

Dariusz MUSIOŁ  
Politechnika Śląska, Gliwice

## ZMIANY STRUKTUR SIECI WENTYLACYJNYCH W RESTRUKTURYZOWANYCH KOPALNIACH WĘGLA KAMIENNEGO

**Streszczenie.** W artykule został przedstawiony proces restrukturyzacji dotyczący w szczególności struktur sieci wentylacyjnych kopalń węgla kamiennego. Proces ten związany był przede wszystkim z upraszczaniem struktur sieci wentylacyjnych przez likwidację zbędnych wyrobisk górniczych. Ocena zmian wielkości i złożoności sieci wentylacyjnych została przedstawiona na przykładzie dwóch restrukturyzowanych kopalń węgla kamiennego, z których jedna w końcowej fazie restrukturyzacji została zlikwidowana, druga natomiast, po włączeniu jej wcześniej do sieci wentylacyjnej kopalni sąsiedniej, została uproszczona do minimum.

## CHANGES INTO STRUCTURES OF VENTILATION NETS IN COAL MINES UNDER RESTRUCTURE PROCESS

**Summary.** With particular consideration of structures of ventilation nets in coal mines, restructure process has been presented in the article. First of all, this process has been connected with simplification of ventilation nets by abandoning useless excavations. Basing on two coal mines - being under restructure process (one of them is after final stage of the process and it is completely abandoned, and the second one has been reduced to minimum after connection with operating mine) - evaluation of changes into dimension and complexity of the nets has been given.

### 1. Wprowadzenie

W ostatnich kilkunastu latach w polskim górnictwie węgla kamiennego dokonały się znaczące zmiany restrukturyzacyjne. Zmiany te wpłynęły przede wszystkim na wzrost koncentracji produkcji. Jednym z elementów restrukturyzacji było stopniowe zmniejszanie liczby wyrobisk i tym samym upraszczanie struktury sieci wentylacyjnej przy jednoczesnym

utrzymaniu ustabilizowanej struktury zasadniczej. Wśród likwidowanych wyrobisk znaczną większość stanowiły wyrobiska eksploatacyjne, gdzie przed restrukturyzacją ich liczba przypadająca średnio na jedną kopalnię wynosiła  $6 \div 10$ , natomiast po przeprowadzonej restrukturyzacji zmalała do  $3 \div 4$ . Równocześnie zmniejszyła się także liczba wyrobisk udostępniających i przygotowawczych.

W związku z tymi zmianami znacznie zmniejszyły się średnie długości wyrobisk dołowych przypadających na jedną kopalnię z około 145 km do około 114 km.

Zmniejszenie liczby ścian eksploatacyjnych lub nawet całych rejonów wentylacyjnych w kopalniach spowodowało wystąpienie nadmiaru ilości powietrza w sieciach wentylacyjnych w stosunku do aktualnych potrzeb. Konieczna była regulacja ilości powietrza doprowadzanego do kopalń w celu obniżenia kosztów przewietrzania. Po ograniczeniu ilości doprowadzanego powietrza średni jego strumień zmniejszył się z około  $25.300 \text{ m}^3/\text{min}$  do około  $21.400 \text{ m}^3/\text{min}$ . Redukcje te dotyczyły okresu 4 lat najintensywniejszej restrukturyzacji mającej miejsce w latach  $1996 \div 2000$  [16]. W późniejszych latach zmiany te były już znacznie bardziej ograniczone.

Wynikiem restrukturyzacji było również, obok upraszczania struktur sieci wentylacyjnych pojedynczych kopalń, łączenie sieci wentylacyjnych oddzielnych kopalń w jedną z równoczesnym ich upraszczaniem. Jeszcze innym wynikiem restrukturyzacji było stopniowe upraszczanie struktury kopalni aż do całkowitej jej likwidacji z pozostawieniem jedynie wyrobisk niezbędnych do utrzymania procesu pompowania wód dołowych w celu niedopuszczenia do zalania kopalń sąsiadujących.

W związku z tymi zmianami wielkość struktur sieci wentylacyjnych kopalń bardzo szybko malała w miarę likwidacji kolejnych wyrobisk, natomiast złożoność struktur sieci nie zawsze zmniejszała się wraz z upraszczaniem ich struktur.

## **2. Charakterystyka systemu i systemu wentylacyjnego kopalni**

Przez określenie system należy rozumieć określony zbiór elementów oraz relacji systemotwórczych zachodzących między tymi elementami, stanowiący pewną funkcjonalną całość [4, 5].

Element w systemie jest to pewien składnik, który pełni w nim właściwą jedynie jemu funkcję. Element ten traktowany jest jako niepodzielny z punktu widzenia funkcjonalności.

Stosunki pomiędzy poszczególnymi elementami systemu są relacjami systemotwórczymi. Dzięki tym relacjom całość ma właściwości, których nie wykazują jej części. Elementy, które są składnikami systemu, mogą być elementami konkretnymi, fizycznymi – mówi się wtedy o systemie rzeczywistym, fizycznym, lub konstrukcjami myślowymi – jest to tzw. system abstrakcyjny.

Elementy systemu można opisać za pomocą cech, które przedstawiają rozmaite właściwości systemu w zależności od czasu. Zestaw cech konkretnego elementu systemu w danej chwili „t” opisuje wyróżniony stan elementu w danej chwili. Zestaw cech elementów opisuje także stan systemu w danym czasie w sposób pośredni [4].

