§ 22. RURY SSĄCE.

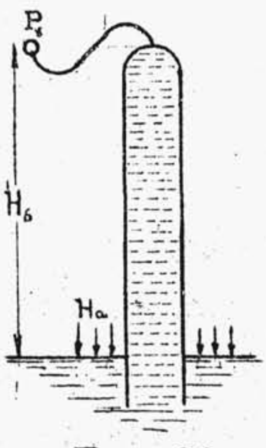
Rura ssąca turbiny wodnej jest bardzo ważną jej częścią, do pewnego stopnia jest ona uzupełnieniem wirnika, pomagając mu, a właściwie dokonywując tego, czego wirnik wykonać nie jest w stanie.

Z fizyki lub hydrauliki wiemy, że napełniwszy wodą rurkę u góry zamkniętą, możemy ją wyciągnąć z napełnionego wodą naczynia na pewną wysokość i woda z rurki nie ujdzie. Ta maksymalna wysokość H_a, na którą najwyżej możemy podnieść rurkę, nie powodując wypływu z niej wody, odpowiada ciśnieniu atmosferycznemu i równa jest $\sim 10 m$/przy poziomie morza/. Przypuśćmy, że w rurce, przedstawionej na rys.62 na wysokości H_s ciśnienie wynosi P_s, wówczas równanie równowagi będzie:

$$\frac{P_s}{\gamma} + H_s = H_a$$

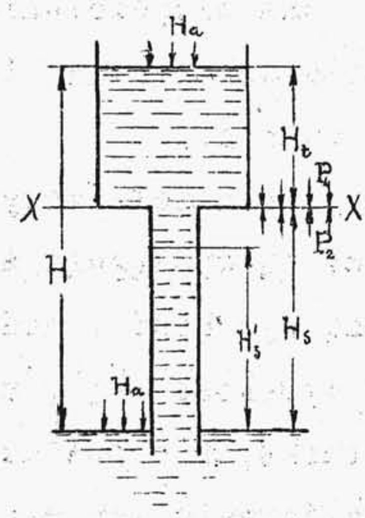
Jeżelibyśmy podnosili rurkę coraz wyżej, to przy wysokości $H_s = H_a$ woda oderwałaby się od dna rurki. Właściwie nastąpiłoby to trochę wcześniej, mianowicie gdy

$$\frac{P_s}{\gamma} = H_{par.}$$



Rys.62.

gdzie $H_{par.}$ jest ciśnieniem parowania wody w danej temperaturze.



Rys. 63.

Przypuśćmy, że mamy zbiornik o bardzo dużej pojemności /rys. 63/, z którego prowadzi przewód rurowy pionowy. Możemy powiedzieć, że woda przepływa przez przekrój X-X pod działaniem różnicy ciśnień P_1 i P_2, czyli $\frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma}$, to znaczy, że $\frac{P_1}{\gamma}$ jest równe ciśnieniu atmosferycznemu H_a plus głębokość zanurzenia H_t. Nazywając zaś wysokość od przekroju X-X do dołu przez H_s otrzymujemy:

$$\frac{P_2}{\gamma} = H_a - H_s,$$

a zatem

$$\frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma} = H_a + H_t - (H_a - H_s) = H_t + H_s = H.$$

Jest to, jak widzimy, całkowity spadek. Nie stanowi więc dla nas żadnej różnicy, gdzie umieścimy przekrój X-X, gdyż woda przezeń przepływać będzie tak, jakgdyby on znajdował się na samym dole rury ssącej, byle tylko wiszący słup wody H_s nie przerwał się. Przechodząc bezpośrednio do turbin możemy powiedzieć, że nie stanowi żadnej różnicy, na jakiej wysokości nad dolnym poziomem umieścimy turbinę, byleby tylko wiszący słup wody nie nie przerwał.

