

Inż. J. MOKRZYŃSKI.

W O D A

JAKO

ŹRÓDŁO SIŁY

w GOSPODARSTWIE.

28 rys. w tekście.

Prawa przedruku i przekładu zastrzeżone.

1914.

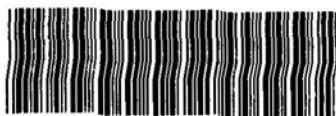
WARSZAWA—LWÓW.

Nakładem „BIBLIOTEKI ROLNICZEJ“.

Treść:

	str.
Znaczenie siły wodnej w gospodarstwie	3
Pomiary wodne	7
Roboty wodne	13
Siła wody, jako źródło energii	21
Turbiny wodne	25
Koła wodne	35
Cena silników i ocena siły wodnej	52

Biblioteka Główna AR w Lublinie



1000083840

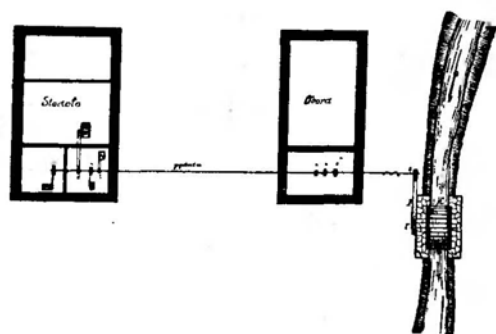
Znaczenie siły wodnej dla gospodarstwa.

Silniki wodne są to maszyny, służące do przeistaczania siły wodnej w siłę użyteczną, przydatną do wykonywania pracy mechanicznej.

Dzięki znacznym udoskonaleniom w budowie nowych silników wodnych, niejednokrotnie, w warunkach korzystnych, zastępują one w zupełności drogie zazwyczaj silniki spalinowe lub parowe. Siła wodna nie jest u nas należycie wykorzystana, stąd też nieraz duże gospodarstwa rolne nie są tak sprawne, jakimiby być mogły i powinny, o ile siłę tę mają u siebie do rozporządzenia. Wiemy bowiem, że tam, gdzie stosowane są silniki spalinowe bądź też parowe, nieraz, chcąc zaoszczędzić na drogo kosztującym opale, niejedną czynność gospodarską odkłada się, opóźnia lub zgoła zaniechuje. Jedną z ważnych zalet silnika wodnego jest to, że, przy jego stosowaniu, do odpowiedniego zakładu (budynku), w którym mieści się całe urządzenie (instalacja), wymagające silnika, nie potrzeba bezwzględnie dobrego gościńca (szosy), bez której jednak z trudnością obchodzimy się przy urządzeniu silnika spalinowego, a tymbardziej parowego. Siłę koła wodnego lub turbiny wodnej możemy z łatwością przenosić na znaczną odległość z pomocą pędni pasowej lub linowej. W warunkach pod tym względem nieco trudniejszych możemy siłę koła lub turbiny przeistoczyć za pomocą prądnicy (dynamomaszyny) na silny prąd elektryczny i tenże przenosić drutami w dowolne miejsca.

W jednym z gospodarstw w prowincji nadreńskiej, mianowicie w Cronbach, przy osadzie Vilkerath, mały strumyk dostarcza gospodarstwu, odległemu o 21 sążni, za po-

mocą koła wodnego siły użytecznej, równej dwunastu mocom koni parowych (12 HP). Koło nasiebierne (a) rys. 1 przenosi obrót za pomocą tarczy pasowej na pędnę o długości 42 m. W oborze są umieszczone takie maszyny, jak sieczkarnia do słomy i do buraków, które otrzymują ruch z pędni za pośrednictwem pasów. W odpowiedniej części budynku mieści się mleczarnia, złożona z wirówki, maślnicy, wygniataрки i pompy wodnej, które to maszyny robocze są uruchamiane przy pomocy tarcz i pasów sprzężonych z pędną. Pompa wodna zasila wodą duży zbiornik, ustawiony na strychu budynku, skąd rozchodzi się ona rurami po całym gospodarstwie. Pędnia wychodzi z obory na wysokości około 3 m. nad ziemią, przechodzi przez małe



Rys. 1.

podwórze i dostaje się do stodoły. Tu porusza młocarnię, piłę tarczową i śrutownik. Całe urządzenie, to jest: koło wodne drewniane i pędnia, kosztowało 1.200 marek (t. j. około 600 rb.). Oczywiście, nie wszystkie wymienione maszyny robocze mogą być równocześnie

uruchomione, siła koła wodnego bowiem w danym przykładzie jest stosunkowo za małą na to, natomiast można je utrzymać w ruchu kolejno, po kilka naraz.

Znane są przykłady zorganizowania spółdzielczych rolniczych towarzystw celem eksploatacji siły wodnej. W czeskiej miejscowości w Dražicach, pod miastem Nowé Benátky, nad rzeką Izerą, stoją zakłady, mieszczące spółdzielczy młyn walcowy, śpichrz, piekarnię i elektrownię. W elektrowni stoją dwie turbiny Francis'a, dostarczające razem siły 600 HP. Każda turbina porusza generator dla napięcia 6.300 Volt, które to napięcie przemienia 54 transformatory na moc 1.064 K. W. (kilowatów) o napięciu 225 Volt na motory, a 120 Volt na żarówki. Z końcem 1911 r. ta spółdzielcza centrala elektryczna dostarczała prądu 1147 od-

biorcom, z pomiędzy których 224 posiadało własne lub wypożyczone od spółki elektromotory.

Wśród konsumentów spotykamy gminy miejskie i wiejskie, dostarczające mieszkańcom oświetlenia i siły napędowej do zakładów przemysłowych i gospodarstw, cukrownie, browary i fabryki wód mineralnych, kuźnie wiejskie, ślusarnie, stolarnie, zakłady obróbki kamienia i t. p. Cała sieć przewodów elektrycznych wynosiła ponad 85 kilometrów.

Kwestja opłacalności całkowitego urządzenia silnika wodnego nie może być rozstrzygnięta schematycznie dla wszystkich przypadków, zależy to bowiem od warunków miejscowych i dla tego należy uwzględnić i odpowiednio wycenić następujące koszty (t. zw. koszty zakładowe):

1) na pomiary wodne i uzyskanie pozwolenia na urządzenie;

2) na zakupno odpowiedniej przestrzeni ziemi (placu), potrzebnej pod budowę; tudzież wszelkie odszkodowania za prawo spiętrzania wody i korzystania z siły wodnej;

3) na uregulowanie biegu wody, urządzenie tam, grobli, szluzu i łotoku oraz odpływu wody;

4) na urządzenie dojazdu, kładki, przejazdu lub mostu;

5) na urządzenie silnika;

6) koszt pomiarów mocy silnika, oceny i ekspertyzy urządzenia, tudzież różne inne drobne wydatki.

Ogólne koszty całkowitego urządzenia silnika wodnego podlegają znacznym wahaniom i tak np. pewne urządzenie turbinowe pod Ljonem kosztowało średnio, w stosunku do 1 HP (t. j. mocy jednego konia), około 790 rubli i liczbę tę uważają jako granicę najwyższą; w Niemczech taka sama siła kosztuje średnio 85—95 rub., w okolicach górzystych koszt urządzenia spada nawet do kwoty 30—40 rub.

Niekiedy zdarza się, że obliczony koszt całkowitego urządzenia przewyższa nawet bardzo koszt zakupna i ustawienia silnika parowego lub spalinowego, lecz opieranie kalkulacji li tylko na samym koszcie urządzenia byłoby niewłaściwe, wchodzi tu bowiem w grę trwałość urządzenia i koszty ruchu, czyli prowadzenia wszystkich urządzeń. Dobrze zbudowane koło wodne żelazne, a tymbardziej turbina wodna odznacza się nie mniejszą trwałością, aniżeli np. sil-

nik parowy, niekiedy nawet przewyższa go i dla tego, porównywując poszczególne rodzaje silników, umorzenie np. kosztu urządzenia turbiny wodnej nie należy przyjmować wyżej, aniżeli innego silnika (parowego lub spalowego). Zaznaczyć jednak należy, że twierdzenie powyższe odnosi się w zupełności tylko do urządzeń, wykonanych dobrze i bez zarzutu.

Koszty ruchu silnika wodnego (a zwłaszcza dobrze sporządzonej turbiny wodnej) w stosunku do takich samych kosztów prowadzenia silnika parowego mają się do siebie jak $\frac{1}{4}:1$, t. zn. w tym samym czasie, kiedy np. całkowity koszt pędzenia turbiny wynosi 25 rb., koszt (złożony z wydatków na obsługę, paliwo, smary, naprawy i t. p.) silnika parowego (maszyny parowej) wynosi 100 rb. Prócz kosztów ruchu, które ostatecznie dają się ująć rachunkiem nawet dość dokładnie, bardzo często, mając silnik parowy, ponosimy straty, które wykaże dopiero rachunek roczny, są to: straty wynikłe z powodu braku paliwa, strata paliwa w czasie przewozu koleją i wozami, straty z powodu domieszki w paliwie kamienia, straty miejscowe (miał i przywłaszczanie paliwa).

Wszystkie wyżej wymienione straty (zmienne) tworzą nieraz bardzo poważną rubrykę w rachunku kosztów ruchu i dla tego w kalkulacji należy je stosownie uwzględnić.

Dobrze ujęta siła wodna, dobrze obmyślone, niedrogie, a mimo to celowe urządzenie silnika wodnego staje się bezwarunkowo ważną dźwignią gospodarstwa rolnego, tymbarziej dziś, kiedy każdy rolnik dąży do wytworzenia u siebie stosownego przemysłu rolnego — jeśli nie sam to do spółki z swoimi sąsiadami. Dość wspomnieć, że np. oprócz poruszania różnych maszyn gospodarskich, wytwarzania energii elektrycznej, takie zakłady przemysłowo rolne, jak młeczarnie, kaszarnie, młyny, olejarnie, cegielnie, tartaki fabryki waty drzewnej, krochmalnie i inne t. p. mogą być śmiało uruchamiane przy pomocy silników wodnych. Brak taniej siły, zaniedbywanie należytego wykorzystania w różnych miejscach siły wodnej z jednej strony, z drugiej zaś brak rozwiniętego przemysłu rolnego czyni w dzisiejszych czasach warsztat rolny, zarówno duży jak i drobny, mało sprawnym, a w następstwie tego też i nieodpowiednio opłacającym się.

Pomiary wodne.

Do czynności technicznych, które nazywamy *pomiarami wodnymi* , należy wyznaczenie prędkości biegu wody oraz jej ilości, czyli masy, w stosunku do pewnego określonego czasu, np. 1 sekundy.

Ruch wody w korycie można porównać do ruchu stałego ciała, staczającego się po pochyłej powierzchni, czyli t. zw. równi pochyłej. Zarówno woda, jak i ciało stałe, poruszają się pod wpływem działania na nie siły ciężkości. Prędkość biegu strumienia wody i prędkość staczania się ciała po równi pochyłej jest uzależniona ściśle od napotykanym oporów, czyli przeszkód ruchu.

Nierówna powierzchnia koryta płynącej wody i opór powietrza atmosferycznego są przyczynami zmiennej prędkości przepływania wody.

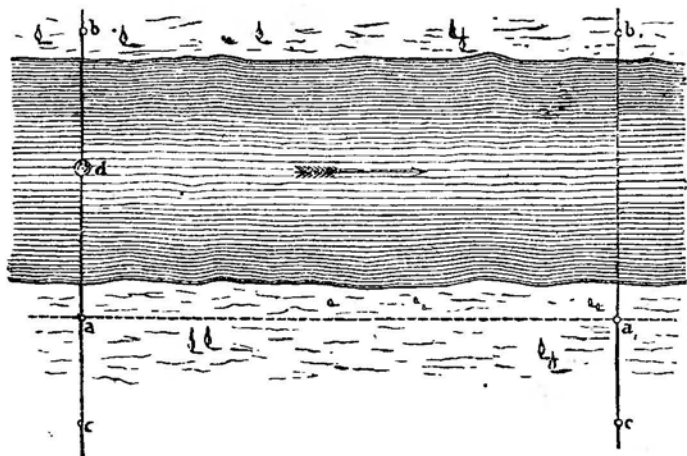
Dwa punkty, dowolnie obrane na powierzchni zwierciadła płynącej wody, w kierunku jej biegu, nie leżą na linii poziomej, lecz, połączone z sobą, tworzą linię mniej lub bardziej nachyloną do poziomu. Punkt, obrany na zwierciadle wody w jej górnym biegu, leży wyżej, aniżeli odpowiadający mu punkt w dolnym biegu. Im większa jest różnica wysokości położenia takich 2 punktów, a równocześnie opory ruchu wody mniejsze, tym, oczywiście, prędkość przepływu wody będzie większa.

Pomiarów *prędkości przepływu* wody dokonujemy za pomocą pływaka lub przyrządu, zwanego skrzydłami lub młynkiem Woltmann'a.

Pływak. Przyrząd ten każdy może sam z łatwością przysposobić, a to w sposób następujący: dość dużą, np. 1 litrową butelkę napełnia się częściowo wodą i szczelnie korkuje (najlepiej korek zalać smołą lub lakiem). W korek wbija się drut, do którego przyczepia się skrawek jakiejś kolorowej materji w postaci chorągiewki. Wybiera się na rzece miejsce o możliwie prostym kierunku i średniej szerokości, a następnie wzdłuż brzegu odmierza się linię a a_1 , (rys. 2) o długości np. 100 metrów i w punktach a i a_1 , wstawia się tyki. Wskazany jest wytyczenie w ten sposób kilku kolejnych punktów, w odległości 100, 200, 300 i t. d. metrów. Zaopatrzywszy się w zegarek z wskazówką sekundową, polecamy pomocnikowi puszczenie przygotowa-

nej butelki z łodzi na samym środku rzeki, o kilka metrów powyżej linii ab , prostopadłej do kierunku rzeki. Następnie obliczamy ilość (s) sekund, w ciągu których pływak przepływa od tyczki a do tyczki a_1 (odległość tę nazwiemy literą l). Prędkość przepływu (v) = $\frac{l}{s}$ t. j. ilości metrów bieżących, które pływak przepłynął razem z prądem, podzielonej przez ilość zużytych na to sekund.

Mierzenia szybkości prądu należy dokonać w czas pogodny, aby wiatr nie przyspieszał, ani nie opóźniał biegu pływaka w stosunku do prądu wody.



Rys. 2

Przykład. Odległość l między dwiema tyczkami wynosi 100 metrów. Czas przepływu (s) pływaka od tyczki do tyczki wynosi 2 minuty 5 sek. Prędkość przepływu (v) wody wyniesie: $100 : 125 = 0.8$ metr. bież. na sekundę.

Pomiar prędkości przepływu wody, wykonany w sposób opisany, nazywa się *pomiarem powierzchniowym*, dotyczy on bowiem tylko tej prędkości, jaką woda osiąga tuż pod zwierciadłem i w zwierciadle.

Prędkość jednak przepływu wody waha się zależnie od głębokości, a mianowicie: w warstwach głębszych jest mniejszą, w płytszych większą, chcąc przeto mieć dokładne dane o rzeczywistej szybkości prądu, nie można zadawać się

pomiarem powierzchniowym, lecz trzeba jeszcze wyznaczyć prędkość przepływu w różnych głębokościach i obliczyć następnie t. zw. *średnią prędkość* przepływu. Wyznaczenie prędkości prądu w różnych głębokościach dokonuje się różnymi sposobami, najpraktyczniej jednak przy pomocy przyrządu, zwanego skrzydłami lub młynkiem Woltmann'a.

