

# Badania wpływu zaburzeń profilu prędkości powietrza na pomiary wykonywane anemometrami stacjonarnymi różnych typów

WIESŁAW CHMIEL, JANUSZ KRUCZKOWSKI

*Instytut Mechaniki Górotworu PAN, ul. Reymonta 27, 30-059 Kraków  
e-mail: kruczkow@img-pan.krakow.pl*

## Streszczenie

Rzeczywiste przepływy powietrza przez wyrobisko kopalniane są silnie niestacjonarne i niejednorodne przestrzenie. W takim środowisku wykonywane są pomiary prędkości przy wykorzystaniu anemometrów stacjonarnych, mogących różnić się od siebie zasadą działania. Praca poświęcona jest uzyskaniu odpowiedzi na pytanie, czy w zależności od typu anemometru wykonującego pomiar, w tych samych warunkach przepływowych, można otrzymać różne wartości wyniku pomiaru. Badaniom poddano trzy typy anemometrów stacjonarnych: skrzydełkowy, ultradźwiękowy i wirowy. Przeprowadzone w warunkach laboratoryjnych eksperymenty, wykazały rozbieżność w wynikach pomiarów zależną od profilu prędkości i intensywności turbulencji w obszarze przed wlotem do kanału pomiarowego anemometru.

**Słowa kluczowe:** anemometr ultradźwiękowy, anemometr skrzydełkowy, anemometr wirowy, turbulencja, wentylacja kopalń, pomiary przepływów

## 1. Wprowadzenie

Standardową metodą uzyskiwania informacji o wielkości strumienia powietrza płynącego przez wyrobisko kopalni jest pomiar prędkości powietrza przy pomocy anemometru stacjonarnego. W celu wyznaczenia strumienia, otrzymane wartości mnożone są przez pole powierzchni poprzecznego przekroju wyrobiska, w którym zainstalowano anemometr. Wady takiego rozwiązania były wielokrotnie przedmiotem rozważań różnych autorów. Zajmowano się między innymi oceną wpływu punktowego pomiaru prędkości na niepewność obliczenia prędkości średniej w przekroju wyrobiska [Dziurzyński, 1996], [Wasilewski i in., 1990]. O całkowitym błędzie metody decyduje również niepewność pomiaru pola przekroju wyrobiska.

Burzliwy charakter przepływów przez wyrobisko powoduje konieczność uwzględnienia dodatkowego elementu mającego wpływ na dokładność pomiaru prędkości, jakim są lokalne fluktuacje prędkości (turbulencje lokalne). Ich intensywność jest różna i obserwuje się jej wyraźny wzrost wraz ze wzrostem prędkości [Krawczyk, Kruczkowski, 2004]. Różne zasady działania anemometrów stacjonarnych używanych na kopalniach, są przesłanką do analizy niepewności pomiaru prędkości w warunkach przepływów turbulentnych, w zależności od typu używanego anemometru. Obecnie w sieciach monitoringu przewietrzania kopalń pracują anemometry w których wykorzystywane są trzy typy czujników: ultradźwiękowy, skrzydełkowy i wirowy (wykorzystujący zjawisko tworzenia się ścieżki wirów Karmana).

Przedstawione w pracy wyniki badań laboratoryjnych są wstępne i służą do oszacowania istotności zagadnienia. Przedmiotem opracowania nie jest ocena jakichkolwiek ruchowych parametrów metrologicznych, lub własności aerodynamicznych czy parametrów elektrycznych badanych anemometrów. Autorzy ograniczają się jedynie do podania wyników będących rejestracją bezpośrednich sygnałów wyjściowych z przyrządów umieszczonych w przepływie, w sposób gwarantujący ich porównanie z możliwie największym obiektywizmem. Nie jest to zadanie łatwe biorąc pod uwagę np. różne kształty, rozmiary anemometrów czy konieczność zdefiniowania i przyjęcia wielkości odniesienia służących do porównania wyników. Należy

zwrócić uwagę, że przy eksploatacji ruchowej anemometrów ich sygnały wyjściowe są przetwarzane przez układy elektroniczne powierzchniowych centrali zbierania i rejestracji danych, które mogą je dodatkowo zniekształcać.

## 2. Opis anemometrów. Procedura wzorcowania

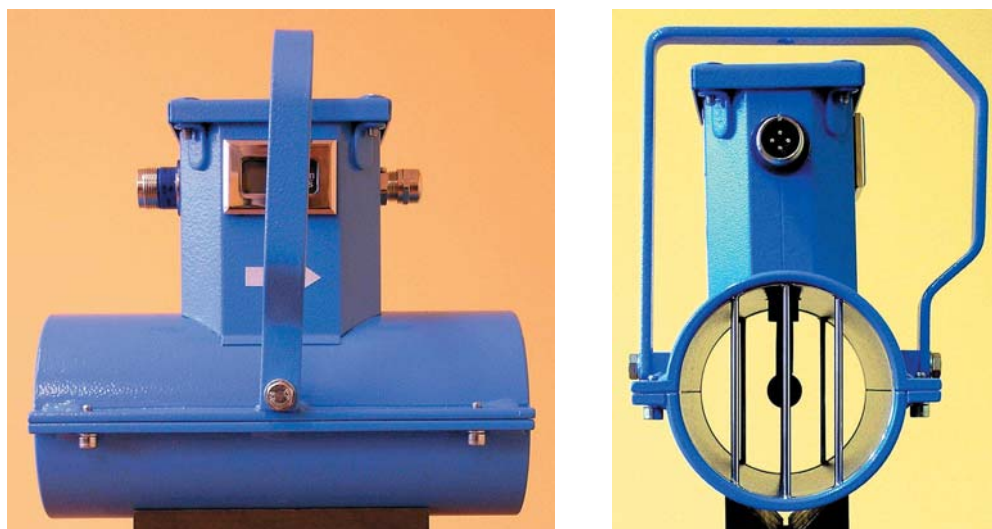
Badaniom poddano wszystkie rodzaje stacjonarnych mierników prędkości stosowane obecnie w sieciach monitoringu systemów przewietrzania polskich kopalń.

Anemometr typu AS 2, pokazany na fot. 1, jest przyrządem wyposażonym w czujnik ultradźwiękowy. Średnica kanału pomiarowego wynosi 200 mm, a jego długość 500 mm. Testowany przyrząd posiada zakres pomiarowy  $\pm 10$  m/s, któremu odpowiada zakres napięciowy sygnału wyjściowego wynoszący  $U_{wy} = 1,2$  V  $\pm 0,8$  V.  $U_{wy}$  dla prędkości 0 m/s wynosi 1,2 V.