Wiele systemów stanowi systemy sterowane [12]. Sterowanie w tym systemie można osiągnąć przez odpowiednie ukształtowanie wielkości wejściowych, sterujących, przez które system spełnia swoje funkcje.

W przypadku kopalń system wentylacyjny jest zbiorem wyrobisk górniczych, przez które przepływa odpowiednia ilość powietrza świeżego i zużytego dopływającego i odpływającego do i z miejsc pracy. Nazwą „miejsce pracy” przyjęto określać obiekt przewietrzania. Są nimi najczęściej przodki wybierkowe i przygotowawcze, będące głównymi miejscami pracy górników. Obiektami przewietrzania są także różnorodne komory funkcyjne, składy, a nawet miejsca o zwiększonym zagrożeniu gazowym (wydzielanie metanu ze szczeliny, tamy pożarowe itp.). Nie zawsze więc obiekt przewietrzania zawiera stanowisko pracy górnika [13].

Długoletnia praktyka przewietrzania kopalni wykazała, że do obiektów przewietrzania powietrze powinno być doprowadzane w postaci tzw. prądów niezależnych. Wszystkie prądy niezależne, które przepływają przez obiekty przewietrzania, można przedstawić w formie jednego przekroju przez sieć tzw. przekroju całkowitego [6, 7].

Każdy system znajduje się w pewnym otoczeniu. Otoczenie systemu to zbiór wszystkich elementów nienależących do systemu, a mogących oddziaływać na system i odwrotnie, ulegających zmianie pod wpływem działania systemu.

Wszystkie obiekty przewietrzania można określić jako zbiór wyjść systemu wentylacyjnego, które oddziałują na otoczenie systemu za pośrednictwem określonych wielkości fizycznych, takich jak: temperatura, wydatek powietrza, stężenie gazu itp. Wejściami systemu wentylacyjnego są źródła ruchu powietrza zapewniające pożądane natężenie przepływu powietrza, urządzenia sterujące rozplywem powietrza w sieci wentylacyjnej (tamy regulacyjne, wentylatory pomocnicze), a także elementy zakłócające przepływ powietrza przez sieć, za których pośrednictwem otoczenie oddziałuje na system.

Otoczeniem systemu wentylacyjnego kopalni podziemnej jest przede wszystkim atmosfera ziemiska, która dostarcza świeże powietrze do wyrobisk podziemnych i obiektów przewietrzania. Do elementów otoczenia systemu wentylacyjnego można zaliczyć również górotwór, z którego do powietrza płynącego wyrobiskami dopływają gazy, wilgoć i ciepło. Jest on więc elementem niekorzystnym, pogarszającym jakość powietrza dopływającego do miejsc jego użytkowania.

Otoczenie można podzielić, ze względu na zakres wpływu na system, na otoczenie bliższe, którego nie można pominąć, oraz otoczenie dalsze, którego wpływ jest pomijalny.

Przejawem oddziaływania otoczenia bliskiego na system wentylacyjny jest dopływ powietrza z atmosfery do wyrobisk kopalnianych, w wyniku różnicy ciśnienia wytwarzanej przez wentylatory głównego przewietrzania oraz maszyny i urządzenia wykorzystywane w procesie produkcji, powodujące często uszkodzenia tam wentylacyjnych oddziałujących bezpośrednio na proces wentylacji w kopalni.

Otoczenie dalsze może wpływać na system w sposób niekontrolowany, utrudniając sterowanie nim. Te niekontrolowane wielkości zaliczone do wejść systemu są jego zakłóceniami [12]. Ich cechą jest losowy charakter oddziaływania i niemierzalność. Działanie zakłóceń ujawnia się przez wpływ na wielkości wyjściowe.

Jeśli odchylenia stanu wyjściowego od pożądanej normy funkcjonowania systemu wentylacyjnego przekraczają dopuszczalne granice, musi nastąpić działanie korygujące. Jest nim regulacja przeprowadzana za pomocą regulatorów, którymi są najczęściej tamy regulacyjne o zmiennym oporze aerodynamicznym, a rzadziej wentylatory pomocnicze o zmiennym spiętrzeniu. Regulacja jest więc czynnością polegającą na doprowadzeniu stanu wyjściowego systemu do pożądanej normy. Jeśli norma stanu wyjściowego jest wielkością zmieniającą się lub wielkością, od której zależy realizacja określonego celu systemu, to wówczas zamiast regulacji mamy do czynienia ze sterowaniem [11]. Polega ono już nie tyle na doprowadzeniu stanu wyjściowego do pożądanej normy, ile na ciągłym utrzymywaniu tego stanu na poziomie normy (z uwzględnieniem odchyłeń w dopuszczalnych granicach). Sterowanie jest więc ciągłym stosowaniem regulacji w sposób programowy, bo musi istnieć określony program sterowania [11].

W systemie wentylacyjnym kopalni podziemnej stosuje się przede wszystkim regulację.

Formalnie system wentylacyjny  $S$  można zapisać jako zbiór elementów lub obiektów powiązanych w całość relacjami między nimi:

$$S = \langle U, \{R\}, Y \rangle, \quad (1)$$

gdzie:

U – zbiór wyróżnionych elementów wejścia,

Y – zbiór wyróżnionych elementów wyjścia,

R – relacja systemotwórcza na zbiorach U, Y.

Według Mesarowica [10] relacje między elementami U i Y dowolnego systemu można przedstawić w postaci opisu wejście-wyjście (WE-WY) lub w postaci opisu teleologicznego.

W opisie WE-WY określa się zależności pomiędzy elementami wejścia i wyjścia za pomocą układu równości różniczkowych lub algebraicznych, które najczęściej się linearyzuje.

