

Jerzy ROKITA, Edward DUBIEL,
Witold STEMPKOWSKI

BADANIA NAD ZASTOSOWANIEM ŁOPATEK PROMIENIOWYCH
W WIRNIKACH POMP KRĘTNYCH ODŚRODKOWYCH

Streszczenie: Przytoczono wyniki badań eksperymentalnych wirników pomp krętnych odśrodkowych z łopatkami promieniowymi. Wykazano, że przy liczbie promieniowych łopatek $z = 10$ osiąga się korzystne parametry pracy, uzasadniające stosowanie łopatek promieniowych.

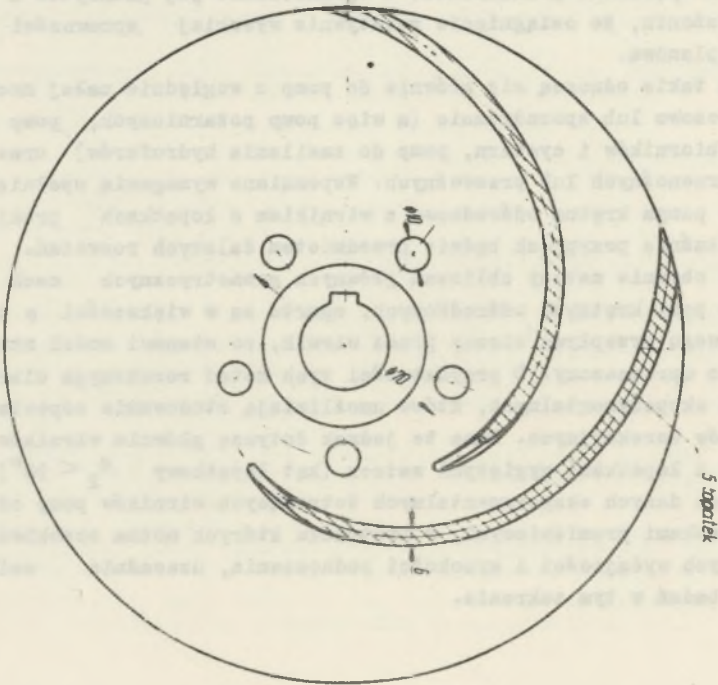
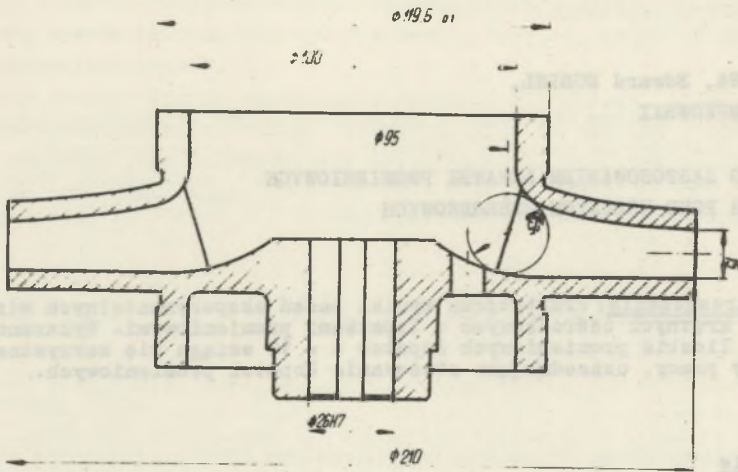
Wprowadzenie

W niektórych przypadkach wykorzystywania pomp krętnych odśrodkowych, najważniejszym zagadnieniem jest maksymalizacja parametrów pracy pompy (wydajności i wysokości podnoszenia) i ograniczenie jej gabarytów i ciężaru, przy założeniu, że osiągnięcie relatywnie wysokiej sprawności jest sprawą drugoplanową.

