

11.102

J. Bielecki

PRACE AKADEMJI NAUK TECHNICZNYCH
ZESZYT NR. 3 TOMU III 1934 ROK.

Dr. KAROL POMIANOWSKI i Dr. KAZIMIERZ WÓYCICKI

UDERZENIA WODNE W PRZEWODACH TŁOCZNYCH ZAKŁADÓW WODOCIĄGOWYCH



PRACA REFEROWANA NA POSIEDZENIU WYDZIAŁU II
AKADEMJI NAUK TECHNICZNYCH DN. 6 CZERWCA 1934 R.

WARSZAWA 1934 – PAŁAC STASZICA, NOWY ŚWIAT 72.

15-

PRACE AKADEMJI NAUK TECHNICZNYCH W WARSZAWIE

Nr.	Tom	Rok		Cena
1	I	1925	Broniewski Witold, Opór elektryczny i rozszerzalność metali, Warszawa, 26 str.	3,00
2	I	1925	Matakiewicz Maksymiljan, Ogólna formuła na średnią chyżość przepływu w łożyskach rzecznych i kanałowych, Lwów, 98 str.	18,00
3	I	1926	Huber Maksymiljan T., Kryteria stałości równowagi i ich stosunek do statyki układów sprężystych, Lwów, 57 str.	4,00
4	I	1928	Weigel Kasper, Nowa metoda wyrównania triangulacyjnych sieci wieńcowych, Lwów, 22 str.	2,00
5	I	1928	Thullie Maksymiljan i Chmielowiec Alfons, Naprężenia drugorzędne w belkach kratowych, Lwów, 64 str.	6,50
6	I	1928	Weigel Kasper, Badanie formuł empirycznych przy pomocy szeregów Taylora, Lwów, 16 str.	1,50
1	II	1929	Żorawski Kazimierz, Cztery przyczynki z zakresu kinematyki ciał sztywnych, Warszawa, 119 str.	8,50
2	II	1929	Bełzecki Stanisław, Równowaga sił sprężystości w belce przyrzmatycznej, Warszawa, 35 str.	2,50
3	II	1931	Matakiewicz Maksymiljan, Formuła na średnią prędkość dla łożysk naturalnych i wielkich spadków, Warszawa, 22 str.	2,00
4	II	1931	Matakiewicz Maksymiljan, Badania nad związkiem między prędkością średnią profilu, a największą prędkością powierzchniową w łożyskach sztucznych, Warszawa, 56 str.	4,00
5	II	1931	Bełzecki Stanisław, Kilka uwag dotyczących teorii prętów krzywych, Warszawa, 38 str.	2,00
1	III	1933	Matakiewicz Maksymiljan, Bilans spadku łożysk przyrodzonych, Warszawa, 30 str.	2,50
2	III	1934	Wierzbicki Witold, O sposobach rozumienia terminu „Wyboczenie”, Warszawa, 11 str.	1,00

J. Bielecki

PRACE AKADEMJI NAUK TECHNICZNYCH

ZESZYT NR. 3 TOMU III

1934 ROK.

Dr. KAROL POMIANOWSKI i Dr. KAZIMIERZ WÓYCICKI

UDERZENIA WODNE W PRZEWODACH TŁOCZNYCH ZAKŁADÓW WODOCIĄGOWYCH



PRACA REFEROWANA NA POSIEDZENIU WYDZIAŁU II
AKADEMJI NAUK TECHNICZNYCH DN. 6 CZERWCA 1934 R.

WARSZAWA 1934 – PAŁAC STASZICA, NOWY ŚWIAT 72.

532.5 : 628.1



nr. 4661

DRUKARNIA SPOŁECZNA
WARSZAWA
PL. GRZYBOWSKI 3/5 TEL. 205-80



~~II. 402~~

~~1945 k. m. R. 69~~

BZ12PK/006-75

UDERZENIA WODNE W PRZEWODACH TŁOCZNYCH ZAKŁADÓW WODOCIĄGOWYCH.

Dla redukcji uderzeń hydraulicznych pomiędzy pompami wodociągowymi a przewodem głównym jest zawsze wstawiona bania powietrzna. Przy pompach tłokowych uderzenia następują za każdym skokiem tłoka, przy obecnie prawie wyłącznie używanych pompach odśrodkowych, niema tego typu uderzenia, gdyż pompa pracuje w sposób ciągły, natomiast zachodzi zawsze możliwość powstania uderzenia na skutek raptownego zatrzymania pompy, czy to przez maszynistę, czy też w wyniku nagłego wyłączenia prądu elektrycznego.

