

Narzędzia komputerowe dla wariantowych symulacji procesu przewietrzania z dostępem do czujników systemu gazometrycznego kopalni

WACŁAW DZIURZYŃSKI, TERESA PAŁKA, ANDRZEJ KRACH, STANISŁAW WASILEWSKI

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

Streszczenie

Rozwój narzędzi komputerowych do wariantowych symulacji i analizy procesu przewietrzania w warunkach pracy zestawów wydobywczych (kombajn, przenośnik, obudowa) wymaga aktualizacji zastosowanych modeli w programie komputerowym poprzez rozbudowę o elementy procesu przewietrzania dotychczas pomijane. W pracy przyjęto zastosowanie czujników systemu gazometrycznego dla przygotowania danych początkowych i brzegowych dla prowadzenia wariantowych symulacji procesu przewietrzania w warunkach dopływu metanu. Rozpoczynając symulację, istotnym jest prawidłowe, zgodne z rzeczywistym dopływem metanu przygotowanie danych. Prowadzi to do wykonania tzw. bilansu masy metanu i wyznaczenie źródeł poprzez wskazanie miejsca jego wydzielania (np. zroby, calizna, przenośnik, przodki przygotowawcze) i wielkości dopływu masy metanu.

W pracy przedstawiono rozważania poświęcone problemowi wyznaczania strumieni masy gazów, a w szczególności dopływu metanu do węzłów sieci i do wyrobisk rejonów eksploatacji systemami ścianowymi. Opracowano nowe procedury i algorytmy połączonego programu komputerowego *VentGraph* z modulem *VentZroby* tworząc program o nazwie *VentGraph-plus* (Dziurzyński i in., 2015b) dla wyznaczania bilansu gazowego w wyrobiskach kopalni, szczególnie bilansu metanu w rejonach i w pozostałych wyrobiskach kopalni. Celem sprawdzenia poprawności przyjętych procedur i algorytmów przygotowano przykład obliczeniowy dla rejonu ściany 420 i zrobów oraz z rejonu zlikwidowanej ściany 421 kopalni „W”. Wyznaczono strumień masy metanu dopływającego z rejonu ściany na podstawie danych zmierzonych w okresie dwu tygodni przez zainstalowane w rejonie ściany czujniki metanu i prędkości systemu gazometrycznego oraz przez dodatkowe pomiary ręczne. Uzyskane wyniki przedstawiono w postaci tabelarycznej i graficznej. Stwierdzono poprawność przyjętych procedur i algorytmów oraz ich przydatność do bilansowania metanu w wyrobiskach kopalni.

Słowa kluczowe: symulacja procesu przewietrzania, bilans metanu, rejestracja parametrów powietrza w kopalni, system gazometrii automatycznej

1. Wprowadzenie

Rozwój narzędzi komputerowych do wariantowych symulacji i analizy procesu przewietrzania w warunkach pracy zestawów wydobywczych (kombajn, przenośnik, obudowa) wymaga aktualizacji zastosowanych modeli w programie komputerowym poprzez rozbudowę o elementy procesu przewietrzania dotychczas pomijane. Zastosowanie czujników systemu gazometrycznego dla przygotowania danych początkowych, brzegowych i w trakcie symulacji procesu przewietrzania np. dla walidacji lub sterowania postępowaniem kombajnu ścianowego pozwoli na poprawę wiarygodności wyników symulacji komputerowych. Docelowo prowadzi to do opracowania zasad optymalizacji procesu eksploatacji węgla przez zestawy wydobywcze przy spełnieniu kryterium bezpiecznej eksploatacji, zgodnej z przepisami górnictwami i oczekiwaniami załóg górnictw.

Wykonanie wiarygodnej prognozy procesu przewietrzania wyrobisk kopalni przy zastosowaniu komputerowych programów symulacji wymaga utworzenia modelu matematycznego sieci wentylacyjnej obejmującego topologię sieci i jej parametry. Parametry takie jak opory aerodynamiczne bocznic, charakterystyki wentylatorów, metanowość złóż węgla i zrobów, parametry pracy maszyn urabiających, tworzą bazę

danych konieczną do utworzenia modelu sieci wentylacyjnej. Baza ta utworzona jest z wyników pomiarów przyrządami ręcznymi oraz z rejestracji pochodzących z systemu monitoringu sieci wentylacyjnej, w skład którego wchodzi system gazometrii. Wiele parametrów nie jest mierzonych bezpośrednio lecz są obliczane z wyników pomiarów pośrednich. Do takich parametrów należą opory aerodynamiczne wyrobisk i wielkość emisji metanu (lub innego gazu, np. siarkowodoru, tlenku węgla) z poszczególnych źródeł (urabiana calizna, urobek, zroby, ognisko pożaru). Opór aerodynamiczny bocznicy wentylacyjnej oblicza się z wyników pomiaru prędkości powietrza, pola przekroju wyrobiska, różnicy ciśnień statycznych na końcach bocznicy i temperatur suchej i wilgotnej. Ponieważ pomiarów pozwalających obliczyć opór bocznicy jest zbyt mało, aby obliczyć opory wszystkich bocznic sieci, to konieczne jest uzupełnienie brakujących oporów. Zagadnieniu temu poświęcona była praca W. Dziurzyńskiego, A. Kracha i T. Pałki (2015a), natomiast niżej przedstawione rozważania poświęcone są problemowi wyznaczania strumieni masy gazów, a w szczególności dopływu metanu do węzłów sieci i do wyrobisk rejonów eksploatacji systemami ścianowymi.

2. Wyznaczenie bilansu metanu w wyrobiskach sieci wentylacyjnej

Realizacja celu badań wymaga przedstawienia zastosowanego modelu bilansu masy mieszaniny gazów przepływających w sieci wyrobisk, a następnie opracowania procedur i algorytmów programu komputerowego *VentGraph-plus* (Dziurzyński i in., 2015) dla wyznaczania bilansu gazowego w wyrobiskach kopalni, szczególnie bilansu metanu w rejonach i w pozostałych wyrobiskach kopalni na podstawie danych z systemem gazometrii automatycznej.

