

## BADANIA MAKROSTRUKTURY ROZPYLANEJ CIECZY PRZEZ WTRYSKIWACZ AERACYJNY

### RESEARCH OF MICROSTRUCTURE OF ATOMIZED LIQUID BY AERAL INJECTOR

*W artykule przedstawiono wyniki badań parametrów makrostruktury wtryskiwacza aeracyjnego w zależności od zmiany wybranych parametrów geometrycznych (kąt zawirowania strugi powietrza) oraz zmiany wybranych parametrów zasilających (ciśnienie powietrza oraz stosunek strumienia masy powietrza do strumienia masy rozpylanej cieczy). Parametry makrostruktury, które były badane na stanowisku to kąt rozpylenia strugi oraz rozkład kropeł w strudze rozpylanej cieczy. Badania przeprowadzono na stanowisku badawczym, które umożliwiło rejestrowanie za pośrednictwem karty pomiarowej parametrów przepływowych powietrza oraz cieczy przepływających przez wtryskiwacz, kątów rozpylenia rejestrowanych przez szybko klatkową kamerę CCD. W wyniku przeprowadzonej analizy statystycznej wyników, zależności parametrów makrostruktury od parametrów geometrycznych i zasilających przedstawiono w postaci wzorów empirycznych.*

**Słowa kluczowe:** turbinowe silniki lotnicze, wtryskiwacze paliwa, wtryskiwacze aeracyjne, makrostruktura rozpylanej cieczy

*In the article results of research of microstructure parameters of aeral injector due to change of geometrical (swirl angle of air stream) and feed parameters (air pressure and flow rate air to fluid ratio) was presented. Microstructure parameters, which have been tested are swirl angles of air stream and distribution of droplets on the atomized fluid stream. An investigation has been made on test stand which allows to store following parameters: flow parameters of air and fluid flowed through the injector stored by measurement card, angle of atomization stored by CCD camera. All results and data have been given in statistical analysis, as result of it the relationship between microstructure parameters to geometrical and feed parameters has been showed as semi-empirical equations.*

**Keywords:** turbofan, fuel injectors, aeral injectors, microstructure of atomiz

#### 1. Wprowadzenie

Wtryskiwacz aeracyjny zaklasyfikować można do grupy wtryskiwaczy pneumatycznych [2, 3], w których rozpylanie cieczy (paliwa) jest wynikiem działania naprężeń stycznych powstających wstępnie na granicy styku przepływającego powietrza i błony cieczy a następnie poprzez aerodynamiczne oddziaływanie powietrza na krople. Wtryskiwacze aeracyjne odznaczają się możliwością wstępnego napowietrzania strugi cieczy poprzez dwustronne oddziaływanie powietrza, które może przepływać równoległe lub być zawirowane przeciwnie. Skomplikowane zjawiska przepływowe powstające w obszarze styku błony cieczy (paliwa) ze strugami powietrza są w obecnym stanie wiedzy trudne do opisanie na płaszczyźnie matematycznej [1]. Poznawanie tych mechanizmów na drodze eksperymentalnej jest kluczem do efektyw-

#### 1. Introduction

An aeral injector can be classified to pneumatic injector group [2, 3] on which fluid (fuel) atomization is a result of influenced tangent stress which first arises on contact boundary between flowing air and fluid layer and next by aerodynamic reaction of air on droplets. Aeral injectors are distinguished by possibility to aeration of fluid by two-sided air interaction, which can flow parallel or can be backward swirled. The complicated flow phenomena on the area of contact fluid layer with air stream are very difficult to describe by mathematical dependencies [1]. The recognition of this mechanism by experiment way is the key to effective building of calculates mathematical models for that kind of injector by using of empirical formulas.

nego budowania modeli obliczeniowych tego typu wtryskiwaczy w oparciu o zależności empiryczne.

## 2. Konstrukcja wtryskiwacza aeracyjnego

Przedmiotem badań jest wtryskiwacz aeracyjny, którego koncepcja przewidziana jest na zastosowanie w komorze spalania silnika turbinowego o małym ciągu (niski strumień masy przepływającego powietrza przez silnik). Przyjęte rozwiązanie konstrukcyjne składa się z 1 kanału pierścieniowego tworzącego błonę cieczy (paliwa) oraz dwóch kanałów powietrznych (rys. 2.1). Zadaniem kanałów powietrznych jest przeciwbieżne zawirowanie powietrza oraz skierowanie go na błonę cieczy, która rozbijana jest na krople. Schemat działania wtryskiwacza jest następujący: ciecz w postaci błony doprowadzana jest kanałem pierścieniowym pomiędzy przeciwbieżne zawirowane strugi powietrza, powoduje to rozbijanie błony cieczy na krople oraz wstępne napowietrzenie.

