

Bogusław HUPA, Jan RDUCH

BADANIA PORÓWNAWCZE AERATORÓW ZATAPIALNYCH TYPU AZ-50

Streszczenie. W pracy omówiono i porównano systemy aeracji, przedstawiono konstrukcję wybranych aeratorów zatapiających oraz omówiono konstrukcję aeratora doświadczalnego. Opisano przebieg i wyniki badań wpływu wybranych cech konstrukcyjnych aeratora na jego parametry pracy. Podano sposób określenia pozostałych parametrów nie mierzonych w trakcie badań.

COMPARING INVESTIGATIONS OF SUBMERGENCE AERATORS TYPE AZ-50

Summary. The system of aeration, the construction of an existing aerators and construction of the measuring aerator has been discussed and compared. Investigation results concerning the some of constructional parameters on the parameter of the aerator work have been analysed. The paper presents the way of determine the residual structural parameters, haven't been measured during investigations.

VERGLEICHUNTERSUCHUNGEN DEN TAUCHBELÜFTER AZ-50

Zusammenfassung. Abwasserbelüftung, gewählte Tauchbelüfterbauarten und versuchstauchbelüftern wurde beschreibt und vergleicht. Der Verlauf und die Ergebnisse der Untersuchungen den Einfluss die gewählte Konstruktionskennzeichen den Tauchbelüfter auf Betriebsergebnisse wurde dargestellt. Eine Methode zur Bestimmung die nicht Messungen wärend der Untersuchung Betriebsergebnisse wurde gegeben.

1. WPROWADZENIE

Ważnym problemem są obecnie w Polsce działania w zakresie ochrony środowiska, w tym konieczność budowy w najbliższych latach dużej liczby oczyszczalni ścieków. Systemy napowietrzania ścieków odgrywają tu zasadniczą rolę.

W procesach biologicznego oczyszczania ścieków metodą osadu czynnego zachodzą głównie procesy tlenowe [1, 2]. Mechanizm przenikania tlenu do wody opisuje teoria dwuwarstwowa, zakładająca istnienie w napowietrzanej cieczy, w obszarach o silnej turbulencji, po obu stronach faz ciekłej i gazowej, warstewek o skończonej grubości, poprzez które zachodzi proces dyfuzji molekularnej tlenu do cieczy. Zakłada się, że szybkość przenikania tlenu do cieczy jest proporcjonalna do: pierwiastka ze średniej prędkości odnowy powierzchni międzyfazowej, pierwiastka z promienia pęcherzyka powietrza, kwadratu prędkości pęcherzyków powietrza względem cieczy i jest odwrotnie proporcjonalna do lepkości cieczy [2]. Umownie przyjmuje się, że pęcherzyki powietrza mają kształt kuli – a nie kuli spłaszczonej, oraz że ze zmniejszeniem średnicy pęcherzyków powietrza zmniejsza się prędkość ich wznoszenia, a więc czas kontaktu z cieczą jest odpowiednio dłuższy. Przy napowietrzaniu wody filtrowanej pęcherzykami powietrza o średnicach mniejszych od 1 mm średnia prędkość wznoszenia się pęcherzyków powietrza jest prawie o połowę mniejsza niż dla pęcherzyków większych (2 – 3 mm), ponieważ znaczna część najdrobniejszych pęcherzyków pozostaje w zawieszeniu tak długo, że następuje ich pełna dyfuzja do cieczy. Według Kalbskopfa [2], zdolność natleniania jest wartością stałą zależną od wielkości pęcherzyków powietrza i rośnie wraz ze wzrostem głębokości doprowadzania powietrza.

Wytworzenie odpowiedniej turbulencji w cieczy przyspiesza silnie proces dyfuzji tlenu do cieczy lub do kłaczek osadu czynnego. Mieszanie tylko poprzez barbotaż jest zwykle niewystarczające i np. przy stosowaniu dyfuzorów dyskowych dodatkowe wprowadzenie mieszadeł powoduje znaczne, nawet kilkakrotne, zwiększenie efektywności natleniania. Przyjmuje się, że w celu utrzymania kłaczek osadu w zawieszeniu, wymagane zapotrzebowanie mocy mieszania wynosi min. 6 W/m^3 [2].

2. SYSTEMY AERACJI

Urządzenia do napowietrzania ścieków w zależności od konstrukcji, sposobu doprowadzenia powietrza do cieczy oraz umiejscowienia w cieczy można podzielić na trzy zasadnicze grupy:

- aeratory powierzchniowe,
- aeratory zatapialne,
- aeratory wgłębne – zasilane sprężonym powietrzem (np. dyfuzorowe).

Rozróżnia się napowietrzanie:

- drobnopęcherzykowe – pęcherzykami powietrza o średnicy: 0,5 do 5 mm,
- średniopęcherzykowe – pęcherzykami powietrza o średnicy: 5 do 10 mm,
- grubopęcherzykowe – pęcherzykami powietrza o średnicy: powyżej 10 mm.

Istnieje logarytmiczna zależność efektów natleniania od natężenia strumienia doprowadzonego powietrza przy napowietrzaniu średnio- i grubopęcherzykowym. Przy napowietrzaniu drobnopęcherzykowym zależność ta jest prawie proporcjonalna [2].