Odrębne zjawiska uderzenia występują na pompach odśrodkowych zakładów elektrycznych pompowych. W zakładach tych nadmiar energii na sieci elektrycznej jest używany do podniesienia pewnej ilości wody na zbiornik sztuczny, z którego woda z powrotem dopływa na turbiny w chwilach braku energii na sieci. W wypadkach tych zakładów ciągi tłoczne są stosunkowo krótkie, przekroje ich duże, mała prędkość w rurociągu wody tłocznej, natomiast prędkość wody powrotnej zasilającej turbiny duża. Banie powietrzne nie są tu nigdy stosowane.

Po przerwaniu ruchu pompy powstają i w tych wypadkach bardzo niepożądane zjawiska ssania wody na pompie, rozbiegania się wirnika pompy oraz rotoru w motorze, zjawiska kawitacji w początkowej fazie ujemnego uderzenia, oraz następnie wtórne wysokie uderzenia dodatnie. Zjawiska te były rozpatrywane i częściowo laboratoryjnie badane przez D. Thoma (Mitteilungen des Hydraulischen Institutes der Techn. Hochschule München, Heft IV 1931, str. 102, oraz przez Clifford Proctor Kittredge, Mitt. Heft VII 1933 str. 53), bez uwzględnienia jednak wpływu bani, który przy tego typu zakładach jak wyżej podano nigdy nie jest stosowany.

W zakładach wodociagowych, przy pompach tłokowych nie zachodzi związek między ciśnieniem na pompie a jej wydatkiem. Ciśnienie na pompie i rurociągu tłocznym jest zależne od prężności pary oraz przekroju tłoka iuru, zaś wydatek pompy od liczby obrotów, dających się w szerokich granicach regulować. To też przy pompie tłokowej można zmienić wydatek pompy, ilość przetłaczanej wody, jak również tem samem prędkość wody w rurociągu głównym, prostą zmianą ilości obrotów. Ciśnienie na pompie ułoży się wtedy odpowiednio do ilości pompowanej wody oraz oporów w rurociągu. Przy pompach odśrodkowych nie można zmienić wydatku nie zmieniając ciśnienia, chyba przez przymknięcie zasowy i wstawienie dodatkowego oporu między pompą a rurociągiem, czego się jednak ze względów ekonomicznych nie robi. Przy pompie odśrodkowej w chwili wyłączenia pompy wydatek spada odrazu do zera.

Słup wody znajdujący się w rurociągu tłocznym w czasie ruchu pompy odśrodkowej porusza się z pewną ustaloną prędkością v , którą na mocy bezwładności zachowuje w pierwszej chwili zatrzymania ruchu pompy. Na skutek tego ruchu, spada ciśnienie w miejscu odgałęzienia się rurociągu od pompy. Przy zmniejszonym ciśnieniu, wobec panującego jeszcze w bani pierwotnego ciśnienia powietrza, zostaje wypchnięta woda z bani do rurociągu. Ciśnienie może nawet spaść tak daleko, że otworzy się kłapa zwrotna i przez pompę rurociąg może nassać pewną ilość wody ze studzien czy zbiornika z którego pompy wodę normalnie zaczerpują.

Oporo tarcia w rurociągu hamują ruch wody, energia zawarta w poruszającym się słupie wody, zużywa się w ciągu pewnego okresu czasu na oporach ruchu i na podniesienie wody do zbiornika. Prędkość poruszającego się słupa wody na skutek tego maleje i w końcu spada do zera. Równocześnie na dolnym końcu rurociągu przy pompie, spada ciśnienie do najmniejszej swej wartości, zawsze o wiele niższej niż wynosi w tem miejscu ciśnienie hydrostatyczne.

W chwili gdy prędkość w rurociągu spada do zera, na górnym końcu rurociągu przy zbiorniku istnieje ciśnienie atmosferyczne, zaś na dolnym końcu, przy pompie, zostaje obniżone niekiedy poniżej ciśnienia atmosferycznego. Równocześnie na dolnym końcu znajduje się w bani pewna ilość rozprężonego powietrza, którego ciśnienie odpowiada ciśnieniu w dolnym końcu rurociągu.

