

ALINA LEWANDOWSKA-SUSCHKA, JERZY ZIELIŃSKI
Katedra Techniki Sanitarnej

BADANIA LABORATORYJNE NIEKTÓRYCH MODELI
POWIERZCHNIOWYCH WIRNIKÓW NAPÓWIETRZAJĄCYCH

Szybki rozwój mechanicznych urządzeń napowietrzających o działaniu powierzchniowym związany z ich pewną oraz efektywną pracą pociągnął za sobą równocześnie pojawienie się coraz to nowych rozwiązań konstrukcyjnych wirników. Poza złożonym wirnikiem napowietrzającym typu Simplex, znanym jeszcze w latach dwudziestych, inne wprowadzone w latach pięćdziesiątych i sześćdziesiątych, cechowały się dużą prostotą konstrukcyjną. Wydaje się, że najprostszym pod względem konstrukcyjnym wirnikiem napowietrzającym był wirnik typu Vortair, wprowadzony przez Infilco Division of Fuller Comp. USA [4], [9]. Ze względu na swą prostotę ten typ wirnika spotkał się również w kraju z dużym zainteresowaniem. Celem scharakteryzowania wirnika typu Vortair wykonano badania w skali laboratoryjnej [1], [6] oraz w półtechnicznej [7], [8]. W ostatnich latach obserwuje się tendencję do budowy wirników napowietrzających o bardziej złożonych kształtach, o podobnym działaniu jak np. wirnik typu Vortair lub też o działaniu podwójnym, polegającym na mieszaniu cieczy i rozbryzgu jej oraz na równoczesnym wsysaniu powietrza w głąb cieczy.

Z wirników o podobnym działaniu jak wirnik Vortair wymienić przede wszystkim należy wirnik produkowany przez firmę Lurgi - NRF, pod nazwą Gyrox [3]. Do wirników o podwójnym działaniu należy wirnik typu BSK [5].

Nowsze rozwiązania wirników posiadają niewątpliwie pewne cechy korzystane w stosunku do poprzednich, niemniej żaden z nich nie przedstawia jeszcze bezwzględnie optymalnego rozwiązania. Zdarza się że zmiana konstrukcyjna wirnika (jego wyglądu) jest jedynie wynikiem potrzeb konkurencyjnych firm produkcyjnych.

Właściwa ocena efektywności natleniania różnych typów wirników powierzchniowych jest możliwa jedynie na podstawie badań w odpowiednio dużej skali ułamkowo technicznej lub technicznej. Trudności związane z tego typu badaniami skłaniają jednak do szukania możliwości modelowania wirników napowietrzających na podstawie badań w skali laboratoryjnej. Przykładem mogą być badania wykonane przez Horvatha [2]. Autor ten dla szeregu wirników niejednokrotnie o bardzo złożonej konstrukcji starał się ustalić na podstawie analizy wymiarowej, matematyczną zależność pomiędzy efektami uzyskiwanymi w małej skali laboratoryjnej, oraz skali technicznej.

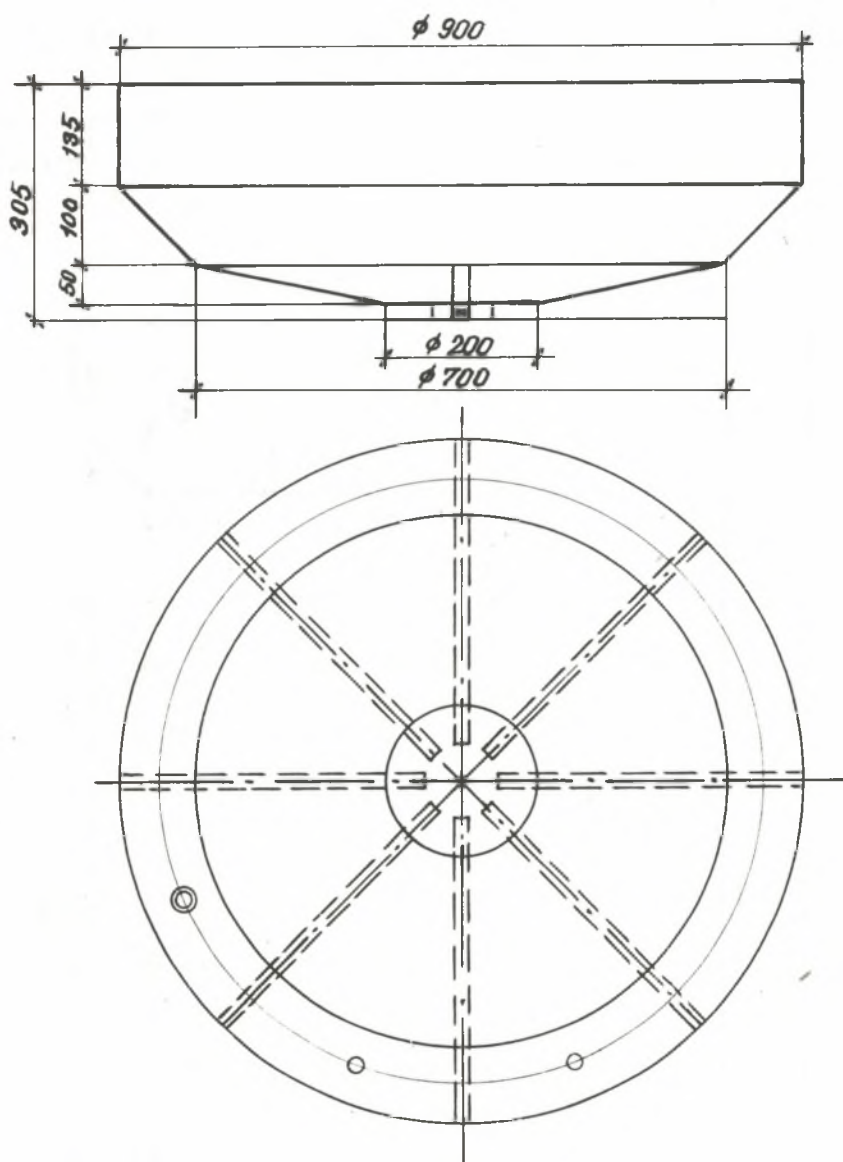
Badania przedstawione w niniejszej pracy mają stanowić pewien przyczynek do poznania możliwości modelowania wirników napowietrzających, przynajmniej w sposób przybliżony, celem ukierunkowania dalszych badań w skali ułamkowo-technicznej.

Cześć doświadczalna

Urządzenia doświadczalne

Badania przeprowadzono przy zastosowaniu dwóch laboratoryjnych komór napowietrzania i trzech różnych wirników napowietrzających.

