

Rys. 13.11. Układ kierownicy wstępnej i wirnika: a) palisady w rozwinięciu, b) trójkąty prędkości

Przy tych samych kątach nachylenia  $\beta$ , możliwość uzyskania większej wysokości podnoszenia.

Układ kierownicy przed wirnikiem znalazł zastosowanie w regulacji wartości parametrów pracy pomp śmigłowych i diagonalnych za pomocą zmiany wstępnego krętu.

Rzadko stosowany (m.in. przy regulacji pomp diagonalnych i śmigłowych za pomocą zmiany wstępnego krętu) układ: kierownica — wirnik — kierownica opiera się również na założeniu osiowego kierunku dopływu i odpływu cieczy z kaskady. Stanowi to połączenie układów przedstawionych na rys. 13.10 i 13.11. W kierownicy wstępnej powstaje składowa obwodowa o kierunku odwrotnym do kierunku obrotu wirnika, czyli  $-c_{u1}$ , zaś na wirniku — składowa  $+c_{u3}$ , zatem całkowity przyrost składowej obwodowej (wzór (13.2a)) wyniesie  $c_u = c_{u3} + c_{u1}$ .

Istnieją w wyjątkowych rozwiązaniach konstrukcyjnych pomp śmigłowych układy zawierające tylko palisadę wirnika i odśrodkowy kanał zbiorczy spiralny za wirnikiem. Występująca za wirnikiem składowa  $c_{u3}$  przechodzi następnie w prędkość w spirali zbiorczej  $c_{sp}$  (rys. 13.18).

### 13.8. Wytyczne projektowania wirnika pompy śmigłowej metodą aerodynamiczną (W. Bauersfelda)

Punktem wyjścia przy projektowaniu wirnika pompy śmigłowej jest obliczenie wyróżnika szybkobieżności pompy  $n_s$  na podstawie założonych wartości parametrów pracy pompy: wydajności  $Q$ , wysokości podnoszenia  $H$  oraz prędkości obrotowej  $n$ .

#### 13.8.1. Obliczenie głównych wymiarów wirnika

Zakładamy sprawność objętościową  $\eta_v = 0,9 \div 0,95$  (rozdz. 4) i określamy wydajność obliczeniową  $Q' = Q/\eta_v$ . Następnie obliczymy prędkość obwodową wirnika na zewnętrznej średnicy z zależności

$$u_z = K_{uz} \sqrt{2gH} \quad (13.63)$$

gdzie współczynnik  $K_{uz}$  określa formuła doświadczalna

$$K_{uz} = \frac{n_s Q}{160} + 0,8 \quad (13.64)$$

stąd średnica zewnętrzna

$$d_z = \frac{60 u_z}{\pi n} \quad (13.65)$$

Prędkość południkową  $c_m$  określimy z zależności

$$c_m = K_{cm} \sqrt{2gH} \quad (13.66)$$

przyjmując wartość współczynnika  $K_{cm}$  jako średnią wartość  $K_{cm1}$  i  $K_{cm2}$  odczytanych z wykresu (rys. 11.20).

Średnią prędkość południkową można również określić z zależności

$$c_m = (0,06 \div 0,08) \sqrt[3]{Q n^2} \quad (13.67)$$

gdzie:  $Q$  — wydajność pompy w  $m^3/s$ ,  $n$  — prędkość obrotowa w obr/min.

Swobodny przekrój przepływu przez wirnik  $A_m$  określa zależność

$$A_m = \frac{Q'}{c_m} = \frac{\pi}{4} (d_z^2 - d_p^2) \quad (13.68)$$

stąd wyznaczmy wstępnie średnicę piasty  $d_p$ .

Stosunek  $d_p/d_z$  zawiera się w granicach  $0,3 \div 0,6$ , zależnie od wartości wyróżnika szybkobieżności (jest mniejszy przy większych wartościach  $n_s Q$ ).

Od wartości  $d_p$  zależy również kąt nachylenia łopatki przy piastce  $\beta_c$ . Nie może on przekroczyć  $45^\circ$  (niebezpieczeństwo odrywania się strug od łopatki). Ze względu na to korygujemy obliczoną wstępnie średnicę piasty  $d_p$ .

### 13.8.2. Obliczenie łopatek

Swobodny przekrój przepływu dzielimy w rzucie południkowym na elementarne strugi i obliczenia kątów prowadzimy dla poszczególnych linii prądu. Sprawność hydrauliczną  $\eta_h$  określimy z formuły G. F. Wislicenusa

$$\eta_h = \sqrt{\eta} - (0,01 \div 0,02) \quad (13.69)$$

i określimy teoretyczną wysokość podnoszenia  $H_{th} = H/\eta_h$  niezmienną dla każdej linii prądu.

