

## 2. Ściek

Ilość opadów wpływa na zdolność wody do wytworzenia koryta ścieku. Zlewnie o dużych opadach posiadają sieć ścieków gęstsza niż dorzecza ubogie w opady. Wpływ regulujący ma jednak temperatura. Silne parowanie niweczy wpływ obfitych opadów w strefie podzwrotnikowej, a w obszarach pustynnych powoduje nawet, że odpływ powierzchniowy jest zjawiskiem przejściowym. W krajach północnych natomiast, mimo małych opadów, odpływy mogą być trwałe i znaczne wobec małych strat.

Nierówność powierzchni ziemi jest źródłem energii wody, a więc znów stoi w ścisłym związku z jej zdolnością do tworzenia koryt, stąd zlewnie górskie mają sieć ścieków gęstsza niż nizinne. Jakość pokładów, ich twardość i odporność na działanie wody, uwarstwienie, a przede wszystkim przepuszczalność są czynnikami powodującymi ogromną różnorodność rzeźby terenu, a stąd i rozmieszczenia ścieków.

Dla unaocznienia jak wielkie mogą być różnice w rozmieszczeniu i gęstości sieci ścieków, nawet w wypadkach niezupełnie krańcowych, podajemy na rys. 1 szczegółową sieć wodną dla górskiego dorzecza Sanu i dorzecza Turii podług wydawnictwa Państwowej Służby Hydrograficznej<sup>1)</sup>. Klimat obu zlewni nie różni się zbyt od siebie, obie posiadają klimat pośredni między morskim i kontynentalnym, przy czym więcej do kontynentalnego zbliża się Turia (dopływ Prypeci). Średnie opady w dorzeczu Turii przewyższają nieco 550 mm rocznie, natomiast w części dorzecza Sanu, wziętej do obliczeń, wynoszą od 600 do 1000 mm. Topograficznie należy zaliczyć San do dorzecza wybitnie górskiego, gdy przeciwnie rzeka Turia jest wyraźnie niziną. W nasileniu wegetacji dużych różnic nie ma, natomiast pod względem przepuszczalności, skalne podglebie Sanu jest o wiele mniej przepuszczalne od podglebia Turii, jakkolwiek ani dorzecza Sanu do kategorii zupełnie nieprzepuszczalnych, ani zlewni Turii do zupełnie przepuszczalnych zaliczyć nie można. Zlewnię Turii wzięto do obliczeń w całości (2930 km<sup>2</sup>), z dorzecza Sanu wykrojono taką samą powierzchnię (od źródeł do Dynowa). W wyniku otrzymano: dla Sanu 2276 km długości ścieków, dla Turii 543 km zatem 4,2 razy mniej.

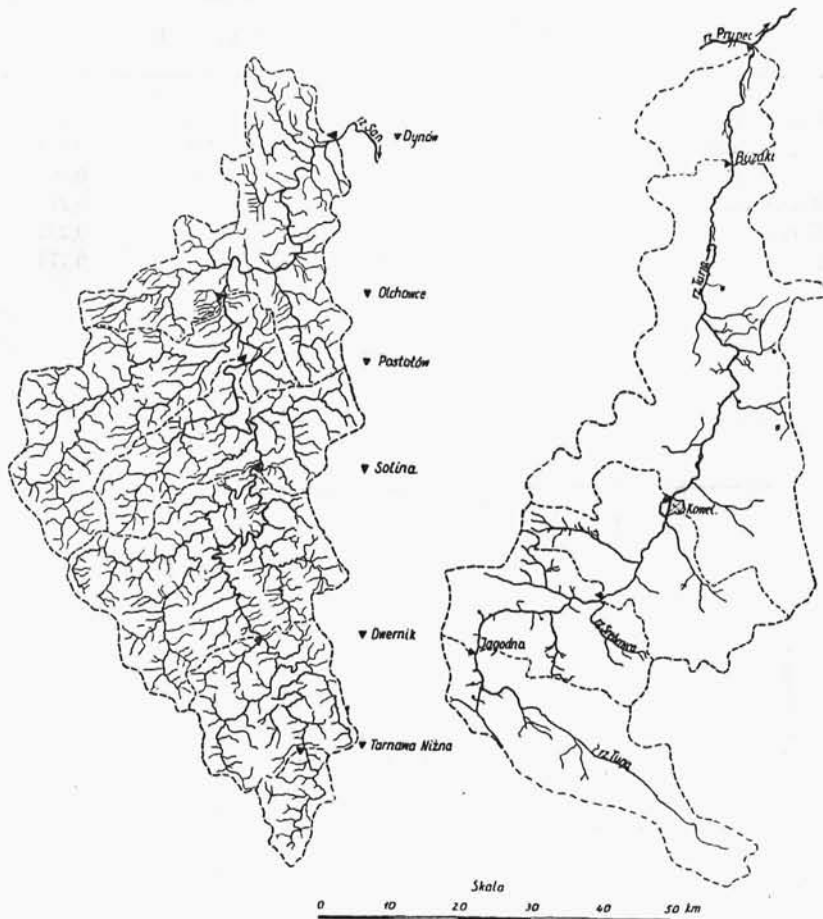
Wskaźnik terenowy ścieków  $\frac{A}{L}$  wynosi dla Sanu 1,3 dla Turii