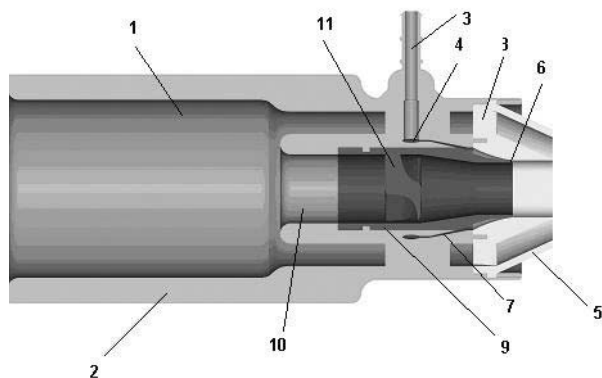
Pod względem konstrukcyjnym wtryskiwacz posiada budowę modułową, składa się z modułu głównego, do którego mocuje się zawirowywacze wewnętrzne i zewnętrzne. Modułowość konstrukcji wtryskiwacza pozwala na łatwy montaż i demontaż palisad łopatkowych. Stosunek pól przekrojów kanału zewnętrznego do wewnętrznego –  $\delta$  narzuca średnice tych kanałów. Dla badanej konstrukcji wtryskiwacza, grubość szczeliny kanału paliwowego w przekroju wylotowym wynosi 0,3 [mm] natomiast geometria łopatek określona jest przez kąt ustawienia profilu w palisadzie (kąt zaklinowania łopatki) –  $\zeta$ . W celu określenia charakterystyk kąta rozpylenia oraz rozkładu kropel od kątów zawirowania palisad łopatkowych wykonano po 4 moduły zawirowywujące odpowiednio dla kanału wewnętrznego i zewnętrznego o kątach zaklinowania 10, 15, 20 i 25 [deg].

## 2. Design of aeral injector

The subject of research is aeral injector which purpose is using them to combustion chamber of small propulsive thrust propfan (low fluid flux of air through by engine). The accepted design solution consists of one ring duct, which forms fluid film (fuel film) and two air ducts (fig. 2.1). The purpose of the air ducts is backward swirl and point them on fluid film which is breaking on droplets.

The work methodology of injector is following: the fluid as film is deliver through the ring duct to backward swirled air streams, it causes breaking of the fluid film on droplets and preliminary aeration.

From design point of view the injector has modular design, he is composed of main module to which are fixed internal and external swirlers. The modularity of construction allows to easier assembly and disassembly of grids of blades. The ratio of external to internal section –  $\delta$ , determines the diameter of ducts. For investigated design of injector, the thickness of fuel duct gap on outer section equals 0.3 [mm] and geometry of blades is determined by blade incidence angle on grid of blades –  $\zeta$ . To determine characteristics of spray angle and droplets distribution as a function of swirl angles the four swirl modules for external and internal ducts with swirl angles 10, 15, 20 i 25 [deg] has been made appropriately.



Rys. 2.1. Schemat wtryskiwacza aeracyjnego: 1) kanał powietrzny zewnętrzny, 2) moduł główny, 3) pierwszy pierścień rozprowadzający paliwo w ścianie zewnętrznej, 4) jedna z owiewek doprowadzających paliwo, 5) moduł zawirowywacza zewnętrznego, 6) kanał wypływu strugi paliwa, 7) kanał rozprowadzający paliwo do wylotu, 8) drugi pierścień rozprowadzający paliwo w ścianie wewnętrznej, 9) moduł zawirowywacza wewnętrznego, 10) kanał powietrzny wewnętrzny

Fig.2.1. Section on aeral injector: 1) external air duct, 2) main module, 3) the first ring inside external wall to feed of fuel, 4) ring duct for circumferential redistribute of fuel, 5) module of external swirler, 6) the outlet of the fuel, 7) the duct of fuel stream outlet, 8) blades of external swirler, 9) module of internal swirler, 10) internal air duct, 11) blades of internal swirler

### 3. Opis stanowiska badawczego

Przestrzeń pomiarową stanowiska do badań makrostruktury rozpylanej cieczy stanowi komora wykonana z poliwęglanu o wymiarach 500 x 500 [mm] i wysokości 1000 [mm]. Wtryskiwacz zamocowany jest w uchwycie wciskowym na wysokości około 1/4 od górnej ściany komory. Stanowisko wyposażone jest w system zasilający wtryskiwacz w media oraz system sterująco-pomiarowy sprzężony poprzez kartę pomiarową z komputerem PC. Schemat stanowiska z zaznaczonymi elementami przedstawiono na Rys. 3.1.