Następnie obliczymy prędkość unoszenia

$$u = \frac{\pi d n}{60} \quad (13.70)$$

oraz składowe obwodowe prędkości bezwzględnej na wylocie

$$c_{u3} = \frac{g H_{th}}{u} \quad (13.71)$$

przy założeniu swobodnego dopływu na wlocie

$$\alpha_1 = 90^\circ \quad \text{czyli} \quad c_{u1} = 0$$

Prędkość przepływu niezakłóconego określimy z zależności

$$w_\infty^2 = c_m^2 + \left(u - \frac{c_{u3}}{2}\right)^2 \quad (13.72)$$

oraz kąt nachylenia tej prędkości do kierunku unoszenia

$$\operatorname{tg} \beta_\infty = \frac{c_m}{u - \frac{c_{u3}}{2}} \quad (13.73)$$

W pompach śmigłowych stosujemy łopatki w kształcie płatów nośnych o grubości profilu nie przekraczającym 18% jego długości. Grubości przyjmujemy różne dla poszczególnych linii prądu, zmniejszając je w kierunku wzrastającej średnicy zewnętrznej wirnika.

Liczba łopatek  $Z$  wynosi od 2 do 6 i zależy od wartości wyróżnika szybkobieżności (wg firmy Escher-Wyss):

wyróżnik szybkobieżności $n_{sQ}$	105	165	220	275
liczba łopatek $Z$	6	5	4	3

Doświadczalnie stwierdzono zależność wysokości maksymalnej podnoszenia od liczby łopatek:

$Z$	2	3	4	5	6
$H_{\max}$	3	6	10	15	22

m

W dalszej kolejności obliczeń zakładamy liczbę łopatek  $Z$ , obliczamy podziałki  $t$  i zakładamy kąt  $\lambda \approx 1^\circ$ . Ze wzoru

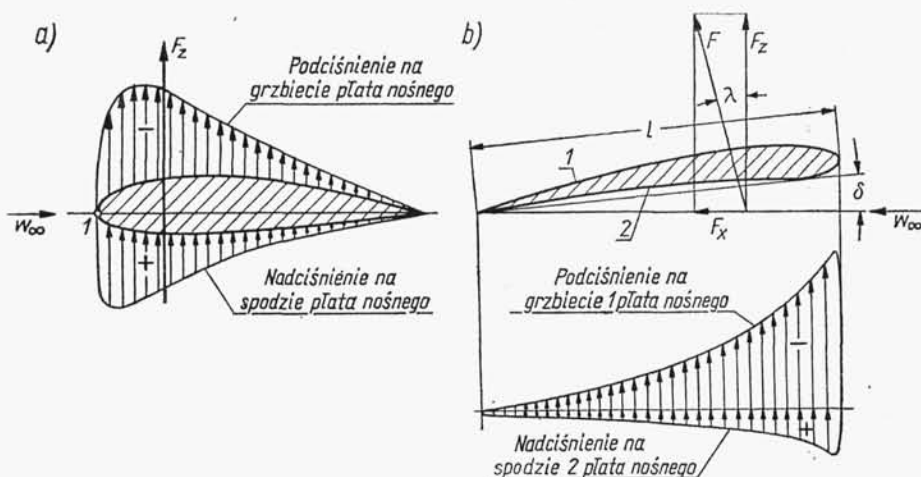
$$C_z \frac{l}{t} = \frac{2gH_{th} c_m}{w_\infty^2 u \sin(\beta_\infty + \lambda)} \quad (13.74)$$

obliczamy wartość  $C_z l/t$ , a przy przyjęciu wartości  $l/t = 0,7 \div 1,0$  (większe wartości przy piasku) określimy współczynnik siły nośnej  $C_z$ . Pozwoli to na dobranie profilu, a w końcowej fazie na określenie kąta natarcia  $\delta$  z wykresu  $C_z = f(\delta)$ , lub obliczenie jego wartości przy zmianie grubości profilu w stosunku do podanej w tabl. 2.1 za pomocą podanych wzorów (2.44) do (2.51). Otrzymany w wyniku obliczeń kąt nachylenia do kierunku noszenia  $\beta_c = \beta_\infty + \delta$  powinien zawierać się w granicach  $11 \div 45^\circ$ . Są to wartości ekstremalne. Całość obliczeń należy przeprowadzić tabelarycznie. Szczegółowe wskazania dotyczące obliczeń podano w przykładzie obliczeniowym w p. 13.10.