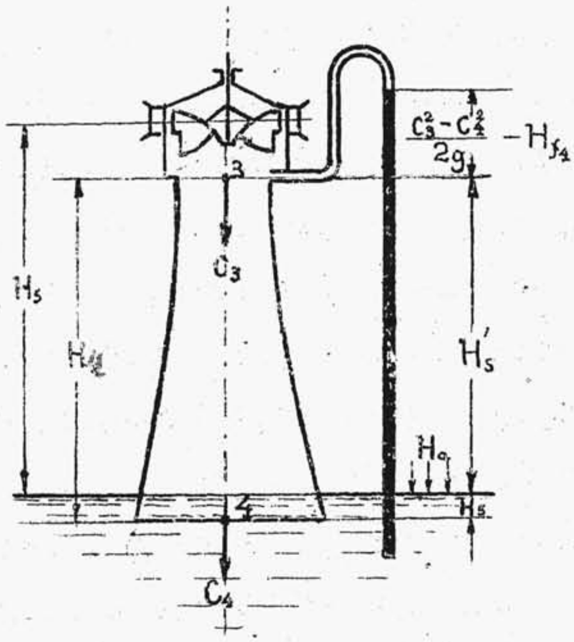
Nie mamy więc potrzeby zanurzać turbiny. A więc słup wody możemy rozdzielić na 2 części: część tłocząca i część ssącą. Gdyby u góry części ssącej ciśnienie spadło poniżej ciśnienia parowania i słup wody się przerwał, wówczas przestrzeń przez nią zajmowana napełni się parą i woda spadać będzie w formie deszczu. Zachodzi więc pytanie, pod jakim spadkiem będzie wó-wozas pracowała turbina. Oczywiście pod różnicą ciśnień, ale wtedy będziemy mieli $H_t + H_s'$, gdzie $H_s' < H_s$, musimy więc tak konstruować rury ssące, by słup wody się w nich nie przerywał.

Rozpatrzymy teraz konstrukcję rury ssącej /rys.64/. Przekrój na wysokości X-X zastępujemy otworami turbiny. W poprzednich rozważaniach mieliśmy równanie bilansu dla przestrzeni 3 - 4 następujące:

$$\frac{c_4^2}{2g} + H_a + H_s = \frac{c_3^2}{2g} + \frac{p_3}{\gamma} + H_4 - H_{f4}.$$

Z tego wyliczyć możemy ciśnienie w punkcie 3, a mianowicie:

$$\frac{p_3}{\gamma} = H_a - (H_4 - H_5) - \frac{c_3^2 - c_4^2}{2g} + H_{f4}.$$



Rys. 64.

Gdybyśmy ciśnienie w punkcie 3 wyrazili jako podciśnienie, to wyniesie ono:

$$H_a-\frac{P_3}{\gamma}=H_s'+\frac{c_3^2-c_4^2}{2g}-H_{f_4}$$

Jeżeli zmniejszamy szybkość z c_3 na c_4 i to w ten sposób, że różnica

$$\frac{c_3^2-c_4^2}{2g}>H_{f_4},$$

co będzie miało miejsce przy rurze ssącej rozszerzającej się w pewnym stopniu ku dołowi, to podciśnienie będzie większe, niż odpowiadające wysokości wiszącego słupa wody H_s'. Stwarzamy więc w ten sposób zwiększenie podciśnienia i rura ssąca staje się wtedy bardzo ważną częścią turbiny, gdyż dopełnia wirnik. - Część energji spadku wody, uchodząca z wirnika w postaci szybkości $\frac{c_3^2}{2g}$, która wynosi częstokroć 15 - 20% energji całkowitej zostaje w rurze ssącej spożytkowana przez zwiększenie różnicy ciśnień w wirniku. Rura ssąca powoduje, że wirnik pracuje jakoby pod wyższym spadkiem niż w rzeczywistości, nie stwarzamy jednak perpetuum mobile, gdyż jest to wyłącznie pozór, albowiem $\frac{C_3^2}{2g}$ sama pochodzi ze spadku. Stosować jednak ten wybieg możemy tylko dotąd, dopóki:

$$\frac{P_3}{\gamma} < H_{pow.}$$

to znaczy, że mając duże $\frac{C_3^2}{2g}$, czyli w turbinach na bardzo duże spadki nie można stosować zbyt małych szybkości wyjściowych C_4.