Wybierając typ aeratora należy uwzględnić następujące podstawowe czynniki:

- zdolność natleniania OC [kg O₂/h] i ekonomię natleniania OP [kg O₂/kWh],
- zdolność i zasięg mieszania,
- elastyczność pracy,
- niskie koszty inwestycyjne.

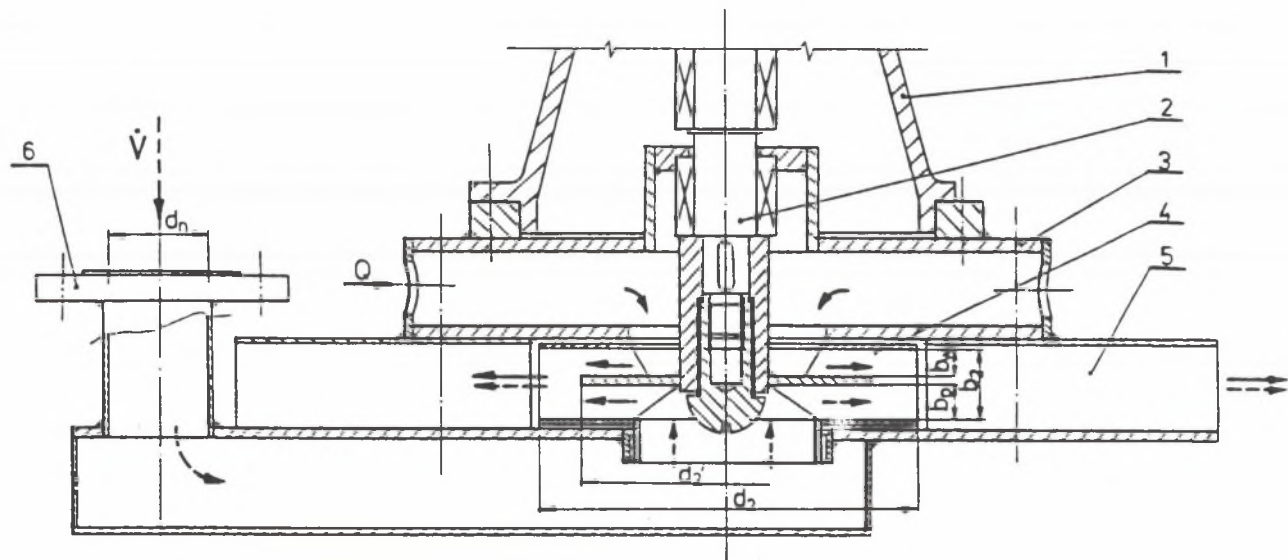
Systemy napowietrzania drobnopęcherzykowego z zastosowaniem dyfuzorów dyskowych uzyskują o ok. 30% większą ekonomię napowietrzania wody od aeratorów powierzchniowych. Jednak przy napowietrzaniu ścieków te różnice zanikają [3].

Coraz szersze zastosowanie znajdują również aeratory zatapialne, pompowe lub strumieniowe (strumienicowe). Stosowane są one w oczyszczalniach ścieków w komorach osadu czynnego, w komorach napowietrzania wstępnego, w odtłuszczaczach, jak również do natleniania stawów i silnie zanieczyszczonych rzek. Mogą być stosowane także w procesach desorpcji gazów z wody (jak amoniak, siarkowodór, dwutlenek węgla itp.).

Podstawowymi zaletami aeratorów zatapialnych jest:

- napowietrzanie drobnopęcherzykowe (dla wody i ścieków jednakowo wydajne),
- intensywne mieszanie,
- całkowita odporność na niskie temperatury,
- brak uciążliwych aerozoli,
- bardzo niski poziom hałasu,
- praca bez przekładni zwalniającej, napęd bezpośredni od silnika (aeratory pompowe),
- prosta i tania instalacja,
- możliwość pracy w zawieszeniu, z regulacją głębokości zanurzenia,
- zdolność samozasysania powietrza do głębokości ok. 6 – 7 m, a przy współpracy z dmuchawą możliwość pracy na głębokościach kilkudziesięciu metrów.

Pod względem konstrukcyjnym łatwiejsze do wykonania są aeratory strumienicowe. W celu uzyskania wypływu drobnopęcherzykowego niezbędne są duże prędkości wypływu, a więc małe średnice dysz, co preferuje takie aeratory głównie do natleniania wód. Przy większych średnicach dysz uzyskuje się napowietrzanie średnio- lub grubopęcherzykowe, lecz posiadają bardzo dobrą zdolność mieszania cieczy w komorze napowietrzania, a ekonomia napowietrzania OP może dochodzić do 2,2 kg O₂/kWh [3].



