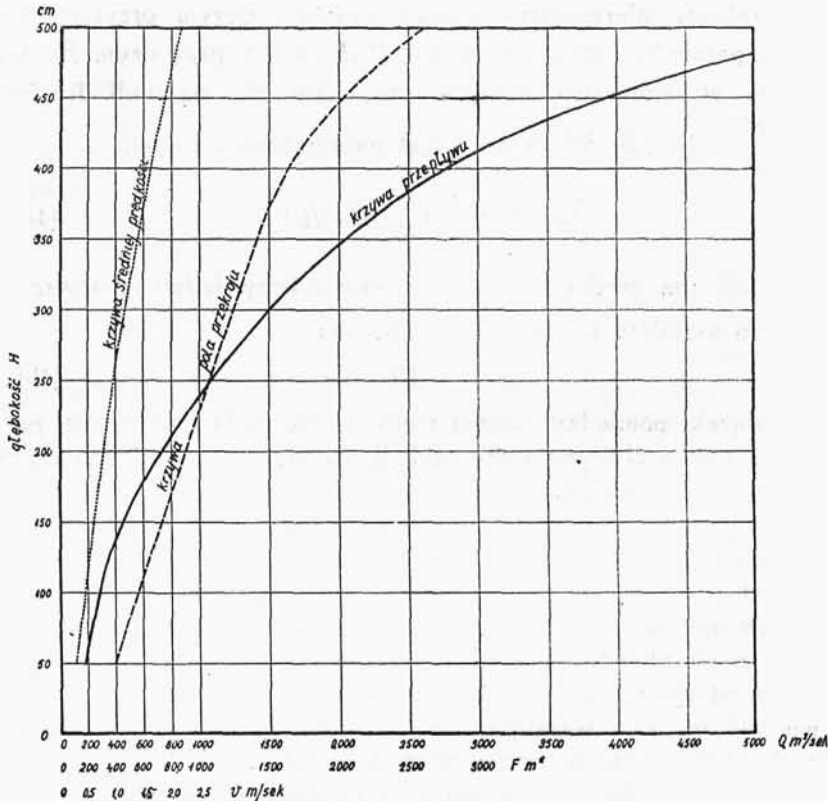
nie ulegnie zmianie jak długo kształt przekroju się nie zmieni, przeto przyjmując spad stały bez względu na stan wody, zmianę prędkości średniej uzależniamy tylko od zmiany głębokości średniej, czyli

znów od napełnienia koryta, a więc stanu wody na wodowskazie. Możemy więc znów napisać:

$$v = f_2(H)$$

$$\text{a stąd} \quad Q = f_1(H) \cdot f_2(H) = f_3(H) \quad (2)$$

Graficznie funkcje te przedstawia rys. 8.



Rys. 8.

Krzywe zależności przepływu, pola przekroju i średniej prędkości od głębokości dla Wisły w Warszawie.

Kształt funkcji zależęć będzie wyłącznie od kształtu przekroju poprzecznego, bo od niego zależęć będzie zarówno związek między polem przekroju i stanem wody jak też pomiędzy średnią prędkością a tymże stanem. Najprostszym kształtem będzie prostokąt, do którego możemy przyrównać przekrój koryta płytkiego a bardzo szerokiego.

Wówczas $A = B h$; przyjmując zaś kształt wzoru na prędkość $v = k h^n$ gdzie: B — szerokość zw. wody, k — stała szorstkości,

$h = H - H_0$ (H — stan zw. wody, H_0 — stan średniego położenia dna),
 i — spad zw. wody; przy czym B , i^m , k są stałe — otrzymamy:

$$Q = C (H - H_0)^{n+1}$$

Dla wzoru Chezyego $v = k \sqrt{hi}$ zależność ta przybiera kształt

$$Q = C (H - H_0)^{\frac{3}{2}} \quad (3)$$

Przekroje nieregularne można często z dużym przybliżeniem zastąpić parabolą. Wówczas $A = \frac{2}{3} B (H - H_0)$ przy czym H_0 jest mierzone w najniższym punkcie dna. Ale dla paraboli drugiego rzędu $\frac{B^2}{4} = 2p (H - H_0)$ gdzie p jest parametrem paraboli.

$$\text{stad } A = \frac{4}{3} \sqrt{2p(H - H_0)^{3/2}} \quad (4a)$$

Jeżeli dla średniej prędkości przyjmiemy jeden z nowszych wzorów o kształcie $v = k h^{2/3} i^{1/2}$ wówczas

$$Q = C (H - H_0) \quad (4b)$$

czyli związek pomiędzy stanem wody i objętością przepływu, przy kształcie koryta zbliżonym do paraboli drugiego rzędu, zbliża się do zależności prostoliniowej.

Mając zupełnie nieregularne kształty przekroju, obliczamy dla różnych napełnień zarówno pola jak średnie głębokości i średnie prędkości oraz przepływy jako iloczyn tych wartości. Krzywe tych związków możemy nakreślić jak na rys. 8 i szukać ich kształtu geometrycznego, albo też zadowolić się związkiem graficznym, z którego wprost dla różnych stanów można odczytywać objętości przepływu. W ten sam zresztą sposób postępujemy mierząc bezpośrednio objętości przepływu przy różnych stanach.