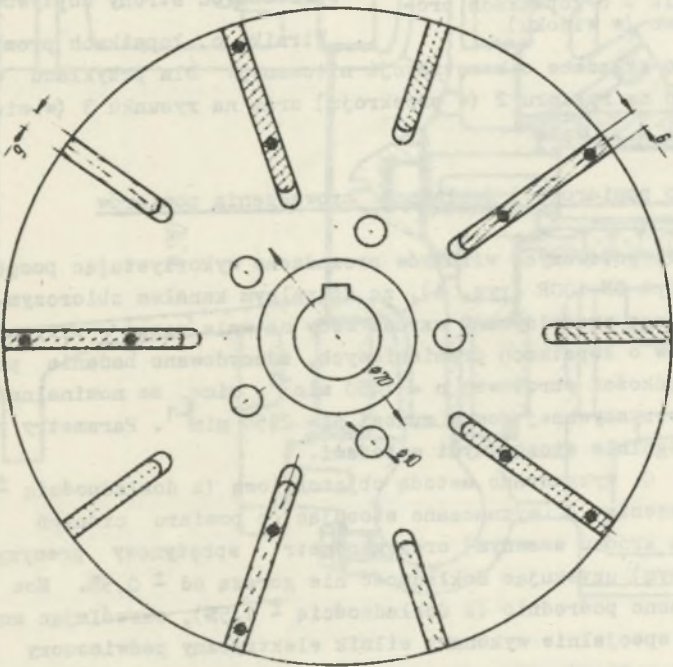
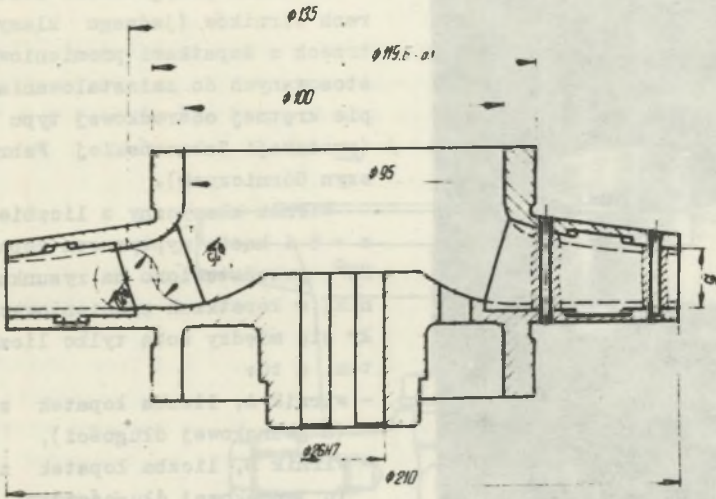
Wymagania takie odnoszą się głównie do pomp o względnie małej mocy pracujących okresowo lub sporadycznie (a więc pomp pożarniczych, pomp do opróżniania zbiorników i cystern, pomp do zasilania hydroforów) oraz niekiedy pomp przenośnych lub przewoźnych. Wspomniane wymagania spełnia (obok innych pomp) pompa krętna odśrodkowa z wirnikiem o łopatkach promieniowych i ten właśnie przypadek będzie przedmiotem dalszych rozważań.

Stosowane obecnie metody obliczeń głównych geometrycznych cech konstrukcyjnych pomp krętnych odśrodkowych, oparte są w większości o teorię jednowymiarowego przepływu cieczy przez wirnik, co stanowi model niedoskonały i bardzo uproszczony. O przydatności tych metod rozstrzyga olbrzymia ilość danych eksperymentalnych, które umożliwiają stosowanie odpowiednich współczynników korekcyjnych. Dane te jednak dotyczą głównie wirników pomp odśrodkowych z łopatkami wygiętymi wstecz (kąt łopatkowy $\beta_2 < 90^\circ$).

Niedostatek danych eksperymentalnych dotyczących wirników pomp odśrodkowych z łopatkami promieniowymi, w przypadku których można oczekiwać relatywnie dużych wydajności i wysokości podnoszenia, uzasadnia celowość prowadzenia badań w tym zakresie.

