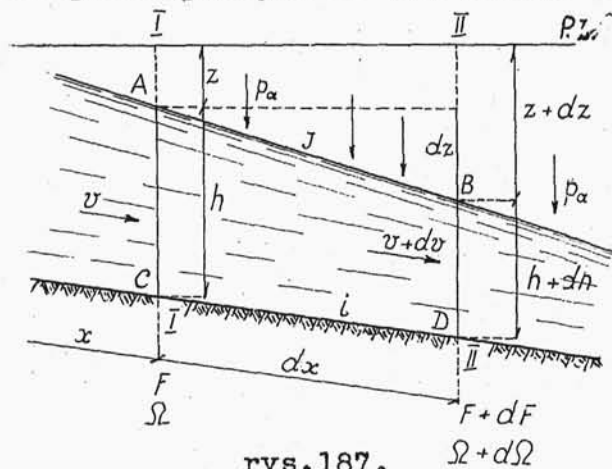


wyniesie tyle  $\text{m}^3/\text{sek}$ , ile będzie  $\text{cm}^2$  w polu przepływu, powiększone  $k.l.n$  razy. Zatem oznaczając pole przepływu przez  $F$  w  $\text{cm}^2$ , otrzymamy:

$$Q\left(\frac{\text{m}^3}{\text{sek}}\right) = F(\text{cm}^2).k.l.n \quad /156/$$

## 278. ZASADNICZE RÓWNANIE RUCHU TRWAŁEGO WODY W RZECIE I KANAŁE.

Przetnijmy rzekę lub kanał płaszczyzną pionową, wzdłuż osi koryta. Otrzymamy w takim przekroju podłużnym linię dna i linię zwierciadła wody. Na niewielkich odcinkach rzeki zarówno jedną jak i drugą linię możemy uważać jako linie proste /rys.187/. Wytnijmy następnie ze strumienia płynącego w korycie, część, zawartą między dwiema płaszczyznami I-I i II-II prostopadłymi do osi rzeki. Jedna z



rys.187.

tych płaszczyzn /I-I, wzięta jest w odległości  $x$  od pewnego początku, druga /II-II/ - w odległości  $x+dx$  od tego samego początku.

Tutaj nawiasem dodamy, że spadki rzek i kanałów wogóle są nieznaczące, to jest, że kąty, utworzone przez linię dna kanału lub przez linię zwierciadła wody z poziomem są bardzo nieznaczące. Dlatego też wspomniane płaszczyzny I-I i II-II, będąc prostopadłymi do osi rzeki mogą być bez znaczniejszego błędu uważane jako płaszczyzny pionowe. To też na przyszłość będziemy uważali te płaszczyzny jakò p i o n o w e.

Niech dalej zwierciadło wody w przekroju poprzecznym I-I znajduje się na wysokości  $Z$  pod przyjętym poziomem zasadniczym; niech głębokość wody w tym miejscu będzie  $AC = h$ ; niech średnia prędkość w tym przekroju będzie  $v$ ; wreszcie niech przekrój w tym miejscu będzie o polu  $F$  i obwód zwilżony  $\Omega$ . W podobny sposób oznaczmy w przekroju poprzecznym II-II: odległość zwierciadła wody od poziomu zasadniczego przez  $z+dz$ ; głębokość wody  $BD$  przez  $h+dh$ ; średnią prędkość przez  $v+dv$ ; pole przekroju poprzecznego przez  $F+dF$ ; długość obwodu zwilżonego przez  $\Omega+d\Omega$ .

Do tak obranej części strumienia, zawartego między przekrojami I-I i II-II, zastosujemy twierdzenie D. Bernoulli'ego, przyjmując, że mamy tu do czynienia z r u c h e m t r w a ł y m wody. Jakkolwiek cząstki cieczy, znajdujące się w przekroju I-I /to samo dotyczy cząstek w przekroju II-II/, mają prędkości różne, to wolno nam przyjąć, że wszystkie cząstki poruszają się w tym przekroju z jednakową ś r e d n i ą prędkością  $v$ , jeśli wprowadzimy pewną poprawkę w równaniu Bernoulli'ego, o czym we właściwym miejscu była mowa /§141/. Możemy zatem powiedzieć, że obojętne będzie, dla której cząstki w przekroju I-I i II-II zastosujemy twierdzenie D. Bernoulli'ego. Najdogodniej będzie wziąć cząstkę  $A$ , w przekroju I-I i następnie położenie jej w  $B$  w przekroju II-II. Dla tej cząstki napiszemy:

$$-z + \frac{p_a}{\gamma} + \frac{\alpha v^2}{2g} = -(z+dz) + \frac{p_a}{\gamma} + \frac{\alpha(v+dv)^2}{2g} + (h_{st})_{dx},$$

gdzie  $p_a$  jest to ciśnienie atmosferyczne na swobodnej powierzchni wody w punktach  $A$  i  $B$ , zaś  $(h_{st})_{dx}$  jest to wysokość, stracona na opory skutkiem tarcia o dno i brzegi koryta na drodze  $dx$ . Po otworzeniu nawiasu  $(v+dv)^2 = v^2 + 2v dv + (dv)^2$ , i redukcji, uwzględ-

niając w dodatku, że  $(dv)^2$  jest bardzo małe wobec  $2v dv$ ,  
ostatnie równanie otrzymamy w postaci:

$$0 = -dz + \frac{\alpha v dv}{g} + (h_{st})_{dx}$$

a stąd

$$dz = \frac{\alpha}{g} v \cdot dv + (h_{st})_{dx} \quad /a/$$

W równaniu tym z lewej strony mamy  $dz$ , które  
oznacza/rys.187/spadek zwierciadła wody od przekroju  
I-I do przekroju II-II; w prawej stronie tego równa-  
nia  $\frac{\alpha v dv}{g}$  możemy uważać jako przyrost wielkości  
 $\frac{\alpha v^2}{2g}$ , gdyż  $d(\frac{\alpha v^2}{2g}) = \frac{\alpha}{g} v dv$ . Drugi wyraz prawej stro-  
ny, mianowicie  $(h_{st})_{dx}$ , jest to wysokość stracona na  
tarcie na drodze  $dx$ . Z doświadczeń wiemy /porównaj  
z §216/, że w ruchu burzliwym - a z takim przeważnie  
mamy do czynienia - te straty są proporcjonalne do  $\frac{v^2}{2g}$ ,  
do długości  $dx$ , do obwodu zwilżonego  $\Omega$ , odwrotnie  
proporcjonalne do pola przekroju  $F$  oraz są zależne  
od innych czynników jak szorstkość dna i brzegów, ja-  
kość wody, temperatura jej itd; uwidocznimy to, wpro-  
wadzając współczynnik  $\varphi$ . Wobec tego napiszemy:

$$(h_{st})_{dx} = \frac{v^2}{2g} \cdot dx \cdot \frac{\Omega}{F} \cdot \varphi.$$

Należy tu zwrócić uwagę, że wielkości  $\Omega$  i  $F$ ,  
wpływające na wielkość tarcia, powinny być obrane ja-  
ko pewne pośrednie między wartościami obwodów zwil-

zonych i pól przekrojów między tymi wielkościami w przekrojach I-I i II-II. Wobec tego równanie /a/ otrzyma postać:

$$dz = d\left(\frac{\alpha v^2}{2g}\right) + \wp \frac{\Omega}{F} \cdot \frac{v^2}{2g} \cdot dx \quad /157/$$

Z tego równania widzimy, że spadek zwierciadła wody w rzece /lub kanale/ między dwoma przekrojami poprzecznymi idzie na p r z y r o s t p r ę d k o ś c i /właściwiej wysokości prędkości/ i na pokonanie oporów na drodze między tymi dwoma przekrojami.

Równanie /157/ jest jedną z postaci równania zasadniczego ruchu wody w rzece lub kanale. Nieraz jest dogodniej mieć do czynienia nie ze spadkiem zwierciadła wody na tym czy innym odcinku, lecz ze spadkiem jednostkowym, tj. spadkiem przypadającym na jednostkę długości koryta. Otrzymamy to dzieląc obie strony równania /157/ przez długość  $dx$  odcinka; otrzymamy wtedy:

$$\frac{dz}{dx} = \frac{d}{dx}\left(\frac{\alpha v^2}{2g}\right) + \wp \frac{\Omega}{F} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Jeśli jeszcze oznaczymy s p a d e k j e d n o s t k o w y z w i e r c i a d ł a wody przez  $J$ , to ponieważ  $\frac{dz}{dx} = J$ , więc

$$J = \frac{d}{dx}\left(\frac{\alpha v^2}{2g}\right) + \wp \frac{\Omega}{F} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad /158/$$

