

Jerzy ROKITA, Bogusław HUPA

BADANIA POMP O SWOBODNYM PRZEPŁYWIE Z WIRNIKIEM
WYSUNIĘTYM W PRZESTRZEŃ BEZŁOPATKOWĄ

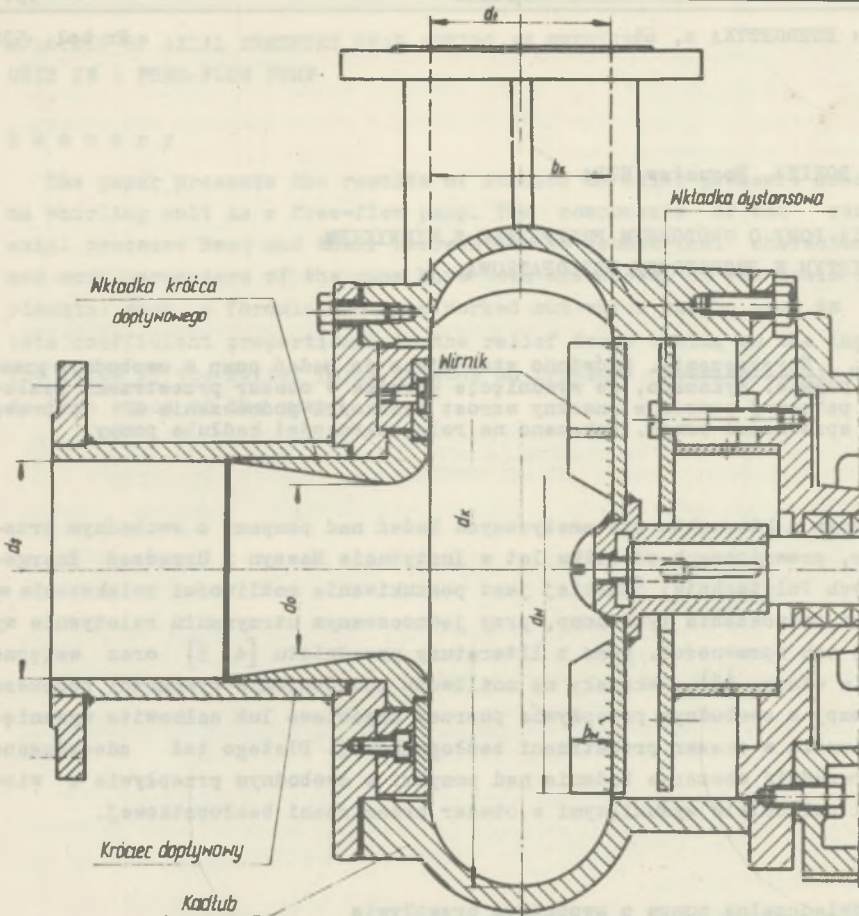
Streszczenie. Omówiono stanowisko do badań pomp o swobodnym przepływie. Wykazano, że wysunięcie wirnika w obszar przestrzeni bezłopatkowej powoduje znaczny wzrost wysokości podnoszenia i poprawę sprawności pompy. Wskazano na rolę szerokości kadłuba pompy.

Jednym z kierunków systematycznych badań nad pompami o swobodnym przepływie, prowadzonych od kilku lat w Instytucie Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Śląskiej jest poszukiwanie możliwości zwiększenia wysokości podnoszenia tych pomp, przy jednoczesnym utrzymaniu relatywnie wysokiej ich sprawności. Dane z literatury przedmiotu [4, 5] oraz wstępne badania własne [6], wskazały na możliwość podniesienia wysokości podnoszenia pompy o swobodnym przepływie poprzez częściowe lub całkowite wysunięcie wirnika w obszar przestrzeni bezłopatkowej. Dlatego też zdecydowano przeprowadzić obszerne badania nad pompami o swobodnym przepływie z wirnikami całkowicie wysuniętymi w obszar przestrzeni bezłopatkowej.