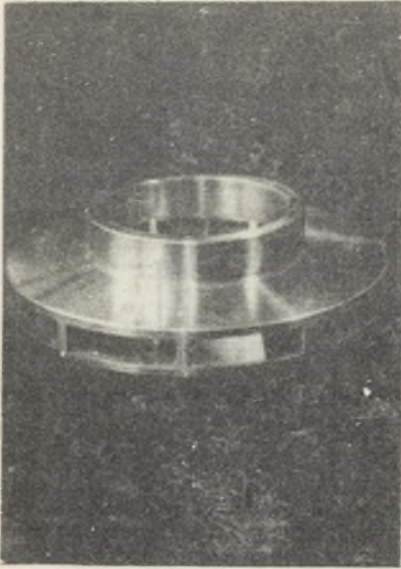


Rys. 1. Wirnik klasyczny (w przekroju)



Rys. 2. Wirnik C o łopatkach promieniowych (w przekroju)

1. Wirniki eksperymentalne



Rys. 3. Wirnik C o łopatkach promieniowych (w widoku)

Wykonano jako składane o konstrukcji nitowanej. Dla przykładu wirnik C przedstawiono na rysunku 2 (w przekroju) oraz na rysunku 3 (w widoku).

Do badań przygotowano zestaw czterech wirników (jednego klasycznego i trzech z łopatkami promieniowymi), dostosowanych do zainstalowania w pompie krętej odśrodkowej typu ON-100R (produkcji Zabrzeńskiej Fabryki Maszyn Górniczych).

Wirnik klasyczny o liczbie łopatek $z = 5$ i kącie wypływowym łopatki $\beta_2 = 25^\circ$, przedstawiono na rysunku 1. Wirniki o łopatkach promieniowych różniły się między sobą tylko liczbą łopatek, a to:

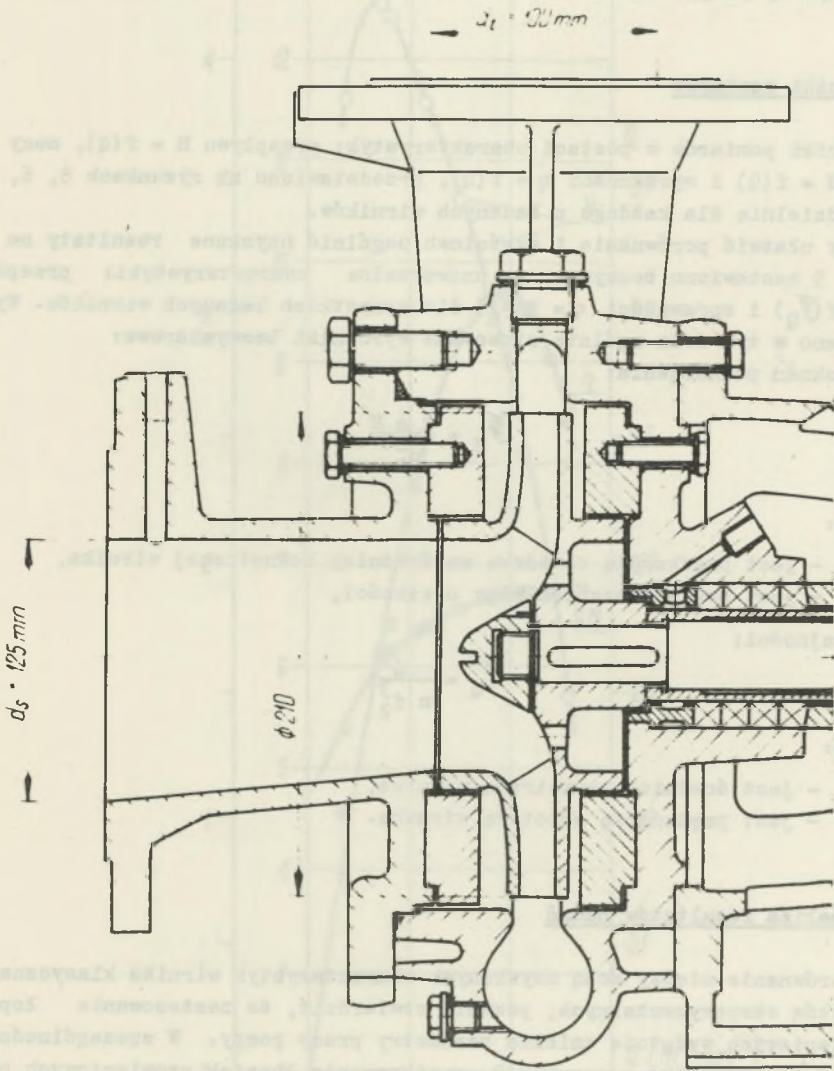
- wirnik A, liczba łopatek $z = 5$ (o jednakowej długości),
- wirnik B, liczba łopatek $z = 10$ (o jednakowej długości),
- wirnik C, liczba łopatek $z = 10$ (przy czym co druga łopatka jest skrócona od strony dopływowej).