<sup>1)</sup> Państwowa Służba Hydrograficzna:

Szczegółowy podział dorzecza Sanu. Warszawa, 1931 r.

" " " Prypeci, Warszawa, 1933 r.

5,4; dorzecze Sanu należałoby zatem zaliczyć według klasyfikacji Belgranda do terenów nieprzepuszczalnych, zaś zlewnia Turii miała by charakter mieszany.



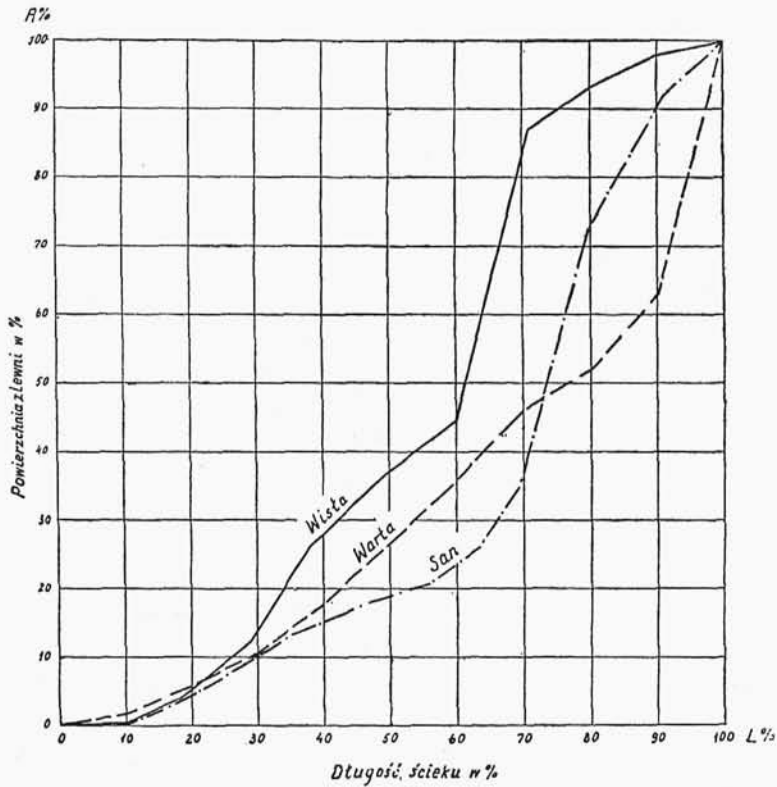
Rys. 1.

Szczegółowa sieć wodna dla górnego dorzecza Sanu i dorzecza Turii.

