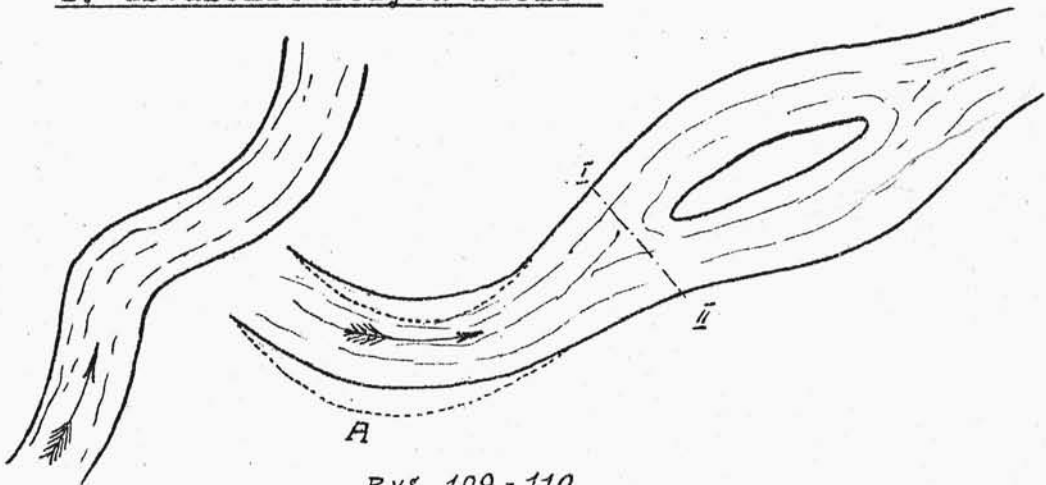


II. REGULACJA RZEK.

Cele i zadania regulacji.

Regulacja rzek polega na tem, iż korytu rzeki płynącej "dziko" nadajemy pewien stały kształt określony, regularny, tu więc pierwszym skutkiem regulacji będzie:

1. ustalenie koryta rzeki



Rys. 109-110

Rzeka nieuregulowana bardzo często zmienia swe koryto, szczególnie w okresie wielkich wód. Na skutek ustalenia koryta rzeki otrzymujemy:

2. ustalenie brzegów rzeki.

Każda rzeka w swym biegu tworzy najrozmaitsze zakręty "serpentynuje", na jej biegu spotykamy szereg mielizn i wysp. Jeśli brzegi nie są zabezpieczone, woda je podmywa /brzeg A rys. 110/, wskutek czego koryto rzeki stopniowo lecz stale się zmienia i

wreszcie przyjmie położenie wskazane na rys. 110 /kreskowana linja/. Na skutek tego podmywania tracimy grunt urodzajny /brzeg wysoki/, a zwiększa się wielkość nieużytków, jakimi są piaszczyste wybrzeża rzek.

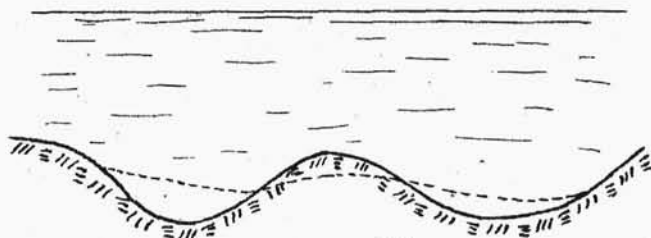
Głębokość rzek nieuregulowanych jest bardzo rozmaita: są miejsca bardzo głębokie, obok zupełnie płytkich, przez które w żadnym razie najmniejsze nawet statki przejechać nie mogą. Zjawisko to



Rys. 111

/przekrój I-I rys. 110/. Regulując daną rzekę nadajemy korytu jednakową szerokość, przez co pozbywamy się mielizn i płycizn i otrzymujemy:

3. ustalenie głębokości i
4. wyrównanie głębokości rzeki.



Rys. 112.

szczególniej występuje na przebiegu t.j. przejściu z jednego zakola w drugie

Jako dalszy rezultat regulacji jest:

5. ubezpieczenie /częściowe/

od powodzi.

Po przeprowadzonej regulacji, rzeka koryto swe pogłębia, wskutek czego pojemność jego wzrasta. - Z drugiej znów strony regulacja skraca bieg rzeki, a więc zwiększa spad; wzięwszy jeszcze pod uwagę, że opory ruchu w rzece uregulowanej są mniejsze, dojdziemy do wniosku, że prędkość wody wzrasta, a więc poziom i czas trwania wielkich wód się zmniejsza. Jeśli jednak rozpatrzmy rzekę uregulowaną na dłuższym jej biegu, to zauważymy, że fala powodziowa w górnym biegu się zmniejszy, natomiast w dolnym biegu fala może się znacznie zwiększyć. - Zjawisko to powstaje wskutek tego, że rzeka nieuregulowana ma w swym biegu obszerne zalewy, które służą jej jako zbiorniki, czego rzeczywiście niema rzeka uregulowana. Ta otrzymując odrazu z górnego biegu bardzo duże ilości wody,^{co} może bardzo znacznie podnieść falę powodziową w dolnym biegu. Następnym rezultatem regulacji jest:

6. zmniejszenie niebezpieczeństwa tworzenia się zatorów wskutek ułatwionego odpływu kry i lodów. - Jako dalsze następstwo zwiększenia i uregulowania głębokości koryta rzeki mamy:

7. polepszenie żeglugi.

