

Praca doktorska

**Sposób poprawy rozpływu powietrza
w podsieciach wentylacyjnych
poprzez regulację przewietrzania w prądach
powietrza zużytego**

mgr inż. Andrzej Słowik

Polska Grupa Górnicza S.A. KWK ROW Ruch Jankowice

Promotor:

dr hab. inż. Stanisław Trenczek, prof. ITG KOMAG

SPIS TREŚCI:

Abstract	3
1. Wprowadzenie	5
2. Cel i teza rozprawy	7
3. Przegląd literatury	9
4. Regulacja rozplywu powietrza	14
4.1. Charakterystyka typowej sieci wentylacyjnej kopalni	14
4.2. Regulacja przewietrzania według przepisów	16
4.3. Przykłady regulacji przewietrzania	17
5. Regulacja przewietrzania w prądach wylotowych powietrza zużytego	22
5.1. Pomiary parametrów termodynamicznych powietrza w kopalni – obliczanie sieci wentylacyjnej	22
5.2. Idea regulacji w prądach wylotowych powietrza zużytego	30
5.3. Modelowanie regulacji w wylotowych prądach powietrza zużytego	34
6. Regulacja przewietrzania rejonowych i grupowych prądów powietrza zużytego	41
6.1. Regulacja przewietrzania w grupowych prądach powietrza zużytego	41
6.2. Regulacja przewietrzania w rejonowych prądach powietrza zużytego	53
7. Analiza wyników badań z zastosowaniem regulacji w wylotowych prądach powietrza zużytego	74
7.1. Analiza sposobu regulacji przewietrzania w grupowych prądach powietrza zużytego	74
7.2. Analiza sposobu regulacji przewietrzania w rejonowych prądach powietrza zużytego	79
8. Podsumowanie i wnioski	86
9. Literatura	94

ABSTRACT

The importance of proper control of ventilation in order to achieve the desired effect, i.e. qualitative and quantitative air distribution in the mine's ventilation network is presented at the beginning. It was pointed out that the required (by the regulations in force in the Polish underground mining industry) classical method of ventilation control does not always meet the assumed objectives. In this context, new solutions are shown which are possible to apply, but only with the permission of the head of the mine's operations unit. It was emphasised that in connection with the increasing depth of exploitation and the increase in the level of natural hazards, in particular methane and climate hazards - in the era of the ongoing restructuring of the Polish underground mining industry and reduction of expenses related to investments in mines, including investments for the main access and ventilation headings and the deepening of ventilation shafts - ensuring the necessary amount of air requires a new look and application of non-standard solutions.

Next, the legal status concerning the control of air currents, changing over the years and currently binding in hard coal mines, was presented, with particular attention paid to choosing the place for the installation of a brattice in the aspect of the conducted mining company's operation and the impact of the depression of the ventilation shaft on the goafs of the exploited and liquidated longwalls, as well as ensuring the ventilation stability. A scientific objective was presented in the context of the proposed solutions, i.e. to document the positive impact of ventilation control in the used air current, and a utilitarian objective, i.e. to promote changes in the concept of ventilating the headings in the mine's ventilation network through the wide application of ventilation control in the used air current.

The further part of the paper presents basic laws, concepts and definitions related to the ventilation of mines. Typical examples of inlet air control are given and attention is drawn to the risks arising from the use of classical ventilation control. This applies to significant pressure on the brattices installed at the inlets to the shaft chambers and the hazards resulting from the possible occurrence of a "short ventilation short-circuit", as well as the need to install control dams along the route of the unit's haulage system in the case of ventilation control in the mining areas and the impact of such control on insulation dams or geological disturbances.

Issues related to the calculation of the mine's ventilation network were next presented, including the methodology of performing the measurements necessary to create a computer image of the ventilation network. Parameters related to the stability of air currents and ventilation are presented, such as isentropic potential, pressure loss, district current stability index and power current index. These parameters were used in the further part of the work to describe the individual methods of ventilation control.

The idea of using control in the used air current is presented in the next part of the work, which forced the application of new solutions. This made it possible in the presented example, among others, to decommission two peripheral shafts and design longwalls with considerable runoffs, to abandon the deepening of another ventilation shaft, and to reduce the number of active longwalls from 14 to 3-4.

Adverse aspects related to the control of ventilation in the intake air current are also shown, as well as the principles of using control in the used air current to ensure the required safety level.

The main part of the work presents and discusses real examples of the application of ventilation control in the group and district used air current.

In the case of ventilating the shaft chambers, the focus was put on eliminating the phenomenon of "short ventilation short-circuit" and eliminating dams with significant pressures at the inlets to individual chambers. It was shown that a group of several control dams built on inlets to several shaft chambers can be replaced by one control dam built in a group current of used air. The safety conditions that such control must meet are presented at the same time. The above is presented in potential diagrams showing the impact of the place of installation of the control dam on individual network nodes.

The paper demonstrates that the control of ventilation in the district current of used air may have a positive impact on the effect of depression of the main ventilation fan (installed at the ventilation shaft) on the goafs of exploited and liquidated longwalls, geological disturbances and the flow of goaf gases between individual operations of one mining plant. It was also demonstrated that such non-standard ventilation control ensures stable ventilation of mining areas without negative effects. The indicators characterising the air currents guarantee a safe way of ventilating the given district air currents. As in the case of ventilation of shaft chambers, the safety conditions that such control must meet are presented, and the potential diagrams show the impact of the place of installation of the control dam on individual network nodes.

An analysis of tests results was carried out in the further part of the work, depending on the place of installation of the control dam, with calculating the values of aerodynamic potentials, air current capacity and current stability index. The results are presented in tabular form.

The doctoral dissertation, based on real examples of the application of ventilation control in the used air current, showed that:

- in the case of applying the control in the group current of used air, in particular, the reduction of air losses in the currents of air ventilating the shaft chambers, classified as spaces with the "a" class of methane explosion hazard, was achieved and at the same time the effect of "short ventilation short-circuit" was eliminated,
- when the control is applied in the district used air current, in particular, the fire hazard in exploited goafs and longwalls being liquidated was reduced due to the reduced impact of the main ventilation fan's depression on exploitation and post-exploitation goafs of longwalls and insulation dams, increased stability of ventilation of mining areas and elimination of the hazard related to the possibility of flows of goaf gases poor in oxygen and with high methane concentration between individual operations of the mining company in the liquidated excavation, ventilated with separate ventilation, which was subject to the depression of the main ventilation fan.

Finally, the assumed thesis of the doctoral dissertation was proved. It was also pointed out that the scientific objective of the doctoral dissertation and the utilitarian goal were achieved.

1. Wprowadzenie

"Przewietrzanie robót podziemnych jest gałęzią wiedzy górniczej, obejmującą zespół wszystkich środków oraz czynności, mających na celu odświeżanie powietrza w kopalni oraz dostarczenie w każdym wypadku takiej ilości powietrza świeżego, aby ludzie, przebywający pod ziemią, mogli wykonywać swą pracę z największą wydajnością, w warunkach zupełnie bezpiecznych" [4]. To zdanie z publikacji dr inż. Witolda Budryka z roku 1932 definiuje wagę roli przewietrzania w funkcjonowaniu kopalni. To właściwe przewietrzanie wyrobisk umożliwia pracę ludzi i wpływa na ich wydajność, co więcej, bez właściwego przewietrzania praca ludzi, a więc byt podziemnego zakładu górniczego, są niemożliwe. Sformułowanie, mimo swej prawie 90 letniej historii, jest nadal aktualne.

Przeglądając literaturę można również natknąć się m.in. na takie sformułowanie:

"Przewietrzanie kopalń, w związku z ciągłym wzrostem tak wydobywania, jak i wielkości samych kopalń, staje się w skali górnictwa światowego ważnym - jeżeli nie najważniejszym - problemem. Koszty związane ze skutecznym przewietrzaniem stale rosną, a wymagania stawiane projektantom w fazie projektowania nowych kopalń, ewentualnie rekonstrukcji starych, dotyczące skuteczności wentylacji są coraz większe i trudniejsze do realizacji [...]. Nie ulega wątpliwości, że kopalnie metanowe powinny być możliwie intensywnie przewietrzane, tzn. że ilość powietrza dostarczana do tych kopalń jest z reguły większa, niż do kopalń niemetanowych. Prawidłowe kierowanie tak dużymi masami powietrza, uwzględniające najnowsze osiągnięcia techniki i nauki, powinno zapewnić maksymalne bezpieczeństwo pracy w tych kopalniach oraz możliwie najmniejsze nakłady kosztów inwestycyjnych i ruchowych.

W sytuacji rozwijającego się dynamicznie górnictwa polskiego - co pociąga za sobą eksploatację pokładów silnie metanowych - wydaje się rzeczą słuszną i celową szczególne uwypuklenie zagrożeń metanowych oraz powiązanie ich z właściwą, przeanalizowaną i wyważoną koncepcją wentylacyjną. Konieczne jest więc natychmiastowe wprowadzenie w życie efektów nauki lub praktyki, które wskażą nowe możliwości w trudnej walce o pełne bezpieczeństwo pracy w górnictwie [...]" [23]. Powyższa myśl umieszczona we wstępie do obecnie prawie 40-letniej pozycji A. Frycza i B. Kozłowskiego "Przewietrzanie kopalń" nic nie straciło ze swojej wymowy. I to pomimo tego, że górnictwo w Polsce już się nie rozwija w sensie ilości wydobywanego węgla, że zmieniły się sposoby eksploatacji i głębokość jej prowadzenia, że wzrosło natężenie i skala zagrożeń naturalnych, że coraz częściej wysoka temperatura pierwotna górotworu powoduje zagrożenie klimatyczne. Należy stale poszukiwać nowych rozwiązań, aby zapewnić skuteczne przewietrzanie kopalń głębinowych – przy zapewnieniu maksimum bezpieczeństwa pracy i minimum kosztów z przewietrzaniem związanych [20, 30, 31, 42, 46, 58, 59, 71, 94].

Regulacja przewietrzania sieci wentylacyjnej kopalni dla zapewnienia jakościowych i ilościowych stosunków powietrza jest – obok zwalczania zagrożeń naturalnych, w tym zagrożeń klimatycznych – podstawowym celem działania służb wentylacyjnych kopalni. W literaturze – m.in. [8, 17, 23, 25, 36, 37, 49, 80, 95, 96] – szeroko omawiany jest sposób regulacji przewietrzania, w tym z wykorzystaniem tam wentylacyjnych [10, 11, 40, 101, 102]. Zagadnienia te znajdują również odzwierciedlenie w tworzonych na przestrzeni lat przepisach

dla górnictwa podziemnego. Zagadnienia przewietrzania kopalń dotyczą górnictwa podziemnego jako całości, nie tylko węglowego, ale również rud miedzi, metali nieżelaznych, itp. [74, 75]. Przewietrzanie musi uwzględniać również wymogi związane z przyszłością górnictwa podziemnego, np. możliwość bezpiecznego włączania w wyrobiskach podziemnych podziemnego georeaktora zgazowania węgla [83].

Prowadzona w ostatnich latach w Polsce restrukturyzacja górnictwa węgla kamiennego oraz istotna redukcja wydatków związanych z inwestycjami w kopalniach, w szczególności w główne wyrobiska udostępniające i wentylacyjne wymusza, dla zapewnienia jakościowych i ilościowych stosunków powietrza, zastosowanie innych, niestandardowych sposobów regulacji sieci wentylacyjnej kopalni [14, 19, 28, 32, 33, 43, 44, 76, 78, 79]. Odnieść to można do stwierdzenia podanego w przytoczonej już pracy W. Budryka [4] „Sam fakt, że do kopalni wchodzi, lub też z niej wychodzi duża ilość powietrza, nie świadczy jeszcze bynajmniej, że kopalnia jest należycie przewietrzana”.

Zwiększająca się głębokość eksploatacji oraz wzrost zagrożeń naturalnych, w szczególności metanowego i klimatycznego, wymaga dostarczenia coraz większych ilości powietrza do rejonów wentylacyjnych, nie tylko eksploatacyjnych, ale również robót przygotowawczych (ze względu na zastosowanie wentylatorów elektrycznych lutniowych o znacznej wydajności). Jednakże zakres zwiększenia ilości powietrza musi uwzględniać zagrożenie pożarami endogenicznymi, które w ostatnich latach skutkuje stosunkowo dużą liczbą pożarów [72, 73, 88, 91]. Powyższe, przy ograniczonych nakładach inwestycyjnych na wyrobiska kapitalne (w tym wentylacyjne) determinuje więc zastosowanie nowych rozwiązań, zapewniających dostarczenie odpowiednich ilości powietrza do rejonów górniczych, zapewniających skuteczne zwalczanie zagrożeń metanowego, klimatycznego i pożarowego oraz jednocześnie ograniczenie strat powietrza [22, 35, 45, 48, 60, 84, 92].

W niniejszej pracy doktorskiej starano się wykazać, że zastosowanie regulacji przewietrzania w zużytym prądzie powietrza stanowi istotny element poprawy funkcjonowania sieci wentylacyjnej kopalni, wpływa na jej stabilność oraz istotnie wpływa, poprzez ograniczenie oddziaływania depresji wentylatorów głównego przewietrzania – pracujących przy szybach wentylacyjnych – na zmniejszenie zagrożenia pożarem endogenicznym w zrobach ścian.

Dla udokumentowania zasadności stosowania takiego sposobu regulacji przewietrzania, w określonych uwarunkowaniach, przedstawiono przypadki zastosowania regulacji przewietrzania w zużytym prądzie powietrza – grupowym i rejonowym. Pokazano, że wyznaczone parametry sieci wentylacyjnej kopalni, w szczególności potencjały izentropowe w istotnych punktach sieci pozwalają na określenie:

- stabilności przyjętego sposobu przewietrzania,
- wpływu zastosowanej regulacji na oddziaływanie depresyjne szybu wentylacyjnego na zroby ścian, tamy izolacyjne, zaburzenia itp.,
- warunków bezpieczeństwa stosowanej regulacji przewietrzania.

2. Cel i teza rozprawy

Zarówno w obecnie obowiązujących przepisach [62] (§ 176), jak również wcześniejszych ([64] – § 87, [65] – § 244, [63] – § 213) zapisano, że regulację przewietrzania powinno prowadzić się tamami regulacyjnymi umieszczonymi na początku prądów rejonowych. Regulację przewietrzania w grupowych lub rejonowych prądach powietrza zużytego można było stosować po uzyskaniu zezwolenia właściwego organu nadzoru górniczego [64, 65] lub na warunkach określonych przez kierownika ruchu zakładu górniczego [62, 63].

Prowadzona regulacja przewietrzania sieci wentylacyjnej musi uwzględniać nie tylko jakościowe i ilościowe parametry powietrza w poszczególnych rejonach wentylacyjnych, w szczególności rejonach produkcyjnych (ściany, przodki, wyrobiska likwidowane), ale również uwzględniać:

- wyposażenie wyrobiska (przenośniki odstawy, trasa transportu),
- intensywność ruchu załogi,
- napór na tamy wentylacyjne śluzy wentylacyjnej,
- istniejące uskoki, tamy izolacyjne, itp. zaburzenia, które mogą wpłynąć na stan zagrożenia pożarem endogenicznym.

Bazując na doświadczeniach nabytych w trakcie pracy w dziale wentylacji w zakładzie górniczym mogę stwierdzić, że ww. czynniki stanowią bardzo istotny element regulacji przewietrzania sieci wentylacyjnej, a wybór miejsca zabudowy tamy regulacyjnej, która zwykle wykonana jest w układzie śluzy wentylacyjnej (minimum dwie tamy wentylacyjne/regulacyjne), ma bardzo istotny wpływ na stabilność sieci wentylacyjnej oraz ograniczenie lub wzrost zagrożenia pożarem endogenicznym.

Punktem wyjścia, do rozważań na temat znaczenia miejsca zabudowy śluzy wentylacyjnej do regulacji przewietrzania, były przypadki zaistniałych negatywnych skutków stosowania typowych regulacji przewietrzania w rzeczywistej sieci wentylacyjnej oraz pozytywne rezultaty zastosowania regulacji w grupowym i rejonowym prądzie powietrza zużytego.

W przypadku zastosowania regulacji w grupowym prądzie powietrza zużytego osiągnięto m.in. zmniejszenie strat powietrza w prądach powietrza przewietrzających komory przyszybowe zaliczone do pomieszczeń ze stopniem „a” niebezpieczeństwa wybuchu metanu. Zlikwidowało to jednocześnie efekt „krótkiego spięcia wentylacyjnego”, co umożliwiło likwidację szybu wentylacyjnego w związku z prowadzoną restrukturyzacją zakładu górniczego, przy jednoczesnym zwiększeniu ilości powietrza przewietrzającego rejonu produkcyjne.

Z kolei w przypadku zastosowania regulacji w rejonowym prądzie powietrza zużytego doszło, m.in. do zmniejszenia zagrożenia pożarowego w zrobach eksploatowanych i likwidowanych ścian, z uwagi na zmniejszenie oddziaływania depresji wentylatora głównego przewietrzania na zroby eksploatacyjne i poeksploatacyjne ścian oraz tamy izolacyjne, zwiększenia stabilności przewietrzania rejonów górniczych oraz zlikwidowania zagrożenia związanego z możliwością przepływów gazów zrobowych ubogich w tlen i o wysokiej koncentracji metanu między poszczególnymi ruchami zakładu górniczego w likwidowanym wyrobisku przewietrzanym wentylacją odrębną, który był poddany depresji wentylatora głównego przewietrzania. Szczegóły tych pierwszych zastosowań, jak i kolejnych przedstawiono w dalszej części pracy doktorskiej.

Biorąc pod uwagę te aspekty, w niniejszej pracy doktorskiej postawiono tezę, że właściwe zastosowanie regulacji przewietrzania w zużytym prądzie powietrza stanowi istotny element poprawy rozplywu powietrza w podsieciach wentylacyjnych kopalni.

Celem naukowym niniejszej pracy jest udokumentowanie pozytywnego wpływu regulacji przewietrzania w prądzie powietrza zużytego na:

- zrobry eksploatawanych i zlikwidowanych ścian,
- stabilność rozplywu powietrza.

Regulacja taka ogranicza oddziaływanie depresji szybu wentylacyjnego w danej podsieci wentylacyjnej, przez co zmniejsza zagrożenie pożarem endogenicznym w zrobach ścian. Eliminuje, bądź ogranicza też zaburzenia sieci wentylacyjnej związane z tzw. „krótkim spięciem wentylacyjnym” w rejonach przyszybowych komór funkcyjnych.

Celem uylitarnym jest propagowanie zmian koncepcji przewietrzania wyrobisk w sieci wentylacyjnej kopalni, poprzez szerokie stosowanie regulacji przewietrzania w rejonowym lub grupowym prądzie powietrza zużytego.

Przedmiotem badań była sieć wentylacyjna KWK ROW Ruch Jankowice, a konkretnie:

- podsieć szybu wentylacyjnego (wydechowego) nr 4 – gdzie przeprowadzono badania skutków regulacji przewietrzania w grupowym prądzie powietrza zużytego z komór przyszybowych,
- rejony eksploatacyjne (rejony ścian wydobywczych), gdzie przeprowadzono badania skutków regulacji przewietrzania w rejonowym prądzie powietrza zużytego w podziemnych wyrobiskach górniczych.

3. Przegląd literatury

Przepływ powietrza w kopalni może być wywołany depresją mechaniczną, wytwarzaną przez wentylatory głównego przewietrzania zabudowane na powierzchni lub depresją naturalną, wytwarzaną czynnikami naturalnymi. Oba źródła energii występują równolegle. Ze względu na wzrost zarówno liczby, jak i poziomu zagrożeń naturalnych oraz zwiększającą się głębokość prowadzenia robót górniczych zachodzi konieczność wymuszenia coraz większej intensywności przewietrzania, a co za tym idzie – takich parametrów pracy wentylatorów głównego przewietrzania, które zapewnią większy wydatek powietrza lub/i większe podciśnienie.

Ze względu na stosunkowo niewielką ilość rejonów eksploatacyjnych w kopalniach, wpływ depresji naturalnej na sieć wentylacyjną kopalni przy obecnej intensywności przewietrzania jest coraz mniejszy, ale nadal istnieje [24, 70].

Większość zagadnień związanych z przepływem powietrza przez kopalnię rozwiązuje się na podstawie czterech podstawowych równań mechaniki płynów, tj. równania ciągłości, ruchu, energii i równania stanu gazów. Najczęściej przyjmuje się przy tym założenie upraszczające, że przepływ jest jednowymiarowy. Posługujemy się wtedy pojęciem prędkości średniej. Prawie zawsze jednak uwzględnia się, że powietrze jest płynem rzeczywistym, a więc uwzględnia się opory ruchu [50, 51, 56, 97, 99].

Równanie ciągłości – fizycznie wyraża zasadę zachowania masy w postaci związku pomiędzy prędkością przepływającego płynu ω i gęstością płynu ρ . W zastosowaniu do opisu ruchu w przewodach (lutiociągach, wyrobiskach) przyjmuje się najczęściej, że przepływ jest jednowymiarowy. Ponieważ jednak nie można pominąć występującego w rzeczywistości rozkładu prędkości w płaszczyźnie poprzecznej do kierunku przepływu w przewodzie (prędkość zmienia się znacznie i na ściankach przewodu jest równa zero), więc słuszne jest wprowadzenie prędkości średniej ω , rozumianej jako stosunek wydatku objętościowego przepływu do przekroju poprzecznego.

Dla nieustalonego przepływu jednowymiarowego w przewodzie o zmiennym przekroju F (s) równanie ciągłości przyjmuje się w postaci wzoru:

$$\frac{\partial(\rho F)}{\partial \tau} + \frac{\partial}{\partial s}(\rho \omega F) = 0 \quad (3.1)$$

Równanie ruchu – wyraża zasadę zachowania ilości ruchu. Zasada ta mówi, że pochodna względem czasu całkowitego pędu układu punktów materialnych równa się sumie sił działających na ten układ

$$\frac{d}{dt}(\sum m\omega) = \sum P \quad (3.2)$$

Mając na uwadze sumę sił zarówno masowych (ciężkości) jak i powierzchniowych (parcia, lepkości) w odniesieniu do jednostki masy i zasadę zachowania ilości ruchu otrzymuje się związek stanowiący równanie ruchu dla przepływu jednowymiarowego

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \omega \frac{\partial \omega}{\partial s} + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial s} + g \frac{dz}{ds} + f(\omega) = 0 \quad (3.3)$$

gdzie:

p – ciśnienie płynu,

z – współrzędna mierzona wzdłuż osi pionowej.

Wielkość siły oporów ruchu $f(\omega)$ zależy od prędkości przepływu. Funkcja $f(\omega)$ musi spełniać warunki $f(0) = 0$. Przebieg zależności wielkości siły oporów ustala się na podstawie badań doświadczalnych. Dzielic równanie przez wartość przyspieszenia ziemskiego g otrzymuje się bilans sił w odniesieniu do jednostki ciężaru przepływającego płynu. Poszczególne składniki tego równania są bezwymiarowe

$$\frac{1}{g} \cdot \frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\omega}{g} \cdot \frac{\partial \omega}{\partial s} + \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{\partial p}{\partial s} + \frac{dz}{ds} + \frac{f(\omega)}{g} = 0 \quad (3.4)$$

Wielkość siły oporów ruchu w odniesieniu do jednostki ciężaru przepływającego płynu określa zależność:

$$I = \frac{f(\omega)}{g} = \lambda \frac{\omega |\omega|}{2gd} \quad (3.5)$$

gdzie:

λ – bezwymiarowy współczynnik oporu uzależniony od liczby Reynoldsa,

d – średnica hydrauliczna przewodu, przy czym

$$d = \frac{4F}{P}$$

F – pole przekroju przewodu,

P – obwód.

Wówczas równie ruchu przyjmuje postać:

$$\frac{1}{g} \frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\omega}{g} \cdot \frac{\partial \omega}{\partial s} + \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{\partial p}{\partial s} + \frac{dz}{ds} + \frac{\lambda \omega |\omega|}{2gd} = 0 \quad (3.6)$$

Powyższe równanie ruchu należy uogólnić o składniki spadku hydraulicznego, pochodzącego od skupionych oporów ruchu W_{ij} oraz o różnicę ciśnień wywołaną działaniem wentylatorów

$$\frac{1}{g} \frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\omega}{g} \cdot \frac{\partial \omega}{\partial s} + \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{\partial p}{\partial s} + \frac{dz}{ds} + I + \sum_j W_j \delta(s - s_j) - \sum_i \frac{H_i'}{\gamma} \delta(s - s_i) = 0 \quad (3.7)$$

gdzie:

I – gradient hydrauliczny, pochodzący od oporów rozłożonych w sposób ciągły.

Jest to siła oporów aerodynamicznych przewodu (wyrobiska) odniesiona do jednostki ciężaru przepływającego powietrza (spadek hydrauliczny, spadek naporu) przypadający na jednostkę długości $[\frac{N \cdot m}{N \cdot m}]$,

W_i – spadek naporu w miejscu oporu lokalnego, umieszczonego w punkcie o współrzędnej s_j (np. tama wentylacyjna) $[\frac{N \cdot m}{N} = m]$,

H_i – depresja wytwarzana przez i -ty wentylator umieszczony w punkcie o współrzędnych s_i [Pa],

$\delta(s - s_j)$ – funkcja delta Diraca.

Równanie energii – wyraża zasadę zachowania energii płynu znajdującego się w ruchu. Zmiana całkowitej energii E_C (sumy energii kinetycznej, potencjalnej i wewnętrznej) w objętości V przepływającego płynu wynosi:

$$\frac{dE_C}{dt} = \frac{d}{dt} \int_V \rho \left(\frac{\omega^2}{2} + gz + c_v T \right) dV \quad (3.8)$$

przy czym, przyrost całkowitej energii płynu na jednostkę czasu musi być równy sumie mocy ciśnień zewnętrznych i ilości ciepła dopływającego w jednostce czasu do objętości V ,

$$\frac{dE_C}{dt} = - \oint_{\Sigma} p \omega d\sigma + \int_V q \rho dV \quad (3.9)$$

gdzie:

$d\sigma$ – oznacza elementarne pole powierzchni ograniczającej element płynu,

q – ciepło doprowadzone w jednostce czasu do jednostki masy przepływającego płynu.

Przez porównanie dwóch ostatnich zależności, i po zastosowaniu wzoru Greena:

$$\oint_{\Sigma} p \omega d\sigma = \int_V \operatorname{div} (p \omega) dV \quad (3.10)$$

otrzymuje się równanie energii

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\omega^2}{2} + c_v T + gz \right) = - \frac{1}{\rho} \operatorname{div} (p \omega) + q \quad (3.11)$$

Gdy przepływ jest jednowymiarowy i ustalony wtedy:

$$\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \omega \frac{\partial}{\partial s} = \omega \frac{\partial}{\partial s} \quad (3.12)$$

a więc:

$$\omega \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{\omega^2}{2} + c_v T + gz \right) = - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial}{\partial s} (p \omega) + q \quad (3.13)$$

Równanie energii uogólnia się o ilość ciepła dopływającego od źródeł skupionych. Jeżeli założyć się, że ilość ciepła doprowadzonego w sposób ciągły do jednostki masy wynosi q_w (np. ciepło dopływające od skał) oraz q_1 wyraża ilość ciepła dopływającego od źródeł skupionych (np. od maszyn) to równanie energii przyjmie postać:

$$\frac{D}{D\tau} \left(\frac{\omega^2}{2} + c_v T + gz \right) = - \frac{1}{\rho} \frac{d}{ds} (p \omega + q_w(s, t) + q_i \delta(s - s_i)) \quad (3.14)$$

Równanie stanu gazów przyjmuje się w postaci

$$\frac{p}{\rho} = RT \quad (3.15)$$

W zastosowaniach wentylacyjnych przyjmuje się różne założenia upraszczające, w zależności od rodzaju rozwiązywanego zagadnienia, tak jednak, by uproszczenia nie powodowały dużych błędów.

W podziemnych kopalniach powietrze płynie [3] wyrobiskami górnictwami [1, 9] przy stosowaniu wentylacji wymuszonej wentylatorami głównego przewietrzania, pracującymi w układzie ssącym [5, 6, 23, 50, 52, 100]. Dla celów bezpieczeństwa i komfortu pracy powietrze jest rozprawdane tak, by zapewniony był przepływ powietrza we wszystkich czynnych wyrobiskach górnictwami, który charakteryzować się musi przede wszystkim stabilnością prądów powietrza, co do ich kierunku i objętości strumienia [80, 95, 100]. Dlatego w sieci wentylacyjnej powinno być jak najwięcej niezależnych prądów powietrza [49, 50]. Powinny one przewietrzać przede wszystkim wyrobiska wybierkowe [36], komory materiałów wybuchowych, komory pomp, rozdzielnie główne, a także składy smarów i materiałów łatwo palnych. Zasadą jest by powietrze świeże doprowadzać najkrótszą drogą do każdego poziomu, skąd prądami wznoszącymi powinno płynąć do szybu wydechowego. Wówczas depresja naturalna współpracuje z depresją wytworzoną przez wentylator głównego przewietrzania, co zapewnia stabilność kierunków przepływu powietrza. Tylko w wyjątkowych przypadkach, i przy zastosowaniu środków bezpieczeństwa, powietrze świeże lub powietrze zużyte można prowadzić na upad [89]. Ważnym czynnikiem w prawidłowym przewietrzaniu sieci wentylacyjnej jest utrzymanie wyrobisk pod względem odpowiedniego przekroju w świetle obudowy oraz odpowiednie ich izolowanie od zrobów.

Przez regulację przewietrzania rozumie się określenie wydatków i depresji wentylatorów oraz parametrów regulatorów (np. oporów tam) ilości powietrza dla zapewnienia wymaganych wydatków powietrza w poszczególnych bocznicach wentylacyjnych.

W zależności od rodzaju regulatorów rozróżnia się regulację dodatnią lub ujemną. Jeżeli działanie regulatora wywiera taki sam skutek jak zwiększenie oporu bocznicy, to taką regulację nazywa się dodatnią. Gdy zaś działanie regulatora wpływa na ilość powietrza, jak zmniejszenie oporu bocznicy, wówczas nosi nazwę regulacji ujemnej.

Regulacja przeprowadzona przez zwiększenie oporów bocznicy nosi nazwę regulacji dodatniej (w wyrobisku górnictwami umieszcza się tamy), a przez zmniejszenie ich oporów regulacji ujemnej (wentylatory) [50, 100]. Regulacją ujemną może być również otwarcie tam regulacyjnych (śluz wentylacyjnej) w tzw. bocznicy gaszącej. Czasem, żądany rozdział powietrza uzyskuje się również przez zmniejszenie oporu bocznicy, co zwykle wymaga podjęcia robót związanych z przebudową wyrobisk lub usunięciem oporów lokalnych (zlikwidowanie obmury tam wentylacyjnych, usunięcie zalegających wozów lub materiałów, itp.).

Najczęściej stosowana jest regulacja za pomocą tam regulacyjnych, tj. regulacja dodatnia. Przy regulacji ujemnej stosuje się wentylatory o działaniu zgodnym z kierunkiem przepływu powietrza, instalowane w tych bocznicach, które mają duży opór. Gdy używa się różnych regulatorów, np. tam i wentylatorów, wtedy *regulacja* nazywa się *mieszaną*.

Obliczenia wentylacyjne sieci obejmują przede wszystkim wyznaczenie kierunków przepływu, oporów wypadkowych i rozdziału powietrza [7, 57, 69, 93, 98]. Istnieją pewne analogie między prawami rządzącymi przepływami ustalonymi w kopalnianych sieciach wentylacyjnych, a przepływami prądu stałego w obwodach elektrycznych. W elektrotechnice prawa te sformułował G.R. Kirchhoff. Pierwsze z nich wyraża zasadę zachowania ładunku elektrycznego i stwierdza, że algebraiczna suma prądów wpływających i wypływających z dowolnego węzła obwodu jest równa zero. Drugie prawo Kirchhoffa dotyczy spadków

napięcia elektrycznego na elementach dowolnego obwodu elektrycznego i głosi, że algebraiczna suma spadków napięcia elektrycznego na elementach dowolnego zamkniętego obwodu jest równa sumie sił elektromotorycznych w tym obwodzie. W szczególnym przypadku braku w danym obwodzie sił elektromotorycznych suma spadków napięcia równa jest zeru. W rozważaniach dotyczących przepływu powietrza w kopalnianych sieciach wentylacyjnych korzysta się z równań ciągłości i ruchu, przedstawionych analogicznie jak prawa Kirchhoffa w elektrotechnice.

Wydatki powietrza w poszczególnych bocznicach określa się z równań bilansu masy powietrza w węzłach. Do rozwiązania zagadnienia w zakresie całej sieci wentylacyjnej kopalni konieczne jest określenie oporów i wydatków powietrza w przewietrzanych wyrobiskach. Wydatki wyznacza się dla wyrobisk eksploatacyjnych, komór funkcyjnych, itp., a następnie sumuje się je w kolejnych węzłach, korzystając z pierwszego prawa Kirchhoffa. Poszukuje się wielkości oporów dodatkowych (tam regulacyjnych), spiętrzeń wentylatorów głównych i pomocniczych tak, aby spełnione było drugie prawo Kirchhoffa dla sieci wentylacyjnej oraz aby energia potrzebna do pokonania oporów przepływu była jak najmniejsza.

Typowym zadaniem jest znalezienie drogi powietrza o największej stracie naporu od wlotu do szybu wdechowego do wylotu z szybu wydechowego. Wielkość tej straty naporu określa spiętrzenie wentylatora. Stawiane jest dodatkowe żądanie, by wyrobiska wentylacyjne i inne pomieszczenia, do których doprowadzane jest powietrze przewietrzane były prądami niezależnymi. Tamy rozmieszcza się w prądach niezależnych, leżących poza drogą o największej stracie naporu. Opór poszczególnych tam dobiera się w taki sposób, by straty ciśnienia na nich powodowały zrównanie strat ciśnienia ze spiętrzeniem wentylatora przy założonych wydatkach przepływu powietrza. Budowa tamy na drodze o największej stracie ciśnienia podniosłaby zużycie energii na przepływ powietrza przez kopalnię [26, 100].

Tamy regulacyjne najczęściej umieszcza się w tzw. prądach niezależnych w sensie wentylacyjnym. Prądami niezależnymi są takie prądy, które odgałęziają się od grupowych prądów powietrza świeżego, i po przewietrzeniu wyrobisk eksploatacyjnych lub innych (komory materiałów wybuchowych, komory pomp, transformatorów itp.) łączą się w prądy grupowe powietrza zużytego. Tamy umieszcza się na początku prądów niezależnych [50].

Zastosowanie równania ciągłości do węzła sieci wentylacyjnej prowadzi do wniosku, że suma wydatków masowych prądów wpływających do węzła jest równa sumie wydatków masowych prądów z niego wypływających. Natomiast z równania ruchu wynika, że suma strat naporu określona dla dowolnego obwodu utworzonego przez bocznicę jest równa sumie spiętrzeń wentylatorów pracujących w tym obwodzie. Gdy obwód nie zawiera wentylatorów, to suma strat naporu jest równa zeru. Przy sumowaniu uwzględnia się znak wynikający ze zgodności przepływów w bocznicach z kierunkiem przypisanym obwodowi [100].

Próbie opisu zastosowania regulacji przewietrzania w prądach powietrza odprowadzanego do szybu wydechowego (zużyty prąd powietrza) podjął Cz. Woźnica [101, 102]. W swoich artykułach opisał zastosowane regulacje przewietrzania, w szczególności w postaci rewersyjnej tamy walcowej. Powyższe rozwiązanie stosowane jest m.in. w KWK Jankowice od roku 2002 do dnia dzisiejszego i stanowi regulację przewietrzania w prądzie powietrza odprowadzanym z komór przyszybowych na poz. 250 m.

4. Regulacja rozplywu powietrza

4.1. Charakterystyka typowej sieci wentylacyjnej kopalni

Kopalniana sieć wentylacyjna jest układem złożonym zazwyczaj z kilkuset bocznici sieci, węzłów sieci, oporów miejscowych i wentylatorów nazywanych elementami sieci wentylacyjnej. Dla graficznego zobrazowania sieci wentylacyjnej sporządza się schemat przestrzenny sieci wentylacyjnej, który ma za zadanie przedstawić przestrzenny obraz wszystkich czynnych wyrobisk w kopalni. Niekiedy sieć wentylacyjna jest do tego stopnia skomplikowana, że schemat przestrzenny, w szczególności na podszybiach szybów wdechowych może być nieczytelny. Wówczas można stosować uproszczenie polegające na przedstawieniu części kopalni w postaci kółek z odpowiednimi napisami.

Węzłem niezależnym nazywamy miejsce w sieci wentylacyjnej, w którym występuje rozdzielenie lub łączenie mas strumieni powietrza.

Przez bocznice sieci wentylacyjnej rozumie się pojedyncze wyrobisko górnicze lub połączenie szeregowo kilku wyrobisk górniczych łączące dwa węzły niezależne sieci wentylacyjnej [27].

Te wymienione powyżej elementy sieci wentylacyjnej tworzą obwody zamknięte zwane oczkami sieci wentylacyjnej.

W typowej sieci wentylacyjnej wyróżnia się następujące prądy powietrza:

- wznoszący prąd powietrza – prąd płynący od węzła o mniejszej wysokości niwelacyjnej do węzła o większej wysokości niwelacyjnej,
- schodzący prąd powietrza – prąd płynący od węzła o większej wysokości niwelacyjnej do węzła o mniejszej wysokości niwelacyjnej,
- normalny prąd powietrza – prąd, którego kierunek nie zależy od oporu bocznici sąsiednich,
- przekątny prąd powietrza – prąd, którego kierunek zależy od oporu bocznici sąsiednich,
- niezależny prąd powietrza – prąd, który oddziela się od prądu powietrza świeżego i po przewietrzeniu miejsca pracy lub innego pomieszczenia na dole kopalni dołącza się do prądu powietrza zużytego,
- zależny prąd powietrza – prąd w bocznicach sieci łączących ze sobą dwa różne prądy powietrza świeżego lub dwa różne prądy powietrza zużytego,
- rejonowy prąd powietrza – niezależny prąd powietrza przewietrzający kompleks wyrobisk górniczych (np. chodnik podścianowy, ściana i chodnik nadścianowy),
- grupowy prąd powietrza świeżego – prąd powietrza płynący do co najmniej dwóch rejonów wentylacyjnych,
- grupowy prąd powietrza zużytego – prąd powietrza płynący z co najmniej dwóch rejonów wentylacyjnych,
- prosty prąd powietrza – prąd, którego kierunek przepływu jest zgodny z kierunkiem działania źródła energii mechanicznej lub naturalnej,
- odwrócony prąd powietrza – prąd, którego kierunek przepływu jest niezgodny z kierunkiem działania źródła energii mechanicznej lub naturalnej.

W bocznicach kopalnianej sieci wentylacyjnej mogą zachodzić dwa rodzaje przepływów laminarny i turbulentny (burzliwy).

Laminarny przepływ powietrza jest spokojny i warstwowy, oddzielne warstwy powietrza przesuwają się równolegle do osi wyrobiska, nie mieszając się między sobą. Jest to przepływ charakterystyczny dla bardzo małych prędkości powietrza, np. w zrobach, szczelinach, polach pożarowych, itp.

Turbulentny przepływ charakteryzuje się tym, że elementy płynu poruszają się w sposób nieuporządkowany i po bardzo zawiłych torach, wskutek czego powstają ciągłe, chaotyczne zaburzenia przepływu. Rzeczywista prędkość w dowolnym punkcie prądu powietrza ciągle się zmienia (pulsuje). Mówiąc o prędkości w danym punkcie przepływu turbulentnego trzeba mieć na myśli pewną średnią w czasie prędkość.

Przy przepływie burzliwym w wyrobisku górniczym główną składową oporu przepływu powietrza jest tarcie powietrza o ściany tego wyrobiska. Chropowatość ścian wyrobiska górniczego wpływa w sposób zasadniczy na wartość oporu tarcia. Znając liczbę oporu λ_f wyrobiska, jego długość L , pole przekroju poprzecznego A i obwód B , opór właściwy R_{fu} tego wyrobiska wyznacza się korzystając ze wzoru:

$$R_{fu} = \frac{\lambda_f \rho_u}{8} \cdot \frac{BL}{A^3} \quad (4.1)$$

W aktywnej sieci wentylacyjnej rozróżnia się dwa rodzaje bocznic sieci:

- bocznicę poziomą (bierne, bezźródłową) – nie występuje w niej depresja naturalna,
- bocznicę niepoziomą (czynne, źródłową) – występuje w niej depresja naturalna.

Sieć, w której skład wchodzi chociażby jedna bocznicą źródłowa jest siecią aktywną.

Sieć wentylacyjna każdej kopalni istniejącej jest siecią aktywną. Gęstość masy powietrza w sieci aktywnej, w której występuje ustalony stan dynamiczny i termiczny, jest wielkością zmienną zależną od miejsca w sieci wentylacyjnej.

Podziemne wyrobiska zakładu górniczego należy przewietrzać przepływającym przez nie powietrzem. Całkowity prąd powietrza należy dzielić w ten sposób, aby przez rejonów wentylacyjnych płynęły niezależne prądy powietrza. Powietrze świeże należy doprowadzać możliwie najkrótszą drogą do każdego poziomu wydobywczego, skąd prądami wznoszącymi powinno ono płynąć na poziom wentylacyjny, a następnie w kierunku szybu wydechowego.

Różnorodność systemów eksploatacji powoduje, że istnieje kilka sposobów rozprawadzenia powietrza w rejonach wentylacyjnych. Sposób przewietrzania uzależniony jest przede wszystkim od występujących zagrożeń (metanowego, pożarowego, a w ostatnim okresie czasu również klimatycznego), wzajemnej koordynacji robót, czy też zagrożeń związanych z możliwością przepływów zrobowych [34, 38, 39, 81, 82]. Główny nacisk powinno się kłaść na skuteczne przewietrzanie rejonów górniczych, w szczególności eksploatacyjnych, w aspekcie występujących zagrożeń naturalnych. Bardzo często zdarza się, że dany system eksploatacji jest korzystny w przypadku jednego zagrożenia, a niepożądany w przypadku innego.

Dobrym tego przykładem są zagrożenia pożarowe i metanowe, wzajemnie się wykluczające przy wyborze systemu eksploatacji. Ze względu na zagrożenie metanowe pożądanym rozwiązaniem jest system przewietrzania na Y lub eksploatacja do pola. Jednak przy pokładach skłonnych do samozapalenia taki system przewietrzania może spowodować wzrost zagrożenia

pożarowego w zrobach, a w skrajnym przypadku pożar i utworzenie pola pożarowego. W przypadku wystąpienia zagrożeń skojarzonych, a w polskim górnictwie węglowym zdecydowana większość kopalń boryka się z tym problemem, należy dokładnie przeanalizować sposób przewietrzania i wybrać najlepsze rozwiązanie, jednocześnie określając warunki bezpieczeństwa lub zakres prac profilaktycznych dla zminimalizowania zagrożeń [21, 53, 76].

4.2. Regulacja przewietrzania według przepisów

Ogólne zasady dotyczące przewietrzania kopalń podziemnych ujęte są w obowiązujących przepisach, które w zasadzie nie ulegają istotnym zmianom w odniesieniu do poprzednio obowiązujących przepisów. Dotyczy to dopuszczalnego stężenia gazów, sposobu rozprowadzenia powietrza, konieczności utrzymywania przy szybie wentylacyjnym urządzeń do zmiany kierunku przepływu powietrza (mimo, iż przy obecnym poziomie zagrożeń zmiana kierunku przepływającego powietrza mogłaby mieć katastrofalne skutki), itp. Oczywiście, wprowadzane są nowe zapisy związane z postępem technologicznym, jak np. konieczność stosowania tam automatycznych na drogach transportowych, czujników stanu otwarcia drzwi w śluzach wentylacyjnych powiązanych z wyłączeniem energii w rejonie, itp., ale trzon przepisów, jak już wspomniano, pozostaje niezmienny. Coraz to nowsze przepisy coraz częściej zmieniają organ wydający zgodę na zastosowanie pewnych rozwiązań. Najczęściej dotyczy to cedowania wydania zgody na kierownika ruchu zakładu górniczego (niekiedy na podstawie opinii rzeczoznawcy) zamiast wydania jej przez Dyrektora Okręgowego Urzędu Górniczego, ale zasadniczy sens przepisu jest zachowany.

