

Marian KOLARCZYK, Grzegorz PACH, Michał OLEKSY,  
Politechnika Śląska, Gliwice

## WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI STRUKTURY KOPALNIANEJ SIECI WENTYLACYJNEJ ZAWIERAJĄCEJ PRĄDY ZALEŻNE

**Streszczenie.** W procesie kierowania przewietrzaniem kopalni podziemnej sieć wentylacyjna tworzona jest w oparciu o istniejące wyrobiska, które oprócz wentylacyjnej pełnią także inne funkcje. Powstające kolizje pomiędzy wentylacyjną a tymi innymi funkcjami wymagają rozwiązań kompromisowych. Sprzyja to powstawaniu niedogodnych właściwości sieci (ucieczki powietrza, prądy przekątne, zależne, schodzące). W referacie zwrócono uwagę na sieci z prądami zależnymi. Wykorzystano trzy przykłady sieci, pokazano wykrywanie właściwości sieci z prądami zależnymi w strefie świeżej, zużytej oraz z prądami zależnymi w strefie zużytej, które występują pomiędzy podsieciami wentylatorów głównych. Wskazano na przydatność algorytmów: podziału zbioru węzłów na warstwy, wyznaczania przekroju całkowitego, wyznaczania relacji dostępności i osiągalności w metodach analizy struktury sieci. Wskazano na znaczenie struktury sieci przy powstawaniu stref zagrożeń przenoszonych z prądami powietrza, np. przy powstawaniu strefy zadymienia przy pożarach.

## CHOSEN PROPERTIES OF MINE STRUCTURE OF VENTILATION NETWORK INCLUDING DEPENDENT AIR CURRENTS

**Summary.** In the process of directing of underground mine ventilation the ventilation network is created on the basis of existing excavation holes which apart from ventilating function serve also different purposes. The resulting conflicts between ventilating function and other ones require compromise solutions. This creates favourable conditions for inconvenient properties of network (air escape, diagonal, dependent, descending currents) to arise. In this paper the attention is focused on networks with dependent currents. Three examples of networks were used, the detection of properties of network with dependent currents in the fresh air and worn-out air zone as well as with dependent currents in the worn-out air zone which occur between subnetworks of main fans. The usefulness of algorithms (division of a set of nodes into layers, determining the overall section, determining relations of availability and attainability in the network structure analysis methods) was pointed out. The significance of network structure during forming of risk zones transmitted with air currents for example during forming smoke zone during fires was pointed out.

## 1. Wprowadzenie

W procesie przewietrzania kopalń podziemnych w trakcie organizacji sieci wentylacyjnej wykorzystuje się istniejące wyrobiska kopalniane. Często też zapewnienie prawidłowego przewietrzania wymaga wykonania dalszych połączeń służących wyłącznie wentylacji. Wyrobiska w kopalni w procesie technologicznym podziemnego zakładu górniczego pełnią różne funkcje. Nie zawsze funkcje te pokrywają się z wymogami racjonalnego przewietrzania. Często powstaje kolizja pomiędzy wentylacyjną a inną funkcją wyrobiska. Praktyka zna bardzo dużo takich przykładów. Wiadomo, że odróżnia to kopalnianą sieć wentylacyjną od innych sieci transportowych, na przykład elektrycznej czy gazowej, które tworzone są wyłącznie dla wypełniania swojego zadania. W kopalni występuje więc konieczność wypracowania kompromisu pomiędzy wentylacyjną a innymi funkcjami niektórych wyrobisk. Sprzyja to powstawaniu niekorzystnych cech sieci, także w zakresie jej struktury. Okoliczność ta zmusza do znajomości tych cech. Jest to istotne w stanach normalnym i awaryjnych.

Konieczność minimalizacji niektórych zagrożeń występujących w kopalni przenoszonych wraz z przepływającym prądem powietrza, na przykład rozchodzenia się dymów w czasie pożaru, spowodowała wypracowanie ogólnej zasady przewietrzania najbardziej niebezpiecznych miejsc tzw. prądami niezależnymi. Dotyczy to oddziałów wydobywczych, przygotowawczych, ważnych komór funkcyjnych itp. Zagadnienie to od wielu lat jest regulowane odpowiednimi przepisami górnictwami. Prąd niezależny odgałęzia się od strefy prądów świeżych, po przewietrzeniu rejonu wentylacyjnego dołącza do strefy prądów zużytych i dalej kierowany jest do szybu wydechowego.

W odróżnieniu od prądów niezależnych inną cechą posiadają tzw. prądy zależne. Jak wiadomo, są to prądy przekątne, w strefie świeżej odgałęziają się od prądu świeżego i dołączają do świeżego, w strefie zużytej odgałęziają się od prądu zużytego i dopływają do zużytego. W teorii sieci wentylacyjnej wyróżnia się:

- sieci bez prądów zależnych,
- sieci z prądami zależnymi.

W praktyce kopalnianej zauważa się, że wszystkie sieci rzeczywiste zawierają prądy zależne w strefie świeżej i zużytej. W niektórych sieciach istnieją także prądy zależne w strefie zużytej występujące pomiędzy podsieciami wentylatorów głównych. Dlatego też wskazane jest wprowadzenie podziału prądów zależnych na:

- prądy zależne w strefie świeżej,

- prądy zależne w strefie zużytej, występujące w podsieci wybranego wentylatora głównego,
- prądy zależne w strefie zużytej łączące podsieci dwóch lub więcej wentylatorów głównych.