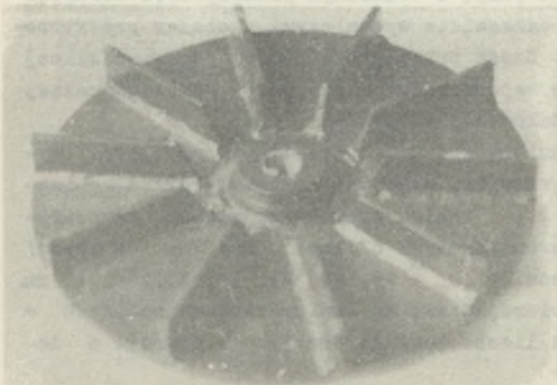
1. Doświadczalna pompa o swobodnym przepływie

Dla celów badań zmodernizowano pompę o swobodnym przepływie, stwarzając możliwość jej pracy z wirnikami całkowicie wysuniętymi w obszar przestrzeni bezłopatkowej (odmiana SEKA). Część przepływową pompy doświadczalnej przedstawiono na rysunku 1. Jako wspornik łożyskowy pompy doświadczalnej wykorzystano wspornik pompy produkowanej seryjnie.

Ponieważ oczekiwano, że zasadniczy wpływ na parametry pracy pompy wywierać będzie szerokość łopatek wirnika, wykonano zestaw wirników wymienionych konstrukcji spawanej (rys. 2), a takich samych średnicach zewnętrznych $d_w = 262$ mm, z łopatkami promieniowymi o liczbie $z = 10$ i grubości $s = 6$ mm. Szerokości łopatek wynosiły $b_w = 15, 20, 25, 30, 35, 40$ i 45 mm. Łopatki promieniowe stosowano opierając się na stwierdzeniach podanych w pracach [1, 4, 5], natomiast ich liczba została przyjęta w oparciu o doświadczenia własne [3].



Rys. 1. Część przepływowa pompy doświadczalnej z oznaczeniami głównych geometrycznych cech konstrukcyjnych



Rys. 2. Wirnik wymienny ($b_w = 35$ mm)

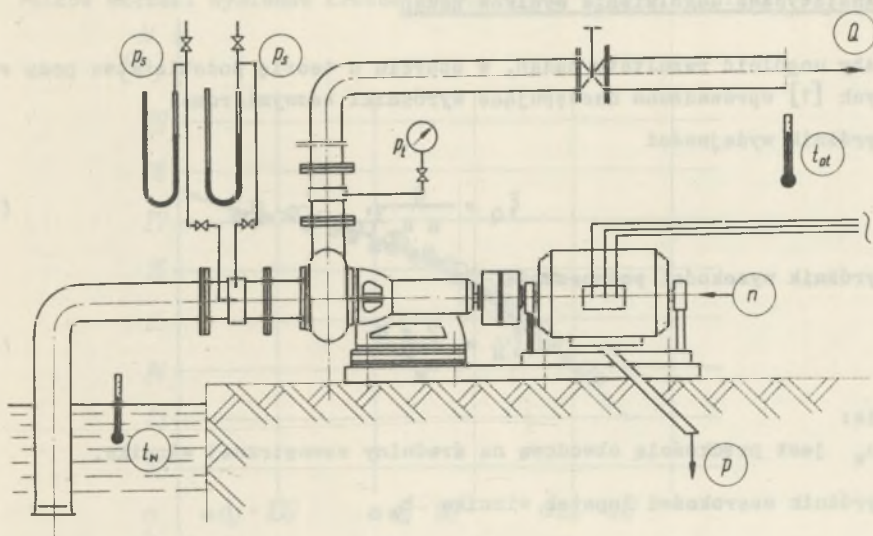
Do badań przygotowano dwa wymienne kadłuby z kanałami zbiorczymi o stałych przekrojach i stycznie pionowo usytuowanych króćcach tłocznych. Szerokości kadłubów b_k równe średnicom króćców tłocznych d_t wynosiły $b_k = 80$ i 100 mm, a ich średnice wewnętrzne odpowiednio $d_k = 350$ i 370 mm.

