

BADANIE PRZEPŁYWU POWIETRZA O NIEUSTALONYM POLU GĘSTOŚCI Z WYKORZYSTANIEM WIĄZKI LASEROWEJ

Katarzyna KLEMM*, Krzysztof PIESZYŃSKI**, Kazimierz ROŻNIAKOWSKI***

* Politechnika Łódzka, Instytut Architektury I Urbanistyki
Al. Politechniki 6, 90-924 Łódź, e-mail: katarzyna.klemm@p.lodz.pl

** Politechnika Łódzka, Instytut Fizyki
ul. Wólczańska 219, 90-924 Łódź, e-mail: kristoff@p.lodz.pl

*** Politechnika Łódzka, Instytut Fizyki
ul. Wólczańska 219, 90-924 Łódź, e-mail: roznikaz@lodd.p.lodz.pl

Streszczenie: W pracy przedstawiono metodę badania przepływu powietrza o nieustalonym polu gęstości, z wykorzystaniem sondującej wiązki laserowej. W tym celu wykorzystano naturalny konwekcyjny przepływ powietrza nad źródłem ciepła w różnych temperaturach. Jako lasera sondującego użyto lasera półprzewodnikowego. Przedstawione wyniki eksperymentalnych badań pokazują, że laserowa metoda badania przepływu gazu jest niezwykle precyzyjną a jednocześnie stosunkowo łatwą w użyciu (na przykład w porównaniu z metodami interferencyjnymi) techniką badawczą. Przy czym, jest to metoda praktycznie nie zaburzająca badanych czy też kontrolowanych procesów. Przeprowadzona analiza harmoniczna uzyskanych sygnałów pokazuje, że taka analiza znacznie wzbogaca informacje na temat procesów zachodzących w przepływającym gazie.

Słowa kluczowe: Turbulencja, wiązka laserowa, analiza Fouriera.

1. WSTĘP

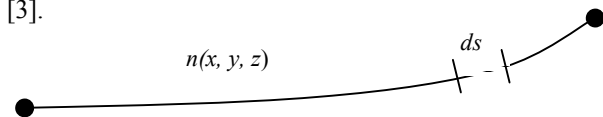
Badania przepływu płynów, a w tym oczywiście gazów, mają ogromne znaczenie dla zrozumienia procesów transportu masy i energii w wielu dziedzinach nauki i techniki. Dlatego też, rozwijane są różnorodne metody pomiarów parametrów takich przepływów. Doskonalenie technik pomiarowych ma na celu, zarówno lepsze zrozumienie tychże procesów, jak i lepszą ich kontrolę, przez co te przepływy mogą być precyzyjniej kontrolowane, lub skutki przepływów mogą być dokładniej przewidywane. Oczywiście, każda z technik pomiarowych, ma zarówno swoje określone obszary zastosowania jak i ograniczenia [1,2].

W tej pracy przedstawiono metodę badania przepływu powietrza o nieustalonym polu gęstości, z wykorzystaniem sondującej wiązki laserowej. Metoda ta, przy odpowiedniej modyfikacji, może być wykorzystana do pomiaru różnorodnych parametrów przepływającego strumienia gazu,

poczynając od jego prędkości, a kończąc na pomiarach gradientów: temperatury, ciśnienia czy też gęstości. Celem badań przeprowadzonych w niniejszej pracy, jest zbadanie wpływu nieustalonego pola gęstości powietrza atmosferycznego, na wybrane parametry wiązki laserowej, propagowanej w tym polu oraz analiza tego zjawiska w przestrzeni częstości (za pomocą transformaty Fouriera).

2. PODSTAWY TEORETYCZNE

Jeśli przyjąć, że wiązka światła (obecnie w badaniach doświadczalnych często używa się wiązek generowanych przez lasery) nie napotyka na swojej drodze przeszkód, na tyle małych w stosunku do długości fali świetlnej, aby trzeba było uwzględniać zjawiska dyfrakcyjne, to wtedy wszystkie rozważania dotyczące jej propagacji, można przeprowadzić w oparciu o prawa optyki geometrycznej [3].



Rys. 1. Przykładowy tor wiązki światła w ośrodku o współczynniku załamania $n(x,y,z)$. Na rysunku dodatkowo zaznaczono infinitesimalny element toru ds .