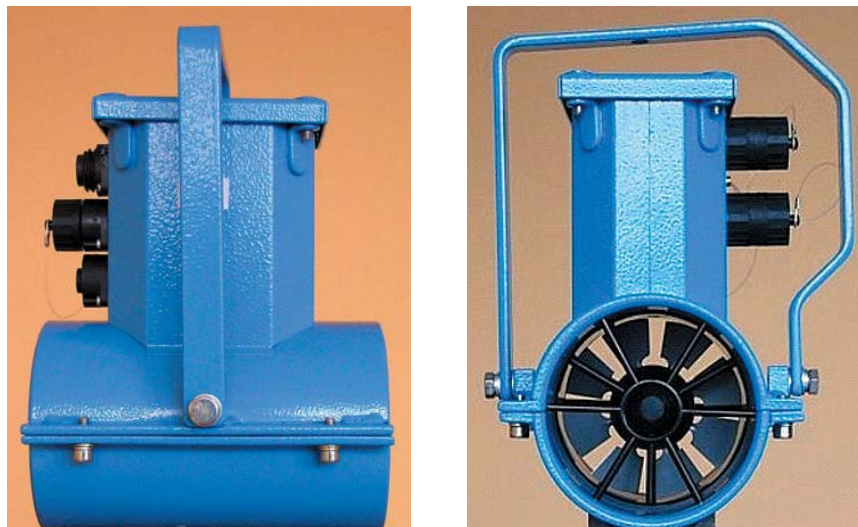
Fot. 1. Ultradźwiękowy anemometr stacjonarny AS 2S

Anemometrem, który także wykorzystuje czujnik ultradźwiękowy jest pokazany na fot. 2 anemometr typu AS 3. Anemometr został uwzględniony w badaniach ponieważ jest nowszą konstrukcją (tego samego producenta) niż wymieniony wyżej przyrząd, i prawdopodobnie w niedalekiej przyszłości zastąpi go w eksploatacji ruchowej. Wymiary kanału pomiarowego anemometru AS 3 są następujące, 100 mm średnica i 260 mm długość. Zakres pomiarowy anemometru wynosił  $+10$  m/s i odpowiadał mu napięciowy sygnał wyjściowy  $U_{wy} = 0,4-2,0$  V.  $U_{wy}$  dla prędkości 0 m/s wynosi 0,4 V.



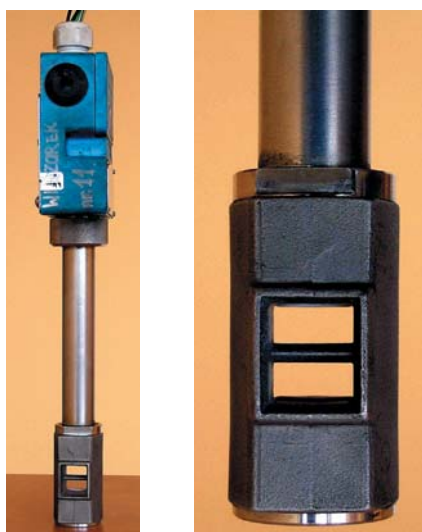
Fot. 2. Ultradźwiękowy anemometr stacjonarny AS 3

Anemometr wyposażony w czujnik skrzydełkowy przedstawiono na fot. 3. Przyrząd jest oznaczony symbolem SAS 5. Średnica kanału pomiarowego jest taka sama jak w anemometrze AS 3 i wynosi 100 mm. Długość kanału jest równa 180 mm. Zakres pomiarowy badanego przyrządu wynosił +10 m/s i odpowiadał mu sygnał wyjściowy  $U_{wy} = 0,4-2,0$  V.  $U_{wy}$  dla prędkości 0 m/s wynosi 0,4 V.



Fot. 3. Skrzydełkowy anemometr stacjonarny SAS 5

Anemometr typu TX 1322 pokazany na fot. 4 jest anemometrem wirowym wyposażonym w czujnik typu Vortex. Kanał pomiarowy czujnika ma przekrój prostokątny o wymiarach 15 x 18 mm. Ramię czujnika ma średnicę 22 mm i długość 115 mm. Zakres pomiarowy anemometru wynosił +20 m/s i odpowiadał mu sygnał wyjściowy  $U_{wy} = 0,4-2,0$  V.  $U_{wy}$  dla prędkości 0 m/s wynosi 0,4 V.



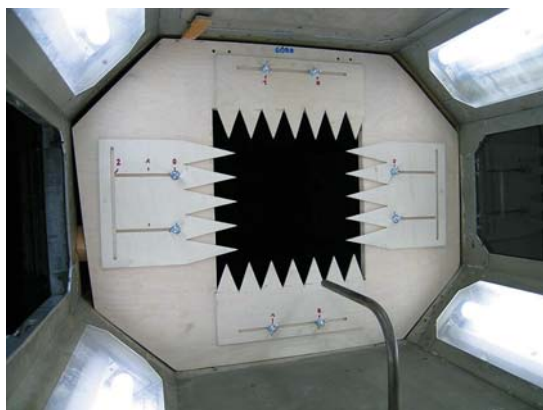
Fot. 4. Wirowy anemometr stacjonarny TX 1322

Wszystkie anemometry zostały poddane procedurze wzorcowania w Laboratorium Wzorującym Wentylacyjne Przyrządy Pomiarowe IMG PAN (LWWPP), zgodnie z obowiązującymi dla nich procedurami. Wzorcowanie przyrządów przeprowadzono dla maksymalnych zakresów pomiarowych. Szacuje się, że intensywność turbulencji podczas wzorcowania mieściła się w granicach  $0,29\% \leq T \leq 0,43\%$  [Chmiel

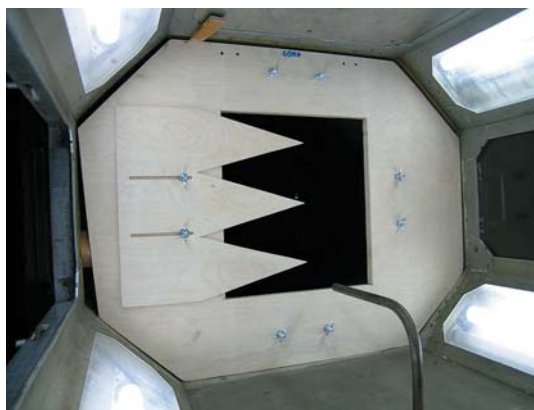
i in., 1989]. W podanym zakresie prędkości wzorcowanie przeprowadzono z niepewnością lepszą niż 1%. Wyniki wzorcowania uwzględniono w przeliczeniu charakterystyk napięciowych na odpowiadające im charakterystyki prędkości. Sygnały analogowe na wyjściach napięciowych wszystkich anemometrów były liniowe. Podczas trwania całego cyklu badań nie stwierdzono jakichkolwiek nieprawidłowości technicznych w działaniu przyrządów.