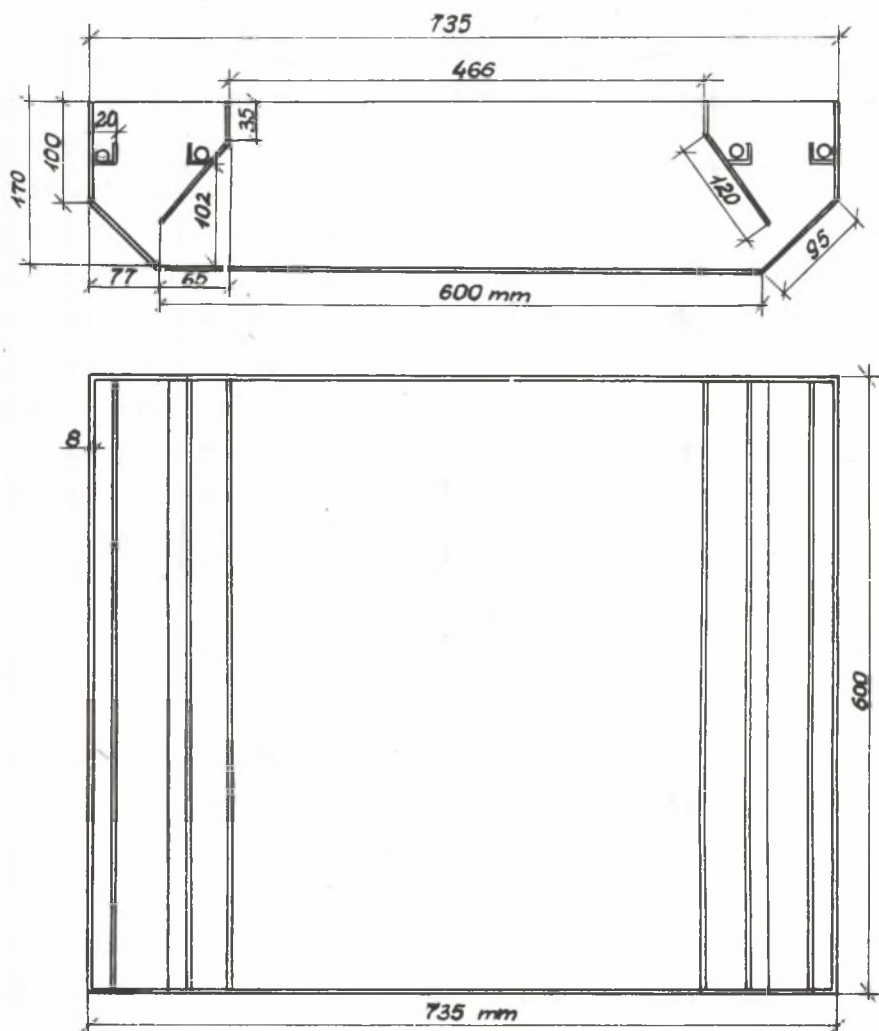
Jedna z komór o objętości 100 l (rys. 1) wykonana była z blachy stalowej w kształcie walca o średnicy 90 cm. Badania wykonywano przy napełnieniu komory równym 20 cm, mierząc od środkowej płaskiej części dna. Jak wynika z rysunku 1 większa część dna była pochyła ze spadkiem około 12° i 45° . Komora ta stanowiła geo-



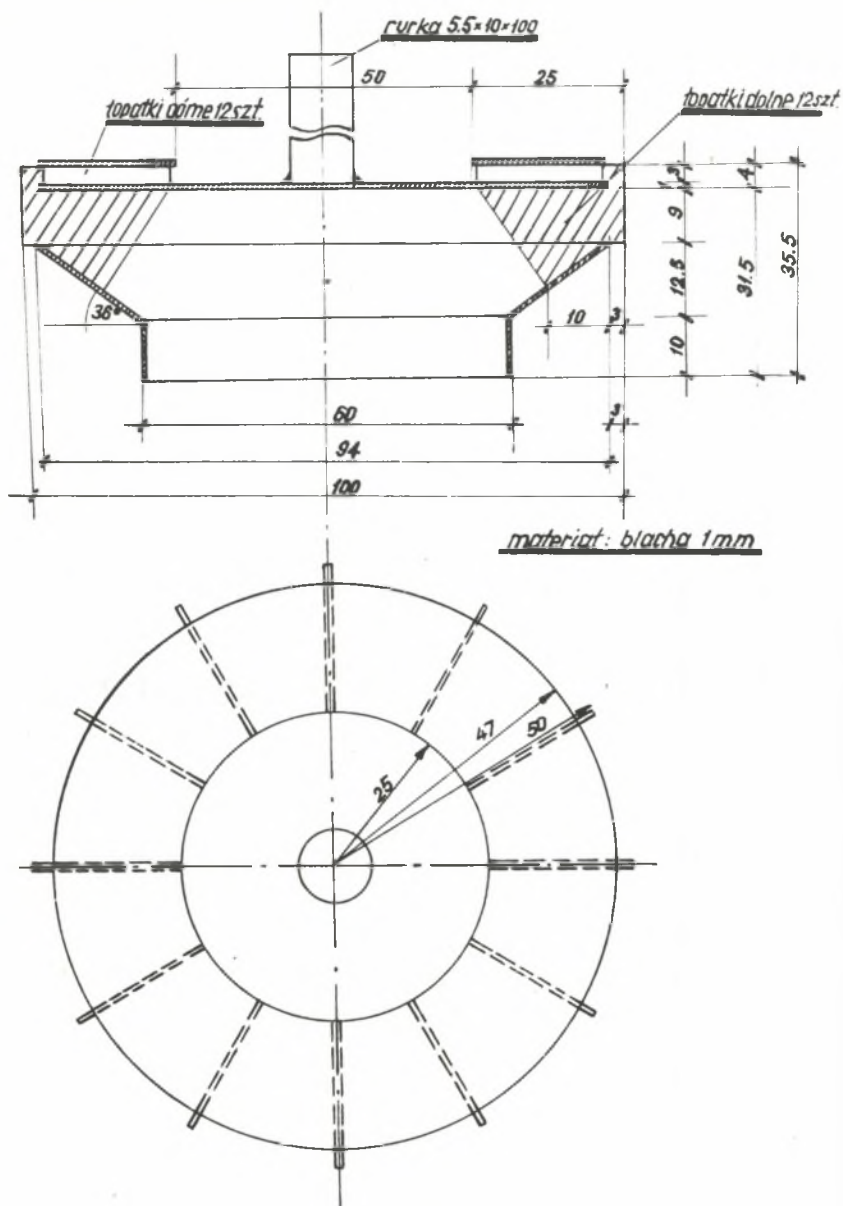
Rys. 1. Komora napowietrzania typu aeroakceleratora (skala 1:10)

metrycznie zmniejszony model o objętości ok. 96 m^3 , zmniejszenie liniowe równe było $1:10$.

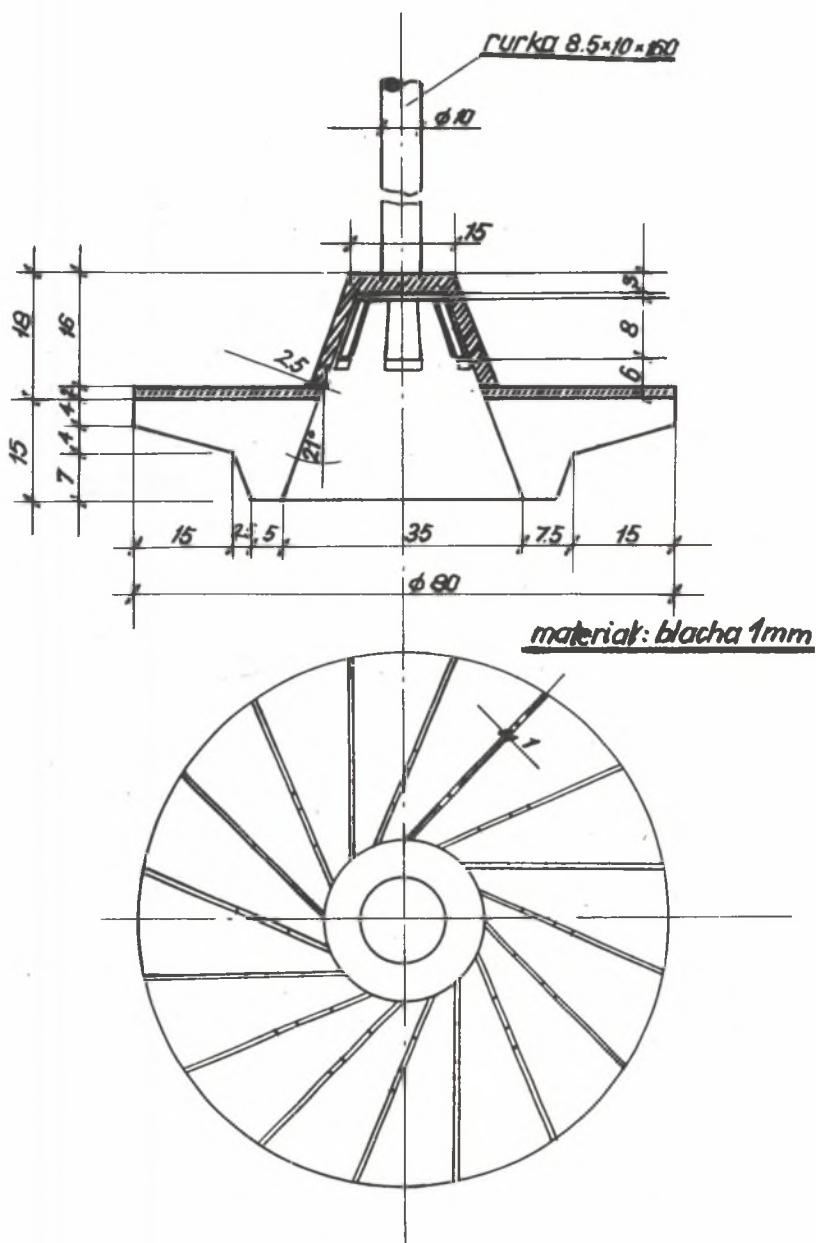
Drugą badaną komorę napowietrzania o objętości 30 l przedstawiono na rysunku 2. Podano na nim równocześnie podstawowe wymiary.



