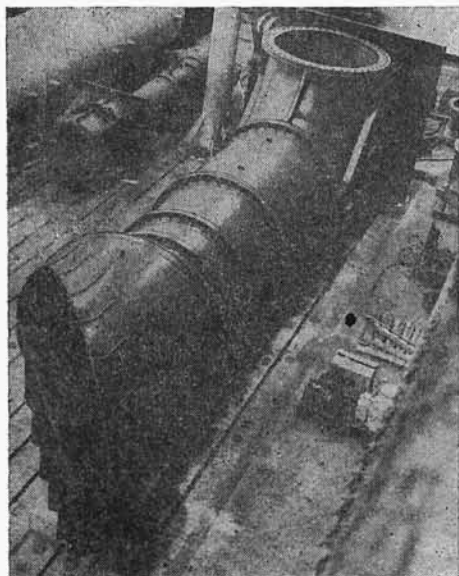


mocowany do fundamentu, zaś układ wirujący wraz z kierownicą łopatkową i wstawką kolanową jest wyjmowany przez krzywak tłoczny (kolano) do góry.

Na rys. 13.15 przedstawiono zestaw wzorników stalowych do sprawdzania prawidłowości kształtu powierzchni łopatki śmigłowej.

Przedstawiony na rys. 13.16 wirnik należy do jednej z największych pomp śmigłowych o układzie poziomym, stosowanych do osuszania polderów.



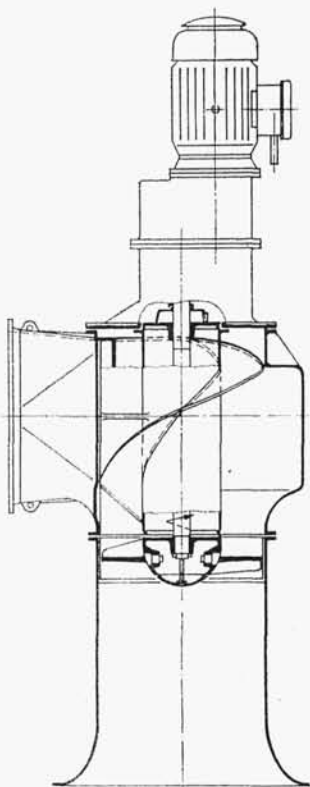
Rys. 13.17
Pompa śmigłowa o dużej wydajności firmy Allis Chalmers (widoczne łopatki kierownicze w członie wlotowym)

Pompę śmigłową o dużej wydajności przedstawiono na rys. 13.17. W dążeniu do zapewnienia równomiernego rozkładu pola prądu w przekroju dopływowym przed wirnikiem, zastosowano w członie wlotowym łopatki kierownicze. Ciekawą konstrukcję pompy śmigłowej pokazano na rys. 13.18. W miejsce łopatek kierowniczych oraz kolana wylotowego zastosowano tu kanał zbiorczy spiralny, w którym składowa obwodowa c_{u3} prędkości bezwzględnej c po wypływie z wirnika przechodzi w prędkość w spirali zbiorczej. Widoczna na rys. 13.19 kierownica kolanowa ma za zadanie zapewnienie maksymalnie równomiernego rozkładu pól prądu i ciśnień po wypływie z kolana.

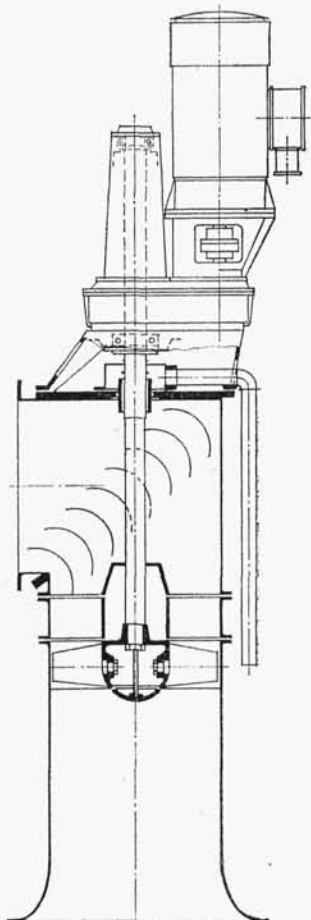
13.10. Przykład obliczenia i zaprojektowania pompy śmigłowej

Należy obliczyć pompę śmigłową na następujące parametry pracy: wydajność $Q = 1,85 \text{ m}^3/\text{s}$ i wysokość podnoszenia $H = 9,8 \text{ m}$.

Do obliczeń przyjmujemy schemat konstrukcyjny pompy składający się z wirnika i kierownicy umieszczonej za nim (rys. 13.20).