Z pomiędzy przyrządów, służących do pomiaru prędkości wody, przyrząd Woltmann'a jest najodpowiedniejszy, bo określa dokładnie prędkość wody w każdej głębokości i w każdym miejscu, jednak należy pamiętać o uprzednim wypróbowaniu i stosownym ustawieniu przyrządu.

Mając obliczoną za pomocą pływaka prędkość powierzchniową przepływu i prędkość na pewnej głębokości, z odpowiednich wzorów można obliczyć prędkość średnią przepływu*).

Dla celów praktycznych, nie wymagających większej ścisłości, *średnią prędkość przepływu otrzymamy*, jeśli *prędkość powierzchniową, obliczoną przy pomocy pływaka, pomnożymy przez 0.83 (wzór Prony)*.

Obliczenie ilości przepływającej wody. Do obliczenia ilości wody przepływającej trzeba znać powierzchnię przekroju (profilu) poprzecznego rzeki i średnią prędkość przepływu.

Do zmierzenia powierzchni przekroju rzeki na linii *AB* (rys. 3), oznaczającej szerokość rzeki, odmierza się przy pomocy napiętej liny z supłami mniej więcej równe części *Aa*, *ab*, *bc* i t. d. (co metr lub kilka metrów) i tyczkami mierzy się w tych miejscach głębokość rzeki: *aa*¹, *bb*₁... Gdy zsumujemy liczby, oznaczające poszczególne głębokości, i sumę podzielimy przez ilość pomiarów, otrzymamy t. zw. *średnią głębokości (g)*; jeśli teraz *średnią głębokość (g)* pomnożymy przez szerokość rzeki (długość linii *AB*), którą

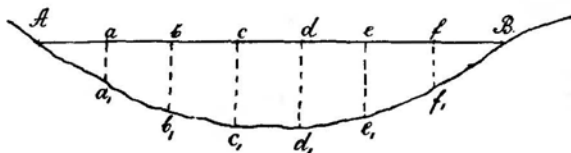
*) Wzór ten jest następujący:

$$V_s = V_o - \frac{m \times a^2}{3} \quad m = \frac{V_o - V_y}{y}$$

gdzie *V_s*—średnia prędkość; *V_o*—prędkość powierzchniowa; *y*—głębokość, na jakiej dokonano pomiaru; *V_y*—prędkość przepływu na tej głębokości; *a*—głębokość całkowita rzeki.

oznaczymy przez b , to powierzchnia przekroju poprzecznego rzeki $p = g \times b$ metr. kwadr.

Iloczyn, powierzchni przekroju poprzecznego (p) i średniej prędkości (V_s), da nam ilość przepływu wody w rzece w metr. sześć. (Q), czyli $Q = p \times V_s$ metr.³ na sek.



Rys. 3.

Przykład. Przypuśćmy, że średnia szerokość rzeki (rys. 3) wynosi 5 metrów. Pomiary głębokości w odstępach 1 metra dały następujące liczby: $aa_1 = 0.5$ m.; $bb_1 = 0.6$ m.; $cc_1 = 0.7$ m.; $dd_1 = 0.7$ m.; $ee_1 = 0.6$ m.; $ff_1 = 0.5$ m., w takim razie średnia głębokość:

$$g = (0.5 + 0.6 + 0.7 + 0.7 + 0.6 + 0.5) : 6 = 0.6 \text{ metra.}$$

Wtedy powierzchnia przekroju poprzecznego rzeki:

$$p = g \times 5 \text{ (szerokość)} = 0.6 \times 5 = 3 \text{ m.}^2 \text{ (w przybliżeniu).}$$

Jeśli prędkość przepływu powierzchniowego (V), zmierzona przy pomocy pływaka, wynosi, jak w poprzednim przykładzie, 0.8 m. na sekundę, wtedy średnia prędkość $V_s = V \times 0.83 = 0.8 \times 0.83 = 0.664$ metr. bież. na sekundę.

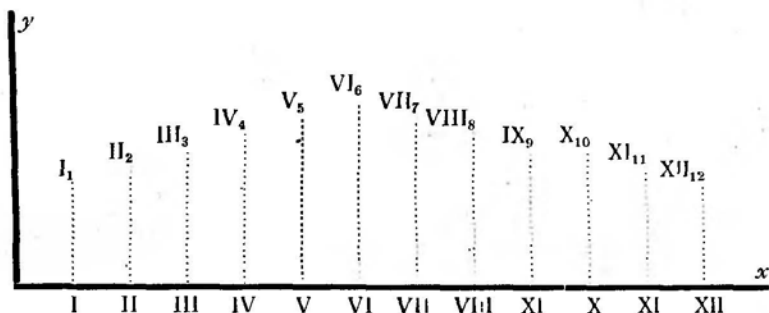
A w takim razie ilość przepływu wody na sekundę $Q = p \times V_s = 3 \times 0.664 = 1.99$ metr.³ t. j. około 2 metr. sześciennych.

Zaznaczyć trzeba, że ilość przepływu wody jest różną w różnych porach roku, zależnie od stanu wody w rzece, dla tego też, chcąc otrzymać dane dokładne, należy dokonywać pomiarów w różnych porach roku i przy różnym stanie wody w rzece.

Stan wody. W czasie znacznych lub długotrwałych opadów atmosferycznych stan wody w rzekach, strumieniach, stawach, jeziorach i t. p. nieraz znacznie się podnosi, natomiast w czasie suszy opada. W praktyce rozróżniamy najczęściej trojaki stan wody, a mianowicie: 1) wysoki (czyli „duża woda“), 2) średni („średnia woda“) i 3) niski („mała woda“).

Stan wody odczytuje się za pomocą łąty pomiarowej z stosowną podziałką (najlepiej metrową). W czasie trwania pomiarów stanu wody powinno się stałe, o pewnych godzinach stan wody odczytywać i zapisywać do przeznaczonej na to książki.

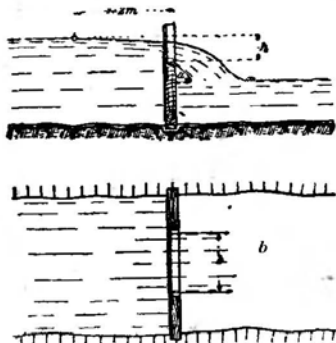
Na podstawie takich notowań możemy po pewnym czasie wykreślić linię krzywą, przy pomocy której z łatwością odczytamy stan wody, odpowiedni dla każdej pory roku. Wykreślamy mianowicie naprzód dwie linie (t. zw. osie) do siebie prostopadłe (x) i (y), oś poziomą dzielimy na odcinki (I, II, III i t. d.) jednakiej wielkości, odpowiadają one dniom lub miesiącom, zależnie od tego, czy kreślimy krzywą dla okresu miesięcznego czy też kilkumiesięcznego lub rocznego.



W każdym punkcie podziałowym I (styczeń), II (luty) i t. d. kreślimy równoległą do osi (y), czyli prostopadłą do (x) i na niej oznaczamy stan wody w metrach (przy pomocy odpowiedniej skali), np. I $I_1 = 1.10$ m. II $II_1 = 1.18$ m. III $III_1 = 1.28$ m. i t. d.; po połączeniu z sobą punktów I_1 , II_1 , III_1 , IV_1 i t. d. otrzymamy linię krzywą stanu wody na każdy miesiąc i na cały rok. Jeżeli odległość między punktami I, II, III i t. d. została tak dobrana, że z łatwością możemy ją podzielić na 30 części, to tym samym możemy wyznaczyć sobie dokładnie stan wody w każdym dowolnym dniu każdego miesiąca. Jeżelibyśmy stale prowadzili notatki, dotyczące stanu wody przez pewien dłuższy czas np. 2—5 lat, to, po wykreśleniu krzywej stanu wody dla każdego roku osobno, otrzymamy 2—5 takich linii, które

mogą nam posłużyć do wykreślenia t. zw. średniej stanu wody dla całego okresu. Taka średnia linja wraz z tymi, od których pochodzi, służy dla projektującego silnik wodny jako bardzo ważny materiał orjentacyjny, zapoznaje go bowiem z zmiennością stanu wody, a zarazem i granicami tej zmienności.

Pomiar wodny przez przewał. Przy pomiarach ilości przepływającej wody w strumykach posługują się technicy najchętniej t. zw. przewalem (rys. 4), a to dla tego, że koryta strumieni ulegają ciągłym zmianom, które, oczywiście utrudniają dokładne pomiary wody.



Rys. 4.

Sporządzając przewał, należy zwrócić uwagę na ostrość krawędzi przewałowej, w przeciwnym razie w miejscu spadania wody będą powstawały wiry, utrudniające dokładne obliczenie. Szerokość wypływu wody powinna być zawsze mniejszą od szerokości strumienia, ułatwia to bowiem obliczenie przepływu.

Ilość wody Q m³, przepływającej przewalem, obliczymy z wzoru:

$$Q \text{ metr sześć. na sekundę} = m \times \frac{2}{3} b \times h \sqrt{2gh},$$

gdzie m oznacza pewien współczynnik przepływu wody = w przybliżeniu 0.8, b szerokość przewалу w metr., mierzona w kierunku poziomym, h wysokość spiętrzenia wody w metr. (ponad pierwotny stan wody), zaś $g = 9.81$ m. na sek., t. j. naturalny spadek każdego ciała pod wpływem siły ciężkości.

Przykład: szerokość b przewалу = 3.5 metr., $h = 0.6$ metr., pytanie: ile wody Q w metr. sześciennych na sekundę przepływa przez przewał?

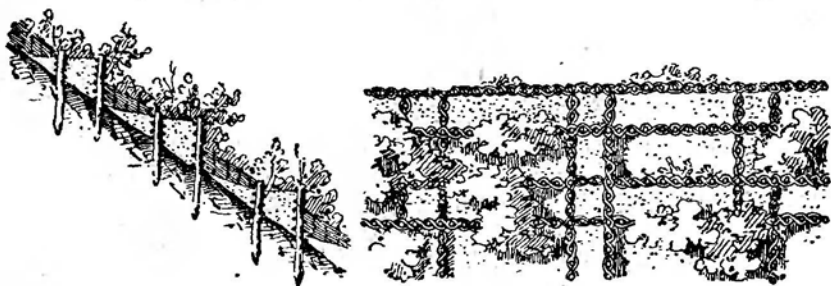
$$Q = 0.8 \times \frac{2}{3} \times 3.5 \times 0.6 \sqrt{2 \times 9.81 \times 0.6} =$$

około 3.88, t. zn. około 4 m³ na sek.

Roboty wodne.

a) Ustalanie brzegów.

Ustalanie, czyli utrwalanie brzegów, należy do robót wodnych, mających na celu ochronę brzegów rzeki przed obrywaniem się. Brzegi rzeki, płynącej mniejwięcej prosto, o miernej głębokości i prędkości przepływu, zazwyczaj nie wymagają utrwalania, natomiast na zakrzywieniach rzeki, lub też w miejscu zwężenia rzeki, spowodowanego przez zbudowanie tamy lub szluzu (a także i mostu), prąd wody staje się często zanadto bystrym, a wskutek znacznego naporu wody nie trudno w takim razie o podmywanie i usuwanie, czyli obrywanie się brzegów. Do utrwalania brzegów



Rys. 5. Zadrzewienie brzegów.

nadaje się żywa roślinność, cięte drzewo lub kamień (sztuczny lub naturalny).

Najtańszym, a zarazem najprostszym środkiem, zdającym się do utrwalenia brzegów, jest darniowanie lub zadrzewianie brzegów.

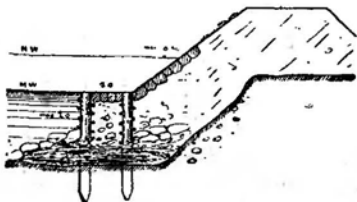
Do darniowania nadaje się żywa darni łąkowa o silnej gęstej trawie podszewkowej, którą układa się na pochyłości brzegów korzeniami ku ziemi, lub sztuczny zasiew. Oczywiście, brzegi należy naprzód odpowiednio spulchnić, aby korzenie darni rychło się rozwinęły.

Utrwalanie brzegów przez zadrzewienie (rys. 5) jest znacznie pewniejsze aniżeli przez darniowanie, dla tego, że korzenie roślin drzewiastych tkwią głęboko w ziemi, nadając jej dużą spoistość, a tym samym czyniąc ją odporniejszą

przeciw sfluwianiu i podmywaniu. Gdy roślinność jest bujna, gałęzie zwieszają się w wodę i tamują prąd wody, wskutek czego napór wody na brzegi zmniejsza się, a u podnóża brzegów (lub sztucznej skarpy) osadza się muł, wzmacniający brzegi i roślinność. Do zadrzewienia brzegów nadaje się wierzba koszykarska, łożyna, wiklina i wierzba czerwona, mianowicie używa się świeżych, żywych sztoprów (prętów), o grubości $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ lub $1\frac{1}{2}$ cala, zaś długości 30 — 45 cali. Sztopry takie należy ciąć ostrym nożem (tasiakiem) w ten sposób, aby pręty przy cięciu nie rozłupywały się (gdyż takie zwykle nie przyjmują się), a następnie wtyka się je w ziemię. Wskazany jest wtykanie sztoprów w dziury wytłoczone kołkami, a nie bezpośrednio, dla tego, że np. przy gruncie zwięźlejszym przez wtykanie (wciskanie) sztoprów w ziemię niszczy się korę. Zadrzewianie



Rys. 6. Płot pojedynczy.



Rys. 7. Płot podwójny.

brzegów nie może odbywać się o każdej porze, lecz tylko w tym czasie, kiedy wogóle sadzą i przesadzają drzewa, a więc jesienią i na wiosnę, przy czym ziemia nie powinna być zbyt wilgotną ani też suchą, a tymbardziej zmarznąłą. Dobrze obmyślana i prowadzona plantacja zadrzewionych brzegów daje nieraz pokaźny dochód, dostarcza materiału faszynowego i koszykarskiego, przyczyniając się w ten sposób do umorzenia kosztów utrwalenia brzegów.

Gdy chodzi o sztuczne, lecz nie drogie utrwalenie brzegów przy pomocy drzewa, wówczas nadają się do tego celu płoty i faszyny. Ubezpieczenie faszynowe może być wykonane zasadniczo dwojako, a mianowicie z pomocą płotów lub faszyn zatopionych.

Płot może być pojedynczy lub podwójny (rys. 6 i 7). Ten ostatni wypełniamy piaskiem lub żwirem. Wierzch

ścianki, ujętej między dwa plecione płoty, zadarnia się lub brukuje kamieniem, zależnie od bystrości biegu wody i posiadanego materiału. Wysokość płotu winna sięgać linii średniej wody. Reszta skarpy (o nachyleniu, czyli spadziowości 1:1.5 lub 1:2) do wysokości $\frac{1}{2}$ — 1 m. ponad linię „dużej wody“ powinna być dobrze zadarniona, zadrzewiona lub wybrukowana, zależnie oczywiście od warunków i potrzeby.

