

# Wyznaczanie dróg ucieczkowych w razie pożaru w kopalni podziemnej – nowe możliwości systemu VentGraph

WACŁAW DZIURZYŃSKI, TERESA PAŁKA

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

## Streszczenie

W artykule przedstawiono nowe algorytmy dla systemu programów komputerowych *VentGraph* w zakresie poszukiwania miejsca pożaru w zadymionych wyrobiskach sieci wentylacyjnej kopalni jak i określania nowych dróg ucieczkowych dla załogi znajdującej się w tych wyrobiskach. W ramach realizacji projektu strategicznego „Poprawa bezpieczeństwa w górnictwie” zadanie nr 2 opracowano założenia i algorytmy wyznaczania dróg ucieczkowych oraz zaktualizowano program komputerowy *POŻAR* systemu *VentGraph* o nowatorskie i przydatne dla praktyki procedury wspomagające pracę osób dozoru kopalni w zakresie wyznaczania bezpiecznego wyprowadzenia załogi górniczej z dowolnego miejsca kopalni. Opracowany program został poddany intensywnemu testowaniu na wybranym przykładzie jednej z polskich kopalń. Należy zwrócić uwagę, że program *POŻAR* systemu *VentGraph* wyznaczający drogi ucieczkowe dla określonego miejsca pracy załogi, ustawia drogi od najkrótszej do najdłuższej w sensie kryterium długości lub czasu przejścia, podając jednocześnie ich długości, czasy przejścia tych dróg, oraz inne parametry które mogą mieć istotny wpływ na wybór drogi. Informacje te służą pomocą służbom wentylacyjnym w trakcie przygotowywania planu akcji pożarowej zgodnie z obowiązującymi przepisami. Również w trakcie pożaru, może wspomagać działania kierownika akcji pożarowej, wtedy gdy sytuacja wymaga wyznaczenia nowej drogi nie przewidzianej w planach. Jedną z opcji programu *POŻAR* daje możliwość przeprowadzenia symulacji rozprzysięgu gazów pożarowych w trakcie rozwijającej się sytuacji pożarowej co pozwala na obliczenie prognozowanej widoczności w dowolnym odstępie czasowym od powstania pożaru.

**Słowa kluczowe:** pożar podziemny, drogi ucieczkowe, symulacja komputerowa, bezpieczeństwo

## 1. Wprowadzenie

Z uwagi na szerokie stosowanie w polskich i zagranicznych kopalniach narzędzi komputerowych do wspomagania pracy inżyniera wentylacji i dyspozytora kopalni (Gillies i in., 2005; Dziurzyński i Krawczyk, 2012; Pritchard, 2010) podjęto prace nad wprowadzeniem do programu *POŻAR* systemu *VentGraph* możliwości współpracy procedur programu z wybranymi czujnikami systemu monitoringu kopalni oraz procedur wyznaczania dróg ucieczkowych. Wcześniejsze doświadczenia w tym zakresie (Pałka, 1999; Dziurzyński i Pałka, 2001; Dziurzyński i in., 2011) pozwalają na podjęcie skutecznego uzupełnienia systemu *VentGraph* o nowe możliwości wzbogacające analizę bezpieczeństwa przewietrzania szczególnie w sytuacji zaistnienia pożaru. Prowadzona w czasie rzeczywistym, analiza warunków stanu atmosfery kopalnianej wzbogacona komputerową symulacją z określeniem i lokalizacją źródeł emisji gazów takich jak tlenek węgla, pozwoli na wcześniejsze rozpoznanie zagrożenia w systemie wentylacji, a przede wszystkim na bieżący nadzór nad wybraną dla danego miejsca pożaru optymalną drogą ewakuacji zagrożonej załogi np. rejonu ściany. Informację z czujników stężenia tlenu węgla systemu monitoringu kopalni zastosowano do identyfikacji źródła wydzielania tlenu węgla, który jest oznaką rozpoczęcia procesu samozagrzewania węgla lub pożaru egzogenicznego względnie objawem zastosowania materiałów wybuchowych. Dodatkowo można wykorzystać informację w postaci meldunków od załogi z ręcznych pomiarów stężenia tlenu węgla do poszukiwania źródła pożaru.

Istotną nową możliwością systemu programów inżyniera wentylacji *VentGraph* jest wyposażenie modułu *POŻAR* w algorytm wyznaczania optymalnej drogi ucieczkowej w razie pożaru ze względu na czas wycofania załogi. Algorytm wyboru drogi ucieczkowej tworzy bazę danych – automatycznie wyznaczonych dróg wyjścia załogi ze wskazanego miejsca albo do świeżego prądu powietrza lub do wskazanego miejsca przez prowadzącego akcje przeciwpożarową. Każda droga ucieczkowa w tej bazie uwzględnia następujące czynniki:

- prędkość wyprowadzenia załogi w zależności od:
  - nachylenia wyrobiska,
  - kierunku przepływu powietrza,
  - kierunku wyprowadzenia załogi (zgodnie/nie zgodnie z kierunkiem przepływu)
  - zadymienia wyrobiska i widoczności.
- strefę zagrożoną wyznaczoną poprzez aktywne zastosowanie symulacji komputerowej programem *POŻAR* systemu *VentGraph* oraz wpływ pożaru (dodatkowa depresja pożaru) na rozpyływanie mieszaniny powietrza i gazów pożarowych w sieci wyrobisk kopalni.

Opracowane nowe możliwości wykorzystują również bazę danych przygotowanych programem *EDESC* systemu *VentGraph* tj. listę nazw wszystkich wyrobisk sieci wentylacyjnej kopalni. Nazwy są zapisywane w tym programie w pliku \*.nzw i ułatwiają użytkownikowi w module *POŻAR* opracowywanie dróg ucieczkowych dla określonych miejsc pożaru w sieci. Plik ten jest odczytywany po wybraniu opcji *POŻAR* systemu *VentGraph*, wraz z innymi plikami niezbędnymi do prawidłowego funkcjonowania tego modułu oraz umożliwiającymi wykorzystanie wszystkich możliwości modułu.

## 2. Dostęp do bazy danych systemu monitoringu – założenia i opis algorytmu

Przewietrzanie sieci wentylacyjnej nowoczesnej kopalni jest kontrolowane przez różnego rodzaju czujniki pozwalające na bieżący i ciągły pomiar interesujących z punktu widzenia bezpieczeństwa załogi, wielkości fizycznych przepływającego powietrza. Jeżeli wziąć pod uwagę czujniki tlenu węgla, to efektywne wykorzystanie informacji uzyskanych na podstawie ich wskazań, pozwala na zmniejszenie zagrożenia wywołanego pożarem podziemnym. Należy wziąć pod uwagę nie tylko wczesne wykrycie obecności tlenu węgla w przepływającym powietrzu ale również, co istotniejsze, lokalizację źródła tlenu węgla. To stwierdzenie wyznacza cel szeregu działań jakie należy wykonać, aby opracować efektywną metodę i skuteczne narzędzia pozwalające na wyznaczenie miejsca pożaru. Jak wspomniano, dobre wyniki w ocenie miejsca pożaru daje zastosowanie metody komputerowej symulacji procesu przewietrzania sieci wentylacyjnej kopalni, która to metoda w połączeniu z aktualną bazą danych pomiarów uzyskanych z systemu monitoringu kopalni pozwala w miarę dokładnie określić miejsce pożaru.

