

ciśnien, która się rozpocznie w punkcie  $B_0$  i opadnie w piezometrze, wstawionym w  $C$  o wysokość  $Z_2$  równą stracie na tarcie w przewodzie  $BC$ . Zgodnie z poprzednim napiszemy:

$$Z_2 = \frac{\lambda_2 Q^2 L_2}{D_2^5}.$$

Odłożywszy od poziomu, przeprowadzonego przez  $B_0$ , wysokość  $Z_2$ , otrzymamy punkt  $C_0$ . Prosta  $B_0 C_0$  jest linią ciśnień w przewodzie  $BC$ . W taki sam sposób znajdziemy wysokość  $Z_3 = \frac{\lambda_3 Q^2 L_3}{D_3^5}$ , a następnie wykreślimy linię ciśnień  $C_0 E_0$  itd.

Ostatecznie otrzymamy linię ciśnień dla całego przewodu:

$$A_0 B_0 C_0 E_0 F_0 G.$$

Całkowita wysokość stacona na tarcie:

$$Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 + \dots + Z_n = \sum_1^n \frac{\lambda_i Q^2 L_i}{D_i^5} = Q^2 \sum_1^n \frac{\lambda_i L_i}{D_i^5} \quad /146/$$

Jeśli średnice nie bardzo będą się różnić, można przyjąć, że  $\lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda_i = \lambda$ . W takim razie:

$$Z = \lambda Q^2 \sum_1^n \frac{L_i}{D_i^5} \quad /147/$$

244. PRZYKŁAD XXVIII. Znaleźć średnicę  $D$  takiego przewodu o długości  $L$ , któryby zastąpił przewód

złożony z odcinków o różnych średnicach i długościach:  
 $D_1, L_1; D_2, L_2; \dots D_n, L_n$ . Średnica wylotu tu i tam  
niech będzie  $d$ . Poza tym powinny być zachowane warunki:  
wydatek w jednym i drugim przypadku powinien być  
ten sam oraz że straty na tarcie tu i tam mają być  
jednakowe.

Przedewszystkim z warunku zadania wynika, że

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n$$

Strata całkowita w przewodzie o zmiennych średnicach, jak to przed chwilą znaleźliśmy, równ./146/,  
jest:

$$Z = Q^2 \sum_i^n \frac{\lambda_i L_i}{D_i^5}.$$

Strata zaś dla przewodu o stałej średnicy  $D$  i  
długości  $L$  otrzyma się:

$$Z = \frac{\lambda Q^2 L}{D^5}.$$

Z porównania znajdziemy:

$$Q^2 \sum_i^n \frac{\lambda_i L_i}{D_i^5} = Q^2 \frac{\lambda L}{D^5},$$

albo

$$\frac{\lambda L}{D^5} = \sum_i^n \frac{\lambda_i L_i}{D_i^5}$$

stąd

$$D = \sqrt[5]{\frac{\lambda L}{\sum_i^n \frac{\lambda_i L_i}{D_i^5}}}$$

Jeżeli przyjmiemy, iż w przybliżeniu

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \dots = \lambda_i = \dots = \lambda,$$

otrzymamy:

$$D = \sqrt[5]{\frac{L}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{D_i^5}}} \quad /148/$$

245. PRZYKŁAD XXIX. Niech będzie dany przewód o długości  $L$ , złożony z dwóch rur; jedna o średnicy  $D$  i druga o średnicy  $0,2D$ . Długość rury o średnicy  $D$  niech będzie  $0,9L$ , zaś o średnicy  $0,2D$  niech będzie  $0,1L$ . Porównać straty ciśnienia w jednym i drugim przypadku-

Stratę ciśnienia na końcu tak złożonego przewodu przy wydatku wody równym  $Q$  otrzymamy: w końcu pierwszej części przewodu strata wyniesie:

$$Z_1 = \lambda_1 \frac{Q^2}{D^5} 0,9L;$$

w końcu drugiej części przewodu strata będzie

$$Z_2 = \frac{\lambda_2 Q^2}{(0,2D)^5} \cdot 0,1L.$$

Całkowita strata zatem będzie:

$$Z = Z_1 + Z_2 = \frac{Q^2 L}{D^5} (\lambda_1 0,9 + \lambda_2 \frac{0,1}{0,2^5}),$$

albo

$$Z = \frac{Q^2 L}{D^5} (0,9\lambda_1 + 3/2,5\lambda_2).$$

Przypuśćmy, że  $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda$ ; wtedy:

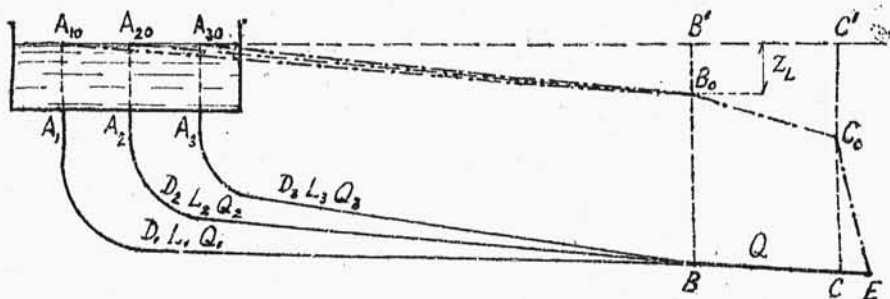
$$Z = 313,4 \frac{\lambda Q^2 L}{D^5}.$$

Gdyby zaś cały przewód był wykonany o jednej i tej samej średnicy  $D$ , wówczas strata ciśnienia byłaby:

$$Z' = \frac{\lambda Q^2 L}{D^5}.$$

Stąd widzimy, jak poważny wpływ na zwiększenie straty ciśnienia ma nawet nieznaczny odcinek przewodu, jeśli przez oszczędność damy go o nadmiernie zmniejszonej średnicy.

#### 246. PRZEWODY RÓWNOLEGŁE.



rys. 164.

Niech ze zbiornika będą wyprowadzone  $n$  przewodów /na rysunku 164 wzięliśmy trzy/. Średnice ich niech będą  $D, D_2, D_3, \dots, D_n$  i długości  $L, L_2, L_3, \dots, L_n$ .

Wszystkie  $n$  przewodów, nazywamy je p r z e -  
w o d a m i r ó w n o l e g ł y m i, schodzą się  
we wspólnym węźle  $B$ , skąd dalej idzie już pojedyn-  
czy przewód  $BC$ , kończący się krótkim zwężającym  
się odcinkiem  $CE$ . Przypuśćmy, że tymi przewodami  
przepływa do końca  $E$  wydatek wody  $Q$ .

Wyznamy linie ciśnień w poszczególnych prze-  
wodach  $A_1B, A_2B, A_3B, \dots, \dots$  itd.

Na wydatek wody  $Q$ , dopływający do końca prze-  
wodu  $E$ , składają się wydatki wody, przepływające  
przez poszczególne przewody równoległe; niech to bę-  
dą wydatki:  $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ .

Każdy z tych wydatków warunkuje w odpowiednim  
przewodzie stosowne straty ciśnienia i jednocześnie  
właściwą linię ciśnień.

O tych liniach ciśnień dla każdego przewodu wie-  
my, że każda zaczynać się będzie na swobodnej powierz-  
chni wody nad początkiem każdego z przewodów /o ile  
nie uwzględnimy prędkości wody w tych przewodach/;  
koniec linii ciśnień wskaże nam, jak zwykle, piezo-  
metr, wstawiony w węzeł  $B$ , w którym wszystkie prze-

wody się łączą.

