

# Anemometr ręczny z detekcją kierunku przepływu

JANUSZ KRUCZKOWSKI 

*Instytut Mechaniki Górotworu PAN, ul. Reymonta 27, 30-059 Kraków*

## Streszczenie

Ręczne anemometry skrzydełkowe są jednymi z podstawowych przyrządów używanych do pomiarów w systemach wentylacyjnych kopalń głębinowych. Ze względu na środowisko w którym są wykorzystywane, ich konstrukcja istotnie różni się od konstrukcji anemometrów przeznaczonych do pomiarów w przemyśle powierzchniowym. Artykuł przedstawia nowo opracowany przyrząd, przeznaczony do pracy w warunkach zagrożenia wybuchami gazów i pyłów, a także w bardzo niekorzystnych warunkach środowiskowych. Zastosowano, nowatorskie dla anemometrów ręcznych, rozwiązanie w konstrukcji czujnika skrzydełkowego, pozwalające na pomiar prędkości przy zmianie kierunku przepływu powietrza. Dodatkowo uzyskano możliwość wykorzystania anemometru jako autonomicznego miernika stacjonarnego, co istotnie zwiększa jego zastosowanie w warunkach górniczych, jak też do prowadzenia naukowych eksperymentów badawczych. Niespotykane w innych przyrządach tego typu parametry metrologiczne i techniczne są szczególnie istotne dla drugiego z wymienionych zastosowań.

**Słowa kluczowe:** anemometr skrzydełkowy, atmosfera potencjalnie wybuchowa, ATEX, wentylacja kopalń

## 1. Wprowadzenie

Prowadzone w Pracowni Wentylacji Kopalń Instytutu Mechaniki Górotworu PAN badania naukowe z dziedziny aerologii górniczej wymagają konstruowania specjalistycznej aparatury pomiarowej. W latach 80-tych XX w. skonstruowano unikalną w skali światowej aparaturę do rejestracji parametrów fizycznych atmosfery, w czasie wystąpienia zjawiska wyrzutu gazów i skał. Następnie powstawały, również unikalne, systemy wielopunktowych pomiarów profilu prędkości powietrza i rozkładów stężeń metanu. Intensywnie rozwijano opracowania anemometrycznych czujników prędkości, czujników różnicy ciśnienia i ciśnienia absolutnego. Ponieważ przyrządy budziły duże zainteresowanie, głównie ze względu na swoje parametry techniczne i metrologiczne, podjęto decyzję o komercjalizacji niektórych projektów. Dotyczyło to głównie anemometrów ręcznych i stacjonarnych. Wdrożono do zastosowań przemysłowych serię anemometrów ręcznych typu uAS oraz serię anemometrów stacjonarnych typu SAS i MPP [3,5]. We wszystkich anemometrach które powstały w Pracowni Wentylacji Kopalń stosowany jest czujnik skrzydełkowy [2,4]. Opracowano dwie wersje anemometrów mAS [1]. Różnica polegała na zastosowaniu w jednej wersji sond pomiarowych połączonych kablem z urządzeniem odczytowym, a w drugiej wersji (tzw. kompaktowej) czujnik pomiarowy jest na stałe związany z układem odczytowym. Drugie rozwiązanie okazało się być bardziej praktyczne w zastosowaniach ruchowych w kopalniach. Do tej drugiej wersji należy opisywany w artykule ręczny anemometr skrzydełkowy mAS5. Jest on ostatnim ogniwem w serii anemometrów kompaktowych. Wcześniej skonstruowane przyrządy pokazane zostały na Rys. 1-4. Pierwszy z nich o symbolu mAS3 został opracowany na początku lat 90 XX w. Kolejne opracowania polegały na zmianach konstrukcyjnych układu mechanicznego i układu elektronicznego. Zmianom ulegała również konstrukcja czujnika skrzydełkowego. Ostatnie opracowanie zrealizowano w 2011 roku. Jest nim anemometr mAS4 pokazany na Rys.4. Z powodu zestarzenia pewnych rozwiązań, szczególnie w obwodach elektronicznych anemometru, a także w budowie mechanicznej anemometru, i jednocześnie nie słabnące zainteresowanie przyrządem zarówno w kraju jak zagranicą, podjęto decyzję o zrealizowaniu nowego opracowania.