Dla węzła sieci wentylacyjnej o numerze i , do którego dodatkowo dopływają inne gazy (np. metan, dwutlenek i tlenek węgla), obowiązuje bilans strumieni masy

$$\sum_{j=1}^J a_{i,j} Q_{Mj} + Q_{Mdi} = 0 \quad (1)$$

gdzie:

- J – ilość bocznic w sieci wentylacyjnej,
- Q_{Mj} – strumień masy powietrza w j -tej bocznicy,
- Q_{Mdi} – strumień masy mieszaniny gazów dopływający do i -tego węzła,
- $a_{i,j}$ – element macierzy incydencji węzłowo-bocznicy (i – nr węzła, j – nr bocznicy).

Ustalono, że:

- $a_{i,j} = 1$ gdy dla j -tej bocznicy przyjęto kierunek przepływu powietrza do i -tego węzła,
- $a_{i,j} = -1$ gdy dla j -tej bocznicy przyjęto kierunek przepływu powietrza z i -tego węzła,
- $a_{i,j} = 0$ gdy j -ta bocznica nie jest incydentna do i -tego węzła,

Zamiast macierzy incydencji węzłowo-bocznicy topologia sieci wentylacyjnej może być zapisana w postaci listy bocznic, tj. w postaci dwóch macierzy kolumnowych, gdzie w jednej zapisane są numery węzłów początkowych bocznic, a w drugiej numery węzłów końcowych ($w1_j$ i $w2_j$, gdzie j – nr bocznicy), lub w postaci macierzy o wymiarach $2 \times J$, gdzie $w1_j$ jest numerem węzła początkowego, a $w2_j$ jest numerem węzła końcowego j -tej bocznicy. Wówczas współczynniki $a_{i,j}$ macierzy incydencji można obliczyć następująco:

$$w1_j = i \Rightarrow a_{i,j} = -1, \quad w2_j = i \Rightarrow a_{i,j} = 1, \quad w1_j \neq i \wedge w2_j \neq i \Rightarrow a_{i,j} = 0 \quad (2)$$

Rozróżniając strumienie masy dopływające do węzła (po lewej stronie równości) i strumienie masy wypływające z węzła bilans strumieni masy można zapisać następująco:

$$\frac{1}{2} \sum_{j=1}^J (|a_{i,j} Q_{Mj}| + a_{i,j} Q_{Mj}) + Q_{Mdi} = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^J (|a_{i,j} Q_{Mj}| - a_{i,j} Q_{Mj}) \quad (3)$$

Całkowity strumień masy mieszaniny gazów dopływających do i -tego węzła jest sumą strumieni składników

$$Q_{Mdi} = \sum_{n=1}^N Q_{Mdn,i} \quad (4)$$

gdzie:

N – ilość składników gazowych dopływających do i -tego węzła,

Q_{Mdi} – strumień masy n -tego składnika mieszaniny gazów.

Bilans strumieni masy dla i -tego węzła i dla n -tego składnika gazowego ma następującą postać

$$\frac{1}{2} \sum_{j=1}^J (|a_{i,j} Q_{Mj}| + a_{i,j} Q_{Mj}) C_{Mb n,j} + Q_{Mdi} = \frac{1}{2} C_{Mwn,i} \sum_{j=1}^J (|a_{i,j} Q_{Mj}| - a_{i,j} Q_{Mj}) \quad (5)$$

gdzie:

$C_{Mb n,j}$ – udział masowy n -tego składnika w powietrzu w j -tej boczniczy,

$C_{Mwn,i}$ – udział masowy n -tego składnika w powietrzu wypływającym z i -tego węzła,

Q_{Mdi} – strumień masy n -tego składnika dopływający do i -tego węzła.

Mając dane wartości udziałów masowych n -tego składnika mieszaniny gazów w niektórych strumieniach powietrza wypływających z i -tego węzła i w bocznicach, gdzie brakuje tych danych przyjmując $C_{Mb n,j} = 0$, udział masowy $C_{Mwn,i}$ można obliczyć następująco

$$C_{Mwn,i} = \frac{\sum_{j=1}^J [|a_{i,j}| - a_{i,j} \operatorname{sgn}(Q_{Mj})] C_{Mb n,j}}{\sum_{j=1}^J [|a_{i,j}| - a_{i,j} \operatorname{sgn}(Q_{Mj})] \operatorname{sgn}(C_{Mb n,j})} \quad (6)$$

Bilans strumieni masy dla rejonu wentylacyjnego, gdzie można wyróżnić bocznicę, przez które powietrze dopływa do rejonu lub z niego wypływa (bocznicę graniczną rejonu) ma następującą postać:

$$\sum_{j=1}^J b_j Q_{Mj} + Q_{Mdr} = 0 \quad (7)$$

gdzie:

Q_{Mdr} – dodatkowy dopływ gazu do rejonu (poza dopływem bocznicami),

b_j – element macierzy kolumnowej taki, że:

$b_j = 1$ gdy dla j -tej boczniczy przyjęto kierunek przepływu powietrza do rejonu,

$b_j = -1$ gdy dla j -tej boczniczy przyjęto kierunek przepływu powietrza z rejonu, (j -ta bocznicza jest bocznicą graniczną rejonu),

$b_j = 0$ gdy j -ta bocznicza nie jest bocznicą graniczną rejonu.

Jeżeli numery bocznic granicznych rejonu zapisane są w postaci macierzy kolumnowej, gdzie elementy tej macierzy g_k są równe numerom bocznic granicznych ze znakiem wskazującym kierunek przepływu powietrza, to elementy b_j są równe

$$g_k = j \Rightarrow b_j = 1, \quad g_k = -j \Rightarrow b_j = -1, \quad g_k \wedge |j| \Rightarrow b_j = 0 \quad (8)$$

W tym przypadku równanie (7) można zapisać w postaci

$$\sum_{k=1}^K \operatorname{sgn}(g_k) Q_{M|g_k|} + Q_{Mdr} = 0 \quad (9)$$

gdzie K – liczba bocznic granicznych rejonu.

Jest to istotne przy obliczeniach numerycznych dużych sieci wentylacyjnych, ponieważ $K \ll J$.

Bilans strumieni masy dla rejonu i dla n -tego składnika gazu ma następującą postać

$$\sum_{j=1}^J b_j Q_{Mj} C_{Mb n,j} + Q_{Mdr n} = 0 \quad (10)$$

gdzie:

$C_{Mb n,j}$ – udział masowy n -tego składnika w powietrzu w j -tej boczniczy,

$Q_{Mdr n}$ – strumień masy n -tego składnika dopływający do rejonu.