- Oznaczenia :
- 1 - silnik
 - 2 - wał
 - 3 - kadłub dopływowy
 - 4 - wirnik
 - 5 - kadłub wypływowy wielokanałowy
 - 6 - kruciec dopływu powietrza

Rys. 1. Doświadczalny aerator zatapialny AZ-50/d1 (przekrój)

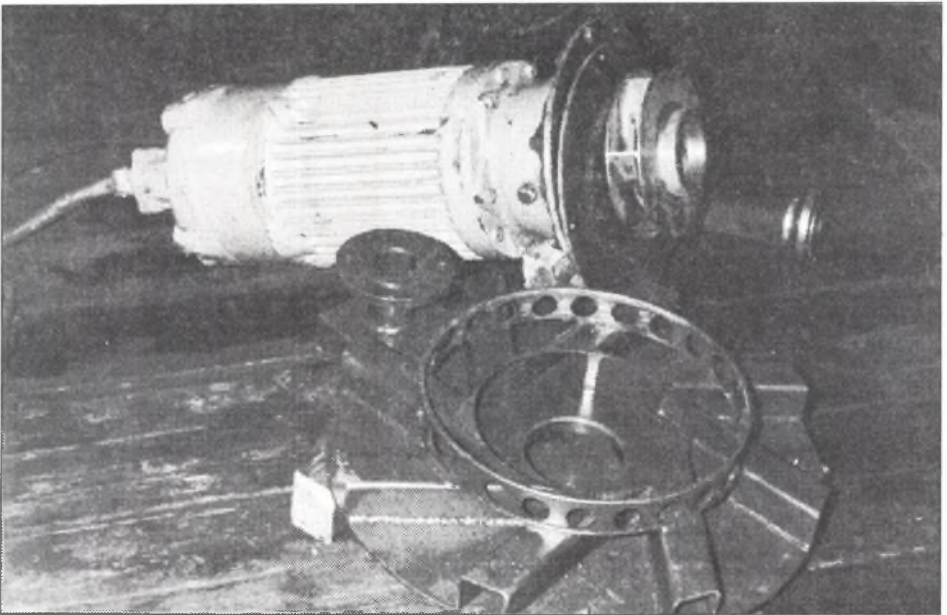
Fig. 1. The experimental submergence aerator AZ-50/d1 (section)

Aeratory zatapialne pompowe, pomimo korzystnych parametrów techniczno-ekonomicznych, nie posiadają odpowiednich danych literaturowych. Był to jeden z powodów podjęcia prac konstrukcyjno-badawczych.

3. AERATORY DOŚWIADCZALNE

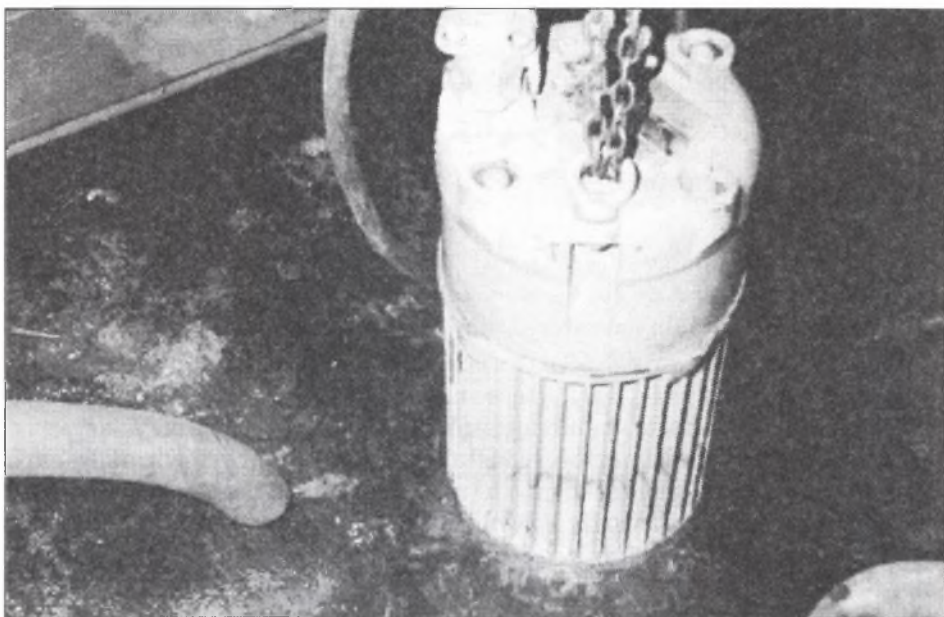
Na podstawie analizy literatury [1, 2, 5] zaprojektowano zatapialny doświadczalny aerator AZ-50/d1 z wielokanałowym kadłubem tłocznym (rys. 1, 2, 3), oraz doświadczalny aerator strumieniowy AZ-50/d2 (rys. 5).

Do wirnika aeratora AZ-50/d1 (rys. 1) ciecz doprowadzana jest z góry, a powietrze zasysane jest z dołu. Proces mieszania cieczy i powietrza rozpoczyna się już w wirniku a stabilizuje w kadłubie wypływowym. W aeratorze AZ-50/d1 przewidziano możliwość instalowania wymiennych wirników o różnych rozwiązaniach konstrukcyjnych (rys. 4), opartych na różnych sposobach wytwarzania mieszanki wodno-powietrznej. Wirniki typu „A” i „B” stanowiły własne rozwiązanie konstrukcyjne, natomiast wirniki „C” i „D” stanowiły nieco zmodernizowaną wersję wirników stosowanych przez firmy odpowiednio: FRINGS i SURUMI.