Związek między stanem wody i przepływem nazywamy *krzywą przepływu*, także *krzywą objętościową*, *krzywą wydatku*, lub *krzywą konsumcyjną*.

Wobec możliwości zastąpienia pomiaru przepływu obserwacją stanu wody, stała i dokładna ewidencja zmian tych stanów, staje się podstawą wszelkich obliczeń hydrologicznych,

6. Rumowisko

Dno doliny i dno ścieku najczęściej pokryte jest rumowiskiem. Wyjątki stanowią górne biegi niektórych ścieków górskich o tak dużej energii wody, że żadna ruchoma cząstka rumowiska się nie

utrzyma, oraz wodospady i progi skalne, pojawiające się w przełomach nawet w dolnych biegach rzek. Rumowisko powstaje przez wietrzenie pokładów skalnych, niepokrytych roślinnością, lub na stokach w korycie ścieku pod wpływem energii płynącej wody.

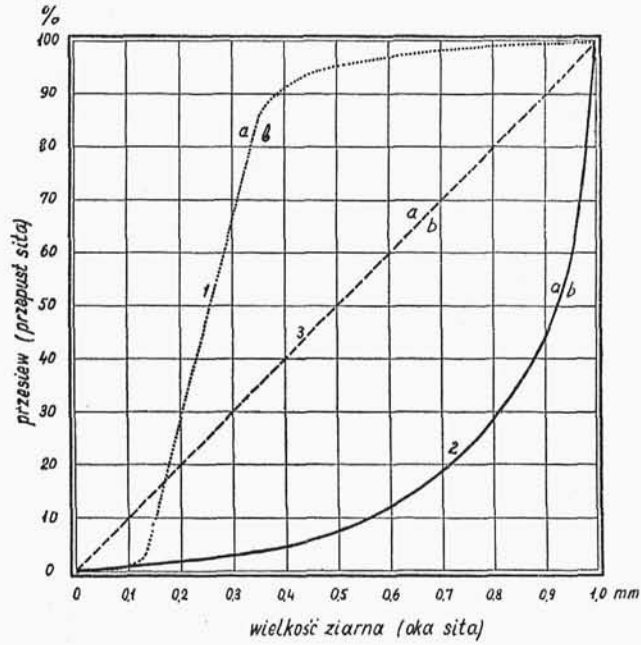
Rumowisko złożone na dnie doliny może też być pozostałością dawniejszych epok geologicznych.

Wielkość i kształt złoża rumowiska w pewnym miejscu ścieku zależy od jakości materiałów i od drogi jaką dana cząstka rumowiska przebiegła. Wobec różnorodności pokładów skalnych i różnych miejsc pochodzenia, w jednym i tym samym przekroju rzeki spotykamy ziarna różnej wielkości, różnego kształtu i ciężaru gatunkowego. Rumowisko może być ułożone luźno lub też tworzyć wyraźne warstwy. Dla każdego rodzaju ziarna istnieje w danych warunkach inna siła graniczna potrzebna do wprowadzenia go w ruch. Siła unoszenia zależy od prędkości wody płynącej przy dnie. Z chwilą kiedy prędkość przekroczy wartość graniczną dla danej wielkości i kształtu cząstki, rozpoczyna się ruch. Początkowo ruch nie będzie trwały, ale będzie się odbywał z przerwami; cząstki rumowiska odbywają jak gdyby skoki w miarę nagromadzania się w wystarczającej ilości energii. Gdy prędkość wzrasta, przerwy w ruchu cząstek się skracają, aż w końcu ruch rumowiska staje się trwały. W miarę dalszego wzrostu prędkości biorą udział w ruchu coraz większe cząstki. Cząstki stałe poruszające się w ten sposób po dnie nazywamy rumowiskiem wleczonym.

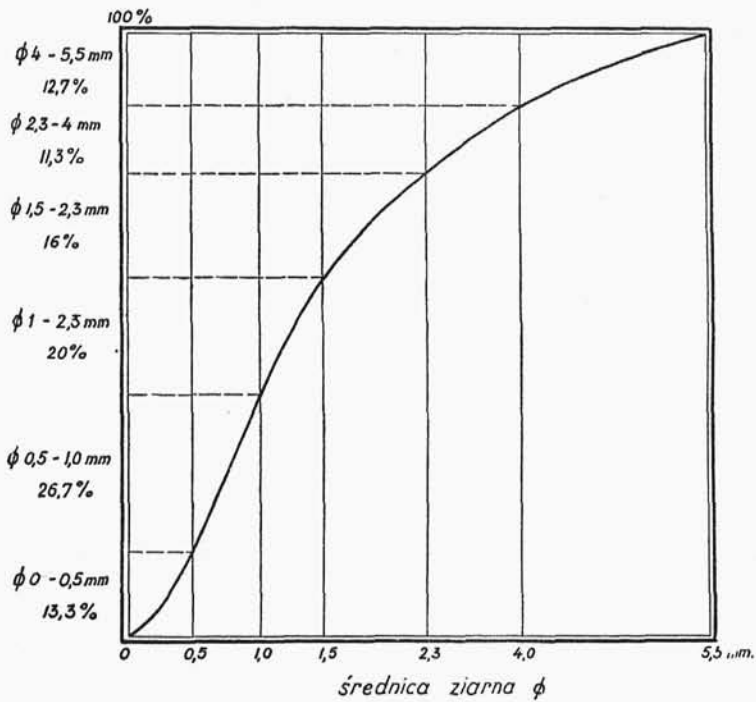
Przy większych prędkościach, w miarę wzrostu burzliwości ruchu drobne cząstki rumowiska poniżej 1 mm średnicy wznoszą się ponad dno i płyną wraz z wodą. Najdrobniejsze, w postaci namułu, wypełniają cały przekrój aż do zwierciadła wody. Nazywamy je rumowiskiem unoszonym lub zawieszonym.