Uwzględniając związki (8) w równaniu (10) otrzymuje się

$$\sum_{k=1}^K \operatorname{sgn}(g_k) Q_{M|g_k} C_{Mb_{n,|g_k}} + Q_{Mdr n} = 0 \quad (11)$$

Strumień masy i strumień objętości mieszaniny powietrza i gazów zrobowych związane są zależnością

$$Q_M = \rho Q_V \quad (12)$$

gdzie ρ – gęstość mieszaniny powietrza i gazów zrobowych, dana zależnością

$$\rho = \frac{p}{T \sum_{n=1}^N C_{Mn} \mathfrak{R}_n} = \frac{p}{T \left[\mathfrak{R}_p + \sum_{n=1}^{N-1} C_{Mn} (\mathfrak{R}_n - \mathfrak{R}_p) \right]} \quad (13)$$

gdzie:

- p – ciśnienie barometryczne,
- T – temperatura absolutna powietrza,
- C_{Mn} – udział masowy n -tego składnika mieszaniny,
- \mathfrak{R}_n – stała gazowa n -tego składnika.
- \mathfrak{R}_p – stała gazowa powietrza.

Udział objętościowy i udział masowy związane są następującymi zależnościami

$$C_{Vn} = \frac{C_{Mn} \mathfrak{R}_n}{\sum_{k=1}^N C_{Mk} \mathfrak{R}_k} = \frac{C_{Mn} \mathfrak{R}_n}{\mathfrak{R}_p + \sum_{k=1}^{N-1} C_{Mk} (\mathfrak{R}_k - \mathfrak{R}_p)} \quad (14)$$

$$C_{Mn} = \frac{\frac{C_{Vn}}{\mathfrak{R}_n}}{\sum_{k=i}^N \frac{C_{Vk}}{\mathfrak{R}_k}} = \frac{\frac{C_{Vn}}{\mathfrak{R}_n}}{\frac{1}{\mathfrak{R}_p} + \sum_{k=i}^{N-1} C_{Vk} \left(\frac{1}{\mathfrak{R}_k} - \frac{1}{\mathfrak{R}_p} \right)} \quad (15)$$

Jeżeli znane są wartości strumieni masy powietrza w bocznicach incydentnych z i -tym węzłem i udziały masowe n -tego składnika w strumieniach powietrza dopływających do węzła i udział masowy w strumieniu powietrza wypływającym z węzła, np. obliczone z wartości strumieni objętości powietrza (12), (13) i udziałów masowych obliczonych z udziałów objętościowych (15) otrzymanych z pomiarów ręcznych lub z systemu monitoringu wentylacji, to z równania (4) można obliczyć strumień masy n -tego składnika gazu dopływającego do węzła.

$$Q_{Mdn,i} = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^J \left[\left(|\alpha_{i,j} Q_{Mj}| - \alpha_{i,j} Q_{Mj} \right) C_{Mwn,i} - \left(|\alpha_{i,j} Q_{Mj}| + \alpha_{i,j} Q_{Mj} \right) C_{Mb_{n,j}} \right] \quad (16)$$

Tworząc bilans gazowy dla wydzielonego rejonu kopalni można wyznaczyć strumień masy n -tego składnika gazu dopływającego do rejonu

$$Q_{Mdr n} = - \sum_{j=1}^J b_j Q_{Mj} C_{Mb_{n,j}} \quad (17)$$

lub

$$Q_{Mdr n} = - \sum_{k=1}^K \operatorname{sgn}(g_k) Q_{M|g_k} C_{Mb_{n,|g_k}} \quad (18)$$

Dla dwuskładnikowych mieszanin gazowych, na przykład metanu i powietrza (które samo jest mieszaniną wieloskładnikową) wzory (13), (14) i (15) przyjmują postać:

– gęstość powietrza

$$\rho = \frac{p}{T \left[\mathfrak{R}_p + C_M (\mathfrak{R} - \mathfrak{R}_p) \right]} \quad (19)$$

– udział objętościowy

$$C_V = \frac{C_M \mathfrak{R}}{\mathfrak{R}_p + C_M (\mathfrak{R} - \mathfrak{R}_p)} \quad (20)$$

– udział masowy

$$C_M = \frac{\mathfrak{R}_p C_V}{\mathfrak{R} + C_V (\mathfrak{R}_p - \mathfrak{R})} \quad (21)$$

gdzie:

- p – ciśnienie barometryczne,
- T – temperatura absolutna gazu,
- C_V – udział objętościowy składnika gazu,
- C_M – udział masowy składnika gazu,
- \mathfrak{R} – stała gazowa składnika,
- \mathfrak{R}_p – stała gazowa powietrza.

Uwzględniając związek (3) w równaniu (16) dla mieszaniny powietrza i gazu zrobowego otrzymuje się następujący wzór na strumień masy gazu dopływającego do i -tego węzła

$$Q_{Mdi} = \frac{\sum_{j=1}^J (|\alpha_{i,j} Q_{Mj}| + \alpha_{i,j} Q_{Mj}) (C_{Mwi} - C_{Mb_j})}{2(1 - C_{Mwi})} \quad (22)$$

Dla małych wartości strumienia masy gazu Q_{Mdi} dopływającego do węzła w porównaniu z strumieniem masy powietrza dopływającego bocznkami do tego węzła

$$Q_{Mdi} \ll \sum_{j=1}^J (|\alpha_{i,j} Q_{Mj}| + \alpha_{i,j} Q_{Mj}) \quad (23)$$

można przyjąć zależność (3) w postaci

$$\sum_{j=1}^J (|\alpha_{i,j} Q_{Mj}| - \alpha_{i,j} Q_{Mj}) \approx \sum_{j=1}^J (|\alpha_{i,j} Q_{Mj}| + \alpha_{i,j} Q_{Mj}) \quad (24)$$

W normalnych warunkach eksploatacji takie uproszczenie można przyjąć dla dopływu metanu z urabianej kalizny węglowej, z odstawianego urobku i z zrobów w kopalniach węgla kamiennego oraz dopływu siarkowodoru w kopalniach rudy miedzi. Dotyczy to również dopływu gazów pożarowych w przypadku pożaru podziemnego.