Stosunek zlewni do ścieku możemy ująć rozmaitymi cyframi. Iloraz  $\frac{A}{L_0}$ , gdzie  $A$  jest powierzchnią zlewni do pewnego punktu rzeki w  $\text{km}^2$ , zaś  $L_0$  długością ścieku głównego liczoną od źródeł, daje nam przeciętną szerokość zlewni na tej przestrzeni. Stosunek szerokości do długości jest wskaźnikiem niemianowanym dobrym dla porównania ze sobą różnych rzek. Dla Wisły otrzymujemy dla tych stosunków następujące wartości:

TABELA 1.  
Średnie szerokości dorzecza Wisły.

Miejsce	$A \text{ km}^2$	$L_0 \text{ w km}$	Szerokość $\frac{A}{L_0} \text{ km} = B_0$	Wskaźnik $\frac{B_0}{L_0}$
Ujście Przemyśl . . .	1779	115	15,5	0,135
" Dunajca . . .	12826	264	48,6	0,182
" Sanu . . .	33358	414	80,6	0,195
Warszawa . . .	85176	626	136,2	0,217
Toruń . . .	179990	845	212,7	0,252
Ujście Wisły . . .	193170	1055	183,8	0,174



Rys. 2.

Związek między wzrostem powierzchni i długością ścieku.

Powyższe wartości można też wyrazić w procentach, np. średnia szerokość dorzecza Wisły 183,8 km stanowi 17% jej długości, zaś średnia szerokość Warty 70,5 km tylko 9,3% długości.

Stosunek powierzchni zlewni do długości ścieku można przedstawić w postaci wykresu, odcinając na jednej osi powierzchnię, na drugiej długości, wyrażone w procentach całości. Na rys. 2 przedstawiono w ten sposób zlewnię Wisły i Warty.

Stosunek długości wszystkich ścieków do powierzchni zlewni nazywamy gęstością sieci ścieków:  $g = \frac{L}{A}$ .

Gęstość rzadko jest jednakowa w całym dorzeczu, zwykle jest większa w górnej części zlewni. Gęstość ścieków w dorzeczu Turii wynosi 0,18, zaś Sanu 0,77 jest więc przeszło czterokrotnie większa. Dla badań hydrologicznych podziału zlewni dokonuje się uwzględniając poszczególne dopływy i ich części. Dla polskich rzek wydała Służba Hydrograficzna szczegółowy podział dorzecza dla Pilicy, Prypici i Sanu.<sup>2)</sup>

Przy badaniu wielu ścieków zauważono, że istnieje pewien związek pomiędzy średnią szerokością dorzecza i średnią gęstością ścieków, a mianowicie gęstość ścieków maleje w miarę wzrastania szerokości. Zależność tę sprawdzono również na podanych przykładach Sanu i Turii, jak to widać z podanej poniżej tabeli 2.

TABELA 2.

Związek między szerokością zlewni i gęstością ścieków.

S a n				T u r i a			
A km <sup>2</sup>	L <sub>o</sub> km	B <sub>o</sub> km	g	A km <sup>2</sup>	L <sub>o</sub> km	B <sub>o</sub> km	g
414	64	6,5	0,79	459	53	8,64	0,231
1176	88	13,4	0,79	875	76	11,51	0,21
1618	121	13,4	0,74	1476	93	15,9	0,19
2222	136	16,3	0,77	2630	158	16,65	0,18
2933	180	16,3	0,77	2929	180	16,3	0,18

Na stosunek długości ścieku do powierzchni zlewni ma wpływ rozwinięcie jego biegu, tj. różnica, jaka zachodzi pomiędzy długością rzeki w nurcie a długością doliny mierzoną w jej osi lub odległością w linii powietrznej dwóch punktów rzeki.

<sup>2)</sup> 1. c., prócz tego „Szczegółowy podział dorzecza Pilicy”, Warszawa, 1931. „Podział dorzeczy Gostyńki, Przemszy i Chechła” Warszawa, 1935.

TABELA 3.

Rozwinięcie biegu Wisły i Narwi.