Znane są pozytywne i negatywne cechy prądów zależnych. Wyznaczanie tych prądów możliwe jest poprzez analizę graficznych obrazów sieci, najczęściej w oparciu o schemat przestrzenny. Wiadomo, że struktura sieci posiada duże znaczenie w procesie kierowania przewietrzaniem. Różnorodność zalegania złoża, jego udostępnienie i przygotowanie do wybierania powodują, że struktury powstających sieci wentylacyjnych też się różnią.

Rozwój metod elektronicznego przetwarzania danych spowodował, że oprócz graficznych obrazów sieci sporządza się także bardzo przydatne modele matematyczne. Pozwala to dalej na szereg działań dotyczących symulacji rozplywu powietrza dla stanów normalnych, projektowanych i awaryjnych z wykorzystaniem elektronicznej techniki obliczeniowej. Uwaga ta dotyczy także modelowania i analizy struktury sieci, znajdowania jej istotnych właściwości. Takie działania sprzyjają poznawaniu dalszych ważnych okoliczności w procesie kierowania lub projektowania przewietrzania kopalni.

Przy analizie struktury sieci wykorzystuje się teorię grafów oraz współczesne metody symulacji numerycznej. W niniejszym referacie przypomniane zostaną znane właściwości sieci z prądami zależnymi. Przypomnienie to pozwoli dalej na przedstawienie niektórych algorytmów i wyników badań numerycznych umożliwiających komputerowe sprawdzanie cech sieci. Taki kierunek badań dotyczących dalszych prawidłowości występujących w sieciach oraz zwiększających szybkość uzyskiwania wyników uważać należy za celowy. Wyniki przeprowadzonej analizy przydatne będą w zagadnieniu rozchodzenia się zaburzeń w sieciach przenoszonych przez prądy powietrza, na przykład przy określaniu strefy zadymienia w trakcie pożaru oraz w zakresie obliczeń rozplywu wymuszonego, gdzie między innymi zmierza się do wyznaczenia potrzebnych parametrów wentylatorów głównych.

## **2. Węzły sieci, podział na warstwy, przekrój całkowity przez sieć**

Przypomnieć należy, że w sieci wentylacyjnej wyróżnia się następujące rodzaje węzłów:

- węzeł z rozdzielaniem się prądów powietrza (umownie typ  $r$ ),
- węzeł z łączeniem się prądów powietrza (umownie typ  $l$ ),
- węzeł z mieszaniem się prądów powietrza (umownie typ  $m$ ),

- półwęzeł (umownie typ  $p$ ) – wyróżnione miejsce w kopalni, w którym nie występuje rozdzielanie lub łączenie się prądów powietrza. Miejsca te wyróżnia się ze szczególnych względów, ułatwia to niektóre obliczenia lub analizy sieci (np. półwęzeł przed lub za wentylatorem głównym, pomocniczym, tamą regulacyjną, wentylacyjną itp.).

Przez rząd węzła  $rz(w_i)$  rozumie się liczbę bocznic z nim związanych. W sieci zamkniętej suma rzędów wszystkich węzłów jest równa podwojonej liczbie bocznic  $m$ :

$$\sum rz(w_i) = 2 \cdot m \quad (1)$$

$i = 1, 2, \dots, n$ ,

$n$  – liczba węzłów,

$m$  – liczba bocznic.

W kopalnianej sieci wentylacyjnej możliwe jest nadanie orientacji wszystkim bocznicom, tak by sieć spełniała warunki acykliczności w sensie dróg. Zgodnie z teorią grafów [np. 6, 7] możliwy jest wtedy podział zbioru węzłów  $W$  na warstwy (poziomy). Warstwy  $W_i$  są rozłącznymi podzbiorem zbioru  $W$ . O przynależności węzła  $w_j$  do warstwy  $W_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, k$  decyduje liczba węzłów na najdłuższej drodze od węzła początkowego sieci  $w_{ps}$  do danego węzła  $w_j$ . Algorytmy tworzenia takiego podziału dla sieci wentylacyjnej podano w pracach [9, 3]. Podział zbioru węzłów ułatwia na przykład sporządzanie schematów kanonicznych sieci. Pokazano to na rys. 1, 2 i 3, gdzie w schematach kanonicznych wyróżniono odpowiednio 10 i 13 warstw (poziomów). Taka czynność możliwa jest także dla dużych sieci kopalnianych [3]. Podział zbioru węzłów na wymienione podzbiory, pozwalający na przyporządkowanie każdemu węzłowi  $w_i$  odpowiedniego poziomu  $poz(w_i)$ , jest przydatny również w dalszych metodach i algorytmach analizy struktury sieci.

Przydatne jest tworzenie różnych przekrojów przez sieć [1]. Szczególny jest przekrój całkowity  $P-C$  poprowadzony przez bocznicę odbioru powietrza, to jest przez ściany, komory i inne prądy niezależne. Algorytm wyznaczania takiego przekroju podano w pracy [3]. Usytuowanie bocznic odbiorów powietrza w schemacie kanonicznym na tym samym poziomie możliwe jest przez wprowadzenie do algorytmu tzw. węzła zlepiającego  $w_{zl}$  i ponowne ułożenie węzłów do odpowiednich warstw [3]. Na rysunkach 1, 2 i 3 węzeł zlepiający  $w_{zl} = 21$  ponownie rozdzielono na węzły od 21 do 27. Przekrój całkowity  $P-C$  między innymi jest wykorzystywany przy bilansie i analizie gospodarki powietrzem w kopalni [3, 5]. Przykłady takiego przekroju pokazano na rysunkach 1, 2 i 3, gdzie do przekroju zaliczono siedem bocznic: trzy ze ścianami, jedna z komorą i trzy z ucieczkami powietrza.