Rys. 2. Aerator zatapialny AZ-50/d1 (widok)

Fig. 2. The submergence aerator AZ-50/d1 (view)



Rys. 3. Aerator zatapialny AZ-50/d1

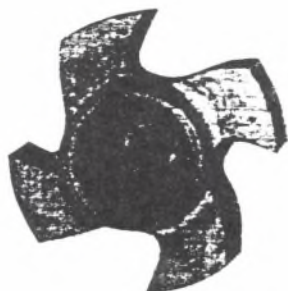
Fig. 3. The submergence aerator AZ-50/d1



Wirnik "A", "B"



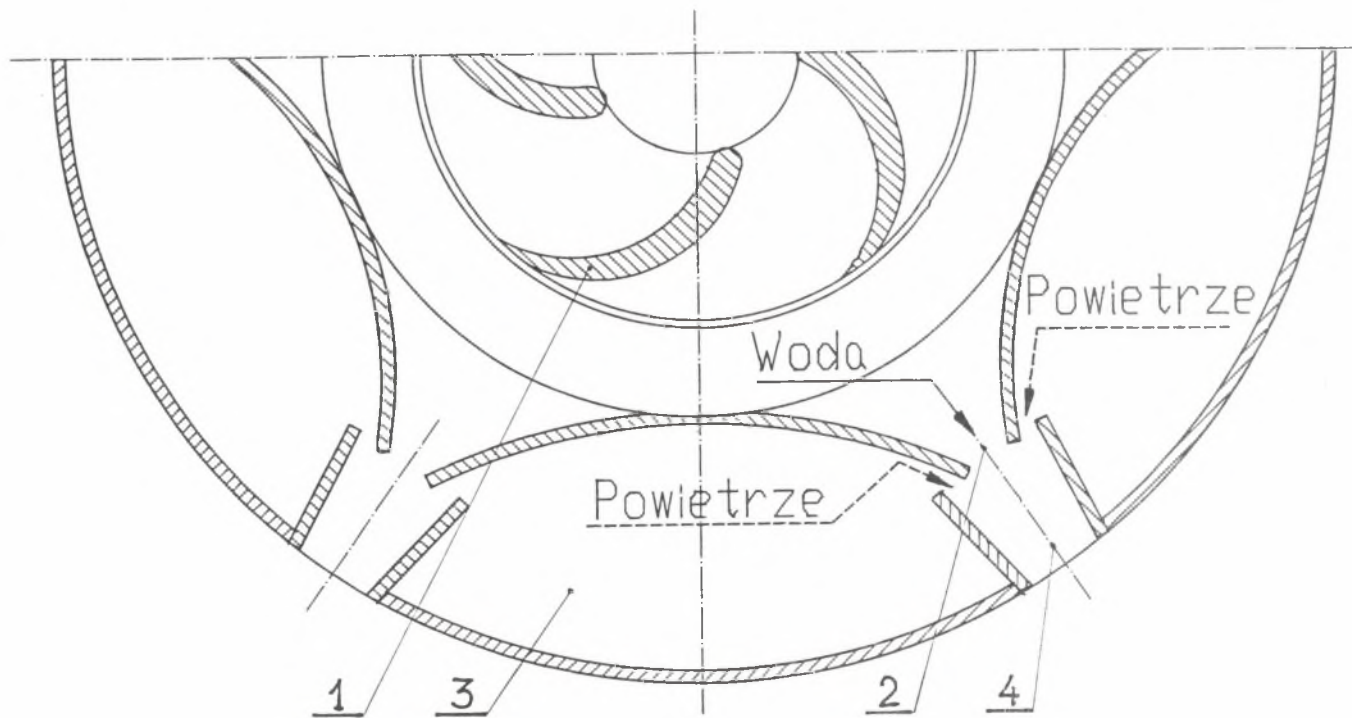
Wirnik "C"



Wirnik "D"

Rys. 4. Wirniki doświadczalne A, B, C, D aeratora AZ-50/d1

Fig. 4. Experimental rotors A, B, C, D of the aerator AZ-50/d1



Rys. 5. Aerator strumieniowy AZ-50/d2

Fig. 5. The jet aerator AZ-50/d2

W aeratorze AZ-50/d2 (rys. 5) do wirnika doprowadzano wyłącznie ciecz, która zasilała strumienicę. Strumienica zasysała powietrze z komory powietrznej i po wymieszaniu, silnie spieniony strumień wypływał przez dyszę do komory. W aeratorze tym zastosowano standardowy wirnik pompy PK-80.

W obu aeratorach Az-50/d1 i AZ-50/d2 wykorzystano silnik i kadłub dławnicy wraz z zespołem uszczelnień ślizgowych z zatapialnej pompy PK-80.

4. STANOWISKO

Badania porównawcze aeratorów doświadczalnych typu AZ-50 przeprowadzono w Laboratorium Zakładu Maszyn i Urządzeń Hydraulicznych Instytutu Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Śląskiej we współpracy z CONTACT-POWEN S.A. [4].

Badania przeprowadzono na wodzie, w zbiorniku w kształcie „l” o głębokości 2,5 m, szerokości 1,55 m i długości 14 m.

W cylindrycznym zbiorniku o średnicy 2 m i wysokości 2,5 m, po wyposażeniu go w system specjalnych podświetlanych wizjerów, określano średnicę pęcherzyków powietrza oraz prędkość wody przy dnie zbiornika.