System zasilający składa się z układu zasilania cieczą i układu zasilania sprężonym powietrzem. Ciecz o określonym nadciśnieniu przepływa przez naczynie wyrównawcze (10) następnie przez zawór regulujący wydatek przepływu (7) oraz przepływomierz (6) i przewodem (5) dostarczana jest do wtryskiwacza (9). Natomiast powietrze sprężane jest w sprężarce (1), następnie poprzez zawór główny (2) oraz zespół złożony z zaworu sterującego filtra i manometru (3) elastycznym przewodem (4) dostarczane jest do wtryskiwacza. Bezpośrednio przed wtryskiwaczem dokonywany jest pomiar ciśnienia statycznego i dynamicznego powietrza oraz jego temperatury statycznej. Sposób pomiaru przedstawiono na Rys. 3.2. Elementy sterujące pracą stanowiska oraz czujniki pomiarowe współpracują z komputerem poprzez specjalne oprogramowanie wykorzystujące kartę pomiarową, która rejestruje i zapisuje podstawowe dane przepływowe przez wtryskiwacz.

Ze względu na konieczność pomiaru dwóch specyficznych zestawów danych zastosowano dwie konfiguracje dodatkowego wyposażenia stanowiska. Podczas pomiaru kąta rozpylenia strugi na stanowisku zainstalowano szybko klatkową kamerę cyfrową CCD (Rys. 3.3). Natomiast do określenia rozkładu rozpylanej

### 3. Description of the test stand

The test section of test stand for investigating of macrostructure sprayed fluid is composed of the chamber made from polycarbonate at dimensions 500 x 500 [mm] and height 1000 [mm]. An injector is fixing on fixture on the high about 1/4 from top wall of the chamber. The test stand is equipped with feed system of the injector and measure-control system connected to komputer PC by measuring card. The diagram of the test stand with elements is presented on Fig. 3.1.

The feed system is composed of the fluid feed system and compressed air feed system. The fluid at known overpressure flow through surge tank (10) next through fluid flow control valve (7) and fluid meter (6) and by pipe (5) is supply to injector (9). The air is compressed on the compressor (1), next through main valve (2) and unit composed with control valve and manometer (3) by elastic pipe (4) is supply to injector. Directly before injector is making direct measurement of static, dynamic pressure and static temperature. The way of measure has presented on Fig. 3.2. Elements controlling the work of test stand and measure sensors collaborate with komputer by special software, which by using measurement card can store and write all data which are measuring on test stand.

For the sake of necessary to measure two specific set of data, two configuration of additional test stand equipment has been used. To measure spray angle of stream a CCD kamera was installed. (Fig. 3.3) To determine stream droplets distribution the pipe probe pallet showed on Fig. 3.4 has been used. This probe has been fixed on test chamber in manner that the inlet to probes was 100 mm and 200 far from outlet of injector. The probe pallet was made by nine

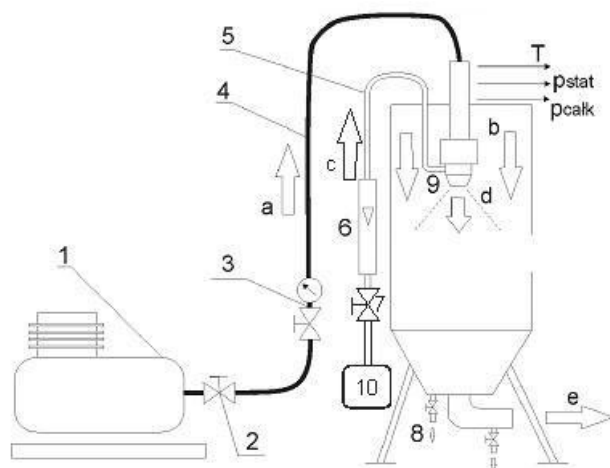


Fig. 3.1. Schemat stanowiska do badań wtryskiwacza: 1) sprężarka, 2) zawór główny, 3) zawór regulacyjny z filtrem i manometrem, 4) elastyczny przewód doprowadzający sprężone powietrze, 5) przewód doprowadzający ciecz, 6) przepływomierz, 7) zawór sterujący przepływem cieczy, 8) zawór odprowadzający skroploną ciecz, 9) wtryskiwacz aeracyjny, 10) zbiornik wyrównawczy cieczy, a) strumień sprężonego powietrza, b) strumień powietrza opływającego, c) strumień cieczy, d) struga rozpylonej mieszanki cieczy i powietrza, e) odprowadzenie powietrza z komory pomiarowej