### 3. Dostępność i osiągalność w sieci, strefa prądów świeżych i zużytych

W analizach struktury sieci pomocne są także dwie następne relacje określone na iloczynie kartezjańskim zbioru węzłów, to jest dostępność i osiągalność [3]. W relacji dostępności wykorzystuje się istnienie lub brak drogi od węzła  $w_i$  do węzła  $w_j$ . Będziemy uważali, że węzeł  $w_j$  jest dostępny z węzła  $w_i$  wtedy i tylko wtedy, gdy w grafie istnieje droga od węzła  $w_i$  do węzła  $w_j$  [7, 3]. Drogę tę oznaczać będziemy przez  $w_i \rightarrow w_j$ . Dalej określić można macierz dostępności  $D = [d_{ij}]$   $i, j = 1, 2, \dots, n$ , której elementy  $d_{ij}$  przyjmują wartości 1 lub 0 w zależności od tego czy istnieje droga  $w_i \rightarrow w_j$  lub brak jest takiej drogi.

Bardziej szczegółowa jest relacja osiągalności  $osg(w_i, w_j)$ , która podaje także liczbę możliwych dróg w sieci od węzła  $w_i$  do węzła  $w_j$ . Jak pokazano w pracach [3, 4], gdzie przedstawione są także odpowiednie algorytmy, relację tę łatwo można określać po wprowadzeniu podziału zbioru węzłów na warstwy.

Wprowadzenie przekroju całkowitego  $P - C$  pozwala na rozdzielenie zbioru bocznic sieci na następujące części:

- bocznicę przekroju  $P - C$  (ściany, komory, inne prądy niezależne, bocznicę z ucieczkami powietrza od strefy prądów świeżych do zużytych); liczbę tych bocznic oznaczymy przez  $l_{pc}$ ,
- bocznicę świeżych prądów powietrza  $S_s$ ; liczbę tych bocznic oznaczymy przez  $l_{bs}$ ,
- bocznicę zużytych prądów powietrza  $S_z$ ; liczbę tych bocznic oznaczymy przez  $l_{bz}$ ,
- jedną bocznicę zamykającą  $b_z$ .

Z wiadomych względów występuje równość:

$$l_{bs} + l_{pc} + l_{bz} + 1 = m \quad (2)$$

Bocznicę  $b_i$  o węzłach krańcowych ( $w_p, w_k$ ) należy do przekroju całkowitego  $P - C$ , gdy spełniony jest warunek:

$$b_i \in \{P - C\} \quad \text{gdy} \quad \text{poz}(w_p) < \text{poz}(w_{zl}) \leq \text{poz}(w_k) \quad i = 1, \dots, m \quad (3)$$

Bocznicę  $b_i$  o węzłach krańcowych ( $w_p, w_k$ ) należy do strefy prądów świeżych  $S_s$ , gdy spełniony jest warunek:

$$b_i \in \{S_s\} \quad \text{gdy} \quad \text{poz}(w_k) < \text{poz}(w_{zl}) \quad i = 1, \dots, m \quad (4)$$

Bocznicę  $b_i$  o węzłach krańcowych ( $w_p, w_k$ ) należy do strefy prądów zużytych  $S_z$ , gdy spełniony jest warunek:

$$b_i \in \{S_z\} \quad \text{gdy} \quad \text{poz}(w_{zl}) < \text{poz}(p) \quad i = 1, \dots, m \quad (5)$$

W ten sposób prawidłowości widoczne na schemacie mogą być formalnie zapisane w odpowiednich algorytmach analizy struktury sieci.

Podobnie możliwe jest formalne przyporządkowanie węzłów do strefy prądów świeżych lub zużytych. Węzeł  $w_j$  należy do strefy prądów świeżych  $S_s$ , gdy w warstwach położony jest nie wyżej niż węzeł zlepiający  $w_{zl}$ , tzn.:

$$w_j \in \{ S_s \} \text{ gdy } \text{poz}(w_j) \leq \text{poz}(w_{zl}) \quad j = 1, \dots, n \quad (6)$$

Węzeł  $w_j$  należy do strefy prądów zużytych  $S_z$ , gdy w warstwach położony jest wyżej niż węzeł zlepiający  $w_{zl}$ , tzn.:

$$w_j \in \{ S_z \} \text{ gdy } \text{poz}(w_j) > \text{poz}(w_{zl}) \quad j = 1, \dots, n \quad (7)$$

#### 4. Wybrane właściwości struktury sieci z prądami zależnymi

Analizę właściwości struktury sieci, która zawiera prądy zależne, przeprowadzimy z wykorzystaniem trzech przykładów. Kolejno pokazane zostaną:

- sieć bez prądów zależnych (rys. 1, przykład 1) w celu porównania jej właściwości z innymi sieciami,
- sieć z prądami zależnymi w strefie świeżej i zużytej (rys. 2, przykład 2), lecz bez zużytych prądów zależnych pomiędzy podsieciami wentylatorów głównych,
- sieć z prądami zależnymi w strefie świeżej i zużytej oraz z zużyтым prądem zależnym pomiędzy podsieciami wentylatorów głównych (rys. 3, przykład 3).

##### 4.1. Sieć bez prądów zależnych – przykład 1

Na rysunku 1 przedstawiono schemat kanoniczny sieci bez prądów zależnych (przykład 1). Węzły rozmieszczone są na 10 poziomach schematu. Dane ogólne o sieci są następujące:

- liczba bocznic:  $m = 27$
- liczba węzłów:  $n = 21$
- liczba cykloematyczna:  $\nu = 7$

Do przekroju całkowitego zaliczono 7 bocznic. W analizowanym przypadku dla sieci bez prądów zależnych występuje równość:

$$l_{pc} = \nu = \text{osg}(w_{ps}, w_{ks}) \quad (8)$$

Zaliczenie bocznic z tego przekroju do antydrzewa powoduje (rys. 1a, b), że pozostała część sieci staje się drzewem z liczbą bocznic  $n - 1 = 20$ . W strefie prądów świeżych

występuje tylko rozdzielanie się prądów powietrza (węzły typu  $r$ ), w strefie prądów zużytych występują tylko węzły z łączeniem się prądów powietrza (węzły typu  $l$ ).