Zdawałoby się na pierwszy rzut oka, że przerwanie się słupa wody zajdzie najprędzej tam, gdzie mamy duże $\frac{C_3^2}{2gH}$, które będziemy chcieli gwałtownie zmniejszyć. Jednak to rozumowanie byłoby błędnem, gdyż jeśli chodzi o zmniejszenie C_3 na C_4, to nie mamy do czynienia z procentowemi ich wartościami, lecz z rzeczywistemi. Stąd wynika raczej, że pewne niebezpieczeństwo błędu zachodzi wówczas, gdy mamy wielkie wartości rzeczywiste, co mamy istotnie przy wielkich spadkach, mimo że przy nich $\frac{C_3^2}{2gH}$ jest zawsze małe.

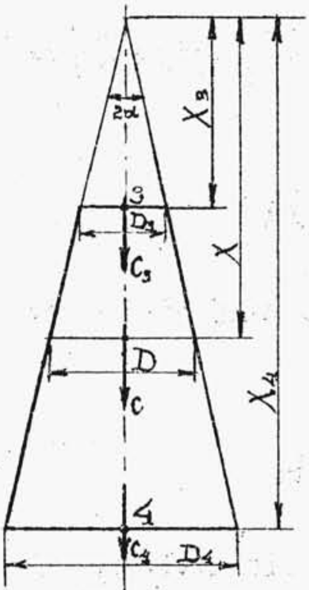
Weźmy przykład: Przypuśćmy $H = 150 m.$, $\frac{C_3^2}{2gH} = 4\%$, wzniesienie turbiny ponad poziomem dolnym 6 m., wówczas

$C_3 = \sqrt{2g.0,04.150} \simeq 11 \, m/sek.$ Gdybyśmy chcieli doprowadzić szybkość od $C_3 = 11 \, m/sek$ do $C_4 = 2 \, m/sek.$, to wówczas $\frac{11^2 - 2^2}{2g} = \frac{117}{2g} \simeq 5 m.$ i jeślibyśmy naszą turbinę

wstawili na przepisaną wysokość 6 m. od poziomu dol nego, mielibyśmy podciśnienie: $6+5-H_f < H_{par}$ i słup wody urwał by się. Szczególnie więc trzeba być ostrożnym w turbinach na duże H, tembardziej, że kształt rur ssących takich turbin na pierwszy rzut oka nie budzi żadnych podejrzeń.

Ponieważ rura ssąca jest bardzo ważną częścią turbiny, gdyż pomaga wirnikowi, a więc jest swego rodzaju silnikiem, przeto możemy mówić o jej sprawności. Jest ona bardzo prostą częścią, sprawność jej zależy wyłącznie od 1° chropowatości, co jest zrozumiałe i 2° od kształtu. Badanie kształtu sprowadza się do badania stopnia, w jakim prędkość C_3 zamienia się na C_4, czyli stopnia zwolnienia ruchu wody.

Dawniej budowano rury ssące opierając się wyłącznie na pozorach. Otóż napozór wydaje się, że skoro np. w punkcie 3 mamy ϕD_3 daną z konstrukcji wirnika, zaś w punkcie 4 decydujemy się dać ϕD_4, przyczem wzniesienie punktów 3 i 4 jest dane, to najprościej byłoby dać rurze ssącej kształt stożkowy. Możnaby dać kształt wklęsły lub beczkowaty, zachodzi jednak pytanie, co byłoby najracjonalniejsze. Chodzi o stopień zmiany szybkości C_3 na C_4, w jakim ma ona nastąpić. Wyobraźmy sobie strugę wody, która płynie dość szybko.



Rys. 65.

Łatwo możemy sobie wyobrazić, że im szybciej ona płynie, tem bardziej zwartą strugę stanowi, a więc tem trudniej będzie ulegała zaburzeniom, któreby spowodować mogły zwolnienie jej ruchu. Możemy więc uważać za pewnik, że stopień zwolnienia powinien być tem większy, im większą jest prędkość ruchu.

Wyznaczmy zatem zależność zwolnienia ruchu wody od szybkości dla rur różnego kształtu.