Aby uzyskać możliwość prowadzenia badań przy róż-

nych średnicach dopływu kadłuba d_0 , zastosowano wkładki wymienne o średnicach $d_0 = 105, 115$ i 125 mm.

2. Stanowisko badawcze i dokładność pomiarów

Pompę doświadczalną zainstalowano na stanowisku badawczym, którego schemat zaprezentowano na rysunku 3. Bliższe omówienie stanowiska oraz sposobu pomiaru poszczególnych wielkości zawarte jest w pracach [3, 4].



Rys. 3. Schemat stanowiska pomiarowego

Pompę napędzano asynchronicznym silnikiem elektrycznym o prędkości obrotowej $n \approx 1460 \text{ min}^{-1}$. Stosowanym czynnikiem roboczym była czysta woda o temperaturze około $t \approx 15^\circ\text{C}$. Dokładność prowadzonych pomiarów charakteryzują niżej przytoczone błędy względne poszczególnych wielkości odnoszących się do jednego z bardziej niekorzystnych przypadków:

- wydajność Q	$\varepsilon_Q = \pm 1\%$,
- wysokość podnoszenia H	$\varepsilon_H = \pm 1,1\%$,
- moc użyteczna pompy N_u	$\varepsilon_{N_u} = \pm 1,49\%$,
- moc na wale pompy N	$\varepsilon_N = \pm 1,4\%$,
- sprawność η	$\varepsilon_\eta = \pm 2,04\%$,
- prędkość obrotowa n	$\varepsilon_n = \pm 1\%$.

Ze względu na poślizg silnika elektrycznego napędzającego, wydajność i wysokość podnoszenia sprawdzono zgodnie z prawami podobieństwa [1] do stałej prędkości obrotowej $n = 1460 \text{ min}^{-1}$, przy czym dokładność określenia parametrów zredukowanych odpowiednio wynosi:

- wydajność zredukowana do $n = \text{const}$

$$Q_{zr} \quad \varepsilon_{Q_{zr}} = \pm 1,41\%$$

- wysokość podnoszenia zredukowana do $n = \text{const}$

$$H_{zr} \quad \varepsilon_{H_{zr}} = \pm 2,26\%$$

3. Analityczne uogólnienie wyników badań

Aby uogólnić rezultaty badań, w oparciu o teorię podobieństwa pomp wirowych [1] wprowadzono następujące wyróżniki bezwymiarowe:

- wyróżnik wydajności

$$\xi_Q = \frac{Q}{n d_w^3}, \quad (1)$$

- wyróżnik wysokości podnoszenia

$$\xi_H = \frac{2 g H}{u_w^2}, \quad (2)$$

gdzie:

u_w jest prędkością obwodową na średnicy zewnętrznej wirnika,

- wyróżnik szerokości łopatek wirnika b_w

$$\xi_{bw} = \frac{b_w}{d_w} \quad (3)$$

- wyróżnik szerokości kadłuba b_k

$$\xi_{bk} = \frac{b_k}{d_w} \quad (4)$$

- wyróżnik średnicy dopływu kadłuba d_o

$$\xi_{do} = \frac{d_o}{d_w} \quad (5)$$

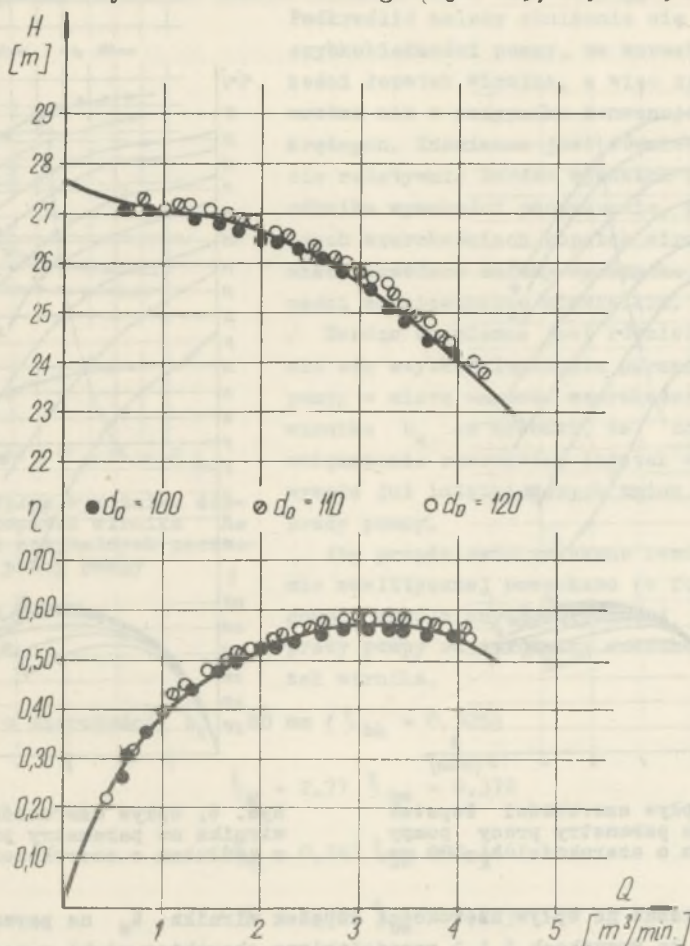
Ponieważ badania prowadzono przy praktycznie stałej umownej liczbie Reynoldsa

$$Re = \frac{n d_w^2}{\nu} \approx 1,46 \cdot 10^6, \quad (6)$$

gdzie ν jest współczynnikiem lepkości kinetycznej pompowanej cieczy, a wiadomo [4, 6], że przy $Re > 0,9 \cdot 10^6$ parametry pracy pomp o swobodnym przepływie podlegają ściśle prawom podobieństwa, przeto rezultaty badań będą dotyczyć wszystkich innych geometrycznie podobnych pomp.

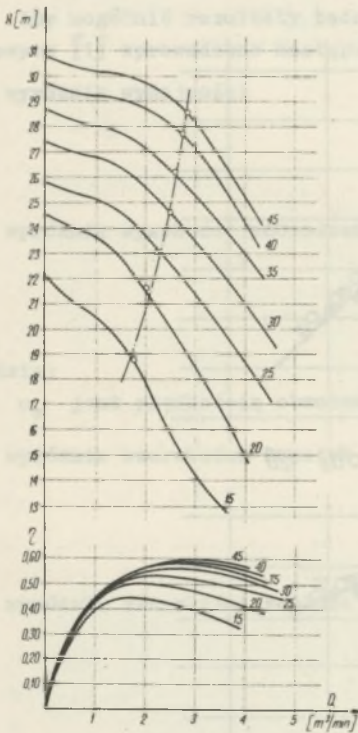
4. Wpływ szerokości łopatek wirnika na parametry pracy pompy

Badania nad wpływem szerokości łopatek wirnika b_w na parametry pracy pompy o swobodnym przepływie przeprowadzono niezależnie dla każdego z ka-
dłubów $b_k = 80$ i 100 mm, uwzględniając w przypadku każdego z stosowanych wirników wkładki wymienne króćca ssawnego ($d_o = 105, 115$ i 125 mm).