Tablica 1

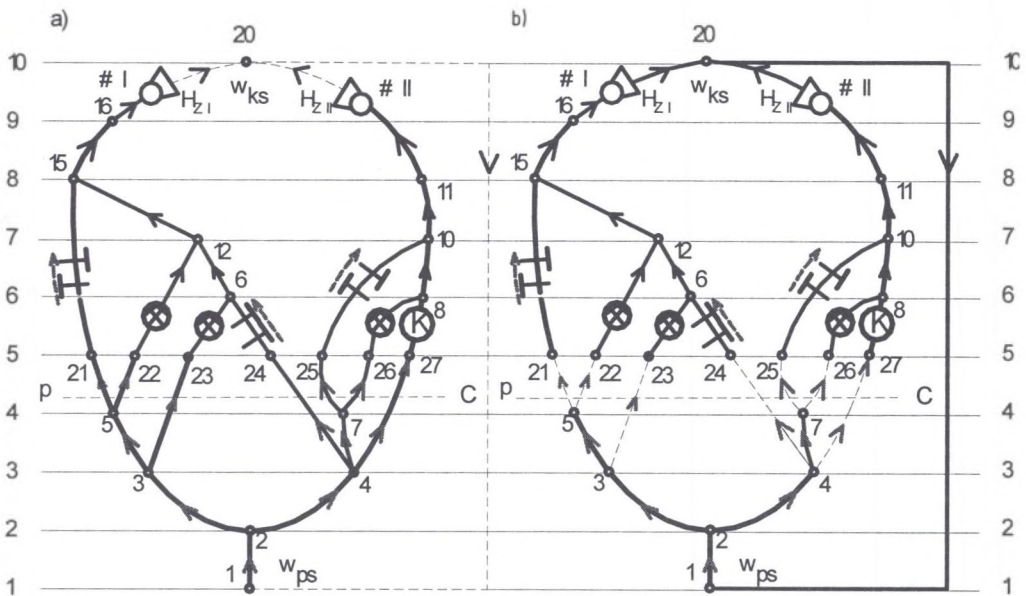
Tablica dostępności i osiągalności dla sieci z rys. 1

1:	2(1) 3(1) 4(1) 5(1) 6(2) 7(1) 8(2) 10(3) 11(3) 12(3)15(4) 16(4) 21(1) 22(1) 23(1) 24(1) 25(1) 26(1) 27(1) 20(7)
2:	3(1) 4(1) 5(1) 6(2) 7(1) 8(2) 10(3) 11(3) 12(3) 15(4) 16(4) 21(1) 22(1) 23(1) 24(1) 25( 1) 26(1) 27(1) 20(7)
3:	5(1) 6(1) 12(2) 15(3) 16(3) 21(1) 22(1) 23(1) 20(3)
4:	6(1) 7(1) 8(2) 10(3) 11(3) 12(1) 15(1) 16(1) 24(1) 25(1) 26(1) 27( ) 20(4)
5:	12(1) 15(2) 16(2) 21(1) 22(1) 20(2)
6:	12(1) 15(1) 16(1) 20(1)
7:	8(1) 10(2) 11(2) 25(1) 26(1) 20(2)
8:	10(1) 11(1) 20(1)
10:	11(1) 20(1)
11:	20(1)
12:	15(1) 16(1) 20( 1)
15:	16(1) 20(1)
16:	20(1)
21:	15(1) 16(1) 20(1)
22:	12(1) 15(1) 16(1) 20(1)
23:	6(1) 12(1) 15(1) 16(1) 20(1)
24:	6(1) 12(1) 15(1) 16(1) 20(1)
25:	10(1) 11(1) 20(1)
26:	8(1) 10(1) 11(1) 20(1)
27:	8(1) 10(1) 11(1) 20(1)
20:	

Dalsze prawidłowości widoczne są w tablicy dostępności i osiągalności (tabl. 1), która została sporządzona dla sieci z rys. 1. Jest ona tworzona przez odpowiedni podprogram analizujący strukturę sieci [3, 4]. W tablicy 1 podano jej postać skróconą, ponieważ pełna macierz dostępności w tym przypadku posiada wymiar  $21 \times 21$ . Umowny zapis relacji dostępności i osiągalności w tej tablicy jest następujący:

- W pierwszej kolumnie numer węzła  $w_i$ .
- Liczby w  $i$ -tym wierszu (przed nawiasami) oznaczają numery węzłów  $w_j$ , które są dostępne z węzła  $w_i$ . Oznacza to, że istnieje droga  $w_i \rightarrow w_j$ .
- Liczby w nawiasach oznaczają liczbę dróg  $w_i \rightarrow w_j$ , czyli osiągalność  $osg(w_i, w_j)$ .

Tak na przykład z węzła początkowego sieci  $w_{ps} = 1$  do węzła końcowego sieci  $w_{ks} = 20$  (tabl. 1, rys. 1) osiągalność wynosi  $osg(1, 20) = 7$ . W takich przypadkach w sieciach bez prądów zależnych jest ona równa liczbie cyklomatycznej sieci  $\nu$  (w tym przykładzie liczba ta wynosi  $\nu = 7$ ). Podobnie od węzła początkowego sieci  $w_{ps} = 1$  do każdego węzła końcowego bocznic odbiorów ( $w_j = 21 \div 27$ ) osiągalność wynosi 1 (tabl. 1, pierwszy wiersz). Oznacza to, że istnieje tylko jedna droga od węzła 1 do każdego z tych węzłów.