Dalej, gdy spełnione są warunki

$$\sum_{n=1}^{N-1} C_{Mn} \left(\frac{\mathfrak{R}_n}{\mathfrak{R}_p} - 1 \right) \ll 1 \quad \sum_{n=i}^{N-1} C_{Vn} \left(\frac{\mathfrak{R}_p}{\mathfrak{R}_n} - 1 \right) \ll 1 \quad (25)$$

można uprościć zależności (13), (14) i (15)

– gęstość powietrza

$$\rho = \frac{p}{T \mathfrak{R}_p} = \rho_N \frac{T_N}{p_N} \frac{p}{T} = 3,5 \cdot 10^{-3} \frac{p}{t + 273} \quad (26)$$

– udział objętościowy i masowy

$$C_{Vn} = \frac{\mathfrak{R}_n}{\mathfrak{R}_p} C_{Mn} \quad C_{Mn} = \frac{\mathfrak{R}_p}{\mathfrak{R}_n} C_{Vn} \quad (27)$$

gdzie:

- ρ_N – gęstość powietrza w warunkach normalnych ($\rho_N = 1,293 \text{ kg/m}^3$),
- T_N – temperatura normalna ($T_N = 273,15 \text{ K}$),
- p_N – ciśnienie barometryczne normalne ($p_N = 101325 \text{ Pa}$),
- p – ciśnienie barometryczne
- t – temperatura powietrza w $^{\circ}\text{C}$
- \mathfrak{R}_n – stała gazowa n -tego składnika mieszaniny,
- \mathfrak{R}_p – stała gazowa powietrza.

Teraz, jeżeli zmierzone są strumienie objętości w bocznicach, którymi powietrze dopływa do węzła i udziały objętościowe składników gazu w tych strumieniach oraz udziały objętościowe składników gazu w powietrzu wypływającym z węzła, to uwzględniając równość (24) w zależności (16), strumień masy n -tego składnika gazu dopływającego do węzła można obliczyć następująco

$$Q_{Mdn,i} = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^J (|\alpha_{i,j} Q_{Mj}| + \alpha_{i,j} Q_{Mj}) (C_{Mwn,i} - C_{Mbn,j}) \quad (28)$$

Podstawiając do powyższej zależności związki (12), (26) i (27) otrzymuje się strumień masy n -tego składnika gazu dopływającego do i -tego węzła

$$Q_{Mdn,i} = \frac{p_i}{2\mathfrak{R}_n} \sum_{j=1}^J \frac{1}{t_j + 273} (|\alpha_{i,j} Q_{Vj}| + \alpha_{i,j} Q_{Vj}) (C_{Vwn,i} - C_{Vbn,j}) \quad (29)$$

gdzie:

- p_i – ciśnienie barometryczne w i -tym węźle,
- t_j – temperatura powietrza w $^{\circ}\text{C}$ w miejscu pomiaru strumienia objętości powietrza Q_{Vj} ,
- Q_{Vj} – strumień objętości powietrza w j -tej bocznicy,
- $C_{Vbn,j}$ – udział objętościowy n -tego składnika gazu w strumieniu powietrza w j -tej bocznicy,
- $C_{Vwn,i}$ – udział objętościowy n -tego składnika gazu w strumieniu powietrza w i -tej bocznicy,
- \mathfrak{R}_n – stała gazowa n -tego składnika.

Dla rejonu wentylacyjnego zależność (29) będzie miała następującą postać

$$Q_{Mdrn} = -\frac{p_r}{\mathfrak{R}_n} \sum_{j=1}^J \frac{b_j Q_{Vj} C_{Vbn,j}}{t_j + 273} \quad (30)$$

lub

$$Q_{Mdrn} = -\frac{p_r}{2\mathfrak{R}_n} \sum_{k=1}^K \frac{\text{sgn}(g_k) Q_{V|g_k|} C_{Vbn,|g_k|}}{t_{|g_k|} + 273} \quad (31)$$

Średnie ciśnienie barometryczne dla rejonu można obliczyć jako średnią arytmetyczną ciśnień barometrycznych w węzłach leżących na brzegu rejonu, incydentnych z bocznicami granicznymi rejonu.

$$p_r = \frac{\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I (|b_j| |a_{i,j}| + b_j a_{i,j}) p_i}{\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I (|b_j| |a_{i,j}| + b_j a_{i,j})} \quad (32)$$

lub

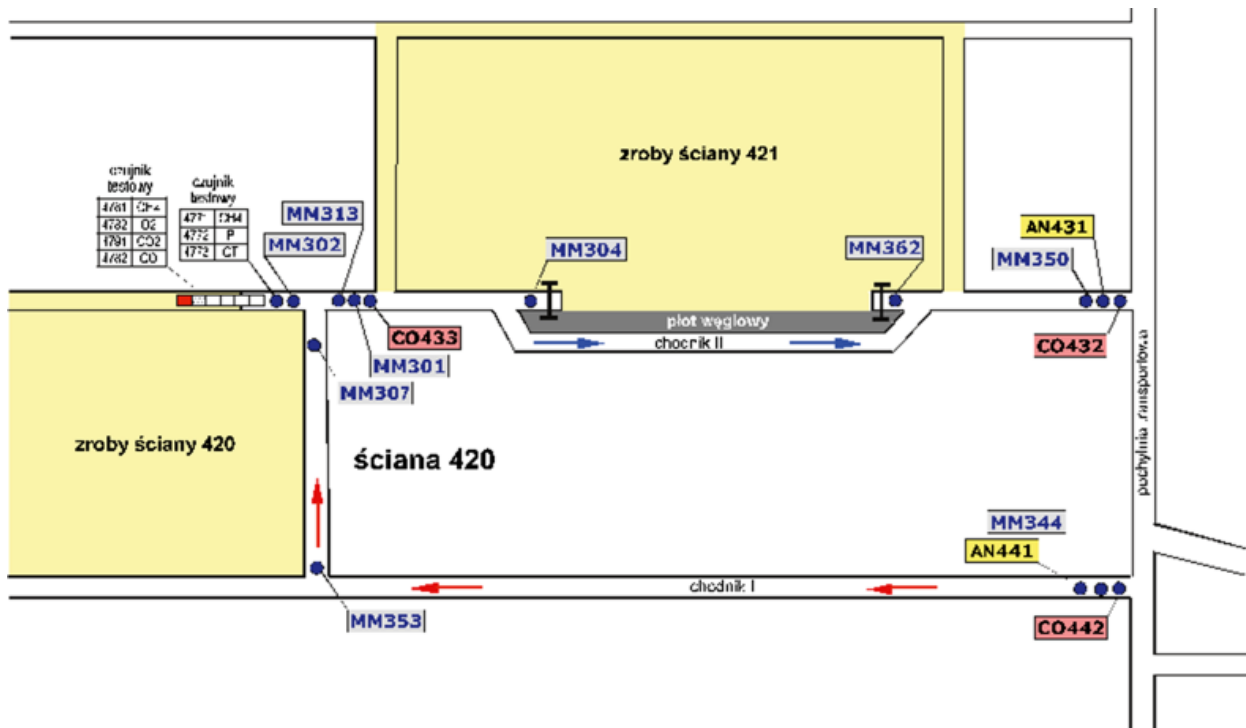
$$p_r = \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I \left(|a_{i|g_k}| + a_{i|g_k} \right) p_i}{\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I \left(|a_{i|g_k}| + a_{i|g_k} \right)} \quad (33)$$

gdzie p_i – ciśnienie barometryczne w i -tym węźle.