Rys. 13.18. Schemat pompy śmigłowej z kanałem zbiorczym spiralnym firmy Stork Pumps



Rys. 13.19. Schemat pompy śmigłowej z kierownicą kolanową firmy Stork Pumps

13.10.1. Obliczenie wirnika

Założymy prędkość obrotową wału pompy $n = 736$ obr/min. Wyróżnik szybko-
bieżności wirnika wyniesie

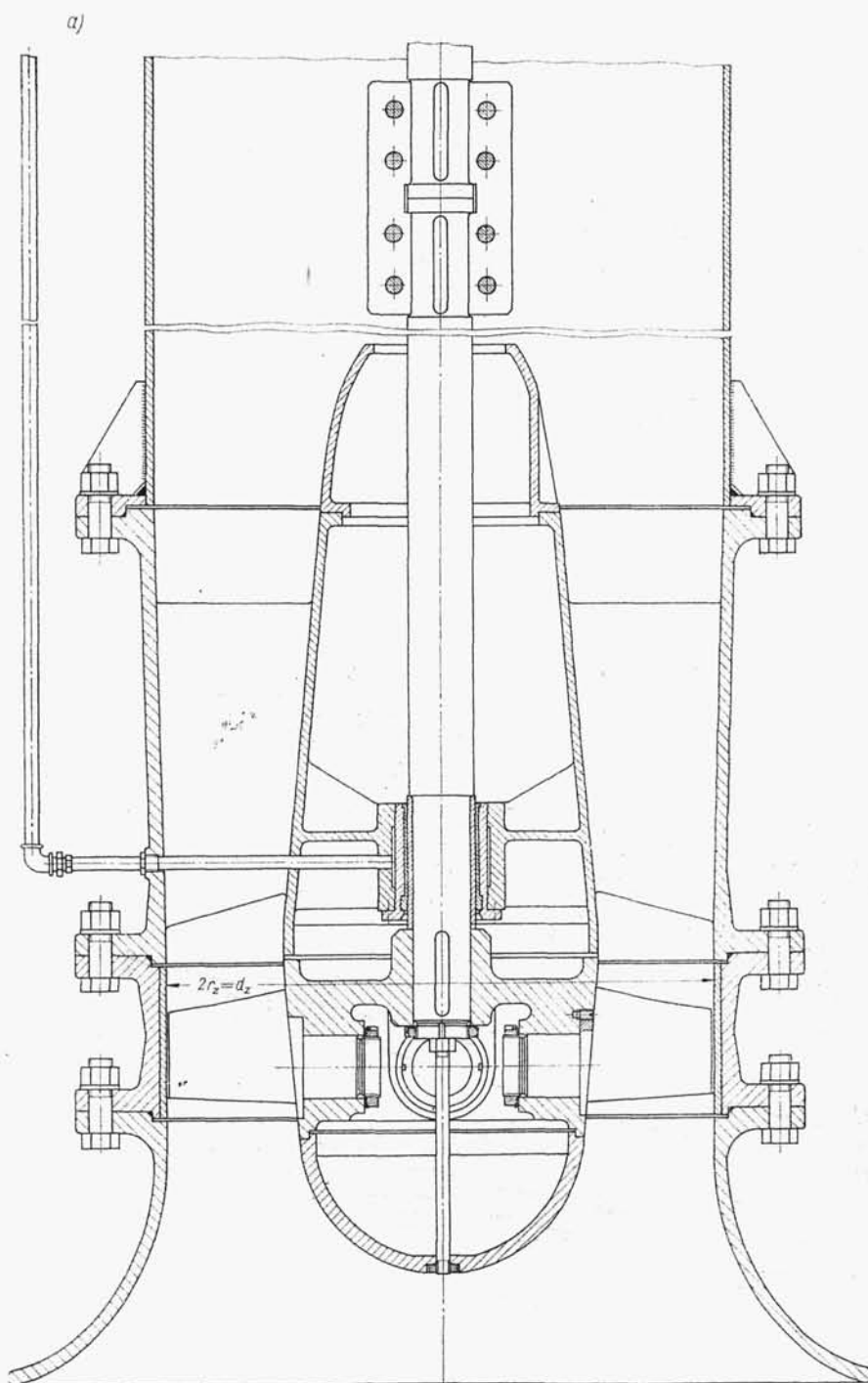
$$n_{sQ} = n \frac{Q^{1/2}}{H^{3/4}} = 736 \frac{1,85^{1/2}}{9,8^{3/4}} = 181 \text{ obr/min}$$

Zakładając sprawność objętościową pompy $\eta_v = 0,95$ (patrz rozdz. 4) otrzymamy
wydajność obliczeniową wirnika