Jak wiemy, dla żeglugi miarodajną głębokością rzeki, którądy statki przechodzą, są miejsca naj płytsze. Wskutek tego regulując rzekę, możemy osiągnąć, że po rzece pierwotnie płytkiej, niezdatnej do żeglugi, będą kursować statki, nawet o dość znacznej pojemności. Także

8. rolnictwo korzysta

z uregulowania rzeki, dzięki temu, że wskutek pogłębienia koryta woda ma ułatwiony odpływ z dawniej niskich brzegów, że rzeka brzegów nie podmywa, nie zmniejsza zatem urodzajnego pola, a następnie, jak już wspominaliśmy, że zmniejsza falę powodziową.

Wreszcie regulacja oddaje duże usługi dla celów

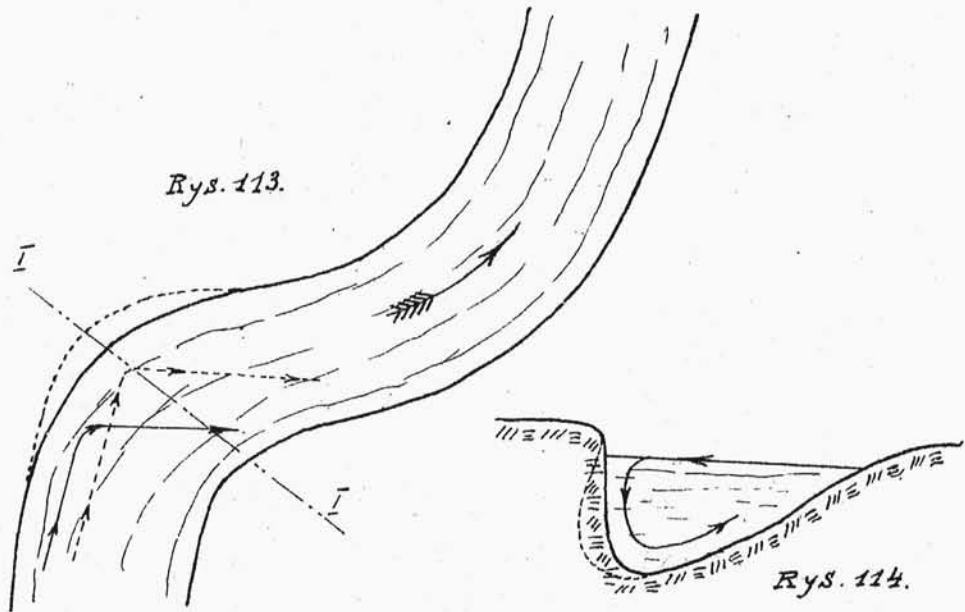
9. wyzyskania siły wodnej,

a następnie dla wszystkich celów, wymagających ujęcia wody. Tak np. postawienie jakiegoś zakładu wodnego czy jazu będzie znacznie łatwiejsze i tańsze na rzece uregulowanej, niż na nieuregulowanej.

Ruch wody w rzekach.

Jeśli rozpatrzemy zakręt rzeki, to zauważymy, że najszybciej płynące cząstki wody około powierzchni, napotykając na swym biegu lewy brzeg koryta,

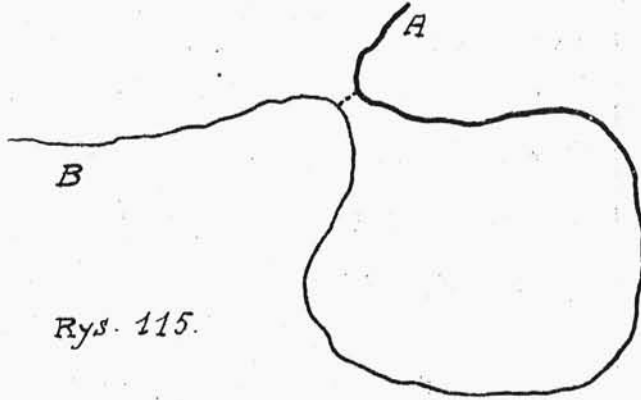
gromadzą się na powierzchni i pod naporem dalszych



cząstek wzdłuż brzegu opadają na dno i wzdłuż dna przechodzą na prawy brzeg /rys. 114/. Dzięki powstania takiego ruchu wirowego brzeg lewy zostaje podmyty, materiał uniesiony i osadzony po prawym /wypukłym brzegu/. Przy lewym brzegu wytworzy się głębina, a brzeg ten będąc stale podmywany, koryto stopniowo przesuwają się w głąb terenu; na prawym brzegu powstanie odsypisko. Na skutek zmiany położenia tego koryta, nurt rzeki odbijając się o lewy brzeg w dalszym biegu podrzyna prawy brzeg, tworząc przeciwnie zakole. Wynika z tego, iż rzeki dzikie coraz bardziej serpentynują, wiją się.

Czasami może zająć wypadek, iż rzeka sama prze-

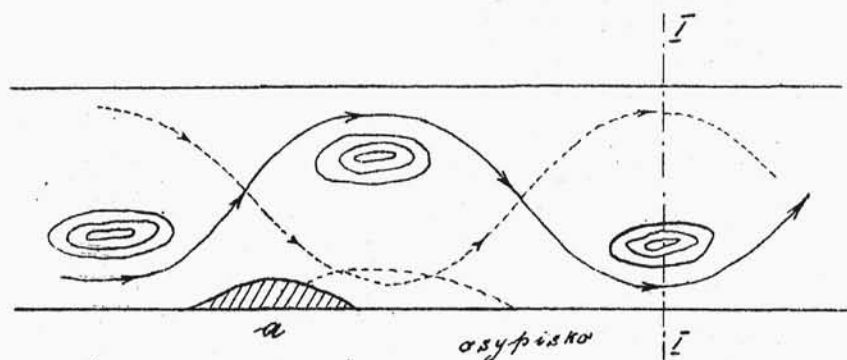
rywa swą serpentynę /rys. 115/. Bezpośrednim nas.