Program *VentGraph* ma możliwość współpracy z komputerowym systemem monitoringu stanu sieci wentylacyjnej kopalni. Systemem tym jest *ZEFIR*, który jest dyspozytorskim systemem kontrolującym pracę kopalni dla potrzeb operatywnego kierowania, ostrzegania, dokumentowania i analizy procesu produkcyjnego oraz zagadnień związanych z bezpieczeństwem pracy. System ten dostarcza dyspozytorom oraz kierownictwu kopalni, aktualnej, obiektywnej i dokładnej informacji zarówno o bieżącym stanie jak i dotychczasowym przebiegu procesu produkcyjnego, stanie przewietrzania wyrobisk kopalni oraz o zagrożeniach gazowych. Jest on stosowany w wielu polskich kopalniach. Jest też systematycznie aktualizowany i sprawdzany przez jego autorów. Źródłem wszystkich danych, zbieranych przez ten system są różnego typu czujniki dostarczające informacji o wartościach mierzonych wielkości. Ze względu na zakres prezentowanej pracy, interesujące są czujniki dymu, oraz analogowe czujniki stężenia tlenu węgla. Ponieważ czujniki dymu używane są w polskich kopalniach niezwykle rzadko, zatem ważną rolę w przypadku wczesnego wykrywania pożarów pełnią czujniki tlenu węgla.

W celu współpracy programu *VentGraph* z bazą danych systemu monitoringu zgodnie z przyjętym algorytmem opracowano procedury wykorzystujące dane generowane przez ten system pomiarowy. Procedury te można pogrupować następująco:

- procedury łączenia programu *VentGraph* z systemem monitoringu,
- procedury rysowania i graficznej aktualizacji bazy czujników na schemacie przestrzennym sieci wentylacyjnej kopalni (zmiana położenia, usunięcie czujnika z rysunku, itp.),

- procedura aktualizacji istniejącej już bazy czujników w programie *VentGraph* do aktualnie zainstalowanych i pracujących w kopalni czujników (zapisanej w bieżącej bazie danych systemu monitoringu),
- zapis aktualnej bazy czujników pracujących w programie *VentGraph* do pliku,
- procedury bieżącej współpracy z systemem monitoringu.

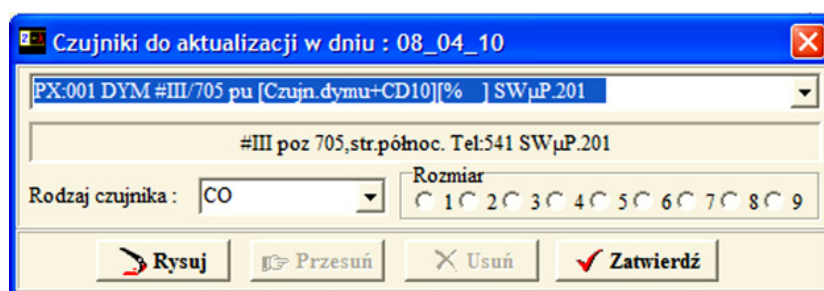
## 2.1. Graficzne przedstawienie bazy czujników na schemacie przestrzennym sieci

W celu wizualizacji oraz wykorzystania podczas obliczeń danych pobieranych w czasie rzeczywistym z systemu monitoringu należało zbudować w programie *POŻAR* systemu *VentGraph* narzędzia do realizacji tego zamierzenia. W ten sposób powstał moduł procedur pozwalających na umieszczenie graficznych symboli czujników systemu monitoringu i aktualizację ich położenia na schemacie przestrzennym sieci wentylacyjnej kopalni. Symbolem tym jest prostokąt w kolorze odpowiednim dla danego rodzaju czujnika wraz z opisem wielkości mierzonej. Wartości wskazywane przez czujnik wyświetlane są w tym prostokącie z częstotliwością równą odczytom systemu monitoringu. Narysowane w jednej sesji programowej czujniki są zapisywane w bazie danych programu *VentGraph*.

Lista czujników którą otrzymano po połączeniu programu z systemem monitoringu zawiera wszystkie czujniki aktualnie pracujące w kopalni. Z powodu braku dokładnego rozróżnienia rodzaju czujników w tym systemie, nie ma możliwości wyodrębnienia tylko tych które są interesujące ze względu na ich przydatność przy wykrywaniu pożaru. Wiadomo jedynie, że można wyodrębnić czujniki analogowe (tlenku węgla, metanomierze, anemometry, temperatury itp.) oraz dwustanowe (czujniki dymu). Interesujące nas grupy czujników zostały oznaczone w systemie monitoringu literami „A” i „X” (symbole grupy czujników).

Z punktu widzenia algorytmu poszukiwania miejsca pożaru interesujące są czujniki dymu i tlenku węgla. Pozostałe wyodrębnione rodzaje czujników są przydatne ze względu na to, że można obserwować wartości wskazywanych przez nie parametrów w trakcie rozwoju pożaru (np. prędkość przepływu powietrza, stężenie metanu, temperatura powietrza itp.). Wobec tego uzyskana z systemu monitoringu lista zostaje skrócona do wymienionych grup „A” i „X”. Dopiero na podstawie tej listy będzie można założyć bazę czujników pracującą w programie *VentGraph*.

Wejście do modułu umożliwiającego założenie bazy czujników w programie odbywa się poprzez użycie opcji menu programu „Baza”. Na ekranie komputera pojawia się panel (Rys. 1) zawierający uzyskaną z systemu monitoringu listę aktualnie pracujących w kopalni i nie narysowanych jeszcze czujników. Na panelu znajdują się też narzędzia (w postaci ikon) służące do narysowania symboli czujników na schemacie sieci wentylacyjnej, zmiany ich miejsca położenia, rozmiaru lub usunięcia symbolu czujnika z rysunku.



Rys. 1. Okno modułu umożliwiającego założenie bazy czujników systemu monitoringu

Jeżeli użytkownik wybierze z listy czujników odpowiedni czujnik do narysowania, uruchamia się procedura przeszukiwania bazy czujników systemu monitoringu. Identyfikacja czujnika odbywa się poprzez symbol grupy (np. „X” lub „A”), trzycyfrowy numer czujnika w grupie oraz nazwę czujnika. Zbiór informacji o czujniku pobrany z bazy danych systemu monitoringu zawiera również jednostkę mierzonej wielkości, typ czujnika danych (binarny, analogowy, dwustanowy), długość oraz początek i koniec wektora danych. Na podstawie indeksu grupy, numeru w grupie i nazwy czujnika pobierana jest również lokalizacja czujnika w kopalnianej sieci wentylacyjnej (w postaci łańcucha tekstowego) zapisana w bieżącej bazie danych systemu monitoringu i ułatwiająca znalezienie miejsca położenia czujnika na schemacie sieci wentylacyjnej. Przed

przystąpieniem do rysowania czujnika należy przypisać mu, z listy rodzajów odpowiedni rodzaj, czyli typ mierzonej wielkości, co ma znaczenie dla procedur poszukiwania miejsca pożaru. Domyślnie czujnikom przypisywany jest rodzaj – czujnik tlenku węgla. Wszystkie wymienione dane (tj. grupa, numer, nazwa, lokalizacja, rodzaj czujnika), które ułatwiają użytkownikowi nanoszenie symboli czujników na schemat sieci wentylacyjnej są wypisane na ekranie w odpowiednich panelach informacyjnych.