5. PROCEDURA BADAWCZA

Przed każdą serią pomiarów odczytywano stan barometru, oraz temperaturę wody i powietrza. Pomiaru głębokości zanurzenia aeratora dokonywano liniałem. Moc pobieraną przez silnik mierzono watomierzami laboratoryjnymi połączonymi w układzie Arona. Strumień powietrza V doprowadzonego do cieczy określano z zależności:

$$V = 0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot v_{sr} \cdot \frac{\rho(T, p)}{\rho_N}$$

gdzie:

$\rho_N = 1,293 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ – normalna gęstość powietrza,

$\rho(T, p) \text{ [kg/m}^3\text{]}$ – gęstość powietrza w danej temperaturze i przy danym ciśnieniu,

$d = 0,05 \text{ [m]}$ – średnica przewodu powietrza,

$v_{sr} \text{ [m/s]}$ – średnia prędkość powietrza w przewodzie.

$$v_{sr} = \frac{8}{d^2} \cdot \int_0^{d/2} v(r) \cdot r \cdot dr$$

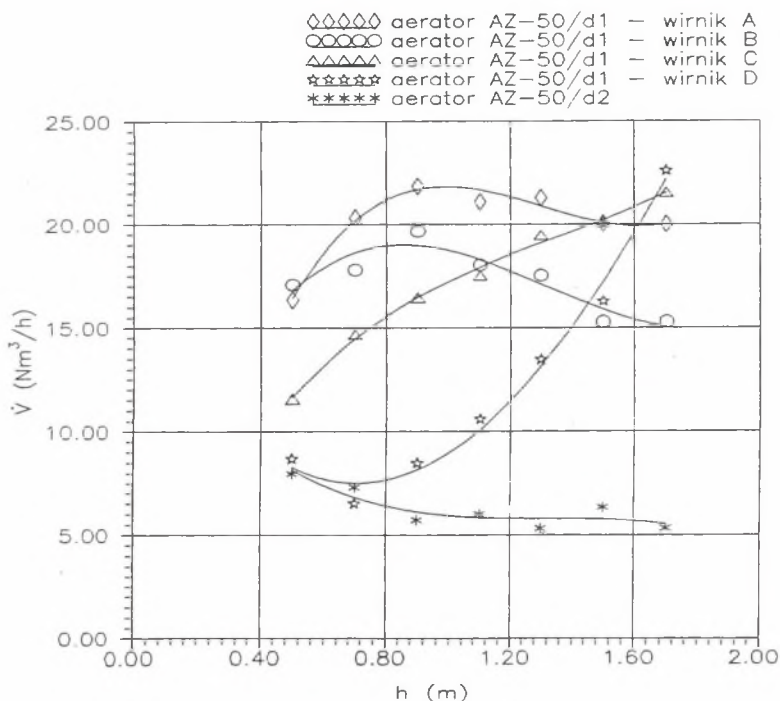
Prędkości $v(r)$ mierzono termoanemometrem typu HCA-1 w punktach co 5 mm, uzyskując zależność $v = f(r)$. Dokładność wyznaczenia strumienia doprowadzonego powietrza wynosiła ok. $0,2 \text{ Nm}^3/\text{h}$.

6. ANALIZA WYNIKÓW

W celu porównania parametrów pracy aeratorów z poszczególnymi wirnikami wprowadzono współczynnik aeracji K [Nm^3/kWh].

$$K = \frac{V \cdot 3600}{N_{el}}$$

Zależności $V = f(h)$, oraz $K = f(h)$ przedstawiono na wykresach (rys. 6 i 7).



Rys. 6. Wpływ głębokości zanurzenia aeratora na strumień zasysanego powietrza

Fig. 6. The air input flow depends on submergence of aerator

Aby rozszerzyć interpretację otrzymanych wyników oraz uzyskać możliwość porównania parametrów technicznych badanych aeratorów typu AZ-50/d1 i AZ-50/d2 z aeratorami o opublikowanych w [5] parametrach określonych na podstawie przeprowadzonych pełnych badań, wprowadzono względny współczynnik strumienia doprowadzonego powietrza V_w :

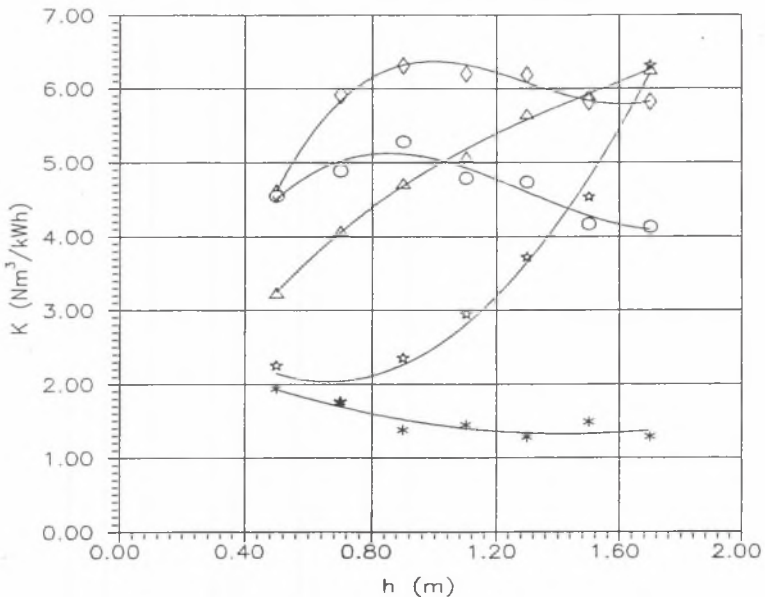
$$V_w = \frac{V_{A,B,D}}{V_C}$$

i względny współczynnik aeracji K_w :