### 3. Stanowisko pomiarowe. Metodyka pomiarów

Do przeprowadzenia badań wykorzystano małą komorę pomiarową tunelu aerodynamicznego znajdującego się w LWWPP IMG PAN. Wymiary poprzeczne komory wynoszą 815×630 mm. W celu zaburzenia pola prędkości przepływu, na wlocie do komory pomiarowej umieszczano przysłonę z otworem w kształcie prostokąta o wymiarach 350×310 mm. Do przysłony zostały zamontowane ruchome płyty, zakończone od strony otworu grzebieniami o zębach w kształcie trójkątów równoramiennych. Po ustawieniu płyt w wybranym położeniu grzebień unieruchamiano. Pomiary przeprowadzono dla dwóch różnych konfiguracji przysłony. Na fot. 5a pokazano przysłonę w której wszystkie krawędzie otworu posiadają wysunięte grzebienie. Grzebień na krawędziach pionowych różni się kształtem od grzebieni na krawędziach poziomych. W dalszej części artykułu dla tej konfiguracji stosowane będzie określenie „przysłona typu A”. Dzięki tej przysłonie spodziewano się uzyskać symetryczne zniekształcenie profilu prędkości i symetryczny rozkład intensywności turbulencji. Dobór kształtu przysłony pokazanej na fot. 5b miał pozwolić na uzyskanie niesymetrii w profilu prędkości i w rozkładzie intensywności turbulencji, a także zmienić skalę turbulencji. Zmniejszono ilość zębów grzebienia, powiększając jednocześnie ich wielkość. Grzebień zamontowano do pionowej krawędzi przysłony. W dalszej części artykułu dla tej konfiguracji stosowane będzie określenie „przysłona typu B”.



Fot. 5a. Przysłona typu A

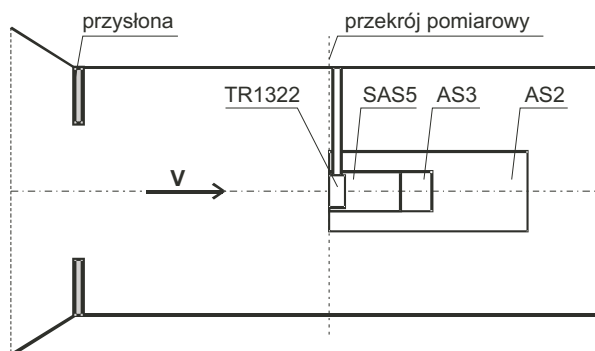


Fot. 5b. Przysłona typu B

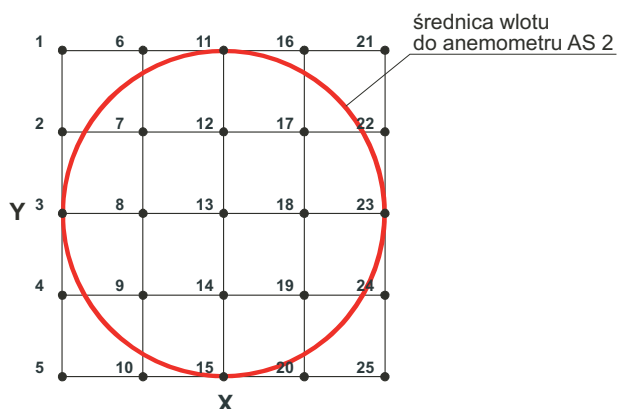
Wykonano szereg prób mających na celu uzyskanie zaburzeń prędkości zbliżonych jakościowo do wyników pomiarów zarejestrowanych w warunkach rzeczywistych przepływów w kopalni [Kruczkowski, 2001; Wasilewski, 1996]. Trzeba jednak podkreślić, że jest bardzo mało dostępnych wyników takich rejestracji, szczególnie wykonanych czujnikami o szerokiej charakterystyce częstotliwościowej.

Poglądowy schemat stanowiska pomiarowego przedstawiono na rys. 1. W odległości 630 mm od przysłony wyznaczono domyślny, prostopadły do osi tunelu przekrój, w którym określono kontrolny obszar pomiarowy w kształcie kwadratu. W przypadku stosowania przysłony typu A długość boku kwadratu wynosiła 320 mm. Po wykonaniu pomiarów wstępnych zdecydowano, że dla przysłony typu B długość boku będzie wynosić 200 mm. Oznacza to, że była ona równa średnicy największego z kanałów pomiarowych badanych przyrządów, czyli średnicy wlotu do anemometru AS 2. W obszarze kontrolnym wyznaczono równomiernie rozłożonych 25 punktów pomiarowych. Punkty znajdowały się w węzłach siatki o rozmiarze oczek 80×80 mm lub 50×50 mm, w zależności od typu przysłony. Rozmieszczenie punktów pomiarowych pokazano na rys. 2. Badane anemometry umieszczano kolejno w komorze tunelu tak, aby płaszczyzny wlotów do ich komór pomiarowych znajdowały się w płaszczyźnie obszaru kontrolnego w sposób pokazany na rys. 1. Jednocześnie punkt pomiarowy nr 13 pokrywał się z osią symetrii wlotów do kanałów pomiarowych anemometrów.





Rys. 1. Stanowisko pomiarowe



Rys. 2. Rozmieszczenie punktów pomiarowych w stosunku do anemometru AS2 dla przysłony typu B

W celu zbadania pola prędkości w obszarze kontrolnym wykonano pomiary termooanemometrem ANT'93, wyposażonym w czujnik z pojedynczym włóknom wolframowym o grubości 5  $\mu\text{m}$  i długości 3 mm. Czujnik zamocowano do ramienia koordynatometru, które wprowadzono do tunelu i przesuwano zgodnie z ustalonymi współrzędnymi w płaszczyźnie  $x,y$ . Współrzędną  $(x,y) = 0,0$  przyjęto w punkcie pomiarowym nr 5. Dane pomiarowe z czujnika były rejestrowane przy pomocy komputerowej karty analogowo-cyfrowej. Dla każdego punktu pomiarowego rejestrowano 8192 próbki z częstotliwością 2 kHz. Czas rejestracji wynosił 4,096 s. Po zapisaniu na dysku komputera przebiegów czasowych, wykonano obliczenia statystyczne. Wyliczono wartość średnią prędkości i odchylenie standardowe dla każdego punktu pomiarowego.

Częstotliwość rejestracji wybrano na podstawie pomiarów próbnych. Dla okresu próbkowania  $t = 0,5$  ms częstotliwość Shannona wynosi 1000 Hz. W widmach gęstości mocy wykonanych dla skrajnych wartości prędkości występujących w czasie eksperymentów, nie stwierdzono obecności struktur o wyższych częstotliwościach.