Fig. 1. The example of a light path in the medium with refractive index $n(x,y,z)$. The infinitesimal element of length of this path is additionally denoted as ds .

Jeżeli przyjąć ponadto, że ośrodek będzie pod względem optycznym jednorodny, czyli współczynnik załamania n nie będzie zależał od współrzędnych, wówczas światło poruszać się będzie po linii prostej, w przeciwnym przypadku, tor wiązki światła może być inny, na przykład taki jak pokazano na Rys. 1.

Przyczyną, która powoduje zmianę lokalnej wartości współczynnika załamania $n(x,y,z)$ w gazie, jest zgodnie z prawem Lorenza-Lorentza [3] i wynikami wielu badań eksperymentalnych [4] zmiana gęstości gazu, co można przedstawić za pomocą wyrażenia:

$$n \approx 1 + \frac{3}{2} \rho \cdot \text{const}(v) \quad (1)$$

gdzie: ρ – gęstość gazu, v – częstość światła.

Natomiast zmiana gęstości może zostać wywołana zmianą ciśnienia czy też temperatury, co w przypadku gazów wynika z równania Clapeyrona lub Van der Waalsa [5]. Niezależnie jednak od przyczyn powstania niejednorodności współczynnika załamania $n(x,y,z)$, tor promienia najwygodniej jest w takiej sytuacji wyznaczyć z równania toru promienia. To równanie w postaci wektorowej ma postać [3]:

$$\frac{d}{ds} \left(n(x, y, z) \frac{d\vec{r}}{ds} \right) = \vec{\nabla} n(x, y, z) \quad (2)$$

gdzie: $\vec{r} = x \cdot \vec{i} + y \cdot \vec{j} + z \cdot \vec{k}$ – jest wektorem opisującym położenie punktów toru promienia, ds – opisuje element długości toru.

W wielu przypadkach można przewidzieć funkcyjny kształt $n(x,y,z)$, na przykład jego liniowy charakter. W takich sytuacjach można wyznaczyć równanie toru biegi wiązki światła i porównując wyniki obliczeń z danymi eksperymentalnymi, ustalić ilościowo wartości współczynników wyznaczających przewidywany funkcyjny kształt $n(x,y,z)$.

W przypadku gdy współczynnik załamania zależy tylko od jednej współrzędnej i jest jej liniową funkcją, na przykład $n=n_0+n_1 \cdot x$, przy czym n_0 i n_1 są pewnymi stałymi, a równoległa wiązka światła, początkowo rozchodzi się wzdłuż osi z , to w pierwszym przybliżeniu z równania (2) otrzymuje się równanie toru wiązki światła w postaci paraboli (3), której ramiona są odchylone w kierunku zwiększającego się współczynnika załamania:

$$z = \alpha \cdot x^2 \quad (3)$$

gdzie α jest stałą zależną od n_1 .

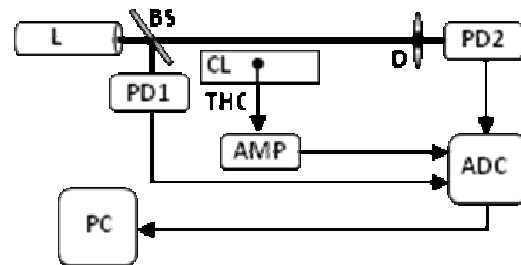
Gdy obserwacja wiązki dokonywana jest w płaszczyźnie prostopadłej do początkowego kierunku rozchodzenia się światła analizę obserwowanego zjawiska można przeprowadzić, badając jak zmienia się w czasie odchylenie wiązki od kierunku początkowego. Jednak równie dobra, a dająca dodatkowe informacje, jest analiza tego zjawiska w przestrzeni częstości. Przekształceniem, które przenosi funkcję $f(t)$ z przestrzeni czasowej w przestrzeń częstości jest transformata Fouriera tej funkcji $F(\omega)$ [6].

$$F(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt \quad (4)$$

gdzie: $\omega=2\cdot\pi\cdot\nu$ jest częstością kołową, wyrażoną w [rad/s] natomiast ν jest częstotliwością w [Hz].

3. APARATURA BADAWCZO-POMIAROWA

Schemat aparatury badawczo-pomiarowej, stosowanej w tej pracy przedstawiono na Rys.2.