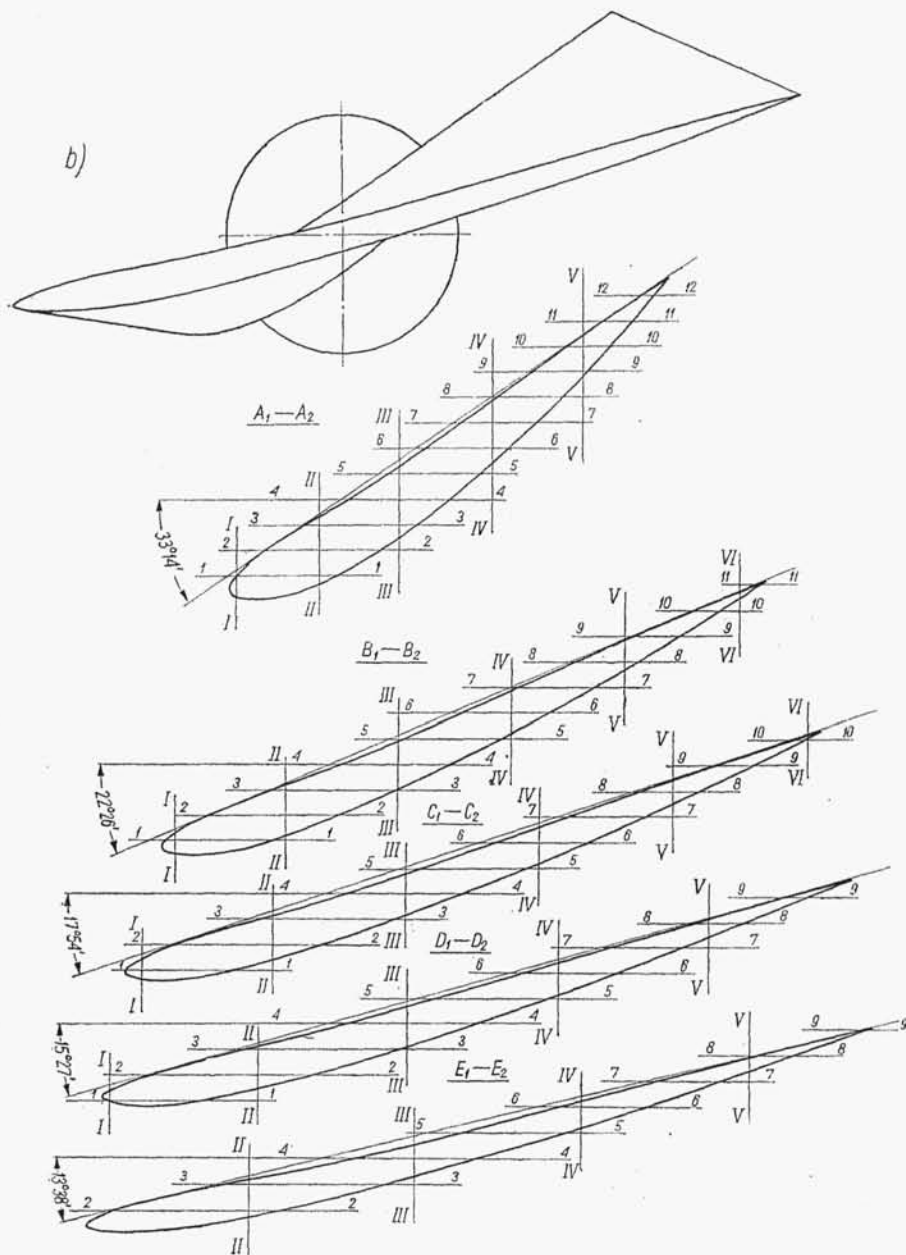
$$Q' = \frac{Q}{\eta_v} = \frac{1,81}{0,95} = 1,95 \text{ m}^3/\text{s}$$