3. Badania modelowe rozkładu stężenia metanu w rejonie ściany 420 – przykład

3.1. Monitorowanie ściany 420 pokład 418B w systemie gazometrii automatycznej

Ściana 420 w pokładzie 418 była, zgodnie z wymogami, w całości objęta systemem zabezpieczeń metanometrycznych w systemie gazometrii automatycznej oraz włączona do kopalnianego systemu nadzoru dyspozytorskiego. Rozmieszczenie czujników parametrów powietrza w rejonie ściany pokazano na rysunku 1.



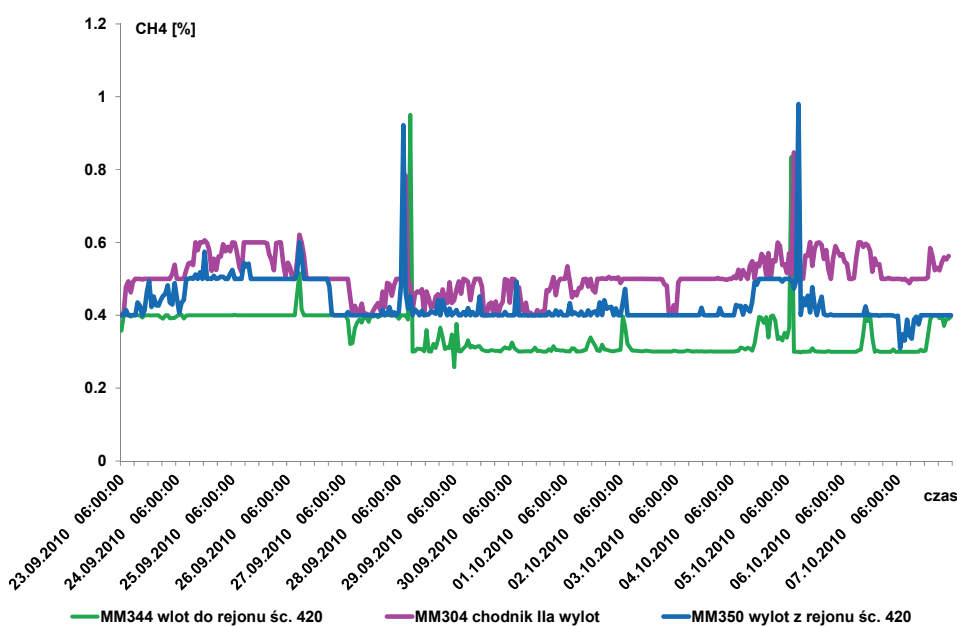
Rys. 1. Rozmieszczenie czujników w rejonie ściany 420 pokład 418

Do badań modelowych wykorzystano dwutygodniowe obserwacje parametrów powietrza obiegowego w rejonie ściany oraz stężeń gazów w zrobach w warunkach pełnej długości ściany 420 oraz zbliżania się linii (kanału) ściany 420 do przecinki badawczej ściany 421 (Rys. 1) jednak jeszcze bez kontaktu ze zrobami zlikwidowanej ściany 421.

Parametry powietrza rejestrowane w systemie gazometrii automatycznej w okresie obserwacji tj. od 23.09.2010 do 08.10.2010 r. dla wybranych czujników metanu i prędkości powietrza pokazano na rysunkach 2 i 3. Średnie za okres dwu tygodni wartości parametrów powietrza obiegowego rejestrowane w systemie gazometrii automatycznej podano w tabeli 1.

Tab. 1. Średnie wartości parametrów powietrza obiegowego w rejonie ściany 420 i 421

| Lp. | Czujnik | Lokalizacja | Jedn. | okres (23.09-8.10) |
|-----|---------|--|-------|--------------------|
| 1. | AN441 | prędkość wlot śc.420 | m/s | 1,16 |
| 2. | AN431 | prędkość wylot śc.420 | m/s | 1,62 |
| 3. | CO442 | wlot do rejonu śc. 420 | ppm | 2,4 |
| 4. | CO433 | wylot ze ściany 420 | ppm | 9,5 |
| 5. | CO432 | wylot z rejonu śc. 420 | ppm | 8,5 |
| 6. | MM344 | wlot do rejonu śc. 420 | % | 0,347 |
| 7. | MM353 | wlot do śc. 420 | % | 0,351 |
| 8. | MM307 | koniec śc. 420 | % | 0,409 |
| 9. | MM302 | wylot śc. 420 – chodnik w likwidacji | % | 0,539 |
| 10. | MM313 | za ścianą 420 | % | 0,653 |
| 11. | MM301 | wylot za śc. 420 | % | 0,423 |
| 12. | MM362 | wylot rejonu śc.420/śc.421 chodnik IIa | % | 0,451 |
| 13. | MM350 | wylot z rejonu śc. 420 | % | 0,432 |