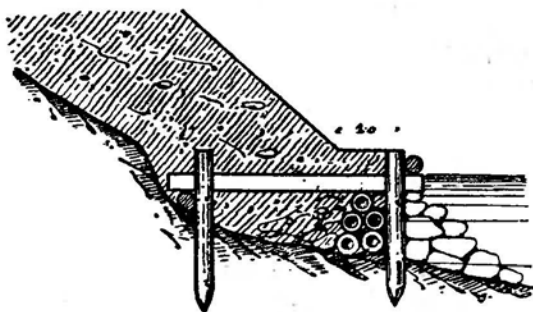
Do sporządzenia płotu używa się takiego samego materiału, jak do zadrzewienia brzegów, jedynie pale, około których przeplatamy szczelnie gałęzie, winny być sporządzone z wierzby. Pale takie, o grubości 2 — 2 $\frac{1}{2}$ cala, wbija się w grunt w odległości co 20 cali, a następnie oplata prętami (najlepiej wierzbowymi). Gdy robota została wykonana dobrze i w odpowiedniej porze roku (np. z wiosną), to pale wierzbowe szybko się przyjmują i już w następnym roku dają dobry materiał faszynowy.

Tego rodzaju utrwalenie nadaje się do osłony brzegów wolno bieżących rzek lub strumieni, a także i kanałów (np. młynówek). Do kosztowniejszej, lecz też i pewniejszej ochrony brzegów należy faszyna zatapiana. W tym celu sporządza się z żywych prętów snopy (czyli t. zw. kieszki), o długości dowolnej, o grubości od $\frac{1}{2}$ do 1 m., wewnątrz wypełnione żwirem, a skrępowane silnie wyżarzonym drutem. Snopy takie (o grubości 1 m.) posiadają znaczny ciężar, bo dochodzący do 300 kg. na 1 m. bieżący, i dla tego należy je sporządzać w pobliżu rzeki. Sporządzone snopy stacza się zwolna w rzekę tak, żeby się dokładnie oparły o koły, wbite wzdłuż podnóża brzegów. Faszyna zatopiona, t. j. pozostająca stale pod wodą, wkrótce się zazielenia i staje się dobrą osłoną brzegów, natomiast faszyny sterczące nad wodą słabną i w krótkim czasie rozsypują się. Faszyna zatopiona powinna sięgać do wysokości „średniej wody“, natomiast pozostałą część skarpy należy utrwalić darniowaniem lub płotem plecionym dwurzędowym (skrzyżowanym) rys. 5.

Do kosztowniejszych robót ochronnych należą utrwalenia mieszane, t. j. sporządzone z faszyny i drzewa grubego lub też kamienia (rys. 8), tudzież ochronne ściany drewniane, lub wreszcie ubezpieczenia kamieniem naturalnym lub sztucznym.

Ściany drewniane sporządza się dziś wyjątkowo w tym razie, gdy np. kanał lub samą rzekę chcemy pogłębić, a równocześnie poprowadzić np. przez osadę lub miasteczko. Tego rodzaju roboty, wobec drożyzny drzewa, są dziś zbyt kosztowne i dla tego przeprowadzają je tylko w tym razie, gdy tańsze utrwalenie nie może być zastosowane.

Sposób wykonania bywa rozmaity, np. wzdłuż brzegu rzeki czy kanału wbijamy silne, zdrowe pale (krągłaki 10—12 cal. grubości), w odległości mniej więcej co 2, 2½, 3 m., zależnie od wielkości parcia skarpy, ryglujemy takimiż ryglami, a od strony ziemi objamy deskami. Ściana taka powinna sięgać do wysokości „średniej wody“, natomiast



Rys. 8. Utrwalenie brzegów mieszane: z drzewa (faszyny i tramów) i kamienia.

reszta skarpy powinna być utrwalona np. darnią. Do robót jeszcze kosztowniejszych należy utrwalanie brzegów przy pomocy kamienia naturalnego lub sztucznego (np. cegły, betonu), oczywiście bywają one w praktyce przeprowadzane w warunkach koniecznych, np. przy projektowaniu kosztownych instalacji wodnych, przeznaczonych do obsługi przedsiębiorstw przemysłowych lub żeglugi.

b) Regulacja koryta.

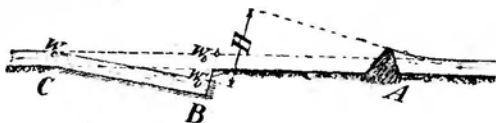
Zwierciadło płynącej wody tworzy w naturze nieregularną, wijącą się wstęgę, która wywiera duży wpływ na prędkość przepływu wody, kształt przekroju (profil) koryta i trwałość brzegów. Praktyka wykazuje, że niezregulowane koryto np. rzeki podlega ciągłym zmianom, wskutek czego

w wielu razach wszelkie budowle i kultura rolnicza brzegów staje się niepewna i zagrożona. Koryta wód płynących należy regulować, to znaczy przekrojowi koryta nadać pewien stosowny kształt, ujednolicić kierunek biegu wody, ostre i częste zmiany kierunków zmienić na proste, zaś konieczne krzywizny wykonać w kształcie kołowym.

Liczne doświadczenia wykazały, że jedną z głównych przyczyn ciągłej zmiany koryta rzeki, kierunku biegu, tudzież formy brzegów jest nieodpowiednia szybkość prądu wody w stosunku do gruntu. Odpowiednie obliczenia doświadczalne wykazują, że największa, dopuszczalna średnia prędkość przepływu (V_s) nie powinna przekraczać:

przy gruncie koryta błotnistym . . .	0.11 met.
„ „ „ gliniastym . . .	0.23 „
„ „ „ piaszcz. gliniast. . .	0.46 „
„ „ „ żwirowatym . . .	0.96 „
„ „ „ kamienistym . . .	1.23 „
„ „ „ skalistym . . .	3.70 „

Rys. 9 przedstawia szemat przekroju (profilu) podłużnego zregulowanego koryta rzeki, której pierwotną bystrą prędkość przepływu, nieodpowiednią ze względu na charakter



Rys. 9. Przekrój podłużny zregulowanego koryta wody płynącej.

gruntu, zmieniono za pośrednictwem tam na inną, dla danych warunków stosowniejszą.

Wysokość, do której woda dochodzi przy tamie, po odliczeniu pierwotnej naturalnej wysokości wody w tym miejscu, nazywamy wysokością spiętrzenia wody, czyli krócej, spiętrzeniem. Wysokość spiętrzenia wody zależy od potrzeby i warunków miejscowych, to też w danym razie sprawę tę rozstrzyga technik, uwzględniając, oczywiście, przepisy (ustawy) wodne, obowiązujące w tej miejscowości. Niezależnie od tych czynników, przy rozstrzyganiu sprawy należy uwzględnić miejscowe prawa zwyczajowe, zadawnienia i wzajemne zobowiązania sąsiadów, mieszkających nad wodą lub posiadających grunt w bliskim sąsiedztwie.

Tama jest to budowla wodna, którą wykonujemy w celu utrzymania wody w pewnej wysokości, i stąd też spełnia ona poniekąd w danym miejscu funkcję grobli. W praktyce rozróżniamy głównie dwojakie tamy, a mianowicie: 1) *przewałowe* i 2) *ubezpieczające*.

Tama przewałowa służy wyłącznie do utrzymania wody w pewnej wysokości i, o ile stan wody w tym miejscu się zwiększy, nadmiar jej przepływa swobodnie przez szczyt, czyli tak zwany grzbiet lub próg tamy. Przewały bywają dwojakie, mianowicie: zupełne i częściowe czyli niezupełne. Gdy próg tamy jest wzniesiony ponad powierzchnię odpływającej wody (w rzece), wówczas przewał jest zupełny, a woda odpływa zupełnie swobodnie (oczywiście, o ile przekroczy dane spiętrzenie), gdy natomiast grzbiet przevalu leży na równi lub nawet niżej powierzchni dolnej, t. j. odpływającej rzeki, to woda, przepływająca przez tamę, spotyka w przepływie opór w wodzie odpływającej i wówczas przewał taki zwiemy niezupełnym.

Najczęściej spotykamy w praktyce tamy z przevaliem zupełnym, które u nas zwykle są budowane z drzewa, natomiast na gruncie kamienistym lub skalistym budują je z kamienia. W warunkach dogodnych dla dostawy nie drogiego drzewa i kamienia budują tamy sposobem mieszanym, t. j. z drzewa i kamienia.

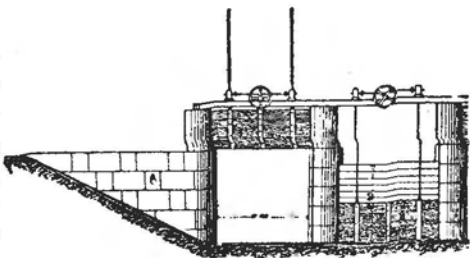
Miejsce na tamę wybiera się niezbyt głębokie, pomiędzy wzniesionymi brzegami, zaś tamę tak się sporządza, żeby silnie weszła w brzegi rzeki i wytrzymała odpowiedni napór wody.

Tamy, podobnie jak groble i brzegi rzeki, utrwalamy, czyli chronimy od podmywania za pomocą stosownych budowli wodnych. Najczęściej spotykamy ubezpieczenia faszyną zatopioną lub kamieniem.

Gdy tamę wznosimy tak wysoko, że powstrzymujemy nią zupełnie dużą wodę, tworząc w ten sposób sztuczny staw, a nie wyrządzając przez to nikomu szkody, wówczas zamiast tamy, sypimy właściwie groblę. Do sypania grobli nadaje się materiał zwięzły, a mianowicie glina i piasek. Czysta glina jest mniej przydatna dla tego, że po wyschnięciu tworzą się w niej rysy i szczeliny, przepuszczające wodę, jak również że wskutek długotrwałych deszczów częściowo spływa z wodą.

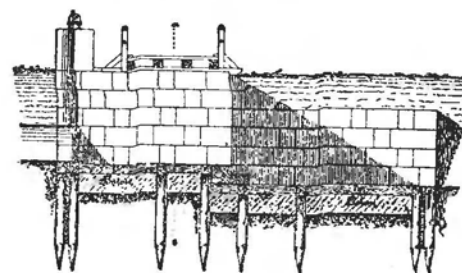
Projektując spiętrzenie, a zarazem i wstrzymanie wody za pośrednictwem grobli, należy, oczywiście, pamiętać o zastosowaniu odpowiednich budowli wodnych, służących do regulowania stanu wody. Do tego celu służą szluzy, upusty i łotoki.

Szluzy (rys. 10a i b) bywają stosowane przy wejściu wody do stawu lub też przy odpływie ze stawu. Gdy chodzi o stały odpływ zbitecznej wody w stawie, wówczas budujemy zastawę, czyli *upust* zlewny, natomiast, gdy idzie o spuszczenie czasowego nadmiaru wody, budujemy zastawę, czyli szluzę grun-tową.



Rys. 10a. Część szluzy w widoku z przodu.

Do odprowadzenia wody, przeznaczonej do poruszania silnika wodnego (koła wodnego lub turbiny), służą otwarte lub kryte skrzynie, t. zw. *łotoki*, sporządzone z drzewa lub kamienia. Szerokość szluzy



Rys. 10b. Przekrój poprzeczny szluzy.

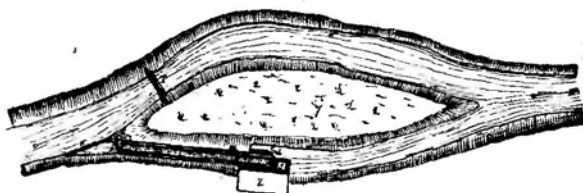
i upustu powinna być tak obliczona i wykonana, aby w czasie wylewu wody nie została uszkodzona ani grobla, ani szluz a inne obok niej postawione budowle i aby woda swobodnie, bez szkody dla budowli przepływała. Przed łotokiem powinna być ustawio-

na krata, przeznaczona do zatrzymywania naniesionego materiału; należy prócz tego tuż przed wlotem (wchodem) wody do koła wodnego lub do komory turbinowej ustawić gęstą kratę ochronną, celem ochrony silnika przed zanieczyszczeniem.

Łotok należy tak budować, aby wytrzymał cały ciężar odprowadzanej wody, a zarazem nie uległ podmyciu. Ściany

łotoku winny być ściśle i trwale związane z groblą, w przeciwnym razie nie trudno o uszkodzenie.

Znaczenie tamy, szluzu, łotoku i krat objaśnia rys. 11. W odpowiednim miejscu spiętrzamy wodę za pomocą tamy przewałowej. Łotokiem (Ł) wykonanym w ziemi, o ścianach ubezpieczonych np. krąglakami, odprowadzamy wodę do komory silnika wodnego (s).



Rys. 11. Szkic koryta rzeki łotoka, budowli wodnych i pomieszczenia silnika.
T—tama, K—krata, S—szluzą wpustowa, Ł—łotok, Szl.—szluzą upustową,
S—silnik, Z—zakład przemysłowy.

U wejścia wody do łotoku ustawia się silną szluzę, czyli upust gruntowy, osłonioną silną kratą (*k*). W pewnej odległości od instalacji silnika rozszerzamy skrzynię łotoka, zaopatrujemy w szluzę upustową (*s*), zaś tuż przed wchodem wody do komory silnika (turbiny) ustawiamy gęstą kratę ochronną. Szluzą upustową służy do upuszczania wody wówczas, gdy silnik ma być nieczynny.



Rys. 12. Przekrój pionowy sytuacji podanej w rys. 11.

Zanim całkowita budowla wodna zostanie wykonana, należy sporządzić stosowny projekt i nie rozpoczynać wcześniej żadnej, nawet wstępnej pracy, zanim nie zostanie ustalony i dokładnie obliczony plan robót.

W ogólnym zarysie można przyjąć mniej więcej następujący porządek postępowania: odmierza się dokładnie wysokość spadu wody na całej długości rzeki, z której mamy prawo korzystać, przyczem spadek ten, nazwijmy go liczbą ogólną (H_b) rys. 12, powinien być odpowiednio usta-

lony (poprawiony) w ten sposób, abyśmy mieli w przybliżeniu pewien średni spad. Robota ta będzie o wiele łatwiejsza i pewniejsza, gdy były poczynione i zapisane pomiary wodne przez pewien dłuższy czas i to w różnych porach roku. Mając to już wyliczone, trzeba przeprowadzić pomiar szybkości przepływu wody w łotoku, a na podstawie znajomości szerokości skrzyni łotoku i prędkości obliczamy ilość wody Q w metrach sześciennych na sekundę. W łotoku, wskutek nadania mu pewnego spadku, tracimy część spadku (H_b), pozostająca reszta (H) tworzy dopiero spad użyteczny.

Znając ilość przepływającej wody Q i spad użyteczny H , możemy obliczyć pracę, którą dysponuje woda, t. j. $1000^* \times \text{ilość wody } (Q) \times \text{spad } (H)$ kilogram metrów na sekundę.

Ta praca może być całkowitą, jaką wogóle może dostarczyć nam woda płynąca w rzece, lub też może być tylko jej częścią, zależnie od tego, czy łotok odprowadza całą ilość dopływającej wody, czy też tylko jej pewną część.

Mając obliczony spad wody, potrzebną jej ilość, obliczamy szerokość i kształt łotoka, jakość i wielkość silnika, przekroje komory, następnie szluzy i tamy, dołączając do obliczeń cały plan sytuacyjny i szczegółowy projektowanych robót.

O ile zależy nam na porządnie wykonanym planie i pewnych obliczeniach, to mimo pewnych kosztów trzeba robotę powierzyć znawcy. Projekt „na oko“, sporządzony przez praktycznych hydrotechników, tak samo będzie mało wart, jak projekt wykonany przez lichego technika. Tego rodzaju roboty bywają najczęściej partolone przez niewłaściwą oszczędność, która po tym odbija się ujemnie na całym urządzeniu.