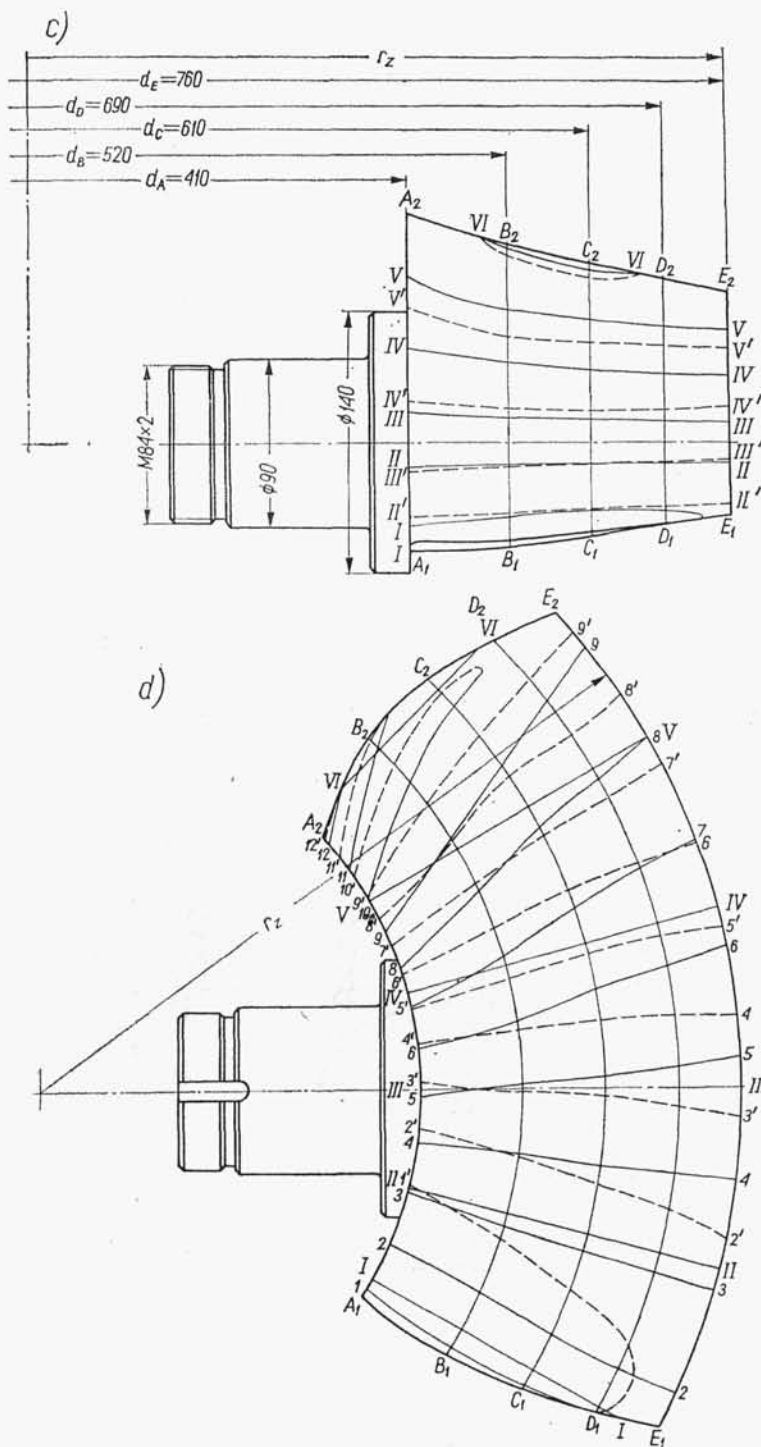
Sprawność hydrauliczną pompy przyjmiemy $\eta_h = 0,9$, stąd otrzymamy obliczeniową
wysokość podnoszenia wirnika