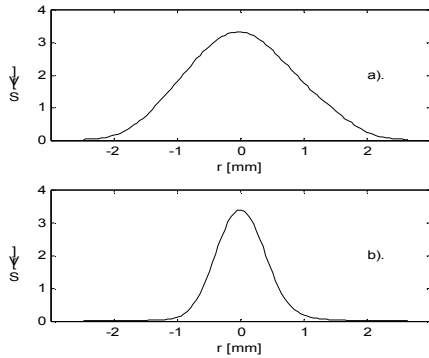


Rys.2. Schemat układu badawczo-pomiarowego; L – laser półprzewodnikowy z wbudowanym układem optycznym, PD1 – fotodiody, BS – rozdzielacz wiązki, PD2 – fotodiody wraz z diaphragmą D, ADC – przetwornik analogowo cyfrowy z pamięcią, CL – grzałka, THC – termoelektryczny termometr, AMP – amperomierz, PC – komputer.

Fig.2. The diagram of the experimental system: L – diode laser with additional optical system, PD1 – photodiode, BS – beam splitter, PD2 – photodiode with diaphragm D, ADC – analog to digital converter with memory, CL – heater, THC – thermocouple, AMP – ammeter, PC – computer.

W badaniach jako źródła światła użyto lasera półprzewodnikowego o mocy 14mW, emitującego falę świetlną o długości $\lambda=640\text{nm}$. Laser był wyposażony w specjalny układ optyczny, wytwarzający prawie gaussowskie rozkłady natężenia światła w przekroju poprzecznym wiązki (w kierunkach wzajemnie prostopadłych). Na Rys.3 przedstawiono takie rozkłady, zmierzone za pomocą fotodiody PD2, umieszczonej w odległości 50cm od rozdzielacza wiązki BS. Do detekcji natężenia światła wykorzystano fotodiody typu BPYP17. Jedna z nich PD1 służyła do monitorowania natężenia światła emitowanego przez laser. Umieszczono ją wraz z laserem L i płytką światłodzielącą BS w jednej, wspólnej obudowie. Natomiast druga, PD2 przed którą bezpośrednio umieszczono przysłonę Do średnicy około 0,1mm, pełniła rolę detektora natężenia światła przechodzącego przez obszar przepływającego powietrza, spowodowanego jego podgrzewaniem za pomocą grzałki CL. Grzałka ta miała kształt walca o długości 20cm i średnicy 3cm. W trakcie badań umieszczono ją pod wiązką światła. Odległość powierzchni bocznej grzałki od środka wiązki laserowej była równa 5mm. Wiązka światła poruszała się w prze-

strzeni tak, że jej większy wymiar był ustawiony w kierunku pionowym (wykres dolny na Rys. 3).



Rys.3. Rozkład natężenia światła w kierunkach wzajemnie prostopadłych, emitowanego przez laser L, zarejestrowanego przez fotodiode PD2.

Fig.3. The cross section of light intensity emitted by the laser L in two mutually perpendicular directions (solid and dashed lines respectively), measured by photodiode PD2.

Laser L i fotodioda PD2, rejestrująca fluktuacje natężenia światła, w celu ograniczenia drgań mechanicznych, zostały zestawione na wspólnej, masywnej płycie optycznej. Pomiedzy laserem L i fotodiode PD2 przepływał strumień powietrza podgrzewanego grzałką CL. Grzałka, laser i fotodioda nie miały ze sobą bezpośredniego kontaktu mechanicznego, aby wyeliminować ewentualny wpływ drgań na rejestrowane natężenie światła. Odległość między grzałką CL i diafragmą D wynosiła 30cm. W pomieszczeniu w którym ustawiono aparaturę badawczo-pomiarową nie było innych źródeł ciepła, które mogłyby zakłócać przepływ powietrza w obszarze laserowej wiązki.

Sygnal elektryczny, wychodzący z fotodiod, spowodowany oświetleniem laserową wiązką, kierowano do 16 bitowego przetwornika analog-cyfra ACD z pamięcią, sterowanego przez komputer PC. Ten układ umożliwił rejestrację natężenia światła w funkcji czasu (próbkiwanie), w różnych odstępach czasu. W tych badaniach, ten czas wynosił 50ms, natomiast czas pomiaru był równy 5 mikrosekund. Możliwe było zarejestrowanie i zapamiętanie, po zastosowaniu specjalnego programu około 32 tysięcy punktów pomiarowych. Po wykonaniu pomiarów zebrane wyniki były przesyłane złączem szeregowym RS232 do komputera PC.