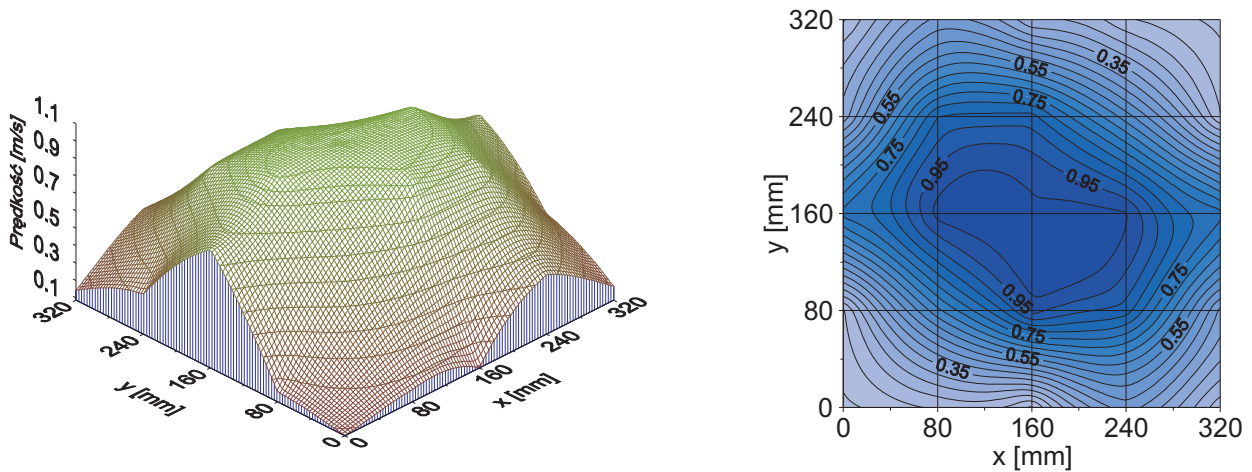
W celu uzyskania powtarzalnych parametrów przepływu wykorzystano system elektroniczny sterowania tunelu pozwalający na ustawianie z dużą dokładnością obrotów wentylatora. Umieszczając czujnik termooanemometru ANT'93 na tej samej osi co punkt pomiarowy nr 13, zmierzono średnie wartości prędkości w czasie, w przybliżeniu wynoszące 1,0; 2,5; 5,0; 7,5 m/s. Wartościom tym odpowiadały ściśle określone nastawy zadajnika prędkości obrotów wentylatora. Wielkości nastaw były różne, w zależności od typu przysłony. W celu porównywania wyników, prędkości odpowiadające poszczególnym nastawom nazwiemy prędkościami umownymi i będziemy oznaczać „ $V_u$ ”.

Pola powierzchni czołowej anemometrów SAS5 i AS3 są takie same. Pole powierzchni czołowej anemometru AS2 różni się od nich nieznacznie. Pole powierzchni czołowej anemometru TX1322 jest najmniejsze. Na tym etapie badań przyjęto, że opory aerodynamiczne wnoszone przez przyrządy nie powodują istotnych różnic w zmianie prędkości w komorze pomiarowej.

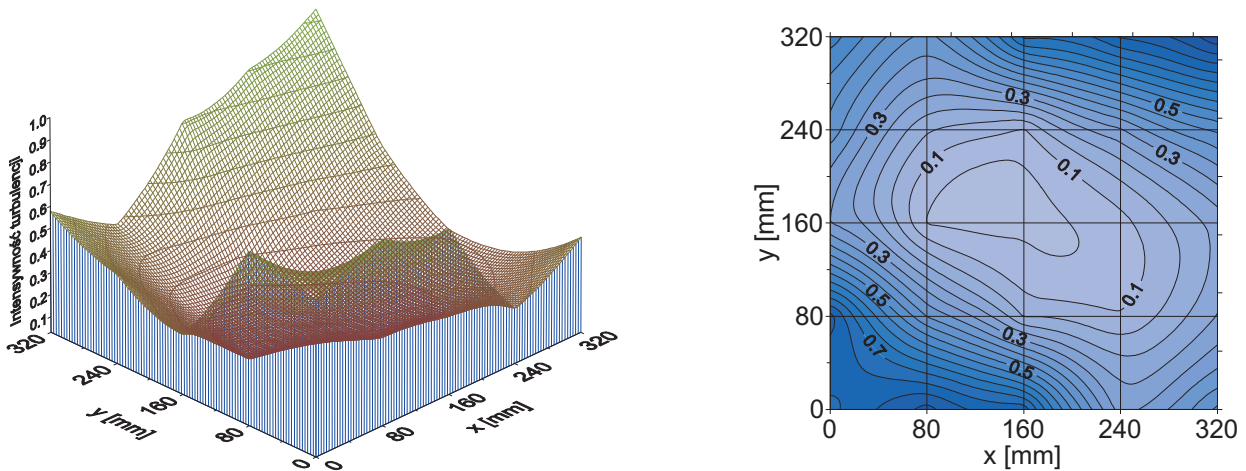
#### 4. Rozkłady prędkości i intensywności turbulencji w kontrolnym obszarze pomiarowym

Przed właściwymi pomiarami sygnałów wyjściowych z anemometrów, zbadano rozkład prędkości i intensywność turbulencji w kontrolnym obszarze pomiarowym. Intensywność turbulencji  $T$  charakteryzującą burzliwość przepływu w wybranych punktach obszaru kontrolnego, zdefiniowano jako stosunek odchylenia standardowego do wartości średniej mierzonej prędkości. Ze względu na pomiar tylko jednej składowej turbulencji, należałoby używać określenia – intensywność turbulencji w kierunku podłużnym. Dla uproszczenia w pracy używane jest określenie – intensywność turbulencji.

Na rysunkach od 3 do 4a przedstawiono w postaci graficznej przykładowe wyniki pomiarów profilu prędkości dla przysłony typu A i skrajnych wartości prędkości umownej. Widoczna jest symetria profilu.



Rys. 3. Profil prędkości w obszarze kontrolnym. Przysłona typu A. Prędkość  $V_u = 1$  m/s