Przykładem niezmienności przepisów jest zapis o stosowaniu regulacji przewietrzania, co w kolejno wydawanych aktach prawnych zapisywane było w sposób następujący:

- 1) Rozporządzenie Prezesa Rady Ministrów z dnia 1 sierpnia 1969 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy oraz bezpieczeństwa pożarowego w podziemnych zakładach górniczych [64].
par. 87 1. Regulację przewietrzania należy przeprowadzać przy pomocy tam regulacyjnych umieszczanych na początku prądów rejonowych.
2. Stosowanie do regulacji przewietrzania wentylatorów pomocniczych albo tam regulacyjnych umieszczonych na końcu prądów rejonowych lub w prądach grupowych wymaga zezwolenia okręgowego urzędu górniczego.
- 2) Rozporządzenie Ministra Przemysłu i Handlu z dnia 14 kwietnia 1995 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych [65]
par. 244 1. Regulację przewietrzania należy prowadzić tamami regulacyjnymi umieszczonymi na początku prądów rejonowych.
3. Regulacja przewietrzania przez zastosowanie wentylatorów pomocniczych lub tam regulacyjnych zabudowanych w grupowych prądach powietrza lub w rejonowych prądach zużytego powietrza, wymaga zezwolenia właściwego organu państwowego nadzoru górniczego.

- 3) Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych [63]

par. 213 1. Regulację przewietrzania prowadzi się tamami regulacyjnymi umieszczonymi na początku prądów rejonowych.

3. Kierownik Ruchu Zakładu Górniczego może, po ustaleniu warunków, dopuścić regulację przewietrzania przy zastosowaniu wentylatorów pomocniczych lub tam regulacyjnych zabudowanych w grupowych prądach powietrza lub rejonowych prądach zużytego powietrza odprowadzanego do szybu wydechowego.

- 4) Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych [62]

par. 176 1. Regulację przewietrzania prowadzi się tamami regulacyjnymi umieszczonymi na początku prądów rejonowych.

3. Regulacja przewietrzania z zastosowaniem wentylatorów lub tam regulacyjnych zabudowanych w grupowych prądach powietrza lub rejonowych prądach powietrza odprowadzanego do szybu wydechowego lub na powierzchnię jest dopuszczalna za zgodą kierownika ruchu zakładu górniczego, który określa warunki jej prowadzenia.

Jak z powyższego wynika, zasadniczym sposobem prowadzenia regulacji przewietrzania, w myśl obowiązujących na przestrzeni lat przepisów, jest prowadzenie regulacji przewietrzania tamami regulacyjnymi umieszczonymi na początku prądów rejonowych. Przepisy nie mówią o konieczności przeprowadzenia analizy miejsca zabudowy tamy pod kątem występujących zaburzeń geologicznych, możliwości wzrostu zagrożenia pożarowego lub metanowego, oddziaływania depresyjnego szybu wentylacyjnego na zroby lub tamy izolacyjne, czy też określonych zagrożeń ruchowych związanych z koniecznością prowadzenia transportu lub ruchu załogi przez tamy o znacznym naporze. Zapis o konieczności uzyskania zgody organu nadzoru górniczego lub KRZG, z jednoczesnym określeniem warunków bezpieczeństwa sprawia wrażenie, że regulacja w prądzie powietrza zużytego jest rozwiązaniem stwarzającym określone zagrożenia, a tym samym jest rozwiązaniem niepożądanym.

4.3. Przykłady regulacji przewietrzania

Jak już wcześniej podano, w podziemnych zakładach górniczych powietrze płynie wyrobiskami górniczymi przy stosowaniu wentylacji wymuszonej wentylatorami głównego przewietrzania, pracującymi w układzie ssącym. Dla celów bezpieczeństwa i komfortu pracy powietrze jest rozprowadzane tak, by zapewniony był przepływ powietrza we wszystkich czynnych wyrobiskach górniczych. Przepływ taki charakteryzować się musi przede wszystkim stabilnością prądów powietrza, co do ich kierunku i objętości strumienia. Dlatego w sieci wentylacyjnej powinno być jak najwięcej niezależnych prądów powietrza. Powinny one przewietrzać przede wszystkim wyrobiska wybierkowe, komory materiałów wybuchowych, komory pomp, rozdzielnie główne, a także składy smarów i materiałów łatwo palnych. Zasadą jest by powietrze świeże doprowadzać najkrótszą drogą do każdego poziomu, skąd prądami wznoszącymi powinno płynąć do szybu wydechowego. Wówczas depresja naturalna

współpracuje z depresją wytworzoną przez wentylator głównego przewietrzania, co zapewnia stabilność kierunków przepływu powietrza. Tylko w wyjątkowych przypadkach, i przy zastosowaniu środków bezpieczeństwa, powietrze świeże lub powietrze zużyte można prowadzić na upad. Ważnym czynnikiem w prawidłowym przewietrzaniu sieci wentylacyjnej jest utrzymanie wyrobisk pod względem odpowiedniego przekroju w świetle obudowy oraz odpowiednie ich izolowanie od zrobów.

Przez regulację przewietrzania rozumie się określenie wydatków i depresji wentylatorów oraz parametrów regulatorów (np. oporów tam) ilości powietrza dla zapewnienia wymaganych wydatków powietrza w poszczególnych bocznicach wentylacyjnych.

W zależności od rodzaju regulatorów rozróżnia się regulację dodatnią lub ujemną. Jeżeli działanie regulatora wywiera taki sam skutek jak zwiększenie oporu bocznicy, to taką regulację nazywa się dodatnią. Gdy zaś działanie regulatora wpływa na ilość powietrza, jak zmniejszenie oporu bocznicy, wówczas nosi nazwę regulacji ujemnej.

Regulacja przeprowadzona przez zwiększenie oporów bocznicy nosi nazwę regulacji dodatniej (w wyrobisku górniczym umieszcza się tamy), a przez zmniejszenie ich oporów – regulacji ujemnej (wentylatory). Regulacją ujemną może być również otwarcie tam regulacyjnych (służy wentylacyjnej) w tzw. bocznicy gaszącej. Czasem żądany rozdział powietrza uzyskuje się również przez zmniejszenie oporu bocznicy, co zwykle wymaga podjęcia robót związanych z przebudową wyrobisk lub usunięciem oporów lokalnych (zlikwidowanie obmurzy tam wentylacyjnych, usunięcie zalegających wozów lub materiałów, itp.)

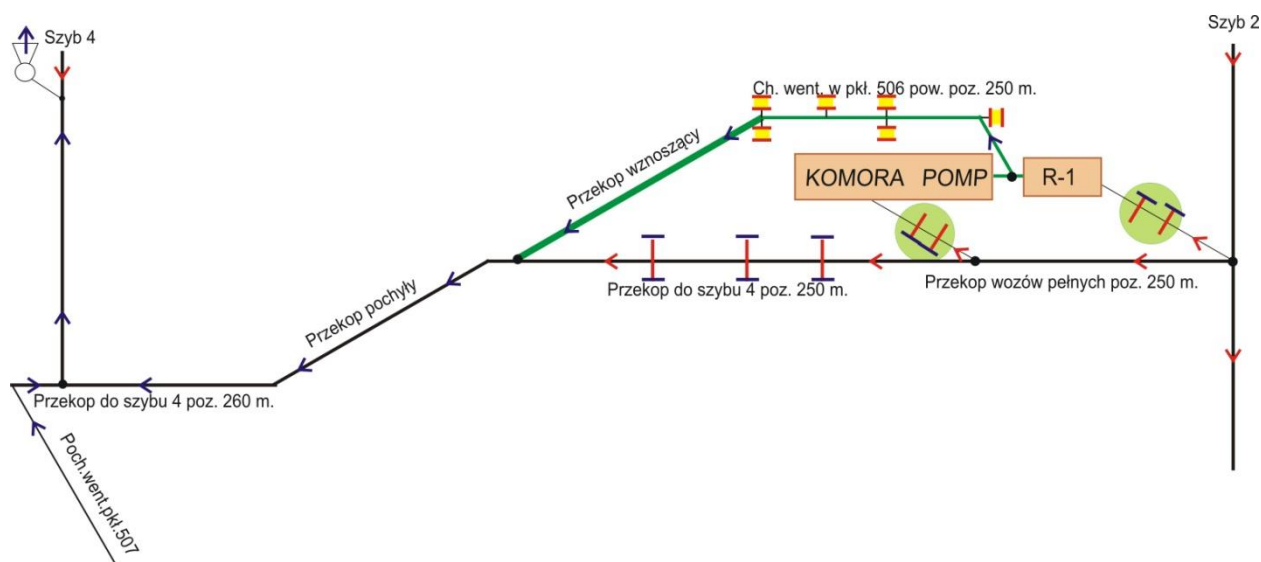
Najczęściej stosowana jest regulacja za pomocą tam regulacyjnych, tj. regulacja dodatnia. Przy regulacji ujemnej stosuje się wentylatory o działaniu zgodnym z kierunkiem przepływu powietrza, instalowane w tych bocznicach, które mają duży opór. Gdy używa się różnych regulatorów, np. tam i wentylatorów, wtedy *regulacja* nazywa się *mieszaną*.

Właściwa regulacja przewietrzania polega na znalezieniu drogi powietrza o największej stracie naporu od wlotu do szybu wdechowego do wylotu z szybu wydechowego. Wielkość tej straty naporu określa spiętrzenie wentylatora. Stawiane jest dodatkowe żądanie, by wyrobiska wentylacyjne i inne pomieszczenia, do których doprowadzane jest powietrze, przewietrzane były prądami niezależnymi. Tamy rozmieszcza się w prądach niezależnych, leżących poza drogą o największej stracie naporu. Opór poszczególnych tam dobiera się w taki sposób, by straty ciśnienia na nich powodowały zrównanie strat ciśnienia ze spiętrzeniem wentylatora przy założonych wydatkach przepływu powietrza. Budowa tamy na drodze o największej stracie ciśnienia podniosłaby zużycie energii na przepływ powietrza przez kopalnię [41, 47, 54, 55].

Najczęściej umieszcza się tamy regulacyjne w tzw. prądach niezależnych w sensie wentylacyjnym. Prądami niezależnymi są takie prądy, które odgałęziają się od grupowych prądów powietrza świeżego i po przewietrzeniu wyrobisk eksploatacyjnych lub innych (komory materiałów wybuchowych, komory pomp, transformatorów itp.) łączą się w prądy grupowe powietrza zużytego. Tamy umieszcza się na początku takich prądów niezależnych.

Ponieważ niniejsza praca doktorska dotyczy regulacji przewietrzania grupowego prądu powietrza i rejonowego prądu powietrza, poniżej podano przykłady takich typowych regulacji przewietrzania, tj. regulacji w prądach wlotowych powietrza świeżego.

Na rys. 4.1. pokazano przykład stosowania typowej regulacji przewietrzania komór przyszybowych we wlotowym prądzie powietrza świeżego. Wynika z niego, że regulacja prowadzona jest dla 2 komór (Rozdzielnia R-1 oraz Komora Pomp), do których powietrze doprowadzane jest z Przekopu wozów pełnych poz. 250 m. Z każdej komory prąd powietrza zużytego płynie poprzez Chodnik wentylacyjny w pokł. 506 pow. poz. 250 m, Przekop wznoszący, Przekop pochyły i Przekop do szybu 4 poz. 260 m do podszybia szybu 4 na poz. 260 m.

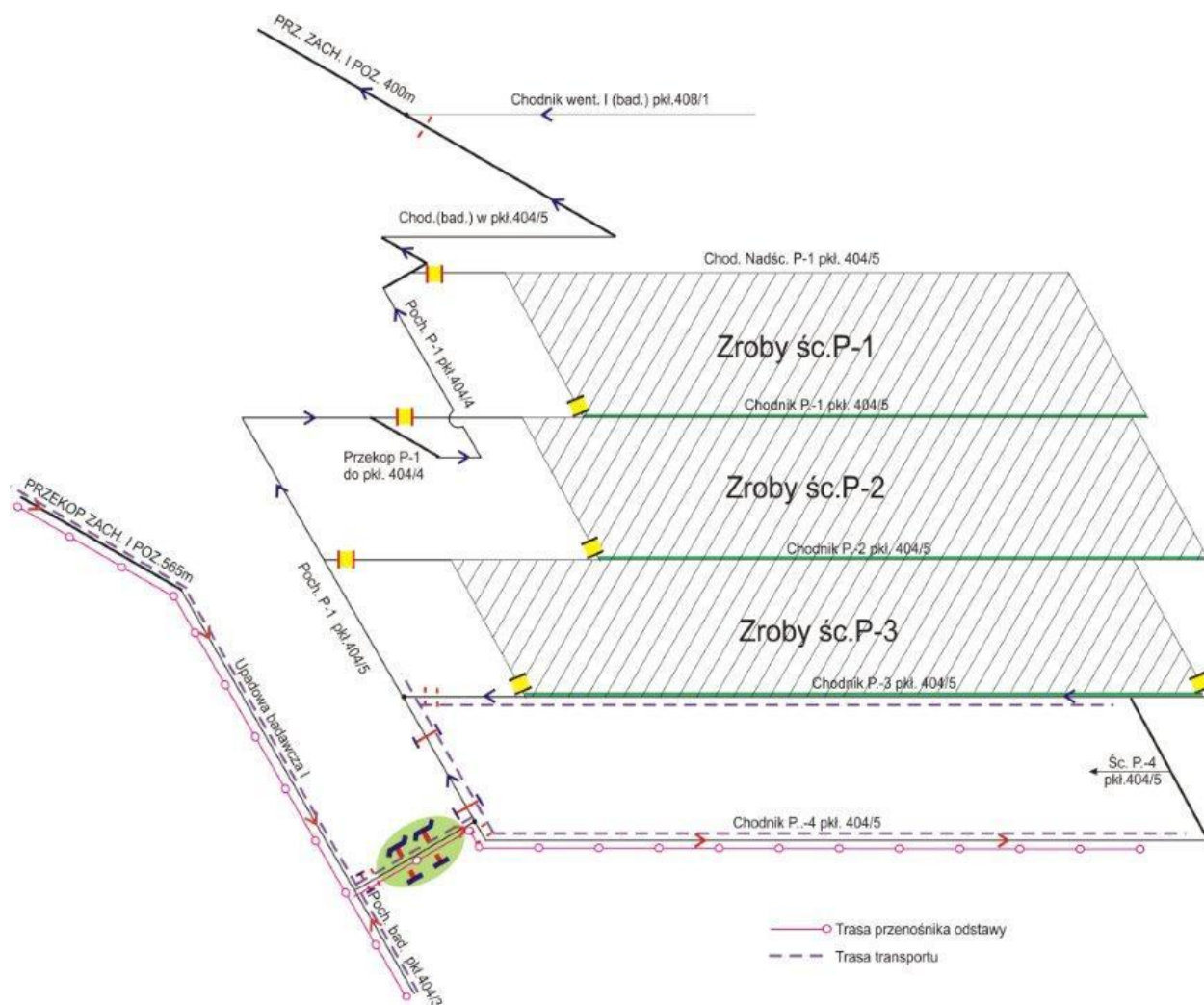


Rys. 4.1. Schemat przestrzenny przewietrzania komór przyszybowych na poz. 250 m, z zaznaczeniem regulacji przewietrzania we wlotowym prądzie powietrza (kolor zielony) (opracowanie własne)

W wyrobisku odprowadzającym powietrze z komór przyszybowych, tj. w Chodniku wentylacyjnym pow. poz. 250 m znajduje się szereg tam izolacyjnych, które poddane są znacznemu oddziaływaniu depresji wentylatora głównego przewietrzania zabudowanego przy szybie wentylacyjnym nr 4. Są to tamy izolujące wyrobiska wykonane w pokładach grupy 500, a więc w pokładach o wysokiej skłonności do samozapalenia

Główne komory przyszybowe ze względu na pełnione funkcje zwykle zlokalizowane są w bezpośrednim sąsiedztwie szybu wdechowego. Na każdą z tych komór działa znaczna depresja wentylatora głównego przewietrzania, a strata naporu ze względu na opór wyrobisk wentylacyjnych odprowadzających powietrze z przedmiotowych komór, w porównaniu z oporem przepływu powietrza przez rejony górnicze, jest stosunkowo niewielka. W przypadku otwarcia obu tam służby wentylacyjnej (celowo lub przypadkowo) na wlocie którejkolwiek z komór następuje tzw. „krótkie spięcie wentylacyjne” powodujące gwałtowny wzrost ilości powietrza płynącego przez komory przyszybowe i jednocześnie spadek ilości powietrza płynącego przez rejony produkcyjne (górnictwo). Dlatego istotnym zagadnieniem, z punktu widzenia stabilności sieci wentylacyjnej kopalni, jest zapobieganie dynamicznym zjawiskom związanym ze spadkiem ilości powietrza w rejonach produkcyjnych (górnictwo) w związku z niekontrolowanym otwarciem śluz wentylacyjnych i „krótkim spięciem wentylacyjnym” w wyrobiskach, czasem odległych, mających wpływ na stabilność przewietrzania [77, 87, 90].

Z kolei typowy przykład regulacji przewietrzania w rejonowym prądzie powietrza ilustruje rys. 4.2.



Rys. 4.2. Schemat przestrzenny przewietrzania rejonu ściany P-4 z zaznaczeniem trasy środków transportowych i odstawy oraz regulacją przewietrzania we wlotowym prądzie powietrza (kolor zielony) (opracowanie własne)

Wynika z niego, że służa wentylacyjna zabudowana jest we wlotowym prądzie powietrza świeżego, tj. w pochylni P-1 w pokładzie 404/5, na trasie odstawy oddziałowej oraz dróg transportu do rejonu, jeszcze przed rozdzieleniem się części tego prądu poprzez służę wentylacyjną w pochylni P-1 w pokładzie 404/5 pomiędzy chodnikiem P-4 i chodnikiem P-3 w pokładzie 404/5.

Taki sposób regulacji powoduje, że znacznemu wpływowi depresji wentylatora głównego przewietrzania poddawane są zarówno zroby eksploatacyjne ściany P-4 w pokładzie 404/5, jak i zroby wyeksploatowanych wcześniej ścian P-1, P-2 i P-3 w pokładzie 404/5. Skutkuje to migracją gazów, w tym powietrza, przez zroby tych ścian. W przypadku, kiedy w zrobach pozostawiany jest węgiel lub do zawału przepada węgiel z pokładów pozabilansowych, to migracja taka może przyspieszyć proces utleniania węgla i przejście procesu utleniania w proces samozagrzewania węgla. W konsekwencji może dojść do samozapłonu węgla i pożaru, a jeśli na dodatek jest to pokład silnie metanowy, to i do wybuchu metanu. Jednocześnie prowadzona regulacja przewietrzania na trasie odstawy oddziałowej oraz dróg prowadzonego transportu nie

zapewnia stabilności przewietrzania rejonu oraz powoduje wywiewanie drobnego urobku transportowanego przenośnikiem taśmowym w miejscu zabudowy tam regulacyjnych.

Reasumując powyższe, można przyjąć, że wpływ depresji wentylatora głównego przewietrzania na grupowy i rejonowy prąd powietrza może doprowadzić do niepożądanych skutków. Zatem znalezienie innego sposobu regulacji przewietrzania, mające na celu poprawę przewietrzania jest uzasadnione.

5. Regulacja przewietrzania w prądach wylotowych powietrza zużytego

Dla kontroli stanu przewietrzania wyrobisk w kopalni podziemnej istotna jest znajomość podstawowych parametrów termodynamicznych powietrza. Bez tej wiedzy niemożliwe jest przeprowadzanie regulacji przewietrzania. Dlatego też, dla zamodelowania regulacji przepływu powietrza poprzez zastosowanie śluz wentylacyjnych w wylotowych prądach powietrza zużytego, zarówno grupowego, jak i rejonowego, konieczne było postępowanie zgodne z zasadami obowiązującymi w wentylacji kopalń, co podano poniżej.

5.1. Pomiary parametrów termodynamicznych powietrza w kopalni – obliczanie sieci wentylacyjnej

Obowiązujące przepisy (par. 167 Rozporządzenia ME z dnia 23 listopada 2016 r.) [62] wymagają, aby dla rejonów wentylacyjnych ścian wykonywać schemat przestrzenny sieci wentylacyjnej z naniesionymi potencjałami w punktach węzłowych. Obliczanie potencjałów wyłącznie w rejonach wentylacyjnych ścian, bez wyznaczenia (obliczenia) potencjałów całej sieci wentylacyjnej nie daje pełnego obrazu takiego rejonu. Wynika to z tego, że tylko pełna wiedza o sieci wentylacyjnej kopalni pozwala na właściwą regulację tej sieci. Wynika to z istoty i wagi wyznaczania miejsc zabudowy tam regulacyjnych uwzględniających m.in. tamy izolacyjne, uskoki, zaburzenia geologiczne, ale również zabudowane środki transportowe i natężenie ruchu w wyrobiskach (bocznicach).

Rozkład potencjałów stanowi podstawową bazę informacji dla określenia bezpieczeństwa sieci wentylacyjnej, jej stabilności i racjonalności przewietrzania oraz gospodarki spiętrzeniem wentylatorów głównych. Dlatego niezbędnym jest okresowe wykonywanie pomiarów wentylacyjnych pozwalających odwzorować sieć wentylacyjną. Schemat potencjalny umożliwia również przeprowadzenie analizy sieci wentylacyjnej oraz rozkładu potencjałów aerodynamicznych pod kątem:

- bilansu rozprywu powietrza oraz określenia parametrów podsięci wentylacyjnej,
- rozkładu straty naporu na drogach przepływu powietrza,
- oceny intensywności przewietrzania i stabilności kierunków powietrza w rejonach eksploatacyjnych,
- stabilności prądów rejonowych,
- efektywności sieci wentylacyjnej, tj. ilości powietrza doprowadzanego do rejonów górniczych, strat w grupowych prądach powietrza, itp.,
- przepływu gazów zrobowych,
- oceny bezpieczeństwa współpracy wentylatorów głównego przewietrzania,
- stabilności i ekonomiczności pracy wentylatorów głównego przewietrzania.

Dla odwzorowania sieci wentylacyjnej niezbędnym jest wykonywanie pomiarów następujących parametrów:

- ciśnienia powietrza kopalnianego w poszczególnych węzłach sieci kopalnianej,
- temperatury powietrza mierzonej termometrem suchym i wilgotnym na wlotach i wylotach poszczególnych bocznic,
- prędkości (ilości) przepływającego powietrza w poszczególnych wyrobiskach stanowiących bocznice sieci wentylacyjnej,

- temperatury powietrza mierzonej termometrem suchym i wilgotnym oraz ciśnienia na powierzchni.

Pomiary ciśnienia powietrza należy wykonywać precyzyjnymi aneroidami. Temperaturę suchą i wilgotną powietrza w kopalni oraz na powierzchni mierzy się psychrometrami Assmana wyposażonymi w termometry rtęciowe lub termohigrometrami. Pomiary prędkości powietrza wykonywane są anemometrami skrzydełkowymi metodą „w przekroju”, przy czym prędkość średnia obliczana jest jako średnia arytmetyczna. Pomiary prędkości powietrza należy wykonywać w sposób umożliwiający dokonanie bilansu rozplywu powietrza i wyrównanie błędów pomiarowych. W miejscu wykonywanych pomiarów mierzy się przekrój poprzeczny wyrobiska, co umożliwia obliczenie wydatku przepływu powietrza oraz analizę przepustowości wentylacyjnej poszczególnych wyrobisk.

Ponieważ w trakcie wykonywania pomiarów zmianie mogą ulec parametry powietrza na powierzchni, co ma istotny wpływ na parametry na dole kopalni, należy jednocześnie wykonywać pomiary ciśnienia i temperatury na zrębie szybu wdechowego. W przypadku istotnych zmian ciśnienia atmosferycznego na powierzchni częstotliwość pomiarów na powierzchni należy odpowiednio zagęścić [2, 61, 85, 86].

Jak już wcześniej podano, dla potrzeb niniejszej pracy, wykonano badania sieci wentylacyjnej Ruchu Jankowice. Wyniki tych badań pozwoliły obliczyć potencjały izentropowe w istotnych węzłach sieci wentylacyjnej Ruchu Jankowice. Badania te przeprowadzono z uwzględnieniem poniżej wymienionych zasad.

1) Wykonywanie obliczeń potencjałów izentropowych powietrza w wybranych węzłach sieci

Stosunki depresyjne występujące w kopalni wywołane są z jednej strony przez źródła depresji (wentylatory główne i pomocnicze oraz lokalne depresje cieplne), z drugiej strony przez elementy bierne (opory różnego rodzaju tam i opory wyrobisk). Źródła energii wytwarzają depresje, natomiast opory tam i bocznicę powodują spadki naporu. Schemat potencjalny jest graficznym zilustrowaniem tych stosunków depresyjnych. Każdemu punktowi charakterystycznemu sieci przyporządkowujemy określoną wartość potencjału. Przy wykonywaniu schematu potencjalnego sieci aktywnej należy określić różnice potencjałów izentropowych między różnymi punktami istotnymi sieci wentylacyjnej oraz wielkości depresji naturalnej między tymi punktami.

Potencjał izentropowy powietrza h w danym punkcie istotnym o wysokości niwelacyjnej z_w stosunku do potencjału zerowego występującego na zrębie szybu wdechowego o wysokości niwelacyjnej z_0 określa wzór:

$$h = p - p_s \quad (5.1)$$

gdzie:

- p – ciśnienie powietrza kopalnianego znajdującego się pod wpływem depresji wentylatora głównego i depresji naturalnej [Pa],
- p_s – ciśnienie powietrza suchego tworzącego atmosferę uwarstwowioną izentropowo w sieci, jakie panowałoby w danym węźle przy braku działania wentylatora głównego i depresji naturalnej [Pa].

Wielkość ciśnienia powietrza suchego p_s można określić z zależności

$$p_s = p_0 \left[1 + \frac{g(z_0 - z)}{c_p T_v} \right]^{\frac{H}{H-1}} \quad (5.2)$$

$$z = \frac{g(z_0 - z)}{c_p T_v} \quad (5.3)$$

$$H = 1,4, \frac{H}{H-1} = 3,5 \quad (5.4)$$

$$y = (1 + z)^{3,5} \quad (5.5)$$

gdzie:

p_0 – ciśnienie powietrza atmosferycznego w przekroju zrębu szybu wdechowego [Pa],

z_0 – wysokość niwelacyjna przekroju zrębu tego szybu [m],

z – wysokość niwelacyjna punktu istotnego, dla którego wyznacza się potencjał [m],

g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2],

$c_p = 1005 \text{ J/kg}$ – ciepło właściwe powietrza suchego przy stałym ciśnieniu,

$H = 1,4$ – wykładnik przemiany politropowej powietrza suchego,

T_v – temperatura wirtualna powietrza atmosferycznego w przekroju zrębu szybu wdechowego [K].

Wielkość temperatury wirtualnej T_{v0} można określić z zależności:

$$T_v = (1 + 0,6 X) T \quad (5.6)$$

gdzie:

T – temperatura bezwzględna powietrza atmosferycznego na zrębie szybu wdechowego [K],

X – wilgotność właściwa powietrza na zrębie szybu wdechowego [kg/kg],

$$X_0 = 0,622 \frac{e}{p - e} \quad (5.7)$$

$$\rho = \frac{0,00348}{T} (p - 0,378 e) \quad (5.8)$$

gdzie:

e – ciśnienie parcjale pary wodnej zawartej w powietrzu [Pa],

ρ – gęstość powietrza wilgotnego [kg/m^3].

Potencjały izentropowe oblicza się na podstawie ww. wzorów dla średniego ciśnienia na powierzchni i poprawek ciśnienia na dole [2, 61, 85, 86].

2) Wyznaczenie depresji cieplnej

Zjawisko ruchu powietrza wyrobiskami górniczymi bez udziału jakichkolwiek źródeł depresji mechanicznej było znane od początku istnienia działalności górniczej. Ruch powietrza był w tym przypadku głównie procesem wymiany ciepła zachodzącego pomiędzy przepływającym powietrzem, a otaczającymi wyrobisko skałami, a także zmianami składu powietrza i jego wilgotności. Pewien udział może mieć również oddziaływanie czynników czysto mechanicznych, jak opadanie kropeł wody w wyrobiskach mechanicznych czy też ruch urządzeń transportowych. Łączne oddziaływanie tych czynników nosi nazwę depresji naturalnej, a największy wpływ na jej wielkość ma depresja cieplna. Zatem dla wyznaczenia depresji naturalnej można ograniczyć się do obliczeń wartości depresji cieplnej uwzględniając ewentualne zmiany składu powietrza przy dużych dopływach gazów o gęstości różnej od gęstości powietrza.

Do obliczeń wykorzystuje się znane metody określania wielkości depresji cieplnej w sieciach wentylacyjnych, wiążące depresję bądź z danym oczkiem sieci (metoda termodynamiczna W. Budryka, metoda hydroakustyczna), bądź z poszczególnymi bocznicy sieci (metoda H. Bystronia). Depresja ta określona jest zależnością

$$h_{nb} = -(p_{sw} - p_{sd}) - g \rho_m (z_w - z_d) \quad [\text{Pa}] \quad (5.9)$$

gdzie:

p_{sw} , p_{sd} – ciśnienie powietrza suchego tworzącego w sieci wentylacyjnej atmosferę uwarstwowaną izentropowo jeżeli w sieci nie działają żadne źródła depresji odpowiednio dla przekroju (p_{sw}) i dopływu (p_{sd}) bocznicy b [Pa],
 z_w , z_d – wysokości niwelacyjne przekroju odpowiednio wypływu (z_w) i dopływu (z_d) bocznicy b [m],
 $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ – przyspieszenie ziemskie,
 ρ_m – średnia gęstość powietrza w bocznicy b oraz odpowiednio gęstości powietrza w przekroju wypływu (ρ_w) i dopływu (ρ_d) bocznicy b [kg/m^3].

Strata naporu w bocznicach, w których występuje depresja cieplna określana jest z zależności

$$w_b = (h_d - h_w) + h_{nb} \quad (5.10)$$

gdzie: h_w , h_d – potencjały aerodynamiczne w węzłach odpowiednio wylotowym (h_w) i dolotowym (h_d) bocznicy b [Pa].

W większości przypadków depresje te są małe i wspomagają działanie wentylatorów głównego przewietrzania. Zwykle depresje cieplne w szybach wdechowych lub wyrobiskach, w których powietrze jest sprowadzane na upad mają wartości ujemne, a w szybach wydechowych wartości dodatnie [2, 61, 85, 86].

3) Strata naporu na drogach przepływu powietrza

Obliczone potencjały izentropowe poszczególnych węzłów sieci wentylacyjnej wraz ze schematem przestrzennym służą do wykonania schematu potencjalnego, który stanowi bazę

informacji o stosunkach depresyjnych, które w wyrobiskach stanowiących szkielet kopalni, ulegają małym zmianom w czasie.

Właściwa gospodarka spiętrzeniem wentylatorów głównych polega na takim rozłożeniu straty naporu na poszczególnych drogach przepływu powietrza, aby nie stanowiły one dla przepływającego powietrza tzw. wąskich przekrojów wentylacyjnych. Straty naporu winny być rozłożone w sposób równomierny na drogi przepływu powietrza, w szczególności dotyczy to wyrobisk wchodzących w skład dróg grupowych powietrza świeżego i zużytego, którymi przepływają duże ilości powietrza przewietrzające rejony górnicze. Z drugiej strony stan taki może mieć wpływ na wielkość straty naporu w rejonach wentylacyjnych obniżając stabilność prądów rejonowych. W analizie rozkładu straty naporu na drogach przepływu powietrza bierze się pod uwagę prądy powietrza świeżego i zużytego związane z przewietrzaniem danego rejonu wydobywczego w stosunku do spiętrzenia wentylatora na szybie [2, 61, 85, 86].

4) Analiza stabilności prądów rejonowych

Przewietrzanie wyrobisk, w szczególności rejonów robót górniczych, winno cechować się odpowiednią stabilnością kierunków i wydatku przepływu powietrza. Przez stabilność kierunków przepływu powietrza w bocznicy rozumie się zdolność do utrzymania istniejącego kierunku przepływu, przy wywołaniu stosunkowo małych zaburzeń w sieci wentylacyjnej.

Kryterium Lapunowa określa zdolność przepływu powietrza w bocznicy w ten sposób, że jeżeli zaburzenie przepływu $\Delta q(t)$ w chwili t spowoduje zmiany parametrów przepływu $q(t)$ o wielkość Δq , która z czasem zmierza do zera, to przepływ taki uważa się za stabilny. Według W. Budryka stabilność prądu powietrza jest tym większa, im większy jest spadek hydrauliczny (spadek naporu) w danej bocznicy w stosunku do wielkości spadku hydraulicznego w części zewnętrznej oczka, tzn. wielkości spiętrzenia wentylatora pomniejszonej o wielkość straty naporu w tej bocznicy. Natomiast dla sieci wentylacyjnych, w których występują depresje cieplne H . Bystroń zdefiniował wskaźnik stabilności prądu rejonowego [53] odnosząc go do warunków standardowych (spiętrzenie standardowe wentylatora zależne od głębokości eksploatacji i występujących zagrożeń naturalnych). Wskaźnik stabilności określa się zależnością:

$$H_a = \frac{\Delta p_c + h_{nl}}{\Delta p_0} \cdot \frac{h_a}{2(\Delta p_c + h_{nl}) - h_a} \quad (5.11)$$

gdzie:

Δp_c – energia użyteczna wentylatora e_{uv} [J/m³], jako spiętrzenie całkowite wentylatora [Pa],

Δp_0 – standardowe spiętrzenie wentylatora wynoszące:

- 2354 [Pa] – dla kopalń głębokich i silnie metanowych,
- 785 [Pa] – dla kopalń płytkich i słabo metanowych,

h_{nl} – depresja cieplna na danej drodze przepływu, do której należy analizowany prąd rejonu [Pa],

h_a – dyssypacja energii w rozpatrywanej bocznicy [J/m³].

Wzrost wartości wskaźnika można uzyskać przede wszystkim poprzez zwiększenie dyssypacji energii (straty naporu) w danym rejonie i liczby rejonów eksploatacyjnych, co jest

sprzeczne z wymogami ekonomiki i koncentracji robót eksploatacyjnych. Za stabilność bardzo dobrą uważa się prądy oddziałowe o wskaźniku H_a większym od 0,25. W praktyce utrzymanie tak wysokiej liczby kryterialnej jest trudne, gdyż wymagałoby przewietrzania oddziałów prądami rejonowymi oddzielającymi się od grupowego prądu powietrza świeżego już na podszybiu szybu wdechowego. Trudności w zachowaniu tego wskaźnika wynikają głównie z dużego spadku naporu na drogach grupowych zużytego powietrza. Spadek naporu w tym przypadku związany jest ze wzrostem głębokości eksploatacji w kopalni i wydłużeniem dróg przepływu powietrza zużytego. Dlatego w praktyce to kryterium obniża się do wartości $H_a \geq 0,1$ uznając, że stabilność prądu rejonowego jest zadowalająca.

Wskaźnik stabilności prądów powietrza wg Bystronia nie uwzględnia istotnego czynnika charakteryzującego stan przewietrzania, a mianowicie natężenia przepływu powietrza. Stąd zdefiniowano inny bardziej wiarygodny wskaźnik stabilności prądu rejonowego [2, 50, 53, 61, 85, 86], a mianowicie wskaźnik mocy prądu określony zależnością:

$$N_f = h_a Q \text{ [W]} \quad (5.12)$$

gdzie:

N_f – moc prądu rejonowego [W],

h_a – strata naporu w rejonie, równa różnicy potencjałów wlotu i wylotu rejonu [Pa],

Q – wydatek objętościowy przepływu powietrza w danym rejonie wentylacyjnym [m^3/s].

W oparciu o wskaźnik mocy prądu powietrza przyjmuje się następującą kwalifikację stabilności prądów:

$N_f \geq 6000 \text{ W}$	- prąd bardzo mocny,
$1200 \leq N_f < 6000 \text{ W}$	- prąd mocny,
$240 \leq N_f < 1200 \text{ W}$	- prąd średni,
$50 \leq N_f < 240 \text{ W}$	- prąd słaby,
$N_f < 50 \text{ W}$	- prąd bardzo słaby.

Oddziały wydobywcze w kopalni powinny być przewietrzane prądami bardzo mocnymi i mocnymi, a nie powinny być przewietrzane prądami słabymi i bardzo słabymi [2, 61, 85, 86].

5) Analiza stabilności i ekonomiczności współpracy wentylatorów głównych

Bezpieczeństwo współpracy układu wentylator główny – podsieć wentylacyjna, polega na reagowaniu układu na zakłócenia o charakterze losowym charakteryzującym się tzw. samotłumieniem. Jeżeli analizowany układ zostanie wytrącony ze stanu równowagi określonego wielkościami wytwarzanego spiętrzenia po ustaniu tego zakłócenia, zdąża on do tego samego stanu. W przypadku układu niestabilnego zakłócenia o charakterze losowym powodują przejście układu do innego stanu równowagi lub do stanu stałych drgań zwanych pompowaniem wentylatora. Każde ze zjawisk niestabilności układu jest niekorzystne z punktu widzenia właściwej i bezpiecznej wentylacji kopalni. Zatem istotą bezpieczeństwa współpracy wentylatora z siecią jest określenie, czy w danych warunkach zapewniona jest stabilna współpraca układu wentylator – sieć.

Wentylator współpracujący z siecią winien spełniać następujące kryteria stabilności:

a) *statyczne kryterium pracy*:

$$k_{\alpha} - b \geq 0 \quad (5.13)$$

gdzie:

k_{α} – współczynnik kątowy charakterystyki sieci w punkcie pracy wentylatora,

b – współczynnik kątowy charakterystyki wentylatora w punkcie jego pracy.

Powyższe kryterium jest spełnione, gdy punkt pracy wentylatora leży na prawej, malejącej części jego charakterystyki. Natomiast na lewej, rosnącej gałęzi charakterystyki możliwa jest praca niestabilna, warunek nie jest w tym wypadku spełniony. Ponieważ w warunku powyższym możliwa jest ocena pracy jako stabilnej w punkcie maksimum, które jednocześnie nie pozwala na zachowanie maksimum bezpieczeństwa wprowadza się dodatkowe warunki;

b) *warunek kumulacyjny pracy* – nazywany również warunkiem spiętrzenia:

$$\Delta p < 0,9 \Delta p_{max} \quad (5.14)$$

gdzie:

Δp – spiętrzenie całkowite wentylatora w jego punkcie pracy leżącym na prawej, malejącej części charakterystyki wentylatora [Pa],

Δp_{max} – spiętrzenie maksymalne wentylatora (maksimum lokalne) [Pa].

Warunek kumulacyjny zapewnia margines bezpieczeństwa;

c) *warunek dysypacyjny* – szczególnie przydatny w przypadku charakterystyki wentylatora, odznaczającej się małymi zmianami spiętrzenia przy dużych zmianach wydatku przepływu powietrza przez wentylator. Warunek ten określa zależność:

$$R_f < \frac{1}{k} R_{fgr} \quad (5.15)$$

gdzie:

R_f – opór sieci współpracującej z wentylatorem, której charakterystyka przecina prawą, malejącą część charakterystyki wentylatora [Ns^2/m^8],

R_{fgr} – opór sieci, której charakterystyka przechodzi przez punkt charakterystyki spiętrzenia wentylatora zwany granicą jego pracy (zazwyczaj jest to lokalne maksimum spiętrzenia) [Ns^2/m^8],

k – rezerwa dławienia, zazwyczaj przyjmuje się $k = 1,2$.

Do oceny ekonomiczności pracy wentylatorów głównych używa się zazwyczaj warunku opartego na sprawności wentylatora [2, 61, 85, 86]

$$\eta > 0,8 \eta_{max} \quad (5.16)$$

gdzie:

η – sprawność wentylatora w punkcie jego pracy,

η_{max} – sprawność maksymalna wentylatora.

6) Obliczenia sieci wentylacyjnej za pomocą programu VentGraph

Do określenia struktury schematu potencjalnego i zapisu struktury sieci wentylacyjnej kopalni w postaci komputerowego modelu sieci wentylacyjnej kopalni, można wykorzystać programy komputerowe [12, 18], np. program komputerowy VentGraph [13, 15, 16]. W programie tym można wyodrębnić dane charakterystyczne dla danej bocznic lub węzła, dane (wielkości) pomiarowe oraz wielkości obliczone, tj.:

- a) *dane charakterystyczne bocznic lub węzła*, tj.
 - numer bocznic,
 - węzeł wlotowy i wylotowy danej bocznic,
 - długość bocznic oraz średni przekrój,
 - numer węzła,
 - kąt wysokościową węzła [m],
- b) *dane pomiarowe uzyskane w wyniku pomiarów dołowych lub na powierzchni*, tj.:
 - czas wykonania pomiaru,
 - wydatek powietrza w bocznic $[m^3/s, m^3/min]$,
 - ciśnienie w węźle [Pa],
 - temperaturę suchą i wilgotną w bocznicach przyległych do węzła $[^{\circ}C]$,
 - ciśnienie atmosferyczne na powierzchni [Pa],
 - temperaturę suchą i wilgotną na powierzchni $[^{\circ}C]$,
- c) *wielkości obliczone*, tj.:
 - opór bocznic $[kg/m^7]$,
 - gęstość średnia $[kg/m^3]$,
 - ciśnienie statyczne [Pa],
 - spadek naporu [Pa],
 - różnicę wysokości między punktem wlotowym i wylotowym z bocznic [m],
 - potencjał izentropowy $[J/m^3]$.

Ze względu na fakt, że w trakcie wykonywania pomiarów na dole kopalni zmianie ulegają parametry powietrza atmosferycznego na powierzchni, pomiary ciśnienia i temperatury wykonuje się równocześnie na dole i na powierzchni.

Dla dokonania oceny poprawności wyznaczonych danych wejściowych w modelu komputerowym sieci wentylacyjnych należy dokonać ich sprawdzenia w zakresie:

- poprawności struktury sieci,
- poprawności wyznaczonych oporów.

Sprawdzenie poprawności struktury sieci dokonuje się już na etapie wprowadzania danych do programu „edtxt”. Program informuje o błędach poprzez pojawienie się informacji o:

- węzłach, które mają połączenie tylko z jedną bocznicą, co świadczy o tym, że do sieci nie wpisano pozostałych bocznic związanych z danym węzłem.
- różnicy w ilości powietrza wpływającego i wypływającego z węzła, co świadczy w złym zbilansowaniu powietrza,

- ujemnej wartości oporu bocznicy – źle pomierzone (wprowadzone) wartości ciśnienia w węzłach, które powodują, że powietrze płynie od węzła o potencjale wyższym do węzła o potencjale niższym,

Poprawność pozostałych danych sprawdza się przez obliczenie rozplywu powietrza programem „gras” dla sieci wentylacyjnej określonej dla stanu aktualnego. Dane wejściowe zostały wyznaczone prawidłowo, jeżeli:

- kierunki przepływu powietrza we wszystkich bocznicach sieci są zgodne z rzeczywistymi,
- obliczone wydatki powietrza są zbliżone do wydatków rzeczywistych.

Tak przeliczona i sprawdzona sieć wentylacyjna i jej model komputerowy może zostać wykorzystana do symulacji, polegających, m.in. na:

- tamowaniu wyrobisk,
- wprowadzaniu nowych wyrobisk do sieci kopalnianej (przebicia),
- zmniejszeniu lub zwiększeniu oporu wyrobiska (otwarcie/zamknięcie tamy regulacyjnej, przebudowa wyrobiska, itp.),
- zmianie parametrów pracy stacji wentylatorów głównego przewietrzania, w tym załączenie lub wyłączenie wentylatora [2, 18, 61, 85, 86].

5.2. Idea regulacji w prądach wylotowych powietrza zużytego

W latach 80-tych i 90-tych ubiegłego wieku (ówczesna) kopalnia „Jankowice” prowadziła eksploatację w części macierzystej oraz w rejonu szybu peryferyjnego 6 (wdechowego, materiałowo-zjazdowego). Dla zapewnienia wymaganych parametrów przewietrzania części peryferyjnej wykonany był szyb wentylacyjny 5a. Szyb 6 wydrążony był do poz. 565 m, a szyb 5a do poz. 410 m. W tym okresie kopalnia wykorzystywała:

- cztery szyby wdechowe (2, 6, 7 i 8),
- trzy szyby wydechowe (3, 4 i 5a).

Obowiązujący model kopalni zakładał następujący podział podsięci wentylacyjnych:

- szybu 3 (zglobiony do poz. 400 m) – wyrobiska eksploatacyjne części macierzystej,
- szybu 4 (zglobiony do poz. 260 m) – komory przyszybowe części macierzystej (szybów 2, 7 i 8),
- szybu 5a (zglobiony do poz. 410 m) – wyrobiska eksploatacyjne rejonu szybu 6 oraz komory przyszybowe szybu 6.

Centralne usytuowanie szybów peryferyjnych 6 oraz 5a niosło za sobą konieczność wyznaczenia filara ochronnego, a jednocześnie uwięzienie znacznych zasobów węgla. Przyjęty model rozwoju kopalni zakładał uproszczenie sieci wentylacyjnej kopalni, likwidację szybów 6 i 5a wraz z filarem ochronnym, co umożliwiłoby projektowanie ścian wydobywczych o znacznych wybiegach (do 3000 m). Warunkiem takiego modelu kopalni było „dociążenie” szybu wentylacyjnego nr 4, który do tego czasu wykorzystywany był wyłącznie dla przewietrzania komór przyszybowych części macierzystej.