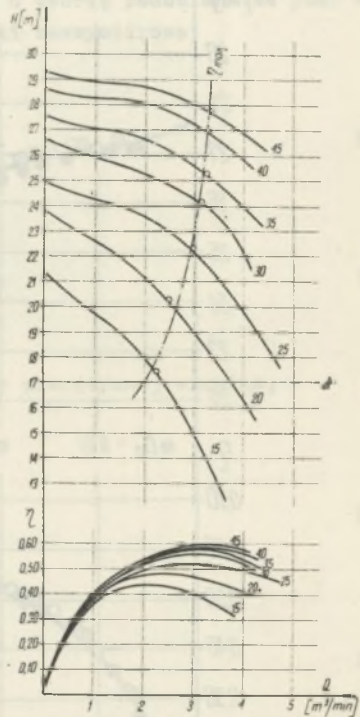


Rys. 4. Wpływ średnicy dopływu kałuża na parametry pracy pompy ($b_w = 35$ mm, $b_k = 100$ mm)

Porównanie charakterystyk przepływu i sprawności pompy przy różnych średnicach dopływu kadłuba d_0 wskazało na słabo wyczuwalny wpływ średnicy d_0 na parametry pracy pompy. W miarę wzrostu średnicy d_0 stwierdzono znikomy wzrost wysokości podnoszenia i sprawności pompy, praktycznie możliwy do pominięcia. Dla zilustrowania tego stwierdzenia na rysunku 4 przedstawiono charakterystykę pompy w przypadku wykorzystania wirnika z łopatkami o szerokości $b_w = 35$ mm i kadłuba o szerokości $b_k = 100$ mm. Dlatego też w dalszych rozważaniach zdecydowano pominąć wpływ średnicy dopływu kadłuba d_0 na zmianę charakterystyk pompy i wykreślono charakterystyki przepływu i sprawności pompy, traktując dane pomiarowe otrzymane przy różnych średnicach d_0 jako jedną zbiorowość danych słuszną dla $\xi_{d_0} = 0,40$ do $0,48$.



Rys. 5. Wpływ szerokości łopatek wirnika na parametry pracy pompy z kadłubem o szerokości $b_k = 80$ mm

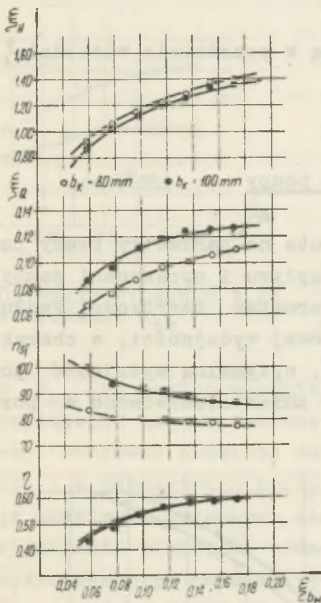


Rys. 6. Wpływ szerokości łopatek wirnika na parametry pracy pompy z kadłubem o szerokości $b_k = 100$ mm

Aby wskazać na wpływ szerokości łopatek wirnika b_w na parametry pracy pompy, na rysunkach 5 i 6 przedstawiono charakterystyki przepływu i sprawności pompy wyznaczone odpowiednio przy $b_k = 80$ i 100 mm dla różnych szerokości łopatek wirnika. W obu przypadkach ze wzrostem szerokości ło-

pattek wirnika charakterystyki przepływu i sprawności przesuwają się w stronę wyższych wartości, a optymalne parametry pracy pompy zwiększają się. Charakter wpływu szerokości łopatek jest podobny jak i w przypadku pompy z wirnikiem całkowicie wsuniętym w wnękę kadłuba [3, 4], natomiast znamieną jest zdecydowana zmiana optymalnej wydajności pompy.

W celu pewnego podsumowania i uogólnienia uzyskanych rezultatów, w oparciu o uzyskane wyniki określono bezwymiarowe wyróżniki: wysokości podnoszenia ξ_H , wydajności ξ_Q i szybkobieżności pompy n_{sf} odpowiadające każdorazowo optymalnym parametrom pracy pompy i przedstawiono je w zależności od wyróżnika szerokości łopatek wirnika ξ_{bw} na rysunku 7.



Rys. 7. Wpływ wyróżnika szerokości łopatek wirnika na wyróżniki optymalnych parametrów pracy pompy

Podkreślić należy obniżanie się wyróżnika szybkobieżności pompy, ze wzrostem szerokości łopatek wirnika, a więc zjawisko odwrotne niż w przypadku konwencjonalnych pomp krętnych. Znamienne jest również osiągnięcie relatywnie bardzo wysokich wartości wyróżnika wysokości podnoszenia, przy większych szerokościach łopatek wirnika. Natomiast wywołane zmiany wyróżnika szybkobieżności są stosunkowo niewielkie.