Fot. 1. Anemometr mAS3 (rok 1994)



Fot. 2. Anemometr mAS3 (rok 1997)



Fot. 3. Anemometr mAS3 (rok 2000)



Fot. 4. Anemometr mAS4 (rok 2006/2011)

Ze względu na środowisko pracy anemometry muszą spełniać wymagania określone właściwymi przepisami. Jednym z głównych zagrożeń w systemach przewietrzania kopalń jest możliwość pojawiania się mieszanki powietrzno-metanowej o właściwościach wybuchowych. Konstrukcja przyrządów pomiarowych stosowanych w takich warunkach musi gwarantować niezdolność do wywołania inicjacji zapłonu. Warunki do spełnienia określa dyrektywa UE nr 2014/34/EU ATEX [6]. Zastosowanie się do wprowadzonych przez nią norm zharmonizowanych jest podstawą do uzyskania tzw. Certyfikatu UE ATEX pozwalającego na stosowanie przyrządu w metanowych kopalniach głębinowych. Wszystkie przedstawione anemometry posiadają taki certyfikat. Jest on wydawany przez jednostki badawcze notyfikowane przez Komisję Europejską.

## 2. Opis układu mechanicznego anemometru mAS5

Konstrukcja mechaniczna anemometru musi spełniać szereg wymagań zazwyczaj pomijanych przy tego typu przyrządach stosowanych w przemyśle powierzchniowym. Istotne jest zapewnienie jak najwyższego stopnia ochrony obudowy gwarantującego odporność na wnikanie pyłów i wody. Użyte materiały muszą być odporne na korozję i jak największą liczbę różnych środków chemicznych.



Fot. 5. Anemometr mAS5

Szczególną uwagę należy zwrócić na sposób łożyskowania i jego ochrony. Ma to bezpośredni wpływ na parametry metrologiczne anemometru, w szczególności zdolność pomiaru najmniejszych prędkości. Zastosowano autorskie rozwiązanie poprzez konstrukcję labiryntu chroniącego każde z łożysk. Labirynt składa się z dwóch elementów. Jeden z nich związany jest na stałe z konstrukcją czaszy. Drugi element umieszczono na osi skrzydełka. Na Fot. 6 pokazano głowicę pomiarową anemometru.



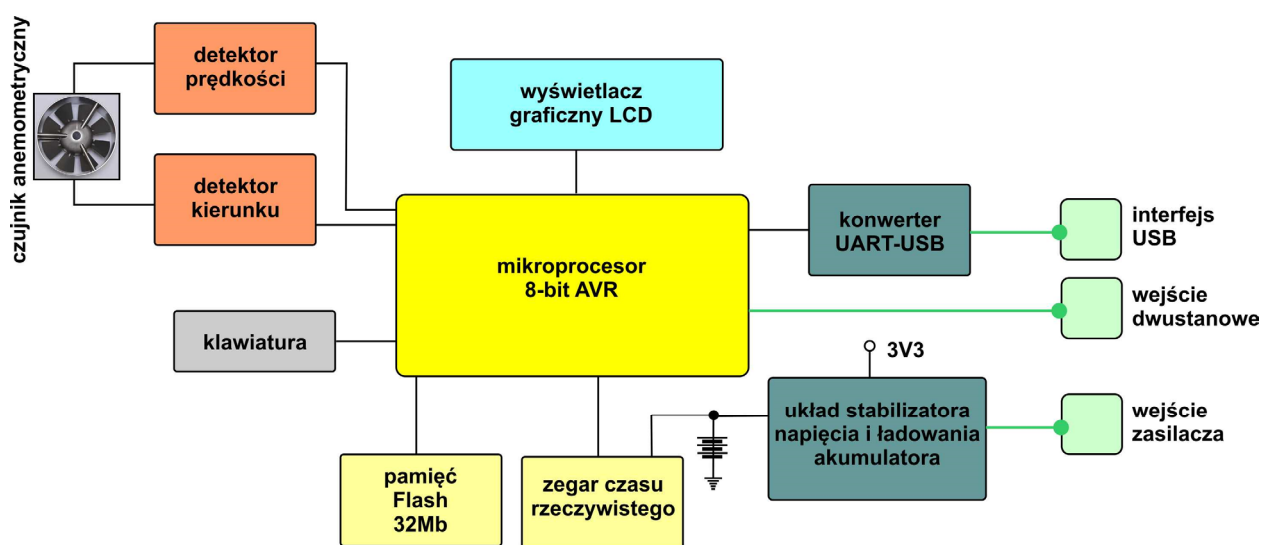
Fot. 6. Czujnik prędkości i kierunku obrotów