W nowym modelu kopalni przyjęto następujące założenia:

- likwidacja szybów 6 i 5a wraz z wyrobiskami przyległymi, w tym komorami przyszybowymi,

- projektowanie głównych komór przyszybowych przy szybie 8 na poz. 565 m, a docelowo na poz. 700 i 880 m,
- odstąpienie od pogłębiania szybu wentylacyjnego 4 i przyjęcie założenia, że komory przyszybowe na poz. 700 i 880m przewietrzane będą poprzez diagonale i pochylnie wentylacyjne,
- szyb wentylacyjny 3 będzie głównym szybem wentylacyjnym kopalni zapewniającym przewietrzanie większości rejonów górniczych,
- szyb wentylacyjny 4 służyć będzie do przewietrzania komór przyszybowych szybów 2, 7 i 8 oraz minimum jednego rejonu górniczego.

Przyjęte założenia, w szczególności w stosunku do szybu wentylacyjnego 4, wymusiły konieczność optymalizacji sieci wentylacyjnej kopalni przy jednoczesnym zachowaniu stosunków jakościowych i ilościowych we wszystkich wyrobiskach kopalni. Jednocześnie, dla zrównoważenia zmniejszenia ilości powietrza w sieci wentylacyjnej związanego z wyłączeniem szybu wentylacyjnego 5a koniecznym było uruchomienie drugiego wentylatora WPK 3.3 na szybie wentylacyjnym nr 3 i podniesienie depresji do poziomu 320-360 mmH₂O – praca równoległa wentylatorów. Powyższe znacząco przełożyło się na zwiększone oddziaływanie depresyjne na zroby eksploatowanych ścian oraz tamy izolacyjne.

Wentylatory głównego przewietrzania zabudowane na szybie 5a zostały wyłączone w lipcu 2002 roku, a szyb 6 wraz z wyrobiskami przyległymi został zlikwidowany w sierpniu 2006 r. [29, 67].

Kolejnym ważnym etapem w rozwoju kopalni było powstanie kopalni zespolonej ROW, w skład której weszły kopalnie Chwałowice, Jankowice, Marcel i Rydułtowy. Oprócz formalnego połączenia tych kopalń, wykonano również wyrobiska dołowe, łączące ze sobą:

- Ruch Rydułtowy z Ruchem Marcel,
- Ruch Jankowice z Ruchem Chwałowice,
- Ruch Jankowice z Ruchem Marcel.

Wykonanie połączenia wentylacyjnego między Ruchem Jankowice i Ruchem Marcel oraz zmiana sposobu przewietrzania wyrobisk w części Markłowickiej poprzez przewietrzanie ich na szyb Markłowice II umożliwiła wyłączenie jednego wentylatora WPK 3.3 na szybie wentylacyjnym nr 3 Ruchu Jankowice i zmniejszenie podciśnienia (depresji) w kanale wentylatorów głównego przewietrzania z 320-360 mm H₂O do 160-220 mm H₂O.

Punktem wyjścia dla wprowadzenia regulacji przewietrzania w prądach powietrza zużytego (rejonowego lub grupowego) była konieczność zapewnienia stabilnego przewietrzania rejonów kopalni w związku z prowadzoną restrukturyzacją kopalni. Związane to było z likwidacją szybów nr 5a i 6, ograniczeniem ilości eksploatowanych ścian z 14 do 3-4, ograniczeniem nakładów inwestycyjnych na drażnienie wyrobisk kapitalnych, w szczególności wentylacyjnych, koniecznością ograniczenia strat powietrza, zwiększeniem intensywności przewietrzania w związku z postępującą głębokością eksploatacji, uruchomieniem drugiego wentylatora WPK 3.3 na szybie wentylacyjnym nr 3 i podniesieniem depresji w stacji wentylatorów głównych.

Przeprowadzona analiza wyników pomiarów wentylacyjnych, wyposażenia wyrobisk oraz natężenia ruchu załogi wykazała, że powyższe czynniki zdecydowanie przemawiają na korzyść regulacji w prądzie powietrza zużytego. M.in. dlatego, że w wyrobisku nie ma zabudowanych

przenośników odstawy, a ruch załogi, w szczególności w przypadku przewietrzania komór przyszybowych, jest zdecydowanie mniejszy. Jednakże, w przypadku komór przyszybowych, ze względu na bliskość szybu wentylacyjnego i stosunkowo krótkie drogi wentylacyjne od wlotu do komory przyszybowej do szybu lub poziomego wentylacyjnego, występuje duży napór na służby wentylacyjne.

Dla bezpiecznej regulacji w prądzie powietrza zużytego przyjęte zostało założenie, że zastosowane rozwiązanie:

- nie może wpłynąć na pogorszenie stanu bezpieczeństwa, w szczególności z możliwością odprowadzenia ewentualnych dymów,
- nie może stwarzać zagrożeń ruchowych dla załogi,
- musi zapewnić stabilne przewietrzanie sieci/podsięci wentylacyjnej i poszczególnych rejonów kopalni,
- musi uwzględniać wyposażenie wyrobisk.

Dla poszczególnych regulacji przewietrzania w grupowych lub rejonowych prądach powietrza zużytego oszacowano ryzyko, na podstawie którego kierownik ruchu zakładu górniczego określił warunki bezpieczeństwa. Było to zgodne z wymaganiami przepisów obowiązujących od 2002 r. ([63] – § 213) oraz od 1 lipca 2017 r. ([62] – § 176).

Nieco inaczej przedstawia się zagadnienie regulacji w prądach wlotowych w rejonach ścian wydobywczych, tj. w rejonowych prądach wlotowych. W zdecydowanej większości przypadków jest w nich zabudowana trasa przenośników odstawy oddziałowej (zwykle jest to przenośnik zgrzeblowy i przenośniki taśmowe) oraz trasa transportu (kolejka podwieszana linowa lub kolejka z napędem własnym). Jednocześnie jest to też droga o znacznym natężeniu ruchu załogi.

W czasie swej pracy zawodowej zaobserwowałem szereg niekorzystnych czynników związanych z prowadzeniem regulacji przewietrzania na wlotach do rejonowych prądów powietrza. Oto kilka głównych z nich.

a) *Wywiewanie urobku i tworzenie pryzm drobnego urobku w miejscu zabudowy tam regulacyjnych.*

Zabudowa tam regulacyjnych na trasie odstawy, w szczególności przenośnikami taśmowymi, wpływa na wywiewanie urobku i tworzenie się pryzm drobnego urobku. Brak właściwego nadzoru i brak bieżącego usuwania nagromadzonego drobnego urobku bardzo istotnie wpływa na możliwość powstania pożaru egzogenicznego (podbita taśma, nie kręcące się rolki, itp.) oraz stan zagrożenia wybuchem pyłu węglowego (możliwość powstania wzniesionego obłoku drobnego pyłu). Dla eliminowania takich sytuacji istnieje konieczność budowy tuneli pyłochłonnych oraz bieżące usuwanie urobku.

b) *Konieczność zabudowy tam mechanicznych lub automatycznych przy jednoczesnym dochowaniu gabarytów ruchowych.*

Zgodnie z obowiązującymi przepisami:

- §182 Rozporządzenia ME [62] – „Drzwi w tamach śluz wentylacyjnych zainstalowanych na drogach przewozu lokomotywowego lub przewozu z napędem własnym są otwierane i zamykane mechanicznie lub automatycznie”;

- §185 Rozporządzenia ME [62] – „W wyrobiskach, w których jest konieczne zabudowanie tam wentylacyjnych umieszczanie urządzeń transportu linowego jest niedopuszczalne. Przepisu nie stosuje się w wypadku, gdy jest zapewnione mechaniczne lub samoczynne zamknięcie i otwarcie tam wentylacyjnych bez potrzeby wejścia pracowników na drogi transportowe.”

Powyższe przepisy determinują zabudowę tam automatycznych lub mechanicznych na trasie prowadzonego transportu. Istniejąca trasa przenośnika odstawy w miejscu zabudowy tam w zdecydowanej większości przypadków, dla zapewnienia gabarytów ruchowych, powoduje konieczność wykonania przebudowy wyrobiska lub poszerzenia w miejscu zabudowy tam oraz kilka metrów przed i za tamą. Powyższe generuje dodatkowe koszty i jednocześnie uniemożliwia niezwłoczne zastosowanie prawidłowej regulacji przewietrzania.

c) *Oddziaływanie depresyjne szybu wentylacyjnego na zroby eksploatowanej ściany.*

Zawężenie przekroju wyrobiska w prądzie wlotowym (zwiększenie oporu), powoduje zwiększone oddziaływanie szybu wentylacyjnego na zroby eksploatowanej ściany w górnym odcinku ściany, w szczególności na skrzyżowaniu ściany z chodnikiem odprowadzającym powietrze ze ściany, powodując istotny wzrost zagrożenia metanowego i zwiększone wydzielanie metanu.

d) *Oddziaływanie depresyjne szybu wentylacyjnego na tamy izolacyjne, uskoki, zaburzenia.*

W zdecydowanej większości przypadków kolejne ściany eksploatowane w danym pokładzie wybierane są z góry w dół. Powyższe powoduje, że od strony szybu wentylacyjnego znajdują się tamy izolacyjne, którymi otamowane są wyeksploatowane ściany. W przypadku zastosowania „klasycznej” regulacji przewietrzania tamy te poddane są zwiększonemu oddziaływaniu szybu wentylacyjnego, co w przypadku wystąpienia spękań górotworu w sąsiedztwie tamy izolacyjnej lub nieszczelności samej tamy, może spowodować niekontrolowany przepływ powietrza przez otamowaną przestrzeń, a tym samym zwiększa się ryzyko powstania pożaru endogenicznego.

e) *Napór na śluzy wentylacyjne na wlotach do komór przyszybowych ze względu na bliskość szybu wentylacyjnego.*

Większość komór przyszybowych stanowi stanowiska pracy o ograniczonym ruchu i dostępie załogi, np. komora pomp, rozdzielnia główna, komora materiałów wybuchowych, itp. Natomiast istnieje grupa komór przyszybowych, w który prowadzony jest dosyć intensywny ruch, zarówno ludzi, jak i środków transportowych. Do takich komór należą m.in. zajezdnia lokomotyw, szopa maszyn, komora regeneracji, przewoźny skład MW, komora tankowania paliw, itp. Częste otwieranie tam w śluzie wentylacyjnej stwarza określone zagrożenie ruchowe dla załogi (znaczny napór powietrza na tamy śluzy wentylacyjnej), ale może również spowodować powstanie tzw. „krótkiego spięcia wentylacyjnego” i wystąpienie zaburzenia w sieci wentylacyjnej kopalni.

Jednym z wniosków analizy ww. czynników było to, że należy podjąć próbę wypracowania nowego modelu prowadzenia regulacji przewietrzania.

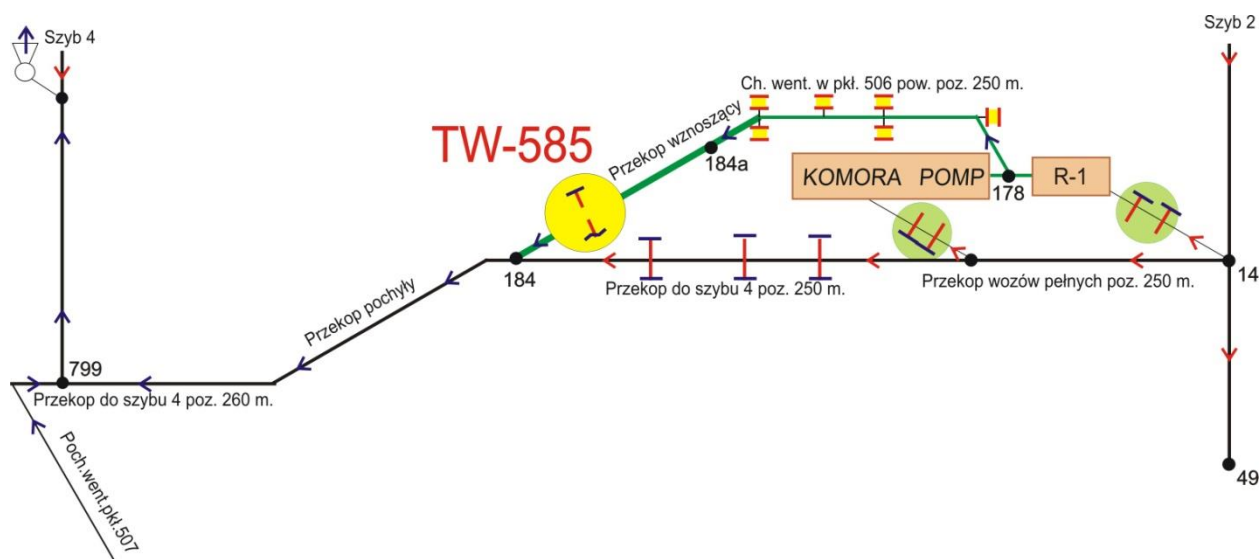
5.3. Modelowanie regulacji w wylotowych prądach powietrza zużytego

Przy zastosowaniu regulacji przewietrzania w prądzie powietrza zużytego przyjęto założenie, że strata naporu na tamie regulacyjnej zabudowanej w prądzie powietrza zużytego będzie określana „in situ” i warunkowana będzie ilością powietrza, którą chcemy przewietrzać dany rejon.

Modelowanie regulacji przewietrzania w grupowym prądzie powietrza zużytego przeprowadzono dla przyszybowych wyrobisk komorowych (komór przyszybowych) zlokalizowanych w KWK Jankowice na poziomie 250 m, pokazanych na rys. 4.1. Poprzedzająca modelowanie analiza możliwości stosowania regulacji przewietrzania w grupowym prądzie powietrza zużytego wykazała, że ze względu na warunki bezpieczeństwa, w szczególności trudne do wyznaczenia przepływy w poszczególnych rejonach, taka regulacja jest możliwa do zastosowania dla przewietrzania komór przyszybowych. Komory te, jak już wcześniej zasygnalizowano, w zdecydowanej większości przypadków zaliczone są do pomieszczeń niezagrożonych wybuchem metanu ze stopniem „a” niebezpieczeństwa wybuchu metanu oraz do klasy A zagrożenia wybuchem pyłu węglowego, tak więc nie ma możliwości wystąpienia zjawisk niebezpiecznych związanych z zagrożeniami naturalnymi. Ponadto, dla przewietrzania przedmiotowych komór utrzymywanie minimalnej prędkości przepływu powietrza 0,3 m/s, w szczególności w aspekcie zapewnienia właściwego komfortu pracy zatrudnionej załogi, w zdecydowanej większości przypadków nie ma istotnego znaczenia. Wyjątkiem są komora ładowania akumulatorów, komora maszyn oraz zajezdnia lokomotyw. Jednocześnie ze względu na możliwość wystąpienia pożaru egzogenicznego, który charakteryzuje się gwałtownym rozwojem, wymagane jest zastosowanie środków dla zapewnienia szybkiej możliwości otwarcia przedmiotowej regulacji przewietrzania z miejsca bezpiecznego, nawet w dni wolne od pracy.

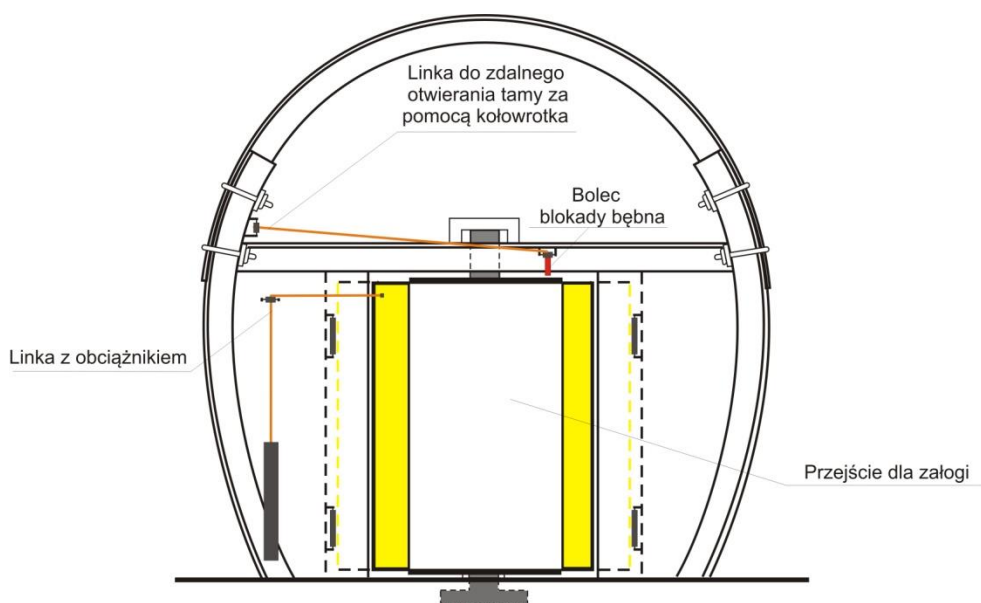
Ważnym zagadnieniem stosowania regulacji przewietrzania w prądzie powietrza zużytego, ze względu na bliskość szybu wentylacyjnego i związane z tym znaczne napory na elementy tamy/słuzy wentylacyjnej jest wybór miejsca zabudowy tamy. Powinna być ona zlokalizowana w kamiennym odcinku wyrobiska, a w przypadku braku takiej możliwości należy rozważyć zastosowanie środków ograniczających możliwość powstania pożaru szczelinowego w sąsiedztwie tamy, np. torkretowanie, uszczelnianie środkami chemicznymi itp.

Kontynuując to zagadnienie, przeprowadzono analizę dróg odprowadzania powietrza w KWK Jankowice, która pokazała, że powietrze zużyte z komór przyszybowych, zlokalizowanych na poziomie 250 m pomiędzy szybem 2, a szybem 4 (rys. 4.1.) zanim dopłynie do szybu 4, łączy się w Chodniku wentylacyjnym w pokładzie 506 pow. poz. 250 i dalej płynie Przekopem wznoszącym. Dlatego też w tym wyrobisku zabudowano tamę regulacyjną TW-585, której lokalizację przedstawiono na rys. 5.1.



Rys. 5.1. Schemat przestrzenny przewietrzania komór przyszybowych z zaznaczeniem regulacji przewietrzania w wylotowym (kolor żółty) prądzie powietrza zużytego oraz w wlotowym (kolor zielony) prądzie powietrza (opracowanie własne)

Tama regulacyjna TW-585 została zbudowana z materiałów niepalnych – obmurze z kostki betonowej, a drzwi stalowe, obrotowe, co pokazano na rys. 5.2.



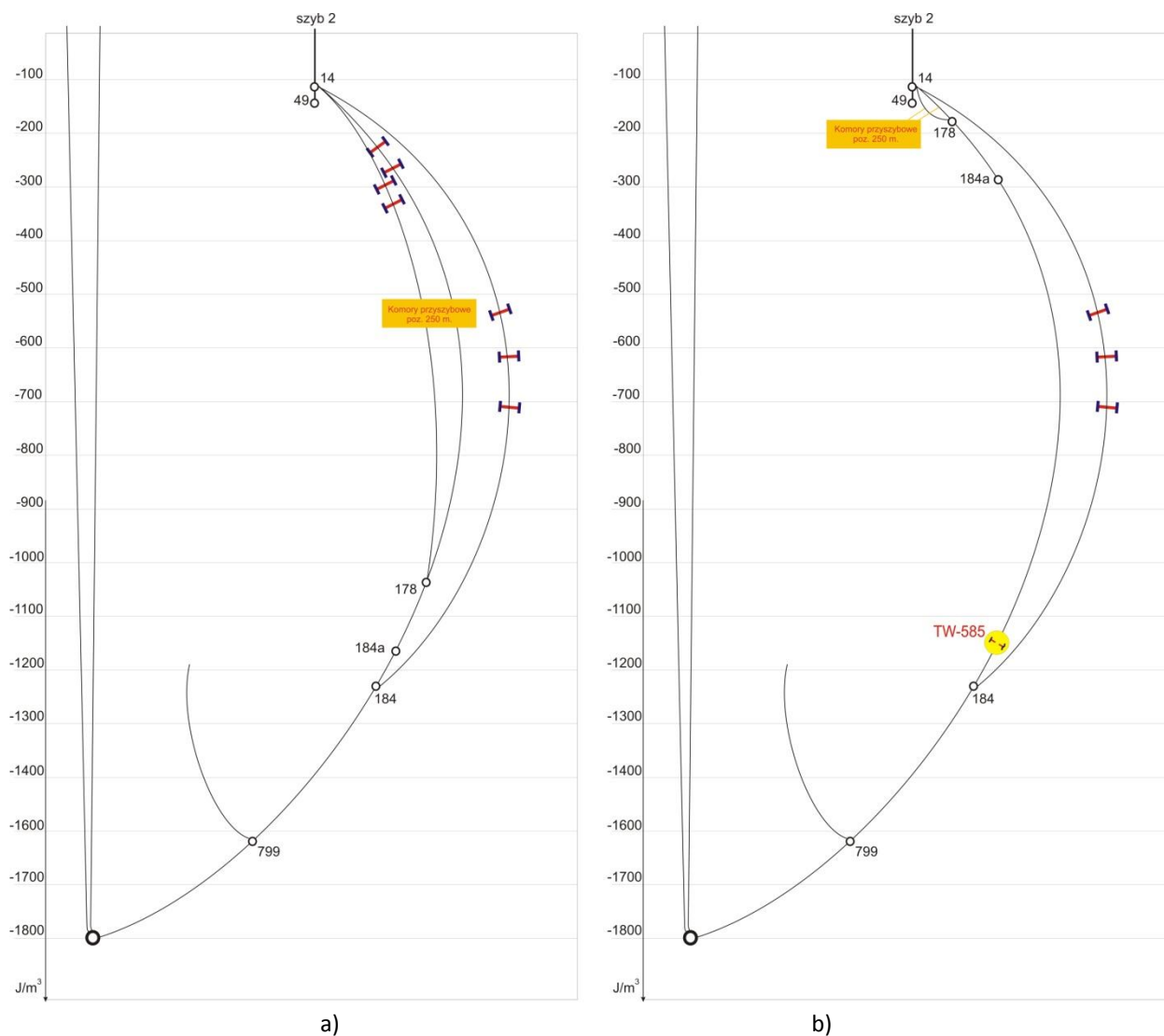
Rys. 5.2. Szkic tamy obrotowej TW-585; stan tamy – otwarta (opracowanie własne)

Miejsce zabudowy tamy regulacyjnej zlokalizowane jest w kamiennym odcinku wyrobiska, w związku z powyższym nie ma zagrożenia wynikającego z możliwości powstania pożaru szczelinowego w otoczeniu tamy. Należy dodać, że w miejscu zabudowy tamy regulacyjnej TW-585 nie ma zabudowanych żadnych środków transportowych, a ruch załogi jest ograniczony – wyrobisko kontrolowane jest wyłącznie przez służby wentylacyjne kopalni.

Tama regulacyjna TW-585 nie posiada osobnego przejścia dla załogi. Dla uniknięcia „krótkiego spięcia wentylacyjnego”, w razie konieczności przechodzenia przez tamę, otwarcie i zamknięcie drzwi w tamie jest realizowane w sposób określony w instrukcji kopalnianej. Tama

ta jest otwierana zdalnie, za pomocą ciągu i kołowrotka zabudowanego w przekopie do szybu 4 poz. 250 m, tj. w prądzie powietrza doprowadzanym od szybu wdechowego. Po zaciągnięciu ciągu kołowrotkiem następuje podniesienie bolca blokady bębna obrotowego, a przymocowane do tamy ciężarki, stanowiące przeciwwagę, powodują samoczynne otwarcie tamy obrotowej. Zamknięcie tamy realizowane jest ręcznie poprzez podniesienie przeciwwagi (ciężarków) i zablokowanie bębna obrotowego bolcem blokady bębna. Jak z tego wynika, tama regulacyjna TW-585 otwierana jest wyłącznie od strony przekopu do szybu 4 poz. 250 m, tj. od strony zabudowanego kołowrotka, co nawet w przypadku zaistnienia pożaru w Komorze Pomp lub Rozdzielni R-1 nie naraża otwierającego na niebezpieczeństwo.

Dla określenia efektów regulacji przewietrzania w grupowym prądzie powietrza zużytego tamą TW-585, obliczono – na podstawie wykonanego zdjęcia barometrycznego – potencjały aerodynamiczne i sporządzono schematy potencjalne podsieci szybu 4. na poz. 250 m z komorami przyszybowymi. Typową regulację we wlotowym prądzie powietrza świeżego odzwierciedla schemat potencjalny przedstawiony na rys. 5.3a, natomiast regulację przewietrzania w grupowym prądzie powietrza zużytego – rys. 5.3b.



Rys. 5.3. Schematy potencjalne podsieci szybu nr 4 w przypadku zastosowania regulacji przewietrzania za pomocą tam regulacyjnych zabudowanych: a) we wlotowych prądach powietrza świeżego; b) w grupowym prądzie powietrza zużytego (opracowanie własne)

Dla wyznaczenia strat naporu na poszczególnych tamach regulacyjnych, wyznaczono dodatkowy punkt pomiarowy **184a** (rys. 5.1, 5.3a i 5.3b), który znajdował się w Przekopie wznoszącym, ok. 50 m od skrzyżowania z Chodnikiem wentylacyjnym w pokładzie 506 pow. poz. 250 m.

Z analizy tych schematów potencjalnych wynikają następujące fakty.

Przy typowej regulacji przewietrzania, tj. we wlotowym prądzie powietrza świeżego, dla komór przyszybowych zlokalizowanych na poziomie 250 m – różnica potencjałów pomiędzy węzłami 14 oraz 184a (rys. 5.3a) wynosiła ok. 1060 J/m^3 .

Przy regulacji przewietrzania w grupowym prądzie powietrza zużytego, dla tych samych komór przyszybowych – różnica potencjałów pomiędzy węzłami 14 oraz 184a (rys. 5.3b) wynosiła ok. 180 J/m^3 , a więc o ok. 880 J/m^3 mniej.

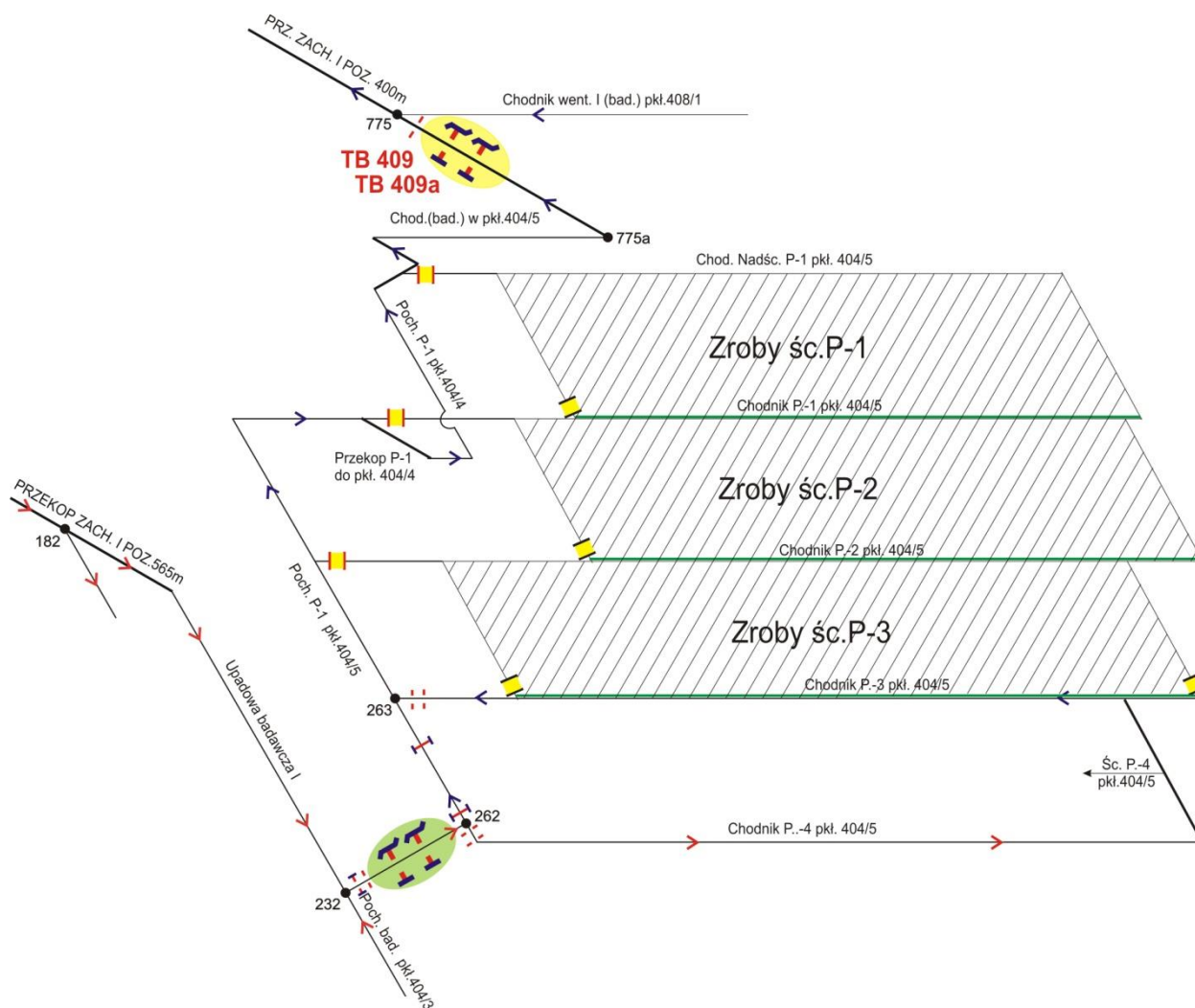
Jak z powyższego wynika, rezultatem takiej regulacji przewietrzania są zdecydowanie mniejsze różnice potencjałów pomiędzy węzłami wlotowych, a węzłami wylotowych prądów powietrza. Przekłada się to na:

- stabilizację przepływu powietrza, tj. na większą odporność na skutki tzw. krótkich spięć wentylacyjnych,
- zmniejszenie wielkości (podciśnienia) depresji wentylatora głównego przewietrzania potrzebnej do przewietrzania komór przyszybowych,
- zmniejszenie naporu na drzwi przejściowe lub przejazdowe na wlocie do każdej z komór, a więc zlikwidowanie zagrożeń ruchowych dla załogi.

Warto podkreślić, że ta opisana powyżej regulacja przewietrzania jest nadal stosowana (od listopada 2002 r.) w KWK ROW Ruch Jankowice na niezmiennych warunkach, co świadczy o wysokiej skuteczności i stabilności zastosowanego rozwiązania.

Z kolei modelowanie regulacji przewietrzania w rejonowym prądzie powietrza zużytego przeprowadzono dla rejonu ściany P-4 w pokładzie 404/5, pokazanego na rys. 4.2. Jest to typowy przykład eksploatacji pokładu węgla kolejnymi ścianami, prowadzonymi w kolejności od wyżej do niżej zalegającej.

Regulację przewietrzania w rejonowym prądzie powietrza zużytego przeprowadzono poprzez zabudowę śluzy wentylacyjnej – tamy regulacyjne TB 409 i TB 409a w przekopie zachodnim I poz. 400 m, tj. w wyrobisku odprowadzającym powietrze zużyte ze Ściany P-4 w pokładzie 404/5 – rys. 5.4.



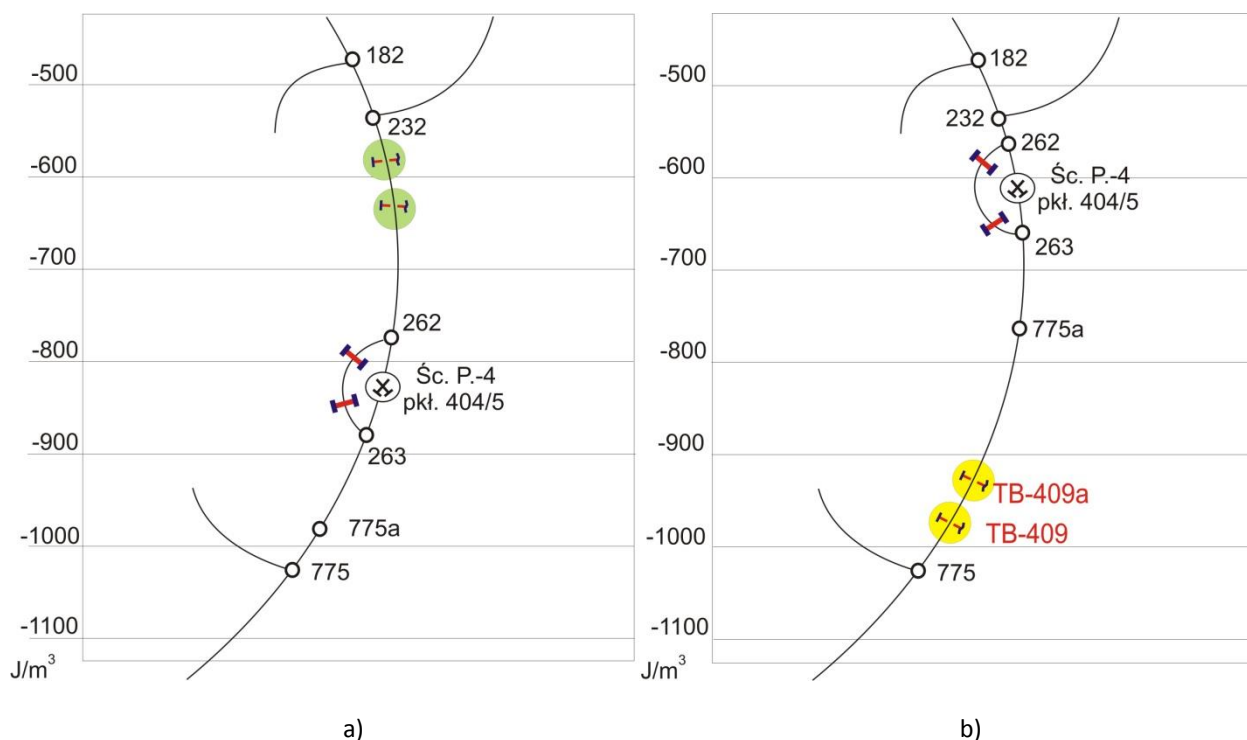
Rys. 5.4. Schemat przestrzenny rejonu ściany P-4 z zaznaczeniem regulacji przewietrzania we wlotowym (kolor zielony) i wylotowym (kolor żółty) prądzie powietrza (opracowanie własne)

Miejsce zabudowy tamy regulacyjnej zlokalizowane jest w kamiennym odcinku wyrobiska, w związku z powyższym nie ma zagrożenia wynikającego z możliwości powstania pożaru szczelinowego w otoczeniu tamy.

W przekopie zachodnim I poz. 400 m zabudowane jest torowisko przewozu dołowego, w związku z powyższym tamy regulacyjne TB 409 i TB 409a wyposażone są w:

- tamy automatyczne TWA SIGMA na trasie transportu dołowego,
- drzwi przejściowe dla załogi wykonane w formie tunelu przejściowego (ze względu na znaczny napór na drzwi tamy uniemożliwiające swobodne przejście),
- okna regulacyjne zabudowane w czole tamy – wielkość okien regulacyjnych dobrana została w sposób zapewniający przepływ wymaganej ilości powietrza.

Wykonane zdjęcie barometryczne i przeprowadzone obliczenia potencjałów aerodynamicznych rejonu ściany P-4 w pokładzie 404/5 pozwoliły sporządzić schematy potencjalne ilustrujące typową regulację we wlotowym prądzie powietrza świeżego – rys. 5.5a oraz regulację przewietrzania w rejonowym prądzie powietrza zużytego – rys. 5.5b.



Rys. 5.5. Schematy potencjalne ściany P-4 w pokładzie 404/5 w przypadku zastosowania regulacji przewietrzania za pomocą tam regulacyjnych zabudowanych: a) we wlotowych prądach powietrza świeżego; b) w rejonowym prądzie powietrza zużytego (opracowanie własne)

Dla określenia wpływu regulacji przewietrzania na zroby wcześniej wyeksploatowanych ścian wyznaczono dodatkowy punkt pomiarowy **775a** (rys. 5.4, 5.5a i 5.5b), który znajdował się na skrzyżowaniu przekopu zachodniego I poz. 400 m z chodnikiem badawczym w pokładzie 404/5. Pozwoliło to na wyznaczenie straty naporu na tamach regulacyjnych.

Badania wpływu tej wentylacyjnej służby regulacyjnej przeprowadzono w dni wolne od pracy. Polegały one na otwarciu tam regulacyjnych TB-409 i TB-409a przy jednoczesnym wykonaniu tymczasowej tamy deskowej w pochylni P-1 w pokładzie 404/3, tj. we wlotowym prądzie powietrza, o oporze gwarantującym zachowanie dotychczasowego wydatku przepływającego powietrza, tj. $1500 \text{ m}^3/\text{min}$. W trakcie badań zaobserwowano m.in. wzrost ciśnienia, czyli wzrost naporu, na wszystkich tamach izolacyjnych wyeksploatowanych ścian P-1, P-2, P-3 (rys. 5.4) o ok. $+40 \text{ mm H}_2\text{O}$.

Z analizy tych schematów potencjalnych (rys. 5.5) wynikają następujące fakty.

Przy typowej regulacji przewietrzania, tj. we wlotowym prądzie powietrza świeżego różnica potencjałów pomiędzy węzłami 232 oraz 775a (rys. 5.5.a) wynosiła ok. 438 J/m^3 .

Przy regulacji przewietrzania w rejonowym prądzie powietrza zużytego, dla tych samych wyrobisk, różnica potencjałów pomiędzy węzłami 232 oraz 775a (rys. 5.2.b) wynosiła ok. 198 J/m^3 , a więc o ok. 240 J/m^3 mniej.

Jak z powyższego wynika, rezultatem takiej regulacji przewietrzania są zdecydowanie mniejsze różnice potencjałów pomiędzy węzłem wlotowym, a węzłem wylotowym. Przekłada się to na:

- zmniejszenie wielkości (podciśnienia) depresji wentylatora głównego przewietrzania na zroby wcześniej wyeksploatowanych ścian oraz na tamy izolacyjne,

- stabilizację przepływu powietrza poprzez zabudowę tamy regulacyjnej w wyrobisku, w którym nie ma trasy odstawy oddziałowej, a ruch załogi jest zdecydowanie mniejszy, niż w przypadku zabudowy tamy regulacyjnej na wlocie do rejonu,
- zmniejszenie zagrożenia pożarem endogenicznym w zrobach wcześniej wyeksploatowanych ścian.

Nadmienić należy, że dla uzyskania żadanego wydatku powietrza w rejonie, w tamie regulacyjnej zabudowano okna regulacyjne. Z kolei mając na uwadze konieczność odprowadzenia ewentualnych dymów, w przypadku zaistnienia pożaru, przyjęto zasadę, że wielkość okien regulacyjnych w tamie regulacyjnej powinna zapewniać przepływ powietrza o wydatku minimum 1000 m³/min. Dzięki temu śluza nie będzie stanowić istotnego oporu dla przepływu ewentualnych dymów.

Warte podkreślenia jest również to, że powyższa regulacja przewietrzania w rejonowym prądzie powietrza zużytego prowadzona jest w KWK ROW Ruch Jankowice na niezmiennych warunkach od dnia 13.07.2012 r. do dnia dzisiejszego, co świadczy o wysokiej skuteczności i stabilności zastosowanego rozwiązania.

6. Regulacja przewietrzania rejonowych i grupowych prądów powietrza zużytego

Przedstawione w Rozdziale 5. przypadki zastosowania regulacji w zużytym prądzie powietrza mogą służyć za przyczynek do rozważań na temat szerokiego stosowania takiego sposobu regulacji w sieci wentylacyjnej kopalni. Ze względu na odmienną specyfikę regulacji w grupowym i rejonowym prądzie powietrza zużytego w niniejszym rozdziale przeprowadzona zostanie odrębna analiza regulacji obu przypadków. Dla pokazania pozytywnych aspektów regulacji w grupowym prądzie powietrza zużytego przedstawione zostaną dwa przypadki zastosowania takiej regulacji. Mając na uwadze, zdaniem autora, zdecydowanie szersze możliwości stosowania regulacji w rejonowym prądzie powietrza zużytego przedstawione zostaną trzy różne przypadki zastosowania takiej regulacji.

Każdy przypadek udokumentowany zostanie rzeczywistymi pomiarami w sieci wentylacyjnej kopalni. Przedstawione zostaną również rozwiązania techniczne oraz sposoby zabezpieczeń, w tym monitoring zagrożeń, zastosowane w każdym z przypadków.

6.1. Regulacja przewietrzania w grupowych prądach powietrza zużytego

Szyb 4, który zgłębiony jest do poziomu 260 m, budowany był jako szyb wentylacyjny, służący wyłącznie do przewietrzania komór przyszybowych, zlokalizowanych przy szybach wdechowych 2, 7 i 8. Ze względu na restrukturyzację (ówczesnej) kopalni Jankowice, zaistniała konieczność likwidacji szybów peryferyjnych 5a i 6. Wymusiło to (m.in.) poszukiwanie nowych rozwiązań w zakresie zapewnienia skutecznego przewietrzania kopalni w nowym modelu, z zachowaniem zdolności zarówno wydobywczych, jak i wentylacyjnych. Zgodnie z założeniami, dla ograniczenia kosztów, nie planowano pogłębiania szybu 4, lecz zaprojektowano pochylnie wentylacyjne, które miały służyć do odprowadzenia powietrza z poziomów 400, 565, 700 i docelowo 880 m.

Jednym z elementów nowego modelu było „dociążenie” szybu wentylacyjnego 4 poprzez zwiększenie jego efektywności, tj. oprócz swej pierwotnej roli przewietrzanie również min. 1 rejonu wydobywczego. Mając na uwadze brak możliwości zwiększenia przekroju szybu należało podjąć kroki dla ograniczenia ilości powietrza płynącego przez komory przyszybowe oraz straty w wyrobiskach stanowiących tzw. „krótkie spięcie wentylacyjne”.

Ze względu na bliskość szybów wdechowych i przyległych komór przyszybowych od wyrobisk stanowiących bezpośrednie połączenie z szybem wentylacyjnym nr 4, dla zabezpieczenia przed tzw. „krótkim spięciem wentylacyjnym” niezbędnym jest służowanie wszystkich ww. komór.

Bazując na pozytywnych doświadczeniach związanych z prowadzoną regulacją przewietrzania komór przyszybowych w grupowym prądzie powietrza zużytego za pomocą TW 585, co zostało opisane w pkt. 4 i 5 niniejszej pracy, postanowiono zastosować również powyższe rozwiązanie dla regulacji przewietrzania pozostałych komór przyszybowych, z których powietrze odprowadzane było do szybu wentylacyjnego 4.