Rys. 1. Przykład sieci z dwoma wentylatorami głównymi i bez prądów zależnych (a), drzewo i antydrzewo po zaliczeniu bocznych odbiorów do antydrzewa (b)

Fig. 1. An example of a network with two main fans and without dependent currents (a), tree and antitree after inclusion of reception ventilation ducts into antitree (b)

Od węzłów końcowych (21 ÷ 27) bocznie należących do  $P - C$  do węzła końcowego sieci  $w_{ks} = 20$  osiągalność również w każdym takim przypadku wynosi 1 (tabl. 1, wiersze 21 ÷ 27, rys. 1). Oznacza to, że strefie zużytej występuje tylko łączenie się prądów powietrza (nie występuje rozdzielanie się tych prądów).

Ponadto w podsieci szybu I od węzłów końcowych 21, 22, 23 i 24 (tabl. 1, rys. 1) osiągalność do węzła 16 (przed wentylatorem przy tym szybie) wynosi 1. Natomiast z wymienionych węzłów nie jest osiągalny węzeł 11 przed wentylatorem przy szybie II.

W podsieci szybu II z węzłów końcowych 24, 26 i 27 (tabl. 1, rys. 1) osiągalność do węzła 11 (przed wentylatorem przy szybie II) wynosi 1. Natomiast z wymienionych węzłów nie jest osiągalny węzeł 16 (przed wentylatorem przy szybie I).

Wyżej wymienione spostrzeżenia wynikające z tablicy dostępności i osiągalności (tabl. 1) oraz potwierdzone na rys. 1 pozwalają sądzić, że w tym przypadku w sieci nie występują prądy zależne. Poprzez odpowiednie algorytmy można więc z cyfrowego zapisu sieci uzyskać ważne informacje o jej strukturze. Algorytmy i programy wyznaczające te prawidłowości zostały pozytywnie przetestowane na dużych sieciach [3, 4].

Jak wiadomo, w sieciach bez prądów zależnych w strefie zużytej, w przypadku pożaru w wybranej bocznicie należącej do przekroju całkowitego  $P - C$ , powstająca strefa zadymienia



składa się z jednej drogi prowadzącej do jednego szybu wydechowego. Wyznaczenie tej drogi możliwe jest także z wykorzystaniem relacji dostępności i osiągalności.

## 4.2. Sieć z prądami zależnymi – przykład 2

W przykładzie 2 pokazanym na schemacie kanonicznym (rys. 2) jak widać występują prądy zależne w strefie świeżej i zużytej. Dane ogólne o tej sieci są następujące:

- liczba bocznic:  $m = 34$ ,
- liczba węzłów:  $n = 24$ ,
- liczba cykloatyczna:  $\nu = 11$

Tablica 2

Wyciąg z tablicy dostępności i osiągalności dla sieci z rys. 2

- 1: 2(1) 3(1) 4(2) 5(1) 6(3) 7(2) 8( 4) 9(6) 10(10) 11(10) 12(4) 13(5) 14(9) 15(14) 16(14) 21(1) 22(1) 23(1) 24(2)  
25(2) 26(2) 27(2) 20(24)
- 6: 12(1) 13(1) 14(2) 15(3) 16(3) 20( 3)
- 12: 13(1) 14(2) 15(3) 16(3) 20(3)
- 13: 14(1) 15(2) 16(2) 20(2)
- 8: 9(1) 10(2) 11(2) 20(2)
- 9: 10(1) 11(1) 20(1)

Do przekroju całkowitego poprowadzonego przez te same bocznic odbioru zaliczono  $l_{pc} = 7$  bocznic. Wyciąg z tablicy dostępności i osiągalności dla tej sieci zestawiono w tabl. 2. Z węzła początkowego sieci  $w_{ps} = 1$  do węzła końcowego  $w_{ks} = 20$  występują 24 różne drogi (niekoniecznie niezależne w sensie matematycznym). W analizowanym przypadku liczba tych dróg, czyli  $osg(w_{ps}, w_{ks})$ , jest więc znacznie większa od liczby cykloatycznej sieci  $\nu$  oraz od liczby bocznic  $l_{pc}$  w przekroju  $P - C$ :

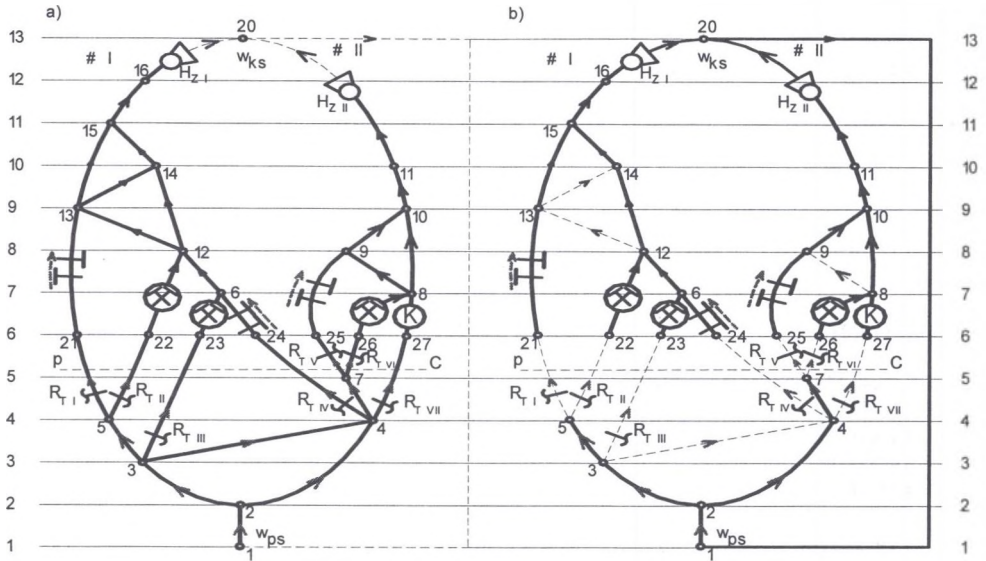
$$osg(w_{ps}, w_{ks}) > \nu > l_{pc} \quad (9)$$

