

# Wyznaczanie profilu prędkości przepływu powietrza w wyrobisku górniczym

## Graphical presentation of the airflow velocity profile in mine workings



Prof. dr hab. inż. Waclaw  
Dziurzyński\*)



Dr hab. Marek Gawor\*)



Dr Teresa Pałka\*)

**Treść:** W artykule przedstawiono wyniki badań pola prędkości przepływu powietrza w wyrobisku górniczym kopalni podziemnej. Przepływ powietrza w większości wyrobisk górniczych charakteryzuje się zmiennością w czasie i wielkoskalową turbulencją. Dla poznania skali i zakresu zmienności pola prędkości wykonano eksperymenty pomiarowe w wyrobiskach ośmiu kopalń polskich korzystając z systemu wielopunktowego pomiaru, wyposażonego w kilkanaście (max 32) anemometrycznych czujników skrzydełkowych pomiaru prędkości przepływu powietrza (SWPPP). Dla zobrazowania zarejestrowanych danych, opracowano algorytmy i procedury programu *IZO* przeznaczonego do obróbki wyników pomiarów prędkości przepływu powietrza i wizualizacji na ekranie komputera chwilowej wartości prędkości, pola prędkości przedstawionego na wykresach 2D jako linii jednakowych prędkości (izotachy) lub 3D jako powierzchni obrazującej zmienny w czasie profil prędkości. Wyznaczenie zmiennego w czasie profilu prędkości, wnosi istotny poznawczy element w aspekcie zgodnego z zasadami mechaniki płynów położenia stacjonarnego anemometru w przekroju poprzecznym wyrobiska. Przedstawiono metodykę posługiwania się opracowanymi komputerowymi narzędziami do wizualizacji pola prędkości i wyznaczenia strumienia objętości przepływu powietrza. Powyższe umożliwia wyznaczyć poprawne do warunków metrologicznych, miejsce lokalizacji anemometru stacjonarnego, adekwatne do warunków przepływu powietrza, w tym do średniej prędkości przepływu powietrza, geometrii wyrobiska i znajdujących się elementów wyrobiska (taśma, kable, rurociąg, lutniociąg).

**Abstract:** This paper summarises the studies of airflow velocity fields in mine workings in underground mines. Typically, air flows in mines are time-variant and are subject to multi-scale turbulence. To identify the scale and variability range of the velocity field, measurements were taken in eight Polish collieries using a multi-point system incorporating several (no more than 32) vane anemometer sensors for measuring airflow velocity. To visualise the measurement data, dedicated algorithms and procedures of the *IZO* program were developed, allowing the registered airflow velocity data to be duly processed and the instantaneous airflow velocity and flow velocity fields to be visualised on the computer screen as velocity contour (isotach) lines (2D graphs) or as surfaces representing time-variant velocity profiles (3D graphs). Determination of the time-variant velocity profile adds a vital cognitive aspect when trying to establish the optimal position of a vane anemometer in the gallery's cross section, in accordance with the principles of flow mechanics. The methodology is outlined showing how to use the tools for flow velocity field visualisation and for determining the volumetric flow rate in order to find the location of a stationary anemometer position adequate to the airflow velocity conditions (average flow velocity, geometry of the cross section of the gallery) and taking into account the presence of mine equipment (conveyor belts, cables, pipelines, ventilation ducts).

### Słowa kluczowe:

narzędzia komputerowe, pole prędkości, pomiar prędkości przepływu powietrza, wyznaczenie współczynnika korekcji

### Key words:

computer tools, velocity field, airflow velocity measurement, correction term for stationary anemometer

\*) Instytut Mechaniki Górotworu Polskiej Akademii Nauk

## 1. Wprowadzenie

Zagadnienie pomiaru parametrów charakteryzujących kopalnianą sieć wentylacyjną, w tym wyznaczenie strumienia objętości przepływu powietrza jest ciągle przedmiotem badań. Pojawiające się przyrządy pomiarowe nowej generacji umożliwiają przeprowadzenie badań eksperymentalnych i opracowanie nowych metod pomiarowych. Techniki pomiarowe stosowane w wentylacji kopalń dotyczyły na ogół tak zwanego stanu ustalonego przepływu powietrza w sieci wyrobisk [4, 5]. Jednak przepływ w większości wyrobisk górniczych charakteryzuje się zmiennością w czasie i wielkoskalową turbulencją [1, 2]. Badanie niestacjonarnego rozkładu prędkości przepływu powietrza w wyrobisku górniczym ma na celu:

- poznanie, poprzez pomiar, niestacjonarnego przepływu powietrza w wyrobisku górniczym.
- poznanie nowych możliwości pomiarowych z wykorzystaniem szybkich przetworników pomiarowych oraz szybkich profesjonalnych urządzeń rejestrujących a także zachowania sond pomiarowych (anemometrów, termoanemometrów) w silnie turbulentnym przepływie.

W kopalniach podziemnych zastosowanie znajduje coraz więcej systemów automatycznego pomiaru w tym prędkości przepływu powietrza [9] oraz stężenia metanu [10]. Współczesne możliwości specjalistycznej aparatury do pomiaru i rejestracji pozwalają po raz pierwszy na zrealizowanie, równoczesnego pomiaru przez kilkanaście czujników prędkości przepływu powietrza w przekroju poprzecznym wyrobiska. Wyznaczanie strumienia objętości przepływu powietrza i gazów w wyrobiskach kopalnianych, tunelach i kanałach jest pomiarem złożonym. Strumień objętości przepływu jest określony iloczynem prędkości średniej i polem przekroju poprzecznego, w którym prędkość wyznaczona jest poprzez pomiar w wyrobisku. Wyznaczenie pola prędkości przepływu powietrza w wyrobisku górniczym umożliwia system wielopunktowego pomiaru prędkości przepływu powietrza (SWPPP – System Wielopunktowy Pomiaru Przepływu Powietrza), który wykorzystuje kilkanaście (max 32) anemometrycznych czujników skrzydełkowych [8].