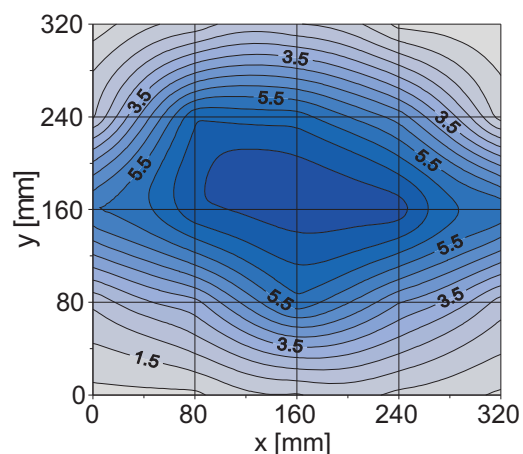
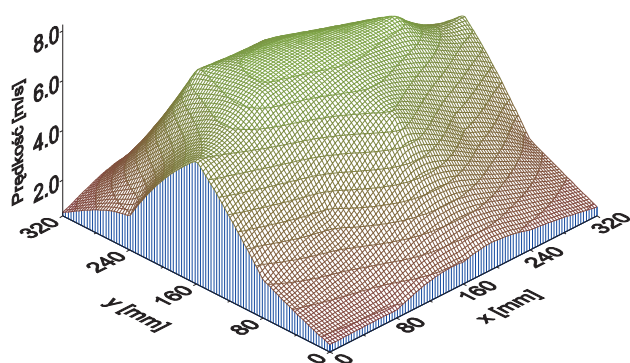
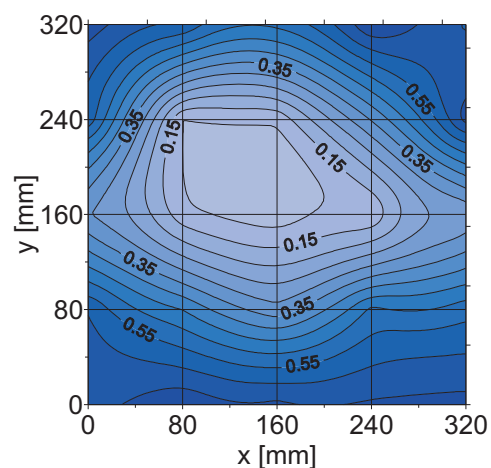
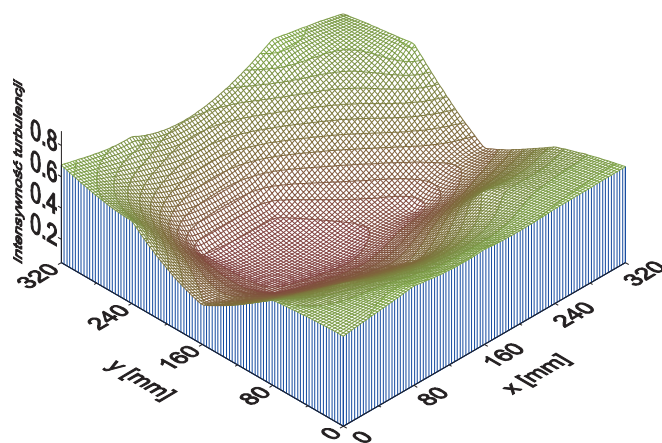
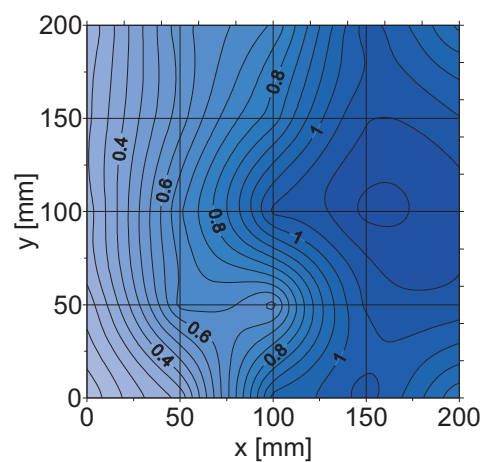
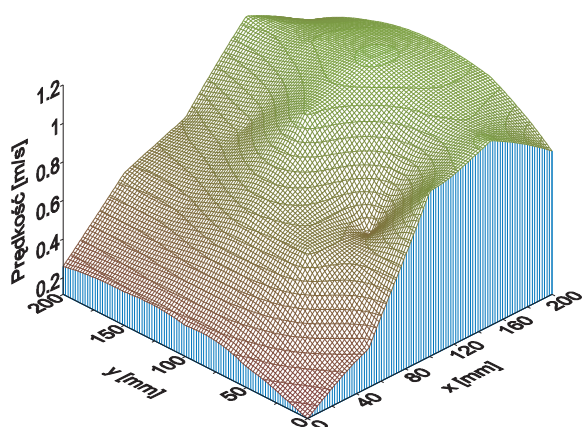


Rys. 3a. Profil intensywności turbulencji w obszarze kontrolnym. Przysłona typu A. Prędkość  $V_u = 1$  m/s

Występuje również duży gradient obu wielkości na brzegach obszaru. Na rysunkach od 5 do 5a pokazano rozkłady dla przysłony typu B. Widać znaczną różnicę w stosunku do poprzednich rysunków. Uzyskano rozkład asymetryczny, co było jednym z założeń przy projektowaniu badań. W celu porównania wyników pomiarów i scharakteryzowania profili prędkości oraz rozkładów intensywności turbulencji, dla różnych przypadków kombinacji typów przysłon (A,B) i prędkości umownej ( $V_u$ ), przyjęto następujące parametry:

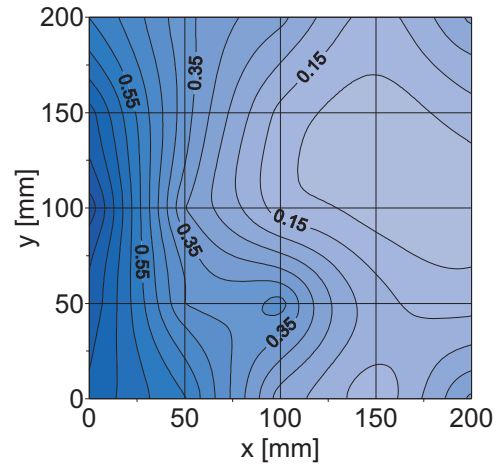
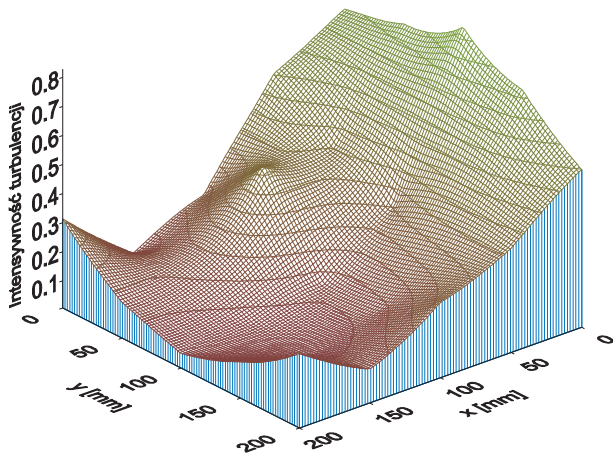
$\bar{v}$  = prędkość średnia w kontrolnym obszarze pomiarowym,