Bardzo znamienne jest również zmniejszanie się szybkości wzrostu parametrów pracy pompy w miarę wzrostu szerokości łopatek wirnika b_w , co dowodzi, że znaczniejsze zwiększenie szerokości łopatek wirnika nie wywoła już istotniejszych zmian parametrów pracy pompy.

Aby przedstawić uzyskane rezultaty w formie analitycznej poszukano (w formie potęgowej) uogólnionych zależności parametrów pracy pompy od wyróżnika szerokości łopatek wirnika.

- kadłub o szerokości $b_k = 80$ mm ($\xi_{bk} = 0,305$)

$$\xi_H = 2,71 \xi_{bw} = 0,372 \quad (7)$$

$$\xi_Q = 0,243 \xi_{bw} = 0,446 \quad (8)$$

$$\eta = 0,926 \xi_{bw} = 0,243 \quad (9)$$

- kadłub o szerokości $b_k = 100 \text{ mm}$ ($\xi_{bk} = 0,382$)

$$\xi_H = 3,71 \xi_{bw} \quad 0,416 \quad (10)$$

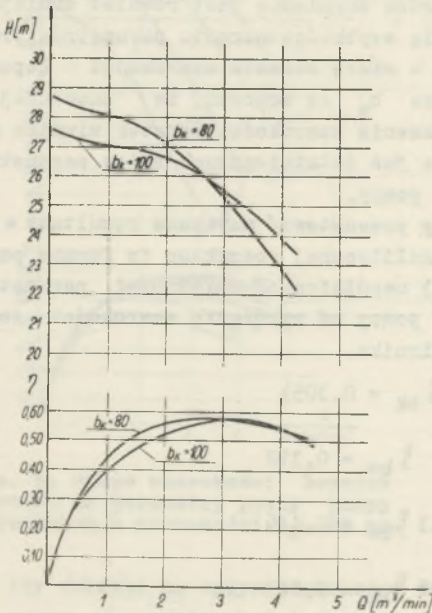
$$\xi_Q = 0,252 \xi_{bw} \quad 0,370 \quad (11)$$

$$\eta = 0,937 \xi_{bw} \quad 0,279 \quad (12)$$

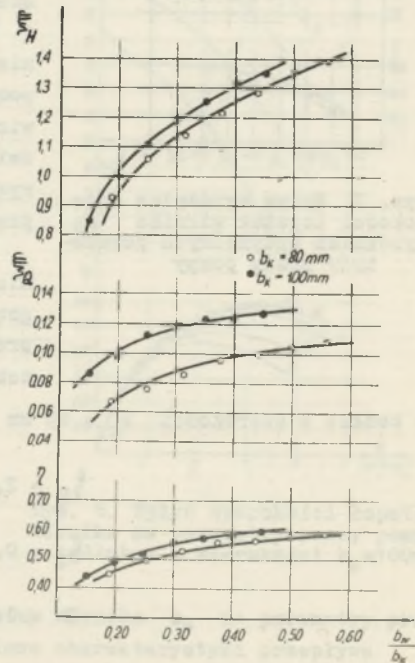
Przytoczone zależności empiryczne obowiązują w przedziale wartości ξ_{bw} od 0,05 do 0,18.

5. Wpływ szerokości kadłuba na parametry pracy pompy

W celu zilustrowania wpływu szerokości kadłuba na parametry pracy pompy, na rysunku 8 porównano charakterystyki przepływu i sprawności pompy o takim samym wirniku. Można zauważyć, że ze wzrostem szerokości kadłuba pompy maleje jej wysokość podnoszenia przy zerowej wydajności, a charakterystyka przepływu pompy staje się mniej stroma, optymalna wydajność pompy wyraźnie zwiększa się. Identyczny charakter zmian obserwowano w pozostałych przypadkach.