Wirniki o łopatkach promieniowych

2. Stanowisko pomiarowe i dokładność prowadzenia pomiarów

Badania przygotowanych wirników prowadzono wykorzystując pompę krętą odśrodkową typu ON-100R (rys. 4), ze spiralnym kanałem zbiorczym. Biorąc jednak pod uwagę przewidywany wzrost mocy na wale pompy w przypadku stosowania wirników o łopatkach promieniowych, zdecydowano badania przeprowadzić przy prędkości obrotowej $n = 1450 \text{ min}^{-1}$, mimo, że nominalna prędkość obrotowa wykorzystywanej pompy wynosi $n = 2950 \text{ min}^{-1}$. Parametry pracy pompy mierzono ogólnie stosowanymi metodami.

Wydajność Q wyznaczano metodą objętościową (z dokładnością $\pm 1\%$). Wysokość podnoszenia H wyznaczano stosując do pomiaru ciśnień manometr różnicowy (na króćcu ssawnym) oraz manometr sprężynowy precyzyjny (na króćcu tłocznym) uzyskując dokładność nie gorszą od $\pm 0,5\%$. Moc na wale pompy wyznaczono pośrednio (z dokładnością $\pm 1,5\%$), określając moment rozwijany przez specjalnie wykonany silnik elektryczny podwieszony wahliwie oraz mierząc prędkość obrotową za pomocą tachoprądniczki. Sprawność pompy obliczano z dokładnością $\pm 2\%$.



Rys. 4. Przekrój części hydraulicznej pompy typu OW-100R

Tak określoną dokładność wyznaczania parametrów pracy uznano za wystarczającą dla celów badań. Przy prowadzeniu pomiarów zachowano wymagania normy PN-65/M-44002. Badania przeprowadzono przy wykorzystaniu czystej wody o temperaturze $t = 15$ do 18°C .

Ze względu na napęd pompy silnikiem elektrycznym asynchronicznym, którego prędkość obrotowa zmieniała się nieznacznie w trakcie pomiarów, parametry pracy pompy zredukowano do stałej prędkości obrotowej $n = 1450 \text{ min}^{-1}$.

3. Wyniki pomiarów

Wyniki pomiarów w postaci charakterystyk: przepływu $H = f(Q)$, mocy na wale $N = f(Q)$ i sprawności $\eta = f(Q)$, przedstawiono na rysunkach 5, 6, 7 i 8, oddzielnie dla każdego z badanych wirników.

Aby ułatwić porównanie i częściowo uogólnić uzyskane rezultaty na rysunku 9 zestawiono bezwymiarowe uniwersalne charakterystyki: przepływu $\xi_H = f(\xi_Q)$ i sprawności $\eta = f(\xi_Q)$ dla wszystkich badanych wirników. Wykorzystano w tym celu ogólnie stosowane wyróżniki bezwymiarowe:

- wysokości podnoszenia:

$$\xi_H = \frac{2gH}{u_2^2} \quad (1)$$

gdzie:

- u_2 - jest prędkością obwodową na średnicy zewnętrznej wirnika,
- g - jest przyspieszeniem siły ciężkości,

- wydajności:

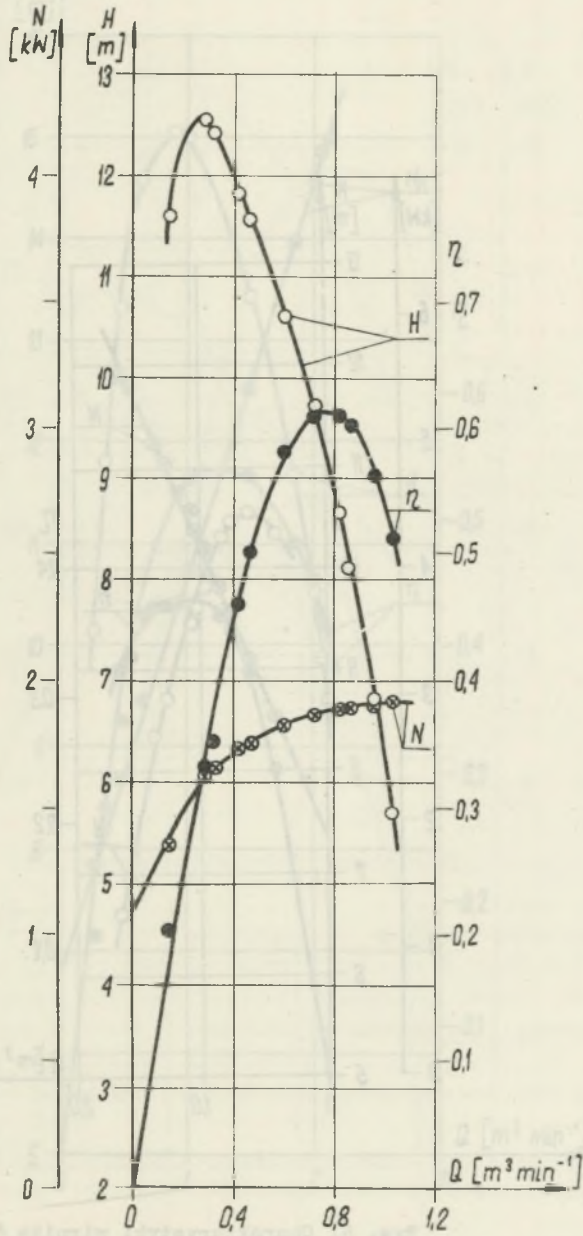
$$\xi_Q = \frac{Q}{n d_2^3} \quad (2)$$

gdzie:

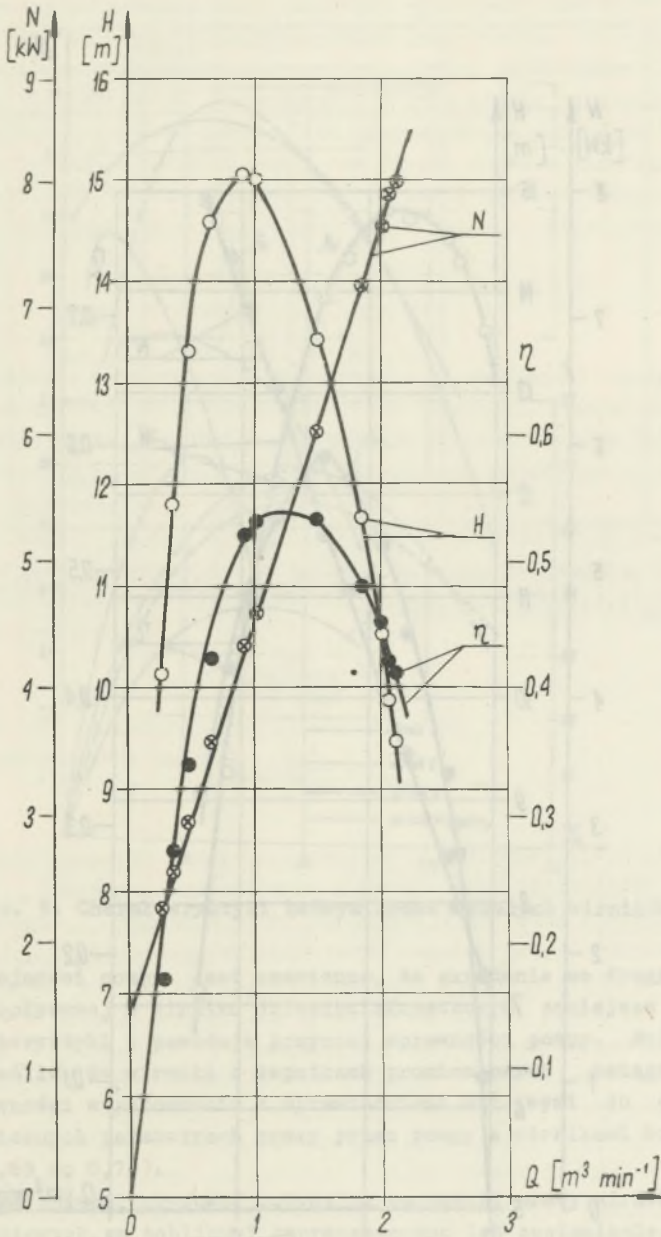
- d_2 - jest średnicą zewnętrzną wirnika,
- n - jest prędkością obrotową wirnika.