Fig. 3.1. Test stand diagram for injector research: 1) compressor, 2) main valve, 3) control valve with filter and manometrem, 4) supply flexible conductor of compressed air, 5) fluid supply conductor, 6) fluid meter, 7) fluid flow control valve, 8) blend valve of condensed fluid, 9) aeral injector, 10) fluid surge tank, a) stream of compressed air, b) flowing air stream, c) stream of fluid, d) stream of sprayed mixture of fluid and air, e) outlet pipe from test chaber

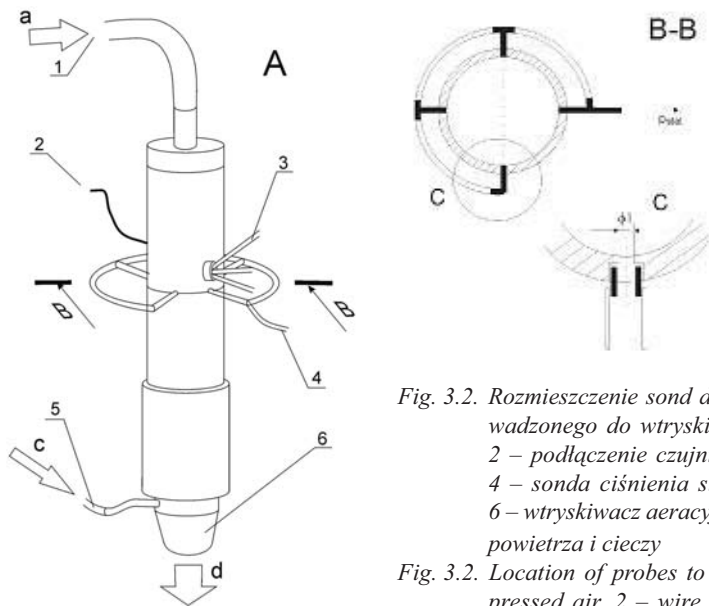
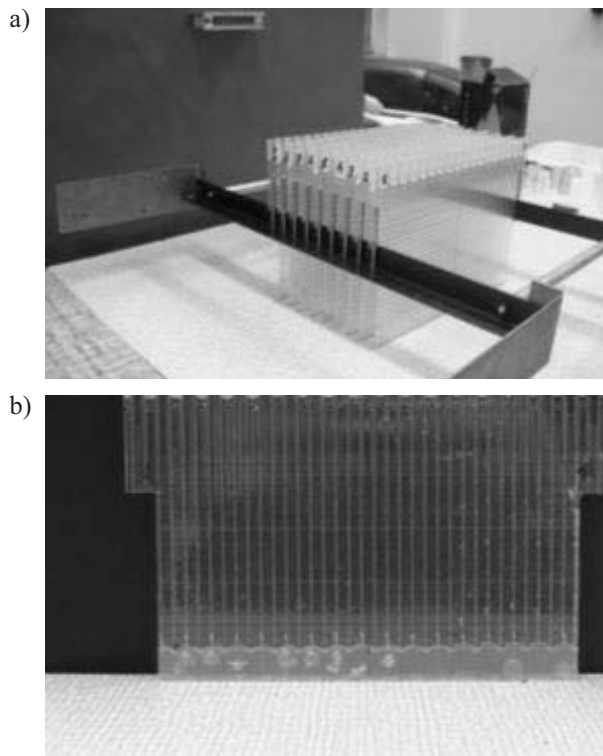


Fig. 3.2. Rozmieszczenie sond do pomiaru parametrów zasilania powietrza doprowadzonego do wtryskiwacza: 1 – doprowadzenie sprężonego powietrza, 2 – połączenie czujnika temperatury, 3 – sonda ciśnienia całkowitego, 4 – sonda ciśnienia statycznego, 5 – doprowadzenie rozpylanej cieczy, 6 – wtryskiwacz aeracyjny, a – strumień powietrza, c – ciecz, d – mieszanka powietrza i cieczy

Fig. 3.2. Location of probes to measure of air feed parameters: 1 –inlet of compressed air, 2 – wire of temperature sensor, 3 – total pressure probe, 4 –static pressure probe, 5 – inlet of fluid to spray, 6 – aeral injector, a – stream of air, c –fluid, d – mixture o fair and fluid