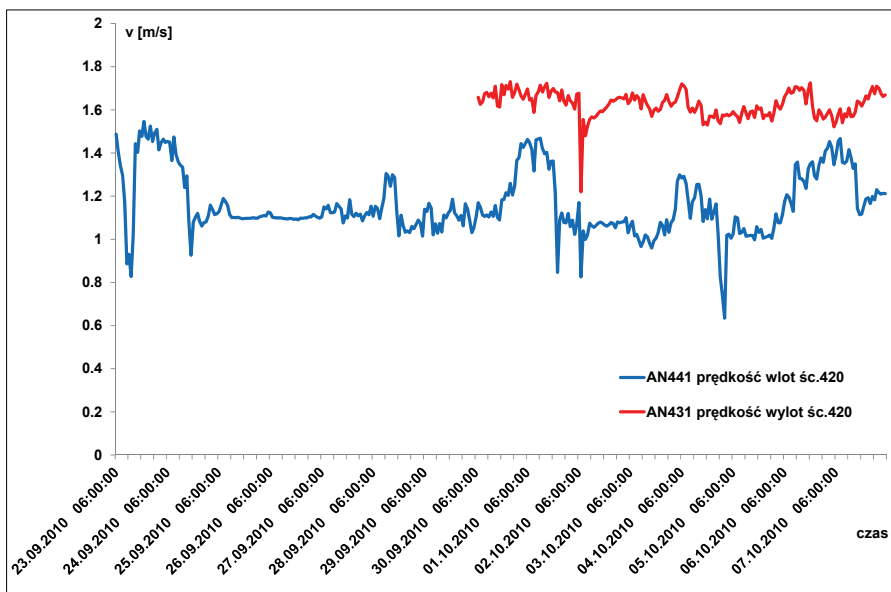
Rys. 2. Rejestracja stężenia metanu dla wybranych czujników MM344, MM301, MM350

3.2. Bilans metanu w rejonie ściany 420

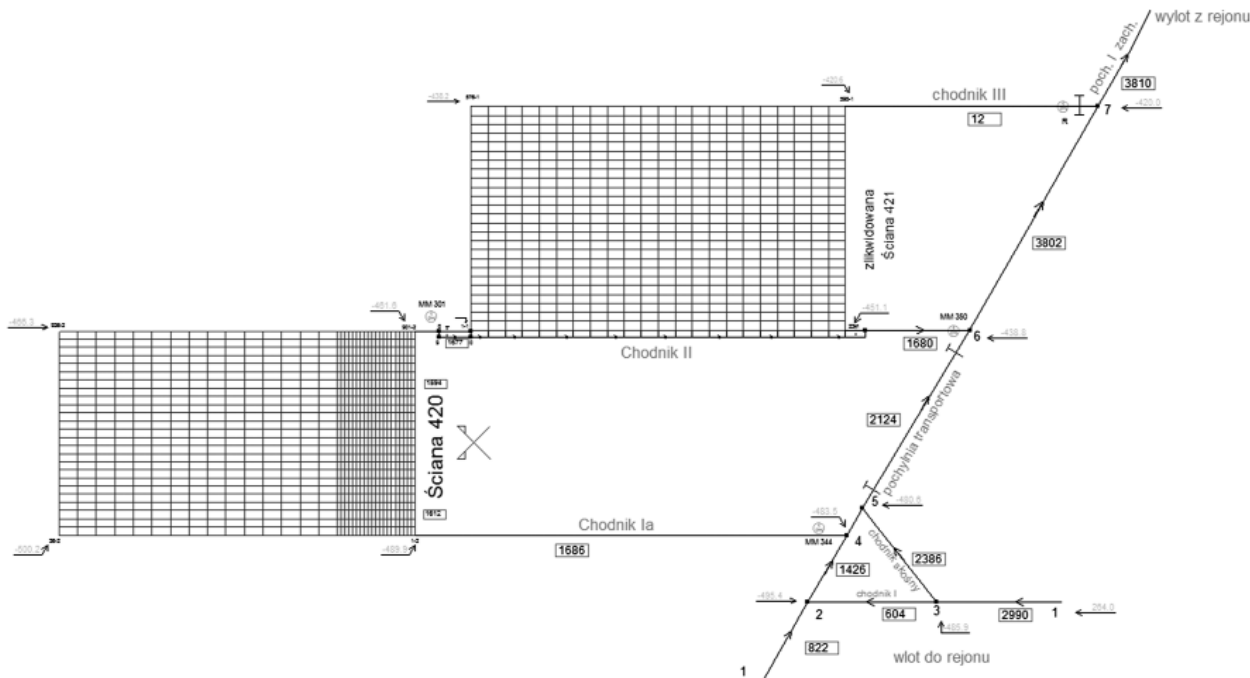
Należy wyznaczyć strumień masy metanu dopływający z rejonu ściany 420 oraz z rejonu zlikwidowanej ściany 421 pokład 418 w kopalni „W”. Na podstawie wyników rejestracji prędkości powietrza i stężenia metanu przez system monitoringu wentylacji w okresie od 23.09.2010 do 08.10.2010 r. oraz z pomiarów ręcznych określono parametry modelu numerycznego rejonu ściany 420 i 421 dla programu symulacyjnego *VentGraph-plus*. Schemat rejonu wygenerowany przez program *VentGraph-plus* pokazano na rysunku 4.

Do obliczeń wybrano czujniki metanu systemu gazometrycznego, które umieszczone były w chodniku Ia w pobliżu skrzyżowania z pochylnią transportową, czujnik MM 344 (węzeł 4 na rysunku 4), za wylotem ze ściany 420, czujnik MM 301 (pomiędzy węzłami 901-1 i 8) i na wylocie z ściany 420, w pobliżu skrzyżowania z pochylnią transportową, czujnik MM 350 (węzeł 6 na rysunku 4). Na końcu chodnika III (w pobliżu węzła 7) za tamą izolującą zroby ściany 421 pobrano próby powietrza i wykonano pomiar metanomierzem ręcznym.

Dla obliczeń wyspecyfikowano bocznicę graniczną rejonu ściany 420 i ściany 421 oraz z uśrednionych wyników rejestracji stężenia metanu otrzymanych z czujników systemu gazometrii i z pomiarów ręcznych określono stężenia metanu w tych bocznicach.