Jako wynik tego chwilowego stanu rzeczy objawia się stopniowo ku bani ruch wsteczny całej masy wody zawartej w rurociągu, z prędkością początkowo rosnącą, następnie w miarę sprężania powietrza w bani, malejącą aż do zera. W tym ostatnim momencie powstaje na dolnym końcu rurociągu, a tem samem w bani, najwyższe ciśnienie, *przekraczające zawsze* ciśnienie początkowe, istniejące w czasie ustalonego ruchu pompy. Następna fala uderzenia jest już słabsza, gdyż opory ruchu w rurociągu oraz na przejściu między rurociągiem a banią działającą hamująco. Pierwsza fala wtórnego uderzenia posiada jednak zawsze, jak to powyżej powiedziane, największą wartość, i może się stać dla rurociągu niebezpieczną.

Wysokość wtórnego uderzenia jest zależna: 1) od masy wody będącej w ruchu, 2) od pierwotnej prędkości panującej w ciągu przy ustalonym ruchu pompy i ustalonym przepływie, 3) od rozmiaru bani i 4) od stosunku zawartości w bani powietrza do wody, przy początkowym ciśnieniu.

Gdy po wojnie, wobec wysokich kosztów kapitału, najbardziej ekonomiczne średnice rurociągu głównego zmalały, zaś prędkości przepływu wzrosły, gdy następnie przy pompach odśrodkowych, jak to wyżej było podanem, nie można zmniejszyć wydatku pompy przy utrzymaniu odpowiedniego ciśnienia, lecz zmiana następuje nagle, powstał nowy problem poprzednio nieistniejący, takiego wymiarowania bani, aby wtórne uderzenie nie przekroczyło pewnych dozwolonych granic.

Podług dat podanych w Gas und Wasserfach z r. 1933 dla wodociągu w Magdeburgu, przy długości rurociągu głównego 29,133 mb średnicy 0,8 m i tłoczeniu pompą Nr. 1 ilości 417 l/sek, na bani mającej 15 m³ pojemności panowało ciśnienie 38,00 m, z czego 21,20 m przypadło na statyczną różnicę poziomów, zaś 16,80 m na straty w oporach tarcia. Po nagłym zamknięciu pompy powstały uderzenia, które podług załączonego w publikacji wykresu sięgnęły następujących wartości: ciśnienie początkowe 38,00 m po upływie 2 minut spadło do $-1,0$ m i utrzymało się w tej wartości przez dalszą minutę, po upływie 4,5 minut od chwili zamknięcia pompy podniosło się do 50,0 m, aby następnie w 5 minucie i 42 sek spaść do $+ 6,0$ m.

W pierwszej fazie uderzenia, przy spadku ciśnienia do $-1,0$ m, zapewne otworzyła się kłapa wsteczna i rurociąg naciągał wodę, utrzymując przez minutę stałe ciśnienie, oczywiście przy zmiennej

prędkości przepływu, następnie objawiło się uderzenie wtórne, które przekroczyło o 32% ciśnienie początkowe z chwili zatrzymania ruchu pompy.

Bardzo charakterystyczne zjawisko obserwowano także w Kielcach, gdzie wkrótce po uruchomieniu wodociągu niedaleko miasta pękł ciąg tłoczny, którym z kilkukilometrowej odległości tłoczyły wodę na zbiornik pompy odśrodkowe. Na skutek zmniejszonego ciśnienia pompy zaczęły przetłaczać większe ilości wody niż normalnie, wywołując większe prędkości w ciągu. W pewnym momencie maszynista widząc, że coś nie jest w porządku, zatrzymał nagle pompy, co wywołało uderzenie wtórne tak silne, że bania i ciąg na stacji pomp omal nie zostały rozerwane.

Gdy niepodobna uniknąć bani powietrznej na stacji pomp t. j. w jednym z najniższych punktów całej sieci, choćby ze względu na uderzenia wywołane zamykaniem hydrantów, zasów na głównym ciągu i t. d., wielkość bani musi być tak dobrana, aby uderzenia nie przekroczyły granic dozwolonych. Należy zatem zanalizować przebieg samego zjawiska i ustalić równania różniczkowe na zmianę ciśnienia w bani.

Można ustalić trzy równania różniczkowe, wyrażające zależność pomiędzy prędkością wody w rurociągu, ciśnieniem i zawartością wody względnie objętością powietrza w bani.