Wybór miejsca ustawienia czujnika odbywa się poprzez wskazanie kursorem myszy miejsca położenia czujnika w bocznicy, w której znajduje się czujnik. Współrzędne służące do narysowania czujnika we wskazanym miejscu zapamiętywane są jako współrzędne czujnika w odpowiednim polu rekordu danych. Procedura poszukiwania najbliższej bocznicy znajduje numer wskazanej bocznicy w graficznej bazie danych. Do tej bocznicy będzie przypisany czujnik. Ze zbioru danych o czujniku pobranego z bazy systemu monitoringu, przepisywane są do rekordu danych czujnika potrzebne dane (tj. numer, nazwa czujnika, grupa czujników z jakiej pochodzi, jednostka mierzonej przez czujnik wielkości). Reszta pól rekordu danych tj. numer kolejny i tekstowy bocznicy, węzeł wlotowy i wylotowy bocznicy do której jest przypisany czujnik, jest wypełniana na podstawie znalezionej numeru wskazanej bocznicy i istniejącej struktury sieci wentylacyjnej. Zapamiętanie przypisania czujnika do bocznicy (numera bocznicy) jest bardzo ważne ze względu na ciągłe zmiany jakie zachodzą w strukturze przestrzennej sieci wentylacyjnej kopalni. W przypadku gdy zmieniona została struktura sieci (np. likwidacja wyrobiska), przy wejściu do programu *VentGraph* usuwane są z bazy czujników programu czujniki przypisane do usuniętych bocznicy. Dane o wybranej bocznicy, po ustawieniu w niej czujnika, są wyświetlane w tabeli informacyjnej. Użytkownik może w ten sposób zorientować się czy czujnik jest narysowany we właściwym miejscu.

W przypadku gdy czujnik jest narysowany w niewłaściwym miejscu, istnieje możliwość przesunięcia go w inne miejsce, odpowiadające jego właściwemu położeniu. Aby zainicjować tę procedurę wybiera się przycisk „przesuwanie” i wskazuje kursorem myszy na czujnik wymagający zmiany miejsca położenia. Procedura poszukująca wskazanego czujnika działa na zasadzie poszukiwania w bazie czujników, czujnika o współrzędnych najbliższych położeniu kursora myszy (czyli wskazanego kursorem myszy). Procedura przesuwania czujnika (przeciągania czujnika kursorem myszy) wpisuje nowe jego współrzędne i rysuje jego symbol w innym miejscu. Umieszczenie czujnika we właściwym miejscu powoduje wpisanie współrzędnych rysunkowych tego miejsca w polu współrzędnych rekordu danych czujnika. Jednocześnie czujnik zostaje przypisany do najbliższej bocznicy i zmienione zostają pola rekordu danych czujnika, związane z numerem bocznicy w której aktualnie znajduje się czujnik (numer kolejny i tekstowy bocznicy, wlot i wylot bocznicy). Użytkownik jest powiadamiany o przypisaniu czujnika do bocznicy poprzez pojawiającą się tabelę informacyjną. Istnieje możliwość usunięcia aktualnie wybranego czujnika poprzez użycie przycisku „anuluj wybór czujnika”. Wówczas symbol czujnika jest usuwany z rysunku a rekord danych dla tego czujnika jest zerowany. Usunięty z rysunku czujnik jest zwracany do listy czujników aktualnie pracujących w systemie monitoringu. Narysowany we właściwym miejscu czujnik jest usuwany z listy czujników aktualnie pracujących w kopalni, ponieważ lista ta zawiera jedynie czujniki nie narysowane na schemacie sieci.

## 2.2. Aktualizacja założonej bazy czujników w programie *VentGraph*

Przy każdym połączeniu programu *POŻAR* systemu *VentGraph* z bazą danych systemu monitoringu następuje aktualizacja zapisanej w poprzedniej sesji programowej bazy już wprowadzonych i narysowanych czujników programu. Jest to konieczne ze względu na możliwość zmian zachodzących w zbiorze czujników pracujących aktualnie na dole w kopalni. Czujniki pracujące w kopalni, w każdej chwili, mogą ulec zepsuciu, chwilowemu odłączeniu od systemu monitoringu, czy przemieszczeniu do innego wyrobiska. Aby pozbyć się ze schematu przestrzennego sieci, czujników nie pracujących czy przesuniętych w inne miejsce, należałoby pamiętać o tych zmianach i uwzględniać je po każdym wejściu do programu *VentGraph*. Ręczne zmiany byłyby czasochłonne i nie gwarantowałyby poprawnego usunięcia błędów. Dlatego program posiada wbudowany mechanizm gwarantujący poprawność aktualizacji zbioru czujników programu, pracujących w danym momencie w systemie monitoringu kopalni.

Procedura przegląda kolejno czujniki z bazy czujników zapisanych w poprzedniej sesji programowej programem *VentGraph* i sprawdza zgodność z bieżącą listą czujników z systemu monitoringu uzyskaną podczas połączenia obu programów. Przy badaniu zgodności pod uwagę brany jest numer czujnika, nazwa i grupa z której pochodzi. Jeśli czujnik pracuje w tym momencie w systemie monitoringu (co oznacza że pracuje w kopalni), jest on usuwany z listy czujników pochodzącej od tego systemu i pozostaje w bazie czujników programu *VentGraph* i pojawia się na schemacie przestrzennym sieci wentylacyjnej. W przy-

padku stwierdzenia niezgodności (czujnika nie ma na liście systemu monitoringu) rekordu danych czujnika jest on usuwany z pamięci programu i symbol czujnika nie pojawia się na rysunku. Brak czujnika na liście systemu oznacza, że czujnik który pracował w ostatniej sesji programowej został wyłączony z systemu (uległ awarii lub chwilowo nie pracuje). W ten sposób dostaje się bazę czujników pracujących aktualnie w kopalni, których bieżące wskazania będą pobierane z systemu monitoringu i pokazywane na rysunku schematu przestrzennego sieci wentylacyjnej.

### 2.3. Współpraca programu POŻAR z czujnikami systemu monitoringu w czasie rzeczywistym

Pobieranie wskazań z czujników systemu monitoringu odbywa się w równych odstępach czasowych. Uzyskuje się to za pomocą odpowiedniego wykorzystania zegara czasu rzeczywistego komputera i generowania zdarzeń (wykonywanie procedur) z określonym interwałem pod kontrolą tego zegara. W tym przypadku jest to procedura pobierania wskazań czujników z bazy danych systemu monitoringu. System ten pobiera wskazania od czujników pracujących na dole kopalni w różnych odstępach czasowych, w zależności od rodzaju mierzonej wielkości. Współpraca programu z systemem monitoringu polega na:

- pobieraniu z bazy systemu bieżącej daty i czasu pobrania wskazań, te informacje wyświetlane są na ekranie monitora w odpowiednich oknach,
- pobieraniu ich wskazań z bazy danych systemu monitoringu, kolejno, danych dla wszystkich czujników na podstawie ich grupy, numeru i nazwy oraz bieżącego czasu,
- sprawdzaniu czy źródło pomiaru jest dostępne (źródło pomiaru nie jest dostępne gdy czujnik jest uszkodzony lub wyłączony), czy wartość pomiaru jest określona i czy przekazywane wartości wskazań mieszczą się w granicach zakresu pracy czujnika,
- sprawdzaniu czy wartości wskazań dla czujników tlenu węgla nie przekraczają dopuszczalnego progu CO,
- umieszczaniu wskazań do odpowiednich tablic programu *VentGraph*, na podstawie tych wskazań działają procedury lokalizacji miejsca powstania pożaru oraz wyznaczania dróg ucieczkowych dla załogi,
- umieszczeniu pobranych wskazań we właściwych symbolach czujników systemu monitoringu.

## 3. Poszukiwanie miejsca pożaru

Podstawowym zadaniem w przypadku wystąpienia pożaru podziemnego jest wyprowadzenie pracującej pod ziemią załogi. W tym celu należy wyznaczyć drogi ewakuacji załóg górniczych w taki sposób, aby wyprowadzana załoga jak najkrócej pozostawała w wyrobiskach zagrożonych gazami pożarowymi. Jednak aby to zrobić konieczna jest informacja o miejscu powstania pożaru, lub przynajmniej musi być wyznaczona strefa bocznicy w których prawdopodobieństwo powstania pożaru jest największe. W początkowej fazie pożaru, gdy informacja docierająca do dyspozytora kopalni jest niepełna, lokalizacja ogniska pożaru jest bardzo trudnym zadaniem. Zastosowanie metod komputerowego przetwarzania danych pozwala na wyznaczenie strefy bocznicy o największym prawdopodobieństwie zagrożenia pożarem znacznie szybciej i ze znacznie większą dokładnością niż dotychczas. W tym celu opracowano metodę która wykorzystując informacje przychodzące od czujników systemu monitoringu oraz meldunki załogi, pozwala na wyznaczenie strefy bocznicy w których prawdopodobieństwo powstania pożaru jest największe ze względu na otrzymaną informację. Prezentowana metoda wykorzystuje wyniki obliczeń rozprywu powietrza w wyrobiskach sieci wentylacyjnej kopalni. Program *VentGraph*, na podstawie wskazań czujników tlenu węgla oraz meldunków załogi na podstawie przyjętego algorytmu i opracowanych procedur realizacji, wyznaczy strefę bocznicy w których mógł powstać pożar.