Sieć wentylacyjną odwzorować można w postaci grafu zorientowanego:

$$G = \langle X, U, \bar{P} \rangle, \quad (2)$$

gdzie:

X – zbiór węzłów,

U – zbiór krawędzi zorientowanych (łuków),

$\bar{P}$  – relacja trójczłonowa  $\bar{P} \in X \times U \times X$ .

Oznaczając przez „n” liczbę wierzchołków grafu, a przez „m” liczbę krawędzi zorientowanych, można zapisać liczbę cyklomatyczną grafu w postaci związku znanego w teorii grafów:

$$v = m - n + 1, \quad (3)$$

Liczba cyklomatyczna określa liczbę wszystkich cykli niezależnych w sieci wentylacyjnej. Spośród tych cykli większość stanowią tzw. cykle niezależne zewnętrzne zawierające zawsze węzeł początkowy (wlotowy) i końcowy (wylotowy) w sieci zamkniętej odwzorowanej grafem cyklicznym.

Konstruując dla sieci wentylacyjnej tzw. przekrój całkowity [7], znaleźć można maksymalną liczbę  $v_z$  cykli niezależnych zewnętrznych zawierających wszystkie odbiory (obiekty) powietrza. Liczba ta może być miarą wielkości sieci wentylacyjnej.

Do oceny struktur sieci wentylacyjnych wykorzystać można również miarę złożoności  $\sigma$  [13] określoną wzorem:

$$\sigma = \frac{n - 2}{2 \cdot v - 4}, \quad (4)$$

Według propozycji J. Sułkowskiego, sieci wentylacyjne można podzielić na klasy o różnej złożoności struktury:

- I) sieci o strukturze bardzo prostej, gdy  $0 < \sigma \leq 0,25$ ,
- II) sieci o strukturze prostej, gdy  $0,25 < \sigma \leq 0,50$ ,
- III) sieci o strukturze złożonej, gdy  $0,50 < \sigma \leq 0,75$ ,
- IV) sieci o strukturze bardzo złożonej, gdy  $0,75 < \sigma \leq 1,00$ .

Niezależnie od sposobu opisu systemu wentylacyjnego, istotnym problemem jest zdefiniowanie relacji systemotwórczych. Relacje te realizowane są w systemie przez sieć wentylacyjną. Sieć wentylacyjna jest więc osnową systemu wentylacyjnego kopalni [13].

### 3. Zmiany w strukturze sieci wentylacyjnej kopalni

Czas istnienia kopalni można podzielić na trzy główne okresy. Pierwszy okres to budowa kopalni. W czasie trwania tego okresu (od 5 do 10 lat) mogą wystąpić bardzo duże zmiany w zasadniczej strukturze sieci wyrobisk.

Roboty górnicze prowadzone są, począwszy od głównych wyrobisk udostępniających pokłady węgla, poprzez wyrobiska rozcinające pokłady na pola eksploatacyjne, a skończywszy na wyrobiskach eksploatacyjnych. W okresie tym wzrastają ciągle możliwości wydobywania i zwiększa się efektywność eksploatacji.

Po osiągnięciu pełnego zaplanowanego wydobywania kopalnia wkracza w drugi, umowny okres – maksymalnego wydobywania. W okresie tym początkowo nie prowadzi się prac wpływających znacznie na zmiany w zasadniczej strukturze sieci wentylacyjnej. Jednak wskutek zmiennej długości dróg wentylacyjnych, szczególnie w kopalniach o dużej koncentracji i intensyfikacji wydobywania, zmieniają się znacznie opory bocznic sieci – co wpływa znacznie na wartość potrzebnego spiętrzenia wentylatora. Już na etapie projektowania kopalni prowadzone są obliczenia, których celem jest wyodrębnienie zbioru pożądanego punktu pracy wentylatorów głównych w całym okresie istnienia kopalni. Stwarza to teoretycznie warunki prawidłowego przewietrzania w całym okresie istnienia kopalni.

W miarę wyczerpywania się zasobów w udostępnionych polach eksploatacyjnych następuje zejście na większą głębokość, dołączenie do obszaru górniczego kopalni



rezerwowych pól eksploatacyjnych, eksploataowanie filarów ochronnych. Wydłużają się przez to znacznie drogi prowadzenia powietrza i sieć wentylacyjna może znacznie odbiegać od pierwotnie założonej, dla której zaprojektowane zostały główne urządzenia wentylacyjne.

Czynniki te wpływają na poszukiwanie przez kopalnie sposobów uproszczenia struktury sieci wentylacyjnej przez likwidację zbędnych wyrobisk kopalnianych, a przez to minimalizację ilości powietrza potrzebnego do ich przewietrzenia, zmniejszenia spiętrzenia wentylatorów głównych, zmniejszenia ucieczek powietrza, wymianę głównych urządzeń wentylacyjnych na urządzenia o większych możliwościach wentylacyjnych.

Często jednak zdarza się, że nawet wymiana głównych urządzeń wentylacyjnych na nowe, bardziej sprawne, o lepszych parametrach wentylacyjnych nie zwiększa możliwości wentylacyjnych systemu. Wymiana ta nie wpływa w sposób dostateczny na poprawę funkcjonowania systemu wentylacyjnego, utrzymanie jego stabilności i dostatecznie dużej rezerwy wentylacyjnej. Z sytuacją taką mamy do czynienia przeważnie w kopalniach starszych, o małych przekrojach poprzecznych wyrobisk i dużych ich oporach, co nawet przy nowych urządzeniach głównego przewietrzenia nie stwarza możliwości przepływu przez wyrobiska większych ilości powietrza. Jedynym sposobem w takim przypadku jest znaczne uproszczenie sieci wentylacyjnej kopalni przez likwidację wszystkich zbędnych wyrobisk górniczych łącznie z szybami, które nie spełniają już swej roli, szczególnie w kopalniach zespolonych.