### 13.8.3. Wpływ rodzaju płata nośnego na występowanie kawitacji w wirniku pompy śmigłowej

Między depresją dynamiczną, będącą główną przyczyną występowania kawitacji, a siłą nośną płata występuje ścisła zależność i dlatego ten problem należy mieć na uwadze przy doborze profilu aerodynamicznego w czasie projektowania wirnika.

Z przedstawionych na rys. 13.12 krzywych wynika, iż wartość siły nośnej  $F_z$  zależy w przeważającym stopniu od spadku ciśnienia po stronie biernej (wypukłej) łopatki, przy czym miejsce najniższego ciśnienia znajduje się w pobliżu krawędzi wlotowej łopatki.



Rys. 13.12. Rozkład ciśnień na powierzchni płata nośnego: a) wg J. Bukowskiego, b) wg E. Fuchslochera [11]

Ponieważ siła nośna  $F_z$  jest funkcją  $C_z$  i  $w_\infty$ , można wg C. Pfeiderera ułożyć równanie określające maksymalny spadek ciśnienia na łopatkę

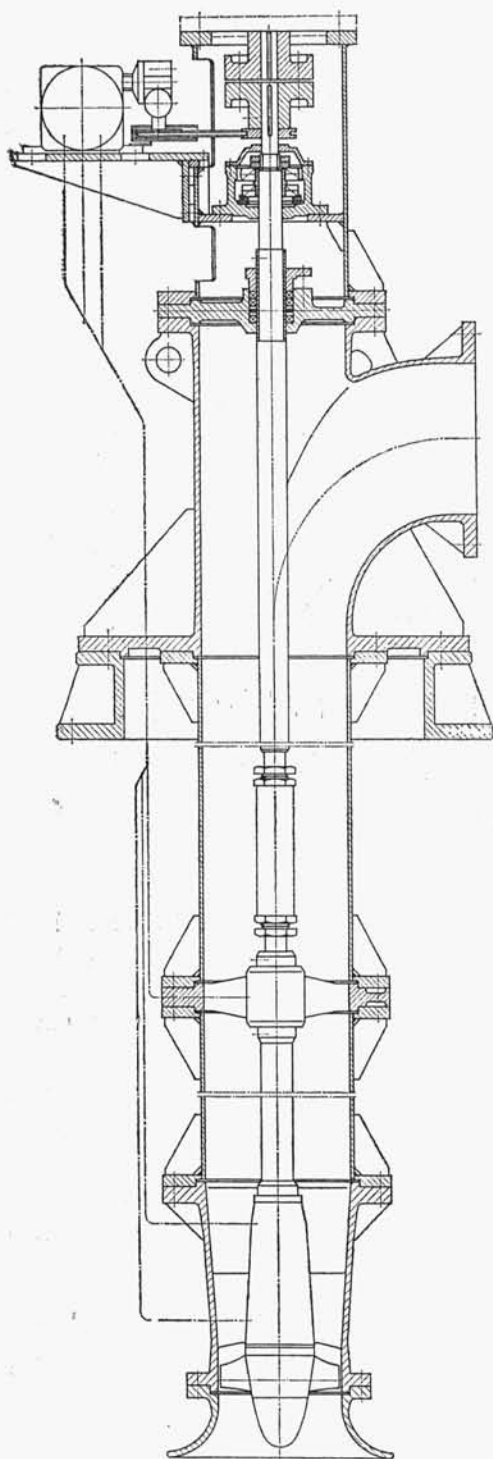
$$h_{\max} = C_z k \frac{w_\infty^2}{2g} \quad (13.75)$$

gdzie współczynnik  $k$  wynosi około 0,7 przy optymalnym dopływie (bezuderzeniowym) do wirnika.