- Oznaczenia: A m² — przekrój przewodu rurowego.
 F „ — przekrój poziomy bani (stały jeśli bania jest postawiona, zmienny jeśli jest położona).
 H_1 m — różnica pomiędzy poziomem wody w bani i osią rurociągu przy bani.
 H_2 „ — różnica pomiędzy poziomem wylotu rury w zbiorniku i osią rurociągu przy bani.
 H „ — różnica pomiędzy poziomem wylotu rury w zbiorniku i pierwotnym zwierciadłem wody w bani.
 L „ — długość rurociągu.
 $h_s = L \cdot i$ — strata ciśnienia na oporach w rurociągu.
 v m/sek — średnia prędkość przepływu w rurociągu.
 p_m^* — ciśnienie pierwotne w bani.
 γ

$\frac{P'}{\gamma}$ „	— zmienne ciśnienie w bani.
$\frac{P_0}{\gamma}$ „	— stałe ciśnienie atmosferyczne.
α^0	— kąt nachylenia osi rurociągu do poziomu.
γ	— ciężar właściwy wody.

Przy ustalaniu równań pominięto objętość wody, która po zatrzymaniu pomp w czasie pierwotnego ruchu słupa wody, wypłynie z przewodu rurowego do zbiornika, t. j. przyjęto stałą masę wody, która się znajduje w ruchu wahadłowym. Nie uwzględniono również ściśliwości wody i sprężystości przewodu.

Na zasadzie równania ciągłości mamy:

$$F \frac{dz}{dt} = A \cdot v \text{ lub } dz = \frac{A}{F} v \cdot dt \quad (1)$$

Stosując do słupa wody długości dL zasadę: masa razy przyspieszenie = sile, otrzymamy równanie drugie w formie:

$$\frac{\gamma}{g} \cdot A \cdot dL \frac{dv}{dt} = \gamma \cdot A \cdot dL \cdot \sin \alpha + A \cdot dp \pm \gamma \cdot A \cdot dL \cdot i$$

oznaczają tutaj: 1) $\gamma \cdot A \cdot dL \cdot \sin \alpha$ — składową siły ciężkości w kierunku osi rurociągu, 2) $A \cdot dp$ — różnicę siły ciśnienia [$A \cdot p - A(p - dp)$], działającej na podstawy słupa wody prostopadłe do osi rury i odległe o dL , 3) $\gamma \cdot A \cdot dL \cdot i$ będą to straty na opory ruchu.

Rozważając stan w określonej chwili, dla której wartości $\frac{dv}{dt}$ oraz dp pozostają stałymi, można równanie ostatnie scałkować w granicach $L = 0, L = L$.

$$\int_0^L \frac{\gamma}{g} \cdot \frac{dv}{dt} \cdot A \cdot dL = \int_0^L \gamma \cdot A \cdot dL \cdot \sin \alpha + \int_{p'}^{p_2} A \cdot dp \pm \int_0^L \gamma \cdot A \cdot dL \cdot i^*$$

stąd otrzymamy:

$$\frac{\gamma}{g} \cdot \frac{dv}{dt} \cdot A \cdot L = \gamma \cdot A \cdot H_2 + A(p_2 - p_1) \pm \gamma \cdot A \cdot L \cdot i$$

*) Znaki \pm we wzorach zależą od kierunku wahadłowego ruchu wody w przewodzie.



MP4661

po redukcji γA , oznaczeniu $L \cdot i = h_s$, i podstawieniu wartości: $\frac{p_2}{\gamma} = \frac{p_0}{\gamma}$ — ciśnienie atmosferyczne w górnym końcu rurociągu, $\frac{p_1}{\gamma} = H_1 \pm dz + \frac{p'}{\gamma}$ — zmienne ciśnienie w rurociągu przy bani, oraz $H_2 - H_1 = H$, równanie przekształci się na:

$$\frac{1}{g} \cdot \frac{dv}{dt} \cdot L = H \pm dz + \frac{p_0 - p'}{\gamma} \pm h_s$$

lub

$$dv = \frac{g}{L} \cdot dt (H \pm dz + \frac{p_0 - p'}{\gamma} \pm h_s) \quad (2)$$