Algorytm wyznaczania tej strefy opiera się na teorii grafów. Sieć wentylacyjna jest grafem zorientowanym, utworzonym przez zbiór węzłów i zbiór bocznic wraz z kierunkami nadanymi im poprzez kierunki przepływu powietrza w poszczególnych bocznicach sieci. W programie skonstruowano algorytm, który, wykorzystując te informacje, znajduje tylko te bocznicę z których gazy pożarowe dotarłyby po pewnym czasie do węzła z którego pochodzi pierwsza informacja. Zauważmy, że nie jest znany czas po jakim gazy pożarowe docierają od ogniska pożaru do węzła w którym umieszczono czujnik. W metodzie poszukiwania miejsca pożaru wykorzystywane są jedynie powiązania między węzłami i kierunki przepływu powietrza.

Podstawowym zadaniem czujników jest pomiar stężenia tlenu węgla w wybranych wyrobiskach sieci i w przypadku przekroczenia pewnych dopuszczalnych wartości tego stężenia ostrzeganie o możliwym zagrożeniu pożarowym. W polskich kopalniach przyjmuje się stężenie tlenu węgla równe 15 ppm jako ostrzegawcze, a 26 ppm – jako alarmujące o rozwijającym się pożarze, wobec tego w opracowanym programie komputerowym również przyjęto te wartości jako graniczne dla zapoczątkowania procesu poszukiwania miejsca lokalizacji pożaru. Wartość graniczna jest możliwa do zmiany poprzez wybór odpowiedniej opcji. Ilość czujników tlenu węgla w sieci jest zazwyczaj kilkakrotnie mniejsza od ilości bocznic sieci wentylacyjnej. W rezultacie czujniki te dzielą sieć wentylacyjną na rejony, wewnątrz których pożary są nierozróżnialne. Optymalny rozkład czujników powinien zapewnić maksymalną możliwą rozróżnialność pożarów, czyli inaczej mówiąc, każdy pożar powinien powodować inny stan zadymienia czujników. Zagadnienie optymalnego rozmieszczenia czujników zostało rozwiązane przy użyciu techniki komputerowej (Tracz i Wilczek, 1978).

## 4. Algorytm wyznaczania dróg ucieczkowych

### 4.1. Parametry wpływające na wyznaczanie dróg ucieczkowych

Po zlokalizowaniu miejsca pożaru lub przynajmniej strefy bocznic, w których mógł powstać pożar, można przystąpić do wyznaczenia strefy zagrożonej dymami pożarowymi, ustalenia miejsc posterunków zabezpieczających oraz miejsca bazy akcji ratowniczej. Następnym etapem jest wyznaczenie optymalnych dróg ucieczkowych dla załogi znajdującej się w wyrobisku objętym dymami pożarowymi. Niebezpieczne dla życia ludzi gazy pożarowe przemieszczają się z miejsca pożaru z prędkością odpowiadającą prędkościom przepływającego powietrza. Do odległych bocznic mogą one dotrzeć po upływie kilkunastu minut. W związku z tym, nawet przy umieszczeniu czujników w każdym wyrobisku kopalni, informacje docierające od czujników stężenia tlenu węgla, nie dają obrazu pełnej strefy zadymienia, zwłaszcza w początkowej fazie pożaru, kiedy dymy jeszcze się nie rozprzestrzeniły. Według wytycznych Centralnej Stacji Ratownictwa Górniczego (CSRG) w Bytomiu wyrobiska, do których dym jeszcze nie dotarł, ale dotrze po pewnym czasie, zalicza się do strefy zagrożenia pożarowego, z której należy niezwłocznie wyprowadzić załogę. Określenie strefy zagrożonej dymami pożarowymi polega na znalezieniu wszystkich wyrobisk, którymi mogłyby przemieszczać się gazy pożarowe, od miejsca pożaru do szybów wydechowych. Algorytm wyznaczania tej strefy wykorzystuje również teorię grafów zorientowanych poprzez kierunki przepływu powietrza w poszczególnych bocznicach sieci. Znalezienie całej strefy zagrożonej dymami jest niezbędne do wyznaczenia dróg ucieczkowych dla załogi, znajdującej się w wyrobiskach, do których po pewnym czasie dotrą dymy pożarowe.

Droga ucieczkowa to szereg następujących po sobie wyrobisk, poczynawszy od znajdującego się w strefie zagrożonej dymami pożarowymi miejsca pracy, aż do skrzyżowania wyrobisk z dopływem powietrza nie zadymionego. Wyznaczenie skutecznej drogi związane jest z określeniem czasu potrzebnego na przejście do prądu powietrza nie zadymionego. Czas ten powinien być krótszy od czasu działania posiadanego przez załogę sprzętu ochrony osobistej. W celu wyznaczenia czasu przejścia wybranej drogi ucieczkowej należy określić jej długość oraz prędkość poruszania się górników przemieszczających się tą drogą. Zasady obliczania czasu przejścia dróg ucieczkowych nie są sprecyzowane w obowiązujących przepisach dotyczących planu ratownictwa pożarowego. Każdy zakład górniczy, a szczególnie dział wentylacji zobowiązany jest do opracowania zasad wyznaczania dróg ucieczkowych (Rozporządzenie Ministra Przemysłu i Handlu z dnia 14 kwietnia 1995 r.), a następnie obliczania, lub praktycznego wyznaczania czasu przejścia tymi drogami. Teoretyczne określenie czasu potrzebnego na przejście drogami ucieczkowymi sprawia trudności, które są związane z różnorodnością czynników mających wpływ na prędkość poruszania się załogi. W celu rzeczywistego określenia czasu wycofania się załogi z zagrożonego rejonu, dla którego prognozowany czas wycofania jest zbliżony do czasu działania środka ochrony osobistej, przeprowadza się eksperyment wycofania drogami ucieczkowymi grupy ratowników. W literaturze (Badura i in., 1996; Badura, 2000) przedstawiono podział czynników mających wpływ na prędkość wycofywania się załogi zadymionymi wyrobiskami w czasie pożaru w kopalni:

1) Czynniki zależne od indywidualnych właściwości organizmu człowieka tj.:

- umiejętność i sprawność w użyciu środków ochrony dróg oddechowych,
- orientacja w wentylacyjnej sieci kopalnianej umożliwiającą wybór najlepszej z wytyczonych dróg ucieczkowych,
- przystosowanie organizmu do zmienionych warunków widoczności, temperatury, składu atmosfery,

- szybkość podejmowania optymalnych decyzji przez samoratowników oraz przez prowadzącego akcję ratowniczą,
  - szybkość i sposób przekazywania informacji o rozwoju pożaru i stref objętych jego wpływem,
  - stan zdrowia i kondycja fizyczna poszczególnych zagrożonych osób.
- 2) Czynniki zależne od parametrów wyrobiska i jego wyposażenia tj.:
- parametry geometryczne wyrobiska (wysokość, długość, nachylenie),
  - kierunek marszu w stosunku do nachylenia wyrobiska (po wzniosie, po upadzie),
  - utrudnienia w poruszaniu się, przeszkody znane i nieznane załodze ( np. śliski spąg, chodnik zalany wodą, przejście przez tamę itp.),
  - odpowiednio czytelnie oznakowanie drogi ucieczkowej,
  - możliwość transportu załogi na drodze ucieczkowej,
  - rodzaj osobistych środków ochrony dróg oddechowych,
  - rodzaj i sposób rozmieszczenia środków łączności.
- 3) Czynniki zależne od stopnia rozwoju pożaru tj.:
- wzrost temperatury zadymionego powietrza,
  - zmniejszenie zawartości tlenu w atmosferze,
  - wzrost zawartości substancji szkodliwych w kopalni, związany z rodzajem palącego się materiału,
  - ograniczenie widoczności związane z rozprzestrzeniającymi się dymami pożarowymi.