Przez założenie szybkości C_4, np. 1 - 2,5 m/sek. wyznaczamy D_4, zaś D_3 mamy już określone przez wymiary wirnika oraz daną mamy długość rury.

Przypuśćmy, że rura ssąca ma kształt stożka prostego. Zbadajmy, jak będzie się zmieniała szybkość z C_3 na C_4. Za początek układu obierzemy wierzchołek stożka /rys.65/ i oznaczymy odległość od niego średnicy D_3 przez X_3; D_4 przez X_4 oraz dowolnego przekroju przez X. Kąt rozwarcia stożka 2α. Na zasadzie ciągłości strugi możemy napisać:

$$\pi r_3^2 \cdot c_3 = \pi r_4^2 \cdot c_4 = \pi r^2 \cdot c$$

stąd: $c = \frac{r_3^2 \cdot c_3}{r^2}$.

Możemy r zastąpić przez α i x, gdyż $tg\alpha = \frac{r}{x}$ więc:

$$c = \frac{r_3^2 c_3}{x^2 tg^2\alpha} \qquad /I/$$

Taką więc szybkość mamy w każdym punkcie rury. Przyśpieszenie wody będzie:

$$\frac{dc}{dt} = \frac{r_3^2 c_3}{tg^2\alpha} \cdot - \frac{2}{x^3} \cdot \frac{dx}{dt} = - \frac{2 r_3^2 c_3}{tg^2\alpha} \cdot \frac{c}{x^3} .$$

Widzimy więc, że stopień zwalniania zależy od 2-ch zmiennych: x i c. Chcąc znaleźć zależność jego tylko od c musimy uwolnić się od x, podstawiając jego wartość z wzoru I.

$$\frac{1}{x^2} = \frac{tg^2\alpha}{r_3^2} \cdot \frac{c}{c_3} ; \quad \frac{1}{x^3} = \frac{tg^2\alpha}{r_3^2} \cdot \frac{c}{c_3} \cdot \frac{tg\alpha}{r_3} \cdot \sqrt{\frac{c}{c_3}} ;$$

zatem

$$\frac{dc}{dt} = - \frac{2 r_3^2 c_3}{tg^2\alpha} \cdot \frac{c^2 tg^3\alpha}{r_3^3 \cdot c_3} \sqrt{\frac{c}{c_3}} = - \frac{2 c^2 tg\alpha}{r_3} \sqrt{\frac{c}{c_3}} .$$

To możemy przedstawić w inny sposób:

$$\frac{dc}{dt} = - \frac{2 tg\alpha}{r_3 \sqrt{c_3}} \cdot \sqrt{c^5} .$$

Widzimy zatem, że stopień zwolnienia zmienia się jak $\sqrt{c^5}$, gdyż wyraz przed pierwiastkiem jest stały. Aby sobie lepiej uzmysłowić tę zależność rozpatrzmy przykład. Przypuśćmy, że mamy rurę ssącą o

$D_4 = 2D_3$, wówczas $C_4 = \frac{1}{4} C_3$. Zwolnienie w punkcie 3:

$$\frac{dc_3}{dt} = -\frac{2\operatorname{tg}\alpha}{r_3\sqrt{c_3}} \sqrt{c_3^5},$$

zaś w p.4

$$\frac{dc_4}{dt} = -\frac{2\operatorname{tg}\alpha}{r_3\sqrt{c_3}} \sqrt{c_4^5},$$

stosunek zwolnień

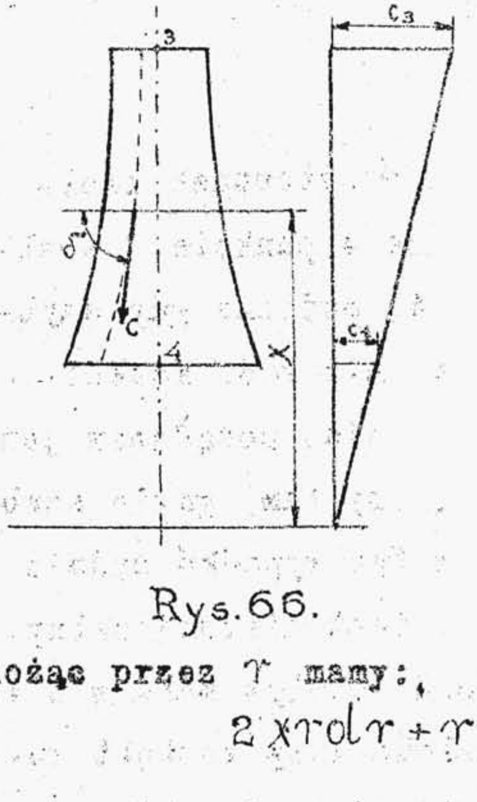
$$\frac{\frac{dc_3}{dt}}{\frac{dc_4}{dt}} = \frac{\sqrt{c_3^5}}{\sqrt{c_4^5}},$$