$$K_w = \frac{K_{A,B,D}}{K_C}$$

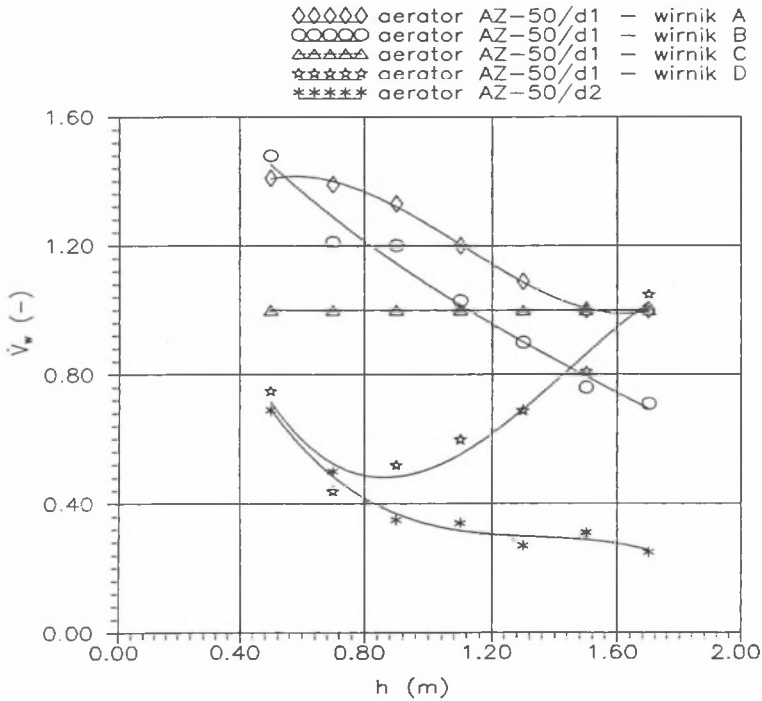
Jako parametry odniesienia przyjęto wyniki badań wirnika „C” będącego wersją wirnika stosowanego w aeratorach firmy FRINGS, cieszącej się uzna-

- ◇◇◇◇◇ aerator AZ-50/d1 – wirnik A
- aerator AZ-50/d1 – wirnik B
- △△△△△ aerator AZ-50/d1 – wirnik C
- ☆☆☆☆☆ aerator AZ-50/d1 – wirnik D
- ***** aerator AZ-50/d2



Rys. 7. Zależność współczynnika aeracji od głębokości zanurzenia aeratora

Fig. 7. The aeration coefficient depends on submergence of aerator



Rys. 8. Zależność względnego strumienia powietrza doprowadzonego od głębokości zanurzenia aeratora

Fig. 8. The relative air input flow depends on submergence of aerator

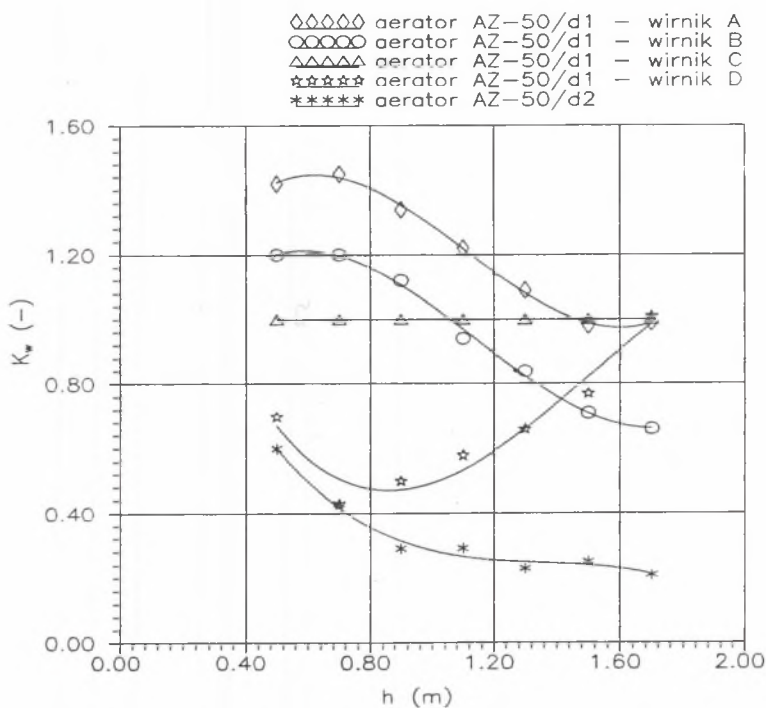
niem jako producenta aeratorów zatapialnych. Zależności $V_w=f(h)$ oraz $K_w = f(h)$ przedstawiono na wykresach (rys. 8 i 9).