Przekonywamy się, że w węźle  $B$ , który możemy uważać jako koniec każdego z przewodów, linie ciśnienia przejdą przez jeden i ten sam punkt  $B_0$ . Wyso-  
kość  $B'B_0 = Z_L$  będzie oznaczać zatem stratę ciśnienia dla każdego z przewodów. Wobec tego, rozpatrując  $Z_L$  jako stratę w pierwszym przewodzie, napiszemy:

$$Z_L = \frac{\lambda_1 Q_1^2 L_1}{D_1^5} \quad /a/$$

toż samo dla drugiego, trzeciego i następnych prze-  
wodów:

$$Z_L = \frac{\lambda_2 Q_2^2 L_2}{D_2^5} \quad /b/$$

$$\dots$$

$$Z_L = \frac{\lambda_n Q_n^2 L_n}{D_n^5} \quad /n/$$

Jeżeli znajdziemy  $Z_L$ , będziemy mogli wyznaczyć punkt  $B_0$ , a następnie i linie ciśnienia  $A_1 B_0, A_2 B_0, \dots$ , wreszcie  $A_n B_0$ .

W tym celu z równania /a/ określimy

$$Q_1 = \sqrt{Z_L} \sqrt{\frac{D_1^5}{\lambda_1 L_1}} \quad /a'/$$

w podobny sposób z następnych równań znajdziemy:

$$Q_2 = \sqrt{Z_L} \sqrt{\frac{D_2^5}{\lambda_2 L_2}} \quad \dots \quad /b''/ \quad Q_3 = \sqrt{Z_L} \sqrt{\frac{D_3^5}{\lambda_3 L_3}} \quad \dots \quad /c'/ \quad \text{itd.}$$

wreszcie

$$Q_n = \sqrt{Z_L} \sqrt{\frac{D_n^5}{\lambda_n L_n}} \quad /n''/$$

Dodajmy stronami równania /a'/, /b'/, /c'/.../n'/;  
otrzymamy:

$$Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = \sqrt{Z_L} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} \sqrt{\frac{D_i^5}{\lambda_i L_i}}$$

ponieważ  $Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = Q$ , więc

$$\sqrt{Z_L} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} \sqrt{\frac{D_i^5}{\lambda_i L_i}} = Q$$

a stąd

$$Z_L = \frac{Q^2}{\left( \sum_{i=1}^{i=n} \sqrt{\frac{D_i^5}{\lambda_i L_i}} \right)^2} \quad /149/$$

247. Może zajść potrzeba określenia tych ilości wody, które płyną ze zbiornika do  $E$  poszczególnymi przewodami, tj. ilości

$$Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$$

W takim razie zwróćmy się do równań /a'/, /b'/, /c'/ ... /n'/ poprzedniego artykułu:

$$Q_1 = \sqrt{Z_L} \sqrt{\frac{D_1^5}{\lambda_1 L_1}}$$

wartość  $Z_L$  otrzymamy z wzoru /149/

$$Z_L = \frac{Q^2}{\left( \sum_{i=1}^{i=n} \sqrt{\frac{D_i^5}{\lambda_i L_i}} \right)^2},$$

zatem

$$Q_1 = \frac{Q}{\sum_{i=1}^{i=n} \sqrt{\frac{D_i^5}{\lambda_i L_i}}} \sqrt{\frac{D_1^5}{\lambda_1 L_1}}.$$

W taki sam sposób znajdziemy:

$$Q_2 = \frac{Q}{\sum_{i=1}^{i=n} \sqrt{\frac{D_i^5}{\lambda_i L_i}}} \sqrt{\frac{D_2^5}{\lambda_2 L_2}} \quad \text{itd.}$$

wreszcie

$$Q_n = \frac{Q}{\sum_{i=1}^{i=n} \sqrt{\frac{D_i^5}{\lambda_i L_i}}} \sqrt{\frac{D_n^5}{\lambda_n L_n}}.$$

248. W szczególnym przypadku, kiedy wszystkie przewody mają jednakową średnicę, a więc, kiedy

$$D_1 = D_2 = D_3 = \dots = D_n = D_0,$$

wówczas

$$Q_1 = \frac{Q}{\sqrt{\lambda_1} \sum_{i=1}^n \sqrt{L_i}} \sqrt{\frac{D_0^5}{\lambda_1}} \sqrt{\frac{1}{L_1}} = \frac{Q}{\sum_{i=1}^n \sqrt{L_i}} \cdot \frac{1}{\sqrt{L_1}};$$