Po zaliczeniu  $l_{pc}$  bocznic występujących w przekroju  $P - C$  do antydrzewa pozostała część sieci nie tworzy drzewa. Do antydrzewa trzeba jeszcze dodatkowo zaliczyć  $\nu - l_{pc}$  bocznic (w tym przykładzie 4 bocznic, ponieważ  $\nu - l_{pc} = 4$ , rys. 2b).

Od węzła początkowego sieci  $w_{ps} = 1$  do węzłów (21, 22, 23) niektórych bocznic odbiorów występuje tylko jedna droga (tabl. 2, rys. 2), do innych (24, 25, 26, 27) występują już dwie drogi. Taka prawidłowość świadczy, że w tej części sieci (strefa prądów świeżych) oprócz typowego rozdzielania się prądów powietrza występuje także ich łączenie (w tym przypadku w węźle 4 typu  $m$ ). Prawidłowość ta, widoczna także w tabl. 2, odróżnia tę sieć od sieci bez prądów zależnych.

W podsieci szybu I od węzłów końcowych bocznic odbiorów 6, 12, 13 (tabl. 2, rys. 2) do węzła 16 (przed wentylatorem szyb I) osiągalność jest większa od 1. Świadczy to o istnieniu

również rozdzielania się prądów powietrza w tej strefie zużytej. Węzły 13 i 14 są typu *m*. W podsieci szybu II od węzła końcowego 8 dwóch bocznic odbiorów (tabl. 2, rys. 2) do węzła 11 (przed wentylatorem szyb II) osiągalność wynosi 2. Również świadczy to o rozdzielaniu się prądów powietrza w tej strefie zużytej. Węzeł 8 jest typu *m*.



Rys. 2. Przykład sieci z dwoma wentylatorami głównymi oraz z prądami zależnymi (a), drzewo i antydrzewo po zaliczeniu bocznic odbiorów i prądów zależnych do antydrzewa (b)

Fig. 2. An example of a network with two main fans and with dependent currents (a), tree and antitree after inclusion of reception ventilation ducts and dependent currents into antitree

Natomiast w podsieci szybu I od węzłów końcowych 6, 12 i 13 bocznic odbiorów do węzła 11 przed wentylatorem przy szybie II osiągalność wynosi 0 (tabl. 2, rys. 2). Świadczy to o braku drogi od tych odbiorów do wentylatora II.

Podobnie w podsieci szybu II od węzłów końcowych 8 i 9 bocznic odbiorów do węzła 16 przed wentylatorem przy szybie I osiągalność wynosi 0 (tabl. 2, rys. 2). Również świadczy to o nieistnieniu dróg od tych odbiorów do wentylatora I.

Przedstawione spostrzeżenia uzyskane z tablicy 2 dostępności i osiągalności są zgodne z wynikami, które od razu w tej małej sieci są widoczne na schemacie kanonicznym na rys. 2. Dla dużych sieci wyznaczenie takich informacji wyłącznie z analizy schematu przestrzennego jest dość pracochłonne.

W sieciach z prądami zależnymi w strefie zużytej, lecz bez tzw. zależnych prądów międzysystemowych, wystąpienie pożaru w wybranej bocznicy przekroju całkowitego  $P-C$  powoduje, że strefa zadymienia może objąć większą liczbę dróg do szybu wydechowego.

Liczba tych dróg jest równa osiągalności od węzła końcowego tej wybranej bocznicy do szybu wydechowego. Wyznaczenie dróg zadymionych jest możliwe z wykorzystaniem pokazanych algorytmów i programów. Zadymienie występuje tylko w podsieci jednego szybu.

#### 4.3. Sieć z zależnym prądem powietrza w strefie zużytej pomiędzy podsieciami wentylatorów głównych – przykład 3

Sieć pokazana na rys. 3 (przykład 3) została utworzona z sieci z rys. 2 przez dodanie bocznicy 12 11 (wg numerów węzłów). Bocznica ta stanowi połączenie strefy zużytej podsieci wentylatora I ze strefą zużytą w podsieci wentylatora II. Takie połączenia występują w niektórych kopalniach węgla i rud i wynikają ze względów technologicznych, na przykład dla lokalizacji rurociągów odmetanowania, podsadzkowych, transportu materiałów, ruchu załogi itp. Połączenia takie mogą być także wykorzystywane dla celów wentylacyjnych. Dotyczyć to może odpowiedniego wykorzystania wentylatorów głównych zabudowanych przy szybach I i II. Zauważa się, że w trakcie modernizacji sieci, łączenia lub likwidacji niektórych części kopalni występują okoliczności sprzyjające powstawaniu przedmiotowych połączeń. Takie prądy są prądami zależnymi występującymi w strefie zużytej pomiędzy podsieciami wentylatorów głównych.