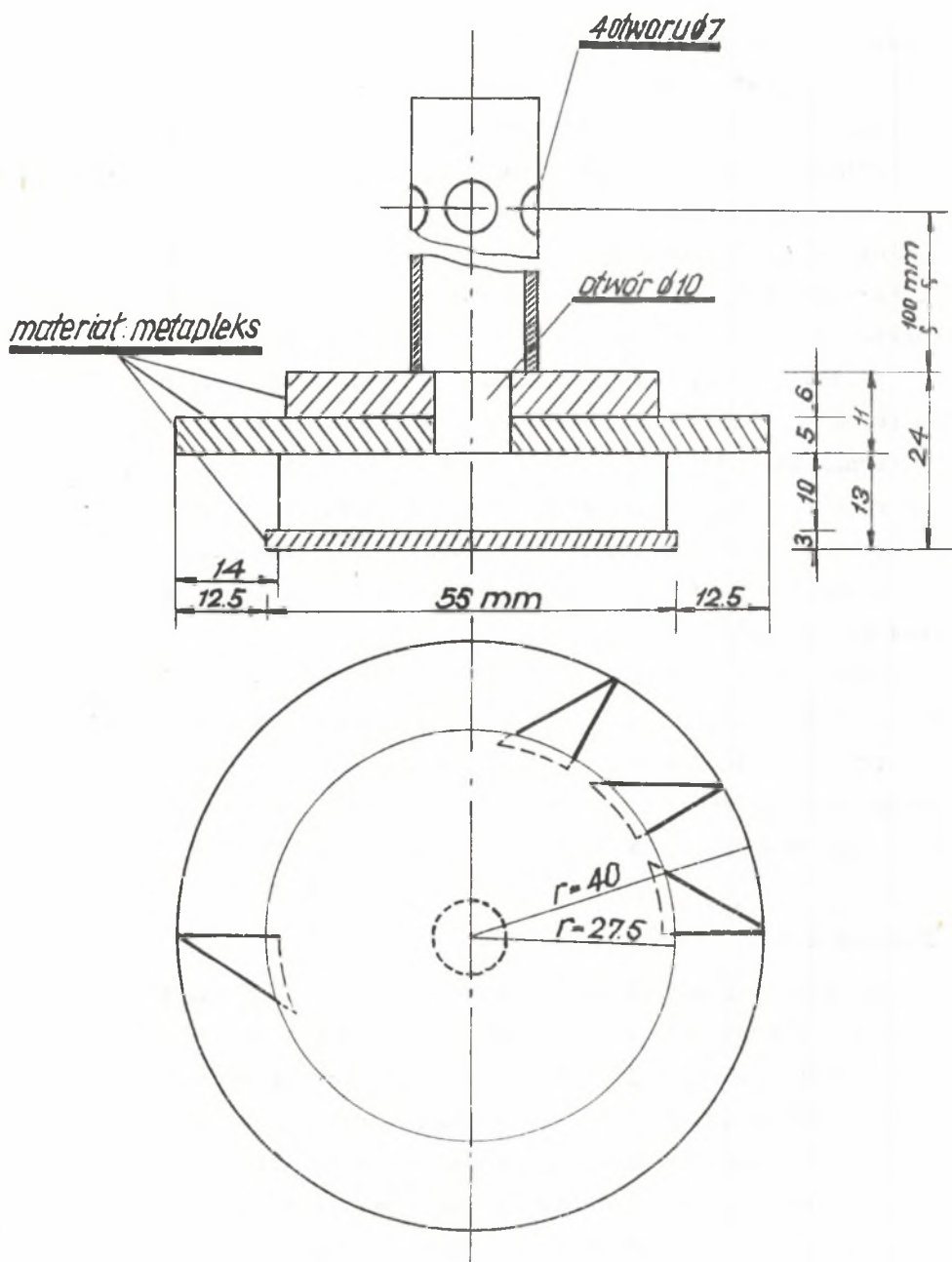
Rys. 2. Komora napowietrzania z osadnikiem kieszeniowym



Rys. 3. Wirnik typu A (skala 1:1)



Rys. 4. Wirnik typu B (skala 1:1)



Rys. 5. Wirnik typu C (skala 1:1)

Część środkowa przedstawionego przekroju stanowiła komorę napowietrzania, natomiast z obu jej stron umieszczono kieszeniowe osadniki wtórne. Podczas badań założono dodatkowe ścianki dzielące, stanowiące przedłużenie pokazanych na rysunku 2, celem ścisłego oddzielenia osadników od komory napowietrzania.

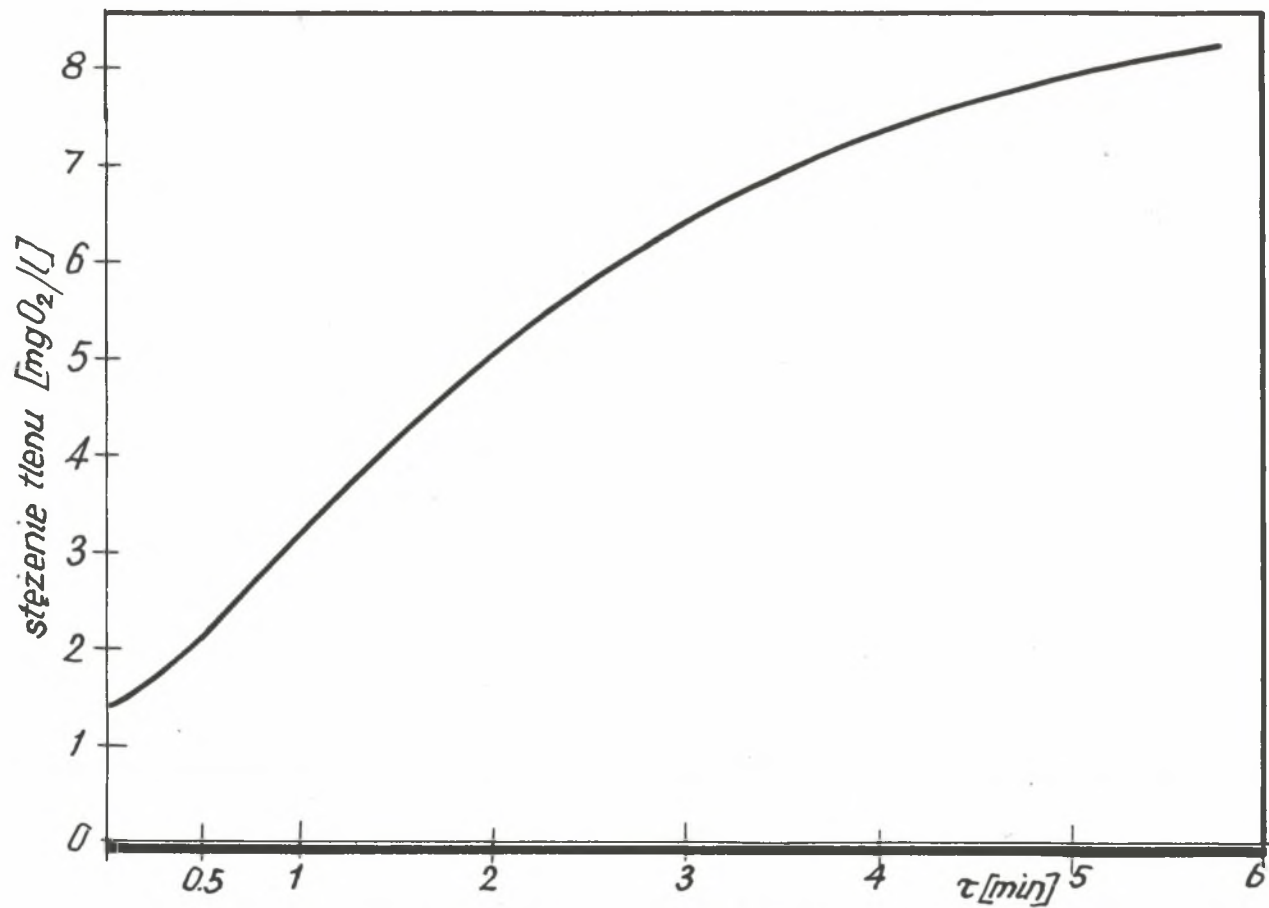
Jak już zaznaczono do badań zastosowano trzy typy wirników. Wirnik typu A wykonany był z blachy. Do poziomej tarczy o średnicy całkowitej równej 100 mm przymocowane były z obu stron łopatki. Nad tarczą łopatki były ograniczone pierścieniem, zaś pod tarczą posiadały osłonę w kształcie ściętego stożka (rys. 3).