Koncepcja detekcji lokalnych fluktuacji koncentracji powietrza w okolicach przedmiotów zaburzających jego przepływ z wykorzystaniem wiązki światła lasera oparta jest na założeniu, że w takiej sytuacji generowane w powietrzu fluktuacje gęstości są na tyle duże, że znacząco zmieniają przebieg wiązki światła laserowego w stosunku do jej przebiegu, gdy powietrze jest w spoczynku, w równowadze termodynamicznej z otoczeniem.

Ponieważ w rzeczywistości fluktuacje gęstości powietrza nawet w przypadkach przepływów turbulentnych i

niewielkich gradientów temperatury są bardzo małe, stąd niezmiernie ważna jest stabilna w czasie i charakteryzująca się niskim poziomem szumów praca całego zestawu pomiarowego. W szczególności lasera i układu detekcji sygnału.

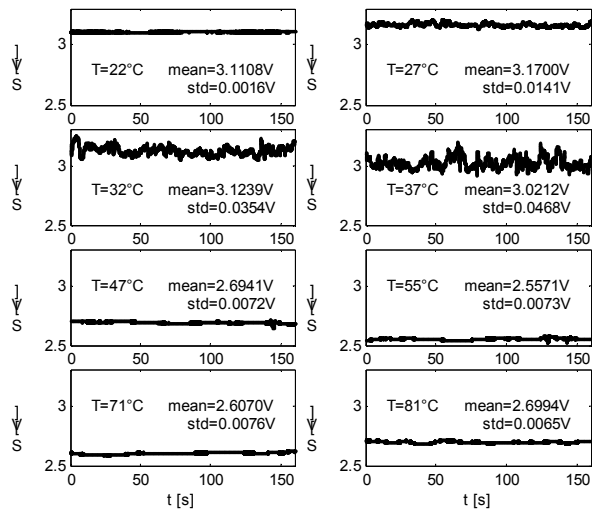
4. WYNIKI BADAŃ

Na Rys. 4 i Rys. 6 przedstawiono sygnał rejestrowany przez fotodiode PD2 w sytuacji, gdy grzałka znajdowała się w stałej i określonej temperaturze, której wartość zaznaczono na każdym z wykresów. Ponieważ użyta w pomiarach grzałka miała kształt walca i jej oś symetrii skierowana była poziomo spodziewano się, że gdy jej temperatura wzrośnie ponad temperaturę otoczenia uformuje się pionowy i symetryczny strumień ciepłego powietrza unoszący konwekcyjnie większość energii emitowanej przez grzałkę (pozostała część energii zostanie wypromieniowana). Dlatego sondujący promień lasera skierowano poziomo nad grzałką dokładnie równoległe do jej osi symetrii spodziewając się jego odchylenia w kierunku pionowym. Przy czym wraz ze wzrostem temperatury grzałki i co za tym idzie emitowanej przez nią energii, odchylenie to, a zatem i sygnał na fotodiodzie PD2, powinny monotonicznie się zmieniać.

Okazało się jednak, jak widać to na górnych wykresach, zamieszczonych na rysunkach 4 i 6, że sygnały na fotodiodzie PD2 nie zmieniały się monotonicznie. Co więcej, w pomiarach powtarzanych kilkakrotnie, w odstępach wielogodzinnych, aby grzałka mogła powrócić do temperatury początkowej, nie tylko że nie uzyskano, za każdym razem funkcji monotonicznej, ale odstępstwa od monotoniczności pojawiały się przy różnych temperaturach grzałki.

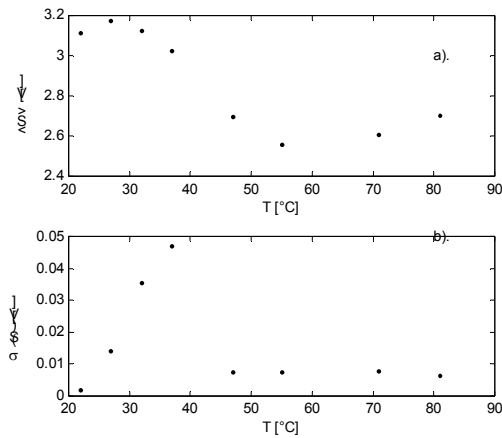
Uzyskany rezultat świadczy o tym, że podczas zwiększania temperatury grzałki kanał w którym następowało konwekcyjne unoszenie się powietrza formował się w trochę innym miejscu, przez co sondująca wiązka lasera nie zawsze przechodziła przez (pionową) płaszczyznę symetrii tegoż kanału i mogła w związku z tym doznawać dodatkowego odchylenia w płaszczyźnie poziomej.