Widoczny jest zespół czasz chroniących układ łożyskowania skrzydełka. Czasze zamocowane są do osłony skrzydełka na trzech wspornikach. Od strony obudowy zamontowano czujnik zawierający dwa sensory indukcyjne. Czujnik reaguje na przesuwające się względem niego skrzydełko wykonane ze stopu aluminiowego. Na czołowej powierzchni obudowy anemometru umieszczono klawiaturę zespoloną z wyświetlaczem alfanumerycznym. Na tylnej części znajduje się tabliczka znamionowa z informacjami wymaganymi dla urządzeń budowy przeciwwybuchowej.

### 3. Schemat blokowy anemometru

Rys. 1 przedstawia schemat blokowy obwodów elektronicznych anemometru mAS5. Głównym elementem układu jest 8 bitowy mikroprocesor z rodziny AVR. Układami peryferyjnymi są zegar czasu rzeczywistego, 32 MB pamięć i układ konwertera standardu UART-USB służący do komunikacji zewnętrznej. Zasilanie anemometru i ładowanie akumulatora realizowane są przy pomocy układów przetwornicy

i stabilizatora napięcia. Do komunikacji z operatorem służą, trójpozycyjna klawiatura i podświetlany wyświetlacz typu LED o rozdzielczości  $102 \times 64$  pix. Podstawowym zadaniem układu elektronicznego jest zdekodowanie sygnału pomiarowego otrzymanego z anemometrycznego czujnika skrzydełkowego. Zasada działania czujnika polega na zamianie pędu przepływającego powietrza na ruch obrotowy skrzydełka (wirnika) czujnika. Położone w odpowiedni względem siebie sposób, dwa czujniki indukcyjne wykrywają kolejne przejścia łopatek skrzydełka Fot. 6. Odbywa się to w układach detektora prędkości i detektora kierunku obrotów skrzydełka. W wyniku zmiany dobroci obwodów rezonansowych generatorów, zmiana ulega amplituda sygnału częstotliwościowego, co jest wykrywane przy pomocy demodulatora. Następnie, w układzie komparacji zostaje uzyskany sygnał cyfrowy o częstotliwości proporcjonalnej do prędkości obrotowej wirnika. Z detektora sygnał podawany jest na wejście 16 bitowego timera procesora. Wzajemne ustawienie czujników indukcyjnych pozwala na uzyskanie dwóch sygnałów o przesuniętej fazie. Z kolei analiza przesunięcia fazowego, możliwa dzięki sygnałowi z detektora kierunku, dostarcza informacji o kierunku przepływu powietrza przez czujnik skrzydełkowy.



Rys. 1. Schemat blokowy anemometru mAS5

Ze względu na konieczność spełnienia wymagań dla przyrządów budowy przeciwybuchowej w układzie elektronicznym należało zaprojektować szereg zabezpieczeń przed pojawieniem się wysokiej temperatury lub zaiskrzeniem. Jedno z wyjść anemometru przeznaczone jest do obsługi przycisku uruchamiającego procedurę pomiaru, umieszczonego w ręczce wysięgnika, zaprojektowanego do współpracy z anemometrem. Jest to rozwiązanie niezbędne przy wykonywaniu pomiarów strumienia objętości.