Wirnik typu B (rys. 4) o średnicy 80 mm posiadał stosunkowo prostą konstrukcję. Do poziomej blaszanej tarczy było przymocowanych 16 łopatek, o zwiększającej się powierzchni w kierunku osi wirnika. U nasady wału wirnika wykonane zostały otwory dla umożliwienia zassania powietrza.

Trzeci badany wirnik typu C (rys. 5) wykonany był z plexi, z tarczą podstawową o średnicy 80 mm. Znajdujące się pod tą tarczą łopatki (12 sztuk) o rzucie trójkątnym, osłonięte były częściowo drugą tarczą o średnicy 55 mm. Podczas ruchu obrotowego wirnika powietrze było zasysane przez wydrążony wał.

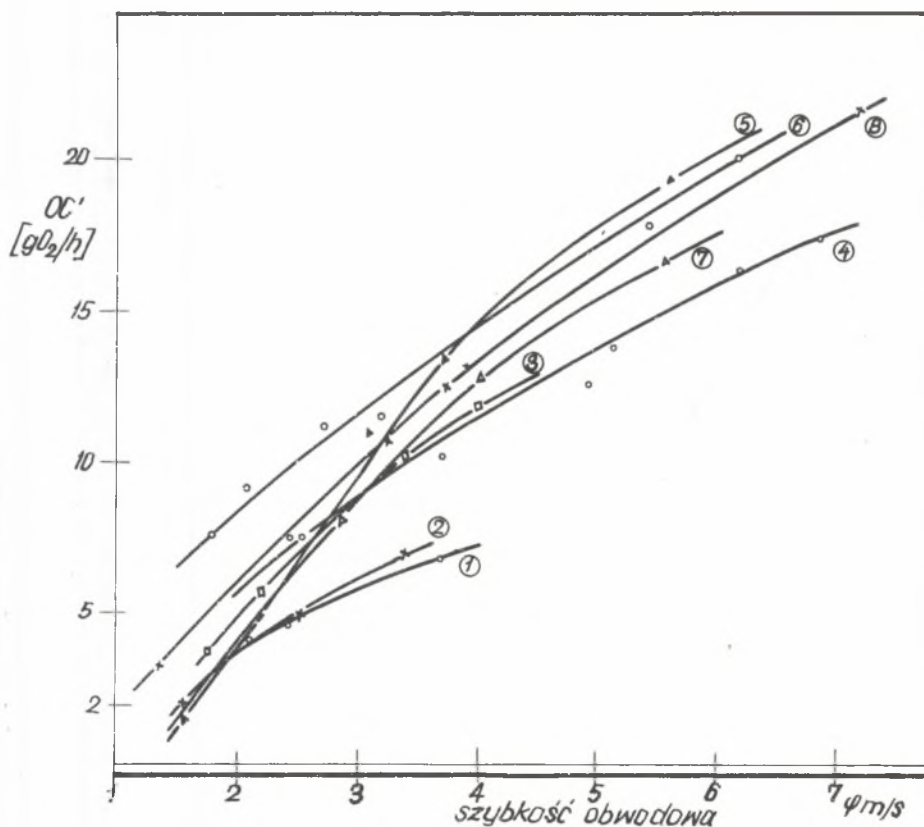
Metodyka badań

Pomiary kinetyki natleniania wykonano przez oznaczenie szybkości przyrostu tlenu w wodzie wodociągowej uprzednio odtlenionej siarczynem sodu w obecności soli kobaltu jako katalizatora. Tlen mierzono w sposób ciągły przy zastosowaniu sondy tlenowej działającej na zasadzie czujnika polarograficznego. Zmiany stężenia tlenu w czasie rejestrowano, uzyskując krzywe podobne do pokazanej przykładowo na rysunku 6. Równocześnie mierzona była temperatura badanej cieczy, oraz za pomocą stroboskopu lub tachometru szybkość obrotowa wirnika napowietrzającego.



Rys. 6. Zmiany stężenia tlenu w czasie

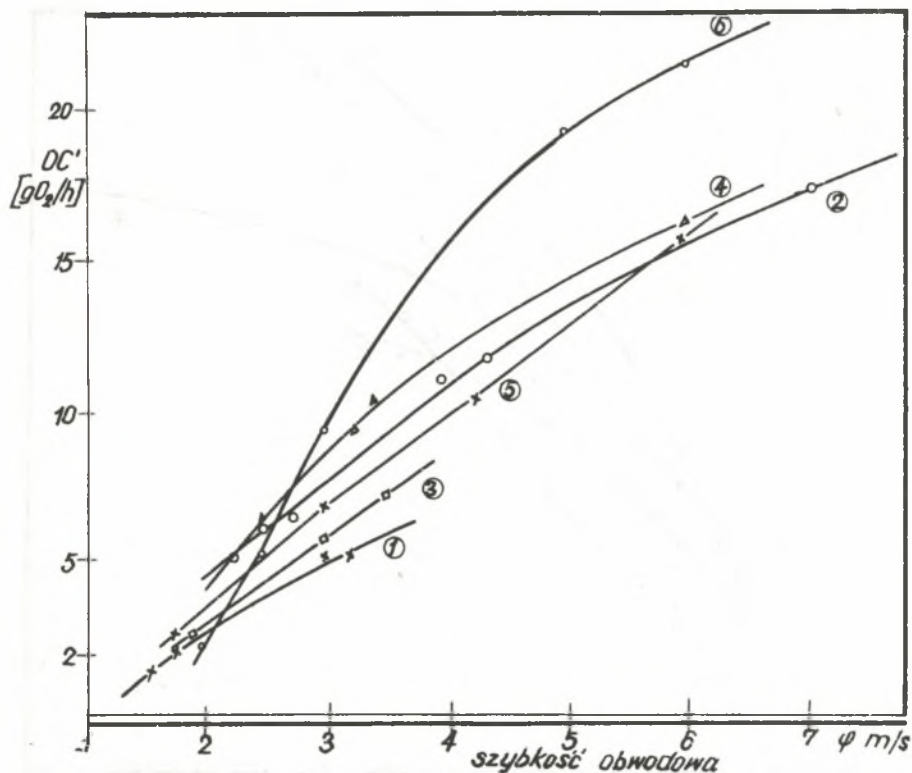
W ramach niniejszej pracy przebadano efektywność natleniania przy zastosowaniu opisanych trzech różnych, laboratoryjnych modeli wirników napowietrzających. Badania przeprowadzono dla zakresu szybkości obrotowych od 300 do 1600 obr/ min, co odpowiadało



Rys. 7. Zależność efektów natleniania od prędkości obwodowej dla wirnika typu A

1 - komora obj. 30 l, zamurzenie wirnika 0, 2 - komora obj. 100 l, zamurzenie wirnika 0, 3 - komora obj. 30 l, zamurzenie wirnika 10 mm, 4 - komora obj. 100 l, zamurzenie wirnika 10 mm, 5 - komora obj. 30 l, zamurzenie wirnika 20 mm, 6 - komora obj. 100 l, zamurzenie wirnika 20 mm, 7 - komora obj. 30 l, zamurzenie wirnika 30 mm, 8 - komora obj. 100 l, zamurzenie wirnika 30 mm