Najtrudniejszy do zbadania jest wpływ czynników zależnych od wydolności fizycznej i psychicznej organizmu ludzkiego. Indywidualna wydolność organizmu ma szczególne znaczenie w przypadku, gdy wycofuje się zwarta grupa górników i nie ma możliwości wyprzedzania. Wtedy prędkość poruszania się grupy będzie taka sama jak prędkość poruszania się górnika idącego najwolniej. Niestety, uwzględnienie tych czynników w czasie obliczania czasu przejścia wyznaczoną drogą jest bardzo trudne, gdyż jest zależne od indywidualnych cech grupy ludzi. Z praktyki górniczej (Badura i in., 1996) wynika że, rzeczywisty czas przejścia drogą ucieczkową będzie większy niż obliczony. Należy zauważyć, że również czynniki zależne od stopnia rozwoju pożaru są trudne do zbadania.

W warunkach pożarowych wszystkie czynniki charakteryzujące stopień rozwoju pożaru, oddziałują równocześnie. Dlatego ich wpływ nie może być rozpatrywany oddzielnie. Warunki spalania w wyrobisku są trudne do ustalenia, wobec tego prognoza składu i parametrów fizycznych gazów pożarowych jest mało dokładna. Ponadto zagrożenie dla zdrowia i życia, jakie badanie tych czynników ze sobą niesie, powoduje, że ten aspekt jest często pomijany. Prowadzone badania przez (Kissell i Litton, 1994) wykazały że, największy wpływ na zmniejszenie prędkości marszu ma ograniczenie widoczności spowodowane zadymieniem.

Analiza czynników zależnych od parametrów technicznych wyrobiska wykazuje, że są one, ze względu na ich mierzalność, najbardziej przydatne do określenia czasu przejścia wyznaczonej drogi ucieczkowej. Wpływ wyposażenia wyrobisk oraz utrudnień w poruszaniu się może być znaczny, jednak dość trudny do określenia. Zatem, ze względu na omówione powyżej trudności w określaniu wpływu poszczególnych czynników, głównie parametry techniczne wyrobisk określają przydatność danej drogi do samo ratowania się.

Aby opracować zasady wyznaczania dróg ucieczkowych oraz obliczania czasów przejścia tymi drogami przyjmuje się pewne założenia upraszczające. Założenia te są niezbędne do obliczenia optymalnego czasu przejścia wyznaczoną drogą ucieczkową. Wobec powyższego przyjęto:

1. Drogi ucieczkowe wyznaczane są dla stanów normalnych sieci wentylacyjnej tj. bez przewidywania zaburzeń kierunków przepływu powietrza w strefie zadymionej wywołanej pożarem.
2. W celu obliczenia najdłuższej drogi ucieczkowej dla załogi danego oddziału przyjmuje się:
  - miejsce pożaru w najbardziej niekorzystnym punkcie wewnątrz rejonu wentylacyjnego,
  - wycofanie w dymach z najbardziej odległego miejsca w rozpatrywanym rejonie.
3. Do obliczeń czasu przejścia załogi uwzględnia się bezpośrednio wpływ następujących czynników:
  - parametry wyrobisk (wysokość, długość, średnie nachylenie),
  - kierunek wycofywania się załogi w wyrobiskach nachylonych (do góry, w dół),
  - rodzaj wyrobisk (wyrobiska korytarzowe, ściany eksploatacyjne, szyby, szybiki),
  - stan zadymienia wyrobisk.
4. Występowanie lokalnych czynników mających wpływ na prędkość wycofywania się załogi (warunki klimatyczne, śliski spąg, nietypowe przeszkody) jest uwzględniane tylko w przypadku, gdy obliczany czas przejścia drogi w dymach jest zbliżony do czasu działania stosowanych w kopalni aparatów ochrony dróg oddechowych. Uwzględnienie tych czynników odbywa się poprzez praktyczne przejście



danej drogi ucieczkowej (z użyciem aparatu ochrony dróg oddechowych, w okularach symulujących średni stopień zadymienia odpowiadający widoczności w świetle lampy górniczej do 3.5 m) przez jednego z pracowników tego oddziału w towarzystwie sztygara mierzącego czas przejścia. Osiągnięty wówczas czas przejścia jest czasem najwolniej idącego uczestnika w grupie dyktującego tempo marszu.

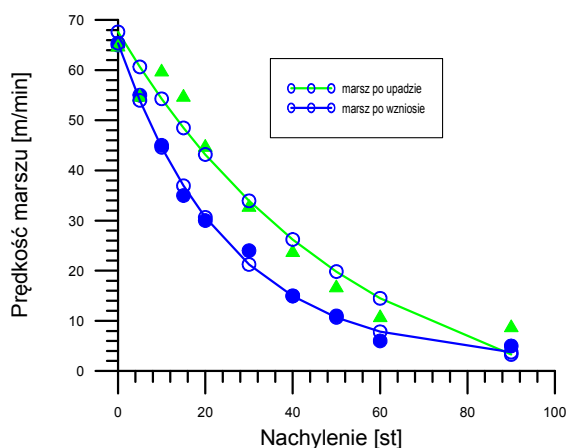
## 4.2 Obliczanie czasu przejścia drogi ucieczkowej

W celu obliczenia czasu przejścia załogi drogą ucieczkową musimy wyznaczyć długość drogi ucieczkowej oraz prędkość marszu górników. Drogę ucieczkową tworzą poszczególne, następujące po sobie wyrobiska, począwszy od miejsca pracy załogi do pierwszego skrzyżowania wyrobisk z nie zadymionym prądem powietrza. Zatem na długość drogi ucieczkowej składają się długości wyrobisk wchodzących w skład drogi. Tradycyjnie w dziale wentylacji kopalni długości tych dróg odczytuje się z map wentylacyjnych kopalni. Zastosowanie komputerów w działach wentylacji kopalń wraz z odpowiednim oprogramowaniem, pozwala na stałe aktualizowanie całej bazy danych, dotyczącej parametrów wyrobisk kopalni i stanu ich wentylacji. Pozwala to na bardzo szybkie obliczenie długości wybranej drogi ucieczkowej.

Opracowany algorytm poszukiwania dróg ucieczkowych znajduje wszystkie możliwe drogi, od miejsca pobytu załogi, do wszystkich wyrobisk z dopływem nie zadymionego powietrza. Algorytm ten nie wyklucza marszu załogi pod dym, choć ogólnie przyjęta zasada nakazuje w miarę możliwości iść pod prąd świeżego powietrza. W niektórych przypadkach wycofywanie się drogą przebiegającą częściowo pod dym, może stanowić jedyną możliwość uratowania ludzi i dlatego pokazanie takiej drogi jest konieczne. Ostateczną decyzję co do wyboru drogi ucieczkowej podejmuje kierownik akcji pożarowej, a często załoga, która musi podjąć akcję samo ratowania się. W algorytmie uwzględnia się miejsce pożaru i nie dopuszcza się do przeprowadzenia załogi przez pożar, a także nie pozwala na przejście załogi przez wyrobiska znajdujące się bezpośrednio przed pożarem. W przypadku gdy wyrobisko jest niedrożne, zbyt niskie i nie nadaje się do przejścia, w programie przewidziano możliwość zablokowania danego wyrobiska dla drogi ucieczkowej. W tym przypadku algorytm pomija to wyrobisko przy poszukiwaniu dróg.