$$H_{th} = \frac{H}{\eta_h} = \frac{9,8}{0,9} = 10,9 \text{ m}$$

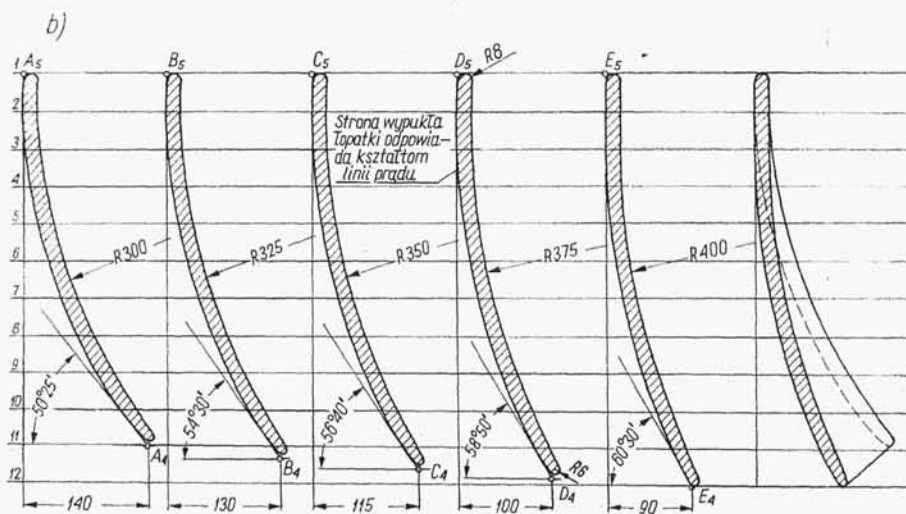
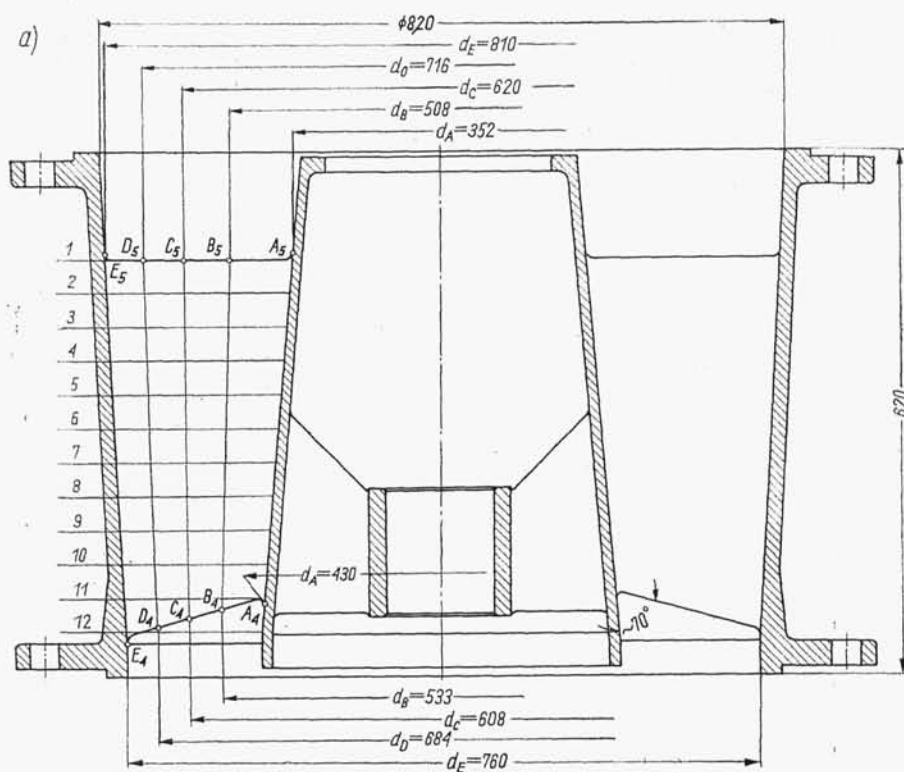


Rys. 13.20. Projekt pompy śmigłowej: a) zestawienie części hydraulicznej — przekrój południkowy





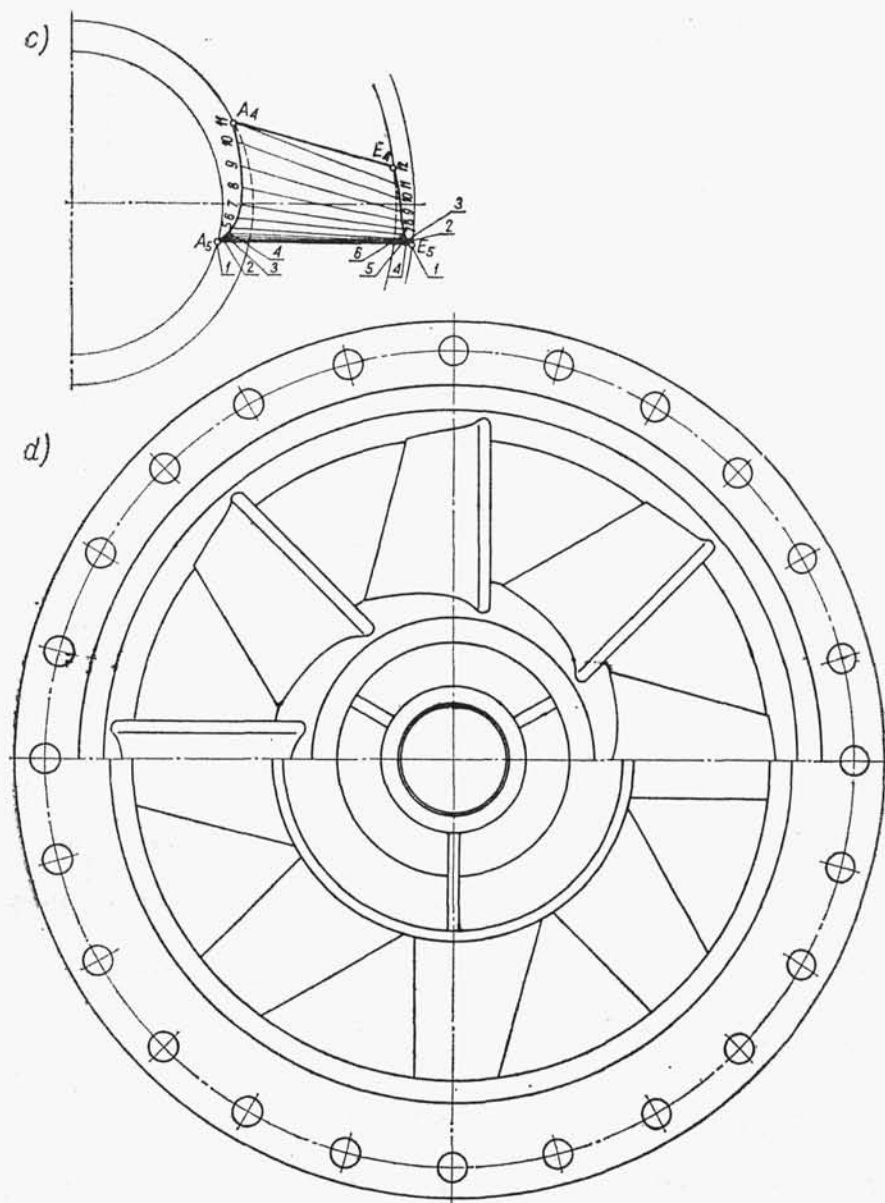
Rys. 13.20. Projekt pompy śmigłowej: b) widok łopatki i rozwinięcia przekrojów cylindrycznych, c) podział na elementarne strugi oraz przekroje modelarskie, d) widok łopatki z góry (przekroje modelarskie łopatki); parametry pracy: $Q = 1,85 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 9,8 \text{ m}$, $n = 736 \text{ obr/min}$