Rys. 3.3. Stanowisko do badań kąta rozpylenia strugi  
Fig. 3.3. Test stand for investigate of spray angle of stream



Rys. 3.4. Sonda do badań rozkładu osiowego i obwodowego strugi cieczy rozpylanej przez wtryskiwacz:  
a) widok ogólny przyrządu pomiarowego, b) widok grzebienia sondy pomiarowej

Fig. 3.4. Probe for research of axial and circumferential distribution of fluid stream sprayed by injector:  
a) overall view of measuring instrument, b) the view of comb measuring probe

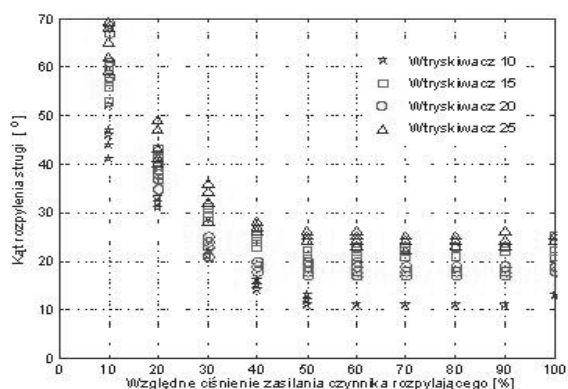


strugi wykorzystano paletę sond rurkowych przedstawioną na Rys. 3.4, którą zamocowano w komorze pomiarowej tak, że powierzchnia wlotu do palety sond znajdowała się w odległości 100 mm, a następnie 200 mm od wylotu z wtryskiwacza. Sonda została wykonana z dziewięciu „grzebieni”, które rozstawiono w równych odległościach - 15 mm. Przekrój wlotowy do pojedynczego kanalika sondy stanowi prostokąt o wymiarach 5 mm na 4 mm. Na grzebieniu naniesiona jest podziałka, a jej elementarna działka odpowiada objętości 0,075 ml słupa cieczy w rurce.

#### 4. Plan badań oraz wyniki

##### 4.1. Wpływ parametrów zasilających i geometrycznych na kąt rozpylenia strugi

Przy wykonywaniu badań przyjęto następującą metodykę badań wpływu parametrów zasilania na kąt rozpylenia strugi cieczy. Dla maksymalnego ciśnienia powietrza zasilającego wtryskiwacz (100% odpowiada 300 kPa) zmieniano strumień masy rozpylanej cieczy w zakresie od 10 % do 100% z krokiem 10 % (100% odpowiada  $Q=0,7$  l/min). Następnie utrzymując maksymalny strumień masy rozpylanej cieczy zmieniano ciśnienie rozpylającego powietrza także z krokiem co 10% w zakresie od 10 do 100% wartości maksymalnej. Dla każdej nastawy parametrów zasilania po ustaleniu się warunków przepływu rejestrowano zdjęcia rozpylonej strugi cieczy za pomocą kamery CCD. Zestaw zdjęć poddano obróbce graficznej w programie COREL w celu określenia średniego kąta rozpylenia przy danym ustawieniu parametrów zasilających. Na rys. 4.1 i 4.2 przedstawiono charakterystyki zmiany kąta rozpylenia w zależności od parametrów zasilających.



Rys. 4.1 Kąt rozpylenia strugi dla maksymalnego wydatku rozpylanej cieczy w zależności od względnego ciśnienia zasilania czynnika rozpylającego

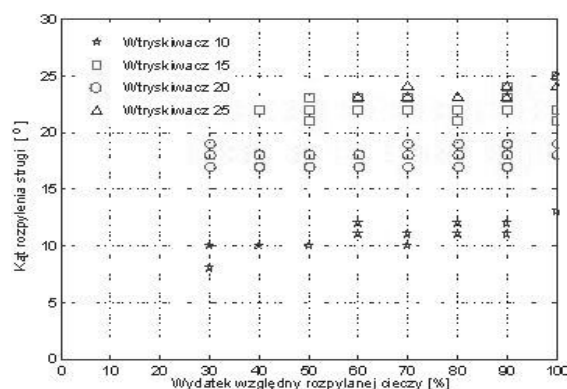
Fig. 4.1. Spray angle of stream for maximum fluid flow depending on relative feed pressure of spray medium

combs between which spacing was 15 mm. The inlet section of the one probe is a rectangle at dimensions 5 mm to 4 mm. Each probe has scale and minimum graduation equals volume 0,075 ml column of liquid on the pipe.