Trzecim, umownym okresem czasu istnienia kopalni jest okres jej likwidacji, w którym następuje likwidacja całych partii struktury podziemnej kopalni łącznie z wyrobiskami podszybi i szybami. Proces likwidacji jest bardzo złożony, przez co również niemożliwy do przeprowadzenia w krótkim okresie czasu. Rozpoczyna się od likwidacji zbędnych wyrobisk oraz rejonów, w których eksploatacja węgla została zakończona. Likwidowane są następnie kolejne wyrobiska, rejony, a także szyby peryferyjne, które stają się zbędne przy przewietrzaniu pozostałych wyrobisk. Na dole pozostają jedynie wyrobiska i komory funkcyjne niezbędne do odprowadzenia wody oraz gazów wypływających z otamowanych przestrzeni. Czas utrzymywania tych wyrobisk może być bardzo długi. Jest on związany z koniecznością odprowadzania wody jako potencjalnego zagrożenia dla kopalń sąsiadujących z likwidowanym zakładem. Ostatnim etapem w długotrwałym okresie zamykania zakładu górniczego jest likwidacja szybów głównych.

Obok zmian struktury sieci wentylacyjnej związanych z działalnością wydobywczą kopalni, występują także zmiany spowodowane awariami. Przyczyną zmiany struktury sieci może być na przykład utworzenie pola pożarowego, co pociąga za sobą konieczność

odizolowania niekiedy nawet znacznej części kopalni z dużą liczbą bocznic sieci. Zmienia się przez to nie tylko sieć wentylacyjna, ale także cały system wentylacyjny, do którego należą wszystkie urządzenia wentylacyjne.

Zmiany w strukturze sieci mogą spowodować tapnięcia i zawały niszczące na stałe lub na okres usunięcia zawału ważne bocznicie sieci wentylacyjnej. Niejednokrotnie trwałe zniszczenie ważnej drogi wentylacyjnej lub transportowej zmusza kopalnię do wykonania innej drogi, która trwałe zmienia strukturę sieci.

#### **4. System wentylacyjny kopalni restrukturyzowanej**

Prowadzona od 1989 r. restrukturyzacja górnictwa węgla kamiennego obejmuje zmiany organizacyjne, ekonomiczne i techniczne w kopalniach w celu obniżenia kosztów produkcji węgla i poprawy jego jakości dla sprostania konkurencyjności na rynku krajowym i rynkach zagranicznych.

Techniczna restrukturyzacja kopalń sprawia, że procesy przekształcania lub likwidacji struktur ich sieci wentylacyjnych uległy ogromnemu przyspieszeniu. Powstał problem racjonalizacji przewietrzania kopalń w procesie ich technicznej restrukturyzacji [9]. W ramach obniżania kosztów wydobycia kopalnie starają się również zmniejszyć koszty przewietrzania. Istotnym elementem kosztów przewietrzania jest koszt zużywanej energii elektrycznej, gdyż w ogólnym bilansie energii zużywanej przez kopalnię energia na przewietrzanie stanowi około 17%.

Zmniejszenie liczby ścian eksploatacyjnych w kopalniach węgla i likwidacja związanych z nimi rejonów wentylacyjnych spowodował, wystąpienie w kopalniach nadmiaru ilości powietrza w stosunku do aktualnych potrzeb. Likwidacja ścian w wielu kopalniach spowodowała konieczność likwidacji również poziomów wydobywczych i wentylacyjnych, a nawet szybów.

Jeszcze inna grupa kopalń po likwidacji części pól eksploatacyjnych i wielu wyrobisk została połączona z sąsiednimi kopalniami lub proces ten trwa.

Przyjęto więc [9] wyróżniać obecnie cztery grupy kopalń:

- a) przeznaczone do likwidacji,
- b) przewidziane do połączenia z kopalnią sąsiednią,
- c) o ustabilizowanej strukturze zasadniczej,
- d) rozwojowe.



W kopalniach przeznaczonych do likwidacji następuje bardzo szybkie likwidowanie rejonów, poziomów i większości szybów. Ze względu na potrzebę pompowania wody pozostawia się dwa szyby wraz z komorą pomp i łączącymi je wyrobiskami lub tylko jeden szyb z automatycznymi pompami głębinowymi. Struktura sieci wentylacyjnej kopalni likwidowanej ulega więc szybkim zmianom, stwarzając stany coraz bardziej uproszczone. Sukcesywnie zmniejsza się zapotrzebowanie ilości powietrza do przewietrzania wyrobisk. Podstawowym problemem w tych kopalniach jest więc dostosowanie pracy wentylatorów głównych do zmieniających się warunków wentylacyjnych.

Przykładowo, prześledzić można likwidację KWK „Dębieńsko” [3] rozpoczętą 1.07.2000 r. i planowaną do zakończenia w dniu 30.09.2001 r. (wydobycie węgla zakończono już w dniu 31.10.2000 r.).