Korzystając z ostatniego równania /158/ możemy

wyprowadzić zależność między głębokością wody w rzece a spadkiem jednostkowym dna, który oznaczmy przez  $i$ . Zwróćmy się w tym celu do rys.188, z którego widzimy:

$$AC + CE = FB + BD$$

ponieważ  $CE = i dx$  zaś  $FB = J dx$ , więc

$$h + i dx = J dx + (h + dh),$$

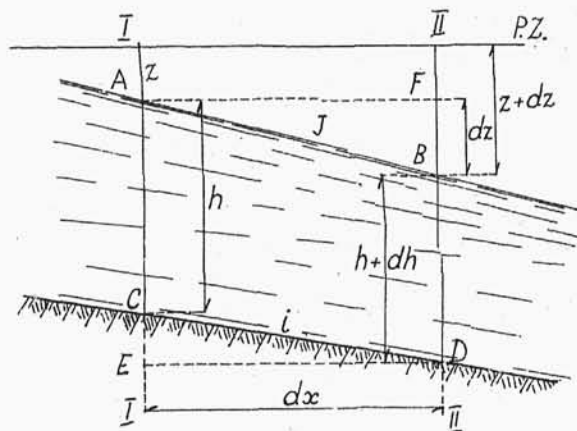
a stąd:

$$i = J + \frac{dh}{dx},$$

albo

$$J = i - \frac{dh}{dx}.$$

Podstawiając wartość na  $J$  w równanie /158/ otrzymamy nową postać zasadniczego równania ruchu wody w



rys.188.

rzece lub w kanale:

$$i - \frac{dh}{dx} = \frac{d}{dx} \left( \frac{\alpha v^2}{2g} \right) + \rho \frac{\Omega}{F} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad /159/$$

Tu należy zrobić uwagę, aby uniknąć nieporozumień, że, jak to poprzednio wspomniano, spadki  $J$  oraz  $i$ , są zazwyczaj b a r d z o m a ł e, tak, że odległości między dwoma przekrojami poprzecznymi I-I i II-II mogą być mierzone albo wzdłuż zwierciadła wody, albo wzdłuż dna, albo wreszcie w kierunku poziomym. Otrzymamy tę odległość  $= dx$ .

Powyższe równania /157/, /158/ i /159/ dotyczą w ogóle t r w a ł e g o ruchu wody w rzece lub kanale. Niżej rozróżnimy dwa przypadki ruchu trwałego

- a/ ruch jednostajny
- b/ ruch niejednostajny

#### §279. JEDNOSTAJNY TRWAŁY RUCH WODY W KANAŁACH LUB RZEKACH.

Ruch ten tym się charakteryzuje, że prędkość w różnych przekrojach poprzecznych jest wielkością s t a ł ą. Jeśli jeszcze przekrój poprzeczny łóżyska będzie stały, więc i głębokość  $h$  będzie stała. W takim razie równania /157/, /158/ i /159/ przybiorą pos-

tać:

$$dz = \varrho \frac{\Omega}{F} \cdot \frac{v^2}{2g} \cdot dx \quad /160/$$

$$J = \varrho \frac{\Omega}{F} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad /161/$$

$$i = \varrho \frac{\Omega}{F} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad /162/$$

Z tych równań widzimy, że w ruchu jednostajnym spadek zwierciadła idzie na pokonanie oporów podczas ruchu i że spadek dna jest równy spadkowi zwierciadła wody.

Rozpatrzmy bliżej jedno z tych równań - równanie /161/

$$J = \varrho \cdot \frac{\Omega}{F} \cdot \frac{v^2}{2g},$$

gdzie w prawej stronie mamy wyraz oznaczający spadek jednostkowy zwierciadła wody, obrócony na pokonanie oporów wywołanych tarciem.

Wprowadźmy w to równanie oznaczenie  $\frac{F}{\Omega} = R$  jak to zrobiliśmy w §216.  $R$  nazwaliśmy promieniem hydraulicznym przekroju.

Równanie /161/ wtedy będzie

$$J = \frac{\varrho}{R} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

a stąd

$$v = \sqrt{\frac{2g}{\varrho}} \sqrt{JR}$$



Jeżeli oznaczymy  $\sqrt{\frac{2g}{\varrho}} = C$  otrzymamy:

$$v = C \sqrt{JR} \quad /163/$$

Równanie powyższe wiąże ze sobą trzy wielkości: średnią prędkość  $v$  przepływu wody w rzece lub kanale, spadek jednostkowy  $J$  zwierciadła wody oraz wymiary kanału, zawarte w promieniu hydraulicznym  $R$ ; Spółczynnik  $C$ , jak zobaczymy niżej, również zawierać może  $v, J, R$  oraz charakterystykę łóżyska rzeki lub kanału.