O d l e g ł o ś c i	w linii powietrznej	w nurcie	rozwinięcie
Wisły między Włocławkiem a Nieszawą	22,1 km	22,5 km	101,8%
" " Bugiem a Bzurą . . .	33,0 "	35,2 "	106,7%
" " Drwęcą a Brdą . . .	39,5 "	42,5 "	112,9%
" " Czarną Wodą a Nogatem	31,0 "	36,9 "	125,5%
Narwi " Orzycem a Bugiem . .	30,5 "	44,6 "	146,2%
" " Biebrzą a Pissą . . .	36,5 "	75,1 "	205,8%
			itd. <sup>3)</sup>

W powyższych przykładach rozwinięcie nurtu wobec osi doliny nie odbiega od rozwinięcia tegoż nurtu wobec linii powietrznej, na krótkich odcinkach oś doliny biegnie w kierunku prawie że prostoliniowym. Jeżeli jednak weźmiemy pod uwagę dłuższy odcinek rzeki np. bieg Wisły od ujścia Bugu do morza, to otrzymujemy:

Długość rzeki . . . . .	382,5 km
" doliny . . . . .	350 "
Odległość w linii powietrznej. .	232 "
Stąd rozwinięcie rzeki wobec długości doliny wynosi	109,03%.
" doliny " linii powietrznej "	150,86%.
" rzeki " " "	164,87%.

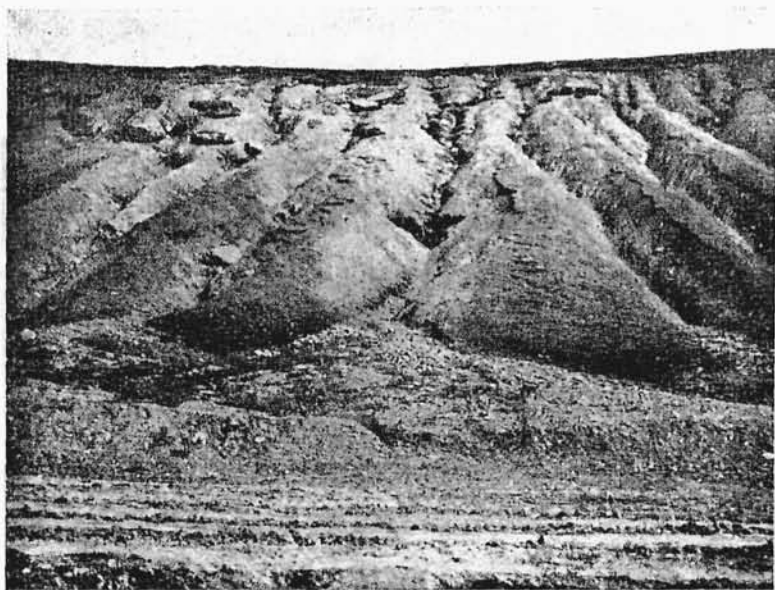
W innych wypadkach różnica między długością doliny a linią powietrzną jest nieznaczna, natomiast rozwinięcie nurtu wobec długości doliny gra główną rolę. Przykładów tego rodzaju dostarczają nam prawie wszystkie rzeki nizinne w Polsce.

### 3. Doliny rzek

Początkiem utworzenia doliny erozyjnej jest ściek. Od kierunków jakie przybiera on w swoim biegu, zależy bieg doliny, od rodzaju materiałów w jakich złożenie koryta się odbywa i od siły erozyjnej, zależy kształt doliny, jej szerokość, nachylenie stoków, spad itp. Kierunek, jaki ściek sobie obiera, rzadko jest przypadkowy, zwykle zależy od warunków geologicznych. Kierunek i upad warstw, ich twardość, sfałdowanie i przesunięcia są najważniejszymi czynnikami, od których bieg ścieku zależy. Tak np. tektoniczny uskok wykorzystuje Wisła w biegu poniżej Zawichostu, Stryj koło Turki, Kamienna w górnym biegu itp.

<sup>3)</sup> Ingarden R. Rzeki i kanały w byłych trzech zaborach, Warszawa. 1922.