#### 4. Wykonanie przeciwybuchowe. Certyfikacja ATEX

Jednym z najistotniejszych zadań podczas konstruowania urządzeń przeznaczonych do pracy w kopalniach węgla kamiennego jest uzyskanie certyfikatu badania wyrobu potwierdzającego zdolność do pracy w warunkach zagrożonych wybuchem gazów. Anemometr ręczny jest stosowany w warunkach możliwej obecności atmosfery potencjalnie wybuchowej. Z tego powodu obowiązkowo musi spełniać wymagania Dyrektywy parlamentu europejskiego i rady 2014/34/UE (ATEX) z dnia 26 lutego 2014 r. „W sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w atmosferze potencjalnie wybuchowej”. Dyrektywa określa wymagania, które muszą być spełnione w odniesieniu wyrobów mających zastosowanie w środowiskach zagrożonych wybuchem w celu zapewnienia bezpieczeństwa. Wytyczne dyrektywy sprecyzowane są w normach zharmonizowanych. W przypadku anemometru mAS5 zastosowanie mają poniższe normy.

1. PN-EN IEC 60079-0:18-09  
Atmosfery wybuchowe  
Część 0: Urządzenia  
Podstawowe wymagania



2. PN-EN 60079-11:2012

Atmosfery wybuchowe

Część 0: Zabezpieczenie urządzeń za pomocą iskrobezpieczeństwa „i”

3. PN-EN 50303:2004

Urządzenia grupy I kategorii M1 przeznaczone do pracy ciągłej w atmosferach zagrożonych metanem i/lub pyłem węglowym.

Opracowanie dokumentacji zawierających ustosunkowanie się do każdego z punktów zawartych w normach (jest ich kilkadziesiąt), poprzez wykonanie stosownych obliczeń lub przeprowadzenie dowodu na słuszność zastosowanych rozwiązań, stanowi podstawę do otrzymania certyfikatu typu UE. Badania prowadzone przez upoważnioną jednostkę polegają na weryfikacji dokumentacji oraz wykonaniu szeregu testów sprawdzających przedstawione dowody. Analizowane jest zachowanie urządzenia przy wystąpieniu dowolnych uszkodzeń w obwodach elektrycznych a także odporność na wnikanie pyłów i wody oraz na upadek z wysokości. Certyfikacja obejmuje również kompatybilność elektromagnetyczną. Na Rys. 2 pokazano certyfikat typu WE wraz z późniejszym uzupełnieniem uzyskany dla anemometru mAS4. Obecnie są wydawane certyfikaty typu UE.

**CERTYFIKAT BADANIA TYPU WE**

[1] Urządzenia, systemy ochronne, części i podzespoły przeznaczone do użytku w przestrzeniach zagrożonych wybuchem. Dyrektywa 94/9/WE (Rozporządzenie MG z dnia 22.12.2005r. Dz.U. Nr 263, Poz. 2203).

[2] Urządzenie: **Anemometr skrzydełkowy mAS4**

[3] Producent: **Instytut Mechaniki Górotworu PAN**

[4] Adres: **ul. Reymonta 27, 30-059 Kraków**

[5] PN-EN 50014:2004; PN-EN 50020:2005; PN-EN 50303:2004; PN-EN 50261-1-1:2002

[6] Znak „X” umieszczony za numerem certyfikatu oznacza szczególne warunki stosowania w przestrzeniach zagrożonych wybuchem wyszczególnione w załączniku do niniejszego certyfikatu.

[7] Wyniki oceny i badań zostały wyszczególnione w sprawozdaniu KDB Nr: 06.120 [1-5782]

[8] Zasadnicze wymagania bezpieczeństwa i ochrony zdrowia zrealizowano poprzez spełnienie wymagań norm:

[9] Zasadnicze wymagania bezpieczeństwa i ochrony zdrowia zrealizowano poprzez spełnienie wymagań norm:

FN-EN 60079-0:2009 (EN 60079-0:2006)  
 FN-EN 60079-11:2007 (EN 60079-11:2007)  
 FN-EN 50303:2004 (EN 50303:2000)  
 FN-EN 61241-0:2007 (EN 61241-0:2006)  
 FN-EN 61241-1:2007 (EN 61241-1:2006)

[10] Oznaczenie nie ulega zmianie:

**I Ml Ex ia I**  
**II 2G Ex ia IIB T4**  
**IP65 T110 °C**

**UZUPEŁNIENIE NR 1 CERTYFIKATU BADANIA TYPU WE KDB 06ATEX121X**

[1] Urządzenia, systemy ochronne, części i podzespoły przeznaczone do użytku w przestrzeniach zagrożonych wybuchem. Dyrektywa 94/9/WE (Rozporządzenie MG z dnia 22.12.2005r. Dz.U. Nr 263, Poz. 2203).