280. Spółczynnik  $C$  określamy z wzorów ułożonych na podstawie wyników z doświadczeń.

Wzorów tych mamy kilka dziesiątków.

Dla przykładu przytoczymy ich parę częściej stosowanych:

1/ Wzór B a z i n'a:

$$C = \frac{87}{1 + \frac{b}{\sqrt{R}}} \quad /164/$$

albo w innej postaci

$$C = \frac{87\sqrt{R}}{b + \sqrt{R}} \quad /164a/$$

gdzie  $R$ , jak poprzednio, oznacza promień hydrauliczny przekroju, zaś  $b$  przybiera różne wartości zależne od rodzaju i jakości ścian kanału lub rzeki, a więc:

- I dla drzewa heblow. lub gładko wypraw. ścian  $b = 0,06$   
 II " " piłowanego, cegły, ciosu "  $= 0,16$   
 III " kamienia łamanego "  $= 0,46$   
 IV " bruku, ziemi ubitej "  $= 0,85$   
 V " koryta w ziemi, utrzymanego w stanie  
 średnim, zwykłym "  $= 1,30$   
 VI " koryta w ziemi, źle utrzymywanego "  $= 1,75$

Niżej przytaczamy współczynniki  $C$  obliczone według wzoru Bazin'a dla różnych wartości  $R$  i  $b$ .

$R \backslash b$	0,06	0,16	0,46	0,85	1,30	1,75
0,10	73,1	57,8	35,4	23,6	17,0	13,3
0,15	75,3	61,6	39,8	27,2	20,0	15,8
0,20	76,7	64,1	42,9	30,0	22,3	17,7
0,30	78,4	67,3	47,3	34,1	25,8	20,7
0,40	79,5	69,4	50,4	37,1	28,5	23,1
0,60	80,7	72,1	54,6	41,5	32,5	26,7
0,80	81,5	73,8	57,4	44,6	35,5	29,4
1,00	82,1	75,0	59,6	47,0	37,8	31,6
1,20	82,5	75,9	61,3	49,0	39,8	33,5
1,40	82,8	76,6	62,6	50,6	41,5	35,1
1,60	83,1	77,2	63,8	52,0	42,9	36,5
1,80	83,3	77,7	64,8	53,3	44,2	37,8
2,00	83,5	78,2	65,7	54,3	45,3	38,9
2,50	83,8	79,0	67,4	56,6	47,7	41,3
3,00	84,1	79,6	68,7	58,4	49,7	43,3
3,50	84,3	80,1	69,8	59,8	51,3	45,0
4,00	84,5	80,6	70,7	61,1	52,7	46,4
5,00	84,7	81,2	72,2	63,0	55,0	48,8
7,00	85,1	81,9	74,1	65,3	58,4	52,3
10,00	85,4	82,6	75,8	68,6	61,8	55,9
15,00	85,7	83,5	78,5	71,4	65,1	59,8

2/ Wzór K u t t e r' a i G a n g u i l l e t' a  
/uproszczony/.

$$C = \frac{100 \sqrt{R}}{m + \sqrt{R}} \quad /1.65/$$

gdzie  $R$  oznacza, jak poprzednio, promień hydrauliczny.

Wzór ten znajduje zastosowanie przy spadkach  $J > 0,0005$ .

Wartości na  $m$  można obierać:

I dla ścian cementowych czystych gładkich  $m = 0,12$

II " " z desek drewnianych starannie  
dopasowanych i heblowanych  $m = 0,15$

III dla ścian z desek drewnianych dobrze  
dopasowanych, lub dla przewodów żelaz-  
nych, żeliwnych nowych albo żelazobe-  
tonowych  $m = 0,20$

IV dla czystych kanałów kamionkowych, wo-  
dociągowych przewodów żeliwnych po dłuż-  
szym użyciu, dla ścian z desek nieheblo-  
wanych  $m = 0,25$