Wiek dolin rzecznych na terenie Polski nie jest dawny, jest on w związku ze zmianami tektonicznymi z końca trzeciorzędu. Przeważna zatem część dolin rzecznych należy do okresu alluwialnego i dyluwialnego. W górnych biegach rzek lub w pokładach drobnoziarnistych, np. lössu, i dziś jesteśmy świadkami tworzenia się nowych lub przynajmniej powiększania się istniejących sieci ścieków. Na rys. 3 widzimy tworzące się ścieki w pokładach lössu na brzegach



Rys. 3.

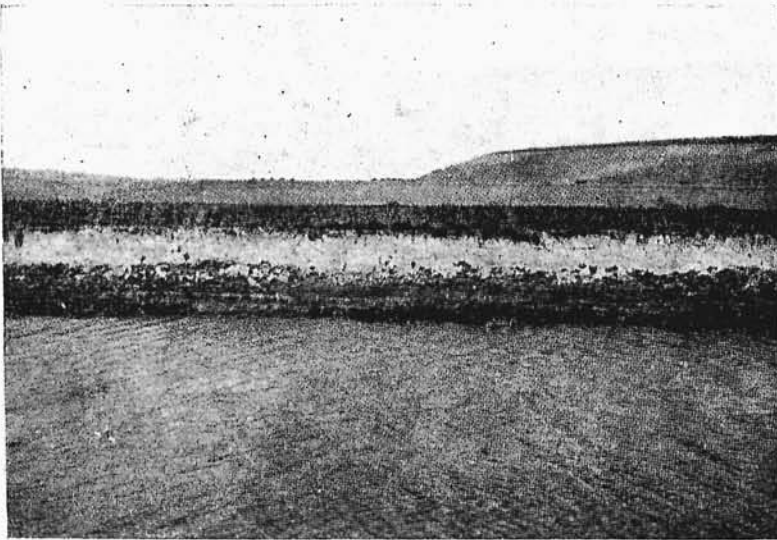
Tworzenie się ścieków w pokładach lössu na brzegach Dniestru.

Dniestru w Okopach. Zmiany klimatu od czasu epoki lodowcowej spowodowały, że ówczesne koryta rzeki nie odpowiadają obecnym stosunkom przepływu. W okresie zlodowacenia przepływy były obfitsze, rozmiary doliny i koryt są za wielkie dla dzisiejszych wód, rzeka w dnie doliny żłobi sobie nowe, skromniejsze łóżysko, a brzegi dawnego dna tworzą terasy. Ilość teras świadczy o ilości zmian klimatycznych. Obok teras dawnego pochodzenia spotykamy terasy szersze, alluwialne, jeżeli rzeka obecnie posiada dużą siłę erozyjną i pogłębia stale koryto.

Na terenie ziem Polskich mamy bardzo wiele przykładów nieproporcjonalności wymiarów doliny w stosunku do obecnych potrzeb ścieku. Tak np. Noteć i Brda, a dalej na południu Ner i Bzura płyną szerokimi dolinami dyluwialnymi. Bardzo wiele dopływów

karpackich Wisły i Dniestru jak również rzeki podolskie posiadają pięknie wyrobione terasy, wzniesione nieraz kilkanaście metrów ponad dnem doliny (Rys. 4).

Przy wyrabianiu sobie koryta może woda napotkać na ślady podobnego ukształtowania terenu w dawnych epokach geologicznych. Erozia jest wtedy łatwiejsza, a tego rodzaju rzeźbę terenu nazywamy epigenetyczną (np. przełomy Dunaju w masywach czeskich).



Rys. 4.

Terasy ponad dnem doliny na dopływach karpackich.