4. Analiza rezultatów badań

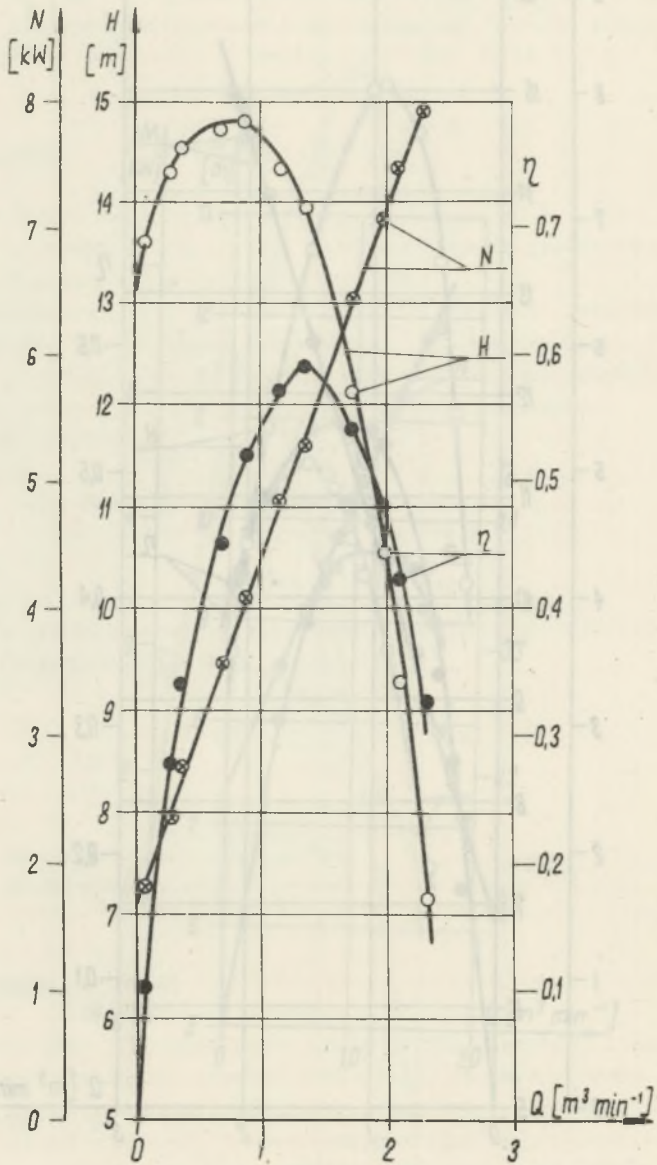
Porównanie między sobą uzyskanych charakterystyk wirnika klasycznego i wirników eksperymentalnych, pozwala stwierdzić, że zastosowanie łopatek promieniowych wydawnie zmienia parametry pracy pompy. W szczególności, co bezpośrednio wynika z rysunku 9, zastosowanie łopatek promieniowych powoduje przesunięcie optymalnej wydajności pompy w stronę większych wartości. Natomiast o optymalnych parametrach pracy decyduje liczba łopatek promieniowych. Wzrost liczby łopatek promieniowych z $z=5$ do $z=10$ powoduje zdecydowany wzrost wysokości podnoszenia pompy, przy jednoczesnym zwiększe-