Siła wody, jako źródło energii.

Zanim przejdziemy do opisu silników wodnych, konieczną jest rzeczą zapoznanie się z niektórymi ważniejszymi prawami mechaniki stosowanej, które też postaramy się jaknajprzystępniej wyłożyć.

*) Liczba 1000 pochodzi stąd, że 1 m³ wody waży 1000 kilogramów.

Jeżeli jakikolwiek przedmiot, ważący np. P kilogramów, spadnie z wysokości H metrów, to wykona pracę mechaniczną, której miarą jest iloczyn z wielkości ciężaru P i wysokości H , to jest: $P \text{ (kg.)} \times H \text{ (metr)} = P H$ kilogram metrów (= kgm.).

Gdybyśmy ten sam przedmiot unieśli z poziomu niższego (x) na poziom wyższy (y), to zużyjemy na to pewnej siły do pokonania oporu, czyli wykonamy pracę, której wielkość równać się będzie wielkości pracy, wykonanej przy spadaniu ciała, a więc: $P \times H$ kgm.

Z powyższego rozumowania wnioskujemy, że przedmiot (nazwijmy go ciałem), leżący na poziomie wyższym (np. na desce), może w każdej chwili wykonać pracę, gdy deskę usuniemy, a przedmiot spadnie na poziom niżej leżący; w ciele tym jest zatem niejako nagromadzona, czyli ukryta, energia E , której miarą w tym razie jest iloczyn $P \times H$ kgm., zatem $E = P \times H$ kgm.

Woda płynąca jest też źródłem energii i, spadając z wyższego poziomu na niższy, wykonuje pracę. Oznaczmy ilość wody spadającej w jednej sekundzie w metrach sześć. przez Q , zaś wysokość spadu przez H (metr.), możemy obliczyć całkowitą (t. zw. dysponowaną) energję E wody z wzoru *):

$$E = 1000 \times Q \times H \text{ (metr. kilogr. sekundowych).}$$

W praktyce wielkość pracy mierzymy mocą t. zw. konia parowego (1 HP), który odpowiada wielkości 75 kgm. sek., przeto energia spadającej wody w HP wynosi:

$$E_{HP} = \frac{1000 \times Q \times H}{75} \text{ (HP) na sek.}$$

Przykład: Ilość Q wody przepływającej w 1 sek. = 2 m.³, spadek wody $H = 3.15$ m.; pytanie: jaką pracę w 1 sek., czyli energję, E_{HP} może wykonać spadająca w tych warunkach woda?

Rozwiązanie:

$$E_{HP} = \frac{1000 \times 2 \times 3.15}{75} = 84 \text{ HP sek.}$$

*) m^3 . wody = 1000 kilogr.

W obliczeniach energję EHP , t. j. mierzona wielkością mocy 1 konia parowego, oznaczają najczęściej literą N , w tym razie z znaczkim $dysp.$, t. zn. dysponowaną, przeto:

$$N_{dysp.} = 84 \text{ HP}$$

W praktyce w żadnym razie, nawet przy pomocy najlepiej zbudowanego silnika wodnego, nie uda się nam wyzyskać całkowitej energii $N_{dysp.}$, część jej bowiem tracimy na pokonanie przeróżnych oporów ruchu, tak, że na wał napędowy przedostaje się mniejsza energja i tę oznaczamy jako energję użytkową $N_{użytk.}$

Stosunek, jaki zachodzi między powyższymi rodzajami energii, t. j. $\frac{N_{użytk.}}{N_{dysp.}}$, nazywa się dzielnością danego silnika wodnego i oznacza się literą grecką η . $N_{użytk.}$ jest zawsze mniejsze od $N_{dysp.}$, przeto liczba, którą otrzymamy z podziału $N_{użytk.}$ przez $N_{dysp.} = \eta$ wypadnie z reguły mniejszą od 1, zazwyczaj w granicach 0.25 do 0.85. Dzielność silnika jest wyznikiem dokładności budowy i prowadzenia silnika, a zarazem wskazówką dla umiejętnego zastosowania odmiany tegoż.

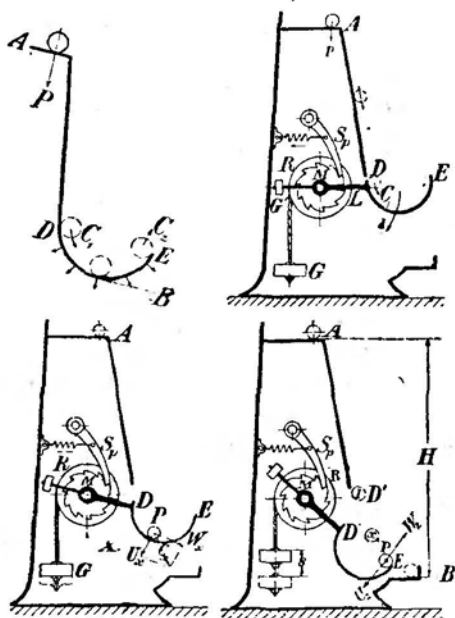
Przedmiot leżący wywiera na podstawę pewne ciśnienie. Wiemy już, że gdybyśmy tę podstawę usunęli, przedmiot spadnie. Zależnie od wysokości spadania przedmiot nabiera pewnej, ciągle wzrastającej prędkości, a tym samym pewnej energii, nazywamy ją energją kinetyczną, czyli ruchu (bo nabiera jej przedmiot właśnie skutkiem odbywania ruchu).

Rozumimy to dobrze, że, gdybyśmy przeciw spadającemu z góry ciężarowi podstawili np. rękę, to uczujemy uderzenie tym silniejsze, im większy i z większej wysokości ciężar spada, stąd też wniosek, że siła spadania, a z nią i energja spadania, zależy od ciężaru ciała i od wysokości (H) spadku, przyczym wzrasta ona w stosunku do kwadratu wysokości spadku, to znaczy, że siła spadania z wysokości około 2 metrów, jest 4 razy (2^2) większą, niż siła spadania z wysokości 1 metra.

Gdyby rzeczywiście przedmiot P spadł z wysokości H , wówczas, uderzając o powierzchnię, na którą spada, wy-

tworzyłby pewną ilość ciepła, a zatem energia (= praca) zostanie zmieniona na ciepło. Wyobraźmy sobie jednak mechanizm przedstawiony na rys. 13.

Przypuśćmy, że przedmiot P stacza się z powierzchni A wzdłuż powierzchni D na wklęsłą powierzchnię $D E$. Wskutek takiego powolnego spadania nie nastąpi uderzenie przedmiotu P o powierzchnię $D E$, lecz łagodne staczanie się po niej. Gdy spadający przedmiot do-
 sięgnie w punkcie C_1 powierzchni korytka $D E$, utrzymywanego w górnym położeniu za pośrednictwem przymocowanego do ramienia L ciężaru G , wtedy, pod wpływem ciężaru staczającego się ciała, korytko przybiera kolejno po-
 łożenie coraz niższe, obracając się dokoła osi M , i wreszcie zatrzyma się w położeniu, uwydatnionym na ostatnim rysunku. Obserwując zmianę po-
 łożenia wagi (G), zauważymy, że podniesie się ona na wysokość (s), a zatem rezultatem
 pracy spadającego ciała P z wysokości H jest praca użyteczna = ciężarowi wagi G kilgr. pomnożonemu przez wysokość (s) (podniesienie się wagi w metrach), czyli $G \times s$ kilgrm. met.



Rys. 13.

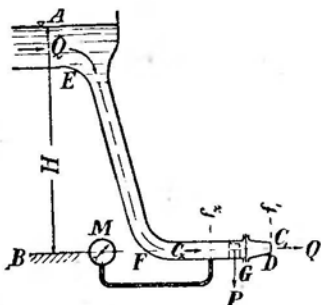
się po niej. Gdy spadający przedmiot do-
 sięgnie w punkcie C_1 powierzchni korytka $D E$, utrzymywanego w górnym położeniu za pośrednictwem przymocowanego do ramienia L ciężaru G , wtedy, pod wpływem ciężaru staczającego się ciała, korytko przybiera kolejno po-
 łożenie coraz niższe, obracając się dokoła osi M , i wreszcie zatrzyma się w położeniu, uwydatnionym na ostatnim rysunku. Obserwując zmianę po-
 łożenia wagi (G), zauważymy, że podniesie się ona na wysokość (s), a zatem rezultatem

pracy spadającego ciała P z wysokości H jest praca użyteczna = ciężarowi wagi G kilgr. pomnożonemu przez wysokość (s) (podniesienie się wagi w metrach), czyli $G \times s$ kilgrm. met.

Opisany mechanizm był do pewnego stopnia pierwowzorem silnika wodnego, zwanego turbiną wodną, która, podobnie jak tenże, składa się z przyrządu kierującego wodę, który odpowiada pochyłości $A D$, i przyrządu obracającego się (koła turbinowego), odpowiadającego korytkowi $D E$.

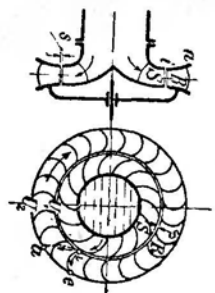
Turbiny wodne.

Wyobraźmy sobie (rys. 14), że woda spada z wysokości (H), z poziomu A rurą, na końcu zamkniętą zastawką P , wówczas, jakkolwiek w dolnej części rury nie ma ruchu wody, to jednak w wodzie tej jest nagromadzona energia, której wielkość wskazuje manometr (M). Gdy usuniemy zastawkę (P), woda tryśnie silnym strumieniem, równym wówczas, gdy poziom (A) jest stale utrzymywany w jednej mierze. Z usunięciem zastawy (P) wskazówka na manometrze (M) wskaże zmniejszenie (spadek) prężności wody w rurze, zależnie od wielkości stosunku przekroju (f_x) do przekroju (f_1).



Rys. 14.

Gdybyśmy naprzeciw wylotu wody ustawili odpowiednio zbudowany przyrząd, np. koło, zaopatrzone w łopatki lub komórki wokół całego obwodu, wówczas prąd tryskającej wody potraçałby kolejno łopatki, a tym samym spowodowałby wirowanie koła. Jeżeli prąd tryskającej wody byłby równomierny i ciągły, wówczas i obrót koła łopatkowego byłby też równomierny i ciągły.



Rys. 15. Schemat turbiny wodnej. Przekrój pionowy; widok z góry.

Budowa turbin wodnych jest przeważnie oparta na powyższym założeniu. Turbina wodna składa się z przyrządu zasilającego (S) (rys. 15) i koła turbino-
wego (B), wirującego około osi. Jakkolwiek przyrząd zasilający (S), zw. stałką, posiada to samo znaczenie, jakie poznaliśmy opisując rys. 14, to jednak ma

niedużo odmienny kształt, a mianowicie: z rury pionowej spada woda skręconymi wylotami, czyli komórkami stałki w takie same komórki koła turbino-
wego, czyli wirnika. Wskutek zmiany kierunku przepływu wody w komórkach część nagromadzonej energii powoduje obrót tegoż, zaś

pozostała reszta służy do wywołania *prędkości* wypływu wody z komórek wirlika.

Zależnie od ustawienia stałki względem wirnika rozróżniamy następujące turbiny:

- 1) turbiny promieniowe
- 2) turbiny osiowe.

Ze względu na sposób działania siły wodnej odróżniamy turbiny:

- a) naporowe (reakcyjne);
- b) odrzutowe (akcyjne).

Turbiny promieniowe.

Do turbin promieniowych zaliczamy te, u których woda, wypływająca ze stałki, wpada w wirnik w kierunku jego promienia, a wówczas szczelina między stałką a wirnikiem ma kształt *walcowaty*.

Najpospolitsze z turbin promieniowych przedstawione są na rysunkach: 15 i 16. Położenie stałki względem wirnika może być zarówno zewnętrzne (np. jak to jest wskazane na rys. 15) lub też wewnętrzne.

Do tej grupy turbin należą następujące odmiany: 1) Fourneyron'a, 2) Schwammkrug'a, 3) Francis'a, 4) turbina odrzutna (zwana też kołem) Pelton'a, 5) Conson'a.

Turbiny osiowe.

Turbiny osiowe (zwane też ośnymi) odznaczają się tym, że kształt szczeliny między stałką a wirnikiem jest nie, jak u poprzednich, walcowaty, lecz *pięścienny*.

Woda, wypływająca ze stałki, nabiera kierunku mniej więcej zbliżonego do kierunku osi turbiny. Pospolitą turbinę osiową przedstawia schematyczny rys. 16.

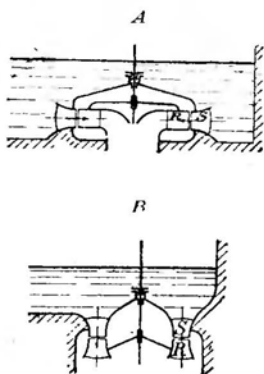
Do tej grupy turbin zaliczają następujące odmiany: 1) Henschel'a-Jonval'a, 2) Girarda, 3) Hänel'a, 4) Fontaine'a.

Turbiny naporowe (reakcyjne).

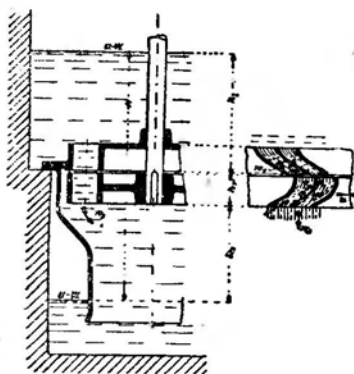
Turbiny naporowe (reakcyjne) mogą być bądź to osiowe, bądź promieniowe i obydwie te cechy nie stanowią

o tym, czy turbina jest naporową czy też odrzutową (akcyjną). Przykład turbiny naporowej przedstawia rys. 17.

Woda, wpadająca do komórek stałki, a następnie wirnika, wypełnia dokładnie wszystkie komórki bez wyjątku. Oczywiście, skoro woda wpada z pewną prędkością, to niewątpliwie też z pewną prędkością opuszcza wirnik, otóż tę ostatnią prędkość możemy w pewnych granicach zmieniać, np. w ten sposób, że sporządzamy komórki wirnika z szerszymi wlotami, aniżeli wylotami i w ten sposób wywołujemy w wirniku (a zwłaszcza w przestrzeni wolnej między stałką a wirnikiem, czyli w szczelinie) znaczny napór wody; stąd też pochodzi nazwa omawianych turbin.



Rys. 16. A—przekrój turbiny promien.
B—przekrój turbiny osiowej.



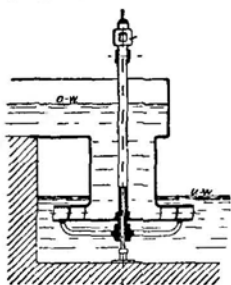
Rys. 17. Przekrój pionowy turbiny naporowej (reakcyjnej).— Z boku przekrój przez komórki stałki i wirnika.

Napór wody, jako siła dodatkowa do prędkości wpadania wody, zwiększa siłę pobudzającą wirnik do obrotu. Przyczym należy przyjąć zastrzeżenie, że zwierciadło górne wody pozostaje, o ile możliwości, niezmiennie.

Z pomiędzy starszych typów turbin naporowych zasługuje na uwagę turbina zbudowana przez Fournegron'a (1833 r.) (rys. 18), Henschel'a-Jonval'a (rys. 19) i Francis'a (rys. 20).