Rys. 115.

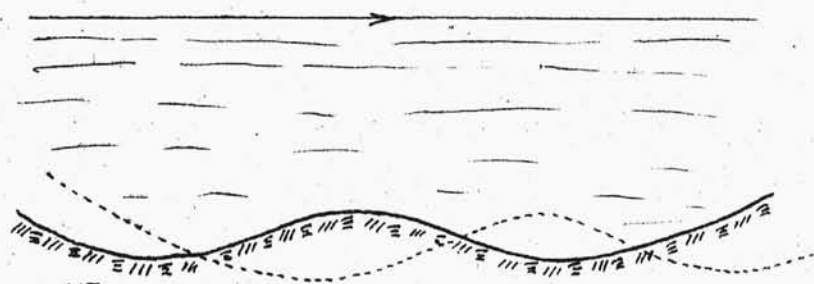
tępstwem serpentynowania rzeki jest wydłużenie koryta, a zatem zmniejszenie spad. Jeśli różnica wysokości punktów A i $B = h$ na skutek serpentynowania rzeki, jak już wspominaliśmy, maleje spadek $\frac{h}{l} = i$, a więc i prędkość wody - wreszcie rzeka dochodzi do pewnego stanu równowagi.

Gdybyśmy wzięli jakieś proste koryto, o brzegach równoległych i przypuścili, że wszystkie strugi wody płyną równolegle, to jednak już najmniejsza przeszkoda a , wywoła to, że strumień wody odbijając się o nią uderzy o brzeg lewy, następnie o prawy i t.d. - jednym słowem rzeka zacznie serpentynować. Następstwem tego jest oczywiście podmycie brzegu w tym miejscu, gdzie rzeka podpływa i zamulenie, wytworzenie osypiska na brzegu przeciwnym. A więc, jak widzimy, nawet w najbardziej regularnym, zdawałoby się korycie, rzeka serpentynuje.



Rys. 116

Jeśli weźmiemy przekrój podłużny rzeki wzdłuż jej nurtu, to zauważymy, że woda przechodząc przez

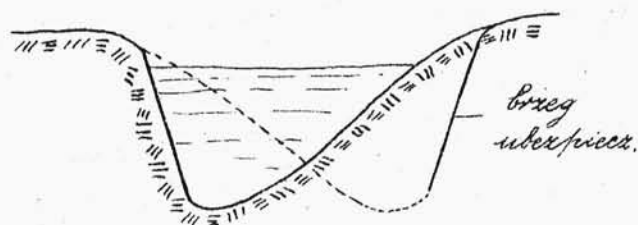


Rys. 117.

przeiał, porywa ze sobą cząstki gruntu koryta i osadza je nieco dalej, tak że po dłuższym okresie czasu /kilka lat/ dno rzeki przyjmie kształt zakreskowany. Widzimy tu, że działalność wody jest najzupełniej podobna do działania wiatru w okolicach piaszczystych nadrzecznych wydym /diuny/.

Gdybyśmy chcieli korytu rzeki uregulowanej nadać linię prostą, to jak już zauważyliśmy, nie moglibyśmy uniknąć serpentynowania rzeki, a co zatem idzie

i głębokość koryta stale by się zmieniała. Jeśli np. weźmiemy przekrój rzeki I-I /rys. 116 /, w zało-



Rys. 118.

zeniu że brzegi są ubezpieczone, otrzymamy profil jak na rys. 118

Po pewnym jednak okresie czasu, gdy nurt rzeki się zmieni /rys.

116 linja prze-

rywana/ profil koryta w tym samym przekroju będzie zupełnie inny /linja przerywana/. Z tego wynika, że naturalny bieg rzeki uregulowanej powinien być w łukach; gdybyśmy się bowiem temu chcieli przeciwstawić, to: 1. regulacja taka byłaby bardzo kosztowna ze względu na szczególnie mocne, jakiebyśmy musieli w tym wypadku zastosować, ubezpieczenie brzegów i 2. rzeka taka będzie przedstawiała bardzo duże trudności dla żeglugi, ze względu na ustawiczną zmianę nurtu i głębokości koryta. A więc przy racjonalnej regulacji rzeki musimy się dostosować możliwie ściśle do jej naturalnych kształtów.

Różnica pomiędzy kanałem sztucznym i rzeką naturalną polega na tem, że kanały prowadzą tylko wodę,

gdy natomiast rzeki "dzikie", potoki, oprócz wody prowadzą pewną ilość rumowisk. Jeśli weźmiemy rzekę dziką, nieuregulowaną, o spadzie i mtr/mtr. na pewnej przestrzeni, to rzeka ta prowadzi będzie pewną ilość wody Q mtr³/sek. i q mtr³/sek. rumowiska. Rumowisko to rzeka niesie na całym swym biegu i składa wreszcie w morzu. Praca, jaką rzeka wykonuje przy tym procesie składa się z dwóch części: 1. rozdrobnienie kamieni, i 2. przenoszenie już rozdrobnionego materiału, w postaci piasku i żwiru. Zauważono, że w rzekach starych, jaką jest u nas np. Dniestr, istnieje pewien stan równowagi między objętością wody Q , którą rzeka prowadzi, a ilością rumowiska q .