Równanie trzecie otrzymamy przyjmując izotermiczne zmiany ciśnienia w bani. Przyjęcie to jest dopuszczalne wobec dość powolnej zmiany ciśnienia w bani i dużej powierzchni styku między wodą a powietrzem, co sprzyja wyrównaniu się temperatur i ustaleniu temperatury powietrza niezależnie od stopnia jego sprężenia. Wobec tego będzie:

$$p' = \frac{p \cdot z}{(z + dz)} \quad (3)$$

Biorąc zamiast różniczek przyrosty skończone Δ , możemy zanalizować cały przebieg zjawiska, wychodząc od znanych początkowych ciśnień, oraz prędkości w rurociągu, obliczając w elementach czasu Δt równych 2 do 4 sekund następujące kolejno po sobie zmiany ciśnienia i prędkości.

Zamiast uprzednio wyprowadzonych równań będziemy mieli:

$$\Delta z = \frac{A}{F} \cdot v \cdot \Delta t \quad (1a)$$

$$\Delta v = \frac{g}{L} \cdot \Delta t (H \pm z + \frac{p_0 - p'}{\gamma} \pm h_s) \quad (2a)$$

$$p' = \frac{p \cdot z}{(z + \Delta z)} \quad (3a)$$

Bieg obliczenia jest następujący: Przyjmujemy element czasu Δt i wstawiając w równanie (1a) obliczamy zmianę napełnienia bani Δz . Przez wstawienie ostatniej wartości w równanie (3a) określamy

zmianę ciśnienia i odpowiednio do niej z równania (2a) zmianę prędkości przepływu wody w rurociągu. Postępując w ten sposób możemy określić stopniowo całą krzywą zmianę ciśnień w rurociągu i bani, aż do chwili gdy opory tarcia nie zahamują całkowicie wahadłowego ruchu wody.

W przykładzie poniżej podanym obliczono zmiany ciśnienia i prędkości w rurociągu, oraz zmiany napełnienia w bani powietrznej, dla wodociągu Gdyńskiego, w założeniu tłoczenia rurociągiem: 450 mm średnicy o długości 10815 mb, ilości wody 184,5 l/sek, przy nagłym unieruchomieniu pomp odśrodkowych. Obliczenie wykazuje, że potrzebna pojemność bani leżącej wynosi 6,16 m³, z czego 36,5% przypada na powietrze, 63,5% na wodę. Opory tarcia liczone, stosownie do doświadczeń na wodociągu Magdeburgskim, ustaloną tam zależnością: $i = 0,00012 \cdot \frac{v^{1,8}}{R^{1,25}}$. Różnica hydrosta-

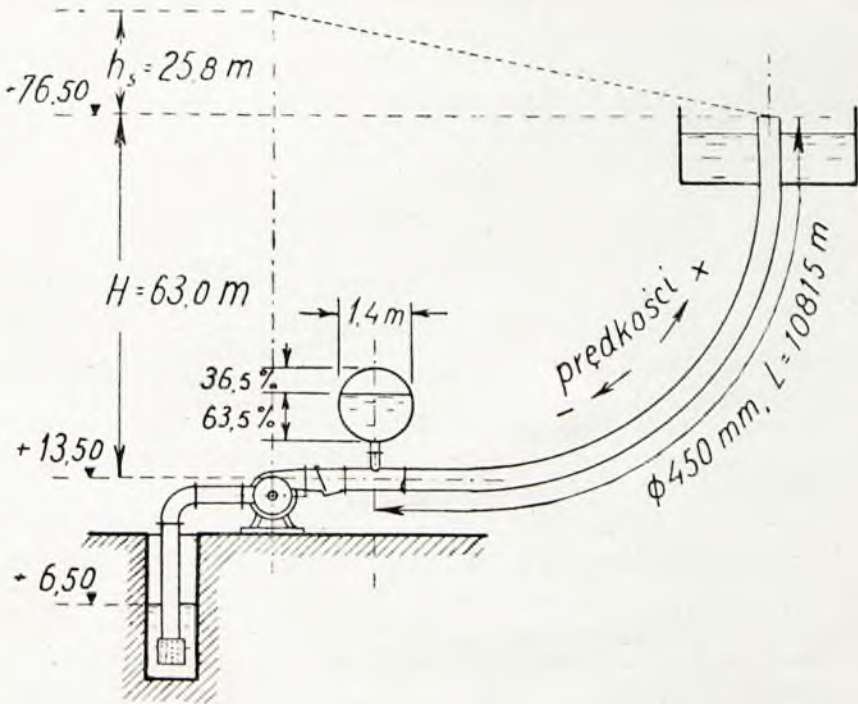
statyczna między osią rurociągu tłocznego na stacji pomp a poziomem rury przelewowej w zbiorniku jest równa 63 m, początkowe ciśnienie w bani zatem 88,80 m, gdyż opory tarcia przy ilości przetłaczanej 184,5 l/sek wynoszą 25,8. Prędkość w rurociągu średnicy 450 mm wynosi 1,16 m/sek.