Kopalnia „Dębieńsko” posiadała 6 czynnych poziomów (w tym 3 wydobywcze) i 5 szybów. W 1999 r. czynne były jeszcze 4 ściany z wydobywaniem dobowym około 6000 Mg. Całkowita ilość powietrza wypływającego dwoma szybami wydechowymi V i VIN wynosiła około 15000 m<sup>3</sup>/min, a łącznie ze stratami zewnętrznymi 16500 m<sup>3</sup>/min.

Likwidację kopalni podzielono na cztery etapy:

- etap I, odpowiadający strukturze sieci wentylacyjnej w chwili podjęcia decyzji o likwidacji,
- etap II obejmujący wyłączenie wentylacyjne szybu VIN (jednego z dwóch szybów wentylacyjnych) i pozostawienie dwóch czynnych ścian,
- etap III obejmujący likwidację całej podsieci związanej z szybem VIN (25 km wyrobisk),
- etap IV obejmujący likwidację pozostałych dwóch ścian i związanych z nimi wyrobisk, likwidację większości wyrobisk przyszybowych (34 km) oraz zmianę funkcji pozostawionych dwóch szybów.

W etapie II ilość powietrza płynącego przez wentylator główny przy pozostawionym szybie V wynosiła 9900 m<sup>3</sup>/min, ale straty wewnętrzne oceniono jako równe 5800 m<sup>3</sup>/min. Otwór równoznaczny sieci wentylacyjnej wynosił 4,2 m<sup>2</sup>.

W etapie III ilość powietrza płynącego wentylatorem przy szybie V zmniejszyła się nieznacznie, bo do wartości 9100 m<sup>3</sup>/min, ale otwór równoznaczny sieci wentylacyjnej zmniejszył się do 3,6 m<sup>2</sup>.

W etapie IV nastąpiła likwidacja większości wyrobisk. Gdy sieć wentylacyjna została maksymalnie uproszczona, a ilości powietrza potrzebnego do przewietrzania wyrobisk ustalone zostały na poziomie 1300÷1500 m<sup>3</sup>/min, możliwe było zastosowanie wentylatorów lutniowych w miejsce dotychczasowych wentylatorów głównych.

Widać więc, że brak możliwości regulacji parametrów pracy wentylatora przy szybie V nie pozwolił w okresie obejmującym etapy wcześniejsze zmniejszyć kosztów energetycznych przewietrzania.

Struktura sieci wentylacyjnych kopalń przeznaczonych do połączenia z kopalniami sąsiednimi zostaje zmieniona w związku z zaistniałym połączeniem. Przy łączeniu kopalń następować musi likwidacja zbędnych rejonów eksploatacyjnych, poziomów i szybów, ale połączenie wymaga również wykonania nowych wyrobisk. W efekcie struktura sieci wentylacyjnej w stworzonym nowym systemie wentylacyjnym nie będzie sumą struktur poprzednich.

Tego typu zmiany w sieciach wentylacyjnych następowały przy łączeniu kopalń „Polska” i „Nowy Wirek”, „Pokój” i „Wawel”, „Marcel” i „1 Maja”, „Jastrzębie” i „Moszczenica” i innych.

Przykładowo przedsięwzięć można uproszczenie struktury sieci wentylacyjnej KWK „Pokój” [1], która następowała już po wcześniejszym połączeniu kopalni „Pokój” i „Wawel” w jedną kopalnię „Pokój” z rejonem „Wawel”.

Zasoby w rejonie „Wawel” stopniowo się zmniejszały i w pewnym okresie pozostała czynna już jedna ściana na poziomie 800 m w tym rejonie. Potrzeby ilości powietrza w tym rejonie zmniejszały się więc znacznie. W końcu w planie restrukturyzacji KWK „Pokój” ujęto również likwidację szybu „Południowego” – jednego z dwóch (obok szybu „Klary”) szybów wentylacyjnych w rejonie „Wawel”.

Wentylator WOK-8pz z szybu „Południowy” uzyskał parametry:  $\Delta p_e = 2000$  Pa,  $\dot{V} = 6200$  m<sup>3</sup>/min przy nieznacznym (ok. 100 Pa) przydławieniu przepływu w kanale wentylacyjnym. Szybem „Południowy” z dołu kopalni płynęło około 5600 m<sup>3</sup>/min powietrza zużytego. Przy drugim szybie wentylacyjnym „Klara” wentylator WOK-4d uzyskiwał parametry:  $\Delta p = 900$  Pa,  $\dot{V} = 4400$  m<sup>3</sup>/min. Z dołu kopalni płynęło około 3800 m<sup>3</sup>/min powietrza zużytego.

Rekonstrukcja (przebudowa) sieci wentylacyjnej rejonu „Wawel” podzielona została na następujące etapy:

- Etap I, stan początkowy z czynnymi rejonami eksploatacyjnymi w pokładzie 510 na poz. 800 m i na poz. 450 m oraz wszystkimi komorami funkcyjnymi na poz. 450 m, 620 m i 800 m.
- Etap II, związany z likwidacją części wyrobisk na poziomach 620 m i 800 m, w tym Szybika S-4; rejon eksploatacyjny w pokładzie 510 na poz. 800 m pozostał czynny.

- Etap III, związany z likwidacją większości wyrobisk na poziomach 620 m i 800 m, w tym likwidacji rejonu wydobywczego w pokładzie 510 i likwidacją większości komór funkcyjnych na poziomach 620 m i 800 m.
- Etap IV, związany z likwidacją szybu „Południowego” i przyległych wyrobisk, lecz z pozostawieniem na poz. 620 m komory pomp, rozdzielni elektrycznych.