V dla ścian starannie murowanych z cegły  $m = 0,27$

VI dla ścian z bali drewnianych lub ze  
zwykłego muru ceglanego  $m = 0,35$

VII dla ścian z kamienia ciosanego  $m = 0,45$

VIII " " ze starego muru - z osadami  
na dnie kanału  $m = 1,00$

X dla kanału w ziemi starannie wykonanego i dobrze utrzymywanego	$m = 1,50$
X dla kanału w ziemi zarośniętego trawą	$m = 2,00$
XI dla kanału w ziemi zapuszczonego, trawą zarośniętego, a dnie zamulonym	$m = 2,50$

### 3/ Wzór K u t t e r' a i G a n g u i l l e t' a /złożony/.

znajduje zastosowanie przy spadkach  $J \ll 0,0005$

$$C = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0,00155}{J}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{J}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}} \dots \dots \dots /166/$$

gdzie  $R$  oznacza jak wyżej

$J$  - spadek jednostkowy zwierciadła wody, zaś wartość

$n$  obieramy:

I dla kanałów o ścianach z gładkich heblowanych desek lub z gładką cementową wyprawą	$n = 0,01; \frac{1}{n} = 100$
II dla kanałów ze zwykłych bali	$n = 0,012; \frac{1}{n} = 83,33$
III " " z kamienia ciosanego	$n = 0,013; \frac{1}{n} = 76,91$
IV " " " " łamanego	$n = 0,017; \frac{1}{n} = 58,82$
V " " w ziemi /rzeki i stru- mienię/	$n = 0,25; \frac{1}{n} = 40,0$
VI dla rowów z rumowiskiem i roślinami	$n = 0,3; \frac{1}{n} = 33,33$

Na tych trzech wzorach, najczęściej stosowanych, poprzestaniemy; inne wzory można znaleźć w kalendarzach technicznych lub podręcznikach informacyjnych.

Gdyby chodziło o przybliżoną tylko, lecz szybką odpowiedź na pytanie, gdzie wchodziłby współczynnik  $C$ , wówczas można przyjąć  $C$  równe 50. Będzie to jednak - jak widzimy z ostatnio podanej tablicy wartości na  $C$  - bardzo mało dokładna wartość. Nieraz może to jednak wystarczyć.

Wreszcie dodamy, że powyższe wzory i wartości współczynnika  $C$  są odpowiednie, jeśli inne wielkości, wchodzące do wzorów - czy równań - zawierających  $C$ , są wyrażone w metrach i sekundach. Łatwo bowiem stwierdzić, że  $C$  jest wielkością mianowaną, a nie oderwaną. Mianowanie  $C$  jest:  $(m^{1/2} \cdot sek^{-1})$ .

281. Zestawmy teraz te wzory, które będziemy stosowali przy obliczeniach wymiarów rzek i kanałów.

$$J = \frac{Q}{2g} \cdot \frac{v^2}{R}, \quad \text{gdzie} \quad \frac{Q}{2g} = \frac{1}{C^2},$$

zaś wartości na  $C$  były przytoczone w §280.

Następnie średnią prędkość znaleźliśmy:

$$v = c \sqrt{JR}$$

gdzie  $c$ , jak wyżej.

Jeżeli przez  $F$  oznaczymy przekrój kanału, wówczas wydatek

$$Q = vF$$

Niech na długości  $L$  kanału będzie spadek zwiercia - dla  $k$ , wówczas z określenia  $J = \frac{k}{L}$ , mamy:  $k = JL$ ,

albo 
$$k = \frac{Q}{2g} \cdot \frac{v^2}{R} \cdot L ;$$

jeśli zauważymy, że

$$v = \frac{Q}{F}, \quad \text{otrzymamy } k = \frac{Q}{2g} \cdot \frac{Q^2 L}{F^2 R},$$

albo

$$k = \frac{1}{c^2} \cdot \frac{Q^2 L}{F^2 R}$$

Wreszcie, ponieważ  $R = \frac{F}{\Omega}$ , gdzie  $\Omega$  jest obwodem zwilżonym,

$$k = \frac{1}{c^2} \cdot \frac{Q^2 L \Omega}{F^3}.$$

## 282. NAJKORZYSTNIEJSZE PRZEKROJE KANAŁÓW.

W następnych rozdziałach zbadamy kilka przekrojów typowych kanałów, aby poznać, jaki będzie najkorzystniejszy kształt kanału, albo też, jakie będzie najkorzystniejsze napełnienie kanału, aby można było kanałem przepuścić jak najwięcej wody.