Istotnym zagadnieniem prowadzonych badań za pomocą systemu SWPPP jest poznanie charakteru zmian pola prędkości przepływu powietrza między innymi poprzez jego wizualizację. Uzyskujemy to poprzez wyznaczenie i obserwację zmian czasowych prędkości przepływu dla każdego czujnika anemometrycznego systemu co pokazuje miejscowy poziom zaburzeń (fluktuacji) przepływu. Chwilowe pola prędkości przedstawione są na wykresach 2D jako linie jednakowej prędkości (izotachy) lub 3D jako powierzchnia obrazująca profil prędkości.

Wyznaczenie zmiennego w czasie pomiarów profilu prędkości wnosi istotny poznawczy element w aspekcie zgodnego z zasadami mechaniki płynów położenia stacjonarnego anemometru w przekroju poprzecznym wyrobiska [3]. Zagadnienie to jest aktualne dla realizowanego projektu strategicznego pt. „Wyznaczenie współczynnika korekcji pomiędzy automatycznym pomiarem prędkości powietrza a uśrednioną wartością prędkości mierzoną anemometrem ręcznym. Dlatego dla pogłębienia stanu wiedzy o turbulentnym przepływie powietrza w wyrobisku górniczym za istotne uznano zastosowanie narzędzi informatycznych pozwalających na opracowanie metodyki wizualizacji na ekranie komputera zmiennego w czasie profilu prędkości w postaci izotach 2D i 3D. Opracowano program komputerowy *IZO*, który wykorzystuje zarejestrowane, podczas pomiarów czujnikami anemometrycznymi przebiegi prędkości przepływu powietrza w wybranym miejscu w wyrobisku górniczym (rys.1).

## 2. Założenia i opis funkcjonowania programu *IZO*

Program *IZO* umożliwia wizualizację pola prędkości powietrza przepływającego w przekroju wyrobiska kopalnianego na podstawie pomiarów przez czujniki anemometryczne systemu SWPPP zainstalowanego w tym przekroju. Pracę programu rozpoczynamy od wprowadzenia danych dotyczących miejsca pomiaru tj. fotografii i wymiarów geometrycznych wyrobiska tj. szerokości i wysokości, konieczne są współrzędne konturu wyrobiska (rys.2).

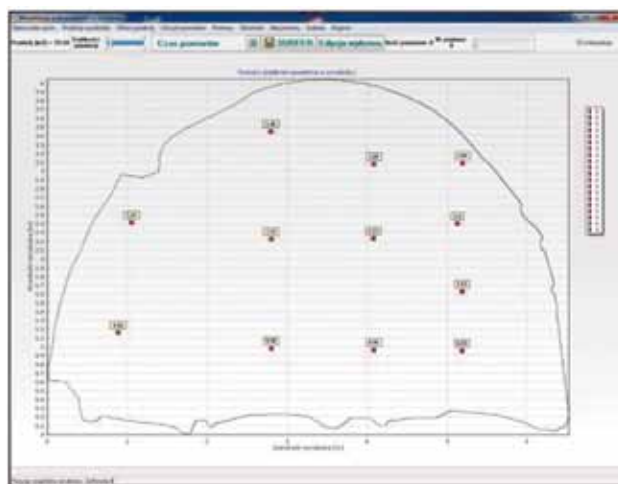


Rys. 1. Zdjęcie miejsca pomiaru w chodniku nadścianowym ściany G-6

Fig. 1. Velocity measurement system installed in a cross-section of the tailgate of the longwall G-6

Dla działania programu konieczne są dane pomiarowe w postaci plików, uzyskanych za pomocą czujników anemometrycznych systemu SWPPP. Dla usprawnienia działania przyjęto, że na podstawie fotografii miejsca pomiaru oraz obróbce wykonanego zdjęcia zostaną wyznaczone autorskim programem komputerowym MarkoUSB [6] współrzędne obrysu wyrobiska oraz miejsca lokalizacji czujników anemometrycznych.

Ponadto program *IZO* umożliwia obliczenie przekroju wyrobiska i wyznaczanie strumienia objętości powietrza w przekroju wyrobiska metodą pola prędkości [8] dla wybranych okresów czasu trwania pomiaru.



Rys. 2. Widok głównej planszy programu po odczycie danych wyrobiska i rozmieszczenia czujników

Fig. 2. Main window of the software with the data table after reading the mine gallery data and sensor positions

### 3. Opis algorytmu wizualizacji pola prędkości powietrza w przekroju wyrobiska

Pracę programu z użytkownikiem przedstawimy w postaci kolejnych etapów postępowania:

#### Etap 1 „Edycja danych wyrobiska”

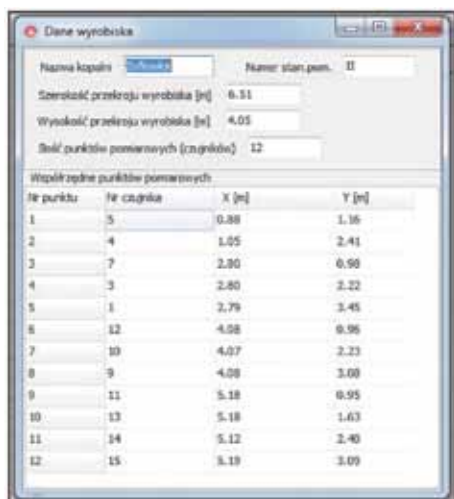
Podopieczna pokazana na rysunku 4. umożliwia wprowadzenie i aktualizację danych dotyczących przekroju, w którym zainstalowano stanowisko pomiarowe (rys. 1). W tabeli należy wpisać nazwę kopalni oraz numer stanowiska pomiarowego, które to nazwy tworzą przedrostek, służący do tworzenia nazwy plików z danymi, w celu łatwiejszej dla użytkownika identyfikacji plików. Potrzebne są również wymiary wyrobiska szerokość i wysokość oraz współrzędne punktów pomiarowych (anemometrów), jak również współrzędne obrysu wyrobiska. Dla wprowadzenia współrzędnych punktów pomiarowych współrzędnych obrysu wyrobiska korzystamy z odczytu zbioru utworzonego programem *MarkoUSB*. W przypadku braku tego pliku danych potrzebne współrzędne należy wyznaczyć w sposób ręczny co nie jest łatwą czynnością. Wprowadzone dane zostaną zapisane w pliku \*\_DaneWyrobiska.dat – gdzie \* oznacza przedrostek.

#### Etap 2 „Odczyt danych wyrobiska”

Jeśli dane wyrobiska są już wprowadzone, można je odczytać wybierając tę podopcję i właściwy plik z okna dialogowego (np. plik *Zofiowka II\_DaneWyrobiska.dat*). Następuje wówczas odczyt danych geometrycznych wyrobiska i współrzędnych rozmieszczonych czujników oraz obrysu wyrobiska (plik *Zofiowka II\_obrys.dat*) i danych potrzebnych do obliczania przekroju (plik *Zofiowka II\_DanePrzekroju.dat*) jeśli istnieją w tym samym katalogu.

Na wykresie widać wówczas (rys. 2) obrys wyrobiska – linia koloru czarnego z rozmieszczonymi czujnikami. Czujniki narysowano w postaci czerwonych kwadratowych symboli, nad nimi w znacznikach przed wizualizacją pomiarów wyświetlane są współrzędne Y czujnika. Podczas symulacji przepływu w znacznikach tych będą wyświetlane wskazania czujników (wartości prędkości w m/s).

Wszystkie pliki muszą być umieszczone w jednym katalogu i nie należy zmieniać ich nazwy, która składa się z przedrostka tworzonego podczas edycji danych wyrobiska (Rys.3) oraz nazwy właściwej określającej zawartość pliku. Przedrostek składa się z nazwy kopalni (np. „Zofiowka”) i numeru stanowiska pomiarowego (np. „II”).



Rys. 3. Okno do wprowadzania danych dla wyrobiska i czujników

Fig. 3. Window for entering the mine gallery and sensor data

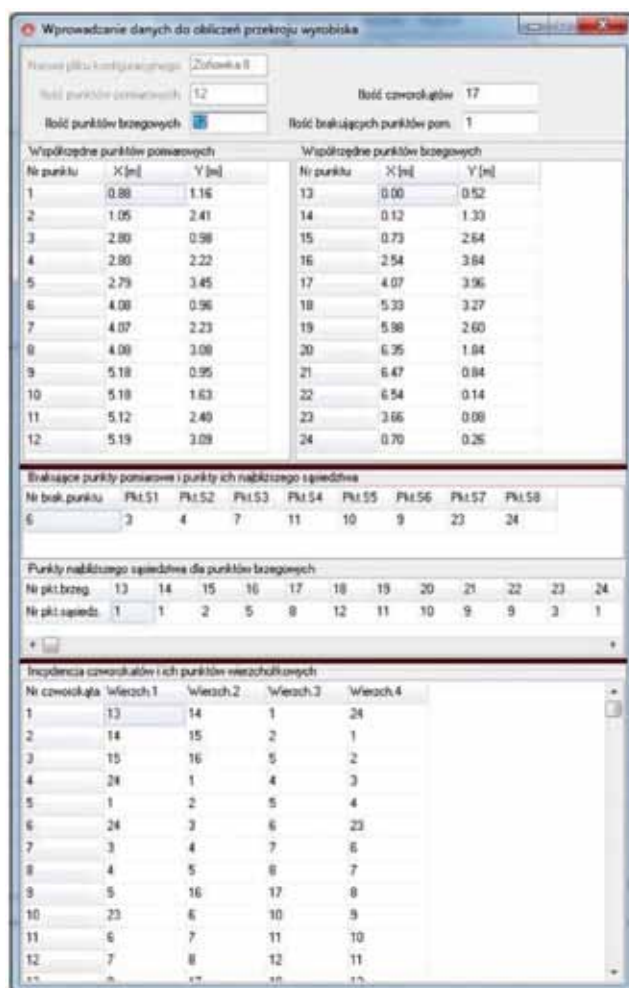
Pliki niezbędne do poprawnego działania programu:

- \*\_DaneWyrobiska.dat,
- \*\_DanePrzekroju.dat, – na podstawie siatki opracowanej przy pomocy programu Grapher \*\_siatkaDoPrzekroju.grf,
- \*\_obrys.dat, – (plik uzyskany z programu - *MarkoUSB*),
- \*\_siatka.dat – (plik uzyskany z programu - *MarkoUSB*),
- n\_1.dat – pliki z pomiarami ze wszystkich czujników pracujących w jednym czasie w wyrobisku, gdzie n-numer czujnika.