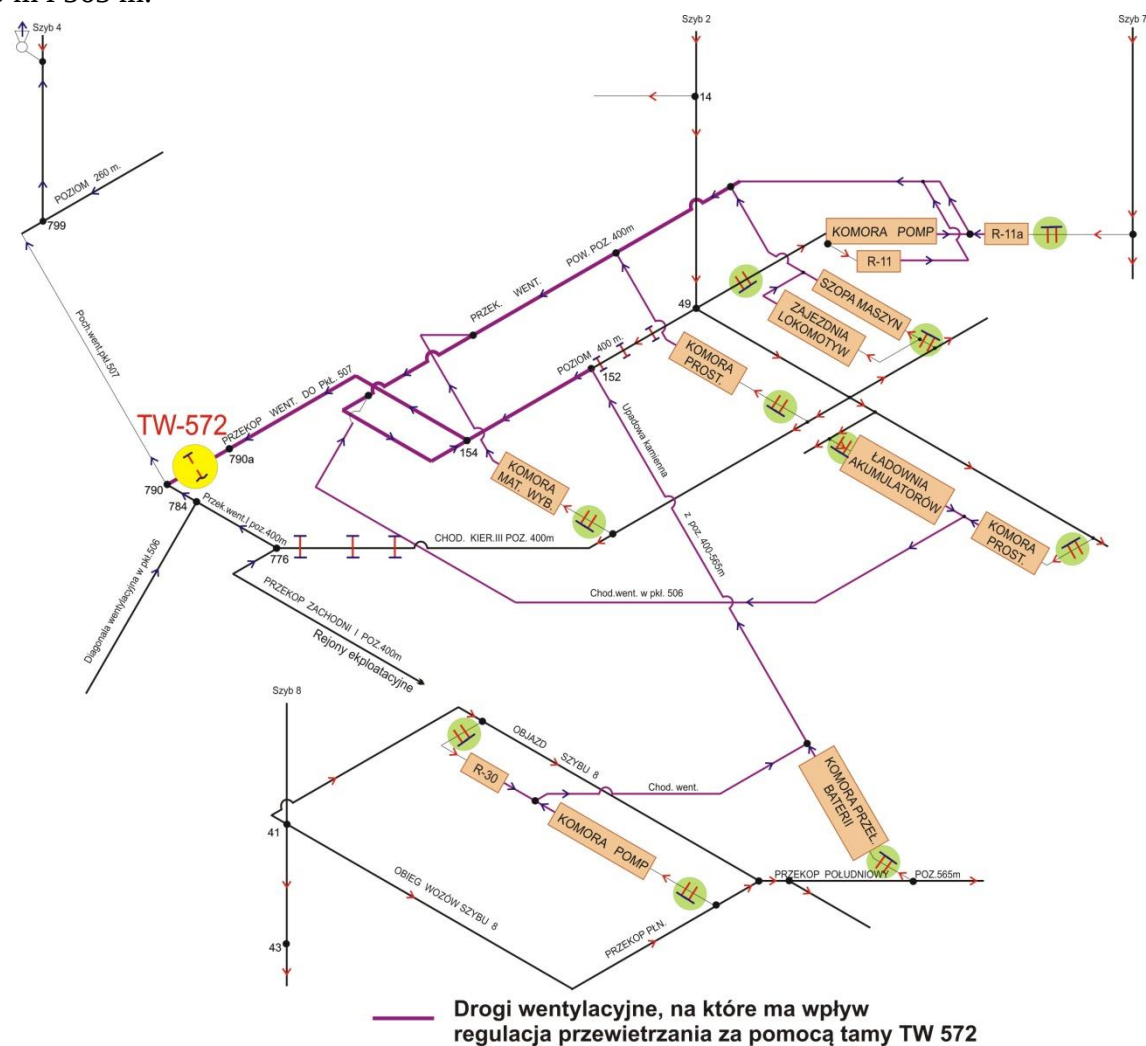
Powyższe zostało zrealizowane przez wykonanie dwóch kolejnych regulacji przewietrzania w grupowym prądzie powietrza za pomocą tam regulacyjnych:

- TW 572 – zabudowanej w przekopie wentylacyjnym do pokł. 507 poz. 400 m,
- TW 880 – zabudowanej w diagonali wentylacyjnej w pokł. 506 poz. 700–400 m,

Należy dodać, że wszystkie komory przyszybowe szypów nr 2, 7 i 8 znajdujące się w podsięci wentylacyjnej szybu 4 zaliczone są do pomieszczeń niezagrożonych wybuchem metanu, ze stopniem „a” niebezpieczeństwa wybuchu metanu oraz do klasy A zagrożenia wybuchem pyłu węglowego, czyli spełniają te same założenia co komory opisane w pkt. 5 niniejszej pracy.

6.1.1. Komory przyszybowe szybu nr 2, 7 i 8 na poz. 400 m i 565 m z zastosowaniem TW 572

Na rys. 6.1. pokazano sposób przewietrzania komór przyszybowych szybu nr 2, 7 i 8 na poz. 400 m i 565 m.



Rys. 6.1. Schemat przestrzenny przewietrzania komór przyszybowych, z zaznaczeniem regulacji przewietrzania w wylotowym prądzie powietrza (kolor żółty) oraz we wlotowym prądzie powietrza (kolor zielony) (opracowanie własne)

Wynika z niego, że dla zapewnienia żądanych ilości powietrza w sieci wentylacyjnej kopalni, zabezpieczenia przed znacznymi stratami powietrza oraz niedopuszczeniem do „krótkiego spięcia wentylacyjnego” niezbędnym jest przeprowadzenie regulacji przewietrzania dla 12 komór przyszybowych. Przeprowadzona analiza dróg odprowadzenia powietrza wykazała, że prądy powietrza z poszczególnych komór łączą się w Przekopie wentylacyjnym do pokł. 507, skąd Pochylnią wentylacyjną w pokł. 507 poz. 400–260 m płyną do podszybia szybu 4 na poz. 260 m, przy czym:

- Komora pomp, Rozdzielnia R-11 oraz Rozdzielnia R-11a – przewietrzane są z poziomu 400 m, a powietrze zużyte płynie do szybu 4 Przekopem wentylacyjnym pow. poz. 400 m, Pochylnią wentylacyjną, Przekopem wentylacyjnym poz. 400 m do Przekopu wentylacyjnego do pokł. 507 poz. 400 m dalej drogami wentylacyjnymi do szybu wentylacyjnego nr 4,
- Zajeżdźnia lokomotyw oraz Szopa maszyn – przewietrzane są z poziomu 400 m, a powietrze zużyte płynie do szybu 4 Pochylniami wentylacyjnymi do Przekopu wentylacyjnego pow. poz. 400 m, gdzie łączy się z powietrzem zużytym płynącym z Komory Pomp,
- Komora prostowników przewietrzana jest z poziomu 400 m, a powietrze zużyte płynie do szybu 4 Pochylnią wentylacyjną do Przekopu wentylacyjnego pow. poz. 400 m, gdzie łączy się z powietrzem zużytym płynącym z Komory Pomp i Zajeżdźni Lokomotyw,
- Komora Materiałów Wybuchowych przewietrzana jest z poziomu 400 m, a powietrze zużyte płynie do szybu 4 Pochylnią wentylacyjną do Przekopu wentylacyjnego pow. poz. 400 m, gdzie łączy się z powietrzem zużytym płynącym z Komory Pomp, Zajeżdźni Lokomotyw i Komory Prostowników,
- Ładownia akumulatorów oraz Komora prostowników – przewietrzane są z poziomu 400 m, a powietrze zużyte płynie do szybu 4 chodnikiem wentylacyjnym w pokładzie 506, Pochylnią wentylacyjną do Przekopu wentylacyjnego pow. poz. 400 m, gdzie łączy się z powietrzem zużytym płynącym z innych komór przyszybowych szybu 2, 7 i 8 na poziomie 400 m,
- Komora Przeładowania Baterii – przewietrzana jest z poziomu 565 m, a powietrze zużyte do szybu 4 płynie poprzez Upadową kamienną z poziomu 400-565 m, do Przekopu wentylacyjnego poz. 400 m, gdzie łączy się z powietrzem zużytym płynącym z komór przyszybowych szybu nr 2, 7 i 8 na poz. 400 m,
- Komora pomp oraz Rozdzielnia R-30 – przewietrzane są z poziomu 565 m, a powietrze zużyte do szybu 4 płynie poprzez Chodnik wentylacyjny do Upadowej kamiennej poz. 400 - 565 m, gdzie łączy się z powietrzem zużytym płynącym z Komory Przeładowania Baterii.

Bazując na pozytywnych doświadczeniach związanych z zastosowaną regulacją przewietrzania na poz. 250 m za pomocą TW 585 (co zostało opisane w Rozdziale 5 niniejszej pracy) oraz mając na uwadze wspólną drogę odprowadzenia powietrza, tj. Przekop wentylacyjny do pokł. 507 postanowiono w tym wyrobisku zastosować regulację przewietrzania w grupowym prądzie powietrza zużytego.

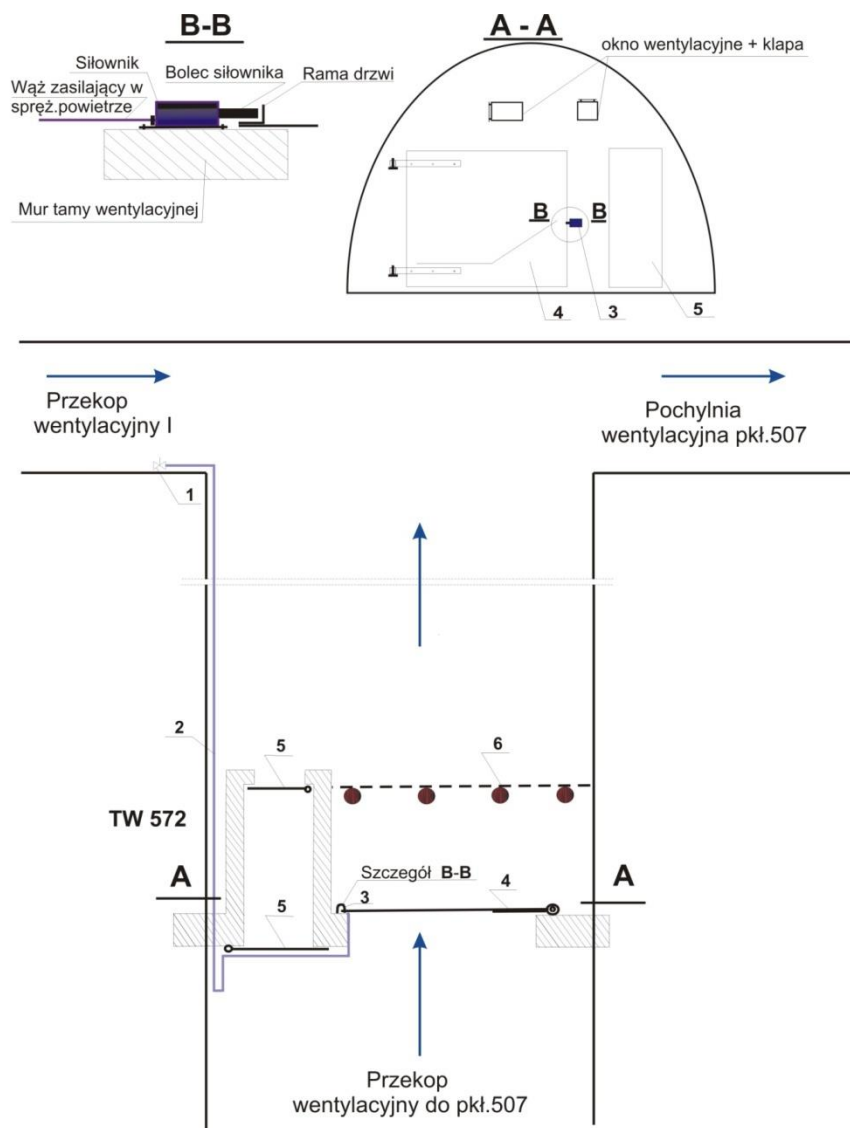
Wyrobisko to wykonane jest w skale płonnej, nie ma w nim zabudowanych żadnych środków transportowych, a ze względu na swoją specyfikę (brak rejonów produkcyjnych) nie ma w nim regularnego i znaczącego ruchu załogi, wyrobisko jest kontrolowane wyłącznie przez służby wentylacyjne kopalni. Powyższe stanowi bardzo dobry przyczynek do wykonania regulacji przewietrzania w grupowym prądzie powietrza zapewniającej wysoką stabilność i skuteczność i jednocześnie brak możliwości powstania pożaru szczelinowego.

Mając powyższe na uwadze w wyrobisku zabudowano tamę regulacyjną TW 572.

Tama regulacyjna TW 572 wykonana jest z materiałów niepalnych (obmurze z kostki betonowej, drzwi metalowe) i wyposażona w:

- okna regulacyjne – wielkość okien regulacyjnych dobierana jest w sposób zapewniający przepływ niezbędnej ilości powietrza przez komory,
- drzwi zasadnicze otwierane zdalnie za pomocą zaworu sterującego – drzwi zabudowane są zgodnie z kierunkiem przepływającego powietrza i zabezpieczone przed samoczynnym otwarciem za pomocą bolca siłownika,
- zawór sterujący **(1)** – zabudowany w Przekopie wentylacyjnym I poz. 400 m, tj. niezadymionym prądzie powietrza i połączony rurociągiem sprężonego powietrza **(2)** z siłownikiem **(3)** zabezpieczającym drzwi zasadnicze **(4)** w tamach regulacyjnych przed samoczynnym otwarciem,
- tunel przejściowy dla załogi **(5)**.

Schemat zabudowy i zdalnego otwierania tamy regulacyjnej TW 572 przedstawiono na rys. 6.2.



Rys. 6.2. Schemat zabudowy i zdalnego otwierania tamy regulacyjnej TW 572 (opracowanie własne)

Po zasterowaniu zaworem sterującym **(1)** medium, którym jest sprężone powietrze, powoduje cofnięcie bolca siłownika **(3)**. Ruch ten powoduje zwolnienie blokady drzwi przejazdowych **(4)** zabudowanych zgodnie z kierunkiem przepływającego powietrza i ich samoczynne otwarcie. Powyższe skutkuje wzrostem ilości przepływającego powietrza, co zapewnia skuteczne przewietrzanie komór przyszybowych w przypadku pożaru.

Przy zaworze sterującym **(1)** zabudowany jest sygnalizator telefonu oraz tablica informacyjna. Tama wyposażona jest w czujnik stanu otwarcia z sygnalizacją u dyspozytora kopalni.

Dla zabezpieczenia załogi przed uderzeniem zdalnie otwieranymi drzwiami zasadniczymi wykonany jest organ zabezpieczający **(6)**.

Sposób postępowania załogi w przypadku otwarcia lub zamykania tamy regulacyjnej TW 572 określa kopalniana instrukcja.

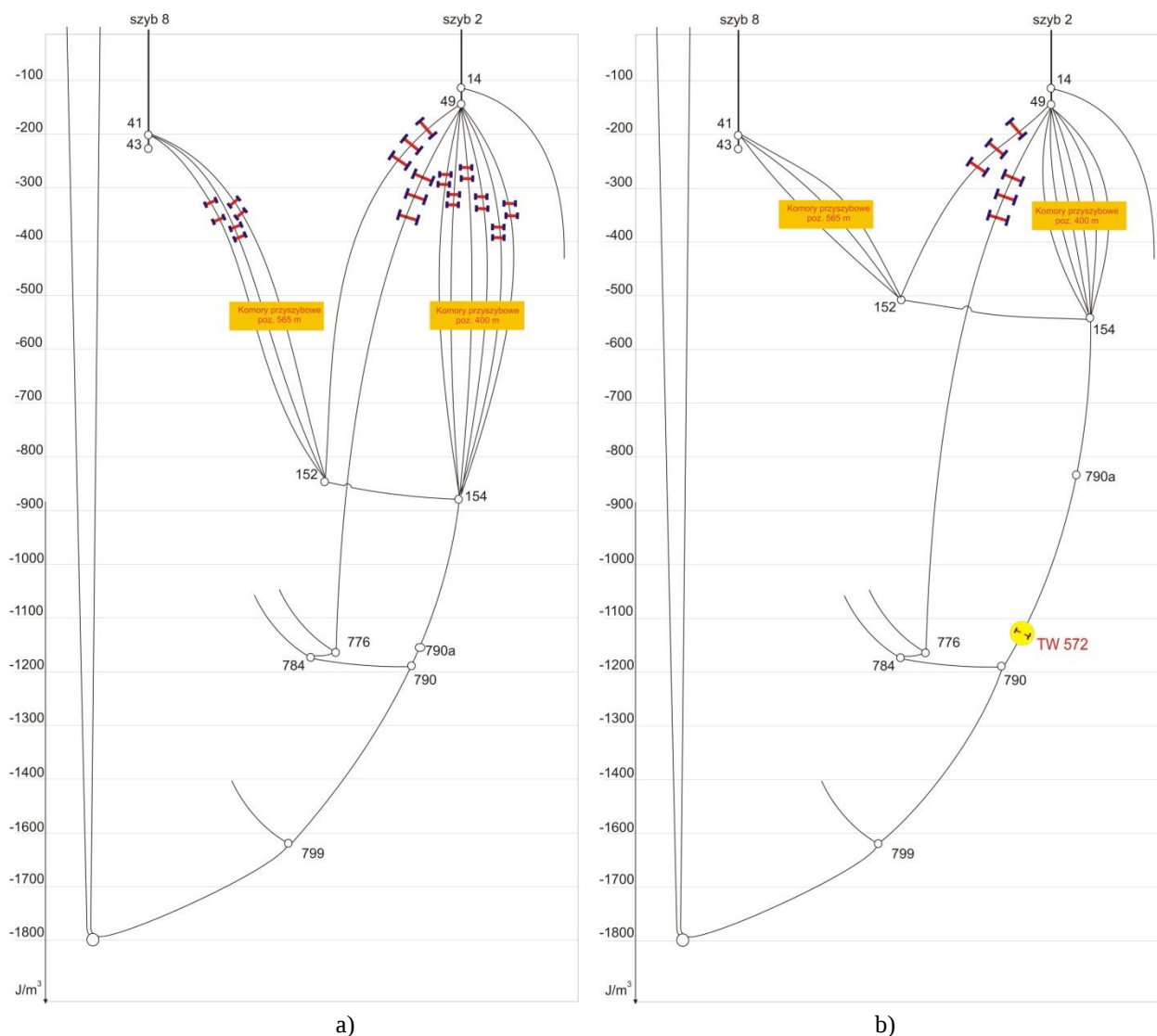
Stan tamy kontrolowany jest przez :

- metaniarza – 1 raz na dobę w dni robocze – z odnotowaniem w notesie i książce metaniarza,
- osoby dozoru oddziału wentylacji – 1 raz w tygodniu – z odnotowaniem w książce raportowej i „Książce kontroli tam regulacyjnych zabudowanych w grupowych prądach powietrza lub rejonowych prądach powietrza odprowadzanego do szybu wydechowego”,
- osoby dozoru wyższego wentylacji – 1 raz w miesiącu – z odnotowaniem w notatce z objazdu rejonu i „Książce kontroli tam regulacyjnych zabudowanych w grupowych prądach powietrza lub rejonowych prądach powietrza odprowadzanego do szybu wydechowego”

Kontrola obejmuje:

- zdalne otwieranie tamy wentylacyjnej za pomocą zaworu sterującego (tylko osoby dozoru ruchu),
- stan tamy, drzwi zasadniczych, przejściowych oraz kłapy regulacyjnej,
- stan plomby na szafce z zaworem sterującym,
- stan oczujnikowania tamy,
- sprawność sygnalizator telefonu,
- stan i zabudowę tablic informacyjnych i ostrzegawczych.

Na podstawie pomiarów sieci wentylacyjnej kopalni, za pomocą programu VENTGRAF obliczono potencjały aerodynamiczne w istotnych punktach fragmentu sieci wentylacyjnej kopalni w przypadku zastosowania „klasycznej” regulacji przewietrzania na wlotach do poszczególnych komór oraz w przypadku regulacji w grupowym prądzie powietrza za pomocą TW 572. Typową regulację przewietrzania we wlotowym prądzie powietrza do każdej z komór odzwierciedla schemat potencjalny przedstawiony na rys. 6.3a, natomiast regulację przewietrzania w grupowym prądzie powietrza zużytego za pomocą TW 572 – rys. 6.3b.



Rys. 6.3. Schematy potencjalne podsięci szybu nr 4 w przypadku zastosowania regulacji przewietrzania za pomocą tam regulacyjnych zabudowanych: a) we wlotowych prądach powietrza świeżego; b) w grupowym prądzie powietrza zużytego (opracowanie własne)

Dla wyznaczenia strat naporu na poszczególnych tamach regulacyjnych, wyznaczono dodatkowy punkt pomiarowy **790a** (rys. 6.1, 6.3a i 6.3b), który znajdował się w Przekopie wentylacyjnym do pokł. 507, ok. 100 m od skrzyżowania z Przekopem wentylacyjnym I poz. 400 m.

Z analizy tych schematów potencjalnych wynikają następujące fakty.

Przy typowej regulacji przewietrzania, tj. we wlotowym prądzie powietrza świeżego, dla komór przyszybowych zlokalizowanych:

- na poziomie 400 m – różnica potencjałów pomiędzy węzłami 49 oraz 790a (rys. 6.3a) wynosiła ok. 1030 J/m^3 ,
- na poziomie 565 m – różnica potencjałów pomiędzy węzłami 41 oraz 790a (rys. 6.3a) wynosiła ok. 970 J/m^3 .

Przy regulacji przewietrzania w grupowym prądzie powietrza zużytego, dla tych samych komór przyszybowych:

- na poziomie 400 m – różnica potencjałów pomiędzy węzłami 49 oraz 790a (rys. 6.3b) wynosiła ok. 680 J/m^3 , a więc o około 350 J/m^3 mniej,

- na poziomie 565 m – różnica potencjałów pomiędzy węzłami 41 oraz 790a (rys. 6.3b) wynosiła ok. 630 J/m^3 , a więc o około 340 J/m^3 mniej.

Jak z powyższego wynika, rezultatem takiej regulacji przewietrzania są zdecydowanie mniejsze różnice potencjałów pomiędzy węzłami wlotowych, a węzłami wylotowych prądów powietrza. Przekłada się to na:

- stabilizację przepływu powietrza, tj. na większą odporność na skutki tzw. krótkich spięć wentylacyjnych,
- zmniejszenie wielkości (podciśnienia) depresji wentylatora głównego przewietrzania potrzebnej do przewietrzania komór przyszybowych,
- zmniejszenie naporu na drzwi przejściowe lub przejazdowe na wlocie do każdej z komór, a więc zlikwidowanie zagrożeń ruchowych dla załogi.

Komory przyszybowe znajdujące się pod wpływem działania regulacji przewietrzania za pomocą TW 572, a w szczególności: Ładownia akumulatorów, Szopa maszyn, Zajeżdźnia lokomotyw oraz Komora Przeładowania Baterii są komorami o znacznym natężeniu ruchu z wprowadzonym torowiskiem kolei podziemnej do każdej z tych komór. W przypadku zastosowania „klasycznej” regulacji przewietrzania w wlotowym prądzie powietrza utrzymanie stabilności przewietrzania przy tak dużym naporze na drzwi tamy byłoby trudne, a wręcz niemożliwe. Jednocześnie tak znaczne napory stwarzałyby określone zagrożenia ruchowe dla załogi.

Warto podkreślić, że ta powyżej opisana regulacja przewietrzania jest nadal stosowana (od października 2002 r.) w KWK ROW Ruch Jankowice na niezmienionych warunkach, co świadczy o wysokiej skuteczności i stabilności zastosowanego rozwiązania.

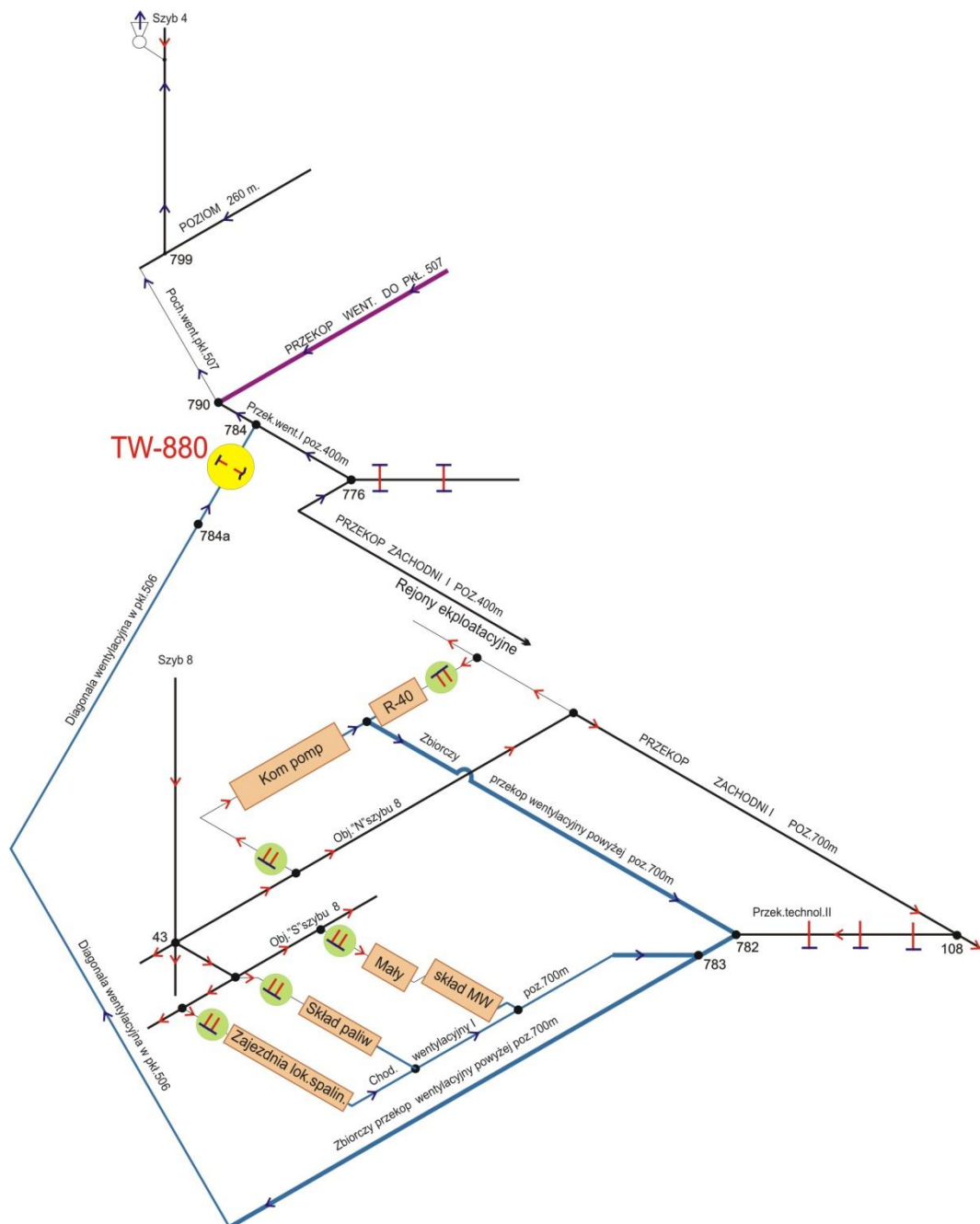
6.1.2. Komory przyszybowe szybu nr 8 na poz. 700 m z zastosowaniem TW 880

Strategia rozwoju kopalni ROW Ruch Jankowice zakłada m.in. pogłębianie szybu nr 8 wraz z wyposażeniem szybu w urządzenia transportowe do poz. 1100 m, budowę poziomów 700 m, 880 m oraz 1100 m oraz zlokalizowanie głównych komór funkcyjnych, w sąsiedztwie podszybi szybu nr 8 na poszczególnych poziomach. Konieczność restrukturyzacji górnictwa i ograniczania kosztów spowodowała rezygnację z pogłębiania szybu wentylacyjnego nr 4 zgłębnego do poz. 260 m służącego do przewietrzania komór przyszybowych. Przyjęto założenie, że komory przyszybowe przewietrzane będą poprzez pochylnie lub diagonale wentylacyjne stanowiące swoiste „przedłużenie” szybu nr 4. Taką rolę pełni pochylnia wentylacyjna w pokł. 507 poz. 400 – 260 m.

Na poz. 700 m zaprojektowano 5 komór przyszybowych, tj. Komorę pomp, Rozdzielnię R-40, Mały Skład MW, Skład Paliw oraz Zajeżdźnię Lokomotyw Spalinowych. Dla odprowadzenia powietrza z przedmiotowych komór zaprojektowano Zbiórny przekop wentylacyjny pow. poz. 700 m oraz Diagonalę wentylacyjną w pokł. 506. Ze względu na bardzo ograniczony zakres wyrobisk na podszybiu szybu 8 na poz. 565 m zaprojektowano nieco inny sposób przewietrzania komór przyszybowych na poziomie 565 m, co zostało opisane przy omawianiu regulacji przewietrzania za pomocą TW 572, tj. w Rozdziale 6.1.1. Powyższe

spowodowało, że Diagonała Wentylacyjna w pokł. 506 wydrążona została z poz. 700 m do poz. 400 m z pominięciem poz. 565 m. Drążenie powyższej Diagonali zakończono w listopadzie 2010 r.

Na rys. 6.4. pokazano sposób przewietrzania komór przyszybowych szybu nr 8 na poz. 700 m.



Rys. 6.4. Schemat przestrzenny przewietrzania komór przyszybowych, z zaznaczeniem regulacji przewietrzania w wylotowym prądzie powietrza (kolor żółty) oraz we wlotowym prądzie powietrza (kolor zielony) (opracowanie własne)

Wynika z niego, że dla zapewnienia żądanych ilości powietrza w sieci wentylacyjnej kopalni, zabezpieczenia przed znacznymi stratami powietrza oraz niedopuszczeniem do

„krótkiego spięcia wentylacyjnego” niezbędnym jest przeprowadzenie regulacji przewietrzania dla 5 komór przyszybowych zlokalizowanych na podszybiu szybu 8 na poz. 700 m.

Przeprowadzona analiza dróg odprowadzenia powietrza wykazała, że prądy powietrza z poszczególnych komór łączą się w Zbiórczym przekopie wentylacyjnym pow. poz. 700 m, skąd Diagonalą wentylacyjną w pokł. 506 poz. 700 – 400 m, Przekopem wentylacyjnym I poz. 400 m, Pochylnią wentylacyjną w pokł. 507 poz. 400 – 260 m płyną do podszybia szybu 4 na poz. 260 m.

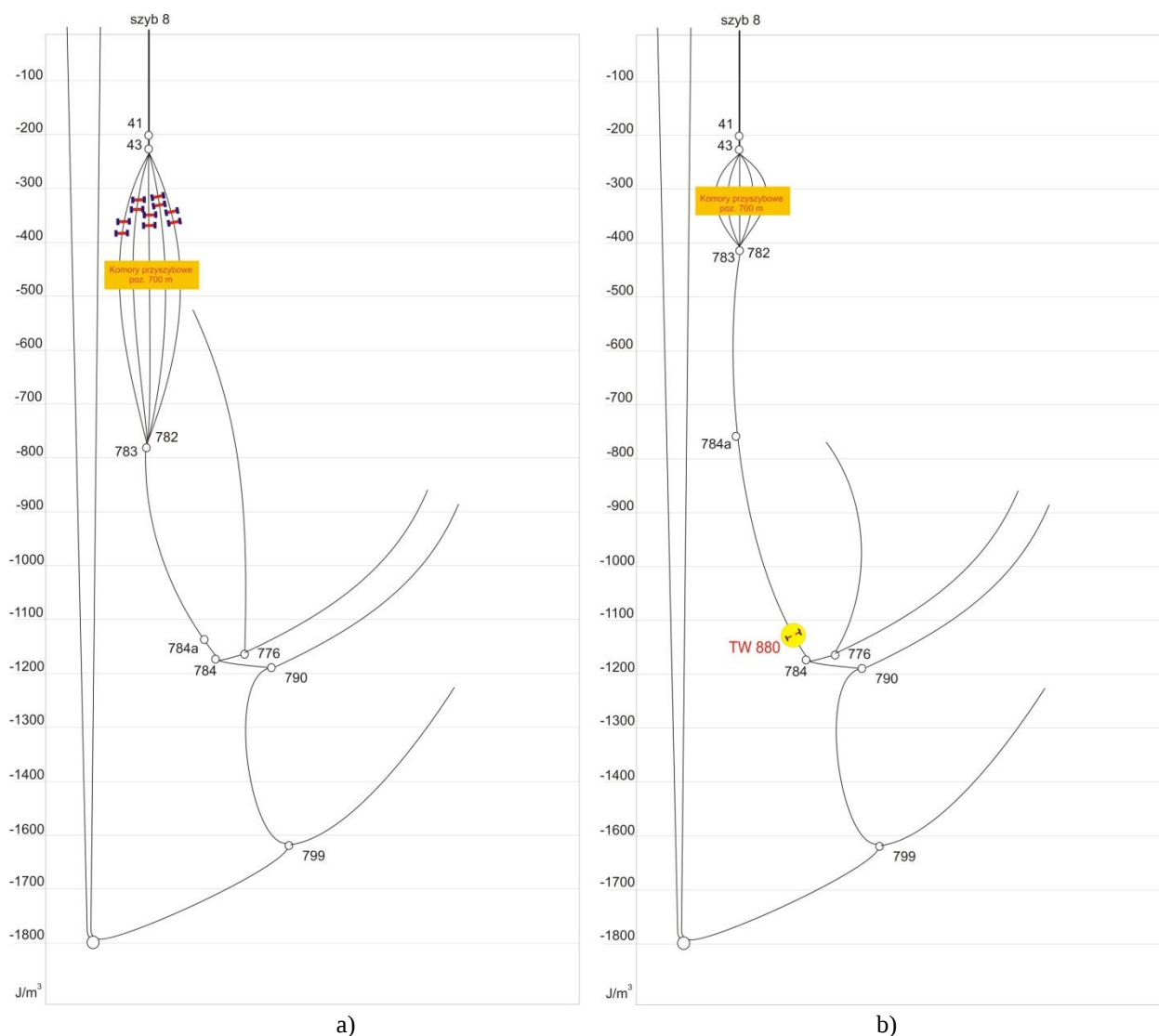
Bazując na pozytywnych doświadczeniach związanych z zastosowaną regulacją przewietrzania na poz. 250 m za pomocą TW 585 (co zostało opisane w Rozdziale 5 niniejszej pracy) i za pomocą TW 572 (Rozdział 6.1.1), a także mając na uwadze wspólną drogę odprowadzenia powietrza, tj. Zbiórczy przekop wentylacyjny pow. poz. 700 m i Diagonalą wentylacyjną w pokł. 506 poz. 700–400 m, postanowiono w jednym z tych wyrobisk zastosować regulację przewietrzania w grupowym prądzie powietrza zużytego. Jako rozwiązanie konstrukcyjne postanowiono zastosować rozwiązanie wykorzystane wcześniej w regulacyjnej tamie wentylacyjnej TW 572 – szczegółowo opisane w punkcie 6.1.1 niniejszej pracy. Drzwi zasadnicze tej tamy zabezpieczono siłownikiem zabudowanym zgodnie z kierunkiem przepływającego powietrza, co umożliwia zdalne otwarcie tamy poprzez schowanie bolca siłownika.

Po przeprowadzeniu kompleksowej analizy tamę regulacyjną postanowiono wykonać w Diagonali wentylacyjnej w pokł. 506 poz. 700–400 m przy skrzyżowaniu z Przekopem wentylacyjnym I poz. 400 m. Za powyższą lokalizacją, pomimo konieczności wykonania tamy w wyrobisku węglowym, przemawiała możliwość zdalnego otwarcia tamy z wyrobiska znajdującego się stosunkowo blisko szybu zjazdowego. Za takim rozwiązaniem przemawiała również – oprócz sprawdzonej już konstrukcji tamy regulacyjnej TW 572 – możliwość zabudowy skrzynek z zaworem sterującym otwierającym TW 572 i TW 880 w bliskiej odległości od siebie. W przypadku zaistnienia pożaru, ułatwia to przeszkolonej załodze, szybkie otwarcie tamy dokonane na polecenie dyspozytora / kierownika akcji. Czyli, ma to wpływ na podniesienie poziomu bezpieczeństwa.

Z kolei dla zabezpieczenia przed możliwością powstania pożaru szczelinowego otoczenie tamy regulacyjnej zostało torkretowane oraz objęte szczególnym nadzorem wentylacyjnym.

Lokalizacja powyższej tamy spełnia pozostałe wymogi stawiane takim tamom ustalone przez kopalnię, tj. w wyrobisku nie ma zabudowanych żadnych środków transportowych, a ze względu na swoją specyfikę (brak rejonów produkcyjnych) nie ma w nim regularnego i znaczącego ruchu załogi, wyrobisko jest kontrolowane wyłącznie przez służby wentylacyjne kopalni.

Na podstawie pomiarów sieci wentylacyjnej kopalni, za pomocą programu VENTGRAF obliczono potencjały aerodynamiczne w istotnych punktach fragmentu sieci wentylacyjnej kopalni: dla przypadku „klasycznej” regulacji przewietrzania na wlotach do poszczególnych komór oraz dla przypadku regulacji w grupowym prądzie powietrza za pomocą TW 880. Typową regulację przewietrzania we wlotowym prądzie powietrza do każdej z komór odzwierciedla schemat potencjalny przedstawiony na rys. 6.5a, natomiast regulację przewietrzania w grupowym prądzie powietrza zużytego za pomocą TW 880 – rys. 6.5b.



Rys. 6.5. Schematy potencjalne podsięci szybu nr 4 w przypadku zastosowania regulacji przewietrzania za pomocą tam regulacyjnych zabudowanych: a) we wlotowych prądach powietrza świeżego; b) w grupowym prądzie powietrza zużytego (opracowanie własne)

Dla wyznaczenia strat naporu na poszczególnych tamach regulacyjnych, wyznaczono dodatkowy punkt pomiarowy **784a** (rys. 6.4, 6.5a i 6.5b), który znajdował się w Diagonali wentylacyjnej w pokł. 507, ok. 100 m od skrzyżowania z Przekopem wentylacyjnym I poz. 400 m.

Z analizy tych schematów potencjalnych wynikają następujące fakty.

Przy typowej regulacji przewietrzania, tj. we wlotowym prądzie powietrza świeżego, dla komór przyszybowych różnica potencjałów pomiędzy węzłami 43 oraz 784a (rys. 6.5a) wynosiła ok. 920 J/m^3 .

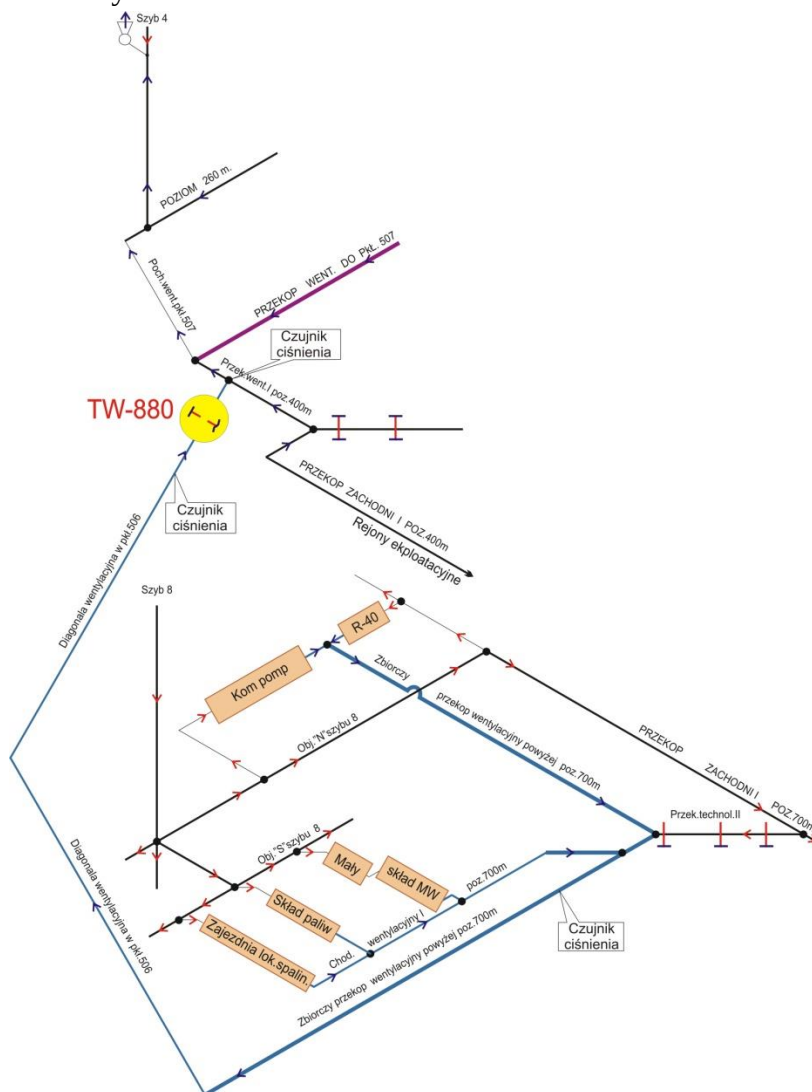
Przy regulacji przewietrzania w grupowym prądzie powietrza zużytego, dla tych samych komór przyszybowych różnica potencjałów pomiędzy węzłami 43 oraz 784a (rys. 6.5b) wynosiła ok. 520 J/m^3 , a więc o około 400 J/m^3 mniej,

Jak z powyższego wynika, rezultatem takiej regulacji przewietrzania są zdecydowanie mniejsze różnice potencjałów pomiędzy węzłami wlotowych, a węzłami wylotowych prądów powietrza. Przekłada się to na:

- stabilizację przepływu powietrza, tj. na większą odporność na skutki tzw. krótkich spięć wentylacyjnych,
- zmniejszenie wielkości (podciśnienia) depresji wentylatora głównego przewietrzania potrzebnej do przewietrzania komór przyszybowych,
- zmniejszenie naporu na drzwi przejściowe lub przejazdowe na wlocie do każdej z komór, a więc zlikwidowanie zagrożeń ruchowych dla załogi

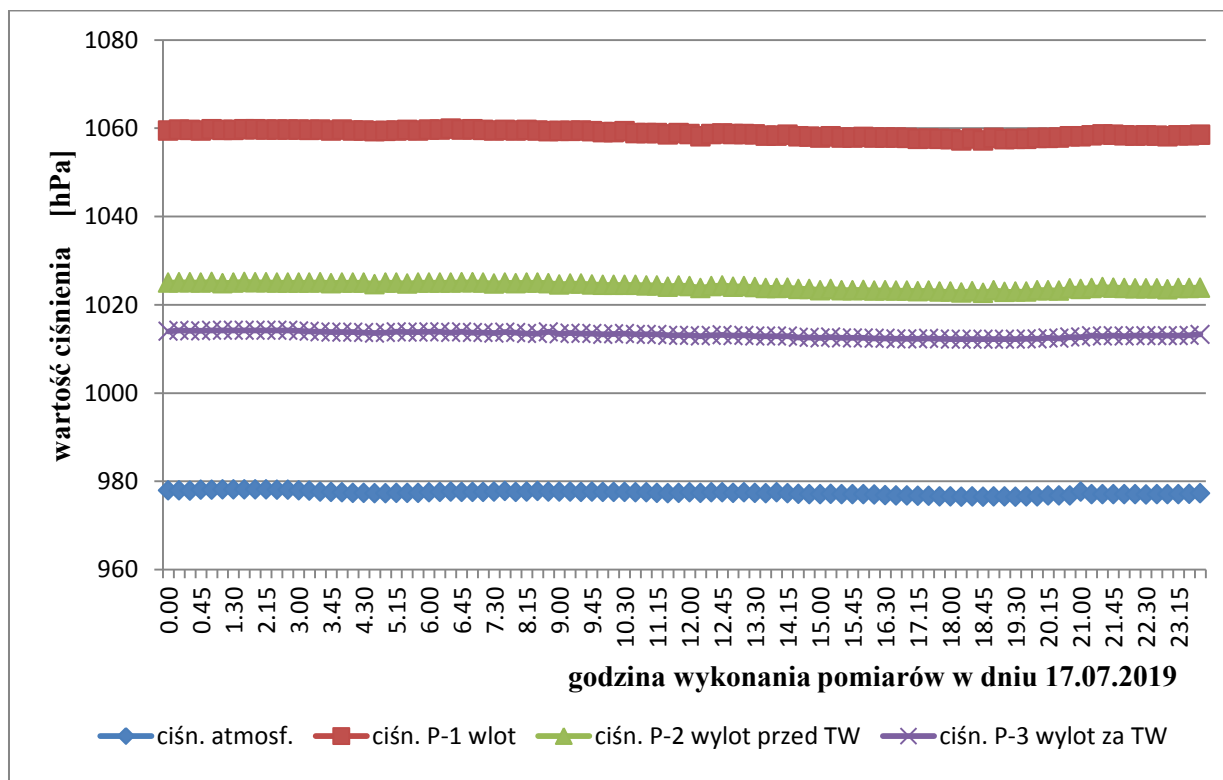
Komory przyszybowe znajdujące się pod wpływem działania regulacji przewietrzania za pomocą TW 880, a w szczególności: Skład Paliw i Zajezdnia lokomotyw spalinowych są komorami o znacznym natężeniu ruchu z wprowadzonym torowiskiem kolei podziemnej do każdej z tych komór. W przypadku zastosowania „klasycznej” regulacji przewietrzania w wlotowym prądzie powietrza utrzymanie stabilności przewietrzania przy tak dużym naporze na drzwi tamy byłoby trudne, a wręcz niemożliwe. Jednocześnie tak znaczne napory stwarzałyby określone zagrożenia ruchowe dla załogi.

Dla potrzeb niniejszej pracy w rejonie przewietrzanych komór przyszybowych z poz. 880 m i zastosowanej regulacji przewietrzania TW 880 zastosowano m.in. czujniki ciśnienia CSPA-2, co pokazano na rys. 6.6.



Rys. 6.6. Schemat rozmieszczenia czujników ciśnienia w rejonie komór przyszybowych przewietrzanych z użyciem TW 880 (opracowanie własne)

Na podstawie zarejestrowanych pomiarów stworzono macierz danych, w których znajdują się ciśnienie barometryczne oraz ciśnienia – rejestrowane przez czujniki – w funkcji czasu. Powyższe dane pozwoliły na wykonanie wykresu zmian ciśnienia zarejestrowanego przez czujniki CSPA-2 wraz ze zmianami ciśnienia atmosferycznego. Poniższy wykres rys. 6.7 oparto na danych z pomiarów wykonanych w czasie jednej doby, w trakcie normalnego ruchu zakładu górniczego.