Rys. 3. Rejestracje prędkości powietrza w rejonie ściany 420, anemometr AN441 i AN431



Rys. 4. Schemat rejonu ściany 420 i 421 i zrobów wygenerowany przez program VentGraph-plus

Tab. 2. Rejon ściany 420

| Lp. | Węzeł wlot. boczny | Węzeł wylot. boczny | Nr czujnika | Stężenie CH ₄ w boczny, % |
|-----|--------------------|---------------------|-------------|--------------------------------------|
| 1. | 4 | 1-2 | MM 344 | 0,347 |
| 2. | 901-2 | 8 | MM 301 | 0,424 |

Tab. 3. Rejon ściany 421

| Lp. | Węzeł wlot. boczny | Węzeł wylot. boczny | Nr czujnika | Stężenie CH ₄ w boczny, % |
|-----|--------------------|---------------------|-------------|--------------------------------------|
| 1. | 901-2 | 8 | MM 301 | 0,424 |
| 2. | 34 | 6 | MM 350 | 0,432 |
| 3. | 596-1 | 7 | ręczny | 10,97 |

Przyjęto następujący algorytm obliczeń:

W programie komputerowym utworzono nową opcję programu „Bilans Metanu”. Uruchomienie tej opcji powoduje wprowadzenie bocznic granicznych i danych znajdujących się w Tabeli 2 i Tabeli 3. Po wprowadzeniu danych program realizuje obliczenia według przyjętego algorytmu:

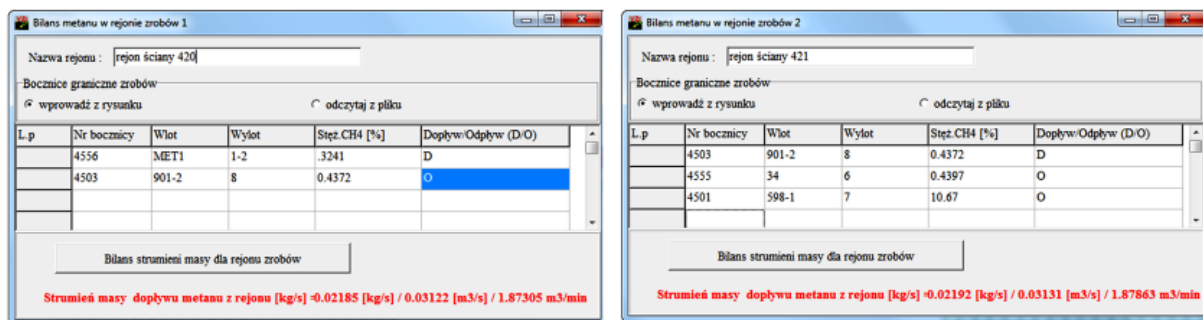
1. Określenie elementów tablicy **G** tj. numerów bocznic granicznych rejonów ze znakiem (wzór 8) i tablicy **C**, tj. udziałów masowych metanu w tych bocznicach z danych w tabeli 1 dla rejonu ściany 420, gdzie ilość bocznic granicznych $K = 2$ i w tabeli 2 dla rejonu ściany 421, gdzie ilość bocznic granicznych $K = 3$. Do przeliczenia udziałów objętościowych metanu na udziały masowe zastosować wzór (21).
2. Obliczenie za pomocą programu symulacyjnego *VentGraph-plus* rozptyłu powietrza w rejonach ściany 420 i 421.
3. Obliczenie strumieni masy metanu dopływających z zrobów ściany 420 i 421 (wzór 18). Uwzględnić, że $C_{Mb\ n,|g_k|} = C_k$, gdzie C_k jest elementem tablicy **C**.

Z obliczeń otrzymano następujące wyniki:

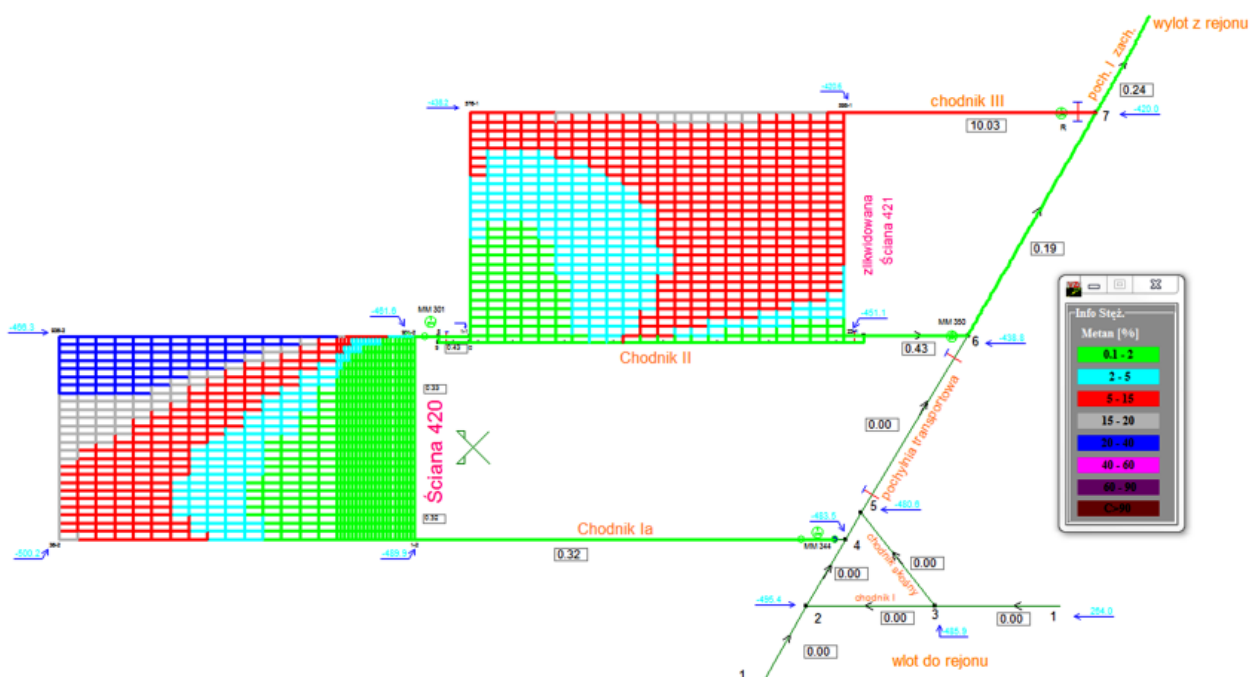
Strumień masy dopływu metanu z ściany 420: 0.02185 kg/s = 1,873 m³/min

Strumień masy dopływu metanu z ściany 421: 0.02192 kg/s = 1,878 m³/min

Teraz obliczone strumienie masy metanu wprowadzono do programu *VentGraph-plus* i wykonano symulację rozkładu stężeń metanu w rejonie ścian 420 i 421. Wynik obliczeń w postaci rozkładu stężenia metanu w zrobach i w wyrobiskach rejonu ściany 420 i 421 pokazano na rysunku 6 oraz w tabeli 4.