Największa dopuszczalna średnica turbiny Henschel'a Jonval'a dochodzi w przybliżeniu do 3.30 m., przyczym szerokość wieńca (t. j. komórek, mierzonych w kierunku promienia) wynosi 0.5 do 0.6 m. Ze względu na znaczne

rozmiary stałki i wirnika zaopatruje się obydwoma koła w 2—3 wieńce, a w ten sposób komórki wypadają jakby podwójne, każda o szerokości 0.25—0.30 m. Taka turbina zużywa np. przy spadku 1.5 m.—10 m³ wody w 1 sekundzie i osiąga dzielność=0.65 do 0.70. Turbina ta znajduje zastosowanie przy średnim spadku wody (1.5 do 4 m.), znacznej ilości wody i, o ile można, równomiernym dopływie.

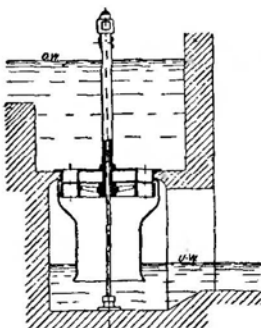


Rys. 18. Turbina naporowa Fournego'a w przekroju pionowym.

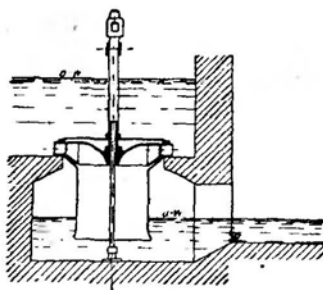
W ostatnich dwudziestu latach stosunkowo najszersze zastosowanie znalazła turbina, zbudowana przez amerykańskiego inżyniera Francis'a, do tego stopnia, że obecnie tam, gdzie buduje się np. zupełnie nowy silnik (turbinę), uwzględnia się prawie wyłącznie turbinę Francis'a.

Początkowo budował Francis turbiny o dość znacznej średnicy, w miarę ulepszania zmniejszał ją, uzyskując w ten sposób znaczną ilość obrotów wirnika.

Obecnie znane są trzy rozwiązania, mianowicie z wirnikiem: 1) wolno bieżącym, 2) średnio bieżącym (t. z. nor-



Rys. 19. Turbina naporowa Henschel-Jonval w przekroju pionowym.



Rys. 20. Turbina naporowa Francis'a w przekroju pionowym.

malnie bieżącym) i 3) szybko bieżącym. Te ostatnie znalazły początkowo szerokie zastosowanie w Ameryce, a następnie przyjęto je i w Europie pod nazwą turbin herkulesowych (np. we Francji Herkules Progress) lub samsonowych.

Fabryka turbin Hansen & Sp. w Gotha buduje np. następujące typy turbin Francis'a:

wirnik wolno bieżący (znak fabryczny	<i>J</i>	z 115	do 176	obrotami na min.
" średni "	"	"	"	"
" szybko "	"	"	"	"
" szybko "	"	"	"	"

Turbina Francis'a czyni zadość tym wymaganiom, jakie stawiamy użytecznym silnikom wodnym, a tymi są: 1) zastosowanie zarówno przy spadku małym, jak i dość znacznym, 3) odpowiednia ilość obrotów, 3) położenie wału poziome lub pionowe, 4) dokładna regulacja ilości siły i obrotów i 5) łatwy dostęp do poszczególnych części urządzenia.

Praktyka wykazała, że turbiny Francis'a mogą być zastosowane przy spadku, począwszy od $\frac{1}{2}$ m. aż do 120 m. (a nawet i więcej), jak również przy różnych ilościach wody, dając dzielność stosunkowo dużą, bo od 75 do 85%, i właśnie te głównie czynniki zapewniły turbinom Francis'a dzisiejsze szerokie, praktyczne zastosowanie.

Ponieważ budowa wogóle wszystkich turbin, a więc i Francis'a, wymaga dokładnej znajomości przeróżnych prawideł mechaniki, przeto nie podajemy przykładu obliczania turbin, tymbardziej, że w przeciwieństwie np. do kół wodnych, turbiny nikt u siebie w domu sposobem gospodarskim stanowczo nie zbuduje, lecz zawsze uda się po nie do odpowiedniej fabryki. Chodzi jednakże o to, aby się zapoznać z użytecznością turbiny (zwłaszcza Francis'a) dla tego, że jest to silnik, który w wielu wypadkach stanowczo może zastąpić silnik spalinowy lub parowy, dostarczając równocześnie taniej siły.

W szczególności rozróżniamy trzy główne odmiany turbin Francis'a, a mianowicie: dla małych spadków wody, t. j. od 0.5 do 3 (nawet do 4) m., średnich, od 3 względnie 4 m. do 10 m. i dużych od 10 do 120 m.

Urządzenie turbiny dla spadków małych przedstawia rys. 21.

Stałka jest ułożona na dźwigarach poziomych. Wirnik (koło turbinowe) jest od góry dokładnie przykryte nakrywą, którą można z łatwością wyciągnąć z pomocą haków.

Regulację turbiny uskutecznia się z pomocą ruchomych kierownic nastawnych, łopatek Fink'a, którymi przez przemykanie można zwiększać lub zmniejszać szerokość do-

pływu wody do komórek stałki. Turbiny nienastawne są ustrojem już przestarzałym.

Przy spadku bardzo małym, $\frac{1}{2}$ —2 m., najodpowiedniejszą budowę podaje między innymi firma Briegleb, Hansen i Sp. w Gotha (rys. 22), mianowicie: firma stosuje betonowy odpływ, dzięki czemu dochodzi do wykorzystania tak małego spadku.

Przy spadku średnim, 3—10 m., bardzo chętnie stosują turbiny o osi poziomej.

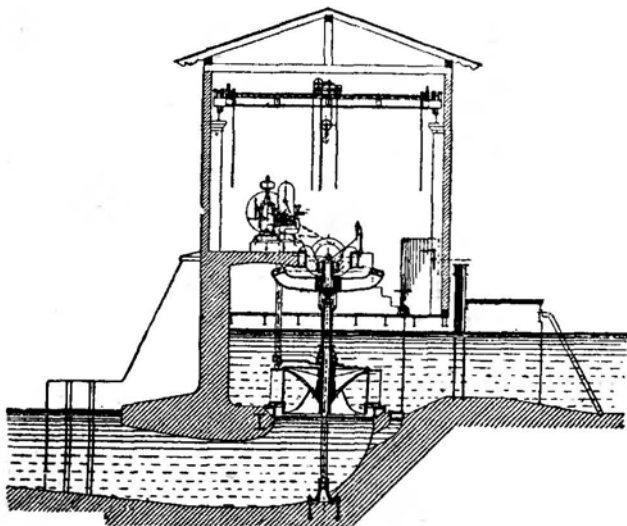


Rys. 21. Przekrój pionowy turbiny Francis'a na wale pionowym (dla małych spadków).

Przy spadku średnim, a znacznej ilości wody, mogą być z korzyścią stosowane turbiny bliźniacze wówczas zwłaszcza, gdy zależy nam na znacznej ilości obrotów. W korzystnych warunkach znajdują też zastosowanie turbiny bliźniacze podwójne, szybko bieżące.

Przy spadkach dużych, 10 do 80 m., stosowane bywają turbiny t. zw. spiralne Francis'a. Budowa tych turbin bywa niekiedy dość kosztowna, gdyż wymaga wielkiej dokładności w całym wykonaniu.

W ostatnich czasach przy dużych spadkach i bliźniaczym zestawieniu zostało zaniechane spiralne wykonanie turbiny na korzyść t. zw. turbin z kotłami wodnymi. Urządzenie kotła wodnego może być różne, np. wspólne, czyli



Fys. 22. Przekrój pionowy turbiny Francis'a dla bardzo małych spadków wody, u góry widać żuraw do podnoszenia części w czasie rozbierania turbiny.

centralne, dla kilku turbin lub czołowe. Tego rodzaju turbiny mają duże znaczenie dla krajów zimniejszych, a bogatych w siłę wodną, a to dla tego, że turbinę taką można łatwo ochronić przed zamarzaniem.

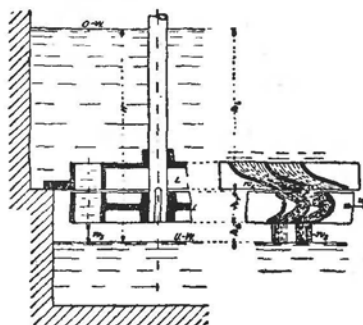
Turbiny odrzutowe.

Praca rozpędu, w jaką strumień wpadającej wody jest zasobny, przenosi się za pośrednictwem ciśnienia strumienia na łopatkę, działając na nią posuwająco, wskutek czego następuje wirowanie wirnika. Strumień przepływającej wody może przepływać w komórkach swobodnie lub też nieswobodnie i stosownie do tego odróżniamy turbiny odrzutowe o strumieniu a) swobodnym i b) ujętym.

Typową turbinę odrzutową o strumieniu swobodnym (promieniową) zbudował Schwamkrug (1850), zaś osiową Girard (1863).

Turbiny odrzutowe (rys. 23) znajdują czasami i dziś zastosowanie w tym razie, gdy przy znacznym spadku wody ilość jej (w m^3) jest względnie mała.

Ponieważ wirnik wiruje nad dolnym zwierciadłem wody, przeto turbina nie znosi zmienności tego zwierciadła (w przeciwnym razie woda wciśnie się od dołu do wirnika), a powtórę dzielność turbiny wypada stosunkowo za małą dla tego, że zawsze część spadku wody zostaje stracona. Prócz tych usterek turbina przez swój układ (stałka nad wirnikiem) nie jest łatwo dostępna.



Rys. 23. Przekrój pionowy turbiny odrzutowej (akcyjnej), z boku przekrój przez komórki stałki i wirnika.

Turbiny Girarda przed 20 laty były jeszcze bardzo często stosowane, głównie dla tego, że, w przeciwieństwie do turbin Jonval'a, nadają się do zastosowania dobrej i pewnej regulacji, jednak w ostatnich czasach wyparły je turbiny naporowe Francis'a.

Najczęściej spotykamy turbiny Girard'a o wirniku nieco szerszym aniżeli stałka; prócz tego wirnik bywa najczęściej ku dołowi znacznie rozszerzony, zaś komórki po-

siadają po stronie wewnętrznej otwory (t. zw. przewietrzniki czyli wentylatory), przeznaczone dla dopływu powietrza. Przy takim urządzeniu turbiny i średnim stanie wody przepływa ona szybko komórki wirnika (prędkość przepływu wzmagają przewietrzniki), lecz jeszcze nie wypełnia dokładnie całej komórki.

Turbina Girarda (osiowa) może mieć zastosowanie przy zmiennych, lecz znacznych ilości dopływającej wody, a stałym jej spadku.

Pewną odmianą turbiny Girard'a jest turbina Hähnel'a, różniąca się od poprzedniej tym, że posiada komórki dodatkowe, t. z. grzbietowe. W zwyczajnych warunkach turbina ta pracuje jako promieniowa, jednak gdy dolne zwierciadło

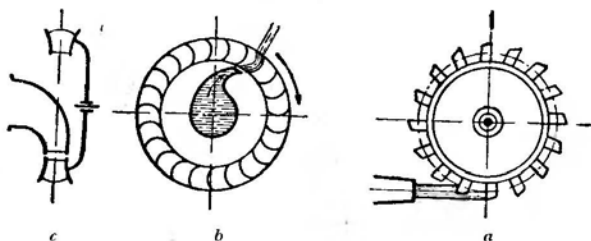
wody (odpływającej) spiętrzy się do tego stopnia, że woda wejdzie do komórek wirnika i całkowicie je wypełni, wówczas turbina staje się ciśnieniową (reakcyjną).

Turbina Hähnel'a zajmuje więc pośrednie miejsce między ciśnieniową a promieniową i z tego powodu nazywają ją *graniczną*.

Z powodu za niskiej dzielności tej turbiny, jak również braku dostatecznie wystarczającej regulacji, silnik ten właściwie dziś stracił swą dawniejszą użyteczność na korzyść turbin Francis'a.

Turbina częstkowa.

W praktyce spotykamy się z dwiema użytecznymi turbinami częstkowymi, a mianowicie turbiną Schwamkrug'a i kołem stycznym Pelton'a. Określenie (nazwa) częstkowej



Rys. 24. *a*—turbina Schwamkrug'a w przekroju pionowym, *b*—widoku z góry, *c*—turbina (koło) Pelton'a.

turbiny pochodzi stąd, że dopływ wody do wirnika nie odbywa się równocześnie na całym obwodzie, lecz tylko na pewnej jego części.

Budowa tych turbin wymaga dostatecznych znajomości technicznych, przy dużym bowiem spadku wody, z powodu znacznej średnicy wirnika i dużej ilości obrotów, występuje bardzo duża siła odśrodkowa, a z tego względu budowa musi być należycie obliczona i wykonana z najlepszego materiału.

Dzielność turbiny Schwamkrug'a dochodzi przy dobrym obliczeniu i budowie do 80%. Regulacja biegu turbiny jest prosta i dostateczna.

W ostatnich czasach coraz szersze zastosowanie znajduje koło styczne, zbudowane przez Pelton'a, stąd też zwane

kołem Pelton'a (rys. 24 c), które wypiera turbinę Schwamkrug'a. Użytkowość turbiny Pelton'a ze względu na spad wody jest bardzo korzystna, bo można ją stosować dla spadków od 60 do 600 m., wskutek czego, podobnie jak i turbina Schwamkrug'a, może ona znaleźć zastosowanie tylko w krajach górzystych.

Dzielność turbiny Pelton'a może dosięgać aż do 95% ogólnej siły dysponowanej.

Schemat opisywanych turbin wskazuje rys. 24, z którego widać, że obie są cząstkowymi, gdyż woda wpada nie na całym obwodzie wirnika, lecz tylko na jego pewnej części.

Regulacja tych turbin jest dziś dostatecznie udoskonalona prawie dla wszystkich wymagań przemysłowych.

Uwagi o wyborze turbiny.

Wybór turbiny zależy, oczywiście, w pierwszym rzędzie od spadku wody i jej ilości, a pewne pod tym względem dane zostały podane przy omawianiu poszczególnych odmian turbin. Ze względu na to, że budowa i urządzenie turbin wymaga stanowczo oceny i opinii dobrego znawcy silników wodnych i wszystkich ważniejszych robót pomocniczych, przeto rezygnujemy z podawania przykładów obliczeń turbin, pozostawiając tę sprawę specjaliście. W ogólności zaś zaznaczamy tylko, że np. turbiny ciśnieniowe są stosowne dla spadów małych i średnich (do 6 m.), tudzież małych i średnich ilości wody (od $\frac{1}{2}$ —6 m. na sek.).

Turbiny o wysokim ciśnieniu wody (np. turbina Pelton'a) są stosowne tylko dla bardzo znacznych spadów, a względnie nie dużej ilości wody.

Turbiny odrzutowe (akcyjne) są zdatne dla spadów większych (ponad 6 m.) i zmiennej ilości wody.

Jak już raz zostało wyraźnie zaznaczone, turbiny starszych typów ustąpiły zupełnie wobec udoskonalenia turbiny ciśnieniowej Francis'a, to też, opisując różne turbiny, specjalną uwagę zwracaliśmy na ten typ dziś najbardziej użytecznej, a zarazem i udoskonalonej turbiny.