Potwierdzeniem tej hipotezy może być analiza dolnych wykresów przedstawionych na Rys. 4 i Rys. 6, które przedstawiają wartości odchylenia standardowego sygnałów rejestrowanych przez fotodiode PD2. Okazuje się, że dla niższych temperatur grzałki wartość odchylenia standardowego sygnałów rejestrowanych przez fotodiode PD2 znacznie rośnie, co oznacza, że w przepływie pojawiają się lokalne fluktuacje gęstości (kanał zaczyna zmieniać swoje położenie w przestrzeni).



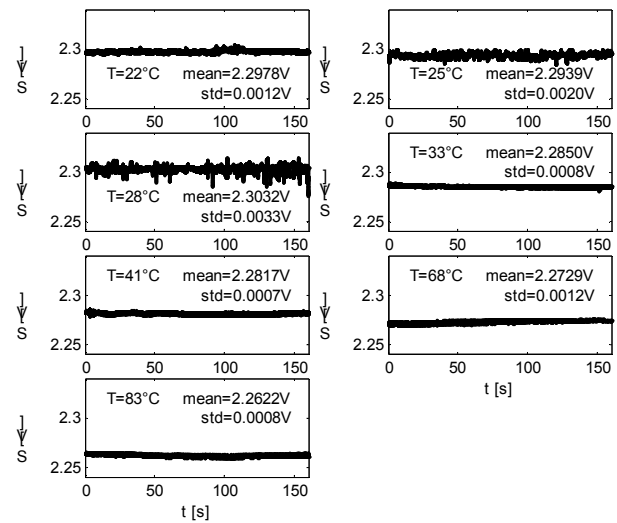
Rys. 4. Zależność sygnałów zarejestrowanych przez fotodiode PD2 w funkcji czasu, dla różnych temperatur grzałki CL.. Temperaturę grzałki (T) zaznaczono na każdym z wykresów. Na każdym z wykresów wypisana jest również wartość średnia sygnału rejestrowanego przez diodę w ciągu 160s (mean) oraz odchylenie standardowe tegoż sygnału (std).

Fig. 4. Time dependence of the PD2 photodiode's signals at different temperatures of the heater CL. In each plot the temperature of the heater CL ('T'), arithmetic mean of signal recorded by the photodiode during 160s ('mean') and standard deviation ('std') are specified.



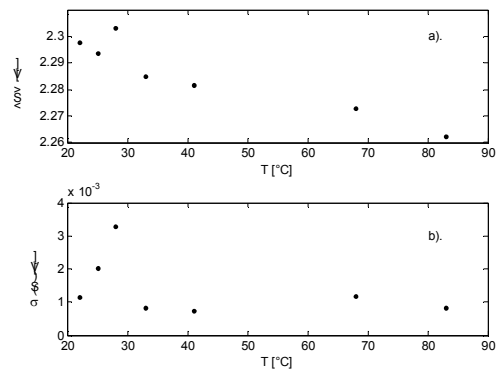
Rys. 5. Rysunek został wykonany w oparciu o dane z Rys.4. Wykres górny przedstawia wartość średnią sygnału rejestrowanego przez fotodiode PD2 (w czasie 160s) w funkcji temperatury grzałki. Wykres dolny przedstawia wartość średniego odchylenia standardowego sygnału rejestrowanego przez fotodiode PD2 (w czasie 160s) w funkcji temperatury grzałki.

Fig.5. This figure was made using the data from Fig.4. The upper plot shows the arithmetic mean of signal recorded by the photodiode PD2 during 160s as a function of heater's temperature. The lower plot shows the standard deviation of this signal recorded by the same photodiode during 160s as a function of heater's temperature.