Po przebudowie rejonu „Wawel” pozostały w nim szyb wdechowy „Mikołaj” i szyb wentylacyjny „Klara” wraz z czynnym eksploatacyjnie poziomem 450 m. Na głębszych poziomach 620 m i 800 m pozostały wyrobiska związane z odprowadzeniem wody do sąsiedniej kopalni „Bielszowice”.

Po wyłączeniu szybu „Południowy” z sieci wentylacyjnej KWK „Pokój” całkowita ilość powietrza płynącego przez kopalnię zmniejszyła się z około 32000 m<sup>3</sup>/min do około 26000 m<sup>3</sup>/min. Straty powietrza między prądami grupowego powietrza oceniono na około 44 %.

Grupa kopalń, scharakteryzowana jako kopalnie o ustabilizowanej strukturze zasadniczej, miałyby systemy wentylacyjne niepodlegające zbyt dużym zmianom. Zachowane zostają bowiem szyby, podstawowe poziomy, główne wyrobiska rozcinkowe. Zmiany obejmują likwidację mniej efektywnych pól wydobywczych i likwidację zbędnych wyrobisk. Restrukturyzacja techniczna tych kopalń wiąże się przede wszystkim z koncentracją wydobycia [8].

Problem koncentracji wydobycia wystąpił po raz pierwszy latach 60. Już wówczas analizowano też, jakie on przyniesie skutki dla warunków przewietrzania kopalń [2]. Koncentrację produkcji uważa się obecnie jako szansę na obniżenie kosztu pozyskiwania kopaliny [8].

Prof. A. Lisowski zwraca przy tym uwagę, że „wzrost koncentracji produkcji w przodkach eksploatacyjnych nie jest celem samoistnym i że nie chodzi tu o samą efektywność przodków. Podstawowym celem jest zmniejszenie liczby prowadzonych i utrzymywanych wyrobisk, liczby eksploatowanych punktów załadowczych, poziomów i szybów – a więc uproszczenie struktury kopalń i osiągnięcie tym samym efektu zwielokrotnionego – w postaci znacząco obniżonego, całkowitego kosztu produkcji” [8].

Wraz z uproszczeniem struktury kopalni następuje uproszczenie jej sieci wentylacyjnej. Do tych zmian należy dostosować pracę urządzeń wentylacyjnych, modernizując przede wszystkim stacje wentylatorów głównych, rozwijając systemy monitorowania zagrożeń,

kontroli i sterowania wentylacji kopalni [15]. Energooszczędność kopalni wiąże się z zastosowaniem automatycznej regulacji prędkości obrotowej silników napędowych wentylatorów głównych i ulokowaniem w stacjach wentylatorowych rezerwy powietrza zamiast utrzymywania jej w sieci wentylacyjnej [14].

Wyróżnienie czwartej grupy kopalń, tzw. kopalń rozwojowych, uzasadnione jest [9] budową w nich nowych, głębszych poziomów – z czym wiąże się wzrastanie zagrożeń naturalnych, głównie metanowego i klimatycznego. Walka z zagrożeniami wymaga zaś intensyfikacji przewietrzania. Restrukturyzacja sieci wentylacyjnych kopalń rozwojowych rozszerza się więc o problemy dostarczania większej ilości powietrza do rejonów wentylacyjnych, ograniczania strat wewnętrznych i zewnętrznych powietrza.

Podział kopalń na cztery umowne grupy nie jest wyznacznikiem zasadniczych różnic, które dotyczyłyby zmian struktury sieci wentylacyjnych kopalń. W każdej grupie następuje uproszczenie struktury sieci wentylacyjnej związane z likwidacją nieefektywnych rejonów wydobywczych, likwidacją zbędnych wyrobisk, ograniczeniem strat powietrza, zwiększeniem efektywności pracy stacji wentylatorów głównych, rozwinięciem systemów monitorowania zagrożeń i sterowania rozplływami powietrza w sieci wentylacyjnej.

## **5. Ocena zmian złożoności struktury sieci wentylacyjnej dla przykładowych kopalń**

Przykładami kopalń, w których następowała bardzo silna rekonstrukcja ich sieci wentylacyjnych, są KWK „Dębieńsko” i KWK „Pokój”.

W KWK „Dębieńsko” zmiany sieci wentylacyjnej związane były ze stopniową likwidacją kopalni. W KWK „Pokój” zmiany dotyczyły rejonu „Wawel” włączonego wcześniej do sieci wentylacyjnej KWK „Pokój” po połączeniu KWK „Pokój” i KWK „Wawel” w jedną kopalnię. W rejonie „Wawel” rekonstrukcja jego sieci wentylacyjnej związana była z likwidacją jednego z dwóch szybów wentylacyjnych oraz likwidacją większości wyrobisk na dwóch głębszych poziomach.

W celu zbadania wpływu przeprowadzonej etapami rekonstrukcji wymienionych sieci wentylacyjnych na ich upraszczanie się wykorzystano miarę złożoności struktury sieci  $\sigma$ .