Całkowitą sprawność pompy przyjmiemy $\eta = 0,85$, a więc moc na wale pompy wyniesie

$$P_w = \frac{\gamma Q H \cdot 10^{-3}}{\eta} = \frac{10000 \cdot 1,85 \cdot 9,8 \cdot 10^{-3}}{0,85} = 209 \text{ kW}$$

Należy założyć współczynnik zapasu mocy silnika k oraz obliczyć minimalną jego moc



Rys. 13.21. Konstrukcja kierownicy: a) wymiary geometryczne kierownicy, b) kształt łopatek kierownicy w rozwinięciu, c) przekroje modelarskie łopatki kierownicy, d) rzut osiowy kierownicy

$$P_s = kP_w = 1,1 \cdot 209 = 230 \text{ kW}$$

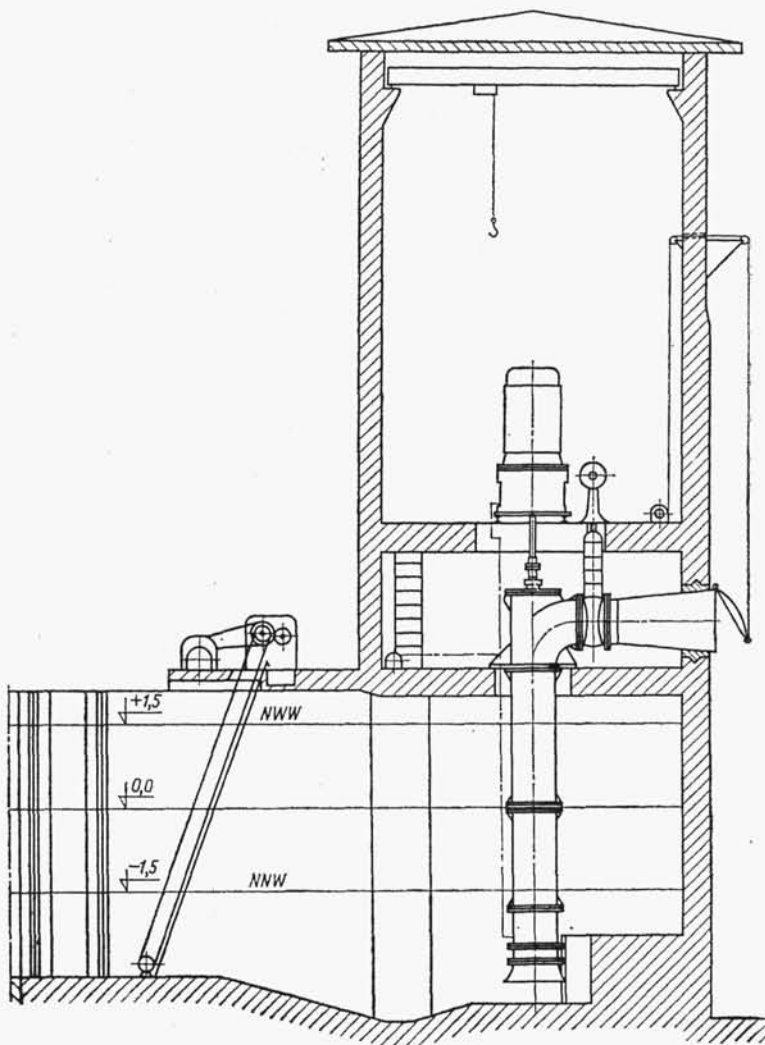
Najbliższa moc silnika seryjnego $P_s = 250 \text{ kW}$. Prędkość południkową przepływu cieczi przez wirnik obliczymy ze wzoru