$\bar{T}$  = średnia intensywność turbulencji w kontrolnym obszarze pomiarowym,

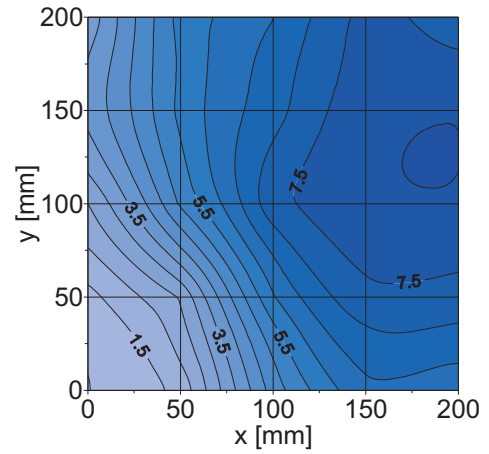
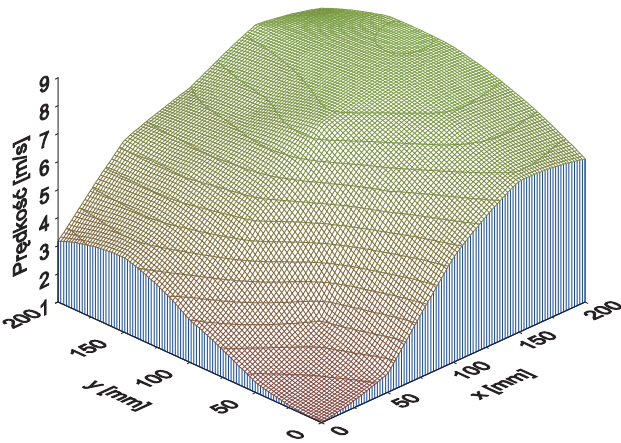
Rys. 4. Profil prędkości w obszarze kontrolnym. Prysłona typu A. Prędkość  $V_u = 7,5$  m/sRys. 4a. Profil intensywności turbulencji w obszarze kontrolnym. Prysłona typu A. Prędkość  $V_u = 7,5$  m/sRys. 5. Profil prędkości w obszarze kontrolnym. Prysłona typu B. Prędkość  $V_u = 1$  m/s

gdzie:  $\bar{v}$  jest średnią arytmetyczną 25 punktowych wartości prędkości średnich zmierzonych w danym obszarze kontrolnym,  $\bar{T}$  jest średnią arytmetyczną 25 punktowych intensywności turbulencji dla danego obszaru kontrolnego.

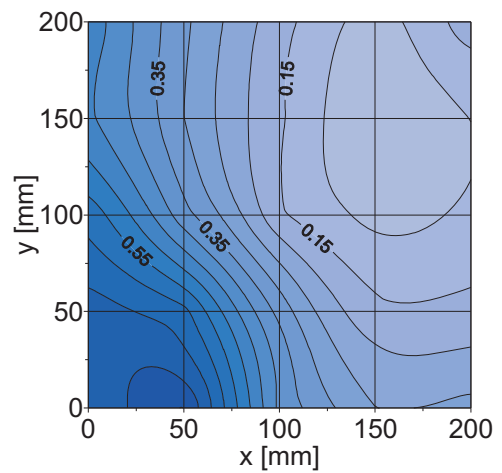
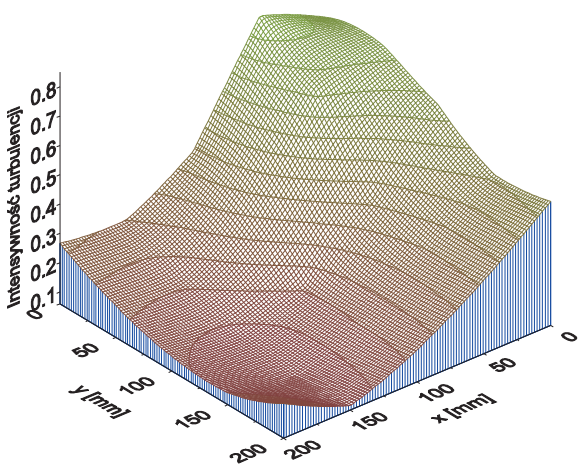




Rys. 5a. Profil intensywności turbulencji w obszarze kontrolnym. Przysłona typu B. Prędkość  $V_u = 1$  m/s



Rys. 6. Profil prędkości w obszarze kontrolnym. Przysłona typu B. Prędkość  $V_u = 7,5$  m/s



Rys. 6a. Profil intensywności turbulencji w obszarze kontrolnym. Przysłona typu B. Prędkość  $V_u = 7,5$  m/s



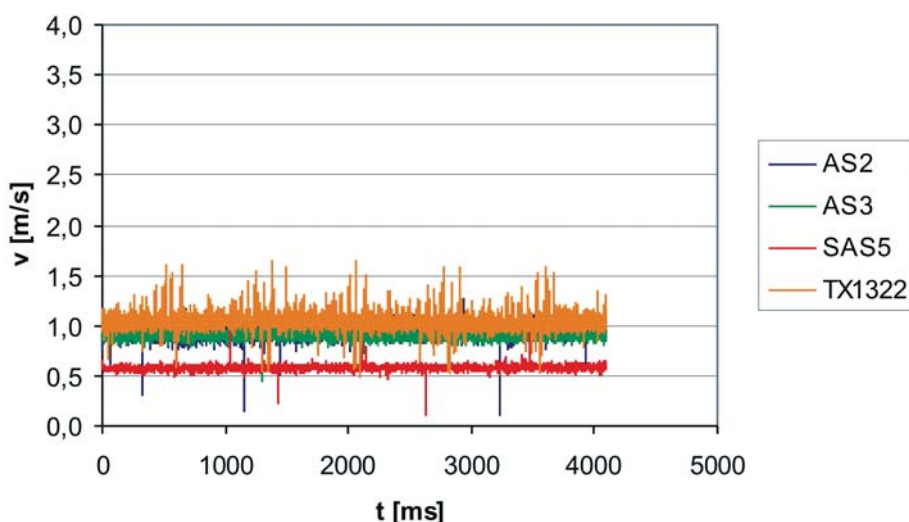
Obliczone parametry zamieszczono w tabeli nr 1.