Przykład obliczenia *) zmiany ciśnienia i prędkości przepływu w przewodzie głównym wodociągu Gdyńskiego (do rys. 1).

Z stopniowo przeprowadzonego obliczenia ($\Delta t = 2''$) wynika, że początkowe ciśnienie 88,8 m po upływie 38 sekund spada do 28,167 m w 95-tej sekundzie podnosi się do 113,567 m, aby następnie w 148 sekundzie spaść do 41,987 m i następnie podnieść się w 200 sekundzie, ale już tylko do wartości 88,8 m i t. d. Próbné przeliczenie wykazało, że przy tłoczeniu 120 l/sek i nagłym zatrzymaniu ruchu na pompach, oraz przy bani 1,5 m³ pojemności, wypełnionej do 50% wodą, uderzenie wtórne osiągnie 50 atm., przy bani dwukrotnie większej jeszcze 27 atm. i t. d.

*) Przy obliczeniu uwzględniono również straty na przejściu z bani do rurociągu. W przewod łączący wstawiono dławiacą przeponę. Prócz więc strat na tarcie h_g doliczono stratę wysokości prędkości $\frac{v^2}{2g}$.

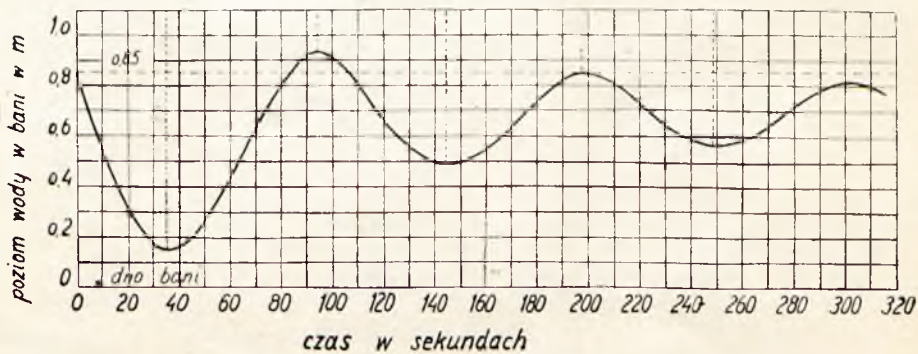
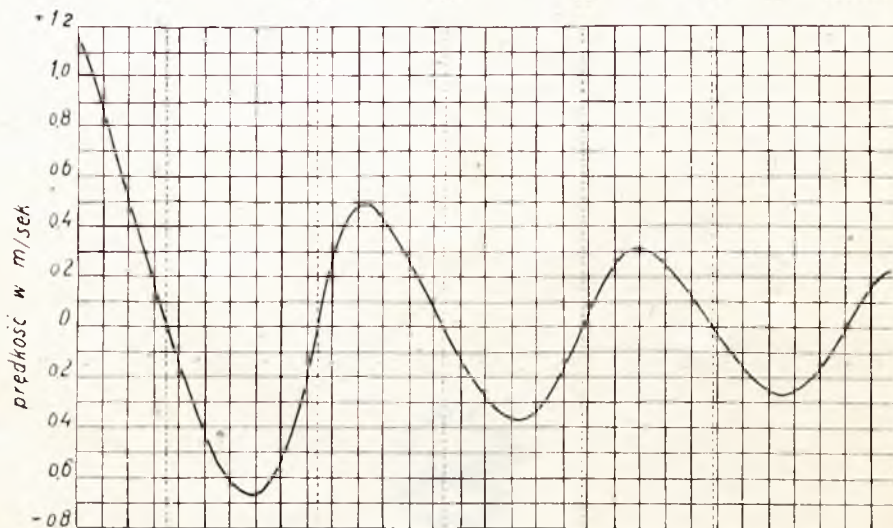
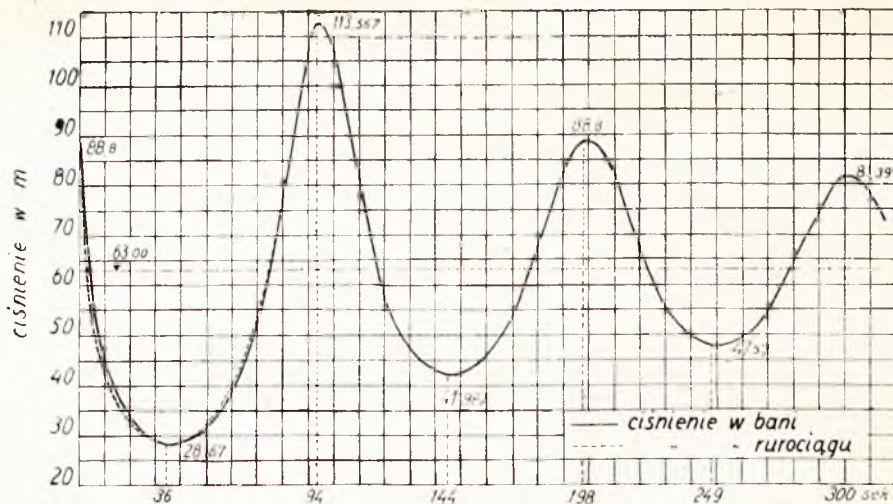