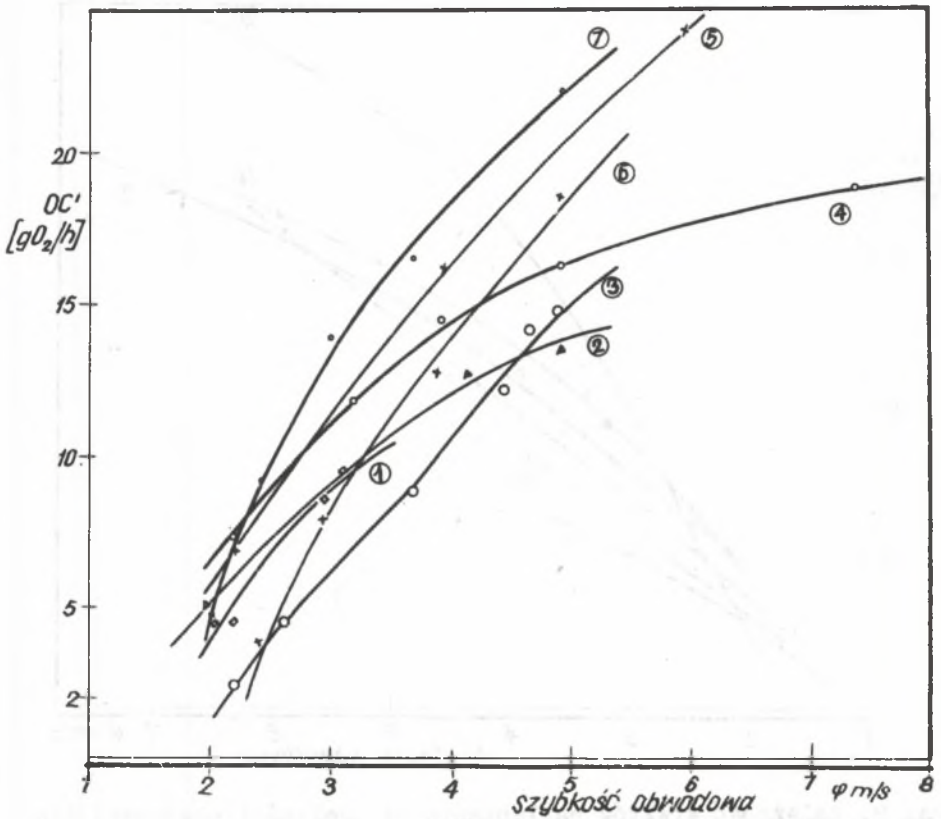
zmianom szybkości obwodowych od 1,3 do 8,0 m/s i przy kilku różnych zamurzeniach wirników.



Rys. 8. Zależność efektów natleniania od prędkości obwodowej dla wirnika typu B

1 - komora obj. 30 l, zamurzenie wirnika 10 mm, 2 - komora obj. 100 l, zamurzenie wirnika 10 mm, 3 - komora obj. 30 l, zamurzenie wirnika 20 mm, 4 - komora obj. 100 l, zamurzenie wirnika 20 mm, 5 - komora obj. 30 l, zamurzenie wirnika 30 mm, 6 - komora obj. 100 l, zamurzenie wirnika 30 mm

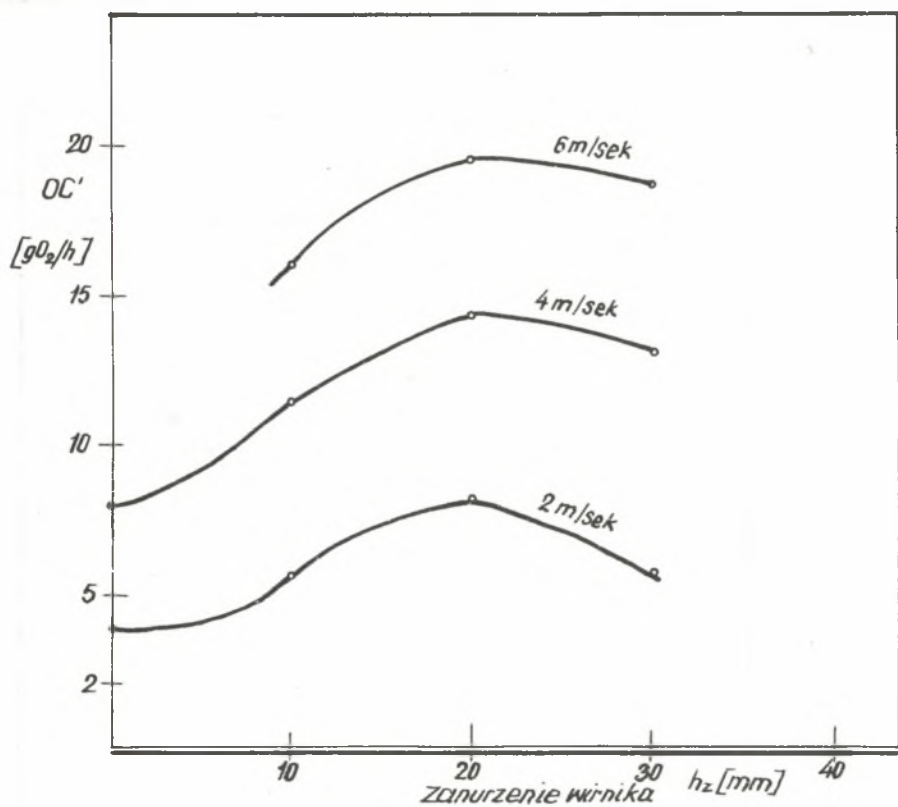
W przypadku wirnika typu A pomiary wykonano przy zamurzeniu (mierząc od górnej płaszczyzny wirnika): zero, 10, 20 i 30 mm. Wir-



Rys. 9. Zależność efektów natleniania od prędkości obwodowej dla wirnika typu C

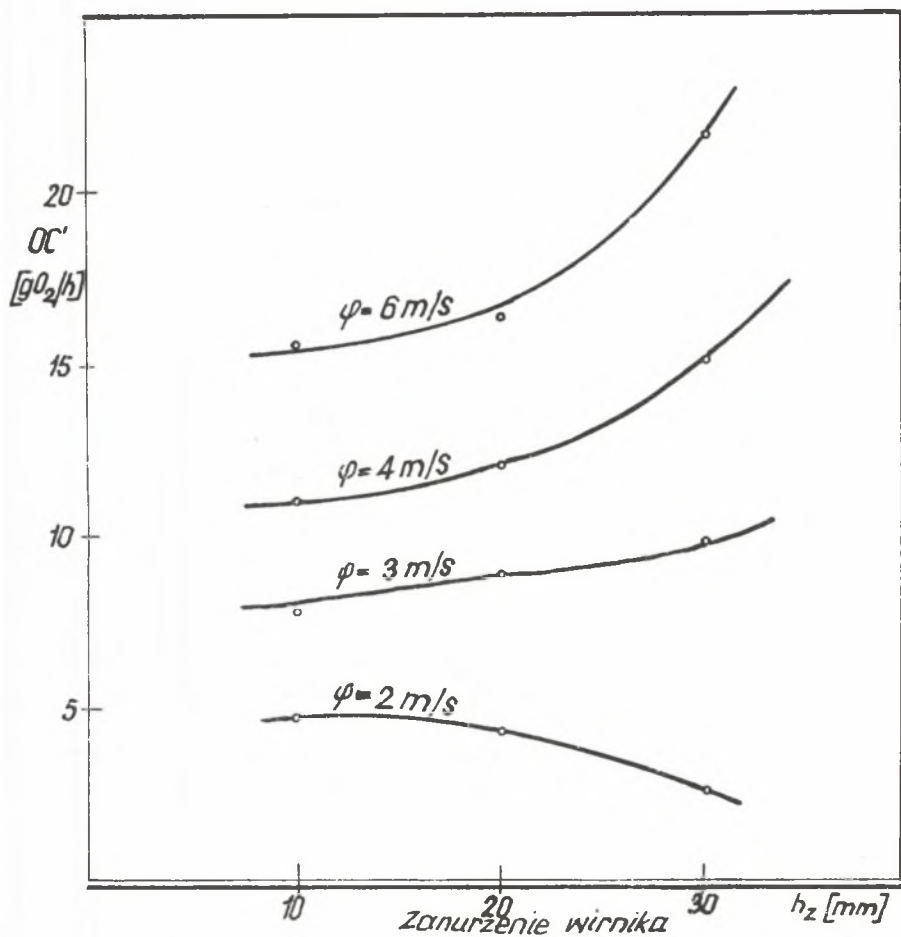
1 - komora obj. 30 l, zamurzenie wirnika 10 mm, 2 - komora obj. 100 l, zamurzenie wirnika 10 mm, 3 - komora obj. 30 l, zamurzenie wirnika 30 mm, 4 - komora obj. 100 l, zamurzenie wirnika 25 mm, 5 - komora obj. 100 l, zamurzenie wirnika 40 mm, 6 - komora obj. 30 l, zamurzenie wirnika 55 mm, 7 - komora obj. 100 l, zamurzenie wirnika 55 mm