W taki sam sposób znajdziemy:

$$Q_2 = \frac{Q}{\sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{1}{L_i}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{L_2}} \quad \text{itd.}$$

wreszcie

$$Q_n = \frac{Q}{\sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{1}{L_i}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{L_n}}.$$

Gdyby jeszcze był dodatkowy warunek, że długości poszczególnych przewodów są jednakowe, że zatem

$$L_1 = L_2 = L_3 = \dots = L_n = L_0,$$

wówczas

$$Q_1 = \frac{Q}{n \sqrt{\frac{1}{L_0}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{L_0}} = \frac{Q}{n},$$



toż samo

$$Q_2 = \frac{Q}{n} , \quad Q_3 = \frac{Q}{n} \quad \text{itd.}$$

wogóle

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots = Q_n = \frac{Q}{n}$$

co, zresztą, było do przewidzenia.

249. Zagadnienie z przewodami równoległymi nastręcza pytanie: jaki należałoby dać przewód, żeby ten był w stanie doprowadzić od zbiornika do węzła  $B$  tę samą ilość wody  $Q$ , jaką doprowadzają  $n$  przewodów równoległych przy tej samej stracie ciśnienia  $Z_L$  w węźle  $B$ . Chodzi tu o średnicę  $D$  przewodu t.zw. zastępczego, którego długość niech będzie  $L$ .

W artykule /246/ otrzymaliśmy równanie:

$$Z_L = \frac{Q^2}{\left( \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{D_i^5}{\lambda_i L_i}} \right)^2}$$

wskazujące na zależność między całkowitym wydatkiem

$Q$ , stratą ciśnienia w węźle  $B$  i wymiarami /średnicy i długości/ oddzielnych przewodów równoległych.

Jeżelibyśmy wzięli pojedynczy przewód zastępczy, któryby miał zadość uczynić postawionym warunkom, wówczas napisalibyśmy zależność

$$Z_L = \frac{\lambda Q^2 L}{D^5}$$

Na podstawie obydwóch tych równań, napiszemy:

$$\frac{Q^2}{\left(\sum_{i=1}^{i=n} \sqrt{\frac{D_i^5}{\lambda_i L_i}}\right)^2} = \frac{\lambda Q^2 L}{D^5},$$

a stąd

$$D = \sqrt[5]{\lambda L \left(\sum_{i=1}^{i=n} \sqrt{\frac{D_i^5}{\lambda_i L_i}}\right)^2}$$

W szczególnym przypadku, kiedy przewody równoległe są jednej i tej samej średnicy i długości, kiedy, zatem

$$D_1 = D_2 = D_3 = \dots = D_n = D_0$$

oraz

$$L_1 = L_2 = L_3 = \dots = L_n = L_0,$$

należy przyjąć, że długość przewodu zastępczego też  $= L_0$ ; wówczas średnicę przewodu zastępczego obliczymy ze wzoru:

$$D = \sqrt[5]{\lambda L_0 \left(n \sqrt{\frac{D_0^5}{\lambda_0 L_0}}\right)^2} = D_0 \sqrt[5]{n^2 \frac{\lambda}{\lambda_0}}.$$

Ponieważ  $\lambda$  zależy od średnicy  $D$ , którą mamy określić, przeto obliczenie  $D$  możemy uskutecznić metodą kolejnych przybliżeń, którą już raz zastosowaliśmy w art.236.

Jeżeliby chodziło nam o przybliżoną tylko wartość  $D$ , można przyjąć, że  $\lambda = \lambda_0$ ; wtedy  $D = D_0 \cdot n^{2/5}$ .

250. Znaleźliśmy średnicę  $D$  przewodu zastępczego. Zbadajmy, **jaka** może być różnica w kosztach budowy przewodów równoległych i pojedynczego przewodu zastępczego. Uczyńmy następujące założenie, które dość zgadza się z rzeczywistością, a które, jednak, pozwoli nam w przybliżeniu ocenić różnicę między kosztem przewodów równoległych /oznaczymy ten koszt przez  $K_r$  / i kosztem przewodu pojedynczego /oznaczymy ten koszt przez  $K_p$  /.