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
T	A	F	v	Δt	$\pm \Delta z$	z	$\frac{p'}{\gamma}$	$\frac{p-p_0}{\gamma}$	$H + \frac{p_0}{\gamma}$	$\pm h_s$	$\pm \frac{v_1^2}{2g}$	$\begin{matrix} +10 \\ +11 \\ +8 \\ -9 \end{matrix}$	$\Delta t \text{ (13)}$ $\frac{g}{L}$
sek	m ²	m ²	m/sek	sek	m	m	m	m	m	m	m	m	m/sek
0	0,159	5,43	1,160	2	+ 0,068	0,000	85,700	88,80	73,333	+ 25,400	+ 5,460	18,961	- 0,034
2	"	5,52	1,126	2	+ 0,065	0,068	74,300	75,167	73,401	+ 24,000	+ 5,050	28,216	- 0,051
4	"	5,55	1,075	2	+ 0,062	0,133	66,580	63,967	63,466	+ 22,400	+ 4,750	34,098	- 0,062
6	"	5,54	1,013	2	+ 0,058	0,195	61,025	56,247	73,528	+ 20,000	+ 4,150	36,661	- 0,066
8	"	5,50	0,947	2	+ 0,055	0,253	56,400	50,742	73,556	+ 18,000	+ 3,600	38,841	- 0,070
10	"	5,42	0,877	2	+ 0,051	0,308	53,100	46,067	73,641	+ 15,600	+ 3,150	39,342	- 0,071



Rys. 1.

Schemat położenia pomp, bani, rurociągu i zbiornika we wodociągu Gdynińskim





Zmiany ciśnienia w bani i rurociągu, prędkości w rurociągu i poziomu wody w bani.