nik C zamurzony był na głębokości 10, 25, 40 i 55 mm w przypadku pomiarów kinetyki natleniania w komorze napowietrzania o objętości 100 l i na głębokość 10, 30 i 55 mm w komorze napowietrzania o objętości 30 l.

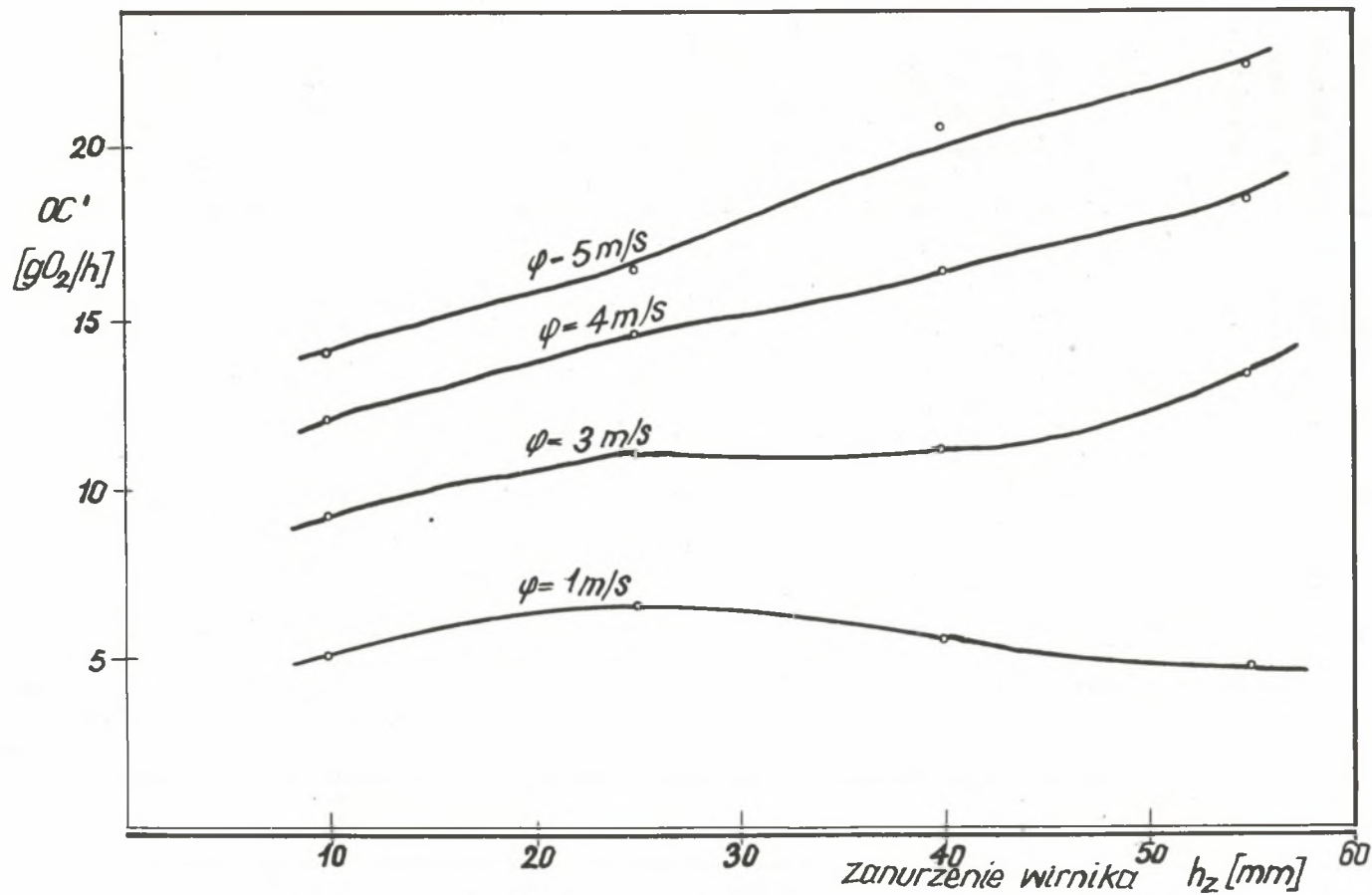


Rys. 10. Zależność efektów natleniania od głębokości zamurzenia wirnika typu A przy różnych szybkościach obwodowych (komora napowietrzania o obj. 100 l)

Uzyskane na podstawie przeprowadzonych pomiarów efekty natleniania, wyrażone za pomocą wartości OC' w gO_2/h , przedstawiono graficznie w zależności od prędkości obwodowej φ w m/s odpowiednio dla wirników typu A, B i C na rysunkach 7, 8 i 9. Na rysunkach tych podano zarówno efekty natleniania uzyskane w przypadku komory



Rys. 11. Zależność efektów natleniania od głębokości zamurzenia wirnika typu B przy różnych szybkościach obwodowych (komora napowietrzania o obj. 100 l)



Rys. 12. Zależność efektów natleniania od głębokości zanurzenia wirnika typu C przy różnych szybkościach obrotowych (komora napowietrzania o obj. 100 l)

napowietrzania o objętości 30 l jak i objętości 100 litrów. Kolejne rysunki 10, 11 i 12 obrazują wpływ głębokości zamurzenia wirników na efekty natleniania dla różnych prędkości obwodowych w komorze napowietrzania o objętości 100 l, odpowiednio dla wirników typu A, B i C.

Omówienie wyników i wnioski

Analizując uzyskane wyniki badań modelowych nad ekonomią natleniania mechanicznych urządzeń napowietrzających, stwierdzono bardzo złożony wpływ kształtu wirników, ich głębokości zamurzenia, a także wielkości komory napowietrzania. Dla prób uogólnienia tych wyników celowym wydaje się wcześniejsze omówienie poszczególnych wirników i ich efektów natleniania.

Wirnik typu A stanowi poniekąd modyfikację znanych wirników Vortair, czy też wirników Gyrox. Działanie tego wirnika polega na podnoszeniu cieczy z dna komory napowietrzania wzdłuż pionowej osi pod wirnikiem i jej rozbryzgu w pobliżu powierzchni zwierciadła cieczy. Na skutek działania siły odśrodkowej obracającego się wirnika następuje równoczesne wprowadzenie banieczek powietrza do cieczy. Celem zwiększenia ilości wsysanego powietrza wirnik typu A posiada nad zasadniczą tarczą dodatkowe łopatki osłonięte pierścieniem.