W stosunku do kół wodnych turbiny wymagają wody zupełnie czystej, wolnej od szczątków drzewa, gałęzi, roślin, a w zimie wolnej od lodu. W tym celu łotok, doprowadzający wodę do komory turbinowej, powinien być

zaopatrzone w podwójne kraty ochronne, rozstawione od siebie w pewnym oddaleniu.

Porządnie wykonane urządzenia wodne powinny być zaopatrzone w kraty łatwe do oczyszczenia, a nawet, w pewnych razach, czyszczenie takie może odbywać się samoczynnie.

Trudniejszą jest ochrona turbiny (tudzież kraty) przed zamarzaniem i zatłaczaniem naniesionego lodu. Jak w danym wypadku wypadnie postąpić, rozstrzygać należy nie po wykończeniu urządzenia, lecz przy opracowaniu ostatecznego projektu i gdyby nawet cały projekt był należycie rozwiązany, a pomijał tę na pozór drobną sprawę, to przypadek ten należy uważać jako grube przeoczenie, na które interesowany winien zwrócić zawczasu swoją uwagę.

Koła wodne.

Koła wodne należą do grupy silników, wykorzystujących głównie ciężar wody, jednak są odmiany kół, wyzyskujące też i prędkość wody.

Do zasadniczych cech budowy kół wodnych należą następujące: 1) obracają się one prawie z reguły około osi poziomej, 2) dopływ i odpływ wody znajdują się na tym samym obwodzie koła i 3) koła wodne obracają się z prędkością stosunkowo nie dużą.

Zależnie od sposobu dopływu wody do komórki koła, dzielimy je w ogólności na:

- 1) koła nasiębierne,
- 2) „ śródbierne,
- 3) „ podsiębierne.

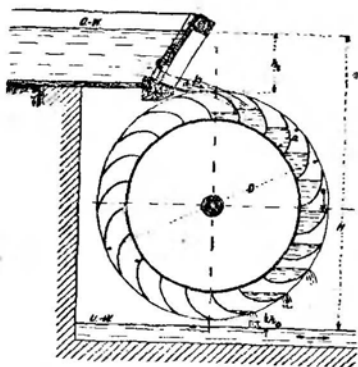
a) Koła nasiębierne.

Typ koła nasiębiernego przedstawia rys. 25.

Z drewnianego łotoka o przekroju prostokątnym, zaopatrzonego w ruchome zastawy, przedostaje się woda u szczytu koła do jego komórek (pod wpływem nabytej prędkości). Gdy pierwsza komórka zostanie wypełniona wodą, spowodowuje to obrót koła, poczym napełnia się na-

stępna komórka i t. d. W ten sposób następuje nieprzerwanie ciągłe napełnianie się komórek koła po jednej stronie, co w rezultacie powoduje ciągły jego ruch obrotowy.

Gdy z powodu obrotu koła komórki dojdą do stosownego położenia, rozpoczyna się powolne spływanie wody z komórek.



Rys. 25. Koło nasiębiernie.

Ze sposobu ruchu koła nasiębiernego możemy wywnioskować, że budując je, należy dbać o to, aby wytworzyć jak największą przeciwwagę względem komórek pustych (po lewej stronie rys. 25); to też z tego powodu miejsce wpadania wody do komórki powinno leżeć jak najwyżej, a więc jak najbliżej miejsca wypływu wody z łotoka.

Z rys. 25 możemy zauważyć, że całkowitego spadku (H) wody nie można wyzyskać, część jego h_c bowiem odpada na rzecz prędkości wypływu (c_1) wody z łotoka, zaś część (h_a) należy pozostawić od dołu koła w tym celu, aby się ono nie stykało z zwierciadłem wody odpływającej i w ten sposób uszło przed jej oporem.

Reszta wysokości (nazwijmy ją literą D), pozostała z odjęcia od całkowitego spadku (H) wysokości h_c słupa wody spiętrzonej w łotoku i pozostałego spadku (h_a) pod kołem jest miarą średnicy koła wodnego t. j.

$$D \text{ (średnica koła)} = H - (h_c + h_a) \quad (I)$$

Ilość obrotów (v) koła nasiębiernego dobiera się zwykle w granicach 4—10, średnio 7 na minutę, większe prędkości są, oczywiście, możliwe, lecz wymagają bardzo dokładnej i solidnej budowy całego urządzenia. Powyższym ilościom obrotów koła wodnego odpowiada prędkość obwodowa $v = 1,5$ do 2,5, średnio 2.0 metr. na sekundę.

Szerokość (S) koła zależy od ilości wody (Q) w m^3 na sek., zaś szerokość wieńca, a zarazem głębokość (a) komórek dobieramy w pewnym stosunku do całkowitego

spadku (H) wody. W praktyce głębokość komórek (a) obliczają z wzoru:

$$a = \frac{1}{4} \text{ do } \frac{1}{6} \text{ średnio } \frac{5}{12} \times \sqrt[3]{VH} \quad (\text{II})$$

jeśli np. wysokość całkowitego, użytecznego spadku wody (H) wynosi 8 m., to $a = \frac{5}{12} \times \sqrt[3]{VH} = \frac{5}{12} \times 2 = 0.83$ metra (w przybliżeniu).

Jeżeli z łotoka wypływa w 1 sek. Q m³ wody, to rozmieszczenie jej w komórkach koła zależy od szerokości (S) koła, głębokości (a) komórek i prędkości obwodowej (v) koła wodnego. Gdy napełnienie komórki wynosi np. $\frac{1}{3}$ część całkowitej jej pojemności, wówczas:

$$Q = \frac{1}{3} \times a \times S \times v, \text{ z czego } S \text{ (t. j. szerok. koła)} = \frac{3 \times Q}{a \times v} \quad (\text{III})$$

Oddalenie koła względem dna łotoka i zwierciadła wody odpływającej zależy od dokładności budowy i ustawienia koła. Gdy zbudujemy je dokładnie i osadzimy trwale, to pierwsza odległość może wynosić 2—5 cm., zaś druga 10—12 cm.; natomiast koło, wykonane niedokładnie, a ustawione lichy, chwieje się w czasie obrotu, a powyższe odległości muszą być 3 do 4 razy większe, zwłaszcza odległość od dna łotoka (oczywiście mierzona w kierunku pionowym).

Ilość obrotów (i) koła wodnego da się obliczyć z wzoru:

$$i = 9.55 \times \frac{\text{prędkość obrotowa koła}}{\text{promień koła}} \quad (\text{IV})$$

Odległość między komórkami (podział wieńca) (p) koła obliczamy podług wzoru:

$$p = 0.75 \times a + 0.1 \quad (\text{V})$$

Dzielnosc (η) koła zależy od stosunku, jaki zachodzi między całkowitą (dysponowaną) energią wody ($N_{dysp.}$), a tą energią, jaką rzeczywiście osiągniemy na wale (energia użyteczna $N_{użył.}$). Ta ostatnia zależy od przeróżnych strat, jakie należy potrącić z energii dysponowanej, a tymi są:

1) strata na spadku z powodu odstepu między kołem a łotokiem;

2) strata na energii spadającej wody z powodu przerywania strumienia przez łopatki koła w czasie obrotu tegoż;

3) strata na spadku wody z powodu zawieszenia koła w pewnej odległości nad dolnym zwierciadłem wody;

4) strata z powodu tarcia czopów w łożyskach koła wodnego;

5) różne inne straty.

Wszystkie powyższe straty, razem wzięte, po obliczeniu dadzą się rachunkowo wyrazić, czyli przeliczyć na stratę pewnej ilości spadku (H) naturalnego. Sposób obliczania strat nie tyle jest trudny, ile długi, wymagający przytym pewnych znajomości matematyki i mechaniki, to też z tego powodu ten ciekawy dział obliczeń pomijamy, zaznaczając tylko, że dzielnosc (η) koła nasiębiernego można obliczyć z wzoru praktycznego:

$$\frac{N_{użył.}}{N_{dysp.}} = \eta = 0.8 + \frac{H}{80} - 0.018v^2 - \frac{0.094v^2 + 0.48}{H} \quad (VI)$$

Przykład: całkowita wysokość (H) spadku wody wynosi 4 m., wysokość spiętrzenia (h_c) wody w łotoku wraz z odstępem między kołem, a dnem łotoka wynosi 0.45 cm., wysokość zawieszenia koła nad dolnym zwierciadłem (h_a) = 15 cm., ilość wody (Q), wypływającej w 1 sek. z łotoka, = 0.3 m³; prędkość obwodowa v = 2.0 m. sek.

Pytanie: jaką średnicę mieć może w tym razie koło, jaką szerokość, ilość i głębokość komórek, ilość obrotów i jaką przybliżoną dzielnosc może osiągnąć?

Rozwiązanie: Energia wody, będąca do dyspozycji, a mierzona mocą konia parowego, wynosi (podług wzoru):

$$N_{dysp.} = \frac{1000 \times 0.3 \times 4}{75} = 16, \text{ to znaczy, teoretycznie licząc,}$$

spadająca woda może wykonać pracę = 16 HP.

Średnica koła wodnego (podług wzoru I) wynosi:

$$D = 4 - (0.45 + 0.15) = 3.40 \text{ m.}$$

Głębokość (a) komórek wynosi (według wzoru II):

$$a = \frac{5}{12} \times \frac{3}{V_4} = \frac{5}{12} \times 1.6 = \text{około } 0.65 \text{ m.}$$

Szerokość (S) koła wynosi (według wzoru III):

$$S = \frac{3 \times 0.3}{0.65 \times 1.5} = \frac{0.9}{0.975} = 0.923, \text{ w zaokrągleniu } 0.930 \text{ m.}$$

Ilość obrotów koła wodnego wyniesie (podług wzoru IV):

$$i = 9.55 \frac{1.5}{1.7} = 8.4, \text{ t. j. około 9 obr. na sek.}$$

Podział koła na obwodzie wyniesie (podług wzoru V):

$$p = 0.75 \times 0.65 + 0.1 = 0.58 \text{ m. (około).}$$

Przyczym ilość komórek (k) oblicza się z wzoru praktycznego:

$$k = \frac{6.282 \times \text{pół średnicy koła}}{p}$$

$$\text{a zatem: } k = \frac{6.282 \times 1.7}{0.58} = 28 \text{ (około).}$$

Dzielnosc koła wodnego, obliczona podług wzoru VI, wynosi:

$$\eta = 0.8 + \frac{3.55}{80} - 0.018 \times 1.5^2 - \frac{0.094 \times 1.5^2 + 0.48}{3.55}$$

$$\text{zkaąd: } \eta = 0.6088$$

Z wzoru VI $\frac{N_{u\acute{z}yt.}}{N_{dysp.}} = \eta$, czyli $N_{u\acute{z}yt.} = \eta \times N_{dysp.}$, wiedząc, że

$\eta = 0.6$ (w zaokrągleniu) $N_{dysp.}$ zaś = 16 HP, możemy obliczyć energję użytkową: $N_{u\acute{z}yt.} = 16 \text{ HP.} \times 0.6 = 9.6 \text{ HP.}$

Wynika więc, że z 16 HP, jakimi woda dysponuje, wykorzystamy tylko 9.6 HP.

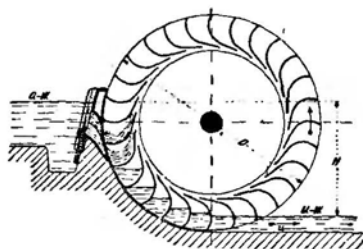
Bardzo ważną częścią konstrukcyjną kół wodnych są łopatki. U kół nasiębiernych, o ile są budowane z żelaza, wykłepuje się łopatki blaszane kształtu jak na rys. 25, t. j. części linii krzywej łukowej lub paraboli. Jeżeli budujemy koła drewniane, łopatki otrzymują kształt , przyczym nasada otrzymuje 0.4 do $0.5 \times a$ (t. j. głębokości komórek), zaś druga część $1.25 \times p$, to jest podziału koła.

Koło wodne, zwłaszcza żelazne, nasiębiernie, zbudowane dokładnie, podług zasad nauki o sile wodnej (hydrostatyki), może wydać 70—80% całej energii dyspon. ($N_{dysp.}$), natomiast zbudowane wadliwie wydaje nie więcej jak 30% — 40% całej dyspon. energii. Dobrze zbudowane koła wodne drewniane zajmują miejsce pośrednie, t. j. posiadają dzielność = 50—65%.

b) Koła wodne śródbierne.

Zasadniczy wygląd ogólny koła wodnego śródbiernego podaje rys. 26, który wskazuje nam, że wpadanie wody do komórek koła mieści się mniej więcej w wysokości połowy koła.

Ruch koła wodnego śródbiernego powoduje głównie ciężar wody, zaś prędkość wody odgrywa rolę nieznaczną. W dobrze zbudowanych kołach śródbiernych doprowadzanie wody do koła odbywa się za pośrednictwem t. zw. kulis, które nie tyle są trudne w wykonaniu, ile wymagają dostatecznych znajomości teorii silników wodnych ze względu na kształt rynien kulis.



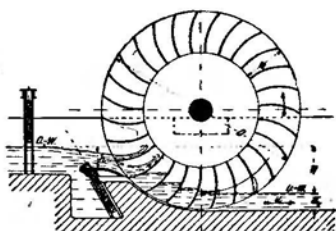
Rys. 26. Koło wodne śródbierne.

Bardzo ważną częścią konstrukcyjną koła są łopatki. Ponieważ woda działa na łopatki głównie swoim ciężarem, przeto kształt ich powinien być taki, żeby wpadanie wody odbywało się bez przeszkód, a tym samym nie powstawało działanie przeciwne obrotowi koła. Koło śródbierne kulisowe może być przydatne wówczas, gdy spadek wody

(H) = 1.5—4.5 m., zaś ilość wody jest stosunkowo nieznaczna, 250 — 300 ltr. na sek. Dzielność takiego koła może dochodzić nawet do 85%. Z powodu znacznych kosztów budowy kół wodnych śródbiernych, z dopływem kulisowym, w praktyce znajdują one dziś rzadkie zastosowanie.

Odmianą koła śródbiernego są koła *grzbietowe*. U koła grzbietowego woda działa swoim ciężarem i prędkością spadania z łotoku. Różnica między kołem nasiębiernym i śródbiernym z jednej strony, a grzbietowym polega na tym, że woda dostaje się do komórek koła powyżej połowy koła. Koło to, podobnie jak i poprzednie, jest w budowie kosztowne, do zaprojektowania wymaga specjalisty (o ile chodzi o wyzyskanie jak najwyższej dzielności), a w praktyce bywa dość rzadko spotykane.

Koła wodne *przewałowe* (rys. 27) tworzą właściwie już pewne przejście do kół wodnych podsiębirnych, a to dlatego, że woda spadająca z łotoka działa głównie swoim pędem (a więc podobnie jak u kół podsiębirnych). Koła te nadają się wówczas, gdy spadek wody jest nieznaczny ($= 0.40$ do 1.5 m), zaś ilość wody nie wynosi więcej jak $3 \text{ m}^3/\text{sek}$. W tych warunkach, rzeczywiście, koło przewałowe wypadnie najkorzystniej i najtaniej. Dzielność tych kół najczęściej nie przekracza 65% .



Rys. 27. Koło wodne przewałowe.

Chcąc bliżej poznać koło przewałowe, obierzmy następujący przykład: pobliska rzeczka na podstawie dokładnych pomiarów daje średnio w 1 sek. $Q = 500$ litr. ($= 0.3 \text{ m}^3$) wody i posiada spadek $H = 0.8$ m., chodzi o zbudowanie takiego silnika, który dostarczałby tyle siły, aby wystarczała ona do poruszania 2 konnej (2 HP) pompy, zasilającej całe gospodarstwo w wodę.