Najlepiej znanymi parametrami, wpływającymi na prędkość poruszania się górników, są parametry techniczne wyrobiska. W celu wyznaczenia zależności prędkości marszu od nachylenia wyrobiska, oraz kierunku marszu w stosunku do nachylenia (po wzniosie, po upadzie), posłużono się wynikami badań F.J. Kocka (Badura i in., 1996). Na Rys. 2. przedstawiono podane przez F.J. Kocka wartości prędkości marszu w zależności od kąta nachylenia wyrobiska. Kółkami zaznaczono prędkość marszu w przypadku gdy następuje on po wzniosie, a trójkątami gdy po upadzie. Krzywe ciągłe przedstawiają dopasowane funkcje eksponencjalne (niebieska – marsz po wzniosie, zielona - po upadzie). Jak widać dopasowane funkcje dobrze opisują zależności prędkości marszu od kąta nachylenia wyrobiska i mogą być wykorzystane w algorytmach programowych.

Przedstawione wyniki odnoszą się do sytuacji, kiedy marsz odbywa się przy braku zadymienia. Jak wynika z badań (Badura i inni, 1996) ograniczenie widoczności ma bardzo duży, a może nawet decydujący, wpływ na prędkość poruszania się załogi zadymionymi wyrobiskami. Istnieje niewiele prac omawiających to zagadnienie. Istnieją opracowania (Szewczenko, 1973) w których podaje się, że zadymienie powoduje



Rys. 2. Zależność prędkości marszu od kąta nachylenia wyrobiska w przypadku przejścia po wzniosie i po upadzie

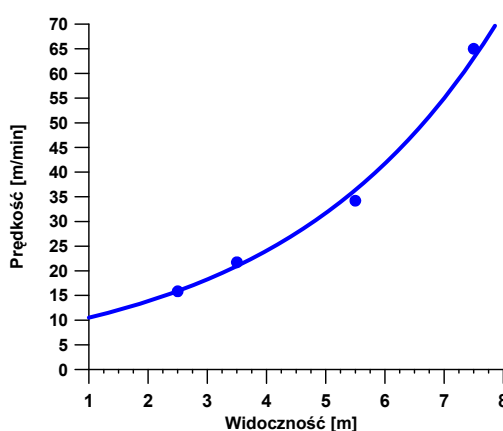


ograniczenie prędkości poruszania się w granicach od 30% do 50%, w stosunku do warunków pełnej widoczności. W pracy (Badura i in., 1996) cytowane są górnicze przepisy niemieckie, które podają, że w przypadku zadymienia należy uwzględnić zmniejszenie prędkości marszu o 15-30%. Autorzy tej pracy również przeprowadzili badania, które wykazały, że prędkość marszu górników zmniejsza się prawie o 50%, już w przypadku słabego zadymienia. W kopalniach polskich, przy obliczaniu czasu przejścia drogami ucieczkowymi, w przypadku zadymienia wyrobiska, przyjmuje się zwiększenie czasu przejścia w odniesieniu do wyrobisk nie zadymionych o 30%.

Korzystając z wyników badań eksperymentalnych (Badura i in., 1996) dotyczących wyznaczenia prędkości górników poruszających się w wyrobiskach zagrożonych dymami pożarowymi, dokonano aproksymacji tych danych. W ten sposób otrzymano wzór nr 1 a zależność prędkości marszu zagrożonej załogi od widoczności w wyrobisku którą obrazuje krzywa na Rys. 3:

$$v(w) = 7.72e^{0.28w} \quad (1)$$

gdzie:  $w$  – widoczność [m].



Rys. 3. Zależność prędkości marszu górników od widoczności

Dla widoczności powyżej 7.5 m, a więc przy braku zadymienia, przyjmuje się stałą prędkość poruszania się górników o wartości 65 m/min. Mając wyznaczone wzory na zależność prędkości marszu od nachylenia wyrobiska i kierunku marszu, oraz wzór określający zależność prędkości od widoczności, uzyskano, poprzez złożenie i unormowanie tych zależności, wzór na wyznaczanie prędkości marszu górników od obu tych parametrów. Dla kierunku marszu po wzniosie zależność tą wyraża się następująco:

$$v(\alpha, w) = 0.122(63.42e^{-0.040\alpha} + 1.96)e^{0.28w} \quad (2)$$

a dla marszu po upadzie:

$$v(\alpha, w) = 0.119(79.61e^{-0.018\alpha} - 11.99)e^{0.28w} \quad (3)$$

gdzie:

$\alpha$  – nachylenie wyrobiska [stopnie],  
 $w$  – widoczność [m].

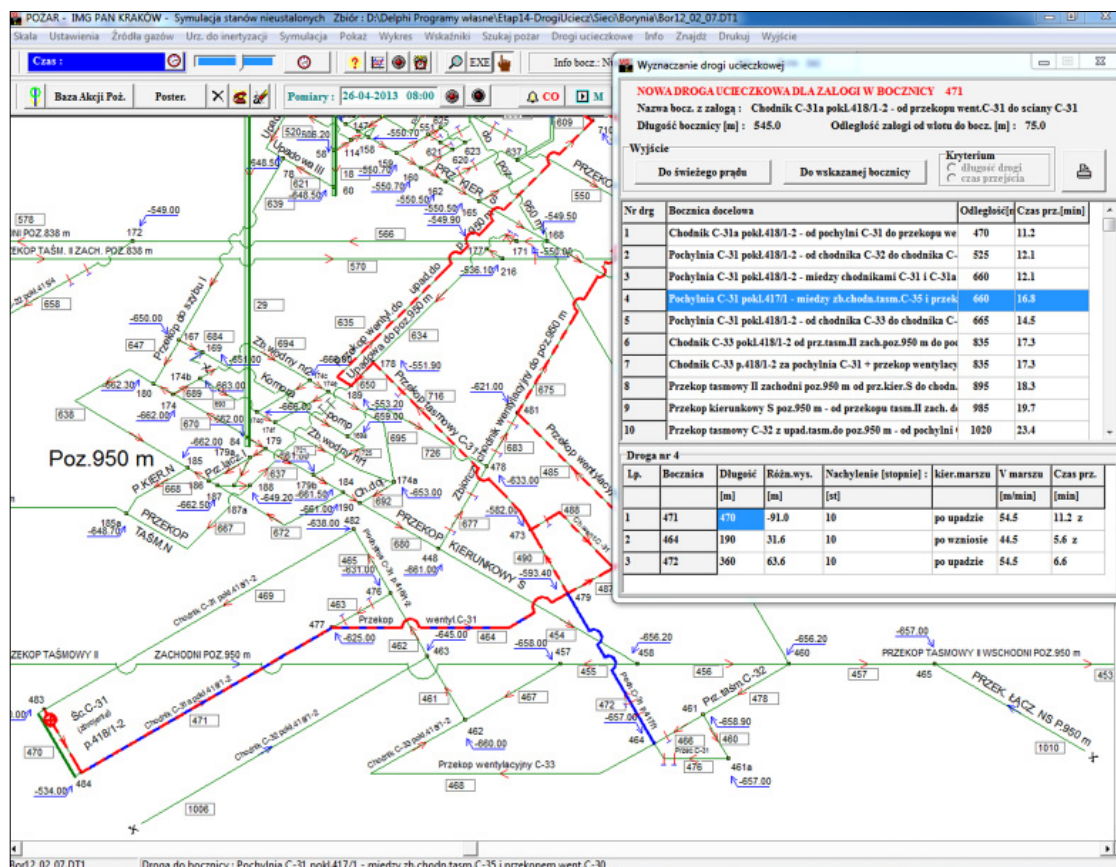
Korzystając z tych zależności, dla każdej  $i$ -tej bocznic wchodzącej w skład drogi ucieczkowej, mając daną jej długość  $l_i$ , nachylenie wyrobiska  $\alpha_i$ , i panujący stan widoczności  $w_i$ , obliczono czas przejścia  $t_i$  dla każdej z tych bocznic jako:

$$t_i = \frac{l_i}{v_i(\alpha_i, w_i)} \quad (4)$$

gdzie:  $i$  oznacza kolejny numer bocznic w danej drodze ucieczkowej.