#### Etap 3 „Obliczenie pola przekroju wyrobiska metodą pola prędkości”

W programie do obliczania przekroju wyrobiska wykorzystano metodę pola prędkości, opisaną w pracy [8] dotyczącą wyznaczania strumienia objętości przepływającego powietrza w przekroju. Aby to osiągnąć należy wprowadzić dane potrzebne do obliczeń przekroju i strumienia objętości (rys. 4) w oknie, które pojawi się po wyborze podopcji „Edycja danych”. Przygotowanie tych danych wymaga znajomości tej metody, ułatwieniem jest przygotowanie odpowiedniej siatki w programie Grapher (plik \*\_siatkaDoPrzekroju.grf).

Po każdym odczycie danych wyrobiska i przekroju następuje automatyczne obliczenie jego przekroju, w przypadku zmiany danych należy użyć opcji „Liczy przekrój”. Po prze-



Rys. 4. Okno do edycji danych potrzebnych do obliczania przekroju poprzecznym wyrobiska oraz strumienia objętości przepływającego powietrza

Fig. 4. Window for editing data required to compute the cross-section area of the gallery and the volumetric airflow rate

liczeniu aktualna wartość przekroju zostanie wyświetlona na lewym górnym pasku narzędziowym (rys. 2).

#### Etap 4 Opcja „Odczyt pomiarów”

Użycie tej opcji spowoduje wyświetlenie okna dialogowego do odczytu pomiarów z czujników anemometrycznych. Wyświetlone zostają tu pliki uzyskane podczas pracy czujników pod ziemią, mają one rozszerzenie „.rej”. Pierwsza cyfra w nazwie pliku oznacza numer czujnika, kolejna – numer kolejnej serii pomiarów w pamięci czujnika. Należy wybrać dowolny plik dla czujnika pracującego na opracowywanym stanowisku, reszta pomiarów dla kolejnych czujników zostanie odczytana automatycznie. Ponieważ czujniki mogą zaczynać rejestrację pomiarów w różnym czasie, program dokonuje synchronizacji czasu rejestracji dla wszystkich czujników na obserwowanym stanowisku i pomiary są odczytywane dla przedziału czasowego w którym wszystkie czujniki pracowały. Po odczycie na górnym pasku zostanie wypisana liczba odczytanych pomiarów, oraz data i początkowy czas rejestracji możliwy do obserwacji dla stanowiska. Na dolnych paskach programu wyświetlono nazwę odczytanej konfiguracji czujników (stanowiska pomiarowego) oraz nazwę katalogu z którego odczytano pomiary z czujników (rys. 2).

#### Etap 5 Opcja „Pomiary”

Aby obserwować rejestrację prędkości powietrza dla pojedynczego czujnika należy wybrać opcję „Pomiary” i w oknie które się pokaże (rys. 5) wybrać numer czujnika do obserwacji. Wtedy wyświetlony zostanie wykres prędkości powietrza z pomiarów dla tego czujnika, w przedziale czasowym w którym pracowały wszystkie czujniki, oraz czerwona linia obrazująca średnią prędkość obliczoną z pomiarów widocznych na wykresie. Nad wykresem wypisana zostaje prędkość średnia oraz przedział czasowy pokazany na ekranie. Podano również długość tego przedziału, co ile odbywała się rejestracja wartości mierzonej oraz ilość pomiarów aktualnie widocznych na wykresie. Przedział czasowy widocznych pomiarów można zmienić używając lewego klawisza myszy, przeciągając zielone pionowe linie (zoom) wzdłuż osi czasu w prawo. Zostanie wtedy przerysowany wykres, wypisany nowy przedział czasowy obserwowanych pomiarów oraz liczby pomiarów widocznych na wykresie. Prawym klawiszem myszy można przemieścić wykres w ostatnio wybranym przedziale czasowym w lewo lub prawo wzdłuż osi czasu. Ciągając lewy klawisz myszy w lewo następuje powrót do pierwotnego rysunku ze wszystkim pomiarami.

Można prowadzić obserwację kilku czujników jednocześnie poprzez kolejny wybór opcji „Pomiary” oraz numeru czujnika. Można też w widocznym oknie zmienić czujnik do obserwacji.

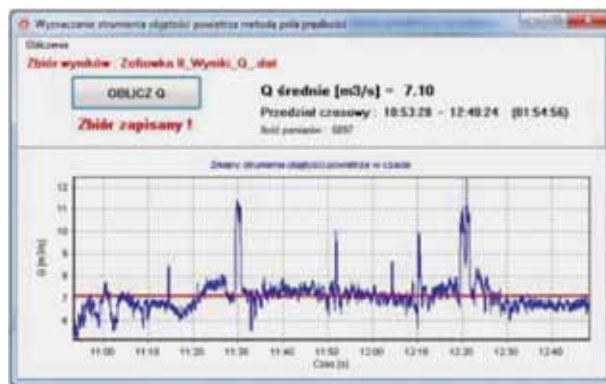
#### Etap 6 „Opcja „Strumień”

Za pomocą tej opcji zostaje wyznaczony strumień objętości powietrza przepływającego przez obserwowany przekrój. W tym celu należy w oknie, które pojawi się na ekranie (rys. 6), wcisnąć przycisk „Oblicz Q”. Nad przyciskiem wypisana jest domyślna nazwa zbioru do którego będą zapisywane wyniki obliczeń strumienia objętości w każdej chwili pomiarowej. Jest ona utworzona z nazwy kopalni i numeru stanowiska pomiarowego podanego w tabeli danych wyrobiska (rys. 3) oraz ze stałego łańcucha „Wyniki\_Q\_”.dat”.

Obliczenia są przeprowadzane dla określonego przedziału czasowego co 1 sekundę, począwszy od czasu startowego wspólnego dla wszystkich czujników. Wyniki obliczeń są zapisywane w pliku tekstowym o podanej nazwie w formacie – data i czas,

- strumień objętości obliczony dla podanej chwili czasowej w  $m^3/s$ .