Rys. 6.7. Wykres zmian ciśnienia zarejestrowanego przez czujniki CSPA-2 oraz ciśnienia atmosferycznego w dniu 17.07.2019 r.

Z wykresu na rys. 6.7 wynika, że zastosowanie regulacji przewietrzania poprzez tamę regulacyjną TW 880 zabudowaną w grupowym prądzie powietrza, w którym nie ma zabudowanych żadnych środków transportowych, a ruch załogi jest znikomy (wyłącznie służby wentylacyjne kopalni), zapewnia stabilne przewietrzanie i jednocześnie eliminuje zjawisko tzw. "krótkiego spięcia wentylacyjnego".

Dla kontroli stabilności przewietrzania oraz skuteczności prowadzonej regulacji przewietrzania tamy regulacyjne wyposażone są dodatkowo w czujniki stanu otwarcia z sygnalizacją u dyspozytora, a rejon wyposażony jest m.in. w czujniki CO-metrii automatycznej. Ponadto rejon poddany jest zwiększonej kontroli służb wentylacyjnych kopalni, m.in. poprzez codzienną kontrolę stanu tam i okien regulacyjnych przez metaniarza, a okresowo za pomocą kamery termowizyjnej wykonuje się pomiary temperatury w otoczeniu tamy, dla wczesnego wykrycia objawów pożaru szczelinowego.

I w tym przypadku warto podkreślić, że ta powyżej opisana regulacja przewietrzania jest nadal stosowana (od lutego 2011 r.) w KWK ROW Ruch Jankowice na niezmiennych warunkach, co świadczy o wysokiej skuteczności i stabilności zastosowanego rozwiązania.

6.2. Regulacja przewietrzania w rejonowych prądach powietrza zużytego

W Rozdziale 5. przedstawiono przykład zastosowania regulacji przewietrzania w rejonowym prądzie powietrza zużytego, którego celem było zapewnienie stabilności przewietrzania rejonu oraz ograniczenie przepływu powietrza przez zroby wyżej wyeksploatowanych ścian w danym pokładzie i zmniejszenie oddziaływania depresyjnego szybu wentylacyjnego na tamy izolacyjne, a więc zmniejszenie zagrożenia pożarowego.

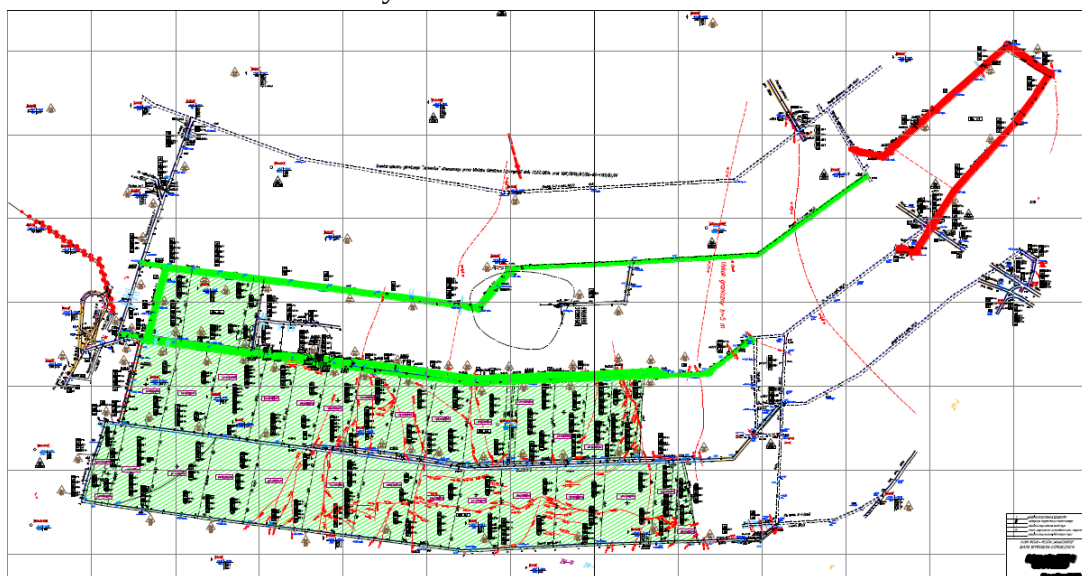
W niniejszym rozdziale zaprezentowane zostaną trzy kolejne, zupełnie różne regulacje przewietrzania w rejonowym prądzie powietrza zużytego. Przeprowadzona zostanie próba udowodnienia zasadności i skuteczności stosowania regulacji przewietrzania w rejonowym prądzie powietrza zużytego zarówno w aspekcie zmniejszenia zagrożenia pożarowego, zapewnienia stabilności przewietrzania, zmniejszenia oddziaływania depresyjnego szybu wentylacyjnego na tamy izolacyjne, zaburzenia geologiczne, zroby i wyrobiska likwidowane, jak również jako sposób na skuteczne zapewnienie właściwych ilości i rozplywu powietrza w rejonach wentylacyjnych.

6.2.1. Ściana W-1 w pokł. 502/1 oraz ściana Z-1 w pokł. 502/1 – TW 370, TW 370a

Głównym celem regulacji przewietrzania z zastosowaniem regulacyjnych tam wentylacyjnych TW 370 oraz TW 370a było [66]:

- umożliwienie jednoczesnego przewietrzania ścian Z-1 w pokł. 502/1 i W-1 w pokł. 502/1 z zachowaniem wymaganych jakościowych i ilościowych stosunków powietrza, przy zapewnieniu stabilności przewietrzania,
- zmniejszenie oddziaływania depresyjnego szybu nr 3 na zroby ściany W-1 w pokł. 502/1 w trakcie eksploatacji i likwidacji ściany W-1 w pokł. 502/1,
- odstąpienie od zabudowy słuz wentylacyjnych w chodniku W-2 w pokł. 502/1, tj. doprowadzającym powietrze do ściany na trasie prowadzonego transportu i odstawy.

Eksploatacja pokładu 502/1 ścianą W-1 oraz ścianą Z-1 prowadzona była w piętrze 700-565m w KWK ROW Ruch Jankowice – rys. 6.8.



Rys. 6.8. Wycinek mapy pokładu 502/1 z zaznaczeniem wyrobisk rejonu ściany Z-1 w pokł. 502/1 (kolor zielony) oraz W-1 w pokł. 502/1 (kolor czerwony) (opracowanie własne)

a) Charakterystyka rejonu ścian Z-1 i W-1 w pokładzie 502/1

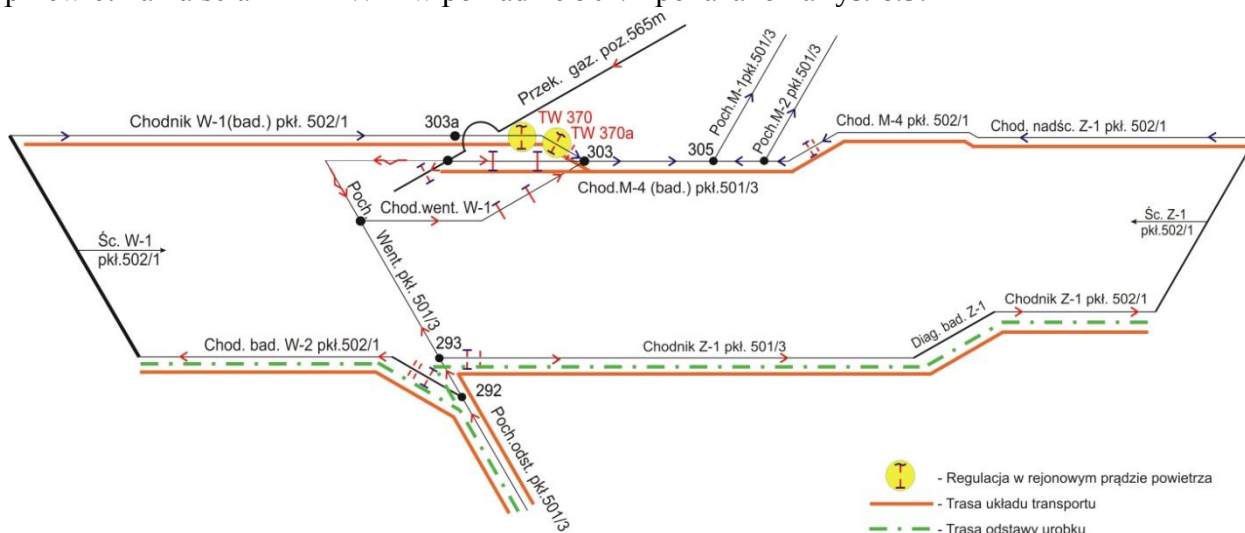
Pokład 502/1 zaliczony jest do III kategorii zagrożenia metanowego, I stopnia zagrożenia tapaniami, klasy B zagrożenia wybuchem pyłu węglowego, I stopnia zagrożenia wodnego. Węgiel pokładu 502/1 zaklasyfikowany jest do II i III grupy samozapalności, a temperatura pierwotna górotworu wynosi ok. 27°C.

To, a także znaczna długość dróg doprowadzania powietrza, w których zabudowane są przenośniki taśmowe odstawy głównej i oddziałowej, powodowała, że w rejonie ściany Z-1 w pokł. 502/1 zastosowana była klimatyzacja lokalna wykorzystująca chłodnicę powietrza bezpośredniego działania TS 300, o mocy 290 kW.

Prognoza metanowości bezwzględnej dla przedmiotowych ścian wynosiła:

- ściana W-1 w pokł. 502/1 – $2,11 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{Mg}_{\text{CSW}}$ dla planowanego wydobycia 4400 Mg/dobę,
- ściana Z-1 w pokł. 502/1 – $4,94 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{Mg}_{\text{CSW}}$ dla planowanego wydobycia 4500 Mg/dobę.

Mając na uwadze prognozowany poziom zagrożenia metanowego i klimatycznego, na etapie projektowania ścian założono, że do ściany Z-1 w pokł. 502/1 doprowadzone zostanie powietrze w ilości ok. 1300 m³/min, a do ściany W-1 w pokł. 502/1 – w ilości ok. 1000 m³/min. Sposoby przewietrzania ścian Z-1 i W-1 w pokładzie 502/1 pokazano na rys. 6.9.



Rys. 6.9. Sposób przewietrzania ściany Z-1 w pokł. 502/1 oraz W-1 w pokł. 502/1 z zaznaczeniem trasy odstawy urobku oraz dróg transportowych (opracowanie własne)

Ściany Z-1 w pokł. 502/1 oraz W-1 w pokł. 502/1 eksploatowane były jednocześnie.

Wlot i wylot powietrza z rejonu wentylacyjnego obu ścian znajdowały się blisko siebie, a ich wartości potencjału aerodynamicznego były bardzo zbliżone. Oba rejonory różniły się zdecydowanie długością dróg wentylacyjnych, co miało istotne znaczenie w aspekcie oporów aerodynamicznych i strat naporu poszczególnych rejonów. Długość dróg wentylacyjnych w rejonie ściany W-1 w pokł. 502/1 wynosiła – w momencie rozruchu – 1160 m, natomiast długość dróg wentylacyjnych ściany Z-1 w pokł. 502/1 w momencie uruchomienia ściany W-1 wynosiła 2980 m.

Przeprowadzona próba przewietrzania obu ścian bez zastosowania regulacji przewietrzania wykazała, że przez ścianę W-1 w pokł. 502/1 płynęło powietrze w ilości ok. 2200 m³/min,

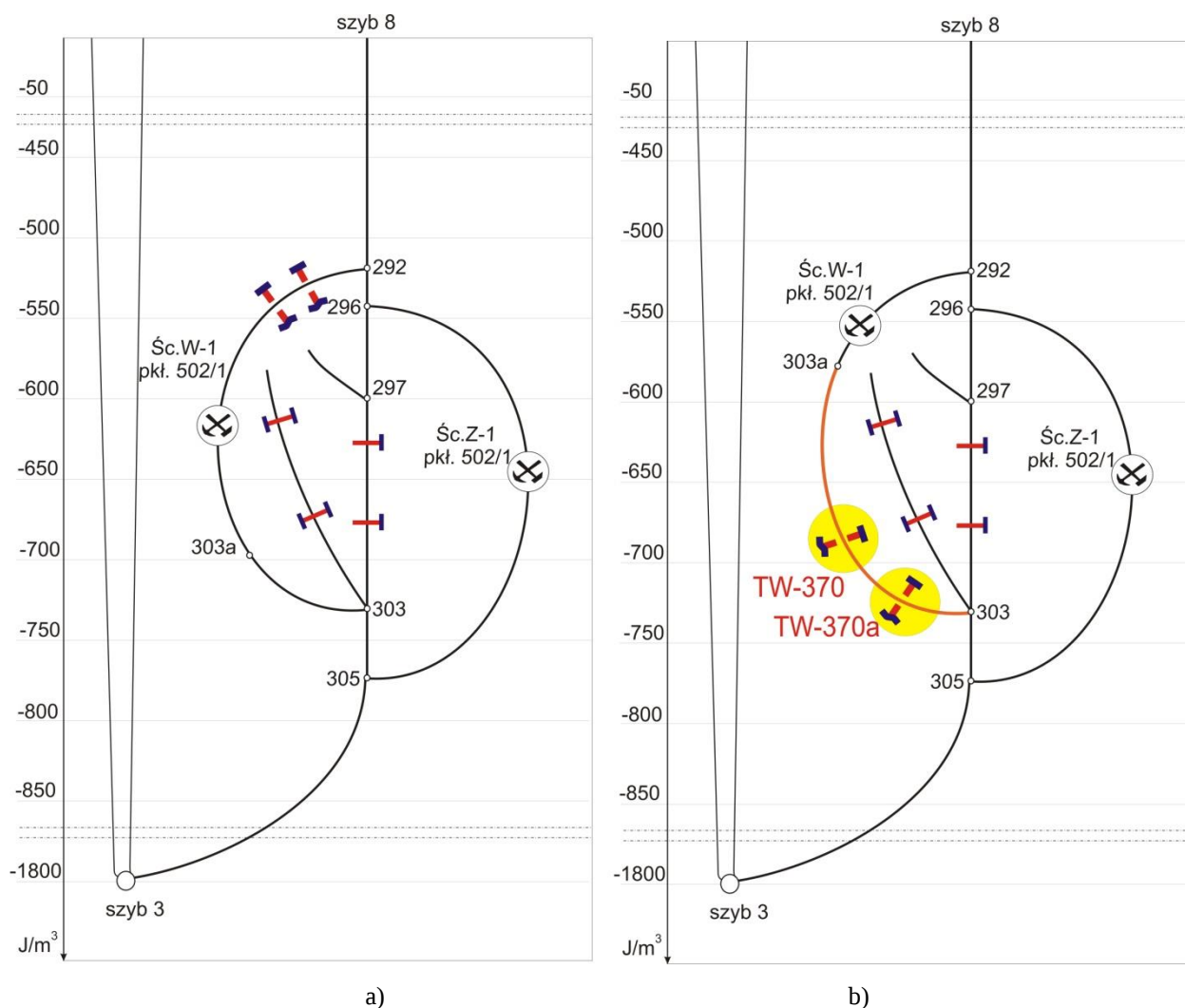
a przez ścianę Z-1 w pokł. 502/1 tylko w ilości ok. 450 m³/min. Powyższe wartości determinowały zastosowanie regulacji przewietrzania.

Istotnym czynnikiem mającym wpływ na skuteczność prowadzonej regulacji przewietrzania w rejonie ścian Z-1 i W-1 w pokł. 502/1 miało wyposażenie wyrobisk, a w szczególności obecność przenośników taśmowych oraz środków transportowych – rys. 6.9. Taki układ stwarzał określone trudności związane z zastosowaniem skutecznej regulacji przewietrzania, w szczególności związane z brakiem możliwości zabudowy tam na trasie kolejki podwieszanej obok trasy przenośnika taśmowego. Dla pomieszczenia obu środków transportowych niezbędnym byłoby wykonanie poszerzenia wyrobiska dla zabudowy tam lub zabudowa przenośnika zgrzeblowego, który znajdowałby się pod trasą kolejki podwieszanej i jednocześnie przechodziłby w świetle tamy. Taki układ jest trudny do wykonania, pociąga za sobą określone koszty, a przenośnik zgrzeblowy nie gwarantowałby stabilnego odbioru urobku. Jednocześnie transportowany urobek w miejscu zabudowy służy wentylacyjnej, ze względu na jego wywiewanie, powodowałby powstawanie zwiększonego zapylenia powietrza kopalnianego oraz osadzanie się pyłu (wzrost poziomu zagrożenia wybuchem pyłu węglowego), a także zanieczyszczenie trasy odstawy (wzrost poziomu zagrożenia pożarem egzogenicznym, spowodowanym tarciem taśmy przenośnikowej o urobek).

Mając powyższe na uwadze, w przedmiotowym rejonie zaprojektowano regulację przewietrzania z zastosowaniem tam automatycznych na trasie kolejki podwieszanej spalinowej w chodniku W-1 w pokł. 502/1, tj. odprowadzającym powietrze ze ściany W-1. Dla uzyskania wymaganej ilości powietrza płynącego przez ścianę W-1 w pokł. 502/1 w tamach regulacyjnych TW 370, TW 370a zabudowano okna regulacyjne, których przekrój dobrany był w sposób zapewniający przepływ powietrza wynoszący 1000-1100 m³/min. Okna regulacyjne były trwale zabezpieczone przed przypadkowym lub celowym ingerowaniem w sposób i zakres ich otwarcia. Przedmiotowe tamy dla zminimalizowania możliwości powstania szczelinowego wykonane zostały w przekopowym odcinku chodnika W-1, tj. pomiędzy pokładem 501/3 i 502/1, jednak dla szybkiego wykrycia ewentualnych objawów pożaru szczelinowego prowadzone były okresowe kontrole otoczenia tam za pomocą kamery termowizyjnej.

b) Monitoring regulacji przewietrzania, metodyka wykonywania obliczeń oraz moc prądu powietrza

Na podstawie pomiarów sieci wentylacyjnej kopalni, za pomocą programu VENTGRAF obliczono potencjały aerodynamiczne w istotnych punktach fragmentu sieci wentylacyjnej kopalni w zakresie dotyczącym ścian Z-1 i W-1 w pokł. 502/1.



Rys. 6.10. Schemat potencjalny rejonu: a) zastosowanie regulacji przewietrzania w prądzie wlotowym; b) zastosowanie regulacji przewietrzania w prądzie wylotowym (opracowanie własne)

Dla wyznaczenia schematu potencjalnego wyznaczono dodatkowy punkt pomiarowy (303a), który znajdował się przed tamami regulacyjnymi (TW 370, TW 370a) od strony ściany W-1. W momencie zakończenia biegu ściany i rozpoczęcia jej likwidacji punkt 303a znajdował się w odległości ok. 50 m od linii likwidacji chodnika W-1 badawczego w pokł. 502/1 (chodnika odprowadzającego powietrze ze ściany W-1), a więc odzwierciedlał potencjał oddziaływania depresyjnego szybu wentylacyjnego na zroby ściany.

Przy typowej regulacji przewietrzania, tj. we wlotowym prądzie powietrza świeżego obliczony potencjał aerodynamiczny w sąsiedztwie zrobów wynosił ok. 700 J/m^3 (rys. 6.10a), a w przypadku zastosowania regulacji przewietrzania w rejonowym prądzie powietrza zużytego potencjał ten wynosił ok. 575 J/m^3 (rys. 6.10b), a więc o około 125 J/m^3 mniej.

Moc prądu powietrza przewietrzającego rejon ściany W-1 w pokł. 502/1 $N_{f_{292-303}}$ obliczona zgodnie ze wzorem (5.12) wynosiła:

$$N_{f_{292-303}} = 210 [\text{Pa}] \times 16,67 [\text{m}^3/\text{s}] = 3\,500 \text{ W}.$$

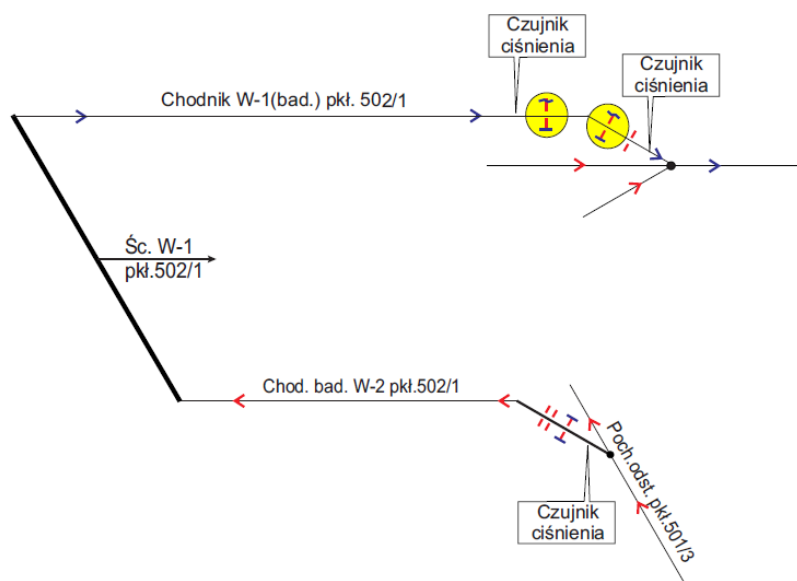
Zatem rejonowy prąd powietrza między węzłami 292 i 303 należy uznać jako prąd mocny.

W przypadku zastosowania regulacji przewietrzania w rejonowym prądzie powietrza zużytego, moc prądu powietrza liczona jako różnica potencjałów między węzłami 292 i 303a wynosi:

$$N_{292-303a} = 50 \text{ [Pa]} \times 16,67 \text{ [m}^3/\text{s]} = 833 \text{ W.}$$

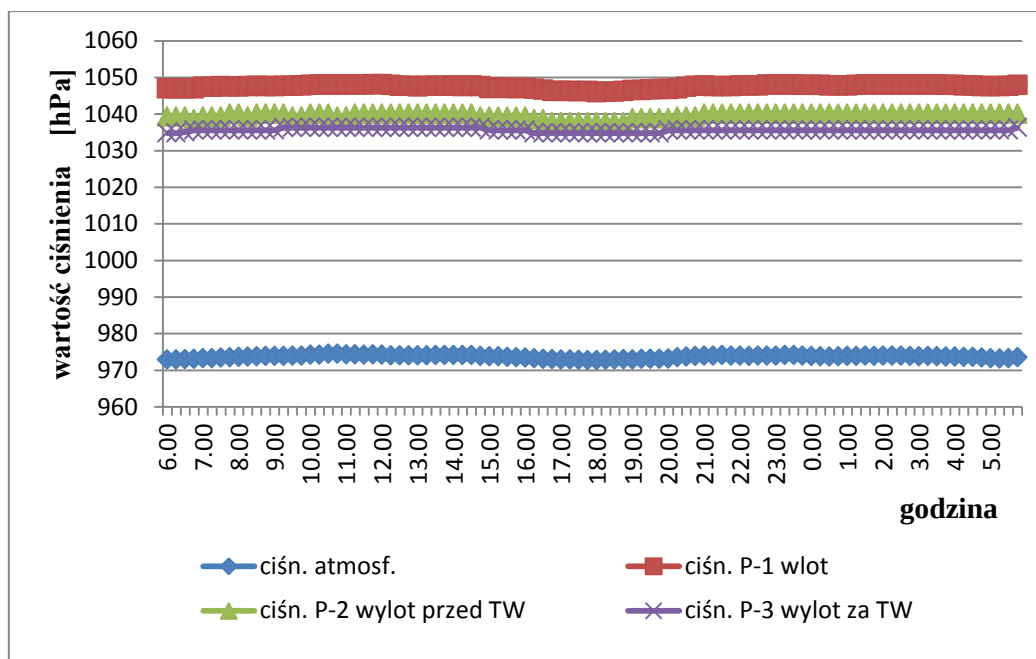
Wartość ta wskazuje, że jest to prąd średni, tj. o mocy średniej. Podkreślić jednak należy, że w przypadku spadku ilości powietrza płynącego przez rejon ściany W-1 w pokł. 502/1 istnieje możliwość otwarcia okien regulacyjnych w regulacyjnej tamie wentylacyjnej TW 370 i TW 370a. Spowoduje to zwiększenie ilości powietrza lub zwiększenie potencjału w punkcie 303a, czyli wzmocnienie prądu powietrza. Stopniowe otwieranie okien regulacyjnych w TW 370 i TW 370a stosowano sukcesywnie w miarę wybudowy sekcji z kanału likwidacyjnego, a więc w miarę wzrostu oporu przepływającego powietrza.

Dla kontroli bezpieczeństwa w rejonie ścian W-1 i Z-1 w pokł. 502/1, przewietrzanym z regulacją przewietrzania w prądzie wylotowym, zastosowano – w rejonie wentylacyjnym ściany W-1 – m.in. czujniki ciśnienia CSPA-2, co pokazano na rys. 6.11.



Rys. 6.11. Schemat rozmieszczenia czujników ciśnienia w rejonie ściany W-1 w pokł. 502/1 (opracowanie własne)

Na podstawie zarejestrowanych pomiarów stworzono macierz danych, w których znajdują się ciśnienie barometryczne oraz ciśnienia – rejestrowane przez czujniki – w funkcji czasu. Powyższe dane pozwoliły na wykonanie wykresu zmian ciśnienia zarejestrowanego przez czujniki CSPA-2 wraz ze zmianami ciśnienia atmosferycznego. Poniższy wykres rys. 6.12 oparto na danych z pomiarów wykonanych w czasie jednej doby, w trakcie normalnego procesu wydobywczego na ścianie, dla normalnego obłożenia.



Rys. 6.12. Wykres zmian ciśnienia zarejestrowanego przez czujniki CSPA-2 oraz ciśnienia atmosferycznego w dniu 10.04.2018r.(opracowanie własne)

Z wykresu rys. 6.12 wynika, że zastosowanie regulacji przewietrzania w układzie służący wentylacyjnej w rejonowym prądzie powietrza, w którym zabudowany jest wyłącznie jeden środek transportu (trasa kolejki podwieszanej), zapewnia stabilne przewietrzanie rejonu ściany, a zmiany wskazań czujników CSPA-2 pokrywają się ze zmianami ciśnienia atmosferycznego. Nie obserwuje się gwałtownych wzrostów lub spadków ilości powietrza, czy też wzmożonego, chwilowego wypływu gazów ze zrobów.

Dla kontroli stabilności przewietrzania rejonu oraz skuteczności prowadzonej regulacji przewietrzania tamy regulacyjne wyposażone były dodatkowo w czujniki stanu otwarcia z sygnalizacją u dyspozytora, a rejon wyposażony był m.in. w czujniki CO-metrii automatycznej oraz czujniki prędkości powietrza. Ponadto rejon poddany był zwiększonej kontroli służb wentylacyjnych kopalni, m.in. poprzez codzienną kontrolę stanu tam i okien regulacyjnych przez metaniarza.

c) Konkluzja

W omawianym przykładzie, zastosowanie regulacji przewietrzania w prądzie powietrza zużytego, w którym nie ma zabudowanego przenośnika taśmowego, zapewniało stabilne przewietrzanie nie tylko ściany W-1 w pokł. 502/1, ale również ściany Z-1 w pokł. 502/1, której opory aerodynamiczne były zdecydowanie wyższe, a węzły wlotowy i wylotowy były zbieżne z wlotem i wylotem z rejonu ściany W-1. Bez zastosowania jakiejkolwiek regulacji przewietrzania w rejonie ściany W-1 nie byłoby możliwe skuteczne przewietrzanie ściany Z-1. Jednocześnie można zaobserwować zmniejszenie oddziaływania depresyjnego szybu wentylacyjnego na zroby ściany W-1 zarówno w trakcie eksploatacji, jak i likwidacji.

Przykład oddziaływania wentylatora głównego przewietrzania na zroby ścian w przypadku stosowania regulacji przewietrzania w prądzie powietrza zużytego oraz klasycznej przedstawiono na rys. 6.10. Widać tu wyraźnie, jak zastosowanie regulacji przewietrzania przekłada się na potencjał aerodynamiczny oddziałujący na zroby ścian.

Dla skutecznego i bezpiecznego stosowania przedmiotowej regulacji przewietrzania niezbędnym jest przeprowadzanie systematycznych i rzetelnych kontroli, a w szczególności:

- sprawności czujników stanu otwarcia z sygnalizacją u dyspozytora gazometrii,
- zapisów czujników CO-metrii automatycznej w systemie ZEFIR i u dyspozytora gazometrii
- stanu otoczenia tam regulacyjnych dla wykrycia ewentualnych objawów pożaru endogenicznego,

Powyższa regulacja przewietrzania prowadzona była na niezmiennych warunkach od dnia 18.12.2017 r. do 15.12.2018 r. Ściana W-1 w pokł. 502/1 została zlikwidowana po wydaniu całego wyposażenia i otamowana korkami izolacyjnymi. W trakcie likwidacji nie obserwowano wzrostów zagrożenia pożarem endogenicznym.

6.2.2. Zroby ścian w partii M i Z w pokł. 501/3 oraz 502/1 oraz rejon robót przygotowawczych w pokł. 501/3 – TB 679

Głównym celem zastosowania regulacji przewietrzania z zastosowaniem regulacyjnej tamy wentylacyjnej TB 679 było [68]:

- zapewnienie bezpieczeństwa załogi zatrudnionej przy likwidacji wyposażenia chodnika nadścianowego Z-1 w pokł. 501/3,
- zapewnienie stabilnego przewietrzania rejonu robót przygotowawczych w pokładzie 501/3,
- odstąpienie od zabudowy śluz wentylacyjnych we wlotowym rejonowym prądzie powietrza na trasie prowadzonego transportu i odstawy,
- ograniczenie strat powietrza płynącego przez rejon robót przygotowawczych prowadzonych między świeżym, a zużytym prądem powietrza,
- zmiana stosunków depresyjnych i kierunku przepływu gazów zrobowych między Ruchem Marcel i Ruchem Jankowice KWK ROW.

a) Charakterystyka rejonów w pokładach 501/3 i 502/1

Jak już podano w pkt. 6.2.1 niniejszej pracy, w rejonie ściany W-1 w pokł. 502/1 i ściany Z-1 w pokł. 502/1, w trakcie ich wspólnej eksploatacji, dla zapewnienia jakościowych i ilościowych stosunków powietrza koniecznym było stosowanie regulacji przewietrzania.

Po otamowaniu ściany W-1 w pokł. 502/1 w rejonie ściany Z-1 w pokł. 502/1 nie było konieczności stosowania regulacji przewietrzania. Ze względu na długość i opór dróg wentylacyjnych nie występowała konieczność prowadzenia regulacji przewietrzania. Taki stan utrzymywał się do końca eksploatacji i likwidacji ściany Z-1 w pokł. 502/1. Po wybudowie całego wyposażenia ściany Z-1 w pokł. 502/1 w chodniku nadścianowym Z-1 w pokł. 502/1, w odległości ok. 200 m od kanału likwidacyjnego ściany Z-1, wykonano korek izolacyjny. Dalszą wybudowę wyposażenia chodnika (trasa kolejki, rurociągi, kable elektryczne, itp.) prowadzono z wykorzystaniem wentylacji lutniowej tłoczącej z wykorzystaniem wentylatora WLE 803B zabudowanego w chodniku M-4 w pokł. 501/3 przed skrzyżowaniem z pochylnią M-2 w pokł. 501/3. Długość likwidowanego odcinka chodnika nadścianowego Z-1 w pokł. 502/1 wynosiła ok. 920 m. Zgodnie z przyjętym sposobem likwidacji wyposażenia chodnika

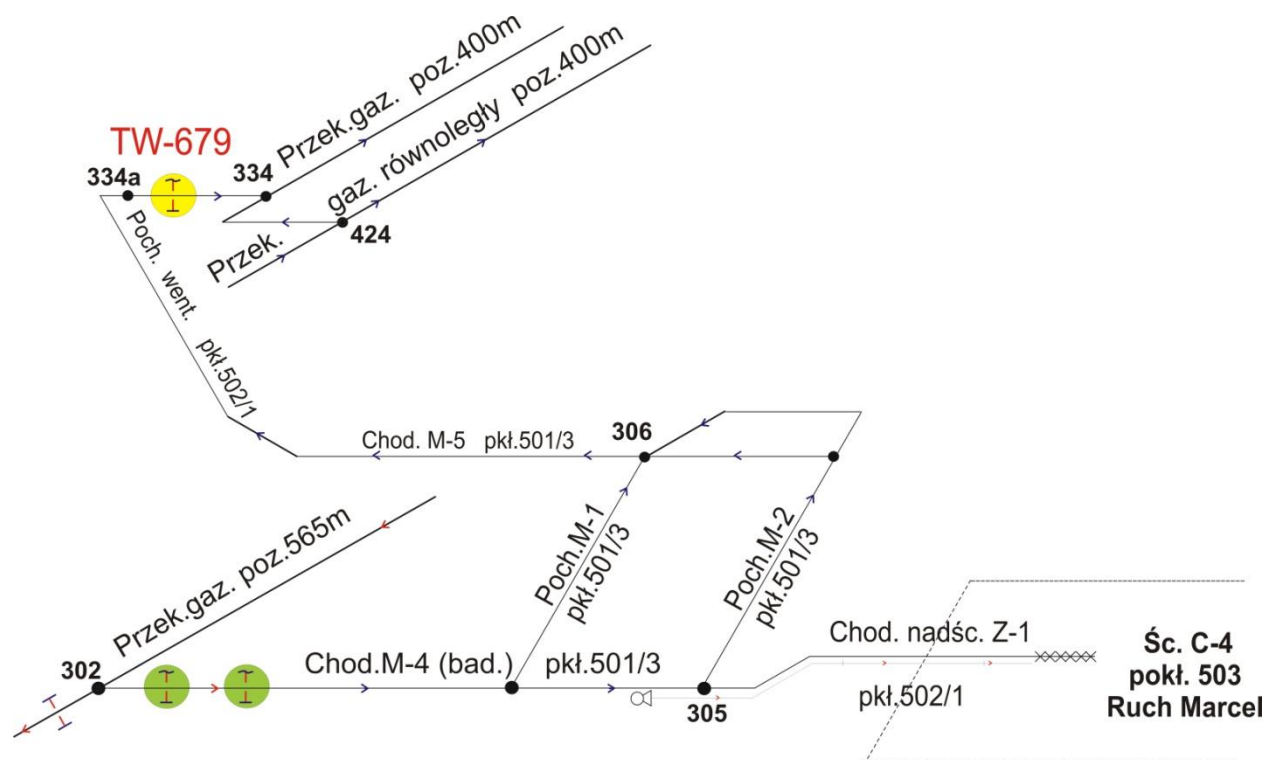
nadścianowego Z-1 co ok. 200 m skracano lutniociąg, a na końcu przewietrzanego odcinka chodnika wykonywano tamę organową, zabezpieczającą przed wejściem do nieprzewietrzanej części wyrobiska. Przy tamie organowej, zgodnie z zatwierdzonym schematem zabezpieczeń gazometrycznych, zabudowane były m.in. metanomierz i tlenomierz. Poza tym, załoga zatrudniona w tym rejonie zobowiązana była do posiadania w miejscu pracy przyrządu do ciągłego wykonywania pomiarów stężeń tlenu i metanu.

Z kolei w „części Markłowickiej” KWK ROW prowadzona jest tzw. eksploatacja szufladkowa Ruchu Jankowice i Ruchu Marcel kopalni ROW (do roku 2016 dwie odrębne kopalnie). Z tego powodu prowadzona jest koordynacja robót górniczych uwzględniająca wzajemne położenie poszczególnych przodków obu ruchów. Sytuacja taka stwarza określone zagrożenia wentylacyjne oraz powoduje przepływy powietrza/gazów pomiędzy zrobami poeksploatacyjnymi obydwu ruchów KWK ROW.

Jednocześnie z pracami związanymi z likwidacją wyposażenia chodnika nadścianowego Z-1 w pokł. 501/3 prowadzono prace związane z rozcinką pokładu 501/3 oraz 502/1 wraz z przebudową pochylni M-1 w pokł. 501/3. W tym celu w chodniku M-4 w pokł. 501/3 od strony przekopu gazowego poz. 565 m prowadzono prace związane z zabudową przenośnika taśmowego dla odstawy urobku z drążonych wyrobisk w pokładzie 501/3.

Ponadto, w tym samym czasie w Ruchu Marcel uruchomiona została ściana C-4 w pokł. 503. W zasięgu wpływów eksploatacji przedmiotowej ściany znajdował się likwidowany chodnik nadścianowy Z-1 w pokł. 502/1.

Sytuacja i sposób przewietrzania wyrobisk w pokładzie 501/3 i 502/1 przedstawiona została na rys. 6.13.

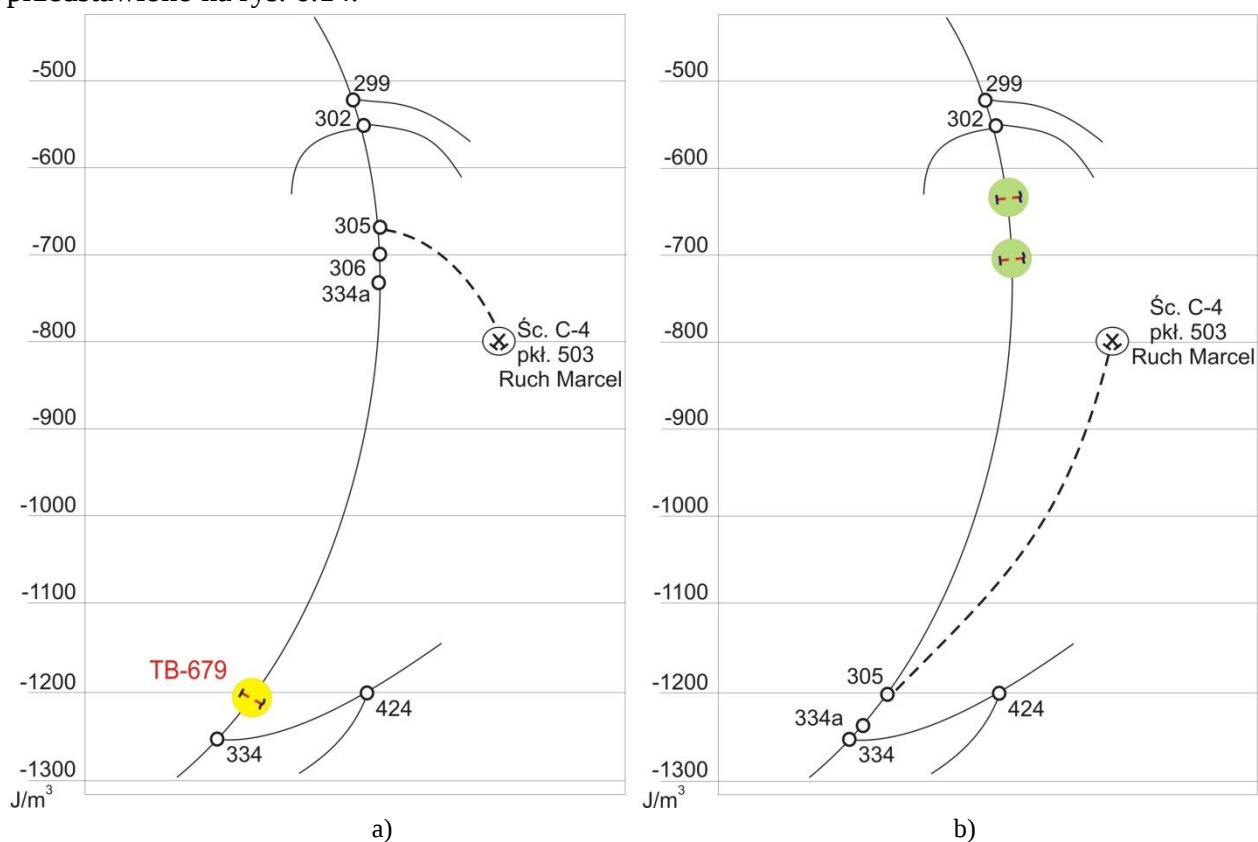


Rys. 6.13. Schemat przewietrzania wyrobisk w pokładach 501/3 i 502/1 z zaznaczeniem regulacji przewietrzania w prądzie wlotowym (kolor zielony) oraz w rejonowym prądzie powietrza zużytego za pomocą TW 679 (kolor żółty) (opracowanie własne)

Ze względu na bardzo dużą różnicę potencjałów (około 720 J/m^3) między prądem powietrza świeżego (przekop gazowy poz. 565 m), a prądem powietrza zużytego (przekop gazowy poz. 400 m) koniecznym było prowadzenie regulacji przewietrzania. Śluza taka, zgodnie z zapisami obowiązujących przepisów, zabudowana była w chodniku M-4 w pokł. 501/3 przy skrzyżowaniu z przekopem gazowym poz. 565 m, tj. na początku prądu rejonowego (kolor zielony na rys. 6.13).

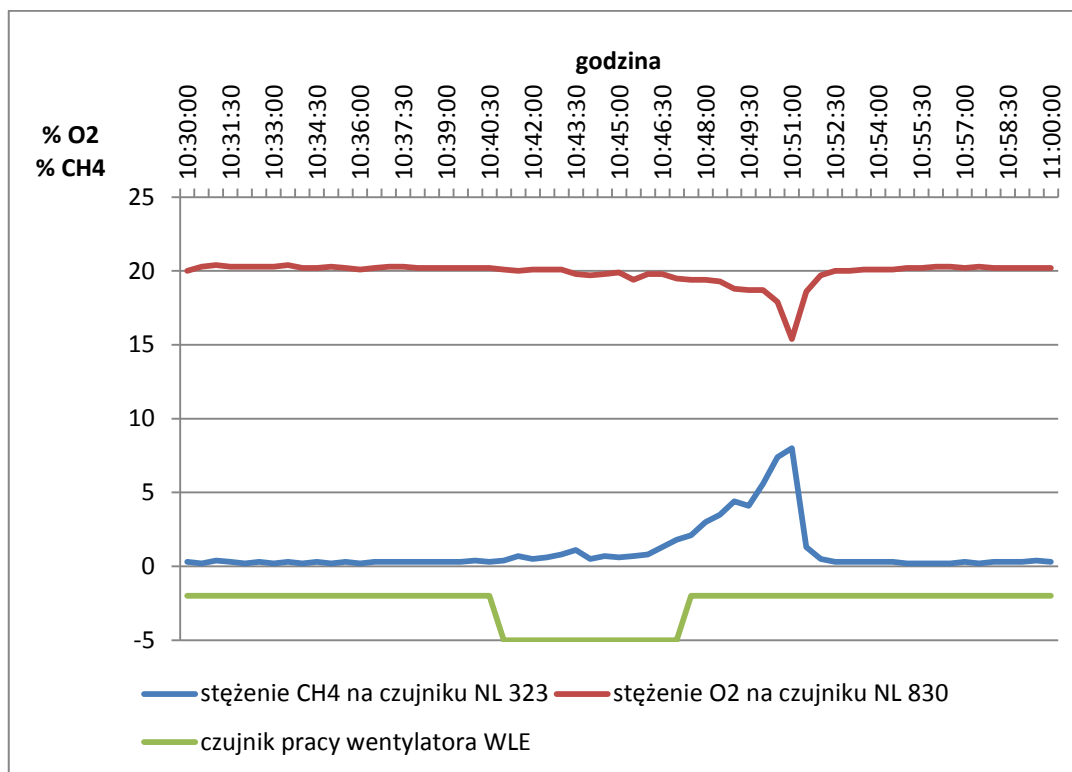
W chodniku M-4 w pokł. 501/3 rozpoczęto zabudowę przenośnika taśmowego dla potrzeb odstawy z prowadzonej przebudowy pochylni M-1 w pokł. 501/3 oraz planowanego drażenia przedłużenia pochylni M-1 w pokł. 501/3 powyżej chodnika M-5 w pokł. 501/3. Dla zapewnienia stabilnego przewietrzania rejonu oraz ograniczenia strat powietrza, zgodnie z przyjętym sposobem regulacji przewietrzania sieci wentylacyjnej kopalni, prowadzono prace związane z zabudową tamy regulacyjnej TW 679 w pochylni wentylacyjnej w pokł. 502/1, tj. dla zastosowania regulacji przewietrzania w prądzie powietrza zużytego. W pochylni wentylacyjnej w pokł. 502/1, w miejscu zabudowy TW 679 nie ma zabudowanych żadnych środków transportowych, a ruch załogi jest ograniczony. Z tego powodu TW 679 została zaprojektowana jako pojedyncza tama murowa z tunelem przejściowym dla załogi. Otwory wentylacyjne w TW 679 dobrane zostały tak, aby zapewnić ilość powietrza płynącą w wyrobisku ok. $1\,000 \text{ m}^3/\text{min}$, co zapewnia skuteczne przewietrzanie całego rejonu i jednocześnie nie stanowi istotnego oporu dla ewentualnych dymów.