Suma czasów  $t_i$  daje czas przejścia drogi ucieczkowej, a suma długości  $l_i$  poszczególnych bocznic wchodzących w skład tej drogi jest całkowitą długością drogi ucieczkowej.





Rys. 5. Tabela zawierająca drogę ucieczkową oraz czas wyjścia załogi do świeżego prądu dla wskazanego miejsca pożaru i miejsca pobytu załogi

- kierunek marszu w stosunku do nachylenia [upad/wznios],
- widoczność [m] (na podstawie wykonanej symulacji rozprzysię gazów pożarowych),
- prędkość marszu górników w bocznicy [m/min],
- czas przejścia bocznicy [min].

Ostatnią bocznica w tabeli drogi jest bocznica docelowa, ale należy zaznaczyć, że opracowany algorytm nie uwzględnia jej długości, a czas przejścia nie jest wliczony do długości i czasu przejścia drogi ucieczkowej.

Wyznaczone informacje są wyświetlone na ekranie, a użytkownik programu (np. dyspozytor kopalni) może wybrać z tabeli zawierającej zaproponowane przez program drogi ucieczkowe, dowolną z nich po czym może ją zobaczyć na schemacie przestrzennym sieci wentylacyjnej kopalni. Na Rys. 5 przedstawiono planszę roboczej wersji programu *POŻAR* opcja „Droga ucieczkowa” z przykładową drogą ucieczkową z rejonu ściany I/III pokł. 403/3.

#### 4.3.2. Wyjście do bocznicy wskazanej przez dyspozytora

Drugim sposobem wyjścia, ze strefy zagrożonej dymami, jaki obejmuje opracowany algorytm, jest wyjście do bocznicy wskazanej przez dyspozytora. Tutaj kryterium wyboru drogi ucieczkowej jest długość drogi, lub opcjonalnie czas przejścia. Po wyborze opcji „do wskazanej bocznicy” oraz kryterium poszukiwania drogi, dyspozytor musi wskazać kursorem myszy na schemacie przestrzennym sieci wentylacyjnej kopalni, bocznica do której mają dotrzeć ludzie. Program wyznacza najkrótszą z możliwych dróg (lub drogę o najkrótszym czasie przejścia) od miejsca pobytu załogi do wskazanej bocznicy, umożliwiającą wyjście ze strefy zagrożonej dymami pożarowymi.

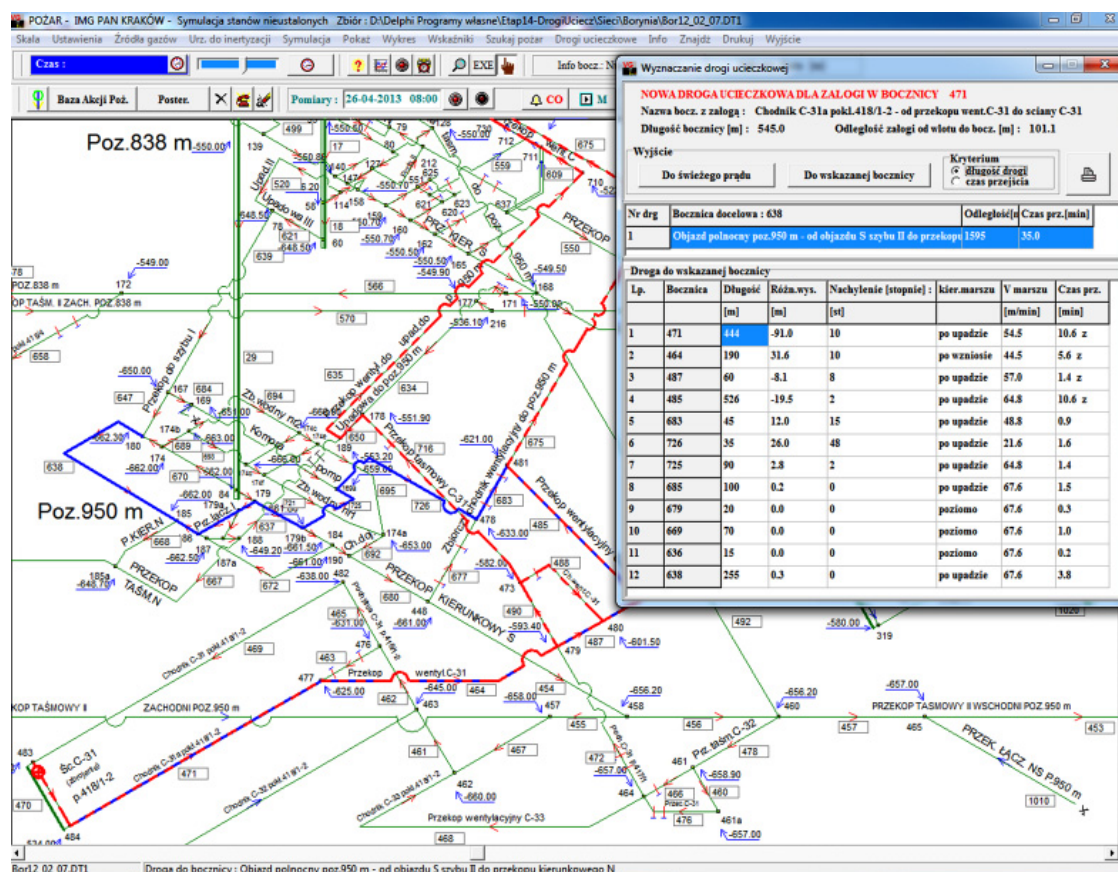
Algorytm wyboru najkrótszej trasy polega na:

1. Przypisaniu wszystkim węzłom cechy  $[i, D_i]$ . Pierwszy wskaźnik oznacza numer poprzedniego węzła w najkrótszej drodze, a drugi  $D_i$  podaje najmniejszą odległość od węzła 0, do węzła  $i$ . Indeks 0 oznacza się węzeł wylotowy bocznicy w której znajduje się załoga. Węzeł 0 ma zawsze pierwszy wskaźnik  $-1$ , a  $D_0 = 0$ . Wszystkie pozostałe węzły mają początkowo cechy  $[-1, 10e^5]$ .



2. Dla każdej bocznicy  $(i, j)$ , o węźle wlotowym  $i$  i wylotowym  $j$ , dla której  $D_i + l_{ij} < D_j$  (gdzie  $l_{ij}$  – długość bocznicy  $(i, j)$ ) zmieniamy cechę węzła  $j$ -tego na  $[i, D_i + l_{ij}]$  i proces ten kontynuujemy dopóki występują bocznicie dla których spełniona jest ta zależność i dopóki nie osiągniemy węzła wylotowego bocznicy wyjścia. Po zakończeniu procesu, cechy węzłów wskazują najkrótszą drogę od węzła 0 do węzła wylotowego bocznicy wyjścia. Pierwszy wskaźnik podaje kolejne numery węzłów w najkrótszej trasie, a drugi najmniejszą odległość od węzła 0.