Oprócz zmian klimatycznych na ukształtowanie dolin mają wpływ ruchy tektoniczne skorupy ziemskiej, w szczególności powolne wznoszenia się lub obniżania lądów wobec poziomu morza, co jest jednoznaczne z cofaniem się lub zbliżaniem brzegu morskiego. Poziom morza jest dolnym poziomem denudacji, od niego zależy spadek rzek i kierunek erozji poziomy lub pionowy. W poziomach obu mórz, dotykających ziem dawnej Polski, zachodziły w ostatnich epokach geologicznych dość znaczne zmiany. Przy końcu trzeciorzędu istniało jeszcze na wschód od nas morze Sarmackie, które mogło określać poziom denudacji dla rzek wschodnich i utrudniać ich erozję. Temu mogą zawdzięczać swój początek meandry Dniestru, podczas gdy wyźłobienie głębokiego jaru i silną erozję pionową zawdzięcza Dniestr wczesnemu dyluwium o klimacie bardzo wilgotnym. Stepowy znów klimat późniejszego dyluwium pociągnął za sobą pokrycie gotowych już dolin zwałami lössu, który znów obec-



nie jest przedmiotem pracy denudacyjnej wody. Podobnie górskie biegi rzek karpackich powstawały w czasie, kiedy jeszcze morze dochodziło do stóp Karpat (np. zatoka nowosądecka, borysławska itp.), są więc starsze niż doliny ich biegów średnich i dolnych, które mogły się utworzyć dopiero po ustąpieniu morza. Przejściowo powstawały tam jeziora bezodpływowe, a w epoce dyluwialnej podchodził prawie do stóp Karpat lodowiec skandynawski, to też cała sieć rzek na północ od Karpat jest już tworem czasów nowszych.

Na wyrabianie się koryt rzecznych mogą mieć wreszcie wpływ przemiany dokonane ręką ludzką. Tak np. przekopanie nowego ujścia Wisły przez wydmy pod Schiewenhorstem spowodowało powiększenie spadku rzeki przy ujściu i zwiększenie erozji dna.



Rys. 5.

Przełom Soły w Porąbce.

W silnie pofałdowanych pokładach górskich, jak u nas w Karpatach, płyną główne ścieki najczęściej zgodnie z upadem warstw (consequent), za to dopływy muszą je przecinać (subsequent). Dalsze rozgałęzienia ścieków w górę, a więc dopływ trzeciego rzędu będą w tym wypadku spływać znów zgodnie z upadem warstw (resequent) lub wprost przeciwnie (obsequent). Ale ten prosty obraz zacierają inne wpływy, a mianowicie bardzo różna twardość i pofałdowanie warstw, które ułatwiają lub utrudniają erozję, zmuszając nieraz do zmian kierunku.

Od stosunku, jaki zachodzi pomiędzy kierunkiem upadu warstw



skalnych i kierunkiem ścieku, oraz od twardości tych warstw zależy spad i kształt doliny.

Niejednolitość pokładów geologicznych, łatwość erozji w pewnych kierunkach, a czasem przypadkowe nagłe zaburzenia, np. usunięcia się gór, powodują, że rzeka w następstwie daleko posuniętej erozji wstecznej porzuca bieg dotychczasowy i przerzuca się do innej doliny, przecinając po drodze pasma wzniesień. Zjawiska takie nazywamy przełomami. Przykłady przełomów są bardzo liczne na ziemiach polskich.

Po cofnięciu się lodowca skandynawskiego na północ przedarły się Wisła, Odra i Niemen przez Pojezierze Bałtyckie. Wisła przedarła się przełomem przez Wyżynę Lubelską, wykorzystując istniejący rów tektoniczny. Liczne są też przykłady przełomów w Karpatach, jak przełom Dunajca przez Pieniny, przełom Soły w Porąbce (rys. 5), Stryja w Synowódzku itp.

Badania tworzenia się dolin i koryt ścieków ułatwiają nie tylko zrozumienie stanu obecnego koryta rzeki, ale dają też wskazówki jakich zmian spodziewać się możemy w przyszłości.

#### 4. Spadek

Motorem ruchu wody jest spad dna doliny albo dna ścieku. Ani jeden ani drugi nie nadaje się jednak do pomiaru spadku ścieku, spad dna doliny z powodu różnej długości doliny ścieku i nurtu, zaś spad dna ścieku wobec bardzo nieregularnej zwykle jego konfiguracji. Ponadto praca wykonana przez wodę będącą w ruchu jest wynikiem zmiany energii położenia na energię ruchu i wyraża się na zewnątrz zmianą położenia zwierciadła wody w ścieku. Wielkość straty zależna jest od oporów. Tylko jeżeli strata wysokości na oporach jest równa spadowi dna, spad zwierciadła wody będzie równoległy do spadu dna, w każdym innym wypadku będzie od niego się różnić. Dlatego jedynym miernikiem spadku ścieku może być spad jego zwierciadła.