[2] Urządzenie: **Anemometr skrzydełkowy mAS4**

[3] Producent: **Instytut Mechaniki Górotworu PAN**

[4] Adres: **ul. Reymonta 27, 30-059 Kraków**

[5] W urządzeniu lub systemie ochronnym wprowadzono zmiany opisane w załączniku do niniejszego uzupełnienia oraz w wymienionych w nim dokumentach.

[6] Wyniki oceny i badań zostały wyszczególnione w sprawozdaniu KDB Nr 10.167 [1-5782]

[7] Oznaczenie:

**I Ml Ex ia I**  
**II 2G Ex ia IIB T4**  
**IP65 T110 °C**

[8] Zasadnicze wymagania bezpieczeństwa i ochrony zdrowia zrealizowano poprzez spełnienie wymagań norm:

FN-EN 60079-0:2009 (EN 60079-0:2006)  
 FN-EN 60079-11:2007 (EN 60079-11:2007)  
 FN-EN 50303:2004 (EN 50303:2000)  
 FN-EN 61241-0:2007 (EN 61241-0:2006)  
 FN-EN 61241-1:2007 (EN 61241-1:2006)

[9] Oznaczenie nie ulega zmianie:

**I Ml Ex ia I**  
**II 2G Ex ia IIB T4**  
**II 2 D Ex iaD 21 IP65 T110 °C**

Rys. 2. Certyfikat badania typu WE dla anemometru mAS4

Norma precyzuje grupę I urządzeń, co oznacza urządzenia przeznaczone do pracy w wyrobiskach podziemnych kopalń i w częściach instalacji powierzchniowych tych kopalń, zagrożonych występowaniem gazu kopalnianego lub pyłu palnego i obejmuje kategorię urządzeń M I i M II. Kategoria M I dotyczy urządzeń zdolnych do pracy przeciągłej obecności atmosfery wybuchowej. Kategoria M II to urządzenia podlegające wyłączeniu w przypadku pojawienia się takiej atmosfery. Anemometr mAS5 należy do urządzeń kategorii M I. Certyfikację przeprowadza jednostka posiadająca autoryzację właściwego ministra i notyfikację Komisji europejskiej. Dyrektywa określa również wymagania dotyczące zapewnienia jakości procesów produkcyjnych. Podstawową procedurą jest procedura badania typu UE. Musi ona być połączona z jedną z dwóch procedur; zgodności z typem w oparciu o zapewnienie jakości produkcji lub zgodność z typem w oparciu o weryfikację produktu. Wynika z tego, że jednostka naukowa podejmująca się wdrażania urządzeń o budowie przeciwybuchowej musi posiadać wdrożony system jakości produkcji według normy PN EN ISO/IEC 80079-34 Atmosfery wybuchowe-Część 34: Zastosowanie systemów zarządzania jakością do produkcji wyrobów Ex.

## 5. Podstawowe parametry techniczne anemometru mAS5

Zakres pomiarowy prędkości przepływu:	$\pm (0,16 \div 20,0 \text{ m/s})$
Błąd pomiaru prędkości przepływu:	$\pm (0,5\% \text{ rdg} + 0,02 \text{ m/s})$
Rozdzielczość pomiaru prędkości :	0,01 m/s
Typ czujnika:	skrzydełkowy
Metoda pomiaru prędkości:	prędkość chwilowa 1 s zmienny czas uśredniania do 20 h
Maksymalne pole przekroju Do pomiaru strumienia objętości:	100 m <sup>2</sup>
Kategoria i rodzaj budowy:	I M1 Ex ia I
II 2 G Ex ia IIB T4	
II 2 D Ex iaD 21 IP67 T110°C	
Wykonanie:	stal kwasoodporna 1.4306/1.4404 homopolimer acetalu
Stopień ochrony:	IP 67
Autonomiczny czas pracy:	250 h
Interfejs komunikacyjny:	USB/Bluetooth
Pojemność pamięci danych:	74 sesje pomiarowe 144 godzinne
Temperatura otoczenia:	$-20^{\circ}\text{C} < T_a < 50^{\circ}\text{C}$
Wilgotność otoczenia:	$\leq 95\% \text{ rH}$ (bez kondensacji)
Narażenia mechaniczne:	wysokie
Wymiary:	100/60 × 154/54/40 mm
Masa:	0,48 kg