Wyznaczona według tego algorytmu droga może być przedstawiona na schemacie sieci wentylacyjnej i oznaczona kolorem zielonym. Wszystkie dane dotyczące bocznic wchodzących w skład drogi są wyświetlane w tablicy o nazwie „Droga ucieczkowa do bocznic wyjścia” (Rys. 6). W ten sposób można prześledzić wszystkie możliwe drogi ucieczkowe dla danego miejsca pożaru i bocznic w której przebywa załoga.



Rys. 6. Tabela zawierająca drogę ucieczkową oraz czas wyjścia załogi dla wskazanego miejsca pożaru i miejsca pobytu załogi dla wskazanej bocznicy wyjścia i kryterium najkrótszej drogi

Algorytm poszukiwania drogi wyjścia do wskazanej bocznicy wg kryterium najkrótszego czasu przejazdu jest taki sam jak algorytm najkrótszej trasy, jedynie zamiast długości dróg obliczane są czasy przejścia poszczególnymi wyrobiskami. Są one sumowane dla kolejnych węzłów sieci i w ten sposób dla węzła wyjściowego otrzymuje się najkrótszy czas przejścia od bocznic w której znajduje się załoga. Obliczenia czasu przejścia dla poszczególnych bocznic przeprowadzone są w sposób przedstawiony w pkt. 4.2. W zależności od symulowanego stopnia rozwoju pożaru zmienia się widoczność w wyrobiskach, a zatem czasy przejścia są liczone dla aktualnie symulowanej sytuacji. Istnieje też możliwość przeprowadzenia obliczeń dla sytuacji bez zadymienia.

## 5. Podsumowanie

W artykule przedstawiono opis algorytmów zastosowanych do wyznaczania dróg ucieczkowych, które uzupełniają możliwości programu komputerowego *POŻAR* systemu *VentGraph* o nowatorskie i przydatne

dla praktyki procedury wspomagające pracę osób dozoru kopalni w zakresie wyznaczania bezpiecznego wyprowadzenia załogi górniczej z dowolnego miejsca kopalni.

Należy zwrócić uwagę na to iż, program *POŻAR* wyznaczający drogi ucieczkowe dla określonego miejsca pracy załogi, nie określa która z tych dróg jest najlepsza w sensie przydatności do ewakuacji górników, o tym jaka droga jest najlepsza musi zdecydować np. Kierownik Ruch Zakładu dokonując wyboru z podanej listy. Opracowany algorytm ustawia drogi od najkrótszej do najdłuższej w sensie kryterium długości lub czasu przejścia, podając jednocześnie ich długości, czasy przejścia tych dróg, oraz inne parametry które mogą mieć istotny wpływ na wybór drogi. Może on służyć pomocą służbom wentylacyjnym w trakcie przygotowywania planu akcji pożarowej zgodnie z obowiązującymi przepisami. Również w trakcie pożaru, może wspomagać działania kierownika akcji pożarowej, wtedy gdy sytuacja wymaga wyznaczenia nowej drogi nie przewidzianej w planach.

Możliwość przeprowadzenia symulacji rozptyłu gazów pożarowych, jaką daje program, pozwala na obliczenie prognozowanej widoczności w dowolnym odstępie czasowym od powstania pożaru. Daje to możliwość obliczenia czasu przejścia dla aktualnego w danej chwili stopnia rozwoju pożaru i istniejącego zadymienia, a co za tym idzie wybrania optymalnej drogi ucieczkowej. Wyboru tego musi dokonać człowiek.

Artykuł opracowano w ramach Projektu strategicznego, zadanie badawcze nr 2 pt. ***Opracowanie zasad projektowania robót górniczych w warunkach występowania skojarzonego zagrożenia metanowo – pożarowego w aspekcie systemów przewietrzania w podziemnych zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny***, finansowanego przez NCBiR.

## Literatura

- Badura H., Biernacki K., Sułkowski J., Żur K., 1996: *Czynniki decydujące o prędkości wycofywania się załogi zadymionymi wyrobiskami w czasie pożaru w kopalni*. Przegląd Górniczy, Nr 6(873), (1996).
- Badura H., 2000: *Aspekty zabezpieczania załóg w rejonach ścian o długim wybiegu na wypadek pożaru*. XXVI DNI TECHNIKI ROW 2000, materiały konferencyjne, (2000).
- Gillies A.D.S., Wala A.M., Wu H.W., 2005: *Simulation of the Effects of Inertisation of Fires on Mine Ventilation Systems*. Proceedings of the Eighth International Mine Ventilation Congress Brisbane, Australia p. 317-324.
- Dziurzyński W., Pałka T., 2001: *Komputerowy system monitoringu zagrożenia pożarowego i wyznaczania dróg ucieczkowych w warunkach pożaru w kopalni podziemnej*. Studia-Rozprawy-Monografie, nr 97, (2001).
- Dziurzyński W., Krach A., Pałka T., Wasilewski St., 2011: *Prognoza stanu atmosfery w rejonie ściany i jej zrobach na podstawie danych z systemu monitoringu kopalni*. Przegląd Górniczy nr 7-8, (2011).
- Dziurzyński W., Krawczyk J., 2012: *Możliwości obliczania wybranych programów symulacyjnych stosowanych w górnictwie światowym, opisujących przepływ powietrza, gazów pożarowych i metanu w sieci wyrobisk kopalni*. Przegląd Górniczy, nr 5, s. 1-11, (2012).
- Pałka T., 1999: *Wykorzystanie sygnałów z czujników systemu monitoringu oraz obliczeń rozptyłu powietrza do poszukiwania miejsca pożaru w kopalni*. Materiały 1 Szkoły Aerologii Górniczej, Zakopane, 11-15.10.1999, s. 347-352, (1999).
- Pritchard C.J., 2010: *Validation of the Ventgraph program for use in metal/non-metal mines*. Proceeding of the 13<sup>th</sup> Mine Ventilation Symposium, Sudbury, Kanada, (2010).
- Kissell F.N., Litton Ch.D., 1994: *Smoke and its importance in hindering escape from coal mine fires*. Newsmoke Pap. 4/HD/draft 25, (1994).
- Rozporządzenie Ministra Przemysłu i Handlu z dnia 14 kwietnia 1995 roku w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych.
- Tracz J., Wilczek K., 1978: *Problem optymalnego rozmieszczenia czujników dymu w sieci wentylacyjnej kopalni*. Archiwum Górnictwa t. 23, z. 2, (1978).

## Determining the fire exit routes in underground mines – new potentials of the Ventgraph system

### Abstract

New algorithms added to the computer system *Ventgraph* can be used to locate the fires in smoke-filled sections of the ventilation network in the mines and to find the emergency exit routes for miners present in the area. Within the framework of the strategic research project "Improvement of safety features in the mining sector" (task 2), the

new algorithms were developed to determine the exit routes in the case of fire and, the computer programme *POŻAR*, a part of the *Ventgraph* system, was updated accordingly to include novel and useful procedures supporting the mine supervisory personnel in helping to find the means of escape from any point in the mine. The program was extensively tested in one of the Polish collieries. It is worthwhile to mention that the programme *POŻAR* in the *Ventgraph* system, while finding the exit routes for workers at the specified point, arranges the emergency exit routes using the criterion of distance (from the shortest to the longest) or the time of passage and, at the same time, provides their lengths, the time required for exit as well as other parameters that may affect the choice of the exit route. This information is of particular importance for ventilation personnel when planning the actions to be taken in case of fire in accordance with the applicable regulations. During the fire, this information will prove most useful for the co-ordinator of the fire-fighting action, should the need arise to find a new exit route not included in previous plans. One of the options available in the program *POŻAR* supports simulations of the flow of fire gases when the fire is developing, which allows for forecasting the field of vision at any time interval from the instant the fire breaks.

**Keywords:** underground fire, emergency exit routes, computer simulation, safety