Schematy potencjalne przedmiotowego rejonu z zastosowaniem regulacji przewietrzania przedstawiono na rys. 6.14.



Rys. 6.14. Schemat potencjalny rejonu: a) zastosowanie regulacji przewietrzania w prądzie wylotowym; b) zastosowanie regulacji przewietrzania w prądzie wlotowym (opracowanie własne)

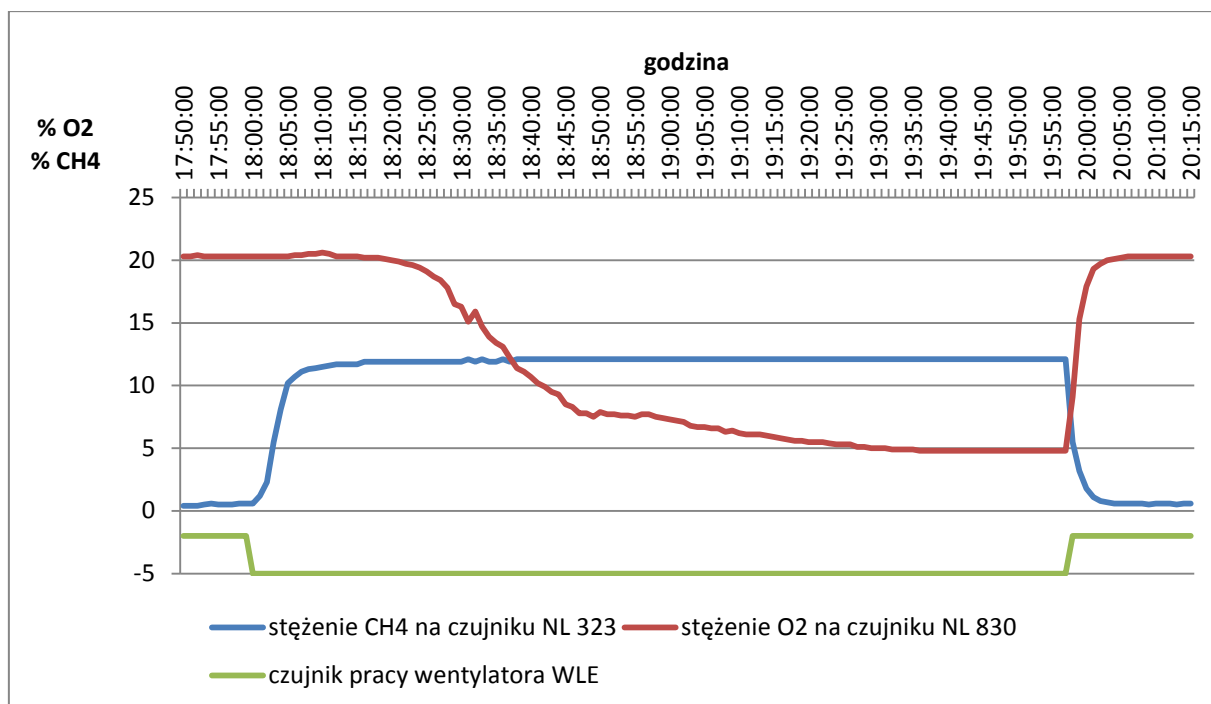
W dniu 18.05.2019 r., kiedy likwidacja wyposażenia wyrobiska znajdowała się już w końcowym etapie, wystąpił awaryjny postój wentylatora lutniowego przewietrzającego likwidowany chodnik nadścianowy Z-1 w pokł. 502/1. W chwili zatrzymania pracy wentylatora lutniowego czujniki gazometrii automatycznej zabudowane w przodku likwidowanego chodnika nadścianowego Z-1 w pokł. 502/1 zarejestrowały przekroczenia dopuszczalnych stężeń. Zarejestrowane wskazania, wraz ze stanem czujnika pracy wentylatora lutniowego przedstawiono na rys. 6.15.



Rys. 6.15. Wskazania czujników gazometrii automatycznej w dniu 18.05.2019 r. zabudowanych w przodku chodnika nadścianowego Z-1 w pokł. 502/1 oraz czujnika stanu pracy wentylatora lutniowego

Po uruchomieniu wentylatora lutniowego oraz przewietrzeniu wyrobiska parametry stężeń gazów w wyrobisku powróciły do wartości dopuszczalnych.

Powyższa sytuacja powtórzyła się w dniu 27.05.2019 r. W tym czasie w wyrobisku wykonana już była tama izolacyjna murowa w układzie podwójnym, a korek izolacyjny był w trakcie zatłaczania. Również i w tym przypadku, po uruchomieniu wentylatora lutniowego oraz przewietrzeniu wyrobiska parametry stężeń gazów w wyrobisku powróciły do wartości dopuszczalnych. Zarejestrowane wskazania, wraz ze stanem czujnika pracy wentylatora lutniowego przedstawiono na rys. 6.16.



Rys. 6.16. Wskazania czujników gazometrii automatycznej w dniu 27.05.2019 r. zabudowanych w przodku chodnika nadścianowego Z-1 w pokł. 502/1 oraz czujnika stanu pracy wentylatora lutniowego

Analiza powyższego zdarzenia pozwoliła na wysunięcie hipotezy, że zastosowana regulacja przewietrzania w prądzie wlotowym powietrza i związany z tym układ potencjałów w rejonie objętym eksploatacją szufladkową spowodowała przepływ gazów zrobowych od strony eksploatowanego pokładu 503 Ruchu Marcel w stronę likwidowanego wyrobiska w pokładzie 502/1 Ruchu Jankowice.

Powyższe bardzo dynamiczne i niebezpieczne zdarzenie spowodowało przyspieszenie prac związanych z oddaniem do ruchu regulacyjnej tamy wentylacyjnej TW 679, mającej służyć do regulacji przewietrzania w pochylni wentylacyjnej w pokł. 502/1. Jednocześnie wykonane pomiary potencjałów aerodynamicznych w rejonie z zastosowaniem regulacji przewietrzania za pomocą śluzy wentylacyjnej w chodniku M-4 w pokł. 501/3 (regulacja przewietrzania na wlocie do prądu rejonowego) oraz po oddaniu do ruchu regulacyjnej tamy wentylacyjnej TW 679 (regulacja przewietrzania w rejonowym prądzie powietrza zużytego) wykazały bardzo istotne różnice w wielkości potencjału aerodynamicznego na skrzyżowaniu chodnika M-4 z pochylnią M-2, co zostało zobrazowane na schematach potencjalnych na rys. 6.14a i 6.14b. Wykonane pomiary udowodniły, że zastosowanie regulacji w chodniku M-4 w pokł. 501/3 powoduje bardzo istotne zwiększenie potencjału na skrzyżowaniu chodnika M-4 z pochylnią M-2 i przepływ gazów zrobowych z Ruchu Marcel, co stworzyło realne zagrożenie dla bezpieczeństwa zatrudnionej załogi w Ruchu Jankowice. Po zlikwidowaniu wyposażenia chodnika nadścianowego Z-1 w pokł. 502/1 wykonano korek izolacyjny w przedmiotowym wyrobisku. Przeprowadzane doświadczenia w zakresie regulacji przewietrzania poprzez otwieranie i zamykanie tam regulacyjnych w chodniku M-4 oraz TW 679 wykazywały, że ciśnienie na tamie izolacyjnej w chodniku nadścianowym Z-1 zmieniało się od +40 mm H₂O do -20 mm H₂O, co potwierdza tezę o wpływie zastosowanej regulacji przewietrzania na oddziaływanie depresyjne szybów wentylacyjnych na zroby wyrobisk, tamy izolacyjne, uskoki itp.

b) Monitoring regulacji przewietrzania, metodyka wykonywania obliczeń oraz moc prądu powietrza

Na podstawie pomiarów sieci wentylacyjnej kopalni, za pomocą programu VENTGRAF obliczono potencjały aerodynamiczne w istotnych punktach fragmentu sieci wentylacyjnej kopalni w zakresie dotyczącym rejonu przedmiotowych wyrobisk w pokł. 501/3 i pokł. 502/1 z zastosowaniem regulacji przewietrzania w wlotowym i wylotowym prądzie powietrza. Schemat przestrzenny wraz z potencjałami w węzłach przedstawiono na rys. 6.14a i 6.14b. Jak wynika z uzyskanych wyników pomiarów i stosownych obliczeń w przypadku zastosowania regulacji przewietrzania w prądzie powietrza zużytego potencjał aerodynamiczny oddziałujący na likwidowany chodnik nadścianowy Z-1 w pokł. 502/1 oraz zroby ściany C-4 w pokł. 503 Ruchu Marcel jest dużo niższy, niż w przypadku zastosowania klasycznej regulacji przewietrzania.

Dla wyznaczenia schematu potencjalnego wyznaczono dodatkowy punkt pomiarowy (334a), który znajdował się w Pochylińi wentylacyjnej w pokł. 502/1 ok. 50 m od tamy regulacyjnej TW 679.

Przy typowej regulacji przewietrzania, tj. we wlotowym prądzie powietrza świeżego obliczony potencjał aerodynamiczny na skrzyżowaniu chodnika M-4 w pokł. 501/3 z pochylnią M-2 w pokł. 501/3 (węzeł 305) wynosił ok. 1210 J/m³ (rys. 6.14b), a w przypadku zastosowania regulacji przewietrzania w rejonowym prądzie powietrza zużytego potencjał ten wynosił ok. 680 J/m³ (rys. 6.14a), a więc o około 530 J/m³ mniej.

Moc prądu powietrza przewietrzającego prąd rejonowy $N_{302-334}$, obliczona zgodnie ze wzorem (5.12), wynosiła

$$N_{302-334} = 710 \text{ [Pa]} \times 16,67 \text{ [m}^3\text{/s]} = 11\,835 \text{ W}$$

Oznacza to, że rejonowy prąd powietrza między węzłami 302 i 334 należy uznać jako prąd bardzo mocny. Istniała zatem konieczność skutecznego śluzowania, aby nie dopuścić do znaczących ucieczek powietrza oraz do „krótkiego spięcia wentylacyjnego”.

Moc prądu powietrza w przypadku zastosowania regulacji przewietrzania w rejonowym prądzie powietrza zużytego – liczona jako różnica potencjałów między węzłami 302 i 334a – wynosi:

$$N_{302-334a} = 200 \text{ [Pa]} \times 16,67 \text{ [m}^3\text{/s]} = 3\,334 \text{ W}$$

Wartość ta wskazuje, że jest to prąd mocny, ale ze względu na zastosowanie regulacji przewietrzania za pomocą pojedynczej tamy regulacyjnej wyposażonej w tunel przejściowy dla załogi w rejonowym prądzie powietrza zużytego, w którym nie ma zabudowanych żadnych środków transportowych, a ruch załogi jest ograniczony, zapewnia stabilne przewietrzanie całego rejonu. Nie występowały gwałtowne wzrosty lub spadki ilości powietrza, czy też wzmożonego, chwilowego wypływu gazów ze zrobów.

Dla kontroli stabilności przewietrzania rejonu oraz skuteczności prowadzonej regulacji przewietrzania tama regulacyjna wyposażona jest w czujniki stanu otwarcia z sygnalizacją u dyspozytora, a rejon wyposażony jest m.in. w czujniki CO-metrii automatycznej. Ponadto

rejon poddany jest zwiększonej kontroli służb wentylacyjnych kopalni, m.in. poprzez codzienną kontrolę stanu tam i okien regulacyjnych przez metaniarza.

c) Konkluzja

W omawianym przykładzie, zastosowanie regulacji przewietrzania w prądzie powietrza zużytego, w którym nie ma zabudowanego przenośnika taśmowego oraz innych środków transportowych, zapewnia stabilne przewietrzanie całego rejonu, a jednocześnie zdecydowanie wpływało na poprawę bezpieczeństwa załogi zatrudnionej przy likwidacji wyposażenia chodnika nadścianowego Z-1 w pokł. 502/1 poprzez zmianę kierunku przepływu gazów zrobowych między Ruchem Jankowice i Ruchem Marcel.

Bez zastosowania jakiejkolwiek regulacji przewietrzania, ze względu na znaczną różnicę potencjałów aerodynamicznych między węzłem wlotowym i wylotowym (ok. 700 J/m^3), płynąca ilość powietrza byłaby znaczna i stanowiłaby bardzo istotne straty w sieci wentylacyjnej.

Zastosowanie regulacji przewietrzania w prądzie powietrza zużytego wpłynęło na zmianę kierunku tendencji przepływu gazów zrobowych między Ruchem Marcel i Ruchem Jankowice, co znalazło potwierdzenie również po wykonaniu tamy izolacyjnej (zmiana nadciśnienia/podciśnienia na tamie w zależności od zastosowania regulacji przewietrzania).

Dla skutecznego i bezpiecznego stosowania przedmiotowej regulacji przewietrzania niezbędnym jest przeprowadzanie systematycznych i rzetelnych kontroli, a w szczególności:

- sprawności czujników stanu otwarcia z sygnalizacją u dyspozytora gazometrii,
- zapisów czujników CO-metrii automatycznej w systemie ZEFIR i u dyspozytora gazometrii,
- stanu otoczenia tam regulacyjnych dla wykrycia ewentualnych objawów pożaru endogenicznego.

Powyższa regulacja przewietrzania prowadzona jest na niezmiennych warunkach od dnia 03.06.2019 r. do dnia dzisiejszego.

6.2.3. Ściany w partii M w pokładach 505 i 506

Głównym celem zastosowania regulacji przewietrzania z zastosowaniem TB 608a było [68]:

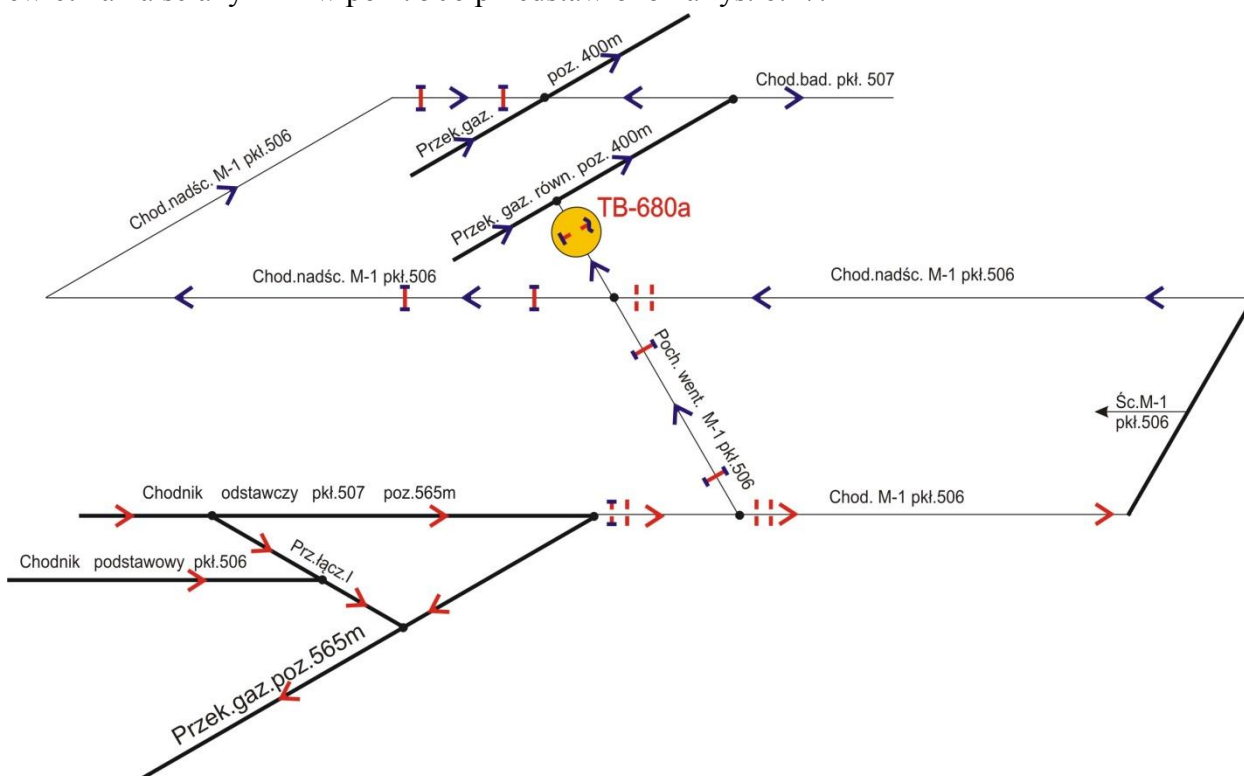
- zmniejszenie oddziaływania depresyjnego szybu nr 3 (praca dwóch wentylatorów WPK 3.3 przy ustalonym podciśnieniu w kanale 320-360 mm H_2O) na:
 - zroby eksploatowanej i likwidowanej ściany M-2 w pokł. 505 oraz M-1 i M-3 w pokł. 506 w aspekcie wysokiego zagrożenia pożarem endogenicznym,
 - zroby otamowanej ściany M-1 w pokł. 506,
 - strefy uskokowe zlokalizowane w wyrobiskach w pokł. 505 i 506, tj. pokładach o wysokiej skłonności do samozapalenia,
- zabezpieczenie przed „krótkim spięciem wentylacyjnym” między poziomem 565 m (grupowy prąd powietrza świeżego), a poziomem 400 m (grupowy prąd powietrza zużytego),

- zapewnienie stabilnego przewietrzania rejonu ściany M-2 w pokł. 505 oraz ścian M-1, M-2 i M-3 w pokł. 506 w trakcie zabudowy, eksploatacji oraz wybudowy z zachowaniem wymaganych jakościowych i ilościowych stosunków powietrza,
- odstąpienie od zabudowy słuz wentylacyjnych we wlotowym rejonowym prądzie powietrza na trasie prowadzonego transportu i odstawy.

a) Charakterystyka rejonu ścian M-2 w pokł. 505 oraz M-1, M-2 i M-3 w pokł. 506

Dla umożliwienia rozcinki i udostępnienia ścian w partii M w pokł. 505 i 506 w pierwszym etapie wykonano pochylnię wentylacyjną M-1a w pokł. 506, jako wyrobisko stanowiące połączenie między poziomem 565 m (świeży prąd powietrza), a poziomem 400 m (zużyty prąd powietrza).

Ściana M-1 w pokł. 506 znajdowała się w piętrze 565-400 m, natomiast ściany M-2 i M-3 w pokł. 506 oraz ściana M-2 w pokł. 505 usytuowane były w piętrze 650-565 m. Powietrze odprowadzane było pochylnią wentylacyjną M-1 w pokł. 506 do przekopu gazowego równoległego poz. 400 m, gdzie potencjał izentropowy wynosił ok. 1700 J/m^3 . W trakcie eksploatacji przedmiotowych ścian w stacji wentylatorów głównego przewietrzania przy szybie wentylacyjnym nr 3 w pracy utrzymywane były dwa wentylatory WPK 3.3 (praca równoległa wentylatorów), a wartość podciśnienia statycznego w kanale wynosiła 320-360 mm H_2O . Taki stan utrzymywany był do 14.11.2017 r. kiedy wyłączono jeden wentylator na szybie 3 i ustalono wartość podciśnienia statycznego w kanale 160-200 mm H_2O . Schemat przestrzenny przewietrzania ściany M-1 w pokł. 506 przedstawiono na rys. 6.17.



Rys. 6.17. Schemat przewietrzania ściany M-1 w pokł. 506 (opracowanie własne)

Pokład 505 i 506 zaliczony jest do IV grupy samozapalności, w związku z powyższym w trakcie eksploatacji przedmiotowych ścian należało podjąć szczególne środki dla ograniczenia pożarem endogenicznym.

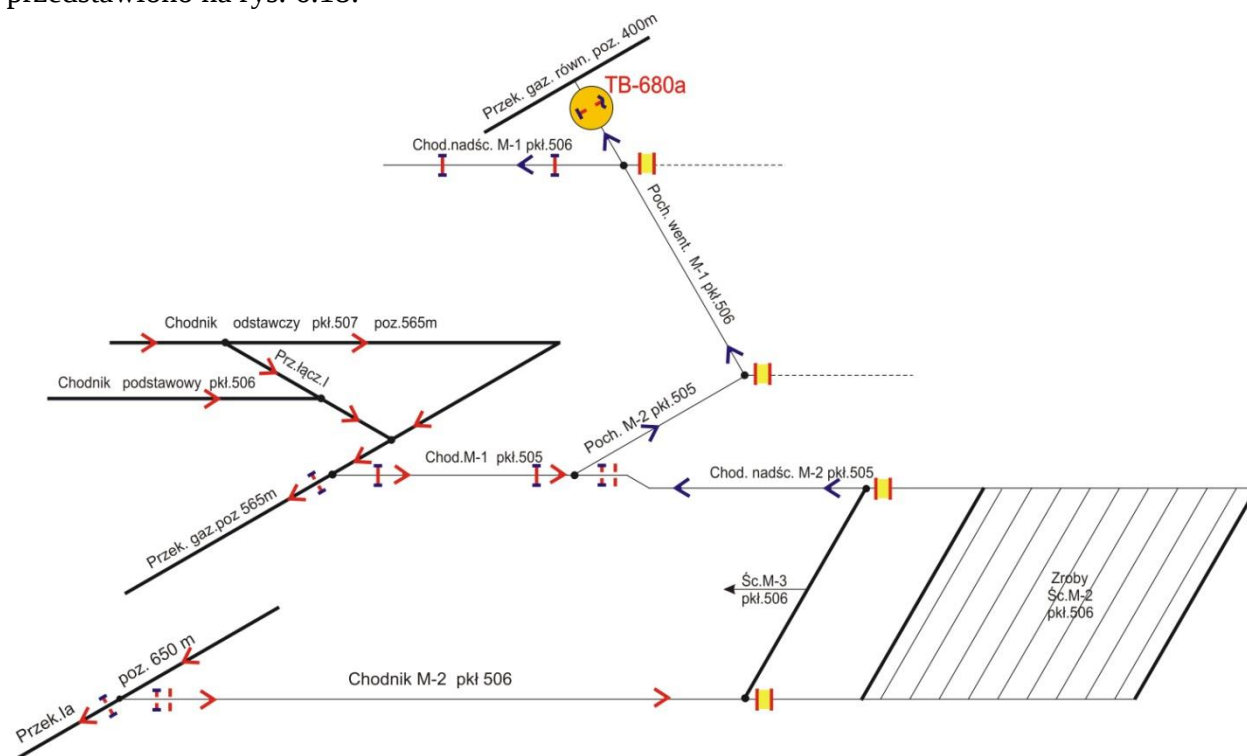
Ściana M-1 w pokł. 506 zaliczona była do IV grupy samozapalności, a ze względu na niewielką prognozowaną metanowość (poniżej $5 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{min}$) przyjęto, że przez ścianę płynąć będzie ok. $1000 \text{ m}^3/\text{min}$ powietrza.

Ze względu na uskok występujący na wybiegu ściany M-2 w pokł. 506, na etapie rozcinki podjęto decyzję skróceniu wybiegu ściany M-2 i wykonaniu dowerzchni ściany M-3. Po otamowaniu ściany M-2 dalszy bieg prowadzony był ścianą M-3 w pokł. 506.

Ze względów technologicznych istniała konieczność utrzymywania chodnika nadścianowego M-1 w pokł. 506 na odcinku od pochylni M-1 do przekopu gazowego poz. 400 m. W wyrobisku tym nie ma środków transportowych, ruch załogi jest ograniczony (metaniarz i służby wentylacyjne), przez co jest ono skutecznie śluzowane.

Ściany M-2 i M-3 w pokł. 506 zaliczone były do IV grupy samozapalności, prognozowana metanowość wynosiła poniżej $5 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{min}$, jednak ze względu na głębokość zalegania, dla utrzymania normalnych parametrów przewietrzania przyjęto, że przez ścianę płynąć będzie ok. $1300 \text{ m}^3/\text{min}$ powietrza.

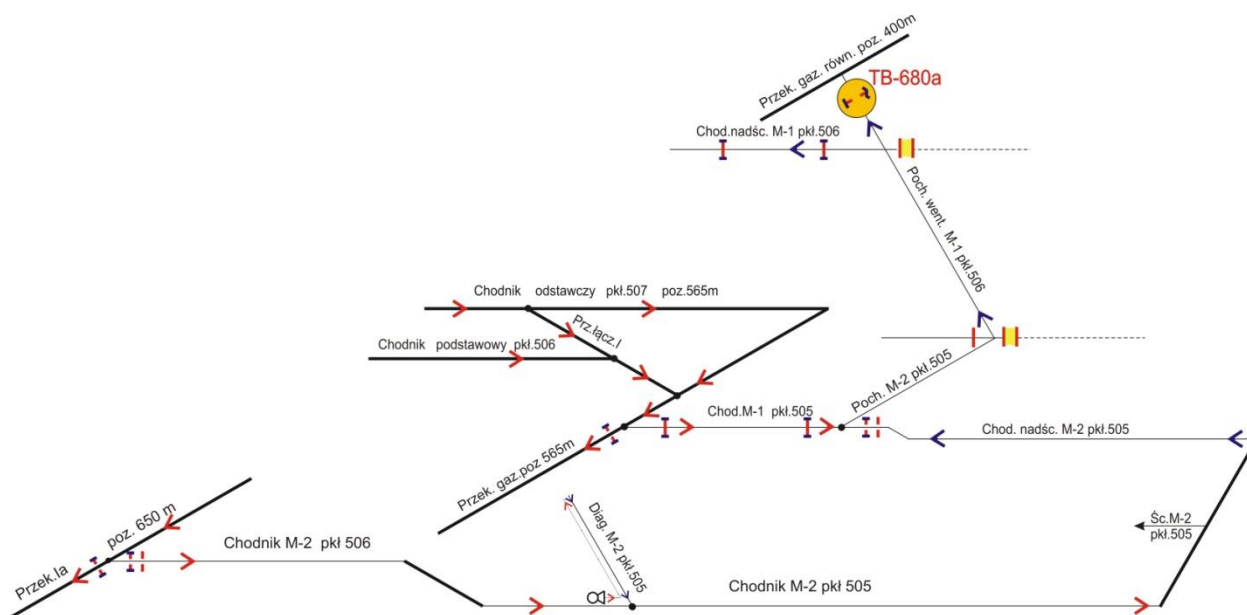
Jak już podano wcześniej, ze względu na uskok, występujący na wybiegu ściany M-2 w pokł. 506, na etapie rozcinki podjęto decyzję skróceniu wybiegu ściany M-2 i wykonaniu dowerzchni ściany M-3. Po otamowaniu ściany M-2 dalsza eksploatacja pokładu 506 prowadzona była ścianą M-3. Schemat przestrzenny przewietrzania ścian M-2 i M-3 w pokł. 506 przedstawiono na rys. 6.18.



Rys. 6.18. Schemat przewietrzania ścian M-2 i M-3 w pokł. 506 (opracowanie własne)

Dla odprowadzenia powietrza ze ściany M-2 w pokł. 505 do pochylni wentylacyjnej M-1 w pokł. 506 wykonano przekop i pochylnię M-2 w pokł. 505. W ten sposób uzyskaną krótką

drogę wentylacyjną do szybu wentylacyjnego nr 3. Schemat przestrzenny przewietrzania ściany M-2 w pokł. 505 przedstawiono na rys. 6.19.



Rys. 6.19. Schemat przewietrzania ściany M-2 w pokł. 505 (opracowanie własne)

Duża różnica potencjałów między poziomem 565 m i 400 m spowodowała, że niezwłocznie po wykonaniu pochylni wentylacyjnej M-1a w pokł. 506, dla niedopuszczenia do krótkiego, niekontrolowanego spięcia wentylacyjnego należało wykonać skuteczną regulację przewietrzania. Ze względu na zabudowaną trasę odstawy i transportu od poziomu 565 m oraz mając na uwadze wysoką różnicę potencjałów między poziomem 400 i 565 m podjęto decyzję o utrzymaniu w ruchu tamy regulacyjnej TB 680a w pochylni M-1a w pokł. 506. Przyjęty sposób udostępnienia i rozcięcia ścian w partii M w pokładach 505 i 506 spowodował, że pochylnia wentylacyjna M-1 w pokł. 506 stanowiła drogę odprowadzenia powietrza na poziom wentylacyjny 400 m z przedmiotowych ścian, a zastosowana regulacja przewietrzania bez zmiany lokalizacji i sposobu wykonania wykorzystana została dla potrzeb przewietrzania kolejnych ścian.

W miejscu zabudowy tamy regulacyjnej TB 680a nie ma żadnych środków transportowych, a ruch załogi jest ograniczony (metaniarz, służby wentylacyjne). Ze względu na bardzo duży napór koniecznym było wykonanie tuneli przejściowych dla załogi z zastosowaniem okienek depresyjnych w drzwiach przejściowych. W czole tamy wykonano okna regulacyjne.

Ze względu na zabudowę tamy regulacyjnej TB 680a w wyrobisku węglowym przy jednoczesnej bardzo dużej stracie naporu na tamę koniecznym było wykonanie uszczelnienia z torkretu w otoczeniu tamy. Jednocześnie za pomocą kamery termowizyjnej prowadzone są okresowe pomiary w otoczeniu tamy dla szybkiego wykrycia objawów pożaru szczelinowego.

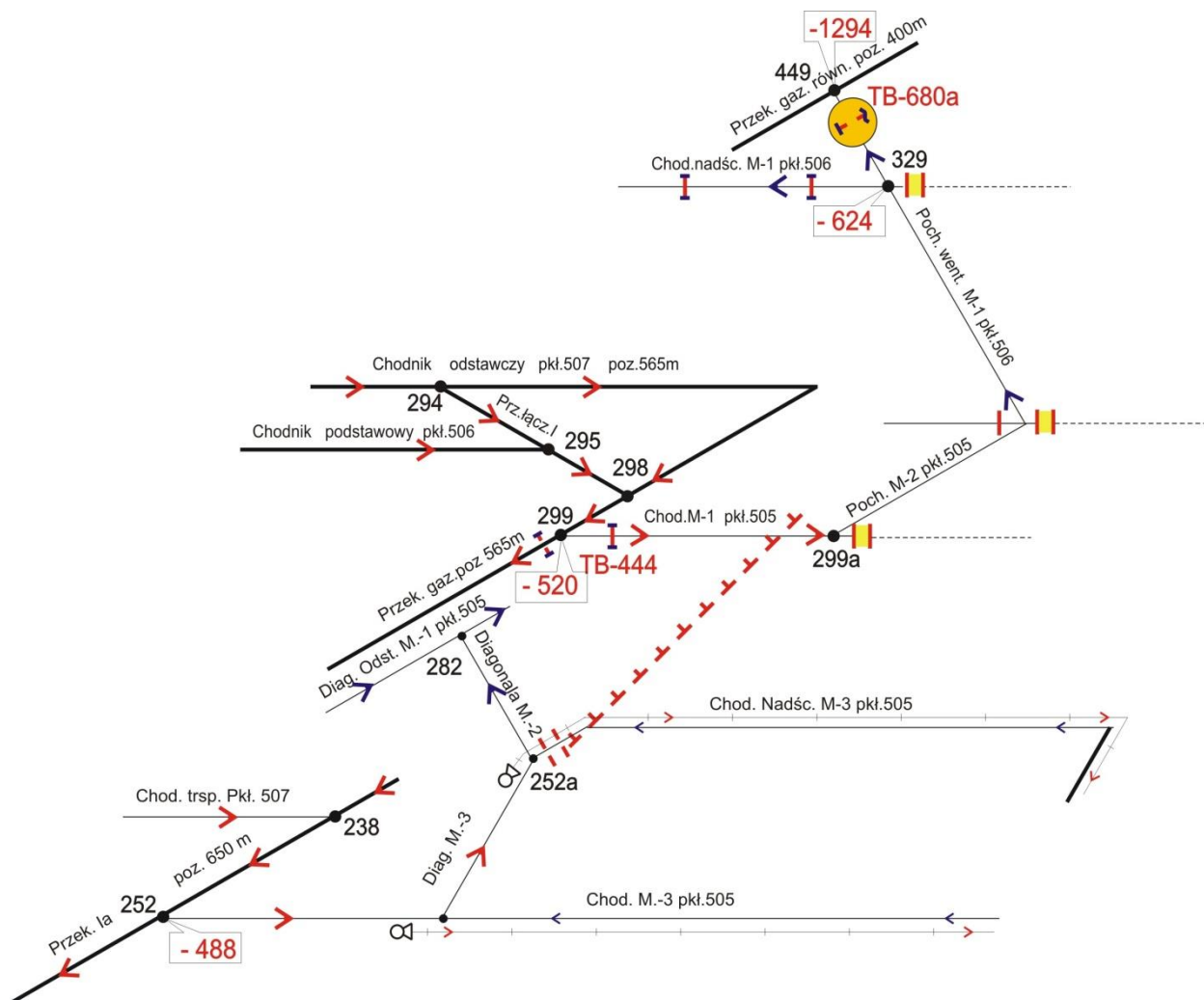
b) Monitoring regulacji przewietrzania oraz metodyka wykonywania obliczeń

Dla bieżącego monitoringu stanu zagrożenia pożarowego w rejonie zabudowane były czujniki CO oraz czujniki prędkości powietrza w chodniku podścianowym i nadścianowym dla poszczególnych ścian. Dla określenia straty naporu oraz potencjałów w rejonie okresowo

wykonywane były pomiary dla określenia potencjałów w węzłach. Pomiary te wykazały, że różnica potencjałów przed i za tamą regulacyjną wynosiła ok. 750 J/m^3 , tak więc była bardzo duża. Zastosowanie klasycznej regulacji przewietrzania na wlocie do rejonu spowodowałaby bardzo duże oddziaływanie szybu wentylacyjnego nr 3 na zroby ścian w pokładach 505 i 506 w trakcie zbrojenia, eksploatacji oraz likwidacji.

Po wyeksploatowaniu ścian w pokładzie 505 i 506 w piętrze 650–400 m, ze względu na bardzo dużą różnicę potencjałów i możliwość wystąpienia „krótkiego spięcia wentylacyjnego” między prądem powietrza świeżego i zużytego utrzymywano regulację przewietrzania za pomocą TW 680a. Jednocześnie dla ograniczenia przepływów zrowowych między Ruchem Marcel i Ruchem Jankowice wykonano dodatkową tamę wentylacyjną TB 444 w chodniku M-1 w pokł. 505, jako element służący wentylacyjnej.

Od przekopu Ia poz. 650 m prowadzono prace związane z rozcinką ściany M-3 w pokł. 505. Oczko wentylacyjne zostało uzyskane po wykonaniu chodnika M-3 w pokł. 505 oraz diagonali M-3 w pokł. 505 i przebicciu do diagonali M-2 w pokł. 505. Dalej powietrze odprowadzane było do szybu wentylacyjnego nr 3 poprzez wyrobiska w pokładzie 505.



Rys. 6.20. Schemat przewietrzania wyrobisk w pokładzie 505 po wyeksploatowaniu ścian z zaznaczeniem potencjałów w istotnych węzłach (opracowanie własne)

Po uzyskaniu opływowego prądu powietrza rozpoczęto prace związane z drażeniem chodników przyscianowych dla ściany M-3 w pokł. 505, tj. chodnika nadścianowego M-3 i chodnika M-3.

Chodnik nadścianowy M-3 przewietrzany był wentylacją kombinowaną wentylatorem lutniowym WL-SIGMA900/B oraz lutniami elastycznymi o średnicy 1000 mm. Planowana długość chodnika wynosiła ok. 740 m, a dowierzchni M-3 – ok. 210 m.

Chodnik nadścianowy M-3 w pokł. 505 na odcinku ok. 20 m od diagonali M-3 drażony był w strefie uskokowej, przez co występowały trudności z utrzymaniem stropu oraz lokalne opady stropu. W tych miejscach wykonywano kaszty w stropie, zabudowano kontrolne rury pomiarowe, a pustki wypełniano środkami i spoiwami chemicznymi.

Dla bieżącej kontroli stanu zagrożenia pożarem endogenicznym w chodniku nadścianowym M-3 w pokł. 505 na odcinku występującej strefy uskokowej :

- zabudowano czujnik CO-metrii automatycznej, zabudowany ok. 10-15 m od diagonali M-3,
- pobierano próby do wczesnego wykrywania pożarów endogenicznych, z częstotliwością min. 2 razy na tydzień (analiza chemiczna gazów).

Ze względu na podwyższony stan zagrożenia prowadzone były prace profilaktyczne polegające na uszczelnianiu stropu w miejscu występowania strefy uskokowej.

Po około 3 miesiącach od rozpoczęcia drażenia chodnika nadścianowego M-3 w pokł. 505 i przejechania kombajnem chodnikowym przez strefę uskokową w chodniku stwierdzono nieznaczny wzrost stężenia CO do 6 ppm na czujniku tlenku węgla zabudowanym w chodniku nadścianowym M-3 (ok. 3,9 l/min CO). Z kolei w strefie uskokowej, tj. w wykonanym w niej otworze kontrolnym OK-1, stwierdzono stężenie CO o maksymalnej wartości 180 ppm oraz temperaturę w stropie 43°C, przy temperaturze górotworu w tym miejscu wynoszącej $t_{pg}=27^{\circ}\text{C}$. Zakres prac profilaktycznych został rozszerzony m.in. o:

- wtłaczanie wody do otworów kontrolnych (schładzanie miejsca samozagrzewania),
- wykonywanie dodatkowych otworów do pustek nad obudową oraz wypełnianie pustek środkami mineralnymi i spoiwami szybkowiązującymi.

Jednocześnie przeprowadzono analizę sieci wentylacyjnej pod kątem możliwości i kierunku przepływu powietrza przez strefę uskokową w chodniku nadścianowym M-3. Analiza map wykazała, że przedmiotowa strefa uskokowa miała połączenie z chodnikiem M-1 w pokł. 505 od poz. 565 m, co także ilustruje rys. 6.20.

Przeprowadzona kontrola tam regulacyjnych w rejonie wykazała, że drzwi przejściowe w TB 680a ze względu na zanieczyszczenie urobkiem były niedomknięte. Jednocześnie tama TB 444 w chodniku M-1 (wyłącznie drzwi przejściowe bez żadnych środków transportowych zabudowanych w tamie) była bardzo szczelna. Taki układ z zamkniętymi drzwiami w TB 444 w chodniku M-1 oraz uchylonymi drzwiami w TB 680a w pochylni M-1 stanowił klasyczny przykład niepożądanych skutków regulacji we wlotowym prądzie powietrza rejonowego. Spowodowała ona zwiększone oddziaływanie depresji wentylatora głównego przewietrzania – pracującego przy szybie wentylacyjnym nr 3 – na strefę uskokową, która obejmowała również chodnik M-1 w pokł. 505 oraz chodnik nadścianowy M-3 w pokł. 505, przez co doszło do przepływu (migracji) powietrza przez tę strefę uskokową i powstania ogniska samozagrzewania.

Ponieważ taki stan trwał prawdopodobnie przez kilka dni wzrost zagrożenia pożarem endogenicznym był znaczący. Po stwierdzeniu powyższego faktu niezwłocznie:

- przywrócono właściwy stan TB 680a w pochylni M-1 w pokł. 505,
- otwarto TB 444 w chodniku M-1 w pokł. 505 w sposób trwały, poprzez zdjęcie drzwi przejściowych.

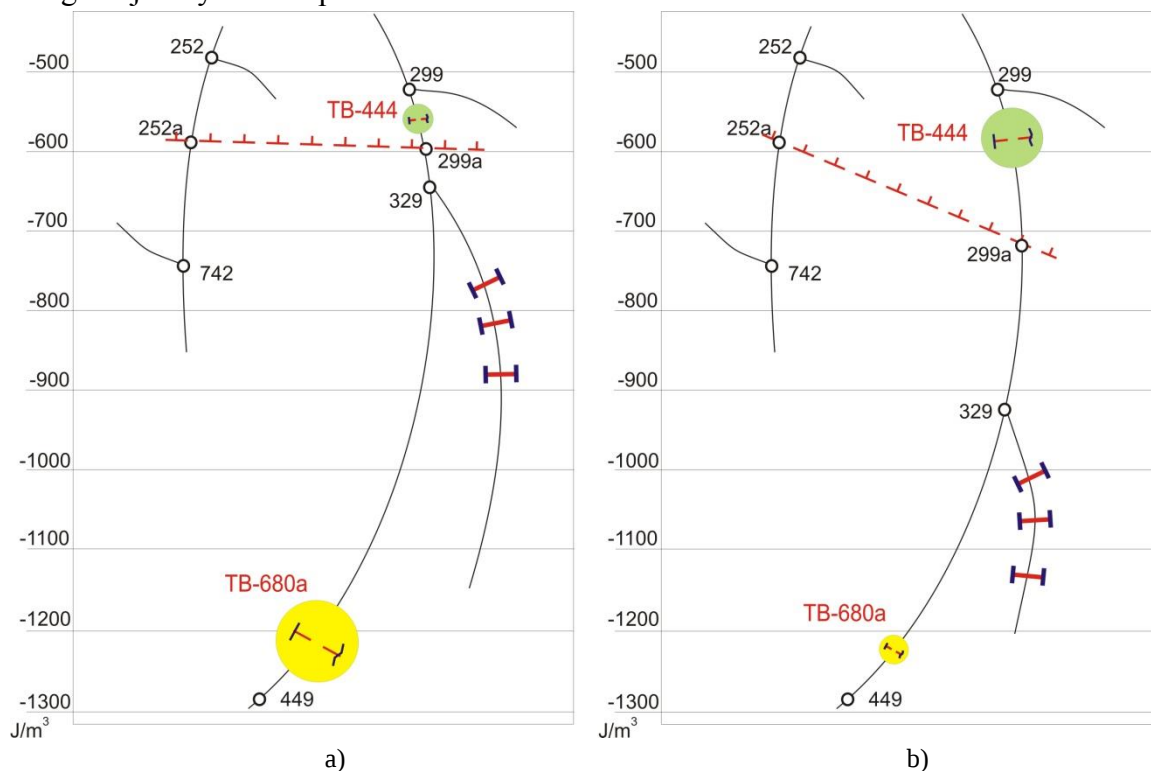
Prowadzone prace profilaktyczne oraz przywrócenie właściwego stanu przewietrzania spowodowały istotny spadek zagrożenia pożarem endogenicznym już po 4 dniach. Dzięki temu dokończono rozcinanie ściany M-3 w pokł. 505 bez konieczności wyłączenia z sieci wentylacyjnej całego rejonu.

Na podstawie pomiarów sieci wentylacyjnej kopalni, za pomocą programu VENTGRAF obliczono potencjały aerodynamiczne w istotnych punktach fragmentu sieci wentylacyjnej kopalni w zakresie dotyczącym omawianych wyrobisk w pokładach 505 i 506.

Dla wyznaczenia schematu potencjalnego (rys. 6.21a i 6.21b) wyznaczono dodatkowe węzły:

- 252a, który znajdował się na skrzyżowaniu diagonali M-2 w pokł. 505 z chodnikiem nadścianowym M-3 w pokł. 505,
- 299a, który znajdował się na skrzyżowaniu chodnika M-1 w pokł. 505 pochylnią M-2 w pokł. 505.

Powyższe węzły umożliwiły określenie wpływu TW 680a zabudowanej w pochylni wentylacyjnej M-1 w pokł. 506 oraz TB 444 zabudowanej w Chodniku M-1 w pokł. 505 na strefę uskokową (zaburzenie geologiczne), co spowodowało wzrost zagrożenia pożarem endogenicznym w chodniku nadścianowym M-3 w pokł. 505. Schemat przestrzenny wraz z potencjałami w wyznaczonych węzłach przedstawiono na rys. 6.21a i 6.21b, a poprzez wielkość symboli tam TB 444 i TB 680a (średnice kolorowych kół) pokazano wpływ poszczególnej tamy na stan przewietrzania.



Rys. 6.21. Schemat potencjalny rejonu: a) właściwy stan przewietrzania;
b) niewłaściwy stan przewietrzania z uchylonymi drzwiami w TB 680a (opracowanie własne)

Przy właściwym układzie przewietrzania, tj. przy zamkniętej tamie wentylacyjnej TB 680a oraz przy utrzymywaniu przepływu powietrza płynącego w Chodniku M-1 w pokł. 505 w ilości ok. 350 m³/min, wartość potencjału aerodynamicznego w węźle 299a wynosiła ok. 600 J/m³ i była to wartość zbliżona do wartości potencjału w węźle 252a (rys. 6.21a).