Rozwiązanie: w tych warunkach koło wodne z przewalem będzie zupełnie odpowiednim: energia wody dysponowana ($N_{dysp.}$)—podług odpowiedniego wzoru—wynosi:

$$N_{dysp.} = \frac{1000 \times 0.5 \times 0.8}{75} = \frac{400}{75} = 5.33 \text{ HP, w zaokrągł. } 5\frac{1}{4} \text{ HP.}$$

Promień R koła obiera się najczęściej podług wzoru praktycznego:

$R = (1.5 \text{ do } 2.0) \times H$, przyjmujemy $2 \times H = 2 \times 0.8 = 1.6$, a zatem średnica $D = 2R = 3.2$ m. (średnica koła nie powinna wynosić więcej aniżeli 4 metry).

Głębokość a komórek, licząc od obwodu koła, wynosi:

$$a = 0.5 \text{ do } 0.63 \sqrt[3]{\frac{R}{H}}, \text{ obieramy } 0.5 \times \sqrt[3]{\frac{R}{H}} = \\ = 0.5 \sqrt[3]{\frac{16}{0.8}} = 0.5 \times 1.27 = 0.635, \text{ w zaokrągleniu } 0.64 \text{ m.}$$

Podział koła (p), t. j. odległość od jednej do drugiej łopatki, wynosi: $p = 0.3$ do 0.5 m., przyjmujemy $= 0.3$ m.

Ponieważ ilość łopatek musi wyrażać się liczbą całą, przeto po obliczeniu ilości (k) komórek z wzoru:

$$k = \frac{6.28 \times R}{p} = \frac{6.28 \times 1.6}{0.30}, \text{ w zaokrągleniu } = 33,$$

liczbę p należy stosownie poprawić, tak żeby rzeczywiście odległość między 33 łopatkami wypadła jednakowa, co też można skutecznie z pomocą wzoru:

$$p = \frac{6.28 \times R}{k} = \frac{6.28 \times 1.6}{33} = 0.304, \text{ a więc blisko } 30\frac{1}{2} \text{ cm.,}$$

które cyrklem należy na obwodzie koła odłożyć.

Głębokość (a_1) zanurzenia koła w wodę odpływającą obiera się zwykle: $a_1 = \frac{a}{2}$ do $\frac{a}{3}$, przyjmujemy $\frac{a}{2}$ t. j. $\frac{0.64}{2} = 0.32 \text{ m.}$

Ilość ramion (Ir) koła wynosi:

$$Ir = 2R + 2 = 2 \times 1.6 + 2 = 3.2 + 2 = 5.2, \text{ w zaokrągleniu } 6.$$

Prędkość obwodowa v koła wynosi najczęściej:

$$v = 1.2 \text{ do } 1.6 \text{ m.}$$

Ponieważ w tym przykładzie mamy do czynienia z nieznacznym spadem ($H = 0.8 \text{ m.}$), przeto przyjmujemy $v = 1.2 \text{ m.}$ Mając prędkość obwodową, możemy obliczyć ilość obrotów (o) na min. (którą jednak należy sprawdzić po uruchomieniu koła) z wzoru:

$$o = \frac{9.55 \times v}{R} = \frac{9.55 \times 1.2}{1.6} = \frac{11.46}{1.6} = \text{około } 7 \text{ do } 8 \text{ obr. na min.}$$

Szerokość koła (S) obliczymy z wzoru praktycznego:

$$S = \frac{Q}{0.40 \times a \times v} = \frac{0.5}{0.40 \times 0.64 \times 1.2} = 1.6 \text{ m. (około)}$$

(koło wodne z przewalem nie powinno z obliczenia wypadć szersze aniżeli $2\frac{1}{4} \text{ m.}$, gdyż w przeciwnym razie wypadnie w budowie za kosztowne). Szerokość (S_o) wody będzie o 15 do 20 cm. węższa od S , t. j. $S_o = S - 0.20 = 1.6 - 0.2 = 1.40 \text{ metr.}$

Gdy koło jest dobrze zbudowane, a zwłaszcza przewał, jak również, gdy kształt łopatek jest zbliżony do podanego na rys. 27 (podług rozwiniętej koła, stosownej dla kół że-

laznych) lub przynajmniej ma kształt $\neg$ (przy budowie kół drewnianych), to dzielność ($\eta = \frac{N_{dysp.}}{N_{u\dot{z}y\dot{t}.}}$) może wynosić 0.55 do 0.65 (t. j. 55—65%). Ponieważ w obrachunku, przeprowadzonym na podstawie wzorów praktycznych, konstrukcja koła (łopatek i przewału) nie wypadnie ściśle podług zasad nauki o siłach wodnych, przeto dzielność η wypadnie zapewne niższa, na przykład 0.5, a więc, gdy:

$$\frac{N_{dysp.}}{N_{u\dot{z}y\dot{t}.}} = \eta = 0.5, \text{ to } N_{u\dot{z}y\dot{t}.} = \eta \times N_{dysp.},$$

wstawiając znane nam już liczby, wypadnie:

$$N_{u\dot{z}y\dot{t}.} = 0.5 \times 5.25 = 2.625, \text{ w zaokrągleniu } 2.6 \text{ HP,}$$

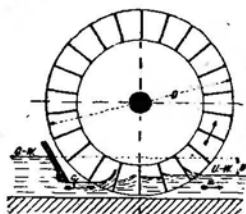
a zatem koło jest dla celu wzmiankowanego na wstępie zadania zupełnie przydatne.

c) Koła podsiębierne.

Koła podsiębierne znajdują zastosowanie przy małym spadku wody (0.1 do 1 m.) i ilości wody $Q = 0.1$ do 1 m^3 na sek. Rys. 28 wyobraża nam typ zwyczajnego koła podsiębiernego. Łopatki koła są osadzone bądź to promieniowo, bądź też są nachylone, a nawet u lepszych wygięte łukowo. Woda spływająca z łotoku spotyka łopatki koła mniej więcej w najniższym położeniu i działa na nie głównie tylko popychając skutkiem energii wypływu. Zastawa łotoku otrzymuje nachylenie do poziomu $= 60^\circ$, a woda spiętrzona, wypływając, nabiera znacznej prędkości i ta, po pokonaniu różnych oporów napotkanych przy wypływie, jako reszta, zostaje zużyta do poruszania koła. Dzielność koła zwykle wynosi $\eta = 0.30$ do 0.40 , a tylko w bardzo rzadkich wypadkach dochodzi do 0.5 , a więc:

$$\frac{N_{u\dot{z}y\dot{t}.}}{N_{dysp.}} = \eta = 0.30 - 0.40 - 0.50.$$

Promień koła $R = 2\text{—}3.5 \text{ m.}$



Rys. 28. Koło wodne podsiębierne.

Głębokość (a) komórek $a = 0.35$ do 0.45 m. Podział (p) koła, t. j. oddalenie łopatek, wynosi zwykle nie więcej jak:

$$p = \frac{1}{4} \times a + 1 \text{ m.}$$

Prędkość obwodowa (v) koła wynosi: $v = 1.77 \times \sqrt{H}$, gdzie H = wysokości spad wody.

Szerokość S koła:

$$S = \frac{\text{Ilość wody w m}^3 \text{ na sek.}}{0.40 \times \text{prędk. obwodowa koła} \times \text{głęb. komór.}} = \frac{Q}{0.40 \times v \times a}$$

Szerokość S_o strumienia wody dopływającej:

$$S_o = S - 10 \text{ cm. do } 15 \text{ cm.}$$

Koła wodne podsiębierne, zastosowane np. do poruszania młynów pływających, na rzekach o bardzo zmiennym stanie wody, winny być zaopatrzone w przyrząd Pansterr'a do podnoszenia, względnie opuszczania koła, w tym bowiem razie nie są one zaopatrzone w zastawę.

U kół stałych, zaopatrzonych w zastawę, grubość strumienia wody, wypływającej z poza zastawę, wynosi:

$$h_a = \frac{Q}{0.75 \times 4.42 \times \sqrt{H} \times S_o},$$

gdzie H oznacza spad wody w m., zaś S_o szerokość koła w m. Odmianą zwykłego koła podsiębiernego jest także, o łopatkach wygiętych, zbudowane przez francuskiego inżyniera Poncelet'a.

Wzory i różne dane, przydatne do budowy takiego koła, są następujące:

Ilość wody w m ³ na sek : $Q=0.1$ do 4 m^3 .			
Spad wody H w metr.	0.5 — 1	1 — 1.5	1.5 — 2
Promień koła R w metr.	$H + 1 \text{ m.}$	$H + 1 \text{ m.}$	$H + 1 \text{ m.}$
Ilość komórek k	$32 + 8 H$	$32 + 8 H$	$32 + 8 H$
Szerokość przesmyku wody h_a	$0.06 R$	$(0.04 + 0.2 H) R$	$0.08 \times R$
Głębokość komórek k	$0.1 + 0.4 \times H \text{ m}$	$0.2 + 0.3 H \text{ m.}$	$0.2 + 0.3 H \text{ m.}$
Szerokość S_o strugi wody, wpływającej do koła	$\frac{Q}{c \times h_a}$	$\frac{Q}{c \times h}$	$\frac{Q}{c \times h_a}$
Promień (r) krzywizny łopatek	$0.2 + 0.6 H \text{ m}$	$0.8 H \text{ m.}$	1 m.
Nachylenie	2.5°	2°	$1 + \frac{H}{2}^\circ$

Dobrze zbudowane koła wodne systemu Poncellet'a osiągają dzielność $\eta = 0.6 - 0.65$.

Części składowe kół wodnych. Koła wodne bywają w praktyce budowane z drzewa, żelaza, lub częściowo z drzewa, częściowo z żelaza. Który materiał jest najstosowniejszy, z góry, z całą stanowczością orzec nie można, decydują bowiem o tym czynniki miejscowe, natomiast nie ulega żadnej wątpliwości, że koło wodne żelazne może być wykonane dokładnie podług obliczeń teoretycznych, da więc możliwość uzyskania jak największego stopnia dzielności, lecz też wypada w cenie znacznie drożej, aniżeli koło drewniane.

Koło wodne, zbudowane częściowo z drzewa, częściowo z żelaza, zajmuje pośrednie miejsce między żelaznym, a drewnianym i to zarówno pod względem swojej dzielności, jak i ceny.

Koła żelazne stosujemy np. w tym razie, gdy decydujemy się stanowczo na zastosowanie koła wodnego, a nie turbiny, a równocześnie zależy nam na możliwie jak najlepszym wykorzystaniu tej siły, jaką spadająca woda dysponuje. W innym przypadku, gdy np. siła wodna jest bardzo znaczna, lecz nie zależy nam na dokładnym jej zużytkowaniu, a zadawaliśmy się tylko pewną częścią tej siły, wówczas dobrze obliczone i zbudowane koło wodne będzie najodpowiedniejsze, a zarazem wypadnie niedrogo.

Koła wodne żelazne, ze względu na swoje przeznaczenie (t. j. uzyskanie jaknajwyższej dzielności) i cenę, powinny być budowane przez dobrych majstrów i pod dobrym nadzorem technicznym, najlepiej więc powierzyć budowę jego odpowiedniej fabryce; natomiast koła drewniane można budować sposobem gospodarskim na podstawie podanych wzorów rachunkowych i oczywiście pewnej znajomości rzeczy, której winniśmy wymagać od majstra.

Koło wodne drewniane (podobnie też i żelazne) składa się z 2 wieńców, rozstawionych względem siebie pionowo, w tej odległości, jaką przeznaczyliśmy jako szerokość koła. Wieńce sporządza się najczęściej z drzewa dębowego, lub jodłowego (przy małej średnicy), wycinając z brusów łukowe części, czyli segmenty, które spaja się z sobą na wpust. Każdy wieńiec powinien być sporządzony z po-

dwójnych segmentów, złączonych z sobą bądź to kołkami dębowymi, bądź żelaznymi śrubami lecz w ten sposób, aby spójnienia dzwona (wieńca) zewnętrznego wymijały także same spójnienia dzwona wewnętrznego.

Grubość brusów użytych na segmenty dzwona zewnętrznego winna wynosić około siódmej części szerokości wieńca, zaś grubość segmentów dzwona wewnętrznego — około szóstej części szerokości wieńca koła. Łopatki koła wodnego sporządza się z jodły, sosny lub dębu; po obrobieniu nie powinny być one cieńsze jak 25 — 40 m/m, oczywiście, im szersze koło (a więc i dłuższe łopatki), tym grubsze łopatki. Łopatki należy na obu końcach dokładnie obrobić i wpuścić w umyślnie na ten cel wykonane wyłobienie wieńca wewnętrznego. Głębokość żłobków powinna wynosić nie mniej jak 15—20 m/m. Obydwa wieńce należy z sobą trwale złączyć za pomocą żelaznych lub przynajmniej drewnianych (dębowych) kotwic (ankrów). W ten sposób nie tylko wieńce koła zostaną z sobą należycie spojone, lecz też i łopatki uzyskają pewne, trwałe i silne oparcie.

Koło wodne opiera się za pośrednictwem ramion na wale koła. Ramiona powinny być wykonane z drzewa mocnego i sprężystego (a więc np. z dębu), a to dla tego, że koło bywa niekiedy narażone chwilami na skręcenie i gdyby ramiona były za słabe, wówczas nie trudno o zniszczenie koła.

Ilość ramion przy kołach małych (węższych aniżeli $2\frac{1}{2}$ m.) obliczamy z wzoru: $2 \times (\text{promień koła} + 1)$; przy szerokości kół $2\frac{1}{2}$ m.: $4 \times (\text{promień koła} + 1)$, zaś dla szerszych: $6 \times (\text{promień koła} + 1)$. Oczywiście, że liczba ramion powinna wypaść całkowitą i o ile możliwości parzystą, to też w tym razie, gdy z obliczenia wypadnie nam liczba nie całkowita, należy ją zamienić na całkowitą przez stosowne zaokrąglenie. Ramiona przymocowujemy z jednej strony do wieńca za pomocą śrub z dużymi żelaznymi podkładkami, zaś z drugiej strony bądź to okładamy nimi wał, bądź wpuszczamy weń lub też umocowujemy w stosownych wgłębieniach piast żelaznych, nałożonych na wał.

Wgłębienia piast, przeznaczone do umocowania ramion, powinny mieć kierunek promieniowy i ku środkowi

wału nieco stożkowy, a to w tym celu, aby w ten sposób wytworzyć dla ramion pewne i trwałe oparcie (siedzisko).

Grubość ramion przy piaście oblicza się z wzoru praktycznego w stosunku do grubości wału:

$$\frac{1.7 \times \text{grubość wału}}{(2 \text{ 1.5 do } 1.7)}$$

Szerokość ramion przy piaście = $\frac{5}{7} \times$ grubość piasty.

Całe koło wodne wspiera się za pośrednictwem wału i dwóch czopów na stosownie sporządzonych kozłach drewnianych lub też murach (fundamentach). Gdy budujemy koło drewniane sposobem gospodarskim, wówczas stosujemy wał drewniany, sporządzony z pnia dębowego, obrobionego umiarkowo w graniastosłup sześcienny lub ośmiościenny, zależnie zresztą od ilości zastosowanych ramion. Grubość wału drewnianego (mierzona na średnicy) nie powinna być mniejsza aniżeli 35 cm., zresztą każdorazowo należy ją obliczyć w stosunku do ciężaru koła (a więc na złamanie i skręcenie).