Wisła, której pierwotne ujście było koło Hamburga, (ujście Łaby), następnie koło Szczecina /ujście Odry/, wreszcie dzisiaj ma je koło Gdańska, dzięki tej zmianie koryta, zwiększyła znacznie swój spadek; jest on obecnie zbyt wielki, wskutek czego rzeka ta samoczynnie stale pogłębia sobie koryto. Dla Wisły mamy np. dane:

Kraków spadek $i = 0,2\%$ d rumow. = 1 m/m.

Warszawa " $i = 0,2\%$ d " = 1 m/m.

gdy tymczasem dla Dniestru, rzeki "starej", mamy przy obszarze dorzecza takim, jaki ma Wisła pod

Krakowem:

spad $i = 0,2\%$, ~~ob~~ rumow. = 30 m/m.

Regulując rzekę "dziką", w której stan równowagi jest zachowany, siłą rzeczy musimy tę równowagę naruszyć. Mając bowiem do uregulowania część rzeki

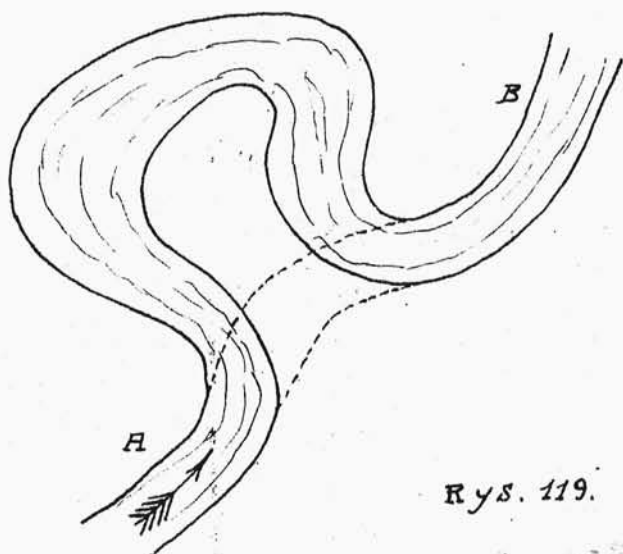
A-B o silnym zakręcie, zakręt ten będziemy musie-

li prawie zupełnie skasować z tego względu, że promień łuku rzeki uregulowanej nie może być

mniejszy od wartości wyliczonej

ze wzoru $r = 5b$

gdzie b szerokość



Rys. 119.

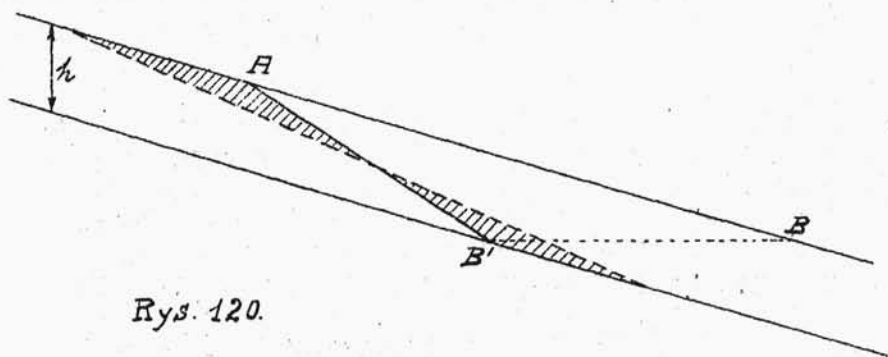
koryta. Po uregulowaniu więc zakręt ten przyjmie postać, jak na rys. 119/linja przerywana/. Ale wskutek zmniejszenia zakrętu długość A-B rzeki nieuregul.

> A-B uregulow., wobec czego zwiększymy spad, a co zatem idzie zdolność do przenoszenia rumowiska.

Jak wiemy, siła żłobiąca rzeki zależy od 1: spadu i , 2. głębokości t . - Im większą mamy bowiem głębokość rzeki, większa ilość wody płynie na metrze szerokości

jej koryta, a co zatem idzie i energia zawarta w tej masie wody jest większa. Widzimy więc, że obie te wielkości i, t są większe w rzekach uregulowanych. Większą głębokość koryta t uzyskujemy przez zwężenie rzeki nieuregulowanej. Na skutek więc regulacji rzeka może samoczynnie się pogłębiać, co jest korzystne, ale tylko do pewnych granic, zbyt wielkie bowiem pogłębienie koryta może doprowadzić do bardzo złych rezultatów.

Jeśli mamy przekrój podłużny rzeki, to dzięki wyregulowaniu części koryta AB , długość ta ulegnie



Rys. 120.

skróceniu, a więc spad w tej części zwiększy się i przyjmie położenie AB' . *stara się spad,*

Rzeka dążąc do równowagi z powrotem zmniejszyć, pogłębia więc koryto około punktu A/Δ zakreskowany i osadza ten materiał poniżej około punktu B' , niwe-

lując w ten sposób dno, niema bowiem tyle energii, by znieść to rumowisko zupełnie do morza. Następnie stara się rzeka wrócić do pierwotnego stanu równowagi i pogłębić koryto powyżej punktu A o wysokość h , odpowiadającą spadowi na długości skróconej. Już w czasie samych robót regulacyjnych, rzeka, powyżej regulowanej części, będzie się pogłębiać, poniżej regulowane już koryto zamulać, co bardzo utrudnia roboty.