Przy niewłaściwym układzie przewietrzania, tj. przy uchylonych drzwiach w tamie wentylacyjnej TB 680a i szczelnie zamkniętych drzwiach w tamie wentylacyjnej TB 444 wartość potencjału aerodynamicznego w węźle 299a była zdecydowanie wyższa od wartości potencjału w węźle 252a, co powodowało przepływ powietrza przez strefę uskokową i wzrost zagrożenia pożarowego. Różnica ta wynosiła około 150 J/m³ (rys. 6.21b). Przy czym o tym, jak istotny wpływ miała szczelność tam wentylacyjnych TB 444 i TB 680a świadczy fakt, że po otwarciu drzwi przejściowych w tamie TB 444 ilość powietrza w chodniku M-1 w pokł. 505 wzrosła z 350 m³/min do 1400 m³/min.

Moc omawianego prądu rejonowego powietrza, obliczona zgodnie ze wzorem (5.12), wynosiła:

$$N_{f299-449} = 806 \text{ [Pa]} \times 5,83 \text{ [m}^3/\text{s]} = 4\,700 \text{ W},$$

co oznacza, że prąd ten jest prądem bardzo mocnym. To z kolei świadczy o konieczności zastosowania skutecznego sposobu przeciwdziałania zwiększonemu oddziaływaniu depresji wentylatora głównego przewietrzania na strefę uskokową, a w rezultacie – przeciwdziałania wzrostowi zagrożenia pożarem endogenicznym.

Moc prądu powietrza w przypadku zastosowania regulacji przewietrzania w rejonowym prądzie powietrza zużytego, liczona jako różnica potencjałów między węzłami 299 i 329, wynosi

$$N_{f229-329} = 104 \text{ [Pa]} \times 5,83 \text{ [m}^3/\text{s]} = 606 \text{ W},$$

co oznacza, że jest to prąd o mocy średniej (średni). Bardzo mocno obniżona wartość mocy prądu świadczy o skuteczności zastosowanego rozwiązania. Zastosowanie regulacji przewietrzania za pomocą pojedynczej tamy regulacyjnej – wyposażonej w tunel przejściowy dla załogi w rejonowym prądzie powietrza zużytego, w którym nie ma zabudowanych żadnych środków transportowych, a ruch załogi jest ograniczony – zapewnia stabilne przewietrzanie całego rejonu. Po zastosowaniu takiej regulacji nie obserwowano gwałtownych wzrostów lub spadków ilości powietrza, czy też wzmożonego oddziaływania depresji szybu wentylacyjnego na tamy izolacyjne znajdujące się w wyrobisku.

Dla kontroli stabilności przewietrzania rejonu oraz skuteczności prowadzonej regulacji przewietrzania tama regulacyjna wyposażona została w czujniki stanu otwarcia z sygnalizacją u dyspozytora ruchu, a rejon wyposażony został m.in. w dodatkowe czujniki CO-metrii automatycznej. Ponadto rejon poddano zwiększonej kontroli służb wentylacyjnych kopalni, m.in. poprzez codzienną kontrolę stanu tam i okien regulacyjnych w tamach wentylacyjnych.

c) *Konkluzja*

W omawianym przykładzie, zastosowanie regulacji przewietrzania w prądzie powietrza zużytego zapewniło stabilne i niezmiennie przewietrzanie ścian w partii M w pokładach 505

i 506, które charakteryzowały się wysokim poziomem zagrożenia pożarem endogenicznym (III i IV grupa samozapalności) oraz bardzo bliską odległością od szybu wentylacyjnego nr 3.

Zastosowana regulacja przewietrzania – już od wczesnego etapu rozcinki ścian w partii M w pokładach 505 i 506 – zapewniła:

- stabilne przewietrzanie w czasie całego okresu zbrojenia, eksploatacji i likwidacji tych ścian,
- zmniejszone oddziaływanie depresji wentylatora głównego przewietrzania (zabudowanego przy szybie wentylacyjnym) na zroby eksploatowanych i likwidowanych ścian.

Dodać należy, że taka lokalizacja tamy regulacyjnej – w rejonowym prądzie powietrza wylotowego:

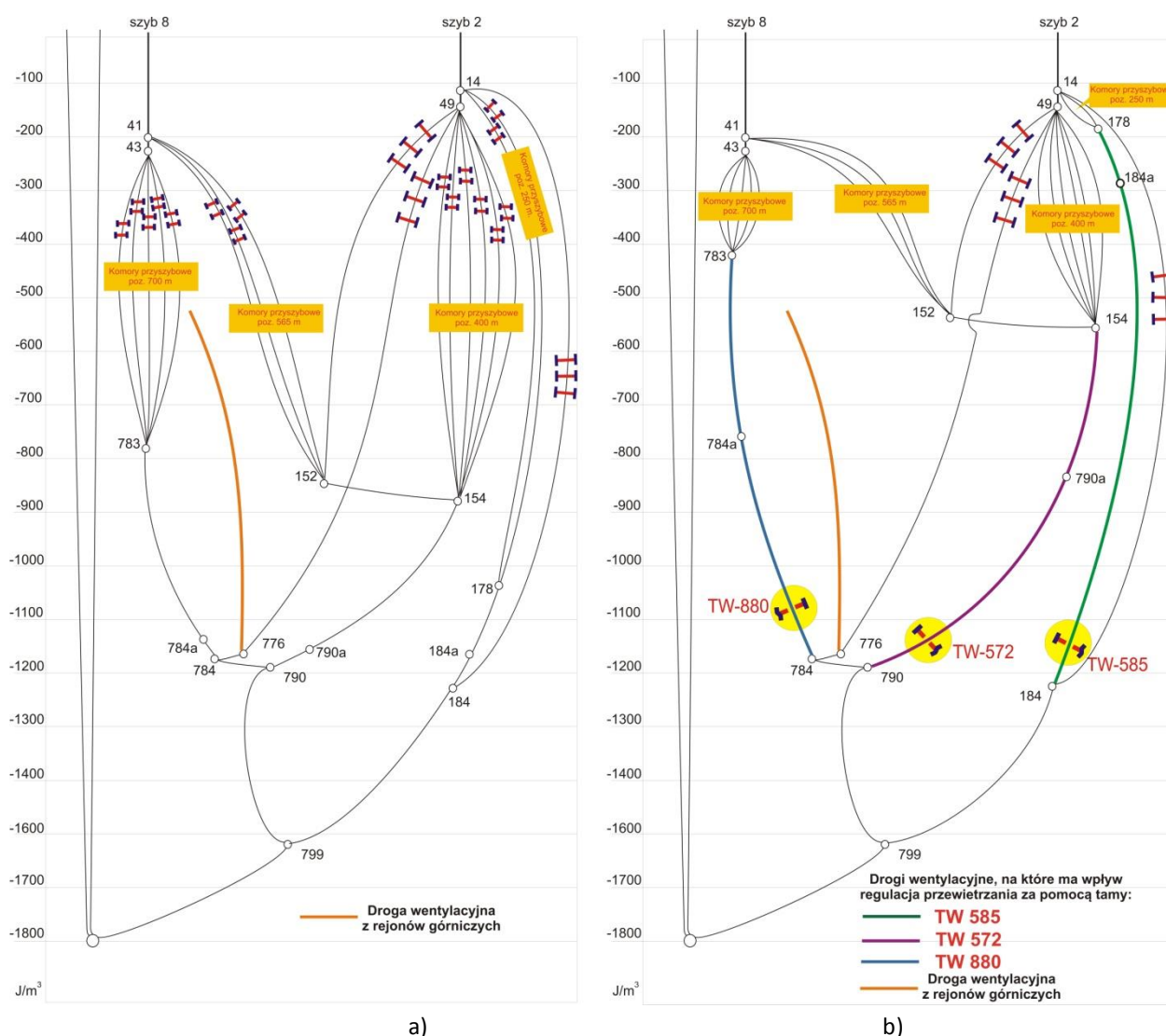
- nie miała żadnego wpływu na ograniczenia w ruchu załogi lub prowadzonego transportu,
- zabezpieczała rejon przed skutkami „krótkiego spięcia wentylacyjnego” mającego istotny wpływ na pozostałe wyrobiska sieci wentylacyjnej kopalni.

Strata naporu na tamie regulacyjnej spowodowała konieczność wykonania tunelu przejściowego dla załogi z drzwiami przejściowymi wyposażonymi w okienka depresyjne.

Dla skutecznego i bezpiecznego stosowania przedmiotowej regulacji przewietrzania niezbędnym jest przeprowadzanie systematycznych i rzetelnych kontroli w szczególności:

- sprawności czujników stanu otwarcia z sygnalizacją u dyspozytora gazometrii,
- zapisów czujników CO-metrii automatycznej w systemie ZEFIR i u dyspozytora gazometrii,
- kontroli otoczenia tam regulacyjnych – dla szybkiego wykrycia ewentualnych objawów pożaru szczelinowego.
- bieżącej kontroli ilości powietrza w rejonie.

Opisana regulacja przewietrzania prowadzona jest na niezmiennych warunkach w okresie od 10.02.2006 r. i w zdecydowany sposób przyczyniła się do bezpiecznej eksploatacji i wybudowy ścian M-2 w pokł. 505 oraz ścian M-1, M-2 i M-3 w pokł. 506 prowadzonych w warunkach zagrożenia pożarem endogenicznym. Zmiana ilości powietrza płynącego w Pochylni wentylacyjnej M-1a w pokł. 506 realizowana była zmienianą wielkością czynnego otworu regulacyjnego w czole tamy.



Rys. 7.2. Schematy potencjalne podsięci szyb nr 4 w przypadku zastosowania regulacji przewietrzania za pomocą tam regulacyjnych zabudowanych: a) we wlotowych prądach powietrza świeżego; b) w grupowym prądzie powietrza zużytego (opracowanie własne)

Ze schematu przewietrzania (rys. 7.1) oraz schematu potencjalnego (rys. 7.2.a oraz 7.2.b) wynika, że:

a) „klasyczny”, zgodny z przepisami sposób regulacji sieci wentylacyjnej wymusiłby zabudowę 16 śluz wentylacyjnych na wlotach do poszczególnych komór przyszybowych, niejednokrotnie na trasie przewozu dołowego.

Badania skutków takiego sposobu przewietrzania pokazują, że różnice potencjałów ($\Delta\Phi$) wynosiłyby:

- pomiędzy wlotowym prądem powietrza do komór przyszybowych szybu nr 2 na poziomie 250 m (węzeł 14), a wylotowym prądem powietrza z tych komór (węzeł 178) – $\Delta\Phi_{14-178} = 930 \text{ J/m}^3$,
- pomiędzy wlotowym prądem powietrza do komór przyszybowych szybu nr 2 na poziomie 400 m (węzeł 49), a wylotowym prądem powietrza z tych komór (węzeł 154) – $\Delta\Phi_{49-154} = 740 \text{ J/m}^3$,

- pomiędzy wlotowym prądem powietrza do komór przyszybowych szybu nr 8 na poziomie 565 m (węzeł 41), a wylotowym prądem powietrza z tych komór (węzeł 152) – $\Delta\Phi_{41-152} = 645 \text{ J/m}^3$,
- pomiędzy wlotowym prądem powietrza do komór przyszybowych szybu nr 8 na poziomie 700 m (węzeł 43), a wylotowym prądem powietrza z tych komór (węzeł 783) – $\Delta\Phi_{43-783} = 550 \text{ J/m}^3$.

Moce tych prądów powietrza obliczone zgodnie ze wzorem (5.12) wynosiłyby:

- dla komór przyszybowych szybu nr 2 zlokalizowanych na poziomie 250 m,

$$N_{f14-178} = 930 \text{ [Pa]} \times 13,00 \text{ [m}^3/\text{s]} = 12\,090 \text{ W},$$
 co oznacza, że jest to prąd bardzo mocny,
- dla komór przyszybowych szybu nr 2, 7 i 8 zlokalizowanych na poziomie 400 m,

$$N_{f49-154} = 740 \text{ [Pa]} \times 20,00 \text{ [m}^3/\text{s]} = 14\,800 \text{ W},$$
 co oznacza, że jest to prąd bardzo mocny,
- dla komór przyszybowych szybu nr 8 zlokalizowanych na poziomie 565 m,

$$N_{f41-152} = 645 \text{ [Pa]} \times 7,17 \text{ [m}^3/\text{s]} = 4\,625 \text{ W},$$
 co oznacza, że jest to prąd mocny,
- dla komór przyszybowych szybu nr 8, zlokalizowanych na poziomie 700 m,

$$N_{f43-783} = 550 \text{ [Pa]} \times 14,00 \text{ [m}^3/\text{s]} = 7\,700 \text{ W},$$
 co oznacza, że jest to prąd bardzo mocny.

Ze względu na zaliczenie wszystkich przedmiotowych komór do pomieszczeń niezagrożonych wybuchem metanu ze stopniem „a” niebezpieczeństwa wybuchu metanu oraz stosunkowo niewielką głębokość zalegania parametr Δp_0 (standardowe spiętrzenie wentylatora) można przyjąć równe 785 [Pa]. Wówczas stabilność prądu powietrza obliczona zgodnie ze wzorem (5.11) wynosi:

- dla komór przyszybowych szybu nr 2 zlokalizowanych na poziomie 250 m:

$$H_{a14-178} = \frac{1800+0}{785} \cdot \frac{930}{2(1800+0)-930} = 0,80$$
 co oznacza, że jest to prąd stabilny,
- dla komór przyszybowych szybu nr 2, 7 i 8 zlokalizowanych na poziomie 400 m:

$$H_{a49-154} = \frac{1800-0,57}{785} \cdot \frac{740}{2(1800-0,57)-740} = 0,59$$
 co oznacza, że jest to prąd stabilny,
- dla komór przyszybowych szybu nr 8 zlokalizowanych na poziomie 565 m:

$$H_{a41-152} = \frac{1800-1,08}{785} \cdot \frac{645}{2(1800-1,08)-645} = 0,50$$
 co oznacza, że jest to prąd stabilny,
- dla komór przyszybowych szybu nr 8, zlokalizowanych na poziomie 700 m:

$$H_{a43-783} = \frac{1800-1,78}{785} \cdot \frac{550}{2(1800-1,78)-550} = 0,41$$
 co oznacza, że jest to prąd bardzo stabilny.

Wszystkie te prądy powietrza są prądami stabilnymi. Bardzo wysoka, a w jednym przypadku wysoka, moc prądów świadczy o konieczności zastosowania skutecznej

i stabilnej regulacji przewietrzania, szczególnie w aspekcie konieczności ograniczenia ilości powietrza płynącego przez te komory przyszybowe.

- b) W przypadku zastosowania regulacji w grupowym prądzie powietrza zużytego wystarczą 3 tamy regulacyjne zabudowane w wyrobiskach o ograniczonym ruchu załogi, w których nie ma zabudowanych żadnych środków transportowych.

W przypadku zastosowania regulacji w grupowym prądzie powietrza zużytego różnice potencjałów ($\Delta\Phi$) wynoszą:

- pomiędzy wlotowym prądem powietrza do komór przyszybowych szybu nr 2 na poziomie 250 m (węzeł 14), a wylotowym prądem powietrza z tych komór (węzeł 178) – $\Delta\Phi_{14-178} = 70 \text{ J/m}^3$,
- pomiędzy wlotowym prądem powietrza do komór przyszybowych szybu nr 2 na poziomie 400 m (węzeł 49), a wylotowym prądem powietrza z tych komór (węzeł 154) – $\Delta\Phi_{49-154} = 410 \text{ J/m}^3$,
- pomiędzy wlotowym prądem powietrza do komór przyszybowych szybu nr 8 na poziomie 565 m (węzeł 41), a wylotowym prądem powietrza z tych komór (węzeł 152) – $\Delta\Phi_{41-152} = 435 \text{ J/m}^3$,
- pomiędzy wlotowym prądem powietrza do komór przyszybowych szybu nr 8 na poziomie 700 m (węzeł 43), a wylotowym prądem powietrza z tych komór (węzeł 783) – $\Delta\Phi_{43-783} = 190 \text{ J/m}^3$.

Moce tych prądów powietrza wynoszą:

- dla komór przyszybowych szybu nr 2 zlokalizowanych na poziomie 250 m,

$$N_{f14-178} = 70 \text{ [Pa]} \times 13,00 \text{ [m}^3/\text{s]} = 910 \text{ W},$$
 co oznacza, że jest to prąd mocy średniej (średni),
- dla komór przyszybowych szybu nr 2, 7 i 8 zlokalizowanych na poziomie 400 m,

$$N_{f49-154} = 410 \text{ [Pa]} \times 20,00 \text{ [m}^3/\text{s]} = 8\,200 \text{ W},$$
 co oznacza, że jest to nadal prąd bardzo mocny,
- dla komór przyszybowych szybu nr 8 zlokalizowanych na poziomie 565 m,

$$N_{f41-152} = 435 \text{ [Pa]} \times 7,17 \text{ [m}^3/\text{s]} = 3\,120 \text{ W},$$
 co oznacza, że jest to nadal prąd mocny,
- dla komór przyszybowych szybu nr 8, zlokalizowanych na poziomie 700 m,

$$N_{f43-783} = 190 \text{ [Pa]} \times 14,00 \text{ [m}^3/\text{s]} = 2\,660 \text{ W},$$
 co oznacza, że jest to prąd mocny.

Stabilność prądu powietrza z uwzględnieniem parametru Δp_0 wynoszącym 785 [Pa] dla kopalń płytkich i słabo metanowych obliczona zgodnie ze wzorem (5.11) wynosi:

- dla komór przyszybowych szybu nr 2 zlokalizowanych na poziomie 250 m:

$$H_{a14-178} = \frac{1800+0}{785} \cdot \frac{70}{2(1800+0)-70} = 0,04$$

co oznacza, że zgodnie z kryterium Bystronia jest to prąd niestabilny.

- dla komór przyszybowych szybu nr 2, 7 i 8 zlokalizowanych na poziomie 400 m:

$$H_{a49-154} = \frac{1800-0,57}{785} \cdot \frac{410}{2(1800-0,57)-410} = 0,29$$

co oznacza, że jest to prąd stabilny,

- dla komór przyszybowych szybu nr 8 zlokalizowanych na poziomie 565 m:

$$H_{a41-152} = \frac{1800-1,08}{785} \cdot \frac{435}{2(1800-1,08)-435} = 0,31$$

co oznacza, że jest to prąd stabilny,

- dla komór przyszybowych szybu nr 8, zlokalizowanych na poziomie 700 m:

$$H_{a43-783} = \frac{1800-1,78}{785} \cdot \frac{190}{2(1800-1,78)-190} = 0,13$$

co oznacza, że stabilność tego prądu powietrza jest zadawalająca.

Gdyby jednak w przypadku komór przyszybowych na poziomie 250 m oraz na poziomie 880 m do obliczeń przyjąć dodatkowe punkty pomiarowe znajdujące się w bliskiej odległości od tamy regulacyjnej, zgodnie z opisem w rozdz. 5.3. i rys. 5.1. oraz 6.1.2. i rys. 6.4. wówczas zmianie ulegają wszystkie obliczone wyżej parametry.

Różnice potencjałów ($\Delta\Phi$) wynoszą:

- pomiędzy wlotowym prądem powietrza do komór przyszybowych szybu nr 2 na poziomie 250 m (węzeł 14), a dodatkowym punktem pomiarowym 184a, który znajdował się w Przekopie wznoszącym, ok. 50 m od skrzyżowania z Chodnikiem wentylacyjnym w pokładzie 506 pow. poz. 250 m – $\Delta\Phi_{14-184a} = 180 \text{ J/m}^3$,
- pomiędzy wlotowym prądem powietrza do komór przyszybowych szybu nr 8 na poziomie 700 m (węzeł 43), a dodatkowym punktem pomiarowym 784a, który znajdował się w Diagonali wentylacyjnej w pokł. 507, ok. 100 m od skrzyżowania z Przekopem wentylacyjnym I poz. 400 m – $\Delta\Phi_{43-784a} = 520 \text{ J/m}^3$.

Moce tych prądów powietrza wynoszą:

- dla komór przyszybowych szybu nr 2 zlokalizowanych na poziomie 250 m,
 $N_{f14-184a} = 180 \text{ [Pa]} \times 13,00 \text{ [m}^3/\text{s]} = 2\,340 \text{ W}$,
 co oznacza, że jest to prąd mocny,
- dla komór przyszybowych szybu nr 8, zlokalizowanych na poziomie 700 m,
 $N_{f43-784a} = 520 \text{ [Pa]} \times 14,00 \text{ [m}^3/\text{s]} = 7\,280 \text{ W}$,
 co oznacza, że jest to prąd bardzo mocny.

Stabilność prądu powietrza z uwzględnieniem parametru Δp_0 wynoszącym 785 [Pa] dla kopalń płytkich i słabo metanowych obliczona zgodnie ze wzorem (5.11) wynosi:

- dla komór przyszybowych szybu nr 2 zlokalizowanych na poziomie 250 m:

$$H_{a14-184a} = \frac{1800-0,27}{785} \cdot \frac{180}{2(1800-0,27)-180} = 0,12$$

co oznacza, że – zgodnie z kryterium Bystronia – stabilność tego prądu jest zadawalająca,

- dla komór przyszybowych szybu nr 8, zlokalizowanych na poziomie 700 m:

$$H_{a43-784a} = \frac{1800-0,26}{785} \cdot \frac{520}{2(1800-0,26)-520} = 0,39$$

co oznacza, że jest to prąd stabilny.

c) Konkluzja

Porównanie różnicy potencjałów, mocy poszczególnych prądów powietrza oraz wskaźników stabilności prądów przewietrzających grupy komór w zależności od zastosowanej regulacji przedstawiono w tab. 1.

Tabela 1. Zestawienie różnicy potencjałów aerodynamicznych, mocy prądów powietrza oraz wskaźnika stabilności prądu dla różnych sposobów regulacji przewietrzania komór przyszybowych

Grupa komór	Regulacja na wlocie			Regulacja na wylocie		
	Różnica potencjałów $\Delta\Phi$ [J/m ³]	Moc prądu N_f [W]	Stabilność prądu H_a	Różnica potencjałów $\Delta\Phi$ [J/m ³]	Moc prądu N_f [W]	Stabilność prądu H_a
poz. 250 m	930	12 090	0,80	70 180 ^(*)	910 2 340 ^(*)	0,04 0,12 ^(*)
poz. 400 m	740	14 800	0,59	410	8 200	0,29
poz. 565 m	645	4 625	0,50	435	3 120	0,31
poz. 700 m	550	7 700	0,41	190 520 ^(*)	2 660 7 280 ^(*)	0,13 0,39 ^(*)

(*) parametry obliczone dla dodatkowego punktu pomiarowego.

Zastosowanie do obliczeń dodatkowych punktów pomiarowych **184a** oraz **784a** pozwala na określenie wpływu zastosowanej regulacji przewietrzania na moc i stabilność prądu powietrza. Wskaźnik stabilności prądu rejonowego wg Bystronia H_a pokazuje, że prąd powietrza w przypadku zastosowania regulacji w wylotowym prądzie powietrza jest niestabilny lub słabo stabilny. Jednak wskaźnik mocy prądu powietrza N_f , ze względu na znaczną ilość powietrza płynącą przez rejon, pokazuje, że prąd powietrza jest mocny lub bardzo mocny, a tym samym stabilny.

7.2. Analiza sposobu regulacji przewietrzania w rejonowych prądach powietrza zużytego

W niniejszej pracy przedstawiono cztery różne przykłady zastosowania regulacji przewietrzania w rejonowym prądzie powietrza zużytego. Każdej z tych regulacji przyświecał inny główny cel. Dla tam wentylacyjnych:

- **TB 409, TB 409a** – zabudowanych w przekopie zachodnim I poz. 400 m (rozd. 5.3) – było to ograniczenie możliwości przepływu powietrza przez zroby wyżej wyeksploatowanych ścian w tym samym pokładzie,
- **TW 370, TW370a** – zabudowanych w Chodniku W-1 (badawczym) w pokł. 502/1 (rozd. 6.2.1) – było to zapewnienie właściwego rozpręgu powietrza dla przewietrzania dwóch ścian w tym samym pokładzie o zdecydowanie różnym wybiegu,
- **TB 679** – zabudowanej w Pochylni wentylacyjnej w pokł. 502/1 (rozd. 6.2.2) – była to zmiana kierunku przepływu gazów zrobowych między dwoma ruchami zakładu górniczego,
- **TB 680a** – zabudowanej w pochylni wentylacyjnej M-1a w pokł. 506 (rozd. 6.2.3) – było to ograniczenie oddziaływania depresji wentylatora głównego przewietrzania, zabudowanego przy tym szybie wentylacyjnym, na zroby eksploatowanych i likwidowanych ścian w pokładach o dużej skłonności do samozagrzewania.

Zastosowane regulacje przewietrzania – oprócz próby zmniejszenia oddziaływania depresji wentylatora głównego przewietrzania na zroby eksploatowanych lub likwidowanych ścian, czy też tamy izolacyjne w rejonie – muszą zapewnić również stabilność przewietrzania. Dla określenia wpływu regulacji przewietrzania w wlotowym (świeżym) lub wylotowym (zużytym) prądzie powietrza na moc prądu i stabilność przewietrzania zasadnym wydaje się być wykorzystanie dodatkowego punktu pomiarowego znajdującego się w niewielkiej odległości od tamy regulacyjnej. Analiza uzyskanych wyników dla poszczególnych tam regulacyjnych przedstawia się następująco:

7.2.1. Tamy wentylacyjne TB 409, TB 409a

a) Regulacja przewietrzania we wlotowym prądzie powietrza

Różnica potencjałów, pomiędzy wlotowym prądem powietrza (węzeł 232), a dodatkowym punktem pomiarowym **775a** znajdującym się na skrzyżowaniu przekopu zachodniego I poz. 400 m z chodnikiem badawczym w pokł. 404/5 wynosi:

$$\Delta\Phi_{232-775a} = 438 \text{ J/m}^3.$$

Moc prądu powietrza, obliczona zgodnie ze wzorem (5.12), wynosi:

$$N_{f232-775a} = 438 \text{ [Pa]} \times 25,00 \text{ [m}^3/\text{s]} = 10\,950 \text{ W},$$

co oznacza, że jest to prąd bardzo mocny.

Stabilność prądu powietrza, obliczona zgodnie ze wzorem (5.11), wynosi:

$$H_{a232-775a} = \frac{1800+10,60}{2354} \cdot \frac{438}{2(1800+10,60)-438} = 0,11$$

co oznacza, że jest to prąd o zadawalającej stabilności.

b) Regulacja przewietrzania w wylotowym (zużytym) prądzie powietrza

Różnica potencjałów, pomiędzy wlotowym prądem powietrza (węzeł 232), a dodatkowym punktem pomiarowym **775a**, znajdującym się na skrzyżowaniu przekopu zachodniego I poz. 400 m z chodnikiem badawczym w pokł. 404/5, wynosi

$$\Delta\Phi_{232-775a} = 198 \text{ J/m}^3.$$

Moc prądu powietrza, obliczona zgodnie ze wzorem (5.12), wynosi

$$N_{f232-775a} = 198 \text{ [Pa]} \times 25,00 \text{ [m}^3/\text{s]} = 4\,950 \text{ W},$$

co oznacza, że jest to prąd mocny.

Stabilność prądu powietrza, obliczona zgodnie ze wzorem (5.11) wynosi

$$H_{a232-775a} = \frac{1800+10,60}{2354} \cdot \frac{198}{2(1800+10,60)-198} = 0,04$$

co oznacza, że nie jest to prąd stabilny.

c) Konkluzja

Porównanie różnicy potencjałów, mocy prądów powietrza oraz wskaźników stabilności prądów przewietrzających rejon górnice w Partii P w pokładach 404/3 i 404/5 w zależności od zastosowanej regulacji przedstawiono w tab. 2.

Tabela 2. Zestawienie różnicy potencjałów aerodynamicznych, mocy prądów powietrza oraz wskaźnika stabilności prądu dla różnego sposobu regulacji w Partii P w rejonie pokładu 404/3 oraz 404/5

Rejon	Regulacja na wlocie			Regulacja na wylocie		
	Różnica potencjałów $\Delta\Phi$ [J/m ³]	Moc prądu N_f [W]	Stabilność prądu H_a	Różnica potencjałów $\Delta\Phi$ [J/m ³]	Moc prądu N_f [W]	Stabilność prądu H_a
Partia P	438	10 950	0,11	198	4 950	0,04

Zastosowanie do obliczeń dodatkowego punktu pomiarowego **775a** pozwala na określenie wpływu zastosowanej regulacji przewietrzania na moc i stabilność prądu powietrza. Wskaźnik stabilności prądu rejonowego wg Bystronia H_a pokazuje, że prąd powietrza w przypadku zastosowania regulacji w wylotowym prądzie powietrza jest niestabilny. Jednak wskaźnik mocy prądu powietrza N_f , ze względu na znaczną ilość powietrza płynącą przez rejon, pokazuje, że prąd powietrza jest mocny, a tym samym stabilny.

7.2.2. Tamy wentylacyjne TW 370, TW 370a

a) Regulacja przewietrzania w wlotowym prądzie powietrza

Różnica potencjałów pomiędzy wlotowym prądem powietrza (węzeł 292), a dodatkowym punktem pomiarowym **303a**, znajdującym się w chodniku W-1 badawczym w pokł. 502/1 przed tamą TW 370a (od strony zrobów), wynosi

$$\Delta\Phi_{292-303a} = 180 \text{ J/m}^3.$$

Moc prądu powietrza, obliczona zgodnie ze wzorem (5.12), wynosi

$$N_{f292-303a} = 180 \text{ [Pa]} \times 16,67 \text{ [m}^3/\text{s]} = 3\,000 \text{ W},$$

co oznacza, że jest to prąd mocny.

Stabilność prądu powietrza obliczona zgodnie ze wzorem (5.11) wynosi:

$$H_{a292-303a} = \frac{2100+12,70}{2354} \cdot \frac{180}{2(2100+12,70)-180} = 0,04$$

co oznacza, że jest to prąd niestabilny.

b) Regulacja przewietrzania w wylotowym (zużyty) prądzie powietrza

Różnica potencjałów, pomiędzy wlotowym prądem powietrza (węzeł 292), a dodatkowym punktem pomiarowym **303a** znajdującym się w chodniku W-1 badawczym w pokł. 502/1 przed tamą TW 370a (od strony zrobów), wynosi

$$\Delta\Phi_{292-303a} = 50 \text{ J/m}^3.$$

Moc prądu powietrza, obliczona zgodnie ze wzorem (5.12), wynosi

$$N_{f292-303a} = 50 \text{ [Pa]} \times 16,67 \text{ [m}^3/\text{s]} = 834 \text{ W},$$

co oznacza, że jest to prąd średni.

Stabilność prądu powietrza, obliczona zgodnie ze wzorem (5.11), wynosi

$$H_{a292-303a} = \frac{2100+12,70}{2354} \cdot \frac{50}{2(2100+12,70)-50} = 0,01$$

co oznacza, że jest to prąd niestabilny

c) Konkluzja

Porównanie różnicy potencjałów, mocy prądów powietrza oraz wskaźników stabilności prądów przewietrzających rejon górniczy w Partii W w pokładzie 502/1 w zależności od zastosowanej regulacji przedstawiono w tab. 3.

Tabela 3. Zestawienie różnicy potencjałów aerodynamicznych, mocy prądów powietrza oraz wskaźnika stabilności prądu dla różnego sposobu regulacji w Partii W w rejonie pokładu 502/1

Rejon	Regulacja na wlocie			Regulacja na wylocie		
	Różnica potencjałów $\Delta\Phi$ [J/m ³]	Moc prądu N_f [W]	Stabilność prądu H_a	Różnica potencjałów $\Delta\Phi$ [J/m ³]	Moc prądu N_f [W]	Stabilność prądu H_a
Partia W	180	3 000	0,04	50	834	0,01

Zastosowanie do obliczeń dodatkowego punktu pomiarowego **303a** pozwala na określenie wpływu zastosowanej regulacji przewietrzania na moc i stabilność prądu powietrza. Wskaźnik stabilności prądu rejonowego wg Bystronia H_a pokazuje, że prąd powietrza w przypadku zastosowania regulacji zarówno w wlotowym, jak i w wylotowym prądzie powietrza jest niestabilny. Jednak wskaźnik mocy prądu powietrza N_f , pokazuje, że prąd powietrza jest mocny w przypadku regulacji powietrza w wlotowym prądzie powietrza oraz średni w przypadku regulacji w wylotowym prądzie powietrza, a tym samym stabilny.

7.2.3. Tama wentylacyjna TB 679

a) Regulacja przewietrzania w wlotowym prądzie powietrza

Różnica potencjałów pomiędzy wlotowym prądem powietrza (węzeł 302), a dodatkowym punktem pomiarowym **334a** znajdującym się w pochylni wentylacyjnej w pokładzie 502/1, ok. 50 m przed tamą TW 679, wynosi

$$\Delta\Phi_{302-334a} = 705 \text{ J/m}^3.$$

Moc prądu powietrza obliczona zgodnie ze wzorem (5.12):

$$N_{f302-334a} = 705 \text{ [Pa]} \times 16,67 \text{ [m}^3/\text{s]} = 11\,752 \text{ W},$$

co oznacza, że jest to prąd bardzo mocny.

Stabilność prądu powietrza, obliczona zgodnie ze wzorem (5.11), wynosi

$$H_{a302-334a} = \frac{2100+10,40}{2354} \cdot \frac{705}{2(2100+10,40)-705} = 0,18$$

co oznacza, że jest to prąd stabilny.

b) Regulacja przewietrzania w wylotowym (zużyтым) prądzie powietrza

Różnica potencjałów pomiędzy wlotowym prądem powietrza (węzeł 302), a dodatkowym punktem pomiarowym **334a** znajdującym się w pochylni wentylacyjnej w pokładzie 502/1, ok. 50 m przed tamą TW 679, wynosi

$$\Delta\Phi_{302-334a} = 200 \text{ J/m}^3.$$

Moc prądu powietrza, obliczona zgodnie ze wzorem (5.12), wynosi

$$N_{f302-334a} = 200 [\text{Pa}] \times 16,67 [\text{m}^3/\text{s}] = 3\,334 \text{ W},$$

co oznacza, że jest to prąd mocny.

Stabilność prądu powietrza, obliczona zgodnie ze wzorem (5.11), wynosi

$$H_{a302-334a} = \frac{2100+10,40}{2354} \cdot \frac{200}{2(2100+10,40)-200} = 0,04$$

co oznacza, że jest to prąd niestabilny.

c) Konkluzja

Porównanie różnicy potencjałów, mocy prądów powietrza oraz wskaźników stabilności prądów przewietrzających rejon górniczy w Partii M w pokładzie 502/1 w zależności od zastosowanej regulacji przedstawiono w tab. 4.

Tabela 4. Zestawienie różnicy potencjałów aerodynamicznych, mocy prądów powietrza oraz wskaźnika stabilności prądu dla różnego sposobu regulacji w Partii M w rejonie pokładu 502/1

Rejon	Regulacja na wlocie			Regulacja na wylocie		
	Różnica potencjałów $\Delta\Phi$ [J/m ³]	Moc prądu N_f [W]	Stabilność prądu H_a	Różnica potencjałów $\Delta\Phi$ [J/m ³]	Moc prądu N_f [W]	Stabilność prądu H_a
Partia M	705	11 752	0,18	200	3 334	0,04

Zastosowanie do obliczeń dodatkowego punktu pomiarowego **334a** pozwala na określenie wpływu zastosowanej regulacji przewietrzania na moc i stabilność prądu powietrza. Wskaźnik stabilności prądu rejonowego wg Bystronia H_a pokazuje, że prąd powietrza w przypadku zastosowania regulacji w wlotowym prądzie powietrza jest prądem stabilnym, a w przypadku regulacji w wylotowym prądzie powietrza – niestabilny. Jednak wskaźnik mocy prądu powietrza N_f , pokazuje, że prąd powietrza jest bardzo mocny w przypadku regulacji powietrza w wlotowym prądzie powietrza oraz mocny w przypadku regulacji w wylotowym prądzie powietrza, a tym samym stabilny.

7.2.4. Tama wentylacyjna **TB 680a**

a) Regulacja przewietrzania w wlotowym prądzie powietrza

Różnica potencjałów pomiędzy wlotowym prądem powietrza (węzeł 299), a dodatkowym punktem pomiarowym **329** znajdującym się w pochylni wentylacyjnej M-1 w pokładzie 506 na skrzyżowaniu z chodnikiem nadścianowym M-1 w pokładzie 506, wynosi

$$\Delta\Phi_{299-329} = 734 \text{ J/m}^3.$$

Moc prądu powietrza, obliczona zgodnie ze wzorem (5.12), wynosi

$$N_{f299-329} = 734 \text{ [Pa]} \times 5,83 \text{ [m}^3/\text{s]} = 4\,279 \text{ W},$$

co oznacza, że jest to prąd mocny.

Stabilność prądu powietrza, obliczona zgodnie ze wzorem (5.11), wynosi

$$H_{a299-329} = \frac{2100+8,70}{2354} \cdot \frac{734}{2(2100+8,70)-734} = 0,19$$

co oznacza, że jest to prąd stabilny.

b) Regulacja przewietrzania w wylotowym (zużyty) prądzie powietrza

Różnica potencjałów, pomiędzy wlotowym prądem powietrza (węzeł 299), a dodatkowym punktem pomiarowym 329 znajdującym się w pochylni wentylacyjnej M-1 w pokładzie 506 na skrzyżowaniu z chodnikiem nadścianowym M-1 w pokładzie 506, wynosi

$$\Delta\Phi_{299-329} = 104 \text{ J/m}^3.$$

Moc prądu powietrza, obliczona zgodnie ze wzorem (5.12), wynosi

$$N_{f299-329} = 104 \text{ [Pa]} \times 5,83 \text{ [m}^3/\text{s]} = 606 \text{ W},$$

co oznacza, że jest to prąd średni.

Stabilność prądu powietrza, obliczona zgodnie ze wzorem (5.11), wynosi

$$H_{a299-329} = \frac{2100+8,70}{2354} \cdot \frac{104}{2(2100+8,70)-104} = 0,02$$

co oznacza, że jest to prąd niestabilny.

c) Konkluzja

Porównanie różnicy potencjałów, mocy prądu powietrza oraz wskaźników stabilności prądu przewietrzającego wyrobisko w pokładzie 506 w Partii M w zależności od zastosowanej regulacji przedstawiono w tab. 5.

Tabela 5. Zestawienie różnicy potencjałów aerodynamicznych, mocy prądu powietrza oraz wskaźnika stabilności prądu dla różnego sposobu regulacji wyrobiska w pokładzie 506 w Partii M

Rejon	Regulacja na wlocie			Regulacja na wylocie		
	Różnica potencjałów $\Delta\Phi$ [J/m ³]	Moc prądu N_f [W]	Stabilność prądu H_a	Różnica potencjałów $\Delta\Phi$ [J/m ³]	Moc prądu N_f [W]	Stabilność prądu H_a
Partia M	734	4 279	0,19	104	606	0,02

Wykorzystanie do obliczeń dodatkowego węzła 329 pozwala na określenie wpływu zastosowanej regulacji przewietrzania na moc i stabilność prądu powietrza. Wskaźnik stabilności prądu rejonowego wg Bystronia H_a pokazuje, że prąd powietrza w przypadku zastosowania regulacji w wlotowym prądzie powietrza jest prądem stabilnym, a w przypadku regulacji w wylotowym prądzie powietrza – niestabilny. Jednak wskaźnik mocy prądu powietrza N_f , pokazuje, że prąd powietrza jest mocny w przypadku regulacji powietrza w wlotowym prądzie powietrza oraz średni w przypadku regulacji w wylotowym prądzie powietrza, a tym samym stabilny. Należy jednak uwzględnić obecną rolę

przedmiotowego wyrobiska (brak żadnych środków transportowych oraz brak ruchu załogi)
i konieczność skutecznego śluzowania dla ograniczenia strat powietrza.

8. Podsumowanie i wnioski

Każdego roku zwiększa się głębokość prowadzenia robót górniczych oraz wzrasta poziom zagrożeń naturalnych, w szczególności metanowego i klimatycznego. Jednoczesne ograniczenie środków finansowych na inwestycje, w tym na nowe wyrobiska wentylacyjne, przy konieczności zapewnienia jakościowych i ilościowych parametrów płynącego powietrza, powoduje konieczność zastosowania nowych skutecznych rozwiązań.

Doświadczenie nabyte w trakcie wieloletniej pracy w dozorze wyższym i kierownictwie działu wentylacji (od 2001 roku) pozwoliło na sformułowanie stwierdzenia, że ujęty w obowiązujących przepisach zapis o konieczności prowadzenia regulacji przewietrzania tamami regulacyjnymi umieszczonymi na początku prądów rejonowych w wielu przypadkach może stwarzać określone zagrożenia. Wprawdzie ustawodawca dopuszcza stosowanie regulacji przewietrzania w prądzie powietrza zużytego, ale określając warunki dodatkowe (zgoda kierownika ruchu zakładu górniczego lub zgoda organu nadzoru górniczego) stwarza wrażenie, że nie jest to rozwiązanie właściwe.

Przykładem takiego zapewnienia skutecznej i stabilnej regulacji przewietrzania są opisane w niniejszej pracy niestandardowe działania podejmowane przez dział wentylacji KWK ROW Ruch Jankowice, polegające na regulacji przewietrzania tamami wentylacyjnymi zabudowanymi w prądach powietrza zużytego. Działania te dotyczą zarówno regulacji powietrza przepływającego przez rejon górniczy, jak również przez komory przyszybowe oraz przez wyrobiska utrzymywane ze względów technologicznych, przez wyrobiska łączące kopalnie sąsiadujące z sobą, czy też przez wyrobiska likwidowane. Muszą one – tak samo jak działania standardowe – uwzględniać:

- zapewnienie stabilnego przepływu powietrza z uwzględnieniem wyposażenia wyrobiska oraz częstotliwości ruchu załogi oraz środków transportowych,
- ograniczenie strat powietrza,
- zabezpieczenie przed tzw. „krótkim spięciem wentylacyjnym”,
- ograniczenie oddziaływania depresji wentylatora głównego przewietrzania (zabudowanego przy szybie wentylacyjnym) na zroby, tamy izolacyjne, zaburzenia geologiczne,
- lokalizację tamy regulacyjnej pod kątem możliwości powstania pożaru szczelinowego w otoczeniu tamy.

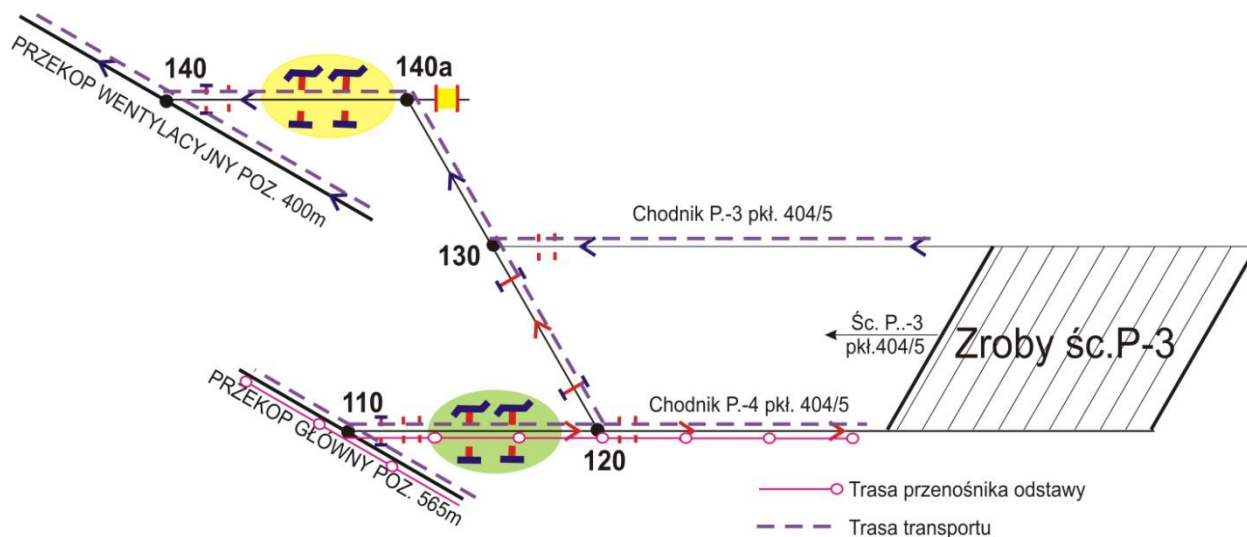
Nabyte na przestrzeni lat doświadczenie pozwoliło praktycznie zupełnie wyeliminować w warunkach KWK ROW Ruch Jankowice regulacje przewietrzania w rejonowym prądzie powietrza świeżego jako kłopotliwe, nieskuteczne oraz powodujące wzrost zagrożeń, w szczególności metanowego i pożarowego. Należy również podkreślić, że przemyślana lokalizacja miejsca zabudowy tam regulacyjnych w prądzie powietrza zużytego pozwala na stosowanie takiej regulacji na niezmiennych warunkach przez kilka, a nierzadko kilkanaście lat. Świadczy to o tym, że taka regulacja jest skuteczna i bezpieczna. Mając na uwadze setki kilometrów wyrobisk czynnych i otamowanych oraz nieoznaczone przestrzenie związane ze zrobami taka stabilna regulacja jest bardzo istotna.