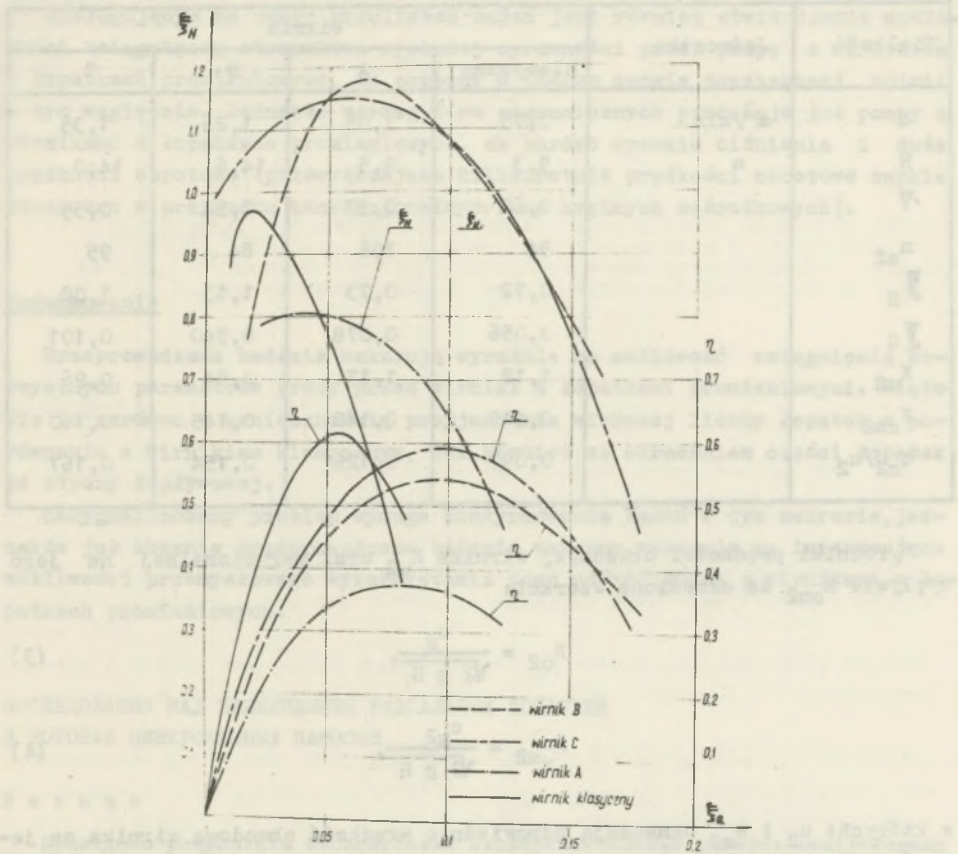
Rys. 5. Charakterystyki wirnika klasycznego



Rys. 7. Charakterystyki wirnika B



Rys. 8. Charakterystyki wirnika C



Rys. 9. Charakterystyki bezwymiarowe badanych wirników

niu się wydajności pompy. Jest znamienne, że skrócenie co drugiej łopatki od strony dopływowej w wirniku dziesięciołopatkowym zmniejsza niestabilność charakterystyki i powoduje przyrost sprawności pompy. Należy natomiast podkreślić, że wirniki o łopatkach promieniowych osiągają jednak niższe sprawności w porównaniu z sprawnościami możliwymi do osiągnięcia przy analogicznych parametrach pracy przez pompy z wirnikami konwencjonalnymi ($\eta \approx 0,69$ do $0,73$).

Aby bliżej scharakteryzować optymalne parametry pracy wirników o łopatkach promieniowych, w tabelicy 1 zaprezentowano ich zestawienie.

Tablica 1

Optymalne parametry pracy oraz wyróżniki bezwymiarowe badanych wirników

Wielkość	Jednostka	Wirnik			
		klasyczny	A	B	C
Q	m ³ /min	0,75	1,05	1,25	1,35
H	m	9,3	9,5	14,6	14,0
η		0,62	0,37	0,54	0,59
n_{sf}		94	106	84	95
$\frac{Q_{opt}}{H}$		0,72	0,73	1,13	1,08
$\frac{Q_{opt}}{Q}$		0,056	0,078	0,940	0,101
K_{u2}		1,18	1,17	0,94	0,96
K_{cm2}		0,115	0,148	0,145	0,160
c_{m2}/u_2		0,097	0,126	0,154	0,167