Wirniki „A” i „B” zaprojektowane zostały jako wirniki dwustrumieniowe, w których do jednej szyi wirnika doprowadzone jest powietrze, a do drugiej szyi dopływa ciecz. Przy przepływach dwufazowych przez wirnik niezmiernie ważna jest znajomość wzajemnych relacji między strumieniami cieczy i powietrza, ponieważ stosunek tych strumieni i ich parametry decydują o wszystkich parametrach technicznych aeratora. Strumień cieczy jest proporcjonalny do szerokości łopatki wirnika. Zmiana szerokości łopatki wirnika o konstrukcji spawanej jest stosunkowo łatwa do zrealizowania, dlatego podjęto próbę określenia wpływu zmiany szerokości łopatki b_w po stronie wodnej wirnika na strumień powietrza doprowadzony do aeratora, na pobór mocy i na wielość pęcherzyków powietrza na wypływie z aeratora. Pomiary przeprowadzono na

wodzie czystej, dlatego istniała możliwość zmniejszania szerokości łopatki wirnika nawet poza technicznie uzasadniony zakres, przy którym zwykle następowaloby zatykanie się wirnika.

Zależności $V = f(b_w)$ i $K = f(b_w)$ przedstawiono na charakterystykach (rys. 10 i 11) uwzględniając wpływ głębokości zanurzenia aeratora.

Średnicę pęcherzyków powietrza obserwowano w zbiorniku cylindrycznym. Wynosiła on ok. 3,0 do 6,0 mm, a prędkość wody mierzona w odległości ok. 50 mm od dna wynosiła ok. 0,2 m/s. Wodę przy dnie barwiono śladową ilością nadmanganianu potasu.



Rys. 9. Zależność względnego współczynnika aeracji od głębokości zanurzenia aeratora

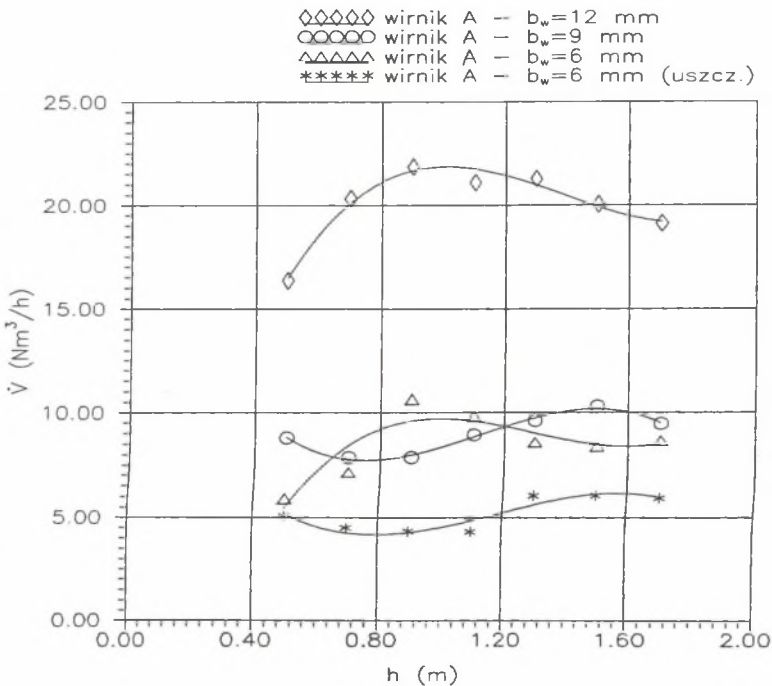
Fig. 9. The relative aeration coefficient depends on submergence of aerator

7. WNIOSKI

W zakresie przeprowadzonych badań i analiz stwierdzono:

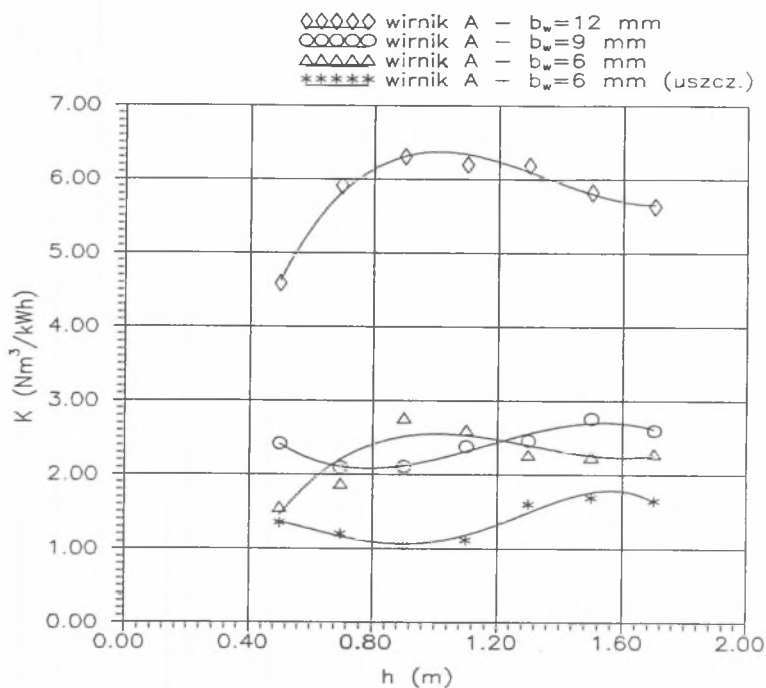
- aerator AZ-50/d1 osiąga zdecydowanie korzystniejsze parametry od aeratora strumieniowego AZ-50/d2,