Tab. 1. Parametry przepływu w kontrolnym obszarze pomiarowym

		Przysłona typu A	Przysłona typu B
$V_u = 1,0$ m/s	$\bar{v}$ [m/s]	0,87	0,74
	$\bar{T}$	0,15	0,33
$V_u = 2,5$ m/s	$\bar{v}$ [m/s]	2,09	1,91
	$\bar{T}$	0,17	0,31
$V_u = 5,0$ m/s	$\bar{v}$ [m/s]	3,84	3,83
	$\bar{T}$	0,22	0,33
$V_u = 7,5$ m/s	$\bar{v}$ [m/s]	5,78	5,48
	$\bar{T}$	0,24	0,31

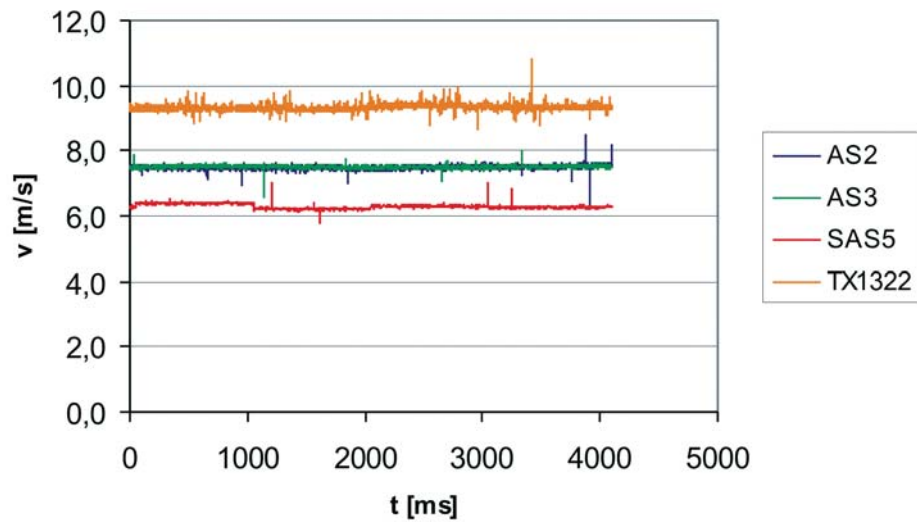
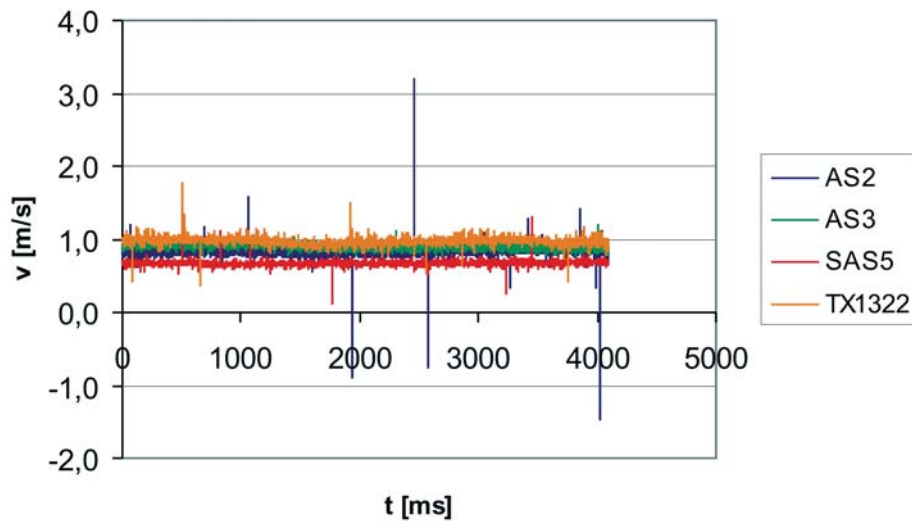
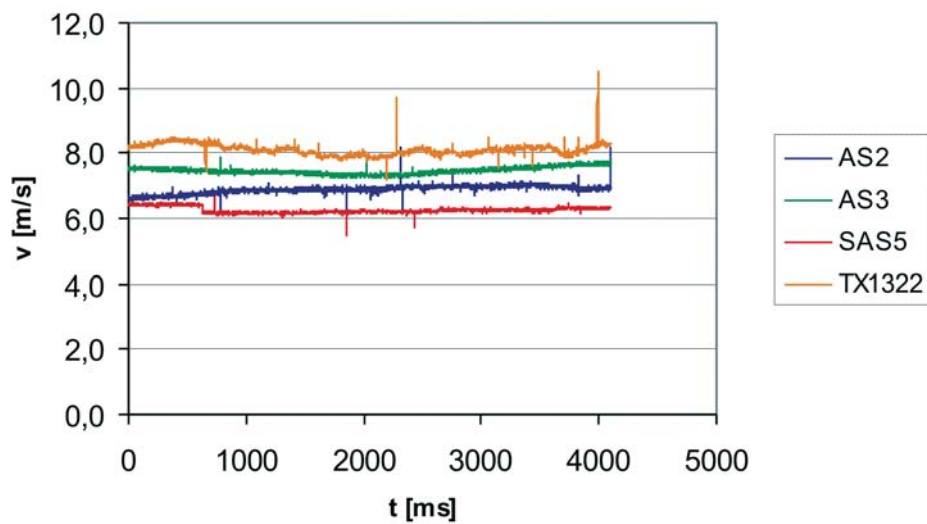
## 5. Pomiary prędkości anemometrami stacjonarnymi. Wyniki

Rejestrację sygnałów pomiarowych z wyjść analogowych anemometrów przeprowadzono przy użyciu tej samej karty analogowo-cyfrowej, którą wykorzystywano do badania profili prędkości przy pomocy termoanemometru. Parametry pobierania próbek z sygnałów były analogiczne. Wykonano pomiary w takich samych warunkach przepływowych jakie panowały przy badaniu pól prędkości w obszarze kontrolnym. Poniżej, na rysunkach 7-10 zobrazowane zostały wyniki rejestracji prędkości dla profili prędkości i intensywności turbulencji, opisanych wcześniej. Zarejestrowane sygnały nie były poddawane modyfikacji zarówno programowej jak i sprzętowej, dlatego widoczne są pojedyncze impulsy będące wynikiem zakłóceń w układach elektronicznych samych przyrządów. Na podstawie danych pomiarowych obliczono średnie wartości prędkości dla każdego z pomiarów. Wyniki obliczeń z podanymi odchyleniami standardowymi wartości średnich prędkości zamieszczono w tabelach 2 i 3.



Rys. 7. Rejestracja prędkości. Przysłona typu A. Prędkość  $V_u = 1$  m/s

Analizując dane z rysunków 7 i 8 oraz tabeli 2, które dotyczą pomiarów w przepływach zaburzonych przez zastosowanie przysłony A, można stwierdzić różnice we wskazaniach anemometrów już dla prędkości  $V_u = 1$  m/s. Różnice te powiększają się wraz ze wzrostem prędkości  $V_u$ . Bardzo znacząco rośnie różnica między prędkościami zmierzonymi przez anemometry SAS 5 i TX 1322. Przy  $V_u = 7,5$  m/s, rys. 8, wynosi 3 m/s. Dla przysłony typu A nie obserwuje się istotnych różnic we wskazaniach anemometrów ultradźwiękowych AS 2 i AS 3. Pojawiają się one za to wyraźnie przy polach prędkości generowanych przez przysłonę

Rys. 8. Rejestracja prędkości. Prysłona typu A. Prędkość  $V_u = 7,5$  m/sRys. 9. Rejestracja prędkości. Prysłona typu B. Prędkość  $V_u = 1$  m/sRys. 10. Rejestracja prędkości. Prysłona typu B. Prędkość  $V_u = 7,5$  m/s

typu B. W tym przypadku zaobserwowano również zmiany wartości średniej prędkości mierzonej przez anemometry ultradźwiękowe dla  $V_u = 7,5$  m/s.