$$c_m = K_{cm} \sqrt{2gH}$$

Wartość współczynnika prędkości południkowej $K_{cm} = 0,44$ odczytaliśmy z wykresu $K_{cm} = f(n_{sQ})$ na rys. 11.20 (wartość średnia między K_{cm1} i K_{cm2}).

Tablica 13.1. Wyniki obliczeń kształtu łopatek wirnika

Lp.	Wielkość	Linia prądu				
		A_1A_2	B_1B_2	C_1C_2	D_1D_2	E_1E_2
1	d , mm	410	520	610	690	760
2	$u = \frac{\pi dn}{60}$, m/s	15,80	20,10	23,50	26,59	29,20
3	$c_{u3} = \frac{gH_{th}}{u}$, m/s	6,76	5,36	4,54	4,02	3,65
4	$w_\infty^2 = c_m^2 + \left(u - \frac{c_{u3}}{2}\right)^2$, m ² /s ²	194,0	340,0	489,2	642,0	787
5	$\operatorname{tg} \beta_\infty = \frac{c_m}{u - \frac{c_{u3}}{2}}$	0,488	0,350	0,285	0,248	0,222
6	β_∞ , °	26°00'	19°20'	15°55'	13°50'	12°30'
7	λ , ° — przyjęty	1°	1°	1°	1°	1°
8	$C_z \frac{l}{t} = \frac{2gH_{th} c_m}{w_\infty^2 u \sin(\beta_\infty + \lambda)}$	0,96	0,553	0,390	0,300	0,240
9	l/t — przyjęto	0,90	0,87	0,84	0,79	0,77
10	$C_z = \left(C_z \frac{l}{t}\right) / \left(\frac{l}{t}\right)$	1,070	0,634	0,461	0,381	0,311
11	Profil przyjęty, mm	490	490	490	490	490
12	$\frac{y_{\max}}{l}$ — przyjęto	0,1100	0,0752	0,0627	0,0540	0,0466
13	$t = \frac{\pi d}{Z}$, mm	323	407	480	542	597
14	$l = t \left(\frac{l}{t}\right)$, mm	292	354	402	430	460
15	$y_{\max} = l \left(\frac{y_{\max}}{l}\right)$, mm	29,2	26,6	25,2	23,2	21,4
16	y_{\max} skorygowany, mm	29	28	25,5	23,5	22
17	$\frac{y_{\max}}{l}$ skorygowany	0,098	0,0792	0,0634	0,0530	0,0470
18	Współczynnik zmiany grubości profilu	1,022	0,82	0,661	0,552	0,489
19	$\operatorname{tg} \lambda = 0,012 + 0,06 \frac{y_{\max}}{l}$	0,0191	0,0165	0,0158	0,0152	0,0148
20	λ , °	1°06'	0°57'	0°55'	0°52'	0°51'
21	$\delta = \frac{1}{0,092} \left(C_z - 4,4 \frac{y_{\max}}{l}\right)$, °	7°14'	3°06'	1°59'	1°37'	1°08'
22	$\beta_c = \beta_\infty + \delta$, °	33°14'	22°26'	17°54'	15°27'	13°38'



Rys. 13.22. Projekt koncepcyjny pompowni z zastosowaniem zaprojektowanych pomp

Po podstawieniu wartości liczbowych otrzymamy

$$c_m = 0,44 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 9,8} = 6,1 \text{ m/s}$$

Swobodny przekrój przepływu cieczy przez wirnik wyniesie

$$A_m = \frac{Q'}{c_m} = \frac{1,95}{6,1} = 0,320 \text{ m}^2$$

Zakładamy stosunek średnicy piasty do zewnętrznej średnicy wirnika $d_p/d_z = 0,54$.