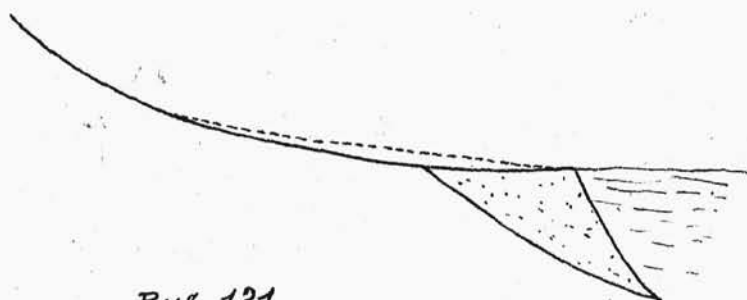
Przy robotach regulacyjnych pamiętać zatem należy żeby:

1. trasę rzeki tyczyć w łukach,
2. zatrzymać w miarę możliwości pierwotny spad rzeki.

Jeżeli będziemy rozpatrywać całkowity bieg rzeki, to zauważymy, że w górnym biegu, rzeka ma spad duży, w dolnym - mały. Tłomaczy się to tem, że w górnym biegu rzeka, prowadząc duże rumowisko, musi posiadać dużo energii; żeby zaś tę energję uzyskać, przy niewielkich ilościach wody, jakie ta rzeka prowadzi, musi mieć dużą prędkość, zależną bezpośrednio od spadu. Wręcz przeciwnie sprawa przedstawia się w dolnym biegu. Rzeka prowadzi tu bardzo duże ilości wody, a więc przy małej nawet prędkości a dużych głębokościach posiada dużo energii, która jest w stanie

unieść drobne rumowisko. Prowadząc rumowisko z gór; rzeka stara się zniwelować powierzchnię ziemi, wreszcie osadza rumowisko w postaci piasku przy ujściu, w morzu, tworząc deltę, naturalne przedłużenie rzeki. Ponieważ przy ujściu jest już

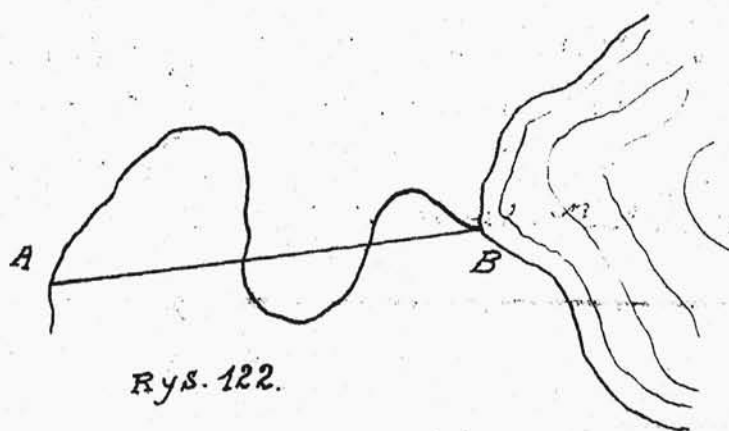
spad bardzo mały, rzeka stara się go zachować i na delcie, zaś część koryta przy ujściu stara



Rys. 121.

się podnieść, aby wytworzyć w ten sposób większy nieco spad /linja przerywana/, przez osadzenie rumowiska. W ten sposób warunki w ujściu coraz bardziej się pogarszają i wtedy albo rzekę należy wyprostować /przez co uzyskamy zwiększenie spadu/,

albo też tereny przybrzeżne podnieść - jest to t.zw. kolmatacja, polegająca na na-



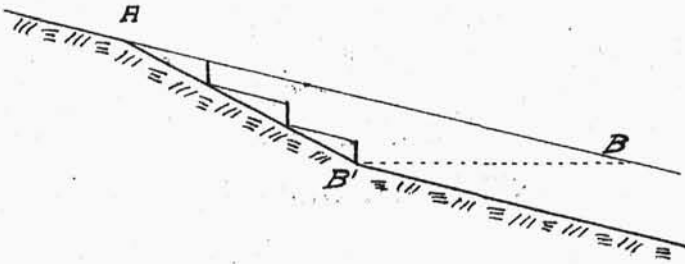
Rys. 122.

wodnienia brzegów wodą, niosącą muł i osadzenie tego mułu na brzegach. W ten sposób poziom przybrzeżnych gruntów się podnosi.

Powyższy sposób kolmatacji, możliwy jest do zastosowania tylko tam, gdzie przybrzeżne miejscowości nie są zamieszkałe. Gdzie kolmatacja nie jest możliwa, wtedy możemy rzekę tylko obwałować. Ujścia dużych rzek europejskich, np. Ren, są w ten sposób obwałowane.

Jeśli regulując jakąś rzekę nie można uniknąć zwiększenia spadku, to chcąc usunąć złe skutki tego

zwiększenia spadku na długości AB' , wbudowujemy na tej przestrzeni niskie progi, przez co spad rzeki



Rys. 123.

między progami układa się równoległe do spadku pierwotnego.

Rzeka stara się utrzymać potrzebną energję unoszenia także w przestrzeni ujściowej. Ponieważ tam spad maleje, rzeka zwiększa swą głębokość, przy równoczesnem zmniejszeniu szerokości. Iloczyż

it pozostaje niezmienny.