Wyróżniki prędkości obwodowej wirnika K_{u2} oraz merydionalnej na jego wypływie K_{cm2} są określone wzorami:

$$K_{u2} = \frac{u_2}{\sqrt{2 g H}}, \quad (3)$$

$$K_{cm2} = \frac{c_{m2}}{\sqrt{2 g H}}, \quad (4)$$

w których: u_2 i c_{m2} oznaczają odpowiednio prędkość obwodową wirnika na jego średnicy zewnętrznej oraz składową merydionalną prędkości absolutnej cieczy na wypływie łopatki. Z przedstawionych w tablicy 1 danych wynika, że dopiero wzrost liczby łopatek promieniowych wirnika do $z = 10$ powoduje uzyskanie relatywnie wysokich parametrów pracy pompy, a zwłaszcza jej sprawności. Nie można jednak stwierdzić, czy liczba łopatek $z = 10$ jest optymalna czy też powinna zostać powiększona, co wynikałoby z analizy rozkładu prędkości względnych w kanałach międzyłopatkowych. Niewątpliwie bowiem nierównomierność rozkładu prędkości względnych wywołana oddziaływaniem siły Coriolisa, będzie bardziej uwidoczniona w przypadku łopatek promieniowych. Z drugiej jednak strony jest celowe skracanie łopatek od strony dopływowej, aby zmniejszyć straty związane z dopływem cieczy do kanałów międzyłopatkowych.

Przy stosowaniu łopatek promieniowych w liczbie $z = 10$ uzyskano relatywnie wysokie wyróżniki wydajności ($\xi_{m2} = 0,1$) oraz znaczne wyróżniki wysokości podnoszenia ($\xi_H = 1,1$). Stwierdzono również występowanie znacznie

wyższych wartości wyróżników K_{cm2} (0,15 do 0,16) niż w przypadku wirników klasycznych. Dane te stanowią zarazem pewne wskazówki, w przypadku ewentualnego projektowania wirnika z łopatkami promieniowymi.

Zasługującym na uwagę rezultatem badań jest również stwierdzenie możliwości osiągnięcia stosunkowo wysokiej sprawności przez pompę z wirnikiem o łopatkach promieniowych, co przeczy w pewnym sensie powszechnej opinii w tym względzie. Jednakże szereg firm zagranicznych produkuje już pompy z wirnikami o łopatkach promieniowych, na bardzo wysokie ciśnienia i duże prędkości obrotowe (przewyższające kilkakrotnie prędkości obrotowe zwykle stosowane w przypadku konwencjonalnych pomp krętnych odśrodkowych).

Podsumowanie

Przeprowadzane badania wskazują wyraźnie na możliwość osiągnięcia korzystnych parametrów pracy przez wirniki z łopatkami promieniowymi. Wiąże się to zarówno z koniecznością przyjmowania większej liczby łopatek w porównaniu z wirnikiem klasycznym, jak również ze skracaniem części łopatek od strony dopływowej.

Zasygnalizowany problem wymaga kontynuowania badań w tym zakresie, jednakże już obecnie przeprowadzone badania wstępne wskazują na interesujące możliwości przemysłowego wykorzystania pomp odśrodkowych z wirnikami o łopatkach promieniowych.

ИССЛЕДОВАНИЯ НАД ПРИМЕНЕНИЕМ РАДИАЛЬНЫХ ЛОПАСТЕЙ В РОТОРАХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

Р е з ю м е

Приведено результаты исследований экспериментальных роторов центробежных насосов с радиальными лопастями. Показано, что при количестве радиальных лопастей $z = 10$ достигаются полезные параметры работы, обосновывающие применение радиальных лопастей.

STUDIES ON APPLICATION OF RADIAL BLADES IN IMPELLERS OF TORQUE CENTRIFUGAL PUMPS

S u m m a r y

The paper presents the results of experiments on the impellers of torque centrifugal pumps with radial blades. It has been shown that advantageous work parameters, justifying the use of radial blades, are obtained when the number of the radial blades $z = 10$.