Jeżeli przyjmiemy, że na całej szerokości ścieku poziom zwierciadła wody jest jednakowy, to dla pomiaru spadku rzeki może nam służyć linia przecięcia się zwierciadła wody z brzegiem. Schodzi się tam obwód zwilżony, a zatem dno, ze zwierciadłem wody. Spad ścieku nie jest wartością stałą nawet w jednym i tym samym punkcie rzeki. Ulega on zmianom przede wszystkim w miarę zmieniającego się stanu wody rzece. Przy stanach niskich spad zwierciadła wody zbliża się do miejscowego spadku dna koryta, natomiast przy stanach



wysokich odpowiada przeciętnemu spadowi ścieku, a przy zalewach nawet spadowi doliny.

Zmianę spadu w jednym i tym samym punkcie rzeki może spowodować zmiana kształtu przekroju pod wpływem przesuwających się mas rumowiska na dnie. Zwłaszcza po przejściu wezbrania w rzekach toczących wiele rumowiska mogą powstać bardzo znaczne zmiany w spadzie.

Oprócz zmian miejscowych i czasowych spotykamy się w niektórych ściekach ze zmianami, które mają cechę trwałości, ale przebieg ich jest znacznie powolniejszy. Są to zmiany będące wynikiem kształtowania się koryta ścieku. Pomiedzy wielkością ziarn rumowiska, stanowiącego dno i brzegi, a spadem rzeki istnieje ścisły związek. Jeżeli spad jest za duży w stosunku do oporu jaki mogą przeciwstawić płynącej wodzie cząstki rumowiska, wówczas wprowadzone one zostają w ruch, koryto się pogłębia lub rozszerza tak długo, dopóki spad się nie zmniejszy o tyle, że dalszy ruch cząstek stałych stanie się niemożliwy. Przy spadzie zbyt małym cząstki rumowiska, przychodzące z góry rzeki, będą się osadzać z powodu zbyt małej prędkości wody niezdolnej do ich uniesienia. Osadzanie się trwać będzie tak długo aż spad poniżej osadów zwiększy się do granicy umożliwiającej ruch cząstek. W rzekach zatem, w których nie ma równowagi pomiędzy energią wody płynącej i oporem cząstek stałych, zmiana kształtu koryta jest zjawiskiem stałym, a tym samym spad ulega ciągłej zmianie, dlatego kształt linii spadu świadczy o wieku doliny. Rzeki geologicznie młode mieć będą spad nie wyrównany, obfitować będą w wodospady, bystrza, progi skalne, koryto będzie mało wcięte w teren i ulegać będzie łatwo zmianom kształtu. Rzeki stare zbliżają się do stanu równowagi, erozja będzie zanikać lub zjawiać się tylko przy wysokich stanach wody, spad będzie stanowił linię regularną prostą lub zakrzywioną.

Z powyższych uwag wynika, że jednorazowy pomiar spadu ścieku nie wystarcza do poznania tego czynnika, musimy jeszcze zbadać stałość linii spadu przez powtarzanie pomiaru w pewnych odstępach czasu.

Zachodzi teraz pytanie, jaki stan wody wziąć za podstawę przy pomiarze spadu, skoro długość nurtu zmienia się w miarę zmiany stanu wody. Ze względów praktycznych wykonujemy pomiar w czasie, kiedy stany wód ulegają jak najmniejszym zmianom. Jest to możliwe tylko przy niskim stanie wód, u nas zwykle wjesieni. Wprawdzie spad zwierciadła wody przy stanie niskim jest bardzo nieregularny, ale biorąc pod uwagę dłuższy odcinek, możemy wyznaczyć

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