Jednocześnie w panelu wykresu (rys. 6) pokazany zostaje przebieg zmian obliczonego strumienia objętości przepływającego powietrza w wyrobisku korytarzowym, w obserwowanym podczas eksperymentu przedziale czasowym, powyżej wypisano średni strumień objętości obliczony z pomiarów w tym przedziale czasowym. Wyświetlony jest również przedział czasowy widoczny na wykresie wraz z jego długością oraz liczbą pomiarów w tym przedziale. Zmian w obserwowanym przedziale czasowym dokonuje się jak w dla okna z wynikiem pomiarów prędkości (Etap 5) za pomocą lewego i prawego klawisza myszy. Powstały zbiór wyników może być przetwarzany również poprzez inne programy użyteczne w analizie danych (np. EXCEL).



Rys. 6. Okno do wyznaczania strumienia objętości powietrza w przekroju poprzecznym wyrobiska

Fig. 6. Window for finding the volumetric airflow rate in the gallery cross-section

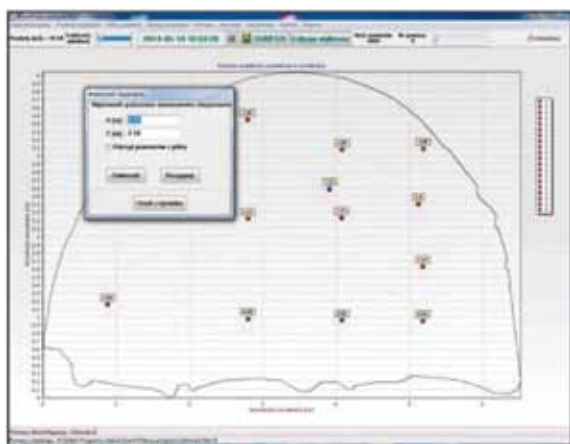


Rys. 5. Aktywne okno do obserwacji pomiarów z pojedynczego czujnika

Fig. 5. Active window for tracing measurement data from a single sensor

### Etap 7 „Opcja „Stacjonarny”.

Opcja umożliwia umieszczenie na wykresie, w przekroju wyrobiska, anemometru stacjonarnego (rys. 7) i obserwację jego rejestracji jeśli istnieje plik z pomiarami z tego czujnika. Po wprowadzeniu w oknie „Anemometr stacjonarny” współrzędnych położenia anemometru i wyborze z okna dialogowego pliku z pomiarami zostanie wyświetlona na czerwono nazwa tego pliku. Po zatwierdzeniu klawiszem „Zatwierdź” na rysunku przekroju pojawi się niebieski kwadracik obrazujący anemometr stacjonarny. W znaczniku znajdującym się nad nim podczas symulacji wyświetlane będą wskazania rejestrowane przez ten czujnik. Użytkownik może też zrezygnować ze zmian ostatnio wprowadzonych (dot. położenia czujnika) oraz usunąć całkowicie anemometr stacjonarny z rysunku, używając do tego celu stosownych klawiszy w tym oknie.



Rys. 7. Umieszczenie w przekroju poprzecznym wyrobiska anemometru stacjonarnego

Fig. 7. Positioning of the stationary anemometer in the gallery cross-section

### Etap 8 „Opcja „Izolnie”.

W celu uzyskania izotach konieczna jest znajomość współrzędnych obrysu wyrobiska i położenia anemometrów. Operacje te wykonywane są, na podstawie zdjęcia wyrobiska (rys.1), w programie MarcoUSB. Program wykonuje wiele operacji na mapach bitowych [7]. Dlatego pierwszym etapem analizy jest przekształcenie zdjęcia z formatu \*.JPG na format mapy bitowej (\*.BMP). Można tego dokonać, albo w programie MarcoUSB, albo za pomocą innego programu do przekształcania map bitowych.

Następnie po wgraniu do programu zdjęcia należy wyznaczyć jego skalę. Jest to współczynnik oznaczający liczbę pikseli na jednostkę długości. Odległość na zdjęciu wyznaczamy, ze schematu rozmieszczenia anemometrów w polu pomiarowym, jako odległość dwóch wybranych anemometrów. Przeciągając wskaźnik myszy na zdjęciu, pomiędzy wybranymi anemometrami, wyznaczamy liczbę pikseli, wyznaczających odległość pomiędzy anemometrami.

Kolejną czynnością jest wyznaczenie obrysu wyrobiska. Obrysem jest wielokąt (o kolorze zielonym), który powstaje poprzez przeciąganie wskaźnika myszy i w miejscach zmiany konturu naciskaniu przycisku myszy. Po wyznaczeniu obrysu należy go przerysować na zdjęcie i zapisać bitmapę oraz współrzędne wielokąta w pikselach.

Po obliczeniu powierzchni wyrobiska powstają pliki:

- obrys złożony z punktów wielokąta; współrzędne punktów x i y podane są w metrach i wyliczane na podstawie podanej skali; plik ten można odczytać w programach do rysowania wykresów np. Grapher, Wykres itp.

- plik zawierający minimalne i maksymalne współrzędne obrysu oraz wartości do wyznaczania skali zdjęcia i wartość wyznaczonej powierzchni w metrach kwadratowych.

Na podstawie dostarczanego schematu położenia czujników należy wstawić na zdjęciu numer czujnika i jego położenie. Obok kółka oznaczającego położenie mogą być wypisywane: położenie czujnika w metrach, położenie czujnika w pikselach, numer czujnika lub brak opisu. Po wstawieniu wszystkich czujników należy zapisać figury. Zostaną zapisane położenia anemometrów i ich numery w pliku, który można odczytać za pomocą programu MarcoUSB.