Czopy do wałów kół wodnych winny być sporządzone ze stali, a zaopatrzone w podwójne lub poczwórne skrzydła celem dokładnego wprawienia czopa w wał. Wał drewniany należy po wprawieniu czopów ściągnąć na każdym końcu i tuż przy piastach żelaznymi obręczami.

Czopy kół wodnych drewnianych oparte są najczęściej w otwartych panwiach, jednak wskazanym jest stosowanie panwi (łożysk) zamkniętych i dostatecznie smarowanych, wskutek tego bowiem traci się mniej energii na pokonanie oporów tarcia w łożysku.

U kół wodnych żelaznych należy z reguły stosować porządne rozwiązanie każdego szczegółu, gdyż przez to przy cokolwiek wyższej cenie koła uzyskujemy rękojmię zmniejszenia się różnych szkodliwych oporów, a tym samym zwiększenia dzielności koła. Poszczególne granice użyteczności ważniejszych kół wodnych poznaliśmy częściowo w miarę opisywania tychże, w następnej zaś tablicy zestawimy obok siebie ważniejsze rodzaje kół wodnych, podając równocześnie odpowiedni spad wody w pewnych gra-

nicach, tudzież potrzebną najmniejszą i największą ilość wody w metrach sześciennych:

Rodzaj koła wodnego	Spad wody w m.	Ilość wody w m. ³	Możliwa dzielność koła
Koło nasiębierne . . .	3— 5	0.07—0.4	0.6—0.7
„ „ . . .	5— 10	0.05—1.0	0.7—0.75
„ grzbietowe . . .	2.5— 8	0.09—0.9	0.6—0.7
„ łopatkowe kulisowe	1.5—2.5	0.1—2.5	0.6—0.65
„ Zuppinger'a . . .	0.5—2	0.1—6	0.6—0.65
„ Sagebien'a . . .	0.7—2.5	0.7—3	0.75—0.8
„ Poncelet'a . . .	0.2—1.7	0.1—4	0.6—0.65
„ podsiębierne. . .	0.1—1	0.1—5	0.3—0.35

Prowadzenie koła wodnego. Koło wodne, podobnie jak i turbina, powinno być tak zbudowane, aby nie ulegało zbyt szybkiemu zużywaniu się, a równocześnie stale, nieprzerwanie dostarczało odpowiedniej siły.

Wielkość siły zależy, oczywiście, od ilości dysponowanej wody, jej spadku i konstrukcji koła, lecz też i prowadzenie koła odgrywa tu ważną rolę.

W pierwszym rzędzie należy je zabezpieczyć przed zamarzaniem. Koła wodne częściej aniżeli turbiny ulegają częściowemu lub całkowitemu obmarzaniu, które bywa niekiedy powodem częściowego lub całkowitego zniszczenia silnika, a w najlepszym wypadku pozbawia nas na pewien czas potrzebnej siły.

Jedyny, najpewniejszy środek przeciw obmarzaniu kół jest budowa odpowiedniego ciepłego pomieszczenia. Koła wodne, umieszczone w miejscu zupełnie otwartym, z pewnością w czasie średnich i większych mrozów obmarzną i nie ochronimy go przed tym prowizorycznymi ściankami z słomy lub trzciny stawowej, natomiast gdy je umieścimy w budynku dobrze zbudowanym, np. o ścianach podwójnych, wypełnionych torfem lub trocinami, dokładnie pokrytym, wówczas prawdopodobieństwo obmarzania znacznie się zmniejszy.

W czasie trwania dużych mrozów niema innej rady jak wstawianie na ten czas w zabudowaniu murowanym otwartych żelaznych koszów z żarzącym się węglem lub koksem, zaś w budynkach drewnianych — zamkniętych pieców żelaznych.

W czasie budowy koła wodnego należy pamiętać o tym, aby drzewo, przeznaczone do sporządzenia silnika, było napojone karbolineum (płyn), zaś koła żelazne od czasu do czasu powlekane farbą (lakierem żelaznym). Podobnie jak turbiny, tak też i koła wodne (choć w daleko mniejszym stopniu), a zwłaszcza z dopływem kulisowym, nie znoszą wody zanieczyszczonej i dla tego przed łotokiem należy umieścić kratę (rafę) do zatrzymania rozmaitych grubszych zanieczyszczeń wody i od czasu do czasu pamiętać o ich usunięciu.

W czasie przerwy ruchu koła należy je dokładnie skontrolować, poprawić nieszczelności komórek, podociągać śruby kotwic, łączących wieńce z sobą, tudzież śruby, łączące ramiona z wieńcami i piastami, oczyścić łożyska, usunąć z komórek zanieczyszczenia. Również należy utrzymywać w porządku zastawki i łotok, usunąć niedokładności w regulowaniu ilości dopływającej wody, oczyścić drzewo z wodorostów i grzybów, które powodują butwienie. Czynności te wymagają nie tyle jakiejś dużej wprawy, ile dokładności w wykonaniu.

Jeżeli prowadzimy rachunek umorzeń silnika wodnego, to dla kół drewnianych należy przyjmować rocznie 15—20% we umorzenie, zaś dla kół żelaznych 8—10%, to znaczy, że przyjmujemy trwałość koła wodnego drewnianego na 5 lat, zaś żelaznego na 10 lat. Oczywiście, w poszczególnych wypadkach (zależnie od dokładności budowy i obsługi) umorzenia wypadnie brać bądź to większe, bądź też mniejsze,—i dla tego podane cyfry należy uważać jedynie jako przybliżone.

Porównanie turbin z kołami wodnymi. Czynniki, które mogą służyć jako wymiennik wartości czy też użyteczności obydwu typów silników wodnych są mniejwięcej następujące:

- 1) wysokość spadku wody,
- 2) stan zwierciadła wody

odpływającej, 3) własności fizykalne wody, 4) prędkość obrotu, równomierność biegu i dzielność obrotu, 5) trwałość i obsługa, 6) cena.

Wysokość spadku wody, oczywiście, jest czynnikiem pierwszorzędnej wagi zarówno przy budowie koła wodnego jak i turbiny. Dla koła wodnego, np. podsiębiernego, może być wykorzystany prawie że najmniejszy spadek wody, bo wynoszący zaledwie 10 cm., natomiast przy spadku większym aniżeli 8 m. właściwe koła wodne już nie znajdują zastosowania. Turbiny przy spadku wody, począwszy od 50 cm. (0.5 m.) aż do 600 m., znajdują pełne zastosowanie, to też pod tym względem przewyższają one koła wodne.

Stan wody odpływającej wywiera na koła wodne (np. nasiębierne) ten wpływ, że gdy woda sięga zaledwie do wieńca koła, to dzielność silnika bardzo znacznie opada.

Na turbinę wodną Francis'a wysokość zwierciadła wody odpływającej wywiera nieznaczny wpływ, a skutkiem tego i pod tym względem należy tym turbinom przyznać pierwszeństwo przed kołami wodnymi.

Własności wody nie wywierają znaczniejszego wpływu na trwałość lub dzielność kół wodnych, bo zarówno woda czysta jak i zawierająca części ziemiste, glinę, piasek, a nawet grubsze zanieczyszczenia (gałęzie, liście, szuwar i t. p.), może być bezpiecznie stosowana do kół wodnych, natomiast turbiny są czułe na czystość wody i pod tym względem ustępują miejsca kołom wodnym.

Prędkość obrotowa kół wodnych, w porównaniu do turbin, jest mała i z tego powodu przeniesienie powolnego obrotu koła na pędnię wymaga zastosowania nieraz kilku kół lub stożków zębatych, co, w rezultacie, jest kosztowne, a zarazem zużywa wiele siły użytecznej. Turbiny pod tym względem pracują zadawalająco, bo wykonują szybkie obroty, a zarazem możemy stosować je nietylko na wale pionowym lecz też i poziomym tak, że pędnia może być wprost z wałem turbinowym sprzężona. Sprawa ta jest bardzo ważna w przemyśle i stawia turbiny wyżej od kół wodnych.

Dzielność wielu kół wodnych nie ustępuje dzielności turbin.

Równomierność obrotu u turbin jest w daleko wyższym stopniu pewniejsza, aniżeli u kół wodnych, tymbardziej, że przyrządy, służące do regulowania ilości dopływającej wody i ilości obrotów, mogą być dogodniej zastosowane u turbin, aniżeli u kół wodnych. Niektóre przyrządy nawet nie mogą z pewnych praktycznych względów mieć pełnego zastosowania u kół wodnych i dla tego w tym razie, gdy zależy nam na dużym stopniu równomierności biegu silnika wodnego, turbinę wodną przekładamy nad koło wodne.

Trwałość i obsługa zarówno kół wodnych (żelaznych), jak i turbin jest prawie jednakowa. W każdym jednak razie trwałość silnika zależy od dokładności budowy, kontroli i obsługi. Turbiny wodne wymagają ściślejszej i częstszej kontroli aniżeli koła wodne, również w obsłudze wymagają więcej czasu i uwagi. Należy też zaznaczyć, że turbiny wymagają więcej smarowidła aniżeli koła wodne, tak, że w wydatkach „koszta ruchu“ rubryka „smary“ bywa zwykle u turbin bardziej obciążona aniżeli u kół wodnych.

Cena silników wodnych, oczywiście, gra dużą rolę w wyborze odmiany silnika, jednak nie zawsze może być tu bezwzględnie decydującą.

Gdy np. turbina z powodu swoich zalet bardziej odpowiada potrzebom aniżeli koło wodne, wówczas cena nie może być ważnym czynnikiem decydującym, lecz raczej jedynie czynnikiem orientacyjnym. Zasadniczo należy tu tylko zaznaczyć, że ceny kół wodnych są prawie z reguły niższe od cen turbin.

Znając zasadnicze przynajmniej czynniki pracy turbin i kół wodnych, mając krótkie porównanie silników z sobą, łatwiej już zorjentujemy się, gdzie i jaki silnik należy stosować. W żadnym razie nie można już z góry przesądzać, że tylko turbiny zasługują na uwzględnienie, natomiast koła wodne należą już do przeszłości, a to dla tego, że jak poznaliśmy, należy rozważyć przeróżne zalety i wady silników, dostosować je nie tylko do naturalnych warunków miejscowych, lecz też i do potrzeb, a dopiero po należytych zestawieniu wszystkiego i po sporządzeniu odpowiedniej kalkulacji można powziąć ostateczną decyzję. Pewną usługę w tym razie może oddać zestawienie zamieszczone w poniższej tablicy:

Gdy dany jest:		Znajduje zastosowanie		
Spad wody w m. (H)	Ilość wody w m ³ (Q)	Koło wodne drewniane	Koło wodne żelazne	Turbina
$\frac{1}{2}$ —2	1) mniejsza aniżeli 0.2, 2) większa aniżeli 0.2	gdy zależy na taniości	1) gdy (H) i (Q) są zmienne, 2) gdy (H) i (Q) są stałe	zawsze, gdy zależy na jaknajwiększej dzielności
2—6	mniejsza aniżeli 0.3	"	"	nie zawsze polecenia godne
2—6	większa aniżeli 0.3	"	"	gdy (Q) większe aniżeli potrzeba siły
6—12		rzadziej i gdy nie zależy na należytem wyzyskaniu siły wodnej		gdy zależy na wyzyskaniu siły wodnej
ponad 12	—	nigdy nie znajduje zastosowania		zawsze

Cena silników i ocena siły wodnej.

Sposoby i środki pomocnicze, służące do wycenienia kosztu budowy silników wodnych, nie są i nie mogą być ustalone, zależą bowiem ściśle od należyte rozważonych czynników miejscowych.

Ceny silników, podobnie jak i wartość siły wodnej, jakie podajemy, należy uważać jako przybliżone, posiadające znaczenie ogólnikowe, zdatne niekiedy przy sporządzaniu tymczasowej przybliżonej kalkulacji.

Koła wodne:

- 1) Koło nasiębierne, wykonane z drzewa dla spadku wody — do 6 m.
" " — ponad 6 m.
żelazne.
- 2) Koło wodne śródbierne, komórkowe, z dopływem kulisowym, wykonane z drzewa.
" " z żelaza .
- 3) Koła wodne śródbierne, łopatkowe, z dopływem kulisowym, wykonane z materiału mieszanego (drzewa i żelaza).
z żelaza

Koszt 1 HP użytecznego Rb.:	
Sam Silnik	Silnik z łożotokiem i regulacją
35 —	45 —
37.—	50.—
100.—	125.—
130.—	165.—
200 —	245.—
115.—	155 —
170.—	215.—

		Koszt 1 HP użytecznego Rb.:	
		Sam silnik	Silnik z łotokiem i regulacją
4) Koła wodne z przewalem wykonane:			
	z drzewa i żelaza	175.—	155.—
	z żelaza	170.—	215.—
5) Koło wodne Zuppingtona (śródbierne)			
	wykonane z drzewa i żelaza.	130.—	152.—
	z żelaza	187.—	235.—
6) Koło wodne Sagebienn'a (śródbierne)			
	wykonane z drzewa i żelaza.	115.—	142.—
	z żelaza	145.—	205.—
7) Koło wodne podsiębierne i śródbierne z pogródka			
	wykonane z drzewa i żelaza.	95.—	125.—
	z żelaza	140.—	185.—
8) Koło wodne podsiębierne Poncelet'a			
	wykonane z drzewa	45.—	60.—
	z drzewa i żelaza .	85.—	115.—
	z żelaza	130.—	165.—
9) Koło wodne posiębierne zwykłe dla najmniejszego spadku wody			
	wykonane z drzewa	35.—	45.—
	z drzewa i żelaza.	37.—	50.—
	z żelaza	115.—	135.—

Jako przykład cen turbin wodnych podajemy niektóre dane, dotyczące turbiny ciśnieniowej (reakcyjnej), mianowicie:

Gdy spad w m	1.0			1.25			1.5			2.1			3.0		
Zużycie wody litr.	270	1080	2700	270	1080	2700	270	1080	2700	270	1080	2700	270	1080	2700
Dostarcza siły mierzonej w HP	2.5	10.0	25.0	3.0	12.5	31.5	3.75	15.0	37.75	5.25	21.0	53	7.5	30	75.5
Cena przybliżona turbiny rb.	1050	2220	4875	1000	2100	4450	965	1960	4015	1145	2250	4900	1130	2225	4800

Jeżeli zaś jesteśmy nabywcami siły wodnej, to, zanim ostatecznie zdecydujemy się na jej zakupno, winniśmy przeprowadzić dokładną kalkulację, czy, rzeczywiście, mając silnik wodny, możemy uzyskać siłę tańszą, aniżeli przez zastosowanie w tym samym miejscu i do tego samego celu silnika spalinowego lub parowego. Pewne dane w tym względzie zostały oznaczone na wstępie niniejszej

pracy i podług nich mniejwięcej należy sprawdzać kalkulację, stawiając jako wartość siły wodnej, oprócz kosztu różnych robót i budowli wodnych tudzież samego silnika, ceny jak następuje:

		Siła mierzona w HP	
		dysponowana	użyteczna
Gdy przy średnim, równomiernym stanie wody możemy mieć:		Ocena w rub. za siłę=1 HP	
2— 10 HP		25—40	160—320
10— 25 „		20—36	140—280
25— 50 „		18—32	120—240
50—100 „		16—28	100—200
100—500 „		14—24	90—180