nr P.4661

WYDAWNICTWA AKADEMJI NAUK TECHNICZNYCH

Rok		Cena
1925	Mierzejewski Henryk, Polskie placówki badawcze, Warszawa 8 ^o , 135 + IX str.	5,50
1927	Mierzejewski Henryk, Podstawy mechaniki ciał plastycznych, Warszawa, 8 ^o 108 str.	8,50
1927	Grabowski Lucjan, Radiotelegraphische Bestimmung der geographischen Länge von Lemberg, Lwów 4 ^o , 45 str.	8,00
1928	Witoszyński Czesław, Travaux de l'Institut Aérodynamique de Varsovie, Warszawa, 4 ^o , 72 str.	6,00
1928	Grabowski Lucjan, O odwzorowaniach płaskich wiernokątnych elipsoidy obrotowej, w których pewien wybrany południk odwzorowuje się jako linja prosta, Lwów, 4 ^o , 8 str.	2,00
1928	Groszkowski Janusz, Metoda kompensacyjna kontroli stałości fali, Warszawa, 8 ^o , 62 str. (Rozprawa doktorska)	5,00
1928	Roliński Józef, Badania nad asocjacją w ciekłych dielektrykach, Warszawa, 8 ^o , 60 str. (Rozprawa doktorska)	4,50
1928	Krupkowski Aleksander, Badania nad stopami niklu z miedzią, Warszawa, 8 ^o , 88 str. (Rozprawa doktorska)	7,50
1928	Burzyński Włodzimierz, Studium nad hipotezami wytężenia, Lwów, 8 ^o , 191 str. (Rozprawa doktorska)	9,00
1929	Grabowski Lucjan, O konwergencji południkowej w odwzorowaniu Roussilhe'owskiem elipsoidy, Lwów, 4 ^o , 28 str.	4,50
1929	Prace Zakładu Metalurgicznego Politechniki Warszawskiej prowadzone pod kierunkiem Prof. Dr. W. Broniewskiego T. I, Warszawa, 8 ^o , 108 str.	4,00
1929	Huber Maksymiljan T., Probleme der Statik technisch wichtiger orthotroper Platten, Warszawa, 8 ^o , 165 str.	8,50
1929	Szczeniowski Bolesław, Nowa metoda wyznaczania przewodności cieplnej materiałów izolacyjnych, Warszawa, 8 ^o , 48 str. (Rozprawa doktorska)	3,50
1930	Jacyna Waclaw, Zagadnienia budowy i eksploatacji dróg żelaznych, Warszawa, 8 ^o , 226 str.	12,00
1930	Ziemęcka Jadwiga, Nityfikacja i żyzność gleby, Warszawa, 8 ^o , 32 str.	2,00
1930	Prace Zakładu Metalurgicznego Politechniki Warszawskiej prowadzone pod kierunkiem Prof. Dr. W. Broniewskiego T. II, (A. Krupkowski, Mechaniczne własności miedzi), Warszawa, 8 ^o , 190 str.	9,50
1931	Wóycicki Kazimierz, Wassersprung, Deckwalze une Ausfluss unter einer Schütze, Warszawa, 4 ^o , 58 str. (Rozprawa doktorska)	4,50

Rok

- 1931 Choraży Michał, Charakterystyka fizyko-chemic.
miennych na podstawie zdolności chłonięcia par pirydy
8^o, 68 str. (Rozprawa doktorska) 3,50
- 1931 Roga Błażej, Z badań fizyko-chemicznych nad różnemi typami
węgli koksujących, Warszawa, 8^o, 120 str. (Rozprawa doktorska) . . 5,00
- 1931 Bonder Julian, O pewnem zagadnieniu z dziedziny odwzorowa-
nia podobnego, Warszawa, 8^o, 112 str. (Rozprawa doktorska) . . . 4,00
- 1931 Dubois Józef, O przemianach termicznych etylenu, Warszawa,
8^o, 162 str. (Rozprawa doktorska) 3,50
- 1932 Burzyński Włodzimierz, O rozwinięciu potencjału sprężystości
i zastosowaniach, Warszawa, 8^o, 132 str. 3,00
- 1933 Prace Zakładu Metalurgicznego Politechniki Warszawskiej prowa-
dzone pod kierunkiem Prof. Dr. W. Broniewskiego T. III,
Warszawa, 8^o, 112 str. 4,00
- 1933 Dunikowski Samuel, Metoda automatycznej kompensacji na-
pięcia i niektóre jej zastosowania w technice wysokich napięć,
Warszawa, 8^o, 56 str. (Rozprawa doktorska) 2,00
- 1933 Dubois Józef, Otrzymywanie półkoku formowanego z torfu
z użyciem lepiszcza, Warszawa, 8^o, 96 str. 3,50
- 1933 Pawlikowski Józef, Badania nad wielogrupowością elektronów
w łuku rtęciowym przy niskich ciśnieniach, Warszawa, 8^o, 88 str.
(Rozprawa doktorska) 3,50
- 1934 Szczeniowski Bolesław, Podgrzewanie czynnika zasysanego
w silnikach wybuchowych na paliwa płynne, Warszawa, 8^o, 72 str. 2,00
- 1934 Prace Zakładu Metalurgicznego Politechniki Warszawskiej prowa-
dzone pod kierunkiem Prof. Dr. W. Broniewskiego T. IV,
Warszawa, 8^o, 141 str. 4,50

BIBLIOTEKA GŁÓWNA
Politechniki Warszawskiej

NP.4661



40000000172883