Tablica 3

##### Wyciąg z tablicy dostępności i osiągalności dla sieci z rys. 3

1:	2(1) 3(1) 4(2) 5(1) 6(3) 7(2) 8(4) 9(6) 10(10) 11(14) 12(4) 13(5) 14(9) 15(14) 16(14) 21(1) 22(1) 23(1) 24(2) 25(2) 26(2) 27(2) 20(28)
6:	11(1) 12(1) 13(1) 14(2) 15(3) 16(3) 20(4)
12:	11(1) 13(1) 14(2) 15(3) 16(3) 20(4)
13:	14(1) 15(2) 16(2) 20(2)
8:	9(1) 10(2) 11(2) 20(2)
9:	10(1) 11(1) 20(1)

Dane ogólne o sieci z rys. 3 (przykład 3) są następujące:

- liczba bocznic:  $m = 35$ ,
- liczba węzłów:  $n = 24$ ,
- liczba cyklomatyczna:  $\nu = 12$ .

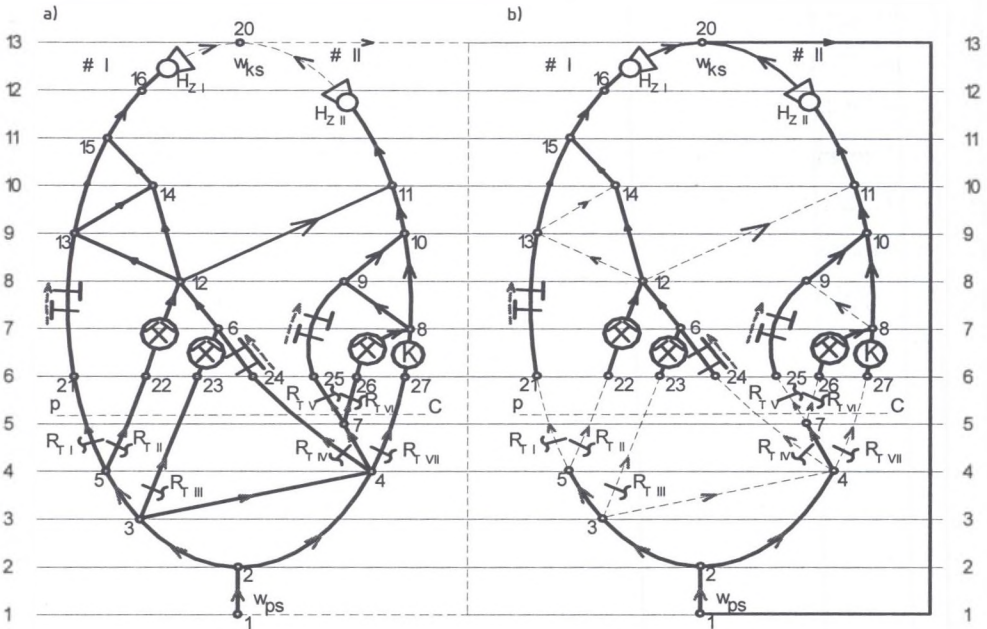
Do przekroju całkowitego  $P - C$  w tym przykładzie (rys. 3) zaliczono te same bocznicę co w przykładach 1 i 2. Liczba tych bocznic wynosi  $l_{pc} = 7$ . Jak widać w tym przykładzie, w strefie prądów świeżych oprócz węzłów typu  $r$  występuje również węzeł typu  $m$  (mogą także występować węzły typu  $l$ ). To już świadczy o istnieniu prądów zależnych w tej strefie. W strefie prądów zużytych oprócz węzłów typu  $l$  występują również węzły typu  $m$  (mogą

występować również węzły typu  $r$ ). To także świadczy o istnieniu prądów zależnych w tej strefie.

Słuszna jest również następująca prawidłowość:

$$osg(w_{ps}, w_{ks}) > v > l_{pc} \quad (10)$$

W tabelicy 3 zestawiono uproszczony wyciąg z macierzy dostępności i osiągalności utworzonej dla tej sieci (rys. 3). Podkreślić należy różnice występujące w tych macierzach w porównaniu z przykładem 2. Osiągalność od węzła początkowego sieci  $w_{ps} = 1$  do węzła końcowego sieci  $w_{ks} = 20$  wzrosła do  $osg(1, 20) = 28$  (tabl. 3). Liczby dróg od węzła 1 do węzłów bocznic odbiorów 21 ÷ 27 nie zmieniły się. Jak należało przypuszczać, istotne zmiany wystąpiły w strefie zużytej.



Rys. 3. Przykład sieci z dwoma wentylatorami głównymi, z prądami zależnymi oraz z zależnym prądem pomiędzy podsieciami (a), drzewo i antydrzewo po zaliczeniu bocznic odbiorów i prądów zależnych do antydrzewa (b)

Fig. 3. An example of a network with two main fans, dependent currents and with dependent current between subnetworks (a), tree and antitree after inclusion of reception ventilation ducts and dependent currents into antitree (b)

Z tabelicy 3 wynika, że od węzłów końcowych 6 i 12 bocznic odbiorów w podsieci szybu I, oprócz dróg do wentylatora przy tym szybie (do węzła 16), występuje także droga do węzła 11, tzn. do wentylatora przy szybie II. W wierszu 6 tabl. 3 osiągalność wynosi  $osg(6, 11) = 1$ , w wierszu 12 osiągalność przyjmuje wartość  $osg(12, 11) = 1$ . Taki zapis świadczy, że w strefie zużytej występuje zależny prąd powietrza pomiędzy podsieciami wentylatorów

głównych. Droga od węzła 6 do węzła 11 jest następująca (wg numerów węzłów): 6 12 11. Wyznaczenie tej drogi także jest możliwe przez odpowiedni podprogram.