#### 4. Research plan and results

##### 4.1. The influence of feed and geometrical parameters on spray angle of droplet stream

During performing of research the following methodology of research the influence of feed parameters on spray angle of the fluid was being taken. For maximum air pressure which feeds the injector (100% equals 300 [kPa]) the fluid flux of atomized fluid within the range of 10 % to 100% with step of 10 % was being changed (100% equals  $Q=0.7$  [l/min]), next by keeping maximum fluid flux the pressure of the air used to atomized within the range of 10% to 100% with step of 10 % was being changed. For each setpoint of feed parameters, after reach steady state conditions shots of atomized stream by CCD camera was stored. The set of shots had been analysed by COREL software to determine mean spray angle at known set of feed parameters. Characteristics of change spray angle depending on feed parameters were showed on fig. 4.1 and 4.2.



Rys. 4.2. Kąt rozpylenia strugi dla maksymalnego ciśnienia zasilania czynnika rozpylającego w zależności od względnego wydatku rozpylanej cieczy

Fig. 4.2. Spray angle of stream for maximum feed pressure of spray medium depending on relative discharge of sprayed fluid

Analiza statystyczna zależności kąta rozpylenia od zmiany ciśnienia zasilania powietrzem i kątów zawirowania wkładek wtryskiwacza pozwoliła przedstawić relację pomiędzy badanymi parametrami w postaci wyrażenia:

$$\alpha = 25,902 - \frac{210,65}{x} + \frac{457,88}{y} \quad (1)$$

gdzie:  $x$  – względne ciśnienie zasilania powietrza w [%],  $y$  – kąt zawirowania wkładek wtryskiwacza w [°]

Badania relacji pomiędzy kątem rozpylenia strugi a strumieniem masy rozpylanej cieczy i kątami zawirowania wkładek pozwoliły na wyznaczenie następującej zależności:

$$\alpha = 2,245 + 0,876x + 0,017y \quad (2)$$

gdzie:  $x$  – kąt zawirowania wkładek wtryskiwacza w [°],  $y$  – względny wydatek cieczy rozpylanej przez wtryskiwacz w [%].

## 2.2. Wpływ parametrów zasilających na rozkład kropeł w strudze cieczy rozpylanej przez wtryskiwacz

Badania rozkładu kropeł w strudze cieczy rozpylanej przez wtryskiwacz wykonane zostały dla wtryskiwacza z wkładkami zawirowującymi o kącie zaklinowania 25° przy nastawach: względne ciśnienie powietrza zasilającego 10%, 20% i 30% oraz względny wydatek wody od 60% do 100%. Przy mniejszych strumieniach masy cieczy nie uzyskiwano poprawnego kąta rozpylenia, dlatego w tym zakresie nie badano rozkładu strugi cieczy. Procedura pomiarowa polegała na umieszczeniu palety sond pomiarowych w odległości 100 mm od wylotu wtryskiwacza. Przez 10 s pracy wtryskiwacza wloty sondy były otwarte, następnie przysłaniano je i wyłączano pracę wtryskiwacza. Paletę sond rozkładano na pojedyncze grzebienie sond i fotografowano rozkład słupków cieczy, jakie zbierały się wewnątrz każdej rurki grzebienia sondy. Ze względu na zbliżony do osiowosymetrycznego charakter otrzymanych rozkładów kropeł, dokonano uśrednienia otrzymanych wyników po okręgach. Otrzymana zależność uśrednionego rozkładu względnej gęstości strumienia cieczy od promienia może być przedstawiona zależnością:

$$\bar{q} = \frac{l}{a + b \cdot R^3} \quad (3)$$

gdzie:  $\bar{q}$  – względna gęstość rozkładu strumienia cieczy,  $R$  – promień [mm],  $a$ ,  $b$  – współczynniki regresji.

Przeprowadzona analiza wyników nie pozwoliła na jednoznaczne wskazanie jak zmienia się rozkład gęstości strumienia ze zmianą wydatku cieczy lub ciśnienia powietrza zasilającego wtryskiwacz. Przykładowo na rys. 4.3 przedstawiono zależność względnej gęstości rozkładu cieczy dla względnego ciśnienia powietrza 10% i 30%

The statistical analysis of relationship of spray angle to change of air feed pressure and swirl angle of swirled blades allows showing relation between those parameters as formula:

$$\alpha = 25,902 - \frac{210,65}{x} + \frac{457,88}{y} \quad (1)$$

where:  $x$  – relative feed air pressure in [%],  $y$  – swirl angle of injector blades in [°]

The research of relationship between spray angle with fluid flux of atomized liquid and swirl angles of swirled blades allows determining following formula:

$$\alpha = 2,245 + 0,876x + 0,017y \quad (2)$$

where:  $x$  – swirl angle of swirled blades in [°],  $y$  – relative fluid flux of atomized liquid in [%].