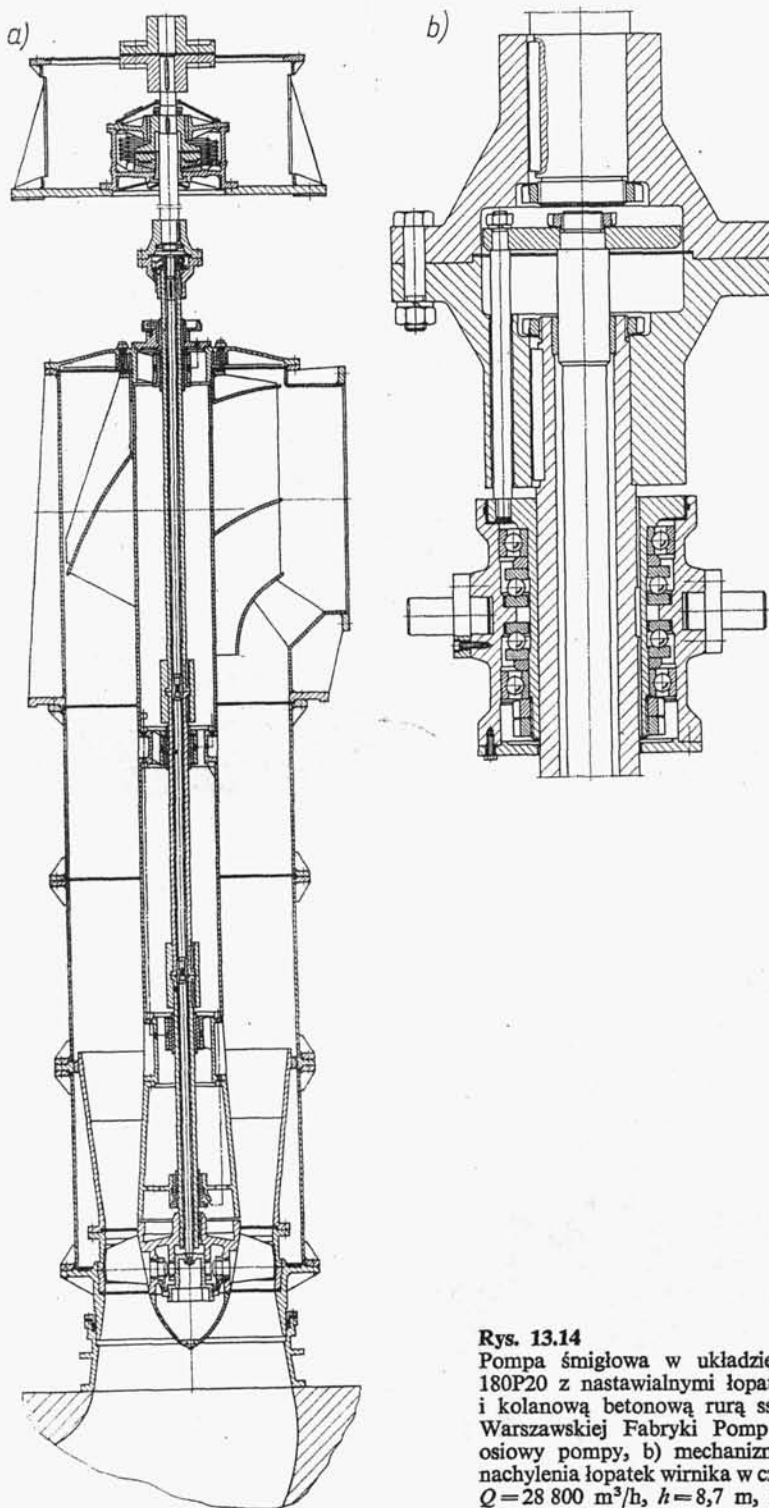
Jeżeli na wlocie występuje wstępne zawirowanie, to maksymalny spadek ciśnienia wyniesie

$$h'_{\max} = C_z k \frac{w_\infty^2}{2g} + \frac{c_{u1}^2}{2g} \quad (13.76)$$

Ze wzoru wynika, iż spadek ciśnienia jest proporcjonalny do współczynnika siły nośnej  $C_z$ . Zatem w przypadkach spodziewanej pracy pompy w warunkach bliskich kawitacji należy dobrać profile o małym współczynniku nośności  $C_z$ , zwiększając w zamian stosunek  $l/t$  w myśl zależności (13.74).



**Rys. 13.13**  
 Pompa śmigłowa w układzie pionowym typu  
 25P21 produkcji Warszawskiej Fabryki  
 Pomp;  $Q = 360 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H = 2,9 \text{ m}$ ,  
 $n = 1460 \text{ obr/min}$



**Rys. 13.14**

Pompa śmigłowa w układzie pionowym typu 180P20 z nastawialnymi łopatkami wirnika i kolanową betonową rurą ssawną produkcji Warszawskiej Fabryki Pomp: a) przekrój osiowy pompy, b) mechanizm regulacji kąta nachylenia łopatek wirnika w czasie pracy pompy;  $Q = 28\ 800\ \text{m}^3/\text{h}$ ,  $h = 8,7\ \text{m}$ ,  $n = 370\ \text{obr}/\text{min}$