Rys. 5. Okno programu z obliczonym dopływem metanu do zrobów ściany 420 i 421



Rys. 6. Schemat przestrzenny rejonu ściany 420, model numeryczny, rozkład stężenia metanu w zrobach i w wyrobiskach

Porównanie wartości stężeń metanu i prędkości przepływu powietrza zarejestrowanych przez czujniki systemu gazometrycznego i stężeń i prędkości otrzymanych w wyniku symulacji numerycznej w bocznicach granicznych rejonów ściany 420 i 421 pokazano w tabeli 4.

Tab. 4. Porównanie wartości stężeń metanu otrzymanych z rejestracji przez czujniki systemu metanometrycznego i z symulacji numerycznej

| Lp. | Węzeł wlot. bocznicy | Węzeł wylot. bocznicy | Nr czujnika | Stężenie CH ₄ w bocznicy, % | |
|-----|----------------------|-----------------------|-------------|--|-------------|
| | | | | z pomiaru | z symulacji |
| 1. | 4 | 1-2 | MM 344 | 0,347 | 0,324 |
| 2. | 901-2 | 8 | MM 301 | 0,424 | 0,430 |
| 3. | 34 | 6 | MM 350 | 0,432 | 0,433 |
| 4. | 596-1 | 7 | ręczny | 10,97 | 10,02 |
| | | | | Prędkość m/s | |
| | | | | z pomiaru | z symulacji |
| 5. | 4 | 1-2 | AN441 | 1,160 | 1,73 |
| 6. | 34 | 6 | AN431 | 1,625 | 1,79 |

Porównanie wyników obliczeń pokazanych w Tabelicy 4 i na Rys. 6 z wynikami pomiarów czujnikami metanu i prędkości systemu gazometrycznego z wyznaczonym rozplywem powietrza i dopływającym do ściany i zrobów metanu, są zbliżone do wartości zmierzonych parametrów przepływu powietrza (stężenie metanu, ilość powietrza) w ścianie 420 pokład 418 w kopalni „W”.

4. Podsumowanie

Prowadzenie obliczeń programem komputerowym *VentGraph-plus* wymaga przygotowania danych wejściowych do programu. Liczba danych jest znaczna i wynika z wielkości kopalni, występujących zagrożeń oraz jest zależna od rozważanego zagadnienia. Dotychczasowa procedura postępowania bazowała na ręcznym sporządzeniu bilansu metanu w rejonie ściany, w którym dopływ metanu do zrobów i wyrobisk przyścianowych oraz dopływ metanu wynikający z pracy kombajnu i przenośnika obliczano na podstawie niepełnych informacji z czujników metanu rozmieszczonych w rejonie ściany i w pozostałych wyrobiskach. Natomiast wyznaczenie dopływu metanu z calizny czy przenośnika jest na obecnym etapie badań możliwe, ale w połączeniu z przyjętym modelem wydzielania metanu podczas urabiania kombajnem i pracy przenośnika, gdzie trzeba a priori przyjąć niektóre dane.

Wydaje się, że zastosowanie czujników metanu rozłożonych wzdłuż ściany i odpowiednio skalibrowanych, umożliwi ich wykorzystanie dla celów dokładniejszego sporządzenia bilansu metanu. Kopalniane systemy gazometrii automatycznej i nadzoru dyspozytorskiego dostarczają ogromne ilości informacji i stanowią dziś bardzo nowoczesne i rozbudowane systemy informatyczne. W kopalnianych systemach monitorowania i nadzoru parametrów powietrza stosuje się zwykle 1 minutę do agregacji wartości bieżących oraz godzinę, zmianę lub dobę do agregacji wartości w raportach. W szczególnych przypadkach okres agregacji można wydłużyć i jak pokazano w obliczeniach dla bilansu metanu przyjęto dwa tygodnie obserwacji zmian stężenia metanu dla agregacji danych. Uzyskane wyniki w zakresie wyznaczenia strumienia dopływu metanu do rejonu ściany tj. do zrobów ściany 420 i ściany zlikwidowanej 421 oraz na wlocie do ściany 420 stanowią wiarygodne dane początkowe dla wariantowych symulacji przepływu powietrza i metanu.

Praca została wykonana w roku 2015 w ramach prac statutowych realizowanych w IMG PAN w Krakowie, finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Literatura

- Dziurzyński W., Krach A., Pałka T., 2015a: *A Reliable Method of Completing and Compensating the Results of Measurements of Flow Parameters in a Network of Headings*. Arch. Min. Sci., Vol. 60, No 1, p. 3-24.
- Dziurzyński W., Krach A., Pałka T., S. Wasilewski, 2015b: *Rozwój systemów symulacji procesu przewietrzania w rejonie ściany z uwzględnieniem czujników systemu gazometrii*. Prace IMG PAN, Tom 17, Nr 1-2, s. 3-19.

Computer tools for multi variant simulation of ventilation processes with access to the mine gas monitoring system

Abstract

The development of computer tools for multi-variant simulation and analysis of ventilation processes during the longwall mining (operation of shearer, conveyor, power roof support) needs extension of models used in a computer program considering elements of ventilation process so far neglected. In the paper the way of use of mine gas monitoring system sensors for the preparation of initial and boundary data for multi-variant simulation of ventilation in the conditions of methane emission has been shown. Starting simulation, it is important to prepare data consistent with the actual inflow of methane. This leads to the implementation of the so-called methane mass balance and appointment of sources by an indication of its place (eg. goaf, coal face, conveyor, development headings) and the quantity of the mass flow of methane.

The paper presents a discussion focusing on the problem of determining the mass flow of gases, especially methane to the network nodes and branches of the longwall regions. New procedures and algorithms for determining the balance of the gas in mine workings, particularly in longwall regions and other mine workings have been developed. Coupling computer program VentGraph with a specialized goaf module VentZroby resulted in a new program named VentGraph-plus (Dziurzyński et al., 2015). In order to verify the correctness of the accepted procedures and algorithms a calculation example for the longwall region 420 and workings and the area of abandoned longwall 421 of the 'W' mine has been prepared. Upon data recorded by velocity and gas concentration monitoring during two weeks and supplementary manual measurements the methane inflow distribution has been evaluated. The results are presented in tabular and graphical form. It was found the appropriateness of the procedures and algorithms and their suitability for balancing methane in the mine workings.

Keywords: simulation of mine ventilation, methane balance, recording of mine air parameters, automatic gas monitoring system