Na podstawie analizy wyników uzyskanych dla wirnika typu A (rys. 7) stwierdzono proporcjonalny wzrost efektów natleniania, wraz ze wzrostem prędkości obwodowej wirnika. Uzyskane efekty natleniania zmieniły się w zakresie od 1,65 do 22,6 gO_2/h , lub 30 do 226 gO_2/m^3h w przypadku komory napowietrzania o objętości 100 l - oraz od 55 do 647 gO_2/m^3h w komorze o objętości 30 litrów. Bardziej złożony wpływ posiadała głębokość zamurzenia wirnika. Stwierdzono występowanie wyraźnie optymalnego zamurzenia około 20 mm (rys. 10) niezależnie od szybkości obwodowych wirnika. Charakte-

rystycznym było duże zróżnicowanie uzyskanych efektów natleniania w zależności od głębokości zamurzenia wirnika. Przykładowo, w przypadku pracy wirnika z szybkością 4 m/s uzyskano dla zamurzenia wirnika równego 0, $OC = 8 \text{ gO}_2/\text{h}$, a dla zamurzenia 20 mm już 14,2 gO_2/h . Uzyskano więc prawie dwukrotne zwiększenie efektów natleniania w zależności od głębokości zamurzenia.

Analizując wpływ wielkości badanego modelu komory napowietrzania stwierdzono, że nie był on jednoznaczny i dla różnych szybkości obrotowych oraz różnych zamurzeń wirnika kształtował się w sposób zmienny (rys. 7) Przykładowo dla zamurzenia wirnika równego 10 mm i szybkości obrotowej do około 3 m/s, uzyskiwano nieco lepsze rezultaty natleniania dla komory napowietrzania o objętości 100 l. Ale przy wyższych prędkościach obrotowych wirnika lepsze rezultaty natleniania uzyskiwano w komorze napowietrzania o objętości 30 l.

Zasada działania drugiego badanego wirnika typu B podobna była do wirnika typu A. Zasadnicza różnica między nimi polegała na sposobie wprowadzenia do cieczy dodatkowych banieczek powietrza. Podczas ruchu obrotowego wirnika typu B następowało wytwarzanie podciśnienia pod tarczą wirnika i wsysanie powietrza poprzez otwory umieszczone w pobliżu osi wirnika.

Z analizy uzyskanych efektów natleniania wynika, podobnie jak dla wirnika typu A- proporcjonalność ich wzrostu w zależności od szybkości obrotowej wirnika. Uzyskane efekty natleniania zmieniały się w zakresie od 24,8 do 215 $\text{gO}_2/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ w przypadku komory napowietrzania o objętości 100 litrów oraz w zakresie od 48,8 do 523 $\text{gO}_2/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ w komorze napowietrzania o objętości 30 litrów. Wartości OC wyrażone w gO_2/h dla wirnika typu B zmieniały się w zakresie od 1,47 do 21,5.

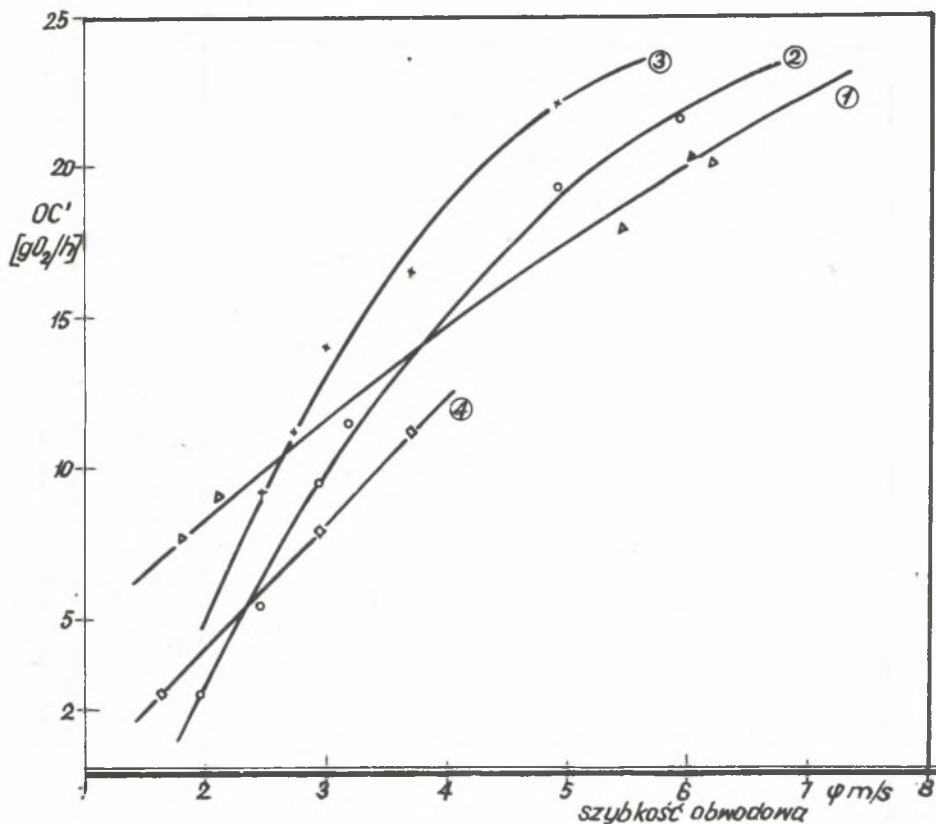
Analizując wpływ głębokości zamurzenia wirnika typu B (rys. 11) stwierdzono dla szybkości obwodowych większych od około 3 m/s

wzrost efektów natleniania wraz ze wzrostem głębokości zamurzenia wirnika. Charakterystyczne były (rys. 8) wyraźnie wyróżniające się efekty natleniania dla zanurzenia wirnika 30 mm w komorze napowietrzania o objętości 100 l. Wielkość komory napowietrzania posiadała istotny wpływ także w przypadku dwóch pozostałych badanych głębokości zamurzenia wirnika. Wynika stąd bardzo wyraźnie, duża czułość wirnika typu B na warunki hydrauliczne komory napowietrzania. Z porównania proporcji geometrycznych i kształtu obu komór napowietrzania należy przypuszczać o panujących w nich różnych warunkach hydraulicznych. Celowym wydaje się dla wyjaśnienia wpływu wielkości komory napowietrzania na uzyskiwane efekty natleniania, przeprowadzenie odpowiednich pomiarów hydraulicznych.

Podobnie, w przypadku badanego wirnika typu C (rys. 9) znaczny wpływ na uzyskiwane efekty natleniania posiadała wielkość komory napowietrzania i związane z nią różne warunki hydrauliczne napowietrzania. Przy zamurzeniu wirnika 55 mm i 30 mm lub 25 mm uzyskano znacznie większe wartości OC w przypadku komory napowietrzania o objętości 100 litrów w porównaniu z wartościami OC dla komory o objętości 30 litrów.