Wielkie prędkości na dnie powodują, że ruch rumowiska nie ogranicza się do cząstek znajdujących się w wierzchniej warstwie dna, ale sięga głębiej. Zwłaszcza przy rumowisku drobnym (piaski) w ruchu bierze udział dno na dość znacznej głębokości. Nie ma wtedy ścisłej granicy pomiędzy dnem łóżyska, rumowiskiem wleczonym, unoszonym i zawieszonym.

W jednym i tym samym przekroju mamy do czynienia z różnymi prędkościami poszczególnych strug wody, również zmieniają się te wartości od przekroju do przekroju, stąd siła powodująca ruch cząstek stałych, tzw. siła unoszenia, jest w każdym miejscu dna inna. Ponadto zmienia się ona wraz ze zmianą stanu wody czyli przepływu. Stąd pochodzi ogromna zmienność w ilości i prędkości poruszających się cząstek stałych. Równocześnie możemy mieć do czy-



Rys. 9.
Krzywe przesiewu rumowiska.



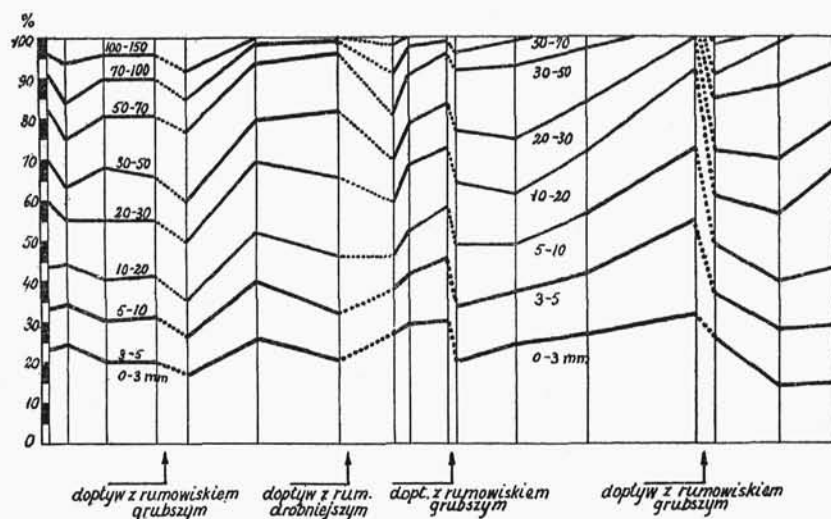
Rys. 10.
Krzywa przesiewu rumowiska.

w procentach maksymalnego wymiaru, a na rzędnych — wagę wszystkich cząstek mniejszych od wymiaru otworów danego sита (w procentach całości). Na rys 9 krzywa 1 przedstawia materiał drobny, zaś 2 materiał gruby. Charakterystyką będzie stosunek powierzchni

$$\frac{a}{b} = K.$$

Dla badań hydrologicznych wystarcza podział ziarn przy żwi-
rach do 3 mm, 3—5 mm, 5—10, 10—20, 20—30, 30—50, 50—70,
70—100, 100—150 mm itd., dla drobnego rumowiska 3—2 mm
2—1, 1—0,6, 0,6—0,1, 0,1—0,06 i poniżej 0,06 mm.*)

Dla jednostajnie rozłożonych ziarn będzie (krzywa 3) $K = 1$.
Krzywe przesiewu są krzywymi całkowitymi; chcąc otrzymać obraz



Rys. 11.

Procentowa zmiana grubości rumowiska z biegiem rzeki.
(Wstęga uziarnienia).

stosunku poszczególnych frakcyj, należy dla poszczególnych średnic odcinać różnice procentów wagi przesiewu, rys. 10. Krzywe przesiewu dla jednej i tej samej rzeki zmieniają się w miarę postępowania w dół. Można zmienność uziarnienia we frakcjach rumowiska przedstawić graficznie w postaci rys. 11.

*) Polskie Normy podają otwory sита: 0,25, 0,5, 1,0, 2,0, 4, 10, 20, 40, 80, 120 mm itd.