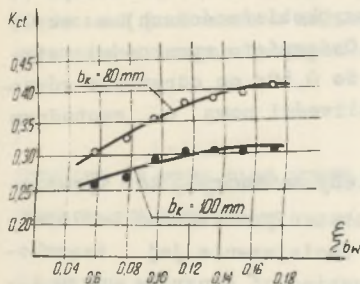
Rys. 8. Wpływ szerokości kadłuba na charakterystyki pompy z wirnikiem o szerokości łopatek $b_w = 35 \text{ mm}$.



Rys. 9. Wpływ stosunku b_w/b_k na wyróżniki optymalnych parametrów pracy pompy

Aby bliżej ocenić wpływ szerokości kadłuba na parametry pracy pompy, na rysunku 9 przedstawiono zależności $\xi_H = f(b_w/b_k)$, $\xi_Q = f(b_w/b_k)$ i $\eta = f(b_w/b_k)$, odnoszące się do parametrów optymalnych pompy, odpowiednio dla obu stosowanych w badaniach kadłubów. Jak wynika z tych danych charakter przebiegu krzywych odpowiadających obu kadłubom jest bardzo do siebie zbliżony, jednakże każdorazowo w przypadku kadłuba o większej szerokości o-

siągnięto korzystniejsze rezultaty, a w szczególności w przypadku szerszego kadłuba, bardzo znacznie wzrasta optymalna wydajność pompy. Ponadto na rysunku 10 przedstawiono zależność $K_{ct} = f(b_w/b_k)$, gdzie:



Rys. 10. Wpływ stosunku b_w/b_k na wyróżnik K_{ct}

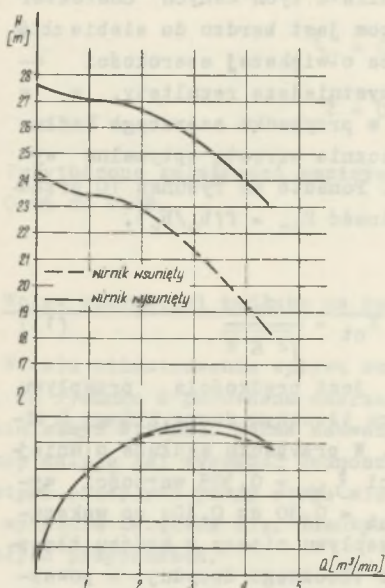
wyróżnika K_{ct} są bardzo wysokie i wynoszą $K_{ct} = 0,30$ do $0,40$; co wskazuje na relatywnie bardzo znaczne prędkości przepływu cieczy w króćcu tłocznym pompy. Ponieważ przekrój dopływowy króćca tłocznego decyduje w poważnym stopniu o parametrach pracy pompy, przeto jego nadmierne zmniejszenie powoduje dławienie przepływu cieczy i wzrost strat hydraulicznych (zwłaszcza w zakresie większych wydajności), co wprost wynika z rysunku 8. Tak więc korzystniejszym okazał się kadłub o względnie większej szerokości $\xi_{bk} = 0,382$.

Ograniczenie zakresu badań tylko do dwóch kadłubów nie pozwoliło na określenie optymalnej wartości wyróżnika szerokości kadłuba, jednak należy przypuszczać analogicznie jak i w przypadku pomp z wirnikiem całkowicie wsuniętym w wnękę kadłuba [3, 4], że szerokość taka istnieje. Przewiduje się w przyszłości przeprowadzenie szerszych badań w tym zakresie.