Następnie należy wstawić linie poziome i pionowe, które przechodzą przez położenie anemometrów. W tym celu należy: wybrać w formie *Ustawienia figur* w panelu *Linia* odpowiednią opcję; linia pionowa, pozioma, obie. Ustawiając kursor myszy w miejscu, w którym ma być wstawiona linia i przycisnąć klawisze *CTRL+ALT*, a następnie przycisk myszy – zostanie wstawiona czerwona linia. W celu łatwiejszego wyboru położenia linii można wybrać w formie *Ustawienia figur* *Kursor Krzyż*. Kolejnym etapem jest przerysowanie linii i zapisanie bitmapy.

W formie *Ustawienia figur* wybrać *Wezły*. Zostanie utworzona bitmapa zawierająca węzły siatki stanowiącej podstawę do wyznaczenia izotach. Dokładniej pisząc siatka taka umożliwia wypisanie prędkości w poszczególnych punktach przekroju – w miejscach zamontowania anemometrów (pomiar), na brzegu wyrobiska (wartości zerowe) i w środku wyrobiska (wartości interpolowane).

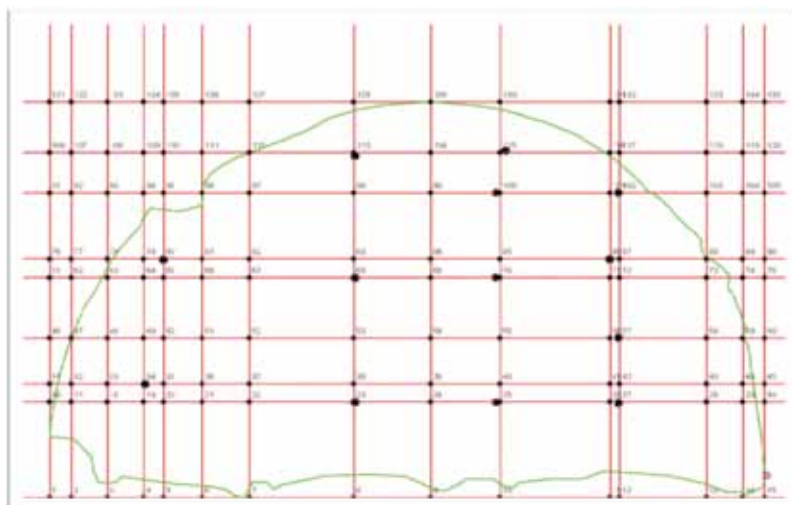
Ostatnią czynnością jest zapisanie położenia węzłów. Powstaje plik, który zawiera dla kolejnych punktów siatki:

- pierwsza kolumna: numer czujnika, lub 0 – punkt siatki znajdujący się wewnątrz obrysu, lub -1 punkt siatki na zewnątrz obrysu,
- druga kolumna współrzędna x [m],
- trzecia kolumna współrzędna y [m],
- czwarta kolumna numer węzła (kolejny nr punktu siatki).

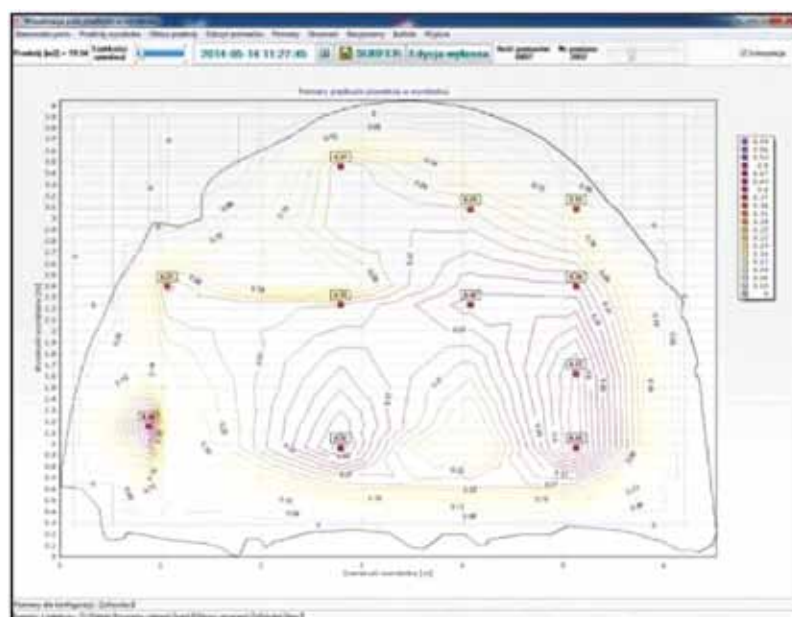
Rysunek nr 8 przedstawia siatkę obliczeniową, która powstała poprzez uwzględnienie położenia anemometrów oraz obrysu wyrobiska. Opracowano algorytmy i procedury programu MarcoUSB, które umożliwiają wyznaczenie potrzebnych współrzędnych.

Opcja „Izolnie” > „2D” uruchamia proces wyświetlania, w określonym przedziale czasowym, począwszy od czasu startowego, rozkładu prędkości powietrza przepływającego w przekroju gdzie rozmieszczono metanoanometry. Na rysunku 9 pokazano przykład okna programu z wprowadzonymi danymi z pomiarów wykonanych w KWK Zofiówka dla stanowiska II. Przedstawione w postaci kolorowych izotach wartości pomiarów opisane są w legendzie umieszczonej z prawej strony wykresu (20 poziomów). Poza obrysem wyrobiska przyjęto zerowe wartości prędkości, uwzględnienie tych punktów siatki było spowodowane wymogami użytego do rysowania wykresu komponentu pakietu TeeChart 2010 języka Delphi XE. W oczkach siatki wewnątrz obrysu, gdzie nie było umieszczonych czujników przyjęto wartości uzyskane przez interpolację liniową z wartości wskazywanych przez czujniki sąsiednie. Na górnej listwie umieszczono przycisk  umożliwiający wyłączenie stosowanej interpolacji.