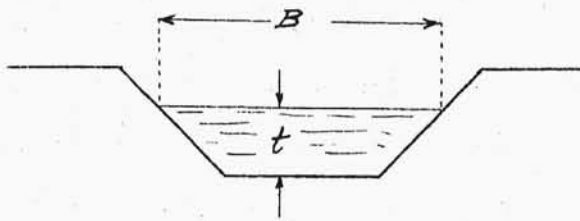
Klasycznym przykładem takiej rzeki, może nam posłużyć rzeka Missisipi w Ameryce:

Odległość od ujścia.	Szerokość rzeki B.	Głębokość rzeki t:
692 klm.	1450 mb.	73,8 mb.
593 "	1420 "	81,6 "
433 "	1331 "	85,0 "
335 "	1230 "	92,0 "
219 "	994 "	100,3 "
ujście	794 "	101,5 "

Z tablicy powyższej widzimy, że wraz ze zbliżeniem się do ujścia rzeki maleje jej szerokość, a rośnie głębokość.

Co się tyczy trasy rzeki regulowanej, to wiemy, że powinna ona leżeć w łukach i być możliwie dokładnie dostosowana do pierwotnego kierunku rzeki, żeby nie zmniejszać jej długości, by w ten sposób nie powiększać spadu. Jak już wspominaliśmy, promienie łuków powinny być nie mniejsze od $5B$ dla rzek o małym spadzie, a znacznie większy na rzekach o dużym spadzie. E' - jest szerokością rzeki *nie*uregulowanej. Chodzi teraz o to, jak ustalić tę szerokość B . Kształt koryta uregulowanego zwykle jest

trapezem; pierwotnie myślano, iż będzie można otrzymać kształt paraboliczny, ale okazało się,



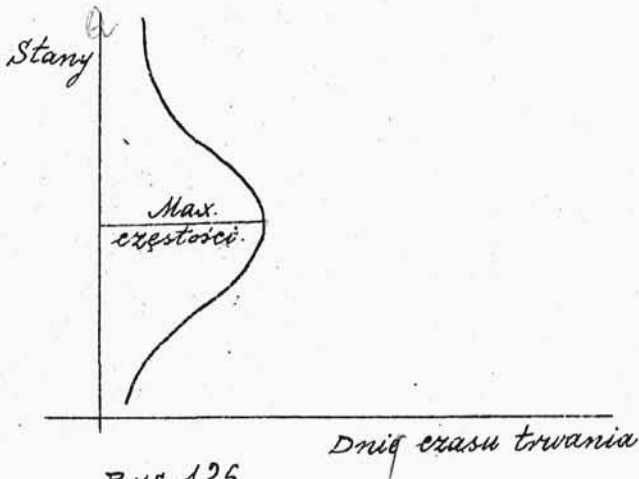
Rys. 124



Rys. 125.

ki B , głębokością t i objętością Q wody, którą koryto może przeprowadzić przy danym spadzie i .

Jeśli zaobserwowane stany wodowskazowe naniesiemy na oś y , zaś na osi x będziemy odmierzać czasy trwania pewnych stanów, to jak już wiemy, otrzymamy



Rys. 126

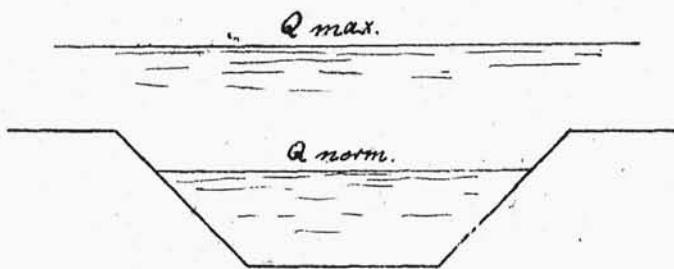
że rzeka wraca do trapezu. Tam gdzie mamy zakręty, łuki, koryto rzeki przybiera kształt jak na rys. 125.

Badania naukowe wskazały, że można znaleźć związek między szerokością rze-

ki B , głębokością t i objętością Q wody, którą koryto może przeprowadzić przy danym spadzie i . Jeśli zaobserwowane stany wodowskazowe naniesiemy na oś y , zaś na osi x będziemy odmierzać czasy trwania pewnych stanów, to jak już wiemy, otrzymamy krzywą częstości pojawiania się pewnych stanów. Między tymi stanami znajduje się oczywiście jeden, który trwa najdłużej - na ten właśnie stan będziemy regulować

wał rzekę. Objętość wody Q , odpowiadająca temu stanowi, nazywa się objętością normalną. Dla ustalenia szerokości B rzeki uregulowanej, badamy istniejące koryto, t.j. robimy cały szereg przekrojów i zdjęcia sytuacyjne: zawsze możemy znaleźć część rzeki o korycie regularnem - tę właśnie szerokość zwykle przyjmujemy do naszych obliczeń, na nią rzekę regulujemy i w zależności od niej obliczamy głębokość rzeki t . Zaznaczyć jeszcze należy, że zwykle szerokość B przyjmujemy nieco większą, później, jeśli się okaże potrzeba, bardzo łatwo możemy ją zmniejszyć.