6. Podsumowanie wyników badań

Porównanie parametrów pracy pomp o swobodnym przepływie z wirnikiem całkowicie wysuniętym w przestrzeń bezłopatkową i wsuniętym we wnękę kadłuba [3, 4] wskazuje, że wysunięcie wirnika powoduje bardzo wyraźny wzrost wysokości podnoszenia pompy w granicach kilkunastu procent oraz niewielki przyrost jej sprawności (rys. 11). Świadczy to, że efekt spiętrzenia na obwodzie zewnętrznym wirnika, wywołany przez oddziaływanie obrzeża wnęki w przypadku całkowitego wsunięcia wirnika powoduje straty energii strumienia krążącego cieczy. Należy jednak podkreślić, że w przypadku wirnika cał-

kowicie wysuniętego w wnękę kadłuba nie wycięto łopatek w okolicy piasty, co również najprawdopodobniej niekorzystnie wpłynęło na parametry pracy pompy.



Rys. 11. Porównanie charakterystyk przepływu i sprawności pompy o swobodnym przepływie z wirnikiem całkowicie wsuniętym i wysuniętym ($b_w = 35$ mm, $b_k = 100$ mm)

Uzyskane wyróżniki wysokości podnoszenia sięgające $\xi_H = 1,3$ do $1,4$ są bardzo wysokie i przewyższają wyróżniki odpowiadające konwencjonalnym pompom odśrodkowym (o analogicznych szybkoobrotowościach) o około jedną trzecią. Osiągnięte sprawności sięgają $\eta \approx 0,55$ do $0,60$; co odpowiada górnemu pułapowi możliwości pomp o swobodnym przepływie.

Jednakże należy zaznaczyć, że wysunięcie wirnika w obszar przestrzeni bezłopatkowej powoduje zmniejszenie jej szerokości i może przyspieszyć erozyjne zużycie łopatek wirnika na jego średnicy zewnętrznej. Dlatego też rekomendowana szerokość łopatek wirnika powinna być zawarta w granicach $b_w = (0,3 \text{ do } 0,4) b_k$, co zapewni wystarczającą szerokość przestrzeni bezłopatkowej.

Pompy o swobodnym przepływie z całkowicie wysuniętym wirnikiem są szczególnie przeznaczone do pompowania mieszanin cieczy z drobno i średnioziarnistymi ciałami stałymi oraz wtrąceniami włóknistymi, jak również cieczy lepkich i zawiesistych.

LITERATURA

- [1] Łazarkiewicz Sz., Trskolański A.T.: Pompy wirowe, WNT, Warszawa 1973.
- [2] Rokita J.: Wpływ geometrycznych cech konstrukcyjnych na parametry pracy pomp o swobodnym przepływie. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Energetyka, z. 53, Gliwice 1975.
- [3] Rokita J.: Wpływ szerokości łopatek wirnika i kadłuba na parametry pracy pompy o swobodnym przepływie. Prace Instytutu Maszyn Przepływowych PAN, Gdańsk 1975.
- [4] Rüttschi C.: Die Arbeitsweise von Freistrompumpen, Schweizerische Bauzeitung, Heft 32, 1968.
- [5] Trskolański A.T.: Pompy odśrodkowe o przepływie swobodnym. Przegląd Mechaniczny nr 16, 1969.
- [6] Zarzycki M., Rokita J., Morzyński St.: Badania pompy o swobodnym przepływie produkowanej seryjnie, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo z. 64. Gliwice 1974.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАСОСОВ СВОБОДНОГО ТЕЧЕНИЯ
С РОТОРОМ ВЫДВИНУТЫМ В БЕЗЛОПАСТНОЕ ПРОСТРАНСТВО

Р е з ю м е

Обсуждено испытательный стенд для исследований насосов свободного течения.

Показано, что выдвинутый ротор в безлопастном пространстве влияет на значительный рост высоты подъема и улучшение работоспособности насоса. Указано на значение ширины корпуса насоса.

STUDIES OF FREE-FLOW PUMPS WITH IMPELLER PROTRUDING
INTO BLADE-FREE SPACE

S u m m a r y

The research station for studying free-flow pumps has been discussed. It has been shown that the protrusion of an impeller into the blade-free space makes for a considerable increase of lifting height and higher pump efficiency. The importance of the width of pump casing has also been stressed.