- z analizy charakterystyk $V = f(h)$ i $K = f(h)$ wynika, że najkorzystniejsze wyniki osiągał aerator AZ-50/d1 z wirnikiem dwustrumieniowym typu A, jego charakterystyka jest stabilna w rozpatrywanym zakresie głębokości zanurzenia,
- wirnik „D” ma silnie rosnące charakterystyki $V = f(h)$ i $K = f(h)$ i prawdopodobnie jego parametry mogą być korzystniejsze przy większych głębokościach zanurzenia, co może wynikać z mieszania się strug na większych średnicach łopatek (potwierdza to analiza parametrów wirników A i B, które różnią się tylko średnicą $d'2$ (rys. 1),
- najkorzystniejsze rezultaty osiąga wirnik dwustrumieniowy o szerokościach łopatek $b_w/b_p \geq 1$ (rys. 10 i rys. 11)
- aerator AZ-50/d1, z wirnikiem A osiąga zbliżone parametry do aeratora z wirnikiem Fringsa w rozpatrywanym zakresie zanurzeń. Przy zanurzeniu 2 m aerator Fringsa [5] osiąga następujące parametry:



Rys. 10. Zależność strumienia powietrza doprowadzonego od szerokości łopatek części wodnej wirnika i od głębokości zanurzenia aeratora

Fig. 10. The air input flow depends on width of water blades of rotor and submergence of aerator



Rys. 11. Zależność współczynnika aeracji od szerokości b_w łopatek i głębokości zanurzenia aeratora

Fig. 11. The aeration coefficient depends on width of water blades b_w of rotor and submergence of aerator

- zdolność natleniania $OC_{10} = \text{ok. } 8 \text{ kg O}_2/\text{h}$,
- ekonomia napowietrzania $OP = \text{ok. } 1,1 \text{ kg O}_2/\text{kWh}$,
- zasięg $B = 6 \text{ do } 8 \text{ [m]}$,
- prędkość obrotowa $n = 1450 \text{ 1/min}$,
- zapotrzebowanie mocy ok. 5 kW .

Na tej podstawie można szacować parametry użytkowe badanych aeratorów.

LITERATURA

- [1] Aeratory powierzchniowe typu „Silesia”. Wyniki prac studialno-badawczych. Materiały na XIII Konferencję Naukowo-Techniczną: Postęp techniczny w dziedzinie oczyszczania ścieków. Warszawa – Katowice 1970.

- [2] Suschka J., Zieliński J., Głajcar E.: Urządzenia do napowietrzania ścieków. Podstawy teoretyczne i projektowanie. Arkady, Warszawa 1979.
- [3] Sędzikowski T.: Uwagi w sprawie kryteriów wyboru systemów wgłębne-go lub powierzchniowego napowietrzania ścieków. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, nr 12, 1990.
- [4] Hupa B.: Badania aeratorów zatapialnych AZ-50/d1 i AZ-50/d2. Praca zlecona U-863/RIE5/94, Pol. Śl., Gliwice 1994 (praca niepublikowana).
- [5] Prospekty firm: FRINGS GmbH & Co KG, ENVICON Luft und Wasser-technik GmbH & Co KG, ACCUMATIC FILTRATION LIMITED, TSU-RUMI. EUROOC Pompy.

Abstract

The paper presents base mechanism and system of aeration. Principal application and advantages of submergence aerator have been presented. Importance of the fine-bubble aeration has been discussed. The experimental submergence aerator AZ-50/d1 with multi-channel pressing body and the experimental submergence jet aerator AZ-50/d2 have been investigated. Aerator AZ-50/d1 had four different research rotors. Two of them have been based on celebrated constructions and two rotors new, own construction have been had.

Aerators AZ-50/d1 and AZ-50/d2 engine and seal of submergence pump type PK-80 have been used.

Laboratory tests of submergence aerators have been carried out in Laboratory of the Institute of Machines and Power Engineering Appliances at Silesian Technical University.

Electric power, air input flow, submergence of aerator and dimension of air bubbles have been measured. The results of investigations concerning the relative air input flow and aeration coefficient depends on submergence of aerators have been analysed. The best parameter of experimental aerator work the aerator AZ-50/d1 with the rotor „A” have been had as well as the measuring range of submergence has been concerned.

The results of investigation on the work parameter of known aerator „Frings” have been compared. Non-dimensional characteristics of relative air input flow and relative aeration coefficient can be determined the parameters of aerator work, which in this research have not been measured.

The relative air input flow and aeration coefficient depends on width of water blades have been presented.

The aerator AZ-50/d1 with the same width of the water blades and the air blades of rotor „A”, presented. the best parameter of work, as far as the range of blades width has been concerned.