Dla KWK „Dębieńsko” miara złożoności struktury dla kolejnych etapów jej likwidacji przedstawiała się następująco:

$$\text{Etap I} \quad m = 323, n = 205, \quad v = m - n + 1 = 323 - 205 + 1 = 119$$

$$\sigma = \frac{n-2}{2 \cdot v - 4} = \frac{205-2}{2 \cdot 119 - 4} = \mathbf{0,867 - \text{struktura bardzo złożona}}$$

$$\text{Etap II} \quad m = 288, n = 175, \quad v = m - n + 1 = 288 - 175 + 1 = 114$$

$$\sigma = \frac{n-2}{2 \cdot v - 4} = \frac{175-2}{2 \cdot 114 - 4} = \mathbf{0,759 - \text{struktura bardzo złożona}}$$

$$\text{Etap III} \quad m = 238, n = 141, \quad v = m - n + 1 = 238 - 141 + 1 = 98$$

$$\sigma = \frac{n-2}{2 \cdot v - 4} = \frac{141-2}{2 \cdot 98 - 4} = \mathbf{0,724 - \text{struktura złożona}}$$

$$\text{Etap IV} \quad m = 56, n = 36, \quad v = m - n + 1 = 56 - 36 + 1 = 21$$

$$\sigma = \frac{n-2}{2 \cdot v - 4} = \frac{36-2}{2 \cdot 21 - 4} = \mathbf{0,895 - \text{struktura bardzo złożona}}$$

Dla Rejonu „Wawel” w KWK „Pokój” miara złożoności struktury dla kolejnych etapów jej likwidacji przedstawiała się następująco:

$$\text{Etap I} \quad m = 139, n = 82, \quad v = m - n + 1 = 139 - 82 + 1 = 58$$

$$\sigma = \frac{n-2}{2 \cdot v - 4} = \frac{82-2}{2 \cdot 58 - 4} = \mathbf{0,714 - \text{struktura złożona}}$$

$$\text{Etap II} \quad m = 119, n = 65, \quad v = m - n + 1 = 119 - 65 + 1 = 55$$

$$\sigma = \frac{n-2}{2 \cdot v - 4} = \frac{65-2}{2 \cdot 55 - 4} = \mathbf{0,594 - \text{struktura złożona}}$$

$$\text{Etap III} \quad m = 92, n = 42, \quad v = m - n + 1 = 92 - 42 + 1 = 51$$

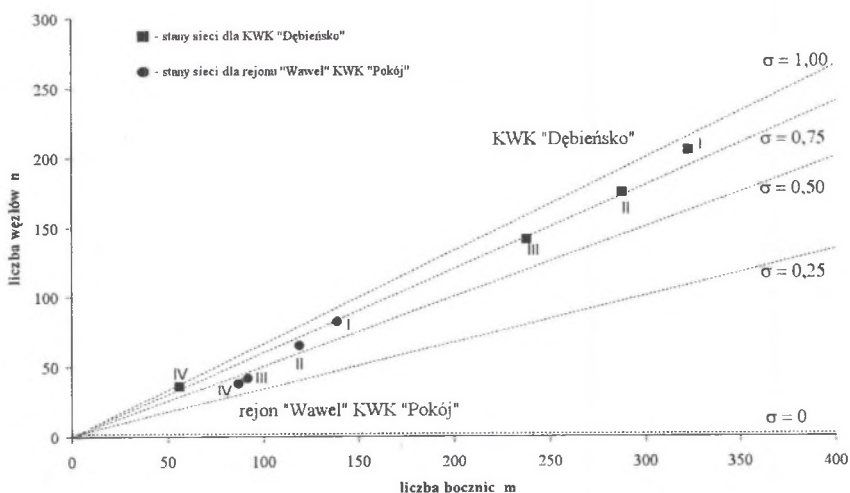
$$\sigma = \frac{n-2}{2 \cdot v - 4} = \frac{42-2}{2 \cdot 51 - 4} = \mathbf{0,408 - \text{struktura prosta}}$$

$$\text{Etap IV} \quad m = 87, n = 38, \quad v = m - n + 1 = 87 - 38 + 1 = 50$$

$$\sigma = \frac{n-2}{2 \cdot v - 4} = \frac{38-2}{2 \cdot 50 - 4} = \mathbf{0,375 - \text{struktura prosta}}$$



Uzyskane z obliczeń wartości  $\sigma$  złożoności struktury sieci naniesione zostały na wykres zależności liczby węzłów od liczby bocznicy dla sieci o różnej złożoności struktury  $\sigma$  [13] (rys. 1). Jak z niego widać, wartości  $\sigma$  złożoności struktury sieci wentylacyjnej KWK „Dębieńsko” odpowiadające trzem pierwszym etapom likwidacji kopalni obniżały się od struktury bardzo złożonej do struktury złożonej. W etapie IV struktura sieci, składająca się jeszcze z bardzo wielu wyrobisk przyszybowych, stała się ponownie bardzo złożona. Natomiast wielkość struktury sieci, której miarą są liczba bocznicy, liczba węzłów oraz liczba cyklomatyczna, bardzo szybko malała w miarę likwidacji wyrobisk.



Rys. 1. Liczby węzłów „n” i bocznicy „m” dla kolejnych stanów sieci o różnej złożoności struktury  $\sigma$  uzyskanych w czasie likwidacji kopalni „Dębieńsko” oraz rejonu „Wawel” KWK „Pokój”

Fig. 1. Number of knots “n” and sidings “m” for following states of a net having different complexity of structure  $\sigma$  which was achieved during abandoning of “Dębieńsko” coal mine and “Wawel” district of “Pokój” coal mine

W przypadku rejonu „Wawel” w KWK „Pokój” złożoność struktury wyraźnie się zmniejszyła, bo aż do struktury prostej. Związane to było z likwidacją wielu krótkich wyrobisk podszybi. Rozmiar struktury sieci wentylacyjnej rejonu „Wawel” dla kolejnych etapów jej przebudowy również szybko się zmniejszał.