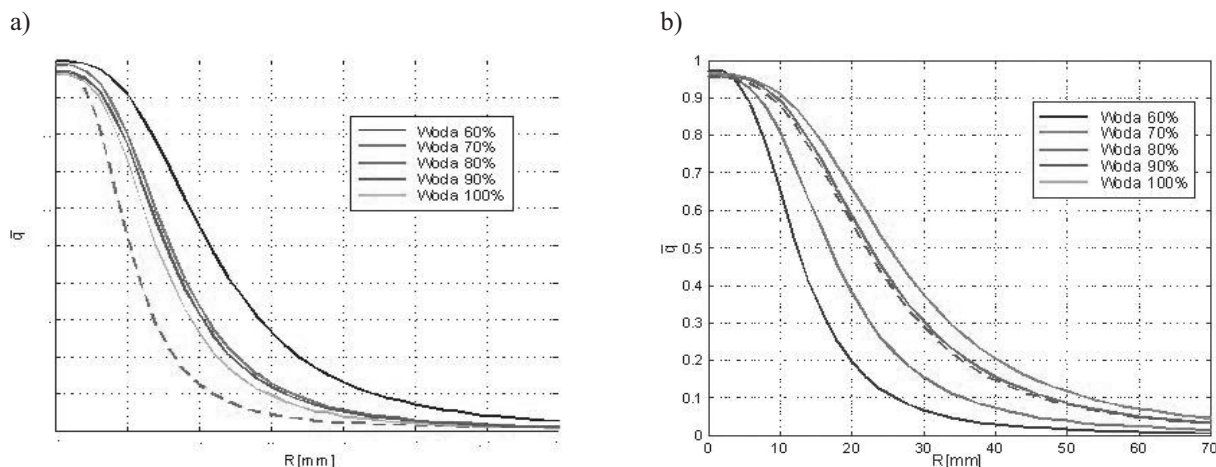
## 2.2. The influence of feed parameters on droplet distribution in liquid stream sprayed by injector

The research of droplet distribution in fluid stream atomized by injector was done for injector with swirl blades at blade incidence angle 25° at setting: relative feed air pressure 10%, 20% i 30% and relative fluid flow from 60% to 100%. At smaller fluid flux of the atomized fluid the proper spray angle was not reached, therefore on this range the distribution of fluid stream was not investigated. The measure procedure depended on putting the measuring probe pallet on distance 100 mm from outlet of injector. For 10 s work of injector the inlets of probes was opened next obscured them and turn off the work of injector. The measuring probe pallets were being decomposed on each probe comb and the distributions of liquid columns were being photographed. For the sake of distribution of droplets close to axisymmetric the average of results to circular distribution was affected. The obtained relationship of average distribution of relative fluid flux to radius is showed by relation:

$$\bar{q} = \frac{l}{a + b \cdot R^3} \quad (3)$$

where:  $\bar{q}$  – relative fluid flux of liquid stream,  $R$  – radius [mm],  $a$ ,  $b$  – regression coefficients.

The carried analysis of results wasn't allow on unique indication how change distribution of flux density on influence of fluid flux or air pressure. The example of relationship of relative flux density distribution for relative air pressure 10% and 30% was shown on fig. 4.3.



Rys. 4.3. Zależność uśrednionego rozkładu promieniowego względnej gęstości strumienia cieczy dla różnych względnych wydatków cieczy a) dla względnego ciśnienia powietrza 10%, b) dla względnego ciśnienia zasilania powietrza 30%

Fig. 4.3. Dependence of average radial distribution of relative flux density for different relative fluid flows a) for relative air pressure 10%, b) for relative feed air pressure 30%

## 5. Podsumowanie i wnioski

Na podstawie badań kąta rozpylenia wtryskiwacza stwierdzono, że istotnie na ten parametr wpływa zmiana strumienia masy powietrza rozpylającego. Wzrost strumienia masy powietrza powodował zmniejszenie kąta rozpylenia strugi cieczy. Natomiast gdy względne ciśnienie powietrza zasilającego przekroczyło 40%, gdzie strumień masy powietrza ustalał się na stałym poziomie, co odpowiadało wydatkowi krytycznemu, kąt prawie się nie zmieniał, a jego wartość była tym większa, im większy był kąt zawirowania wkładek wtryskiwacza. Na podstawie przeprowadzonej analizy przepływu przez wtryskiwacz postawiono hipotezę, że gdyby stosunek strumienia masy powietrza kanału zewnętrznego do wewnętrznego był mniejszy od jedności (dla badanego wtryskiwacza wynosił on ok. 2,4), to zależność kąta rozpylenia od wydatku powietrza rozpylającego byłaby odwrotna.