Rys. 6. Zależność sygnałów zarejestrowanych przez fotodiode PD2 w funkcji czasu, dla różnych temperatur grzałki CL.. Temperaturę grzałki (T) zaznaczono na każdym z wykresów. Na każdym z wykresów wypisana jest również wartość średnia sygnału rejestrowanego przez diodę w ciągu 160s (mean) oraz odchylenie standardowe tegoż sygnału (std). Wyniki pomiarów przedstawionych na tym rysunku zostały przeprowadzone około dwie doby później niż pomiary przedstawione na Rys.4 i Rys. 5

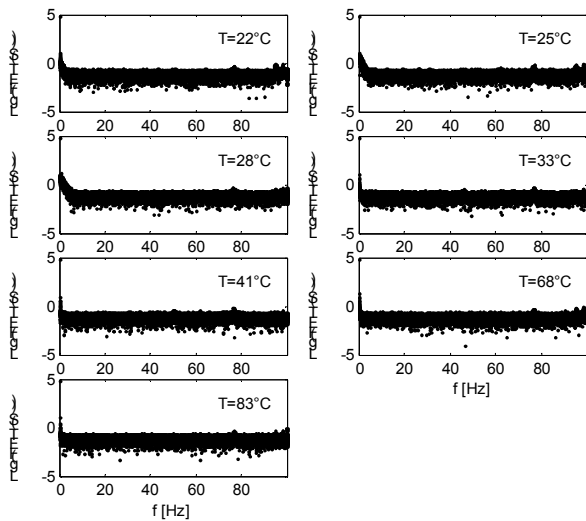
Fig. 6. Time dependence of the PD2 photodiode's signals at different temperatures of the heater CL. In each plot the temperature of the heater CL ('T'), arithmetic mean of signal recorded by the photodiode during 160s ('mean') and standard deviation ('std') are specified. The results presented in these figures were made two days earlier then results presented in Fig.4 and Fig.5.



Rys. 7. Rysunek został wykonany w oparciu o dane z Rys.6. Wykres górny przedstawia wartość średnią sygnału rejestrowanego przez fotodiode PD2 (w czasie 160s) w funkcji temperatury grzałki. Wykres dolny przedstawia wartość średniego odchylenia standardowego sygnału rejestrowanego przez fotodiode PD2 (w czasie 160s) w funkcji temperatury grzałki.

Fig.7. This figure was made using the data from Fig.6. The upper plot shows the arithmetic mean of signal recorded by the photodiode PD2 during 160s as a function of heater's temperature. The lower plot shows the standard deviation of this signal recorded by the same photodiode during 160s as a function of heater's temperature.

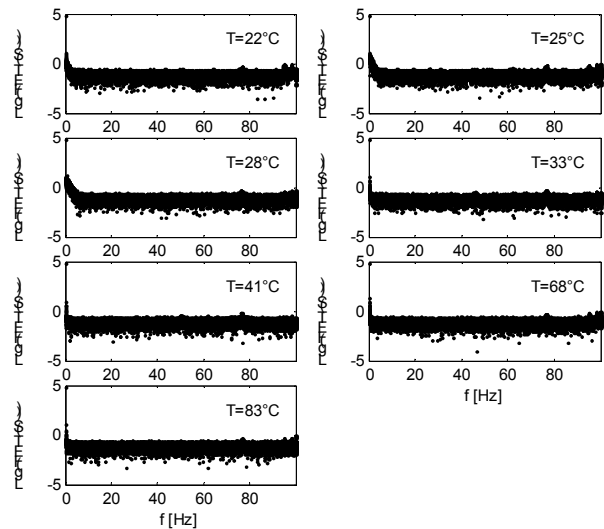
Można powiedzieć, że wykresy zamieszczone na Rys. 4 i Rys. 6 przedstawiają jak zmieniające się w czasie chwilowe położenie wiązki lasera, względem jej początkowego kierunku, na skutek fluktuacji gęstości a co za tym idzie i fluktuacji współczynnika załamania powietrza w wyniku jego podgrzewania i wywołanej tym procesem konwekcji. Wydaje się jednak, że analiza zmian przebiegu wiązki światła, a w konsekwencji jak napisano wyżej analiza fluktuacji gęstości, staje się bardziej czytelna w przestrzeni częstości. W związku z czym dokonano odwzorowania zależności przedstawionych na Rys. 4 i Rys. 6 do przestrzeni częstości wykorzystując transformatę Fouriera (4). Ponieważ transformata Fouriera tego typu przebiegów jest zespolona stąd na Rys. 8 i Rys. 9 zobrazowano wartości bezwzględne zależności wziętych odpowiednio z Rys. 4 i Rys. 6. Dodatkowo, ze względu na dużą dynamikę z jaką zmieniały się te wartości bezwzględne, w różnych warunkach eksperymentalnych i dla różnych częstości, zostały one zlogarytmowane.