Z zapisu w tablicy dostępności i osiągalności jest więc możliwe stwierdzenie i identyfikacja zależnych prądów powietrza w strefie zużytej występujących pomiędzy podsieciami wentylatorów głównych. Taka możliwość stanowi duże ułatwienie w trakcie analiz przeprowadzanych dla dużych sieci.

W sieciach z prądami zależnymi w strefie zużytej, które zawierają również tzw. zależne prądy międzysystemowe (występujące pomiędzy podsieciami wentylatorów głównych), wystąpienie pożaru w wybranej boczniczy przekroju całkowitego  $P - C$  powoduje, że strefa zadymienia może objąć większą liczbę dróg do szybów wydechowych. Informacje o tych drogach do poszczególnych szybów uzyskać można z tablicy dostępności. Liczba dróg, na których wystąpi zadymienie, jest równa osiągalności od węzła końcowego tej wybranej boczniczy do każdego szybu wydechowego. Zadymienie może wystąpić w podsieci kilku szybów.

## 5. Uwagi końcowe, stwierdzenia i wnioski

1. Analizę wybranych właściwości struktury kopalnianej sieci wentylacyjnej przeprowadzono z wykorzystaniem trzech przykładów sieci, w których odpowiednio: nie występują prądy zależne, istnieją takie prądy w strefie świeżej lub zużytej oraz w strefie zużytej występują prądy zależne pomiędzy podsieciami wentylatorów głównych. Przypomniane algorytmy: podziału zbioru węzłów na warstwy, wyznaczania przekroju całkowitego przez sieć, wyznaczania w zbiorze węzłów relacji dostępności i osiągalności są przydatne w metodach analizy struktury sieci.
2. W procesie kierowania przewietrzaniem kopalni podziemnej w stanach normalnych i awaryjnych istotną rolę odgrywa struktura sieci. Prawidłowości widoczne na schematach sieci mogą być wykrywane przez odpowiednie algorytmy. Zwiększa to szybkość i pewność uzyskiwania informacji.
3. Zauważa się, że w sieciach wentylacyjnych kopalń węgla i rud występują przypadki, gdzie oprócz dużej liczby prądów zależnych w strefie świeżej i zużytej występują także w strefie zużytej połączenia pomiędzy podsieciami poszczególnych wentylatorów głównych. Łączenie, likwidacja kopalń lub pól eksploatacyjnych sprzyjają powstawaniu

- takich połączeń „międzysystemowych”. Prądy powietrza płynące tymi połączeniami często są prądami zależnymi pomiędzy podsieciami wentylatorów głównych.
4. Prawidłowości dotyczące przenoszenia zagrożenia w sieci wraz z przepływającym prądem powietrza, na przykład powstawanie strefy zadymienia w czasie pożarów i inne, mogą być wyznaczane i analizowane z wykorzystaniem tablic dostępności i osiągalności.
  5. Przy zagrożeniu powstającym w wybranej boczniczy przekroju całkowitej wielkość strefy zagrożenia w istotny sposób zależy od struktury sieci. W sieciach bez prądów zależnych w strefie zużytej zagrożenie wstępuje wtedy tylko na jednej drodze, w sieciach z prądami zależnymi w tej strefie zagrożenie może objąć większą liczbę dróg. W sieciach z tzw. prądami międzysystemowymi zagrożenie może objąć także większą liczbę dróg położonych również w podsieciach dwóch i więcej wentylatorów głównych.

## LITERATURA

1. Barczyk S.: Odwracanie się głównego prądu powietrza przy pożarach we wznoszącym się prądzie. Teoria wypływów bocznych. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa. T II, z. 4 PWN, Warszawa 1954.
2. Bystron H.: Parametryczny sposób regulacji sieci wentylacyjnej. Przegląd Górniczy 1955/12, s. 436-449.
3. Kolarczyk M.: Wpływ struktury kopalnianej sieci wentylacyjnej na wrażliwości prądów powietrza przy zmianach oporów bocznic. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo, z. 214, Gliwice 1993, s. 202.
4. Kolarczyk M.: Determination of zones of hazards transferred by air currents in a mine ventilation network – algorithms making use of accessibility and attainability. Proceedings 29<sup>th</sup> International Conference of Safety in Mines Research Institutes. V. 1 s. 151–156, Katowice – Szczyrk, X 2001.
5. Kolarczyk M.: Uwagi o gospodarce powietrzem w podziemnej kopalni węgla w okresie restrukturyzacji. Materiały seminarium naukowo - technicznego na temat: “Wybrane aspekty profilaktyki pożarowej w kopalniach - teoria i praktyka”. XVII DNI ROW’2000. Rybnik - Chwałowice. Wyd. IEZ Pol. Śl., Gliwice 2000, s. 77-88.
6. Korzan B.: Elementy teorii grafów i sieci. WNT, Warszawa 1978.
7. Kulikowski J. L.: Zarys teorii grafów. PWN, Warszawa 1986.
8. Madeja – Strumińska B., Strumiński A.: Optymalizacja wymuszonych rozptyłów powietrza w warunkach skrzepowanych oraz ocena wybranych zagrożeń w kopalnianych podziemnych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2004, s. 111.
9. Miękus, J.: Jednoznaczny schemat kanoniczny sieci wentylacyjnej jako graf uporządkowany. Pr. Nauk. Inst. Górn. Pol. Wrocł. Nr 26 Studia i Materiały nr 13, Wrocław 1978.
10. Strumiński A.: Zwalczanie pożarów w kopalniach podziemnych. „Śląsk”, Katowice 1996.