Przyjmijmy, że koszt rury będzie proporcjonalny do średnicy i długości. Jeżeli koszt 1 m rury o  $\phi = 1$  m wynosi  $k$  zł., wtedy koszt pierwszego przewodu o średnicy  $D_1$  i długości  $L_1$  wyniesie  $k \cdot D_1 L_1$ ; koszt drugiego przewodu będzie:  $k \cdot D_2 L_2$  itd., wreszcie ostatniego  $k \cdot D_n L_n$ .

Zatem koszt przewodów równoległych wyniesie

$$K_r = k(D_1 L_1 + D_2 L_2 + \dots + D_n L_n) = k \sum_{i=1}^n D_i L_i.$$

Koszt pojedynczego przewodu zastępczego obliczymy:

$$K_p = k D L$$

Więc stosunek  $K_r$  i  $K_p$ , który oznaczymy przez  $\varphi$ , otrzymamy:

$$\varphi = \frac{U_p}{U_p} = \frac{k \sum_{i=1}^{ten} D_i L_i}{k D L} = \frac{\sum_{i=1}^{ten} D_i L_i}{D L}$$

Wartość  $D$  poprzednio już znaleźliśmy, więc po podstawieniu otrzymamy:

$$\varphi = \frac{\sum_{i=1}^{ten} D_i L_i}{L \sqrt{\lambda L \left( \sum_{i=1}^{ten} \sqrt{\frac{D_i^5}{\lambda_i L_i}} \right)^2}}$$

W szczególnym przypadku, kiedy  $D_1 = D_2 = \dots = D_n = D_0$  oraz  $L_1 = L_2 = \dots = L_n = L_0$ , wreszcie  $L = L_0$ , otrzymamy:

$$\varphi = \frac{n D_0 L_0}{L_0 \sqrt{\lambda L_0 n^2 \frac{D_0^5}{\lambda_0 L_0}}} = \frac{n}{\sqrt{n^2 \frac{\lambda}{\lambda_0}}} = n^{\frac{3}{5}} \sqrt{\frac{\lambda_0}{\lambda}}$$

Jeżelibyśmy przyjęli, że w przybliżeniu  $\lambda = \lambda_0$ , wówczas otrzymalibyśmy, że szukany stosunek:

$$\varphi = n^{\frac{3}{5}}.$$

Naprzykład przy dwóch przewodach równoległych:

$$\varphi = 2^{\frac{3}{5}} = 1,52 ;$$

to znaczy, że dwa przewody równoległe są droższe /mniej więcej/ o 52% od przewodu pojedynczego.

Przy  $n = 3$ , znajdziemy stosunek:

$$\varphi = 3^{\frac{3}{5}} = 1,93 ,$$

czyli, że trzy przewody równoległe są droższe prawie dwa razy od przewodu pojedynczego.

251. Przewody równoległe są stosowane, kiedy

chcemy mieć większą pewność w dostarczeniu potrzebnej ilości wody ze zbiornika do danego miejsca. Nie-raz w razie zwiększenia się zapotrzebowania wody w pewnym miejscu, kiedy istniejący przewód już nie wystarcza, układany jest obok niego drugi, niekiedy trzeci przewód - tej samej, albo innej średnicy - zależnie od zapotrzebowania wody i od wymaganego ciśnienia.

## 252. PRZEWÓD WYDATKUJĄCY WODĘ PO DRODZE.

Dotychczas rozpatrywaliśmy przewody, które doprowadzały wodę do końca. Wiemy, jaki dla takiego przypadku jest przebieg linii ciśnień. Obecnie rozpatrzymy przypadek, kiedy przewód dostarcza wodę nie tylko do końca, lecz jeszcze wydatkuje wodę po drodze.

Przypuśćmy, że ze zbiornika wypływa  $Q_1 + Q_0$  wody, z czego do końca przewodu dopływa  $Q_0$ , pozostała ilość  $Q_1$  jest wydatkowana wzdłuż całego przewodu  $AB$  /rys. 166/. Długość przewodu niech będzie  $L$  i średnica  $D$ .

W rzeczywistości wydatkowanie wody po drodze odbywać się będzie w ten sposób, że na danym przewodzie