Rys. 8. Wykresy przedstawiają zależność logarytmu dziesiętnego z wartości bezwzględnej transformaty Fouriera sygnału wychodzącego z fotodiody PD2 (przedstawionego na Rys.4) w funkcji częstości. Wartość temperatury grzałki zaznaczono na każdym z wykresów.
 Fig. 8. The decimal logarithm of the Fourier transform absolute value of the signal from photodiode PD2 (presented in Fig.4.) as a function of frequency. The temperature of the heater is specified of each plot.

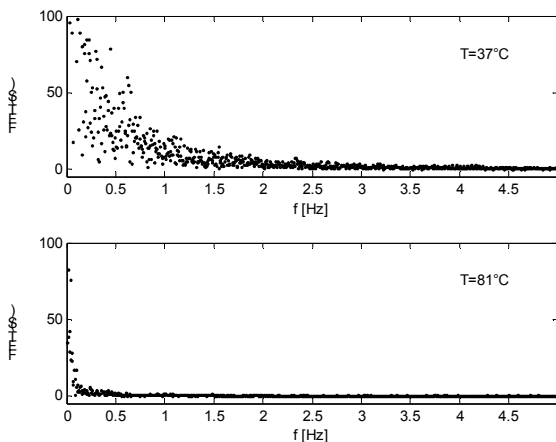
Z analizy wykresów widocznych na Rys. 8 i Rys. 9 jak i z analizy wykresów zamieszczonych na Rys. 5 i Rys. 7, które są podsumowaniem danych odpowiednio z Rys. 4 i Rys. 6 widać, że w okolicy temperatur 30°C- 40°C pojawia się wzrost drgań sygnału, który wywołany jest, jak to wynika z rozważań na wstępie tej pracy, fluktuacjami gęstości związanymi niewątpliwie z faktem, że przepływ staje się niestabilny bądź wręcz turbulentny. O ile dane na Rys. 5 i Rys. 7 po prostu fakt ten potwierdzają po-

przez wyraźny wzrost odchylenia standardowego sygnału rejestrowanego przez diodę PD2, to z wykresów zamieszczonych na Rys. 8 i Rys. 9 dodatkowo widać, że niestabilność ta nie ma charakteru rezonansowego związanego z określoną częstotliwością a fluktuacje te mają raczej charakter przypadkowy, choć prawdopodobieństwo ich wystąpienia zależy od ich częstotliwości. Fluktuacje o niskich częstotliwościach są bardziej prawdopodobne niż te o wyższych częstotliwościach. Przy czym w narzuconych w pracy warunkach praktycznie nie występują fluktuacje powyżej częstotliwości 2Hz.



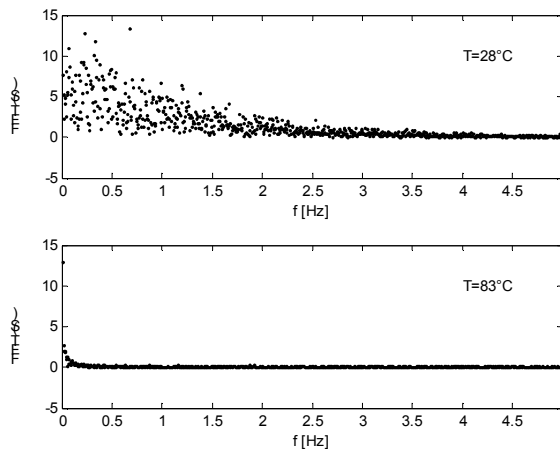
Rys. 9. Wykresy przedstawiają zależność logarytmu dziesiętnego z wartości bezwzględnej transformaty Fouriera sygnału wychodzącego z fotodiody PD2 (przedstawionego na Rys.6) w funkcji częstości. Wartość temperatury grzałki zaznaczono na każdym z wykresów.
 Fig. 9. The decimal logarithm of the Fourier transform absolute value of the signal from photodiode PD2 (presented in Fig.6.) as a function of frequency. The temperature of the heater is specified of each plot.