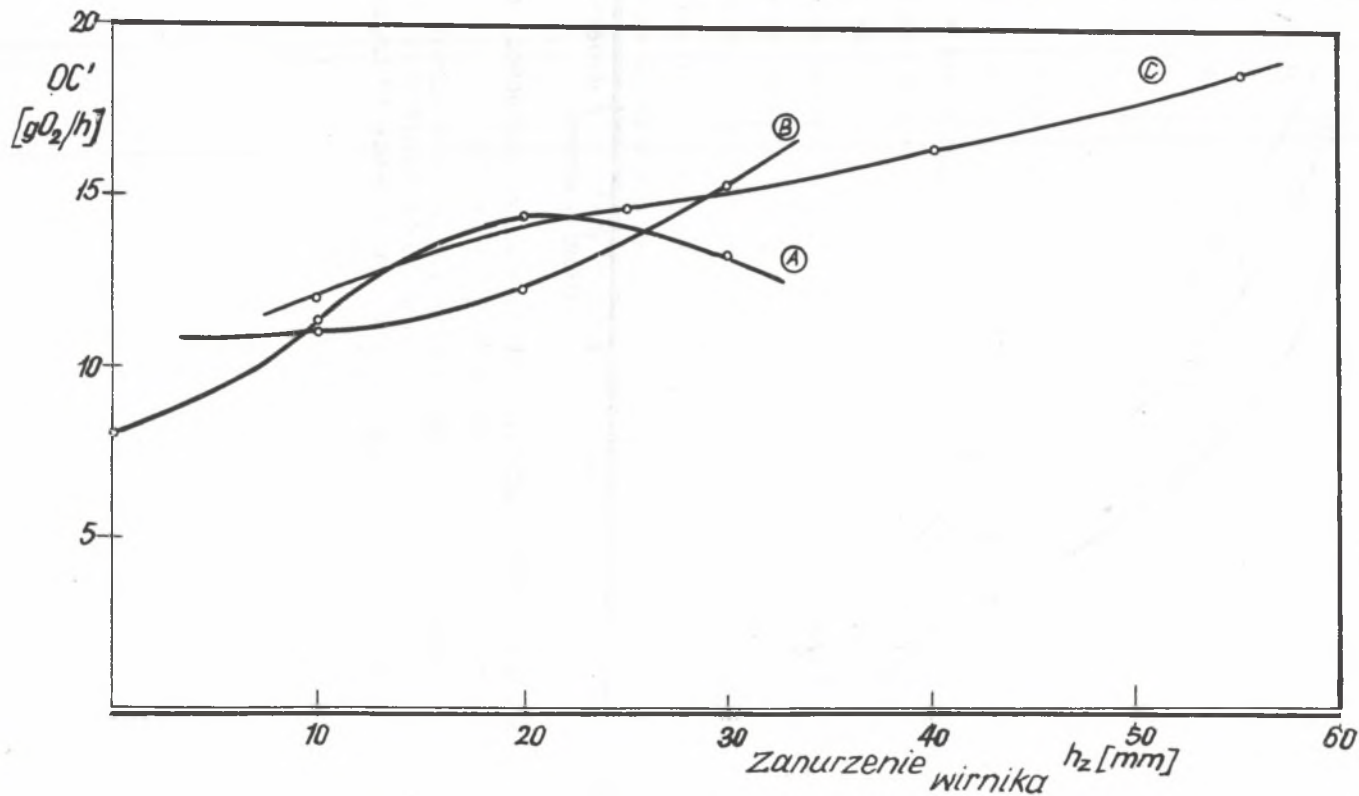
Zwrócić należy uwagę na identyczną zasadę działania wirników typu B i C, pomimo dość dużych różnic konstrukcyjnych. Budowa wirnika typu C pozwala na głębsze jego zamurzenie w stosunku do wirnika typu B. Wspomniane prawdopodobieństwo wpływu wielkości komory napowietrzania rozciąga się także na głębokość zamurzenia wirników. Powyżej szybkości obwodowej równej około 3,0 m/s stwierdzono wzrost efektów natleniania wraz ze wzrostem głębokości zamurzenia wirnika (rys. 12). Dla przykładu przy szybkości obwodowej równej 5,0 m/s i zanurzeniu wirnika na głębokość 10 mm, uzyskano OC' około 14 gO₂/h, a przy zamurzeniu 55 mm wartość OC' wynosiła już 22,3 gO₂/h.

W celu porównania efektów natleniania, uzyskanych dla trzech badanych wirników, przedstawiono na rysunku 13 optymalne wartości



Rys. 13. Optymalne wartości efektów natleniania w zależności od szybkości obwodowej, dla badanych wirników

1 - wirnik A zanurzenie 20 mm, komora obj. 100 l., 2 - wirnik B zanurzenie 30 mm, komora obj. 100 l., 3 - wirnik C zanurzenie 55 mm, komora obj. 100 l. 4 - wirnik Vortair - zanurzenie 10 mm, komora obj. 30 l.



Rys. 14. Zależność efektów natleniania od głębokości zamurzenia dla trzech badanych wirników, przy szybkości obwodowej równej 4,0 m/s.

OC^o w zależności od szybkości obwodowej. Na rysunku tym dodatkowo przedstawiono efekty natleniania uzyskane dla wirnika typu Vortair o średnicy 60 mm w komorze napowietrzania o objętości 30 litrów. Ponadto rysunek 14 obrazuje uzyskane efekty natleniania w zależności od głębokości zamurzenia dla trzech badanych wirników przy szybkości obwodowej równej 4,0 m/s.

Z przedstawionych graficznie wyników na rysunkach 13 i 14 widać wyraźnie, że najlepsze rezultaty natleniania uzyskano dla wirnika typu C. Nieco niższe wartości OC uzyskiwano kolejno dla wirników typu B i A. Wartości efektów natleniania uzyskane dla wirnika Vortair podane na rysunku 13, nie są wynikami optymalnymi dla tego typu wirnika i podano je jedynie celem możliwości porównania.

LITERATURA

- [1] Gańczarczyk J.: "Nowe rozwiązania urządzeń do napowietrzania ścieków" Materiały IX Konf. Nauk. Techn. Katowice, czerwiec 1966 str. 163-182.
- [2] Horvath I.: "Függőlegestengelyen mechanikus felületi levegőztetőberendezésekkel végzett oxigénfelvételi vizsgálatok"- Hidrológiai Közlöny, 1966, 11, 494-504,
- [3] Kalbskopf K.H.: "Systeme und Wirkungsweise der Kreisellüfter" Referat na Techn. Hochschule, Delft, Holandia, 1964.
- [4] Kalinske A.A.: "Evaluation of oxygenation capacity of localized aerators" - Jour WPCF 1965, 37, 11, 1521-1529,
- [5] Stalman V.: "Die BSK - Turbine ein neues Hochleistungs - Belüftungssystem der Abwassertechnik" GWF - 1965, 106, 22, 613-617,
- [6] Suschka J.: "Urządzenia do laboratoryjnych badań nad oczyszczaniem ścieków metodą osadu czynnego. Gospodarka Wodna 1967, 27, 4, 131-136.
- [7] Suschka J.: "Badania nad kinetyką natleniania przy zastosowaniu powierzchniowych aeratorów turbinowych". Gospodarka Wodna 1969, 2 53-56

- [8] Suschka J., Glajcar E., Różniatowski W.: "Kinetyka i ekonomia natleniania powierzchniowych aeratorów typu Vortair". Materiały XI Konf.Nauk.Tech. Katowice, czerwiec 1968, str. 139-170.
- [9] Weston R.F., Stack V.T.: "Fundamentals of operation of entrainment aerators" Conference on Biological Waste Treatment, Manhattan College, April 1960.

Streszczenie

Przeprowadzono w skali laboratoryjnej badania kinetyki natleniania cieczy (wody). W badaniach wykorzystano dwie komory napowietrzania, o pojemności 100 i 30 l oraz trzy wirniki napowietrzające, różnych typów. Doświadczenia wykazały złożony charakter wpływu prędkości obrotu wirnika, głębokości jego zamurzenia i pojemności komory napowietrzania na uzyskiwane efekty natleniania. Najlepsze efekty uzyskano w przypadku zastosowania wirnika, przy którym oprócz ruchu obrotowego występowało równocześnie zasysanie powietrza. Pod wpływem siły odśrodkowej powietrze było zasysane pod talerzyk wirnika, a także równocześnie następowało rozbijanie łopatkami wirnika pęcherzyków powietrza, wprowadzanego do cieczy.

ИССЛЕДОВАНИЯ НЕКОТОРЫХ ТИПОВ ПОВЕРХНОСТНЫХ
АЭРАТОРОВ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Р е з ю м е

Проведены в лабораторном масштабе исследования кинетики введения кислорода до жидкости (воды). Для испытаний использовано два аэротенки емкостью сто и тридцать литров и три поверхностные ротора разных типов.

Опыты показали сложный характер влияния скоростей оборота ротора, глубины его погружения и величины емкости аэротенка на получены эффекты введения кислорода.

Наилучшие результаты введения кислорода определено для случая использования ротора, при котором кроме оборотного движения, происходило одновременно засасывание воздуха.

Под влиянием центробежной силы воздух был засасыван под тарелкой ротора а также одновременно происходило разбивание лопастьями ротора введенных до жидкости пузырьков воздуха.

INVESTIGATIONS IN LABORATORY SCALE CONCERNING SOME TYPES
OF SURFACE AERATORS

S u m m a r y

Investigation in laboratory scale on oxygenation kinetic were carried out. Two different aeration basins of the volume of 100 and 30 liters, and three types of surface rotors were used.

On the basis on the experiments complex effect of the circumferential velocity, rotor immersion and the aeration basin volume on oxygenation efficiency was shown. The best results were obtained for the rotor which effect also as a kind of injektor. Because of the centrifugal force air was sucked under the rotor disk and next destroyed to a lot of small bubbles with the rotor blades.