## 6. Podsumowanie

Kilkunastoletni okres restrukturyzacji kopalń przyniósł wiele zmian organizacyjnych, ekonomicznych i technicznych w kopalniach. Restrukturyzacja wpłynęła przede wszystkim na wzrost koncentracji produkcji i tym samym zmniejszenie kosztów związanych z eksploatacją węgla kamiennego. Jednym z czynników obniżenia kosztów eksploatacji było ograniczenie kosztów ponoszonych na przewietrzanie kopalń. Wiązało się to przede wszystkim ze zmniejszeniem liczby wyrobisk górniczych, a w szczególności wyrobisk eksploatacyjnych czy nawet całych rejonów wentylacyjnych. Z ograniczeniem tym wiązało się bezpośrednio zmniejszenie niezbędnej ilości powietrza, którą należało doprowadzić do miejsc jego odbioru. Z koniecznością zmniejszenia ilości powietrza wiązała się nie tylko konieczność regulacji samej sieci wentylacyjnej, ale także regulacji wentylatorów głównego przewietrzania, która nie zawsze była ekonomiczna.

W czasie trwania restrukturyzacji przyjęto wyróżniać cztery grupy kopalń; przeznaczone do likwidacji, przewidziane do połączenia z kopalnią sąsiednią, o ustabilizowanej strukturze zasadniczej i rozwojowe. W każdej z grup kopalń restrukturyzacja wiązała się ze zmianami w strukturze sieci wentylacyjnej. Największe zmiany zachodziły jednak w sieciach kopalń likwidowanych i kopalń łączonych z kilku kopalń sąsiadujących.

W przypadku kopalń łączonych zmiana struktury sieci dotyczyła przede wszystkim połączenia sieci wentylacyjnych kopalń w jedną. Najczęściej wielkość struktury sieci zaraz po połączeniu zwiększała się znacznie, powoli zmniejszając się w późniejszym okresie, w czasie sukcesywnej likwidacji zbędnych wyrobisk górniczych. Dostyc często w takim przypadku równocześnie zmniejszała się także złożoność struktury sieci wentylacyjnej.

W przypadku kopalń likwidowanych ciągłemu uproszczeniu podlegała sieć wentylacyjna kopalni do momentu uzyskania struktury, która musiała być utrzymywana ze względu na konieczność pompowania wód dołowych. Wielkość struktury sieci w takim przypadku bardzo szybko malała w miarę likwidacji wyrobisk. Miara złożoności struktury sieci nie zawsze jednak uzyskiwała wielkości mniejsze. W przypadku gdy w zlikwidowanej kopalni pozostała duża ilość wyrobisk w obrębie podszybi, złożoność sieci wentylacyjnej mogła znów wzrosnąć do struktury bardzo złożonej.

## BIBLIOGRAFIA

1. Dokumentacje techniczne dotyczące sieci wentylacyjnych KWK Dębieńsko i KWK Pokój.
2. Frycz A.: Wpływ koncentracji wydobywania na warunki przewietrzania kopalń. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., Seria Górnictwo, z. 34, Gliwice 1968.
3. Gajek M.: Koszty energetyczne przewietrzania KWK „Dębieńsko” w okresie jej likwidacji, Praca Dyplomowa w Pol. Śl., Rybnik 2001.
4. Gutenbaum J.: Modelowanie matematyczne systemów. Instytut Badań Systemowych PAN, Wyd. Omnitech Press, Warszawa 1992.
5. Hall A.D.: Podstawy techniki systemów. Biblioteka Naukowa Inżyniera, Wyd. PWN, Warszawa 1968.
6. Kolarczyk M.: Wpływ struktury kopalnianej sieci wentylacyjnej na wrażliwości prądów powietrza przy zmianach oporów bocznic, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, z. 214, Gliwice 1993.
7. Kolarczyk M.: Wykorzystanie przekroju całkowitego przez sieć wentylacyjną do analizy gospodarki powietrzem w kopalni głębinowej. Materiały Seminarium nt. „Aktualne problemy wentylacji, klimatyzacji i zwalczania pożarów w kopalniach podziemnych”, Ustroń 1995.
8. Lisowski A.: Koncentracja produkcji – trwałą szansą obniżenia kosztów w górnictwie. Przegląd Górniczy nr 2/98, Katowice 1998.
9. Matuszewski K.: Racjonalizacja przewietrzania kopalń w procesie restrukturyzacji górnictwa węglowego. Przegląd Górniczy nr 4/99, Katowice 1999.
10. Mesarovic M.D.: Matematyczna teoria systemów ogólnych. Ogólna teoria systemów pod redakcją G.J. Klira, WNT, Warszawa 1976.
11. Mynarski S.: Elementy teorii systemów i cybernetyki. PWN, Warszawa 1974.
12. Powierża L.: Elementy inżynierii systemów. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1997.
13. Sułkowski J.: Metody odwzorowania i miary struktur kopalnianych sieci wentylacyjnych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej nr 716, Gliwice 1982.
14. Sułkowski J., Szczurek A.: Energooszczędna wentylacja główna kopalni podziemnej. Przegląd Górniczy nr 1/01, Katowice 2001.
15. Wasilewski S.: Perspektywy sterowania wentylacją dla zmniejszenia zużycia energii. Miesięcznik „Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa” nr 9-10/95 (303), Katowice 1995.
16. Zaremba J.: Analiza i ocena wentylacji kopalń węgla kamiennego w procesie restrukturyzacji górnictwa. Materiały Szkoleniowe Miedziowego Centrum Szkolenia Kadr, Szklarska Poręba 1999.

Recenzent: Prof. Ing. Alois Adamus, Ph. D.