Jednocześnie wyświetlany jest czas aktualnie widocznego na wykresie pomiaru (łącznie z datą pomiaru) oraz jego numer. Początkowo symulacja odbywa się co 1000 ms, użytkownik ma możliwość zmiany szybkości symulacji (suwak po lewej stronie listwy narzędziowej), oraz zmiany numeru wyświetlanych pomiarów (suwak po prawej) zarówno do przodu jak i do tyłu określonego przedziału pomiarowego, co pozwala na obserwację rozkładów prędkości w różnych okresach czasu.






Rys. 8. Siatka punktów służących do wyznaczenia izotach  
Fig. 8. Grid of points required to determine the isotach lines



Rys. 9. Profil prędkości w przekroju poprzecznym wyrobiska - stanowisko II  
KWK „Zofiówka”

Fig. 9. Flow velocity profile in the gallery at the cross-section II in the colliery Zofiówka

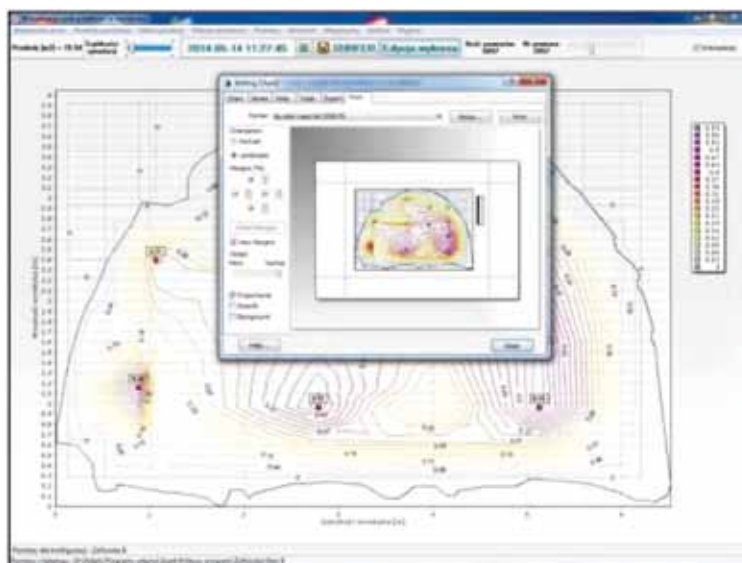
Przycisk  umożliwia zatrzymanie i ponowne uruchomienie symulacji w określonej chwili czasowej.

Program umożliwia zapis profilu prędkości w danej chwili czasowej w formacie umożliwiającym odczyt przez program SURFER (przycisk ). Nazwa zapisanego pliku składa się z przedrostka oznaczającego kopalnię i numer stanowiska oraz członu „V” i numeru kolejnego pomiaru, na podstawie którego wykreślono izotachy. W pierwszej linii pliku umieszczono datę i czas tego pomiaru, w kolejnych liniach znajdują się współrzędne punktu siatki (x,y) oraz wartość pomiaru (jeśli jest tam umieszczony czujnik) lub wartość interpolowaną z istniejących pomiarów czujników sąsiadujących z tym punktem. Program daje też użytkownikowi możliwość przeprowadzenia zmian dotychczasowych graficznego przedstawienia wykresu. Przycisk  uruchamia panel edycyjny w którym użytkownik może zmienić kolory,

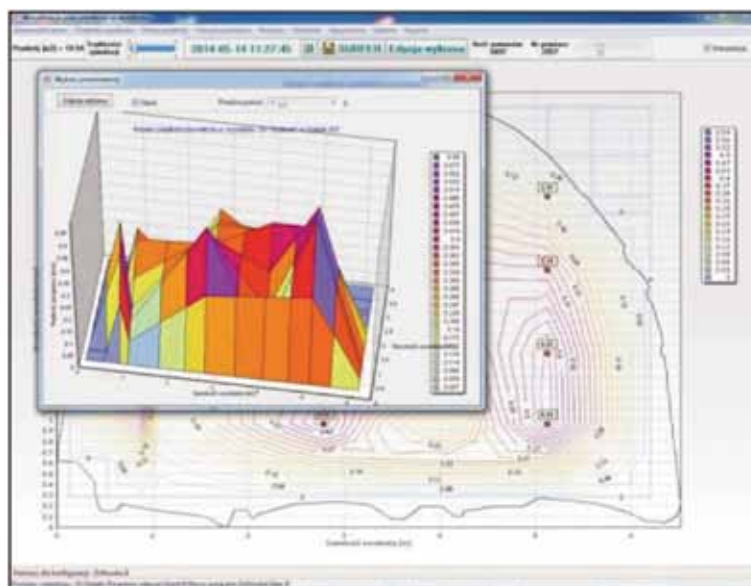
grubości, i inne parametry rysowanych linii, a także wygląd wyświetlanej legendy, oraz opis osi wykresu a także wydrukować wykres na drukarce (rys. 10).

Program oferuje dodatkową możliwość pokazania przestrzennego rozkładu prędkości (profil prędkości) w przekroju, w postaci powierzchni którą tworzy ten rozkład. W każdej chwili czasowej można go pokazać w dodatkowym panelu wykresu przestrzennego za pomocą podopcji „Izolinie” > „3D” (rys. 11). W trakcie trwania symulacji wykres przestrzenny zmienia się w czasie jednocześnie z wykresem rozkładu prędkości w przekroju płaskim.