Dla lepszego uwidocznienia opisywanych w ostatnich zdaniach charakterystyk częstotliwościowych najbardziej charakterystyczne początkowe części wykresów z Rys. 8 i Rys. 9 zostały przedstawione w skali liniowej, odpowiednio na Rys. 10 i Rys. 11.



Rys. 10. Początkowa, najbardziej charakterystyczna część wybranych wykresów z Rys.8 przedstawiających widmo częstotliwości drgań wiązki światła oraz związane z tymi drganiami widmo oscylacji fluktuacji powietrza, przy temperaturach grzałki $T=37^{\circ}\text{C}$ i $T=81^{\circ}\text{C}$.

Fig. 10. The first, most characteristic part of chosen plots from Fig.8 is shown here. These plots shows the spectrum of the laser beam oscillation which is the same as the spectrum of the air fluctuation oscillation., at heater's temperature $T=37^{\circ}\text{C}$ and $T=81^{\circ}\text{C}$ respectively.



Rys. 11. Początkowa, najbardziej charakterystyczna część wybranych wykresów z Rys.9 przedstawiających widmo częstotliwości drgań wiązki światła oraz związane z tymi drganiami widmo oscylacji fluktuacji powietrza, przy temperaturach grzałki $T=37^{\circ}\text{C}$ i $T=81^{\circ}\text{C}$.

Fig. 11. The first, most characteristic part of chosen plots from Fig.9 is shown here. These plots shows the spectrum of the laser beam oscillation which is the same as the spectrum of the air fluctuation oscillation., at heater's temperature $T=37^{\circ}\text{C}$ and $T=81^{\circ}\text{C}$ respectively.

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przedstawione tu wyniki eksperymentalnych badań pokazują, że optyczna (laserowa) metoda badania przepływu

gazu (gdy występują w nim fluktuacje gęstości) za pomocą laserowej wiązki sondującej jest niezwykle precyzyjną a jednocześnie stosunkowo łatwą w użyciu (na przykład w porównaniu z metodami interferencyjnymi) techniką badawczą, pozwalającą kontrolować, praktycznie on-line, określone parametry strugi przepływającego gazu. Przy czym, co jest bardzo ważne, jest to metoda praktycznie niezaburzająca badanych czy też kontrolowanych procesów.

Przeprowadzona analiza Fouriera opisanych wyżej sygnałów pokazuje, że analiza ta może dodatkowo pogłębić wiedzę na temat procesów zachodzących w przepływającym gazie przez co przedstawiona w pracy technika badań przepływu gazu, za pomocą sondowania wiązką laserową, staje się pełniejsza. Poza tym z fizycznego i praktycznego punktu widzenia punktu widzenia interesującym jest fakt, że niestabilności przepływu w opisanych wyżej warunkach, mogą pojawić się dla przepływów stosunkowo wolnych a przy wzroście prędkości też przepływu zniknąć.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Fomin N.A. *Speckle Photography for Fluid Mechanics Measurement*. Springer-Verlag, Berlin 1998.
- [2] Marcelo J.S., de Lemos, *Turbulence in porous media, Modeling and Applications*, Elsevier, Amsterdam, Boston, Heidelberg, 2006.
- [3] Born M., Wolf E., *Principles of Optics*, Cambridge Univ. Pr. (1999).
- [4] Seiler, F.; George, A.; *Michelson interferometry for gas density measurement by detecting frequency variations independent of light fluctuations*, Proceedings of the 4th International Conference, Cleveland, OH, Aug. 5-9, Vol. 1, (1991) 91-96.
- [5] Encyklopedia Fizyki, Tom 3, PWN, Warszawa, 1974.
- [6] Bracewell Ronald N., *The Fourier Transform and Its Applications*, MacGraw Hill, 1999.

TURBULENT FLOW INVESTIGATION USING LASER BEAM

Summary: In this paper, the experimental method of air turbulent flow investigation using laser beam is presented. For this purpose the free convection of the air over heater at different temperatures was exploited. This natural air motion was probed by a semiconductor laser. Analysis of the obtained readings shows that presented method of measurement is very sensitive and also quite easy in using, in comparison with e.g. interference methods, but likewise the farther methods do not disturb the probed processes. Fourier analysis of the obtained results additionally significantly extends amount of information on physics in the investigated turbulent flow.