Ponieważ swobodny przekrój przepływu cieczy przez wirnik wynosi

$$A_m = \frac{\pi}{4} [d_z^2 - (0,54d_z)^2] = 0,556d_z^2 = 0,320 \text{ m}^2$$

Tablica 13.2. Wyniki obliczeń kierownicy łopatkowej

Lp.	Wielkość	Linia prądu				
		$A_4 A_5$	$B_4 B_5$	$C_4 C_5$	$D_4 D_5$	$E_4 E_5$
1	d_4 , mm — odczytano z rys. 13.21 a	430	533	608	684	760
2	$c_{m3} = c_{m2} \eta_V$, m/s	5,79	5,79	5,79	5,79	5,79
3	$c_{u3} = \frac{g H_{th}}{u_4}$, m/s	6,45	5,23	4,54	4,06	3,65
4	$\operatorname{tg} \alpha_3 = \frac{c_{m3}}{c_{u3}}$	0,898	1,108	1,275	1,440	1,590
5	φ_4 — założono	1,25	1,20	1,15	1,10	1,05
6	κ — założono	1,1	1,08	1,06	1,04	1,02
7	$\operatorname{tg} \alpha_4 = \varphi_4 \kappa \operatorname{tg} \alpha_3$	1,23	1,43	1,54	1,62	1,69
8	α_4 , °	51°00'	55°02'	57°00'	58°19'	59°23'
9	$t_4 = \frac{\pi d_4}{Z}$, mm	169	209	239	269	298
10	s_4 , mm	24	24	24	24	24
11	$s_{u4} = \frac{s_4}{\sin \alpha_4}$, mm	31,0	29,3	28,6	28,2	27,8
12	$\varphi_4 = \frac{t_4}{t_4 - s_{u4}}$	1,23	1,17	1,14	1,12	1,10
13	$\operatorname{tg} \alpha_4$ — skorygowany	1,21	1,40	1,52	1,65	1,77
14	α_4 , ° — skorygowany	50°25'	54°30'	56°40'	58°47'	60°33'
15	α_4 , ° — przyjęto	90°	90°	90°	90°	90°

stad średnica zewnętrzna wirnika wyniesie

$$d_z = \sqrt{\frac{0,320}{0,556}} = 0,758 \text{ m} \approx 760 \text{ mm}$$

Średnica piasty jest więc równa

$$d_p = 0,54 \cdot 0,760 = 0,410 \text{ m}$$

Obliczenie i zaprojektowanie łopatek wirnika przeprowadzimy według metody aerodynamicznej. W tym celu swobodny przekrój przepływu cieczy przez wirnik dzielimy na cztery elementarne wirniki o jednakowym natężeniu przepływu, oddzie-

lone walcowymi powierzchniami prądu (rys. 13.20c i d). W rzucie południkowym liniami przecięcia płaszczyzny południkowej z powierzchniami prądu są linie prądu $A_1A_2, B_1B_2, \dots, E_1E_2$. Zakładamy liczbę łopatek wirnika $Z=4$. Obliczenie łopatek wirnika podano w tabl. 13.1.

Na rys. 13.20b przedstawiono rozwinięcia profilów łopatki w przekrojach $A_1A_2, B_1B_2, \dots, E_1E_2$. Przecięcia modelarskie uzyskano przecinając łopatkę płaszczyznami $I, 2, \dots$, (rys. 13.20b) prostopadłymi do osi wirnika i wyznaczając ślady przecięcia na rys. 13.20d. Następnie przecięto łopatkę płaszczyznami południkowymi I, II, \dots (rys. 13.20d) przechodzącymi przez oś wału. Ślady przecięć odniesiono na rys. 13.20c. W obu przypadkach ślady niewidoczne wykreślono linią przerywaną.

13.10.2. Obliczenie kształtu łopatek kierownicy

Zakładamy liczbę łopatek kierownicy $Z=8$. Wymiary geometryczne kierownicy przedstawiono na rys. 13.21a. Przekrój przepływowy kierownicy podzielono na cztery elementarne pola (strugi) o jednakowej powierzchni.

Wyniki obliczeń kierownicy metodą jednowymiarową podano w tabl. 13.2. Przyjęto łopatki o stałej grubości o krzywiznie kołowej. Promienie krzywizny łopatek podano na rys. 13.21b. Dla sprawdzenia poprawności powierzchni łopatek przeprowadzono płaszczyzny $I, 2, 3, \dots$ (rys. 13.21a) prostopadle do osi wirnika. Ślady przecięcia łopatki płaszczyznami tnącymi są widoczne na rys. 13.21c. Rzut osiowy kierownicy przedstawia rys. 13.21d.

Koncepcję pompowni z zastosowaniem pomp obliczonych w przykładzie pokazano na rys. 13.22.