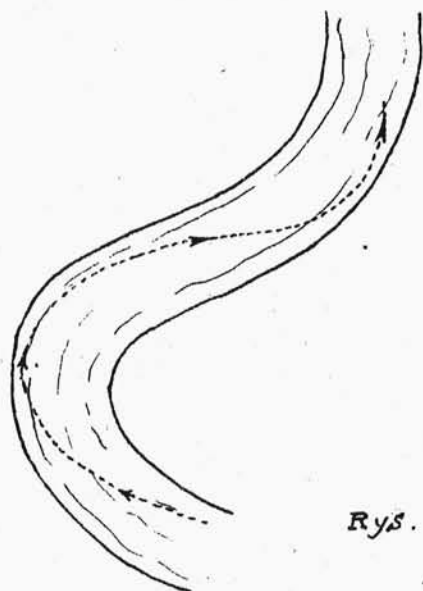
Gdybyśmy uregulowali rzekę tylko na wodę normalną $Q_{norm.}$, to okazałoby się, że podczas wyższych



Rys. 127.

stanów koryto nie jest w stanie pomieścić całej wody, ta zalałaby nam okoliczne pola, wyrządzając nieobliczalną wprost szkodę;

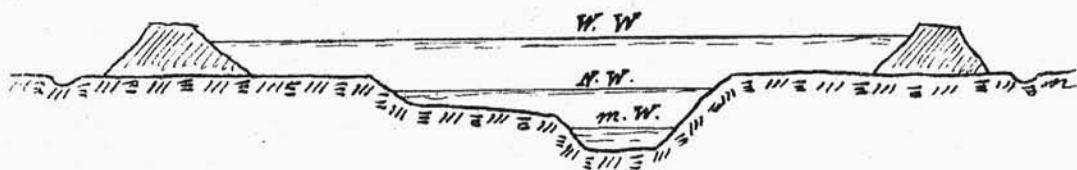
w czasie niskich znów stanów otrzymamy tak małe



Rys. 128

głębokości, że rzeka będzie mogła serpentynować, wskutek czego powstaną osypiska, rzeka staje się niezdadną do żeglugi. Żeby tych wszystkich niedogodności uniknąć, nadajemy korytu rzeki uregulowanej specjalny

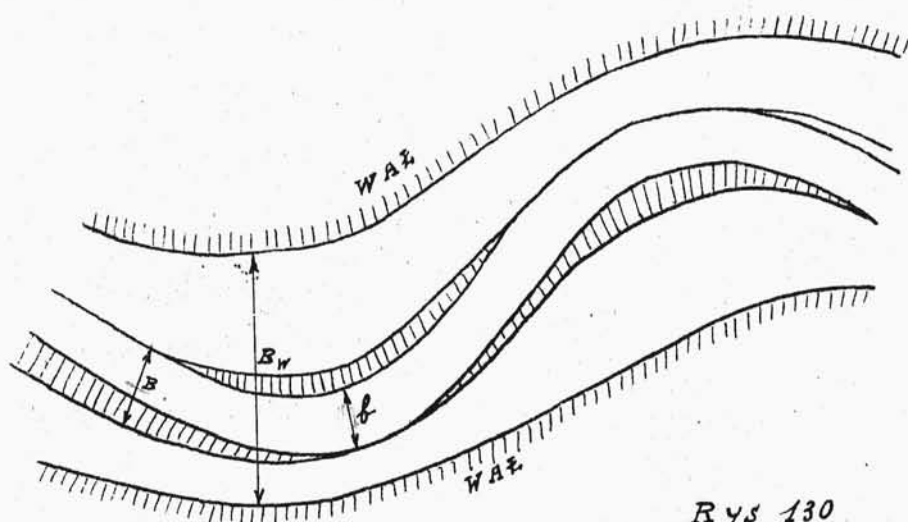
kształt, składający się z 3 kondygnacji /rys.129/.



Rys. 129.

Dolna część służy do pomieszczenia wody w czasie

niskich stanów, średnia wody normalnej, górna - wielkich wód. Zatem przy szerokości koryta na normalne wody B , będziemy mieli drugie koryto o szerokości ℓ na małe wody i 3-cie o szerokości B_w na wielkie wody /rys. 130, ujęte wałami/.

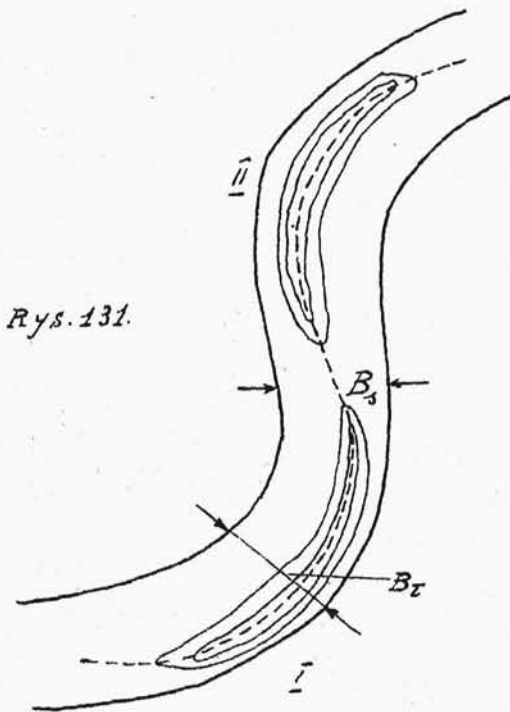


Rys 130

Jeśli weźmiemy rzut poziomy trasy koryta i wykreślimy krzywe równych prędkości, to nurt rzeki będzie przebiegał tam, gdzie mamy maximum głębokości, przyczem w rzece dobrze uregulowanej największe głębokości I zakola leżą naprzeciw największych głębokości zakola II /rys. 131/

Czasami jednak się zdarza, że wskutek zakrótkiej prostej między łukami trasy, warunek powyższy nie jest spełniony, wskutek czego nurt się

załamuje /rys. 131^a/. Miejsca te, gdzie nurt się załamuje, przedstawiają duże niedogodności dla



Rys. 131.

statków w czasie żeglugi.