## 6. Podsumowanie

Ręczny anemometr skrzydełkowy mAS5 wprowadza nową jakość do metrologii przepływów w sieciach wentylacyjnych kopalń głębinowych. Zastosowanie nie tylko do pomiarów ręcznych, ale również stacjonarnych, daje niespotykane dotąd możliwości zarówno służbom wentylacyjnym, jak i naukowcom zajmującym się problematyką aerologii górniczej. Konstrukcja znacznie przewyższa odpornością środowiskową podobne rozwiązania. Zwrócić należy uwagę na klasę ochrony IP67, temperaturowy zakres pracy  $-20 \div 50^{\circ}\text{C}$ . Dodatkowo znakomite parametry metrologiczne, zakres pomiarowy  $\pm (0,16 \div 20,0 \text{ m/s})$ , błąd pomiaru  $\pm (0,5\% \text{ rdg} + 0,02 \text{ m/s})$ , odbiegają od dotychczas spotykanych. Ze względu na swoją konstrukcję mechaniczną i parametry metrologiczne anemometr mAS5 powinien przez wiele lat znaleźć zastosowanie nie tylko w przemyśle wydobywczym.

Obecnie osiągnięto poziom gotowości technologicznej 7/8 TRL (Technology Readiness Levels). Osiągnięcie maksymalnego poziomu 9 TRL, co oznacza gotowość do zastosowań komercyjnych, będzie wymagało przeprowadzenia badań na zgodności projektu z dyrektywą europejską 2014/34/EU ATEX. Spowodowany globalnym kryzysem brak dostępu do elementów elektronicznych, głównie mikroprocesorów może ten proces spowolnić. W przypadku komercjalizacji prac rozwojowych istotne jest posiadanie długoczasowej strategii działania. Dla urządzenia takiego jak anemometr mAS5 bardzo istotne jest zapewnienie dostępu do elementów niezbędnych do jego wytwarzania w założonym okresie czasu. Aktualnie jest to trudne zadanie wynikające między innymi z pozycji ekonomicznej jednostki wdrażającej.

Praca została wykonana w roku 2022 w ramach prac statutowych realizowanych w IMG PAN w Krakowie, finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

### Literatura

- [1] Gorgoń J., Kruczkowski J., Tracz J., 1992: *Anemometr mAS*. Informator CSRG. Nr 1. Bytom.
- [2] Kruczkowski J., 1994: *Anemometry skrzydełkowe w pomiarach wentylacyjnych*. Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Opolu. Elektryka z. 40, T. 1.

- [3] Kruczkowski J., 2002: *Anemometr stacjonarny SAS5*. Materiały 2 Szkoły Aerologii górniczej. Sekcja Aerologii Górniczej Komitetu Górnictwa PAN.
- [4] Kruczkowski J., 2008: *System for continuous measurement of volumetric rate of unsteady air flow in workings of deep mines*. Archives of Mining Sciences. Vol. 53, No 4.
- [5] Kruczkowski J. 2020: *Anemometr stacjonarny do monitorowania przepływu powietrza w systemie wentylacyjnym kopalni*. Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN. Tom 22, nr 1-4
- [6] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=celex:32014L0034>

Współudział w projekcie: Tadeusz Bacia

## **Handheld vane anemometer with flow direction detection**

### **Abstract**

Handheld vane anemometers are one of the primary devices used for measurements in mine ventilation systems. Due to the environment in which they are used, their design differs significantly from that of anemometers designed for measurements in the surface industry. This article presents a newly developed device, designed for use in applications with hazardous gas or dust and also in very adverse environmental conditions. An innovative solution for handheld anemometers was used in the design of the wing sensor, which allows measurement of velocity when the direction of air flow changes.

**Keywords:** vane anemometer, potentially explosive atmosphere, ATEX, mine ventilation