Zmiana strumienia masy rozpylanej cieczy praktycznie nie wpływa na kąt rozpylenia strugi. Prowadszone badania kąta rozpylenia strugi pozwoliły zauważyć dodatkowe cechy wtryskiwacza zależne od parametrów zasilania. Stwierdzono, że ze wzrostem kątów zawirowania wkładek wtryskiwaczy dla ustalonego strumienia masy powietrza wzrasta wartość minimalnego strumienia masy rozpylanej cieczy, od której wtryskiwacza pracuje stabilnie.

Badania rozkładu strugi pozwoliły stwierdzić, że maksymalna gęstość strumienia występuje w osi wtryskiwacza i zmniejsza się wraz z oddalaniem od niej. Kształt rozkładu jest prawie osiowoosymetryczny, co pozwoliło przejść do analizy w ujęciu dwuwymiarowym zależności gęstości rozkładu od promienia. Jednakże próby znalezienia korelacji pomiędzy parametrami zasilania i rozkładem strumienia cieczy

## 5. Summary and conclusions

On the basis of research of spray angle was found that fundamentally the change of fluid flux of air has an influence on this parameter. The increase of fluid flux of air caused a decrease of spray angle of atomized fluid stream. Whereas relative air pressure exceeded 40%, where air fluid flux was established on stable value (which met critical fluid flux) the spray angle had a constant value and its value was increased when swirl angle of blades was increased. On the basis of carried flow analysis through by injector was putting forward a hypothesis that if ratio of external fluid flux to internal fluid flux was smaller than unit (for considered injector it is 2.4) then a dependence of spray angle as a function of air fluid flux could be reverse.

The change of fluid flux of atomized stream practically doesn't have any influence on spray angle of this stream. The leaded researches allow noticing additional features depended on feed parameters. It was found that on increase the swirl angle of blades for steady state of air fluid flux, a minimum value of atomized fluid flux at which the injector was working stable, was being increased.

The researches of stream distribution allow to found, that maximum flux density is occurred on the injector axis and is decreased as far from axis. The shape of distribution is axisymmetric, which allows to go to analysis as two-dimensional dependence of flux density to radius. However an attempt to find correlation between feed parameters and fluid flux distribution wasn't brought satisfactory results at this stage of research, whereas some noticeable correlations require further research to explain a phenomenon.

nie przyniosły zadawalającego na tym etapie badań rezultatu. Natomiast pewne zauważone korelacje wymagają dalszych badań w celu ich wyjaśnienia.

#### 6. References

- [1] Chuech S. G-K., Przekwas A. J., Wang C-Y.: *Numerical modeling of atomization coaxial liquid/gas jets*, Journal of Marine Science and Technology, vol. 12, no. 4, p. 290-299, 2004.
- [2] Orzechowski Z., Prywer J.: *Rozpylanie cieczy*, WNT, Warszawa 1991.
- [3] Orzechowski Z., Prywer J.: *Rozpylanie cieczy w urządzeniach energetycznych*, WNT, Warszawa 1994.

\*\*\*\*\*

*Pracę wykonano w ramach projektu badawczego finansowanego przez KBN nr 5T12D 027 24*  
*This work has been performed as the part of research project financed by State Committee for Scientific Research no. 5T12D 027 24*

\*\*\*\*\*

---

**Mgr inż. Adam KONIECZNY**

WSK „PZL-Rzeszów” S.A.

Ul. Hetmańska 120, 35-078 Rzeszów

tel. +48 17 854 6141, fax. +48 17 854 00 57

e-mail: Adam.konieczny@wskrz.com

**Prof. dr hab. inż. Marek ORKISZ**

Politechnika Rzeszowska

Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa

Katedra Samolotów i Silników Lotniczych

35-021 Rzeszów Ul. Powstańców Warszawy 8

tel. +48 17 865 1444, fax. +48 17 854 3116

e-mail: mareko@prz.rzeszow.pl

---