Zauważymy jeszcze, że szerokość trasy na przemiele B_s

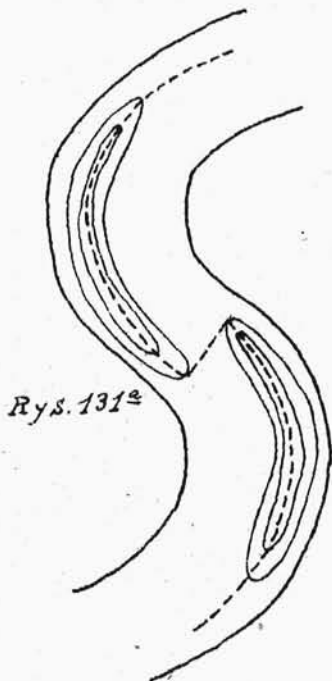
/rys. 131/ powinna być

mniejsza niż na samym łuku

B_z , a to w

tym celu, żeby

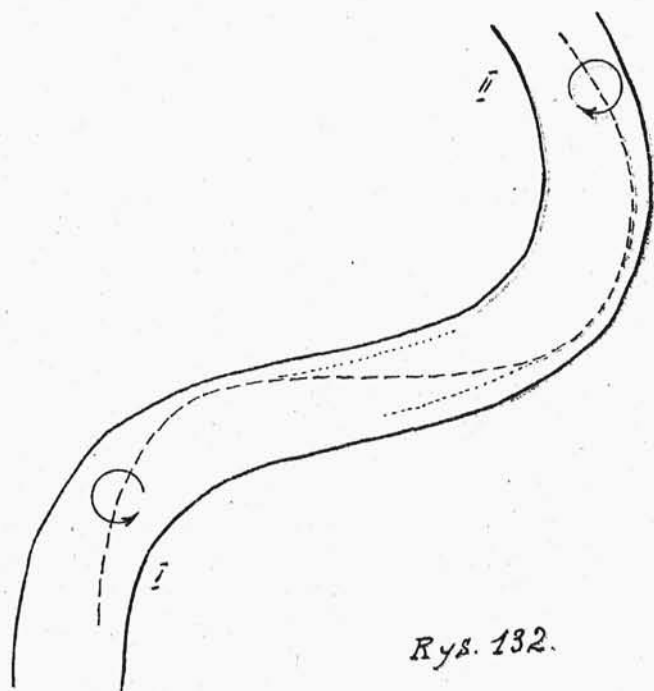
nurt miał łatwiejsze przejście z jednego zakola na drugie. Także łuki te nie powinny być częściami koła, lecz sinusoidalne.



Rys. 131^a

Najczęściej daje się jednak łuki kołowe z krzywymi przejściowymi, gdyż obliczanie i tyczenie sinusoid jest bardzo żmudne.

Dajmy na to, że jednak nasza trasa regulacyjna składa się z łuków kołowych; wtedy oczywiście nie będziemy mieli ciągłości krzywej. Jeśli w



Rys. 132.

takim korycie będziemy obserwowali przejście nurtu z jednego łuku do drugiego, to zauważymy, że w łuku I powstanie pe-

wien ruch wirowy, o kierunku przeciwnym ruchowi wskazówek zegara, natomiast w łuku II powstaną także wiry, lecz o ruchu zgodnym z ruchem wskazówek zegara. Jeśli znów daną część koryta między dwoma łukami kołowymi, połączymy linią prostą, wówczas nurt biegnąc około lewego brzegu koryta nie przechodzi linią ciągłą na brzeg prawy, lecz nagle się urywa, a jednocześnie powstaje nowy nurt na brzegu prawym /rys.132/. Taki

przeskok nurtu stanowi bardzo poważną przeszkodę dla żeglugi. Z wywodów powyższych widzimy, że krzywizna prawidłowej trasy regulacyjnej powinna być ciągła, w tym tylko bowiem wypadku wir zwrócony w jednym kierunku stopniowo maleje do zera na przemieśle, zaczyna się od zera wir w drugim kierunku. Nurt rzeki będzie ciągłą linią, nie będzie się załamywał pod kątem prostym. Łuki powyższe, jak już zaznaczyliśmy, nie powinny być więc częściami koła, lecz sinusoidalnymi. W praktyce jednak, ze względu na duże trudności jakie zachodzą przy tyczeniu podobnych łuków, używamy łuków kołowych z parabolicznymi krzywymi przejściowymi.

Projektowanie regulacji rzeki.

Żeby wykonać projekt regulacji jakiejś rzeki, w tym celu musimy przedewszystkiem wykonać dokładne

1. zdjęcie sytuacji

rzeki aż po sam wysoki brzeg. Taki plan sytuacyjny zdejmujemy zwykle zapomocą sieci trjangułacyjnej, a następnie tachymetrycznie. Zaznaczyć jeszcze należy, że przy tym zdjęciu tachymetrycznym pożądane jest, aczkolwiek niekonieczne, zdjęcie wysokości