W panelu tym istnieje również możliwość edycji graficznej wykresu (klawisz „Edycja wykresu”), oraz zmiany intensywności barw powierzchni (suwak „Przezroczystość”). Przycisk wyboru „Obrót” pozwala na obracanie wykresu przestrzennego w trzech osiach (za pomocą klawiszy myszy).



Rys. 10. Okno edycji wykresu – zakładka dotycząca drukowania wykresu  
 Fig. 10. Window for graph edition – option for graph printing



Rys. 11. Przestrzenny wykres profilu prędkości chwilowej dla izotach z panelu głównego programu  
 Fig. 11. 3D graph of instantaneous velocity profile for the isotach lines from the main program panel

#### 4. Podsumowanie

Przedstawiono funkcjonalność komputerowych narzędzi IZO i MarkoUSB do wyznaczenia i wizualizacji pola prędkości przepływu powietrza w wyrobisku górniczym współpracujące z system wielopunktowym SWPPP pomiaru prędkości przepływu powietrza. Możliwości oprogramowania programu IZO i MarkoUSB pozwalają na wyznaczenie w badanym polu poprzecznym wyrobiska istotnych parametrów przepływu powietrza w wyrobisku górniczym. Uzyskujemy to poprzez wyznaczenie:

1. Zmian czasowych predkości przepływu dla każdego czujnika anemometrycznego co pokazuje miejscowy poziom zaburzeń (fluktuacji) przepływu.
2. Wykresu 2D – linii łączących miejsca jednakowych

prędkości przepływu powietrza. Pozwala to na zobrazowanie izotach i wyznaczenia obszaru o największej prędkości, gdzie zaleca się lokalizację anemometru stacjonarnego.

3. Wykresu 3D – profil prędkości w przekroju. W każdej chwili czasowej można go pokazać w dodatkowym panelu wykresu przestrzennego za pomocą podopcji "Izolnie" >"3D"
4. Ponadto opracowane oprogramowanie IZO umożliwia:
  - 4.1. Obliczenie pole poprzecznego wyrobiska na podstawie wymiarów geometrycznych i współrzędnych położenia czujników anemometrycznych oraz obrysu pola przekroju na podstawie fotografii stanowiska pomiarowego.
  - 4.2. Obliczenia strumienia objętości powietrza przepływa-

jącego w wyrobisku w badanym polu poprzecznym wyrobiska dla wybranego okresu obserwacji.

Obserwacja zmian czasowych wyznaczonych 2D izotach oraz powierzchni obrazującej profil prędkości pozwala na wizualną analizę zmienności pola prędkości. Umożliwia to wyznaczyć miejsce lokalizacji anemometru stacjonarnego adekwatne do warunków przepływu powietrza, w tym do średniej prędkości przepływu powietrza, geometrii wyrobiska i znajdujących się elementów wyrobiska (taśma, kable, rurociąg, lutniociąg).

*The paper was prepared within the framework of research task no. 9 entitled “**Determination of correction coefficient between automatic measurement of air velocity and averaged value of velocity measured by manual anemometer**”. Strategic project entitled “*Improvement of work safety in mines*”, financed by the National Centre of Research and Development (NCBiR).*

## 5. Literatura.

1. *Cierniak W. i inni*: Pomiary i analiza zmiennych w czasie przebiegów prędkości i ciśnienia w wyrobiskach górniczych kopalni głębinowej, Zadanie Z 12, Sprawozdanie z działalności statutowej IMG PAN, Kraków, 1996.
2. *Dziurzyński W., Krach A.*: Pole prędkości przepływu powietrza w kanale kopalnianej stacji wentylatorowej. Archives of Mining Sciences, vol 46, issue 3.
3. *Dziurzyński W.*: Optymalna lokalizacja w przekroju wyrobiska stacjonarnego anemometru systemu monitoringu sieci wentylacyjnej kopalni, Archives of Mining Sciences, Vol. 41., Iss. 3, 1996.
4. *Edward D., Thimons and Jeffrey L. Kohler*: Measurement of Air Velocity in Mines, Bureau of Mines Report of Investigations/1985 RI 8971
5. *Hardcastle S.G., Grenier M.G., Butler K.C.*: Electronic anemometry – recommended instruments & methods for routine mine airflow measurements, Proceedings of the 6th US Mine Ventilation Symposium, Salt Lake City, Utah., 1993.
6. *Gawor M.*: Wyznaczanie powierzchni przekroju wyrobiska kopalnianego metodą fotogrametrii cyfrowej. Przegląd Górniczy nr 11-12 (1032-23) Tom 64 s. 1÷6.
7. *Gawor M.*: Wykorzystanie komputerowej analizy obrazu do wyznaczania powierzchni przekroju wyrobiska kopalnianego. Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej 2010. Kraków, 2010 str. 131÷139.
8. *Krach A., Krawczyk J., Kruczkowski J., Palka T.*: Zmienność pola prędkości i strumienia objętości powietrza w wyrobiskach kopalń głębinowych. Arch. Min. Scs., Monograph 1. Kraków, 2006.
9. *Krawczyk J., Ligęza P., Poleszczyk E., Skotniczny P.*: Advanced hot-wire anemometric measurement systems in investigations of the air flow velocity fields in mine headings, Archives of Mining Sciences, vol. 56 issue 4 2011 s.683÷700.
10. *Kruczkowski J.*: Wyznaczanie metanowości wentylacyjnej przy wykorzystaniu nowej techniki pomiarowej, Materiały 7 Szkoły Aerologii Górniczej Krynica-Zdrój, 9-11 październik 2013 s.71÷82.