a w danym wypadku ponieważ $\frac{c_3}{c_4} = 4$, stosunek zwolnień wyniesie $\sqrt{4^5} = 32$, czyli, że w punkcie 3 zwalniamy 32 razy szybciej, niż w 4, podczas gdy szybkość w p.3 jest 4 razy większa, niż w 4. Aczkolwiek, jak stwierdziliśmy poprzednio, pożądanem jest, aby stopień zwolnienia był większy tam, gdzie szybkość jest większa, to jednak w tym wypadku wydaje się, że stosunek tych zwolnień jest nieracjonalny, zbyt gwałtowne zwolnienie w p.3, a zbyt małe w p.4. Widzimy z tego, że należy znaleźć inny kształt rury ssącej, któryby bardziej właściwie dzielił zwolnienia. Zanim zjawiły się o tem teoretyczne rozważania, budowano rruy ssące w taki sposób, aby na całej długości spadek szybkości zachodził według linji prostej. Późniejsze prace prof.Prasila udowodniły, że kształt rur ssących, otrzymanych w taki sposób, odpowiada także wymaganiom czysto teoretycznym. Doszedł on do tego wniosku, zastanawiając się nad pytaniem, po jakim torze winna biec cząstka wody, wchodząc w punkcie 3 do rury ssącej, aby była zachowana ciągłość ruchu cieczy. Przyjmując oznaczenie, jak na rys.66 otrzymał Prasil $\cot\delta = \frac{r}{2x}$ jako równanie toru, przyczem δ jest to kąt, jaki tworzy styczna do toru z poziomem. Ale $\cot\delta$ można wyrazić także jako

$\cot\delta = -\frac{dr}{dx}$ a więc

$\frac{dr}{dx} = -\frac{r}{2x}$ albo

$2x\,dr + r\,dx = 0$



Rys.66.

mnożąc przez r mamy:

$$2xr\,dr + r^2 dx = 0,$$

to zaś jest $d(r^2 x) = 0$

a więc

$$r^2 x = \text{const.}$$

Ponieważ równanie to odnosi się do dowolnej cząstki cieczy, a więc i do tej, która bieży po ściance, określa nam więc kształt tworzącej rury ssącej.

Możemy więc napisać: $\pi r^2 x = const.$;
równocześnie wiemy, że $\pi r^2 c = Q =$ ilość wody przepływającej przez rurę, która jest stałą. A więc wzór Prasila nic innego nie znaczy, jak:

$$c = x . const.$$

czyli, że doszedł on do tego, do czego doszli jego poprzedniey konstruktorzy intuicyjnie. Gdybyśmy teraz obok rysunku rury ssącej sporządzili wykres szybkości, to u podstawy szybkości winne być 0 i wykres przedstawiłby się jako prosta.

Różniczkując równanie zasadnicze znajdziemy stopień zwolnienia w naszej rurze ssącej:

$$\frac{dc}{dt} = const. \frac{dx}{dt} = const. c,$$

czyli jest on wprost proporcjonalny do szybkości i wobec tego niezawodnie racjonalniejszy.

Powracając do rur ssących stożkowych, możemy zapobiec zbyt szybkiemu zwalnianiu szybkości przez danie małego kąta pochylenia α , wówczas jednak długość rury, potrzebna do osiągnięcia pożądanej szybkości C_4 wypada zbyt duża i mogą na nią nie pozwolić warunki lokalne.