Cała idea prowadzenia regulacji przewietrzania w prądzie powietrza zużytego opiera się na założeniu, że strata naporu na tamie regulacyjnej zabudowanej w prądzie powietrza zużytego będzie zbliżona do straty naporu uzyskanej w przypadku regulacji „klasycznej” w prądzie wlotowym powietrza. Okna regulacyjne w takich tamach są dobierane „in situ” tak, aby uzyskać żadaną ilość powietrza, którą należy przewietrzać dany rejon.

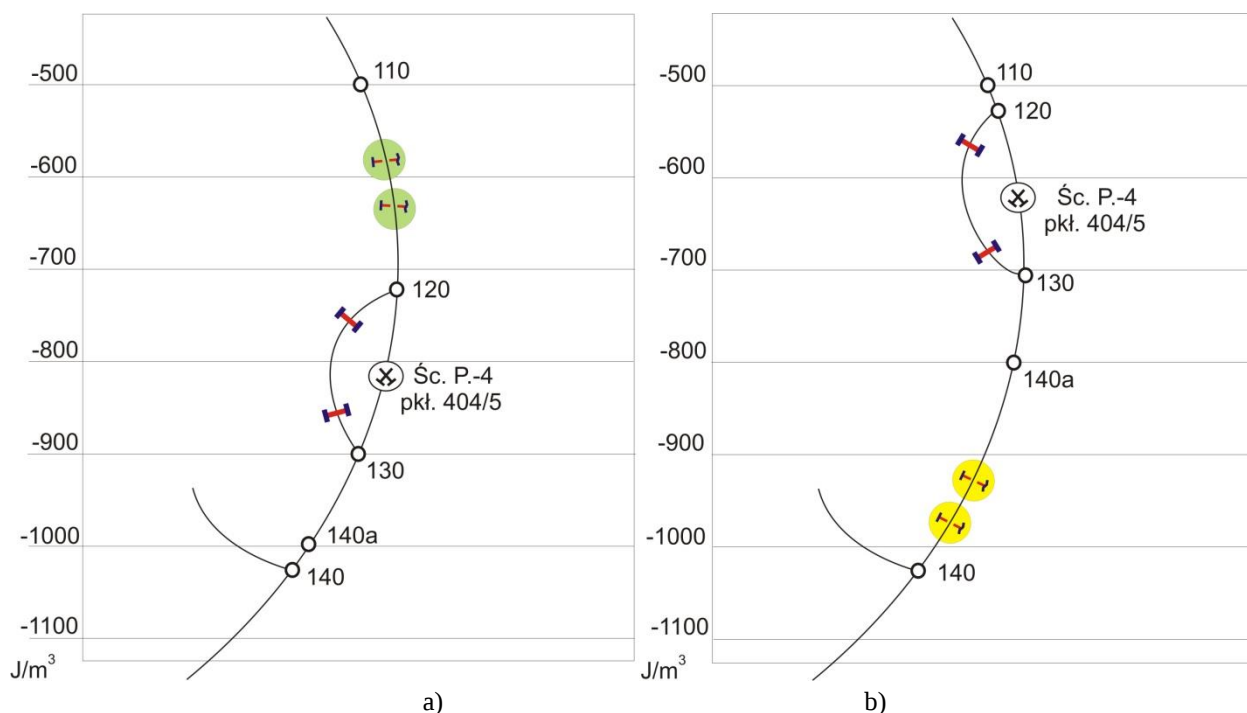
Cechą wspólną wszystkich tych regulacji przewietrzania jest:

- zapewnienie przepływu powietrza z wymaganymi jakościowymi i założonymi ilościowymi wartościami,
- utrzymanie prądów powietrza o co najmniej mocy średniej przy zróżnicowanych wskaźnikach stabilności tych prądów,
- ograniczenie wpływu oddziaływania depresji wentylatora głównego przewietrzania na zroby eksploatowanych i likwidowanych ścian, tam izolacyjnych i zaburzeń geologicznych.

Przykładowy schemat przestrzenny przewietrzania rejonu ściany z zastosowaniem różnej regulacji przewietrzania przedstawiono na rys. 8.1, a schemat potencjalny pokazujący przemieszczanie się punktu pomocniczego **140a** w przypadku zastosowania regulacji w wlotowym lub wylotowym prądzie powietrza na rys. 8.2a oraz rys. 8.2b.



Rys. 8.1. Schemat przestrzenny przewietrzania rejonu ściany z zaznaczeniem trasy środków transportowych i odstawy oraz regulacji przewietrzania w wlotowym (kolor zielony) i wylotowym (kolor żółty) prądzie powietrza (opracowanie własne)



Rys. 8.2 Idea stosowania regulacji powietrza – przykładowy schemat potencjalny rejonu:

b) zastosowanie klasycznej regulacji przewietrzania – regulacja na wlocie

a) zastosowanie regulacji przewietrzania w prądzie wylotowym;

Jak widać na powyższym przykładzie dla zapewnienia wymaganego rozprężu powietrza w rejonie przykładowej ściany P-4 w pokł. 404/5 zastosowano tamy regulacyjne o stracie naporu 200 Pa. Powyższe spowodowało zmianę potencjału punktów węzłowych **120** oraz **130** oraz punktu pomocniczego **140a** obrazującego oddziaływanie depresyjne szybu wentylacyjnego na istotny punkt sieci wentylacyjnej, np. na tamę izolacyjną. W przypadku zastosowania regulacji przewietrzania w prądzie powietrza zużytego na przedmiotowy punkt oddziaływanie depresyjne szybu wentylacyjnego jest zdecydowanie mniejsze. Zmiana potencjału punktu **140a**, czyli wpływ oddziaływania depresyjnego szybu wentylacyjnego, obrazuje zmiany w naszej sieci wentylacyjnej, możliwość przepływu gazów zrobowych, zwiększone oddziaływanie na zroby eksploatowanej lub likwidowanej ściany, uskoju lub tamy izolacyjnej.

Innym zagadnieniem, które rozważano w niniejszej pracy jest zapewnienie skutecznej regulacji przewietrzania dla ograniczenia ilości powietrza płynącego przez komory przyszybowe w aspekcie wysokich naporów na tamy regulacyjne przy konieczności zapewnienia funkcjonalności tych komór przy jednoczesnym zapewnieniu stabilności całej sieci wentylacyjnej kopalni w związku z możliwością wystąpienia tzw. „krótkiego spięcia wentylacyjnego”. Jednoczesne, nawet niezamierzone, otwarcie tam wentylacyjnych w służbie wentylacyjnej zabudowanej na wlocie do komory przyszybowej, przy obecnym poziomie zagrożenia metanowego w rejonach górniczych, może spowodować katastrofalne skutki. Wysoka wydajność oraz wysoka wartość podciśnienia statycznego w kanale wentylatorów głównego przewietrzania związana jest z głębokością prowadzenia eksploatacji w polskim górnictwie węgla kamiennego oraz koniecznością zapewnienia znacznych ilości powietrza przewietrzających rejonów górnicze przede wszystkim w związku z zagrożeniem metanowym i klimatycznym. Tym istotniejsze jest niedopuszczenie do niekontrolowanego przepływu

znacznych ilości powietrza przez komory przyszybowe i zapewnienia stabilności przewietrzania sieci wentylacyjnej kopalni.

Przedstawione rzeczywiste stosowane od wielu lat przykłady tam regulacyjnych pokazują wysoką skuteczność zastosowanych rozwiązań, a niezmienna od lat lokalizacja i warunki użytkowania przedmiotowych tam regulacyjnych świadczą o słuszności przyjętego rozwiązania.

W przedstawionych w niniejszej pracy przypadkach zastosowań tam regulacyjnych pokazano zarówno cel stosowania danej regulacji przewietrzania, jak również warunki bezpieczeństwa zastosowane w konkretnym przypadku. W zdecydowanej większości przypadków powyższe regulacje przewietrzania funkcjonują do dnia dzisiejszego. Żadna z omawianych regulacji przewietrzania nie spowodowała wzrostu zagrożenia. Likwidacja części z nich spowodowana była utratą funkcjonalności i celu stosowania, a nie wzrostem zagrożenia.

Z przeanalizowanych przypadków zastosowania regulacji powietrza w grupowym prądzie powietrza zużytego oraz rejonowym prądzie powietrza zużytego wynika, że w stosunku do klasycznej regulacji, uzyskuje się:

- zawsze – zdecydowanie korzystniejszy rozkład potencjałów aerodynamicznych, powodujący zmniejszenie różnicy pomiędzy potencjałem w węźle wylotowym, a w węźle wlotowym; pozwala to uniknąć niekorzystnych skutków tzw. krótkiego spięcia wentylacyjnego, występujących przy klasycznej regulacji przewietrzania,
- przeważnie – wyższe lub takie same moce prądów powietrza; w przypadku, kiedy moc prądu jest mniejsza niż przy klasycznej regulacji przewietrzania, jej wartość i tak jest wystarczająco wysoka – prąd powietrza jest co najmniej o mocy średniej,
- czasami – takie same wartości wskaźnika stabilności prądu powietrza; w przypadkach, kiedy po zastosowanej regulacji wskaźnik stabilności wskazuje na niezadawalającą stabilność prądu powietrza, to dany prąd powietrza jest mocny (przykłady: regulacja tamami wentylacyjnymi TB 409, TB 409a, tamą wentylacyjną TB 679) lub średni (regulacja tamami wentylacyjnymi TW 370, TW 370a i tamą wentylacyjną TB 680a), a więc stabilność jest wystarczająca do tego, by uznać, iż taki sposób regulacji nie spowoduje zakłóceń wentylacyjnych i niebezpiecznych skutków.

Na podstawie zdobytych doświadczeń oraz przeprowadzonej w niniejszej pracy analizy sposobów regulacji przewietrzania należy uznać, że taki sposób regulacji może zrealizować różne cele, np.:

- zapewnienie skutecznego przewietrzania komór przyszybowych z jednoczesnym zlikwidowaniem kłopotliwych tam o znacznym naporze na wlocie do poszczególnych komór oraz praktycznie zlikwidowanie „krótkiego spięcia wentylacyjnego” (przykład z regulacją tamami regulacyjnymi: TW 585 – rozdz. 5.3., TW 572 – rozdz. 6.1.1., TW 880 – rozdz. 6.1.2).
- ograniczenie możliwości przepływu powietrza przez zroby wyżej wyeksploatowanych ścian w tym samym pokładzie (przykład z regulacją tamami wentylacyjnymi TB 409, TB 409a – rozdz. 5.3),

- zapewnienie właściwego rozplywu powietrza w tym samym pokładzie dla przewietrzania dwóch ścian o zdecydowanie różnym wybiegu (przykład z regulacją tamami wentylacyjnymi TW370, TW370a – rozdz. 6.2.1),
- zmiana kierunku przepływu gazów zrobowych pomiędzy dwoma ruchami zakładu górniczego (przykład z regulacją tamą wentylacyjną TB 679 – rozdz. 6.2.2),
- ograniczenie oddziaływania depresyjnego szybu wentylacyjnego na zroby eksploatowanych i likwidowanych ścian w pokładach o dużej skłonności do samozagrzewania (przykład z regulacją tamą wentylacyjną TB 680a – rozdz. 6.2.3).

Dla zapewnienia właściwego poziomu bezpieczeństwa taki sposób prowadzenia regulacji przewietrzania powinien być stosowany z uwzględnieniem niżej podanych zasad :

- a) w przypadku regulacji przewietrzania komór przyszybowych w grupowym prądzie powietrza zużytego:
- śluza wentylacyjna powinna być zabudowana w wyrobisku kamiennym, w przypadku jej zabudowy w wyrobisku kamiennie-węglowym, węglowo-kamiennym lub węglowym otoczenie tamy powinno być uszczelnione środkami mineralnymi lub chemicznymi lub okresowo kontrolowane kamerą termowizyjną bądź pirometrem dla wykrycia objawów samozagrzewania,
 - w wyrobisku z tamą wentylacyjną nie powinno być zabudowanych żadnych środków transportowych, a ruch załogi nie powinien mieć charakteru stałego,
 - drzwi w regulacyjnych tamach wentylacyjnych powinny być otwierane zdalnie, z potencjalnie i realnie niezadymionego – w razie pożaru – prądu powietrza, co spowoduje wzrost ilości przepływającego powietrza i zapewni skuteczne przewietrzanie komór przyszybowych,
 - przeprowadzana być musi systematyczna kontrola zgodnie z zatwierdzonymi warunkami bezpieczeństwa, a w szczególności:
 - stanu otoczenia tam regulacyjnych – dla wykrycia ewentualnych objawów pożaru endogenicznego,
 - stanu obmurza,
 - stanu drzwi przejściowych oraz zasadniczych (otwieranych dla swobodnego odprowadzenia ewentualnych dymów),
 - stanu urządzeń do zdalnego otwarcia drzwi zasadniczych (bez ich otwierania),
 - sprawności czujników stanu otwarcia z sygnalizacją u dyspozytora gazometrii,
 - stężenia tlenu węgla za pomocą CO-metrii automatycznej (z niskim progiem alarmowania u dyspozytora gazometrii),
 - telefonosygnalizatorów zlokalizowanych w sąsiedztwie tamy,
 - każde planowane otwarcie drzwi zasadniczych przedmiotowych regulacji wymaga uprzedniego zgłoszenia do dyspozytora kopalni,
 - przeprowadzane być powinno (z określoną częstotliwością) sprawdzanie działania urządzeń do zdalnego otwierania drzwi w tamach.

b) w przypadku regulacji przewietrzania w rejonowym prądzie powietrza zużytego :

- otoczenie śluzy wentylacyjnej powinno być uszczelnione środkami mineralnymi lub chemicznymi lub okresowo kontrolowane kamerą termowizyjną bądź pirometrem dla wykrycia objawów samozagrzewania
- tamy powinny być wyposażone w czujniki stanu otwarcia z sygnalizacją u dyspozytora, a dodatkowo stan przewietrzania powinien być kontrolowany za pomocą anemometru stacjonarnego,
- przeprowadzana być musi systematyczna kontrola:
 - stanu otoczenia tam regulacyjnych – dla wykrycia ewentualnych objawów pożaru endogenicznego,
 - stanu obmurza,
 - stanu drzwi przejściowych oraz na trasie transportu,
 - sprawności czujników stanu otwarcia z sygnalizacją u dyspozytora gazometrii,
 - stężenia tlenu węgla za pomocą CO-metrii automatycznej (z niskim progiem alarmowania u dyspozytora gazometrii),
 - telefonosygnalizatorów zlokalizowanych w sąsiedztwie tamy.

Należy z całą mocą podkreślić, że przedstawione w niniejszej pracy rzeczywiste przykłady zastosowania regulacji przewietrzania w rejonowych prądach powietrza zużytego wykazują stabilność i bezpieczeństwo tego rozwiązania. Przemyślana lokalizacja poszczególnych tam regulacyjnych umożliwia wieloletnie stosowanie regulacji na niezmiennych warunkach dla kolejnych ścian eksploatowanych w danym pokładzie. Przytoczone przykłady pokazują pozytywny wpływ zastosowanych regulacji przewietrzania na depresyjne oddziaływanie szybu wentylacyjnego na zroby eksploatowanych lub likwidowanych ścian zaliczonych do zagrożonych pożarami endogenicznymi.

Przeprowadzone, kontrolowane, próby zmiany sposobu regulacji przewietrzania (z prądu wylotowego na wlotowy) wykazują zwiększone oddziaływania depresyjne szybu wentylacyjnego. Objawiało się to wzrostem nadciśnienia na tamy izolacyjne, które znajdują się pod wpływem zastosowanej regulacji przewietrzania, jak również wzrost zagrożenia metanowego i zwiększone wydzielanie gazów zrobowych z części zawałowej badanych ścian. Ponadto pokazały trudność w utrzymaniu stabilnej regulacji przewietrzania na trasie odstawy oddziałowej, mimo, iż próby te przeprowadzane były w dni wolne od pracy, gdy ruch załogi oraz maszyn i środków transportowych jest mocno ograniczony.

Należy dodać, że zgodny z tytułem niniejszej pracy „Sposób poprawy rozplywu powietrza w podsieciach wentylacyjnych poprzez regulację przewietrzania w prądach powietrza zużytego” w warunkach prowadzonej restrukturyzacji KWK Jankowice m.in.:

- umożliwił likwidację dwóch szybów: nr 6 (wdechowego, materiałowo – zjazdowego) oraz 5a (wentylacyjnego),
- umożliwił odprowadzenie powietrza z rejonu wydobywczego do szybu wentylacyjnego nr 4, który wcześniej służył tylko (bo tak był zaprojektowany) do przewietrzania komór przyszybowych,
- ograniczył straty powietrza w grupowych prądach powietrza przy jednoczesnym zwiększeniu ilości powietrza płynącego przez rejon górnicze,

- umożliwił prowadzenie rozcinki, a następnie eksploatacji ścian o znacznych wybiegach (powyżej 2000 m) z zapewnieniem znacznych ilości powietrza płynącego przez ścianę (powyżej 1500 m³/min),
- ograniczył zagrożenie pożarem endogenicznym w trakcie eksploatacji i likwidacji ścian zaliczonych do III i IV grupy samozapalności,
- zapewnił stabilne przewietrzanie sieci wentylacyjnej kopalni,
- wyeliminował tzw. „krótkie spięcie wentylacyjne” związane z przewietrzaniem komór przyszybowych.

Podane w niniejszej pracy przykłady zastosowania regulacji przewietrzania w prądzie powietrza zużytego pozwalają na wysunięcie następujących wniosków.

I. Regulacja w grupowym prądzie powietrza zużytego

1. Zastosowanie regulacji w grupowym prądzie powietrza zużytego jest zasadne dla przewietrzania komór przyszybowych. Dla podniesienia poziomu bezpieczeństwa komory te powinny być zaliczone do pomieszczeń niezagrożonych wybuchem metanu ze stopniem „a” niebezpieczeństwa wybuchu metanu, I kategorii zagrożenia metanowego oraz klasy A zagrożenia wybuchem pyłu węglowego.
2. Ze względu na specyfikę lokalizacji tamy regulacyjnej w grupowym prądzie powietrza, tj. zwykle w wyrobisku, w którym nie ma zabudowanych żadnych środków transportowych, a ruch załogi jest minimalny (służby wentylacyjne) taka regulacja zapewnia stabilne przewietrzanie bez możliwości powstania „krótkiego spięcia wentylacyjnego”. Powyższe jest szczególnie istotne ze względu na zwykle krótkie drogi wentylacyjne oraz znaczne różnice potencjałów izentropowych między wlotem do danej komory, a grupowymi prądami odprowadzanymi do szybu wydechowego.
3. Regulacja w grupowym prądzie powietrza zużytego umożliwia rezygnację z konieczności stosowania tam (śluz) wentylacyjnych o znacznym naporze w wlotowych prądach powietrza, niejednokrotnie na trasie transportu dołowego lub kolejkami (zajezdnia lokomotyw, szopa maszyn, komory i warsztaty napraw, komory regeneracji itp.).
4. Dla zminimalizowania skutków powstania pożaru egzogenicznego należy stosować rozwiązania umożliwiające szybkie otwarcie tamy z miejsca bezpiecznego (niezadymionego). Takie rozwiązanie pozwala na swobodne odprowadzenie ewentualnych dymów krótkimi drogami do szybu wentylacyjnego.
5. Regulacja przewietrzania w grupowym prądzie powietrza zużytego zapewnia stabilne przewietrzanie komór przyszybowych na przestrzeni długich lat na niezmiennych warunkach.

II. Regulacja w rejonowym prądzie powietrza

1. Istotnie zmniejsza oddziaływanie depresyjne szybu wentylacyjnego na zroby eksploatowanych lub likwidowanych ścian.
2. Zapewnia stabilne przewietrzanie rejonu ze względu na ograniczony ruch załogi i (zwykle) brak przenośników taśmowych w wyrobisku odprowadzającym powietrze ze ściany, co umożliwia zabudowę tam regulacyjnych na trasie transportu oraz drzwi przejściowych dla ruchu załogi.
3. Umożliwia rezygnację z kłopotliwej regulacji przewietrzania w prądzie wlotowym na trasie odstawy oddziałowej oraz prowadzonego transportu, a w szczególności:
 - a) nie powoduje się zapylenia pyłem węglowym w związku z zabudową tam regulacyjnych na trasie odstawy oddziałowej i wywiewaniem urobku,
 - b) nie ma konieczności wykonania dodatkowych wnęk lub poszerzeń w wyrobisku dla pomieszczenia obok siebie przenośnika odstawy, tam automatycznych na trasie transportu oraz przejścia dla załogi,
 - c) nie powoduje się wywiewania urobku w miejscu zabudowy tam regulacyjnych i możliwość powstania pożaru w wyniku tarcia taśmy przenośnikowej o drobny urobek.
4. Ogranicza przepływ powietrza przez zroby oraz przez płoty węglowe przy eksploatacji kolejnych ścian w danym pokładzie, w szczególności w przypadku utrzymywania chodnika podścianowego, jako nadścianowego dla następnej ściany.
5. Zmniejsza oddziaływanie depresji wentylatora głównego przewietrzania przy szybie wentylacyjnym na likwidowane wyrobiska, tamy izolacyjne, uskoki, zaburzenia geologiczne.

Na podstawie przedstawionych w niniejszej pracy doktorskiej badań i analiz należy przyjąć, iż postawiona teza, że właściwe zastosowanie regulacji przewietrzania w zużytym prądzie powietrza stanowi istotny element poprawy rozprywu powietrza w podsięciach wentylacyjnych kopalni została udowodniona.

Osiągnięto też zakładane cele, tj.:

- cel naukowy, którym było udokumentowanie pozytywnego wpływu regulacji przewietrzania w prądzie powietrza zużytego na:
 - zroby eksploatowanych i zlikwidowanych ścian,
 - stabilność rozprywu powietrza,
- cel użytkowy, którym było propagowanie zmian koncepcji przewietrzania wyrobisk w sieci wentylacyjnej kopalni, poprzez szerokie stosowanie regulacji przewietrzania w rejonowym lub grupowym prądzie powietrza zużytego.

9. Literatura

- [1] Bielewicz T., Prus B., Honysz J. (1993): *Górnictwo Część I*. Wyd. Śląsk.
- [2] Borowski M., Obracaj D., Korzec M., Piergies K. (2011) Schemat potencjalny wraz z analizą sieci wentylacyjnej kopalni w aspekcie strategii rozwoju kopalni do roku 2020, Kraków.
- [3] Bukowski J. (1968): *Mechanika płynów*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Warszawa.
- [4] Budryk W. (1932): *Górnictwo, V. Przewietrzanie kopalń*. Nakładem Sekcji Wydawniczej Stowarzyszenia Studentów Akademii Górniczej w Krakowie.
- [5] Budryk W. (1961): *Górnictwo, tom 10, Wentylacja kopalń, cz. I, Przewietrzanie wyrobisk*. Wydawnictwo Górniczo-Hutnicze, Katowice.
- [6] Bystroń H., Strumiński A. (1971): *Intensywność przewietrzania wyrobisk górniczych*, GIG, Katowice.
- [7] Bystroń H. (2000): *Potencjał aerodynamiczny powietrza wentylacyjnego w kopalni o trudnych warunkach termicznych*. Przegląd Górniczy Nr 10. Katowice.
- [8] Chłopek A. (2010): *Wpływ zmian temperatury powietrza atmosferycznego na pole potencjału aerodynamicznego w kopalnianej sieci wentylacyjnej*. Praca doktorska. Politechnika Śląska. Gliwice.
- [9] Czechowicz J., Mastaliński M., Surowiec M. (1985): *Górnictwo Część III*. Wyd. Śląsk.
- [10] Drenda J., Domagała L. (1978): *Aerodynamiczne charakterystyki tam wentylacyjnych dla projektowania lub rekonstrukcji systemu wentylacji kopalń*. Przegląd Górniczy, nr 9.
- [11] Drenda J. (1980): *Tama wentylacyjna jako dodatni regulator przepływu w kopalni*. Praca doktorska. Politechnika Śląska. Gliwice.
- [12] Drenda J., Niemiec G., Pszczółka M. (1990): *Koncepcja wentylacji kopalń – obliczenia komputerowe prowadzone na etapie projektu koncepcyjnego kopalni*, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Górnictwo 1990, nr 185.
- [13] Dziurzyński W., Pałka T., Tracz J., Trutwin W. (1991): *Zastosowanie programów komputerowych do analizy stanów kopalnianej sieci wentylacyjnej*. Górotwór jako ośrodek wielofazowy, t. 3.
- [14] Dziurzyński W. (1999): *Proces przewietrzania rejonu ściany eksploataowanej na zawał stropu w obecności pożaru*. Materiały I Szkoły Aerologii Górniczej, Zakopane.
- [15] Dziurzyński W. (2002): *Symulacja numeryczna procesu przewietrzania sieci wentylacyjnej kopalni*. Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN – rozprawy, monografie. Nr 2.
- [16] Dziurzyński W., Pałka T. (2002): *Wprowadzanie pomiarów ciśnienia w węzłach sieci wyrobisk kopalni do bazy danych systemu programów komputerowych VENTGRAPH*. Przegląd Górniczy 2002, nr 7/8.
- [17] Dziurzyński W., Wasilewski S., Krach A., Pałka T. (2010): *Rozwój metody prognozowania stanu atmosfery kopalni z wykorzystaniem symulacji numerycznej oraz danych z systemu monitoringu*. Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN Tom 12., Kraków.
- [18] Dziurzyński W., Kruczkowski J., Wasilewski S. (2012): *Nowoczesna metoda badania przepływu powietrza i metanu w wyrobisku kopalni*. W: *Nowe spojrzenie na wybrane zagrożenia naturalne w kopalniach*. Praca zbiorowa pod redakcją S. Pruska i J. Cygankiewicza, Jaworze 2012 GIG 2012.

- [19] Dziurzyński W., Janus J., Pałka T. (2013): Komputerowa symulacja wpływu likwidacji chodników przyścianowych na rozkład metanu w rejonie ściany i zrobów. *Przegląd Górniczy* 2013, nr 5.
- [20] Dziurzyński W., Krause E. (2015): Projektowanie eksploatacji pokładów węgla kamiennego w warunkach skojarzonego zagrożenia metanowo-pożarowego. Wyd. GIG Katowice.
- [21] Frycz A., Szlązak J. (1977): Wpływ rozcinki złoża w pokładach silnie metanowych na występowanie metanu w rejonie ściany. *Przegląd Górniczy* nr 2.
- [22] Frycz A., Szlązak J. (1978): Wentylacyjne sposoby zwalczania zagrożenia metanowego. *Bezpieczeństwo Pracy w Górnictwie* nr 1.
- [23] Frycz A., Kozłowski B. (1979, 1983): Przewietrzanie kopalń metanowych. Wyd. Śląsk. Katowice.
- [24] Gumiński A. (1996): Charakterystyka bocznicy wentylacyjnej z uwzględnieniem depresji naturalnej. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Górnictwo* 1996, nr 232.
- [25] Janus J., Krawczyk J., Kruczkowski J. (2011): Porównanie symulacji numerycznych z wynikami pomiarów rozkładów pól prędkości w przekrojach chodników kopalnianych. *Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, Tom 13, nr 1-4/2011*, Kraków.
- [26] Karbownik A., Poloczek F., Chroszcz H (1984): Podstawy projektowania kopalń. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- [27] Kolarczyk M. (1999): Bocznice względem siebie przekątne, równoległe, quasi-równoległe, szeregowie i quasi-szeregowie w kopalnianej sieci wentylacyjnej. *Materiały 1 Szkoły Aerologii Górniczej, Zakopane*.
- [28] Kolarczyk M. (2005): Przykłady niejednoznacznego wpływu zmian oporów bocznic na rozpryw powietrza w kopalnianych sieciach wentylacyjnych niepłaskich, XII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna, Górnicze Zagrożenia Naturalne 2005, Ustroń. Wyd. GIG Katowice.
- [29] Konsek S., Mazurek C., Jendrzek K., Słowik A. (2014): Regulacja przewietrzania w grupowym prądzie powietrza odprowadzanym do szybu wydechowego jako element optymalizacji i stabilizacji sieci wentylacyjnej kopalni na przykładzie KWK „Jankowice”. *Górnictwo – Perspektywy, zagrożenia. Monografia pod redakcją F. Plewy, H. Badury. Wyd. Pol. Śl. Gliwice. Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej 24-25.02.2014 Kraków. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie* 10 (254)/2015.
- [30] Krause E., Łukowicz K. (1999): Zagrożenie metanowe. W: *Koncentracja wydobywania, a zagrożenia górnicze. Praca zbiorowa pod redakcją J. Dubińskiego*. Wyd. GIG Katowice.
- [31] Krause E., Cybulski K. (2000): Współczesne aspekty zagrożeń gazowych i pyłowych w polskich kopalniach podziemnych. *Bezpieczeństwo i Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie* nr 10.
- [32] Krause E., Łukowicz K. (2004): Zasady prowadzenia ścian w warunkach zagrożenia metanowego. Wyd. GIG Katowice – Instrukcja nr 14.
- [33] Krause E., Słowik A. (2018): Wpływ prowadzenia sekcji obudowy zmechanizowanej w chodniku przyścianowym na zasięg penetracji powietrza w zrobach ścian przewietrzanych sposobem „U” po caliznie węglowej. *Materiały XXVII Szkoły Eksploatacji Podziemnej, 26-28.02.2018, Kraków*.

- [34] Krause E., Wierzbński K. (2008): Wpływ zmian parametrów wentylacyjnych na zagrożenie metanowe w ścianach przewietrzanych na „U” (po caliznie węglowej). XV Międzynarodowa Konferencja Górnicze Zagrożenia Naturalne. Prace naukowe GIG, Górnictwo i Środowisko nr 4/2.
- [35] Krause E. (2009): Ocena i zwalczanie zagrożenia metanowego w kopalniach węgla kamiennego. Praca habilitacyjna. Wyd. GIG, Katowice.
- [36] Kolarczyk M., Oleksy M., Pach G. (2005): Charakterystyki zastępcze otoczeń podsięci oddziałów wydobywczych w kopalnianej sieci wentylacyjnej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Górnictwo z. 270, Gliwice.
- [37] Ligęza P., Poleszczyk E., Skotniczny P. (2008): Analiza rozkładu prędkości powietrza w warstwie przyściennej w warunkach przepływu w wyrobisku górniczym. Przegląd Górniczy, Nr 7-8.
- [38] Łuszczkiewicz H. (1973): Wentylacja, klimatyzacja i pożary podziemne. Wyd. Politechnika Wrocławska, Wrocław.
- [39] Madeja-Strumińska B., Nędzka Z., Strumiński A. (1993): Projektowanie wymuszonego rozprywu powietrza w kopalnianych sieciach wentylacyjnych w warunkach zagrożeń gazodynamicznych. Wyd. Politechnika Wrocławska.
- [40] Madeja-Strumińska B., Strumiński A. (2002): Ocena szczelności tam i zamknięć wentylacyjnych w kopalniach podziemnych w oparciu o badania termowizyjne. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie nr 12.
- [41] Madeja-Strumińska B., Strumiński A. (2004): Projektowanie naturalno-wymuszonych rozprywów powietrza w kopalniach podziemnych. Wyd. Politechnika Wrocławska.
- [42] Madeja-Strumińska B., Strumiński A. (2004): Optymalizacja wymuszonych rozprywów powietrza w warunkach skrępowanych oraz ocena wybranych zagrożeń w kopalniach podziemnych. Wyd. Politechnika Wrocławska.
- [43] Mazurek C., Jendrzek K., Słowik A., Zimnol A. (2017): Profilaktyka metanowa i pożarowa w trakcie eksploatacji i likwidacji ściany o metanowości 30-40 m³CH₄/min przewietrzanej na tzw. „krótki Y” na przykładzie ściany Z-10 w pkl. 408/1 w KWK ROW Ruch Jankowice. Materiały Polskiego Kongresu Górniczego, 20-22.11.2017, Wyd. AGH Kraków.
- [44] Mazurek Cz., Jendrzek K., Słowik A., Juzek T. (2018): Profilaktyka zagrożenia pożarowego w płocie węglowym na podstawie doświadczeń KWK ROW Ruch Jankowice. Górnictwo. Perspektywy i zagrożenia. Volume 7, issue 1, Gliwice, Konferencja CKI Politechniki Śląskiej, 8-10.05.2018.
- [45] Mazurek Cz., Jendrzek K., Słowik A., Zimnol A., Trenczek S. (2019): Zagrożenie pożarowe w płocie węglowym w rejonie ściany przewietrzanej systemem na tzw. „krótki Y”. Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji, Górnictwo – perspektywy, zagrożenia, Volume 8, issue 1, Wyd. P.A. Nova, Gliwice 2019.
- [46] Musioł D. (2000): Analiza układów przewietrzania rejonów ścian w podsięciach wentylacyjnych w aspekcie zagrożenia metanowego, pożarowego i termicznego. Wiadomości Górnicze, nr 6.
- [47] Musioł D. (2008): Zmiany struktur sieci wentylacyjnych w restrukturyzowanych kopalniach węgla kamiennego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Górnictwo, 2008 nr 286.

- [48] Musioł D. (2009): Analiza niezbędnych ilości powietrza w rejonach eksploatacyjnych – przepisy a praktyka. Materiały 5 Szkoły Aerologii Górniczej, Wyd. Politechniki Wrocławskiej.
- [49] Musioł D., Pach G. (2014): Projektowanie rozprywu powietrza w sieciach wentylacyjnych. Przykłady obliczeniowe. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- [50] Pawiński J., Roszkowski J., Strzeński J. (1995): Przewietrzanie kopalń. Śląskie Wydawnictwo. Techniczne, Katowice.
- [51] Polak Z., Strumiński A., Urbański J. (1990): Zasady projektowania wentylacji głównej i odrębnej w warunkach zagrożeń gazodynamicznych. Wyd. Politechnika Wrocławska, Wrocław.
- [52] Praca zbiorowa (1974), Poradnik górnika Tom III. Wydawnictwo Śląsk.
- [53] Projekt strategiczny Narodowego Centrum Badań i Rozwoju „Poprawa bezpieczeństwa pracy w kopalniach”. Informacja z realizacji zadania badawczego nr 2 „Opracowanie zasad projektowania robót górniczych w warunkach występowania skojarzonego zagrożenia metanowo – pożarowego w aspekcie systemów przewietrzania w podziemnych zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny” realizowany przez Katedrę Górnictwa Podziemnego Wydziału Górnictwa i Geoinżynierii Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie pod kierownictwem prof. dr hab. inż. Nikodema Szlązaka.
- [54] PN-73-G-60101 (1973): Przewietrzanie wyrobisk górniczych. Tamy wentylacyjne. Zasady projektowania i wykonania.
- [55] Roszczyniański W., Waclawik J. (1974): Obliczanie i pomiary w aerologii górniczej. Wyd. AGH, Kraków.
- [56] Roszczyniański W., Waclawik J. (1983): Aerologia górnicza. PWN, Warszawa.
- [57] Roszczyniański W., Trutwin W., Waclawik J. (1992): Kopalniane pomiary wentylacyjne. Wyd. Śląsk, Katowice.
- [58] Roszczyniański W., Nawrat S., Szlązak J., Tomczyk J. (1999): Bezpieczna kopalnia – prawo, zagrożenia, zarządzanie. Wyd. AGH Kraków.
- [59] Roszkowski J. (1968): Wydzielanie się metanu do podziemnych wyrobisk korytarzowych jako podstawa do projektowania przewietrzania. Wyd. AGH, Kraków.
- [60] Roszkowski J., Szlązak J., Szlązak N. (1999): Zagrożenie metanowe w kopalniach węgla kamiennego i jego zwalczanie. Materiały 1 Szkoły Aerologii Górniczej, Zakopane.
- [61] Roszkowski J., Nowak B., Ptaszyński B. (2002): Wykonanie kompleksowej oceny zdolności sieci wentylacyjnej nowego modelu KWK „Jankowice”. Dokumentacja pracy badawczej AGH, Kraków.
- [62] Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych. Dz. U. z 2017 r. Poz. 1052.
- [63] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych. Dz. U. Nr 139, poz. 1169, z 2006 r. Nr 124, poz. 863 oraz z 2010 r. Nr 126, poz. 855 z późn. zm.
- [64] Rozporządzenie Prezesa Rady Ministrów z dnia 1 sierpnia 1969 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy oraz bezpieczeństwa pożarowego w podziemnych zakładach górniczych. Dz. U. z 1969 r. Nr 24, poz. 176 z późn. zm.

- [65] Rozporządzenie Ministra Przemysłu i Handlu z dnia 14 kwietnia 1995 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych. Dz. U. z 1995 r. Nr 67 poz. 342 z późn. zm.
- [66] Słowik A., Trenczek S. (2018): Regulacja przewietrzania w rejonowym prądzie powietrza odprowadzanym do szybu wydechowego jako element optymalizacji i stabilizacji sieci wentylacyjnej kopalni na przykładzie KWK ROW Ruch Jankowice. *Górnictwo – perspektywy i zagrożenia. Systemy wspomagania w inżynierii produkcji*. Vol. 7, issue 1. Wyd. P.A. Nova, Gliwice 2018.
- [67] Słowik A., Jendrzejek K., Trenczek S. (2018): Regulacja w grupowym prądzie powietrza odprowadzanego z komór przyszybowych – 15 lat doświadczeń KWK ROW Ruch Jankowice. *Materiały Jubileuszowej XXV Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej z cyklu Górnictwo i Zagrożenia Naturalne 2018 nt.: „Zagrożenia naturalne na dużych głębokościach”*. Jaworze k. Bielska-Białej, 7-9 listopada 2018, wersja elektroniczna, Wyd. GIG, Katowice 2018
- [68] Słowik A., Trenczek S. (2020): Miejsce zabudowy tamy regulacyjnej w kontekście oddziaływania depresji szybu wentylacyjnego na zaburzenia geologiczne i tamy izolujące zroby. *Materiały XXIX Szkoły Eksploatacji Podziemnej*, 23-25.02.2020. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- [69] Strumiński A. (1973): Wyrównywanie wyników pomiarów potencjału powietrza w kopalnianych sieciach wentylacyjnych. Wyd. GIG, Katowice.
- [70] Strumiński A. (1974): Prognozowanie naturalnego rozplywu powietrza w kopalnianych sieciach wentylacyjnych. Wyd. GIG, Katowice.
- [71] Strumiński A. (1985): Optymalizacja rozplywów powietrza w projektowanych sieciach wentylacyjnych kopalń głębinowych. *Sieci pasywne*. Wyd. Ossolineum, Wrocław.
- [72] Strumiński A. (1987): Zwalczanie pożarów podziemnych w kopalniach. Wyd. Ossolineum, Wrocław.
- [73] Strumiński A. (1996): Zwalczanie pożarów w kopalniach głębinowych. Wyd. Śląsk sp. z o.o., Katowice.
- [74] Strumiński A., Madeja-Strumińska B. (1998): Optymalne przewietrzanie rejonów eksploatacyjnych w kopalniach rud miedzi. *Rudy i Metale Nieżelazne*, 1998, nr 12.
- [75] Strumiński A., Madeja-Strumińska B. (1999): Ekonomiczność swobodnego i wymuszonego przewietrzania wyrobisk górniczych. *Cuprum* 1999, nr 10.
- [76] Sułkowski J. (1998): Niektóre problemy wentylacji ścian w warunkach współwystępowania zagrożeń naturalnych. *Materiały 1. Szkoły Eksploatacji Podziemnej*, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- [77] Sułkowski J. (2008): Rejon wentylacyjny, a rejon ściany w kopalniach węgla kamiennego. *Prace naukowe GIG*, nr II/2008, Katowice.
- [78] Szlązak J. (1980): Wpływ uszczelnienia chodników przyścianowych na przepływ powietrza przez zroby. *Praca doktorska AGH*, Kraków.
- [79] Szlązak J. (2000): Przepływ powietrza przez strefę zawału w świetle badań teoretycznych i eksperymentalnych. *Rozprawy Monografie*. UWND AGH Kraków.
- [80] Szlązak J. (2002): Numerical determination of velocity field of airflow in gob. *Archives of Mining Sciences*, Vol. 47, Issue 1.

- [81] Szlązak J. (2010): Metody obliczania rozprywu powietrza i rozkładu stężenia metanu w zrobach ścian zawałowych. Przykłady wykorzystania. Monografia, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- [82] Szlązak N., Szlązak J. (2005): Filtracja powietrza przez zroby ścian zawałowych w kopalniach węgla kamiennego. UWND AGH Kraków.
- [83] Szlązak N., Borowski M., Korzec M., Obracaj D., Swolkień J. (2011): Analiza systemów wentylacyjnych pod kątem możliwości lokalizacji w nich georeaktora podziemnego zgazowania węgla. Materiały 6 Szkoły Aerologii Górniczej, Wyd. AGH Kraków.
- [84] Szlązak N., Obracaj D., Swolkień J. (2013): Wpływ eksploatacji podpoziomowej na rozprływ powietrza w sieci wentylacyjnej kopalni węgla. Górnictwo i Geologia, Kwartalnik Politechniki Śląskiej 2013, t. 8 nr 4.
- [85] Szlązak N., Borowski M., Obracaj D., (2004): Wykonanie schematu potencjalnego wraz z analizą sieci wentylacyjnej w aspekcie aktualnej i projektowanej rozcinki w KWK „Jankowice”. Dokumentacja pracy badawczo-usługowej AGH Kraków.
- [86] Szlązak N., Borowski M., Obracaj D., Kapusta M. (2005): Wykonanie schematu potencjalnego wraz z analizą sieci wentylacyjnej KWK „Jankowice”. Dokumentacja pracy badawczo-usługowej AGH Kraków.
- [87] Szywacz J. (2001): System monitorowania i kontroli potencjałów aerodynamicznych w kopalniach głębinowych. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, 2001 nr 9.
- [88] Trenczek S., Buchwald P., Nalepa R. (1999): Azotowanie zrobów ściany zawałowej przy wariantowo różnych przepływach powietrza i różnicach potencjału aerodynamicznego. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, 1999, nr 5.
- [89] Trenczek S. (2006): Stosowanie schodzących prądów powietrza w aspekcie zagrożeń naturalnych. Kopaliny 2006, nr 2/3.
- [90] Trenczek S. (2010): Automatyczna aerometria górnicza – kluczowy element strategicznych decyzji w zarządzaniu procesem produkcyjnym. Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej 2010, Wyd. IGSMiE PAN Kraków.
- [91] Trenczek S. (2010): Ocena zagrożenia pożarami endogenicznymi pokładów węgla kamiennego i sposoby jego zapobiegania. Monografia, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- [92] Trutwin W. (1972): Wpływ warunków przewietrzania na stężenie metanu w wyrobiskach kopalnianych. Archiwum Górnictwa t. 11, z.2.
- [93] Trutwin W. (1999): Pomiaroznawstwo i monitorowanie wentylacji kopalń. Materiały 1 Szkoły Aerologii Górniczej, Zakopane.
- [94] Turkiewicz W. (2002): Optymalny rozprływ powietrza w sieci wentylacyjnej warunkiem zmniejszenia kosztów przewietrzania kopalni. Rudy i Metale Nieżelazne 2002, nr 12.
- [95] Wasilewski S. (1998): Stany nieustalone przepływu powietrza i stężeń metanu w wyrobiskach podziemnych. Wyd. Centrum Mechanizacji i Automatyzacji Górnictwa EMAG Katowice.
- [96] Wasilewski S. (2009): Badanie zmian ciśnienia barometrycznego w kopalniach głębinowych. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, nr 4.
- [97] Waclawik J., Roszczynialski W. (1983): Aerologia górnicza. PWN, Warszawa.
- [98] Waclawik J., Białas S., Branny M., Roszczynialski W. (1984): Algorytmy i programy wentylacji i klimatyzacji kopalń. Wydawnictwo Śląsk, Katowice.

- [99] Waclawik J. (1999): Problemy wentylacji i klimatyzacji kopalń. Materiały 1 Szkoły Aerologii Górniczej, Zakopane.
- [100] Waclawik J. (2010): Wentylacja kopalń. Tom 1 i 2. Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków.
- [101] Woźnica C., Rodziewicz M. (1989): Nowe rozwiązania regulacji rozptyłu powietrza na wylotach w rejonów wentylacyjnych. Wiadomości Górnicze, nr 6.
- [102] Woźnica C., (1994): Stabilność sieci wentylacyjnej kopalń w aspekcie stosowanych nowych rozwiązań tam wentylacyjnych. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej nt. „Zagrożenia metanowe w górnictwie”. Wyd. GIG Katowice.