Jak wynika z rysunków 9, 10 i tabeli 3, w przypadku zastosowania przysłony B zmniejsza się różnica pomiędzy pomiarami z anemometrów SAS 5 i TX 1322. Trzeba jednak pamiętać, że przysłona typu B generuje turbulencje o innej skali niż przysłona A. Intensywność turbulencji w przypadku zastosowania przysłony B praktycznie nie zmienia się ze wzrostem prędkości, obserwujemy jednak istotny wzrost rozbieżności we wskazaniach anemometrów wraz ze wzrostem prędkości  $V_u$ .

Uzyskane dane pokazują, że anemometr wirowy mierzy prawie w każdym badanym przypadku prędkość większą niż  $V_u$ , zarówno dla zaburzeń wywołanych przez przysłonę A jak i B.

Zmierzone przez poszczególne anemometry prędkości w żadnym z przedstawionych przypadków nie pokrywają się z prędkością umowną  $V_u$ , ani z prędkością średnią  $\bar{v}$  wyznaczoną w obszarze kontrolnym.

Tab. 2. Wyniki pomiarów prędkości dla przysłony typu A

Parametry obszaru kontrolnego		AS 2 [m/s]	AS 3 [m/s]	SAS 5 [m/s]	TX1322 [m/s]	SD [m/s]
$V_u = 1,0$ m/s	$\bar{v}$ [m/s]	<b>0,87</b>	<b>0,92</b>	<b>0,89</b>	<b>0,58</b>	<b>1,03</b>
	$\bar{T}$	0,15				
$V_u = 2,5$ m/s	$\bar{v}$ [m/s]	<b>2,09</b>	<b>2,44</b>	<b>2,41</b>	<b>1,87</b>	<b>2,96</b>
	$\bar{T}$	0,17				
$V_u = 5,0$ m/s	$\bar{v}$ [m/s]	<b>3,84</b>	<b>4,96</b>	<b>4,91</b>	<b>4,16</b>	<b>6,01</b>
	$\bar{T}$	0,22				
$V_u = 7,5$ m/s	$\bar{v}$ [m/s]	<b>5,78</b>	<b>7,48</b>	<b>7,50</b>	<b>6,28</b>	<b>9,32</b>
	$\bar{T}$	0,24				

Tab. 3. Wyniki pomiarów prędkości dla przysłony typu B

Parametry obszaru kontrolnego		AS 2 [m/s]	AS 3 [m/s]	SAS 5 [m/s]	TX1322 [m/s]	SD [m/s]
$V_u = 1,0$ m/s	$\bar{v}$ [m/s]	<b>0,74</b>	<b>0,84</b>	<b>0,90</b>	<b>0,67</b>	<b>0,97</b>
	$\bar{T}$	0,33				
$V_u = 2,5$ m/s	$\bar{v}$ [m/s]	<b>1,91</b>	<b>2,35</b>	<b>2,34</b>	<b>1,94</b>	<b>2,95</b>
	$\bar{T}$	0,31				
$V_u = 5,0$ m/s	$\bar{v}$ [m/s]	<b>3,83</b>	<b>4,78</b>	<b>5,12</b>	<b>4,55</b>	<b>5,36</b>
	$\bar{T}$	0,33				
$V_u = 7,5$ m/s	$\bar{v}$ [m/s]	<b>5,48</b>	<b>6,89</b>	<b>7,46</b>	<b>6,25</b>	<b>8,10</b>
	$\bar{T}$	0,31				

## 5. Podsumowanie

Przedstawione wyniki potwierdzają wpływ fluktuacji występujących w przepływie na pomiary prędkości wykonywane anemometrami stacjonarnymi. Wskazania przyrządów w zależności od typu anemometru, wykazują istotne różnice.

Dotychczas wykonane eksperymenty pomiarowe i zdobyte doświadczenie, należy traktować jako wstęp do przeprowadzenia analizy niepewności pomiarów prędkości dla anemometrów stacjonarnych działających w oparciu o różne zasady pomiaru.

W dalszych badaniach konieczne będzie sprowadzenie obszaru kontrolnego do rozmiarów i kształtu odpowiadających indywidualnie poszczególnym wlotom do kanałów pomiarowych anemometrów. Należy także przeprowadzić rejestrację w warunkach in situ anemometrami szerokopasmowymi w celu uzyskania większej ilości danych pomiarowych służących do modelowania przepływów w warunkach laboratoryjnych. Przewiduje się uzupełnienie badań eksperymentalnych analizą numeryczną przeprowadzoną przy pomocy kodu FLUENT.



## 6. Literatura

1. Chmiel W., Millak St., Trutwin W.: *Modernizacja oraz określenie parametrów tunelu aerodynamicznego IMG PAN*, Kraków. (1989).
2. Dziurzyński W.: *Optymalna lokalizacja w przekroju wyrobiska stacjonarnego anemometru systemu monitoringu sieci wentylacyjnej kopalni*, Archives of Mining Sciences, 41, Kraków (1996).
2. Krawczyk J., Kruczkowski J.: *Pomiary niestacjonarnych przepływów w wyrobisku kopalni*, Materiały 3 Szkoły Aerologii Górniczej, Katowice (2004).
4. Kruczkowski J.: *Obserwacja zmian ciśnienia i prędkości powietrza w wyrobisku górniczym*, Prace IMG PAN, t. 3, nr 2, Kraków, (2001).
5. Wasilewski St. i inni: *Sprawozdanie z badań prędkości przepływu powietrza. Analiza korelacyjna pomiarów oraz ustalenie zależności średniego strumienia objętości powietrza od prędkości punktowej*, Dokumentacja EMAG. Katowice, (1990).
6. Wasilewski ST.: *Badania przepływu powietrza w kopalni*, Archives of Mining Science, 41, Kraków (1996).

### Research on the influence velocity profile distortion on measurements with various types of stationary anemometers

#### Abstract

Real flow of air in workings of underground mines is considerably unsteady and nonhomegenous. In such environment stationary anemometers are applied for measurements of velocity. The objective of this paper was to determine if the measurement results are sensitive to the type and operational principle of measuring instrument. Three kinds of stationary anemometers were examined: vane, ultrasonic, and vortex shedding. Measuring experiments have indicated discrepancy of results related to particular velocity profile, turbulence intensity and type of anemometer.

**Keywords:** vane anemometers, ultrasonic anemometers, vortex shedding anemometers, turbulence, mine ventilation, flow measurements

Recenzent: prof. dr hab. inż. *Stanisław Wasilewski*, EMAG