

Stanisław Nawrat, Zbigniew Kuczera*, Sebastian Napieraj**

WPŁYW DRENAŻU NA EFEKTYWNOŚĆ ODMETANOWANIA W KOPALNI WĘGLA**

1. Wprowadzenie

Eksploatacja pokładów węgla kamiennego w polskich kopalniach jest prowadzona w warunkach zagrożeń naturalnych, często skojarzonych ze sobą, jak zagrożenia metanowe, wyrzutami metanu i skał, pożarowe i wybuchem pyłu węglowego.

Podstawową metodą opanowania zagrożenia metanowego jest odmetanowanie górotworu prowadzone głównie z wyrobisk podziemnych. Celem odmetanowania jest ujęcie i odprowadzenie metanu z pokładów węgla w celu ograniczenia emisji metanu do wyrobisk kopalni, w tym do wyrobisk eksploatacyjnych i korytarzowych.

Jednym ze sposobów oceny skuteczności procesu odmetanowania pokładów węgla dla zapewnienia bezpieczeństwa pracy jest wyznaczanie wskaźnika efektywności odmetanowania.

Efektywność procesu odmetanowania jest zależna od wielu czynników geologiczno-górnictwowych i techniczno-technologicznych, w tym głównie od:

- metanonośności pokładów węgla,
- gazoprzepuszczalności pokładów węgla i górotworu,
- systemu odmetanowania górotworu,
- parametrów instalacji odmetanowania,
- systemu wentylacji wyrobisk górniczych.

W praktyce jest możliwe oddziaływanie na czynniki techniczno-technologiczne wpływające na efektywność procesu odmetanowania. Wpływ poszczególnych czynników na efektywność procesu odmetanowania jest trudny do jednoznacznego oznaczenia i może być określony badaniami statystycznymi.

* Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

** Artykuł opracowany w ramach pracy statutowej AGH nr 11.11.100.851

Wskaźnik efektywności odmetanowania dla kopalni, wyrobisk eksploatacyjnych, wyrobisk korytarzowych i zrobów może być wyznaczony z zależności

$$E_0 = \frac{\dot{V}_0}{\dot{V}_k} \quad (1)$$

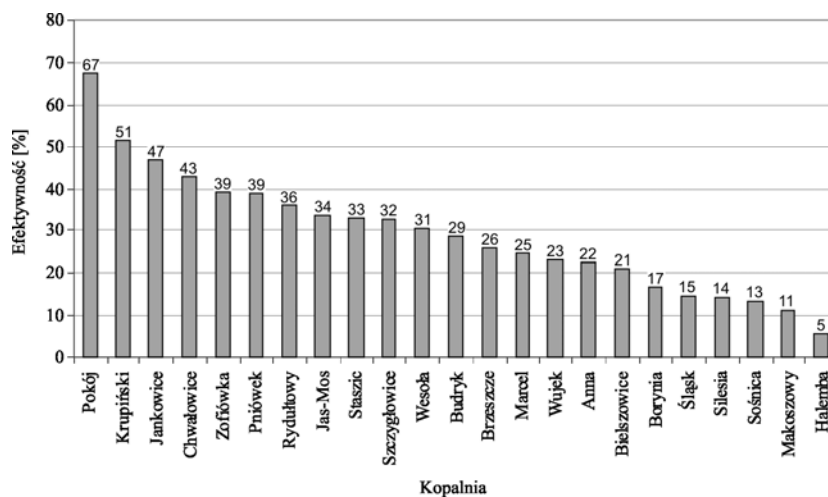
gdzie:

- E_0 — wskaźnik efektywności odmetanowania dla kopalni, wyrobisk eksploatacyjnych, korytarzowych lub zrobów;
- \dot{V}_0 — wydatek metanu ujętego odmetanowaniem z górotworu obejmującego kopalnię, wyrobiska eksploatacyjne, korytarzowe, zroby;
- \dot{V}_k — metanowość bezwzględna kopalni lub jej rejonu obejmującego wyrobiska eksploatacyjne, korytarzowe, zroby.

Problem efektywności odmetanowania analizowany i był badany przez wielu naukowców oraz praktyków [1–7, 9, 10, 13–15, 17].

2. Efektywność odmetanowania w kopalniach

W 2003 r. wskaźniki efektywności odmetanowania dla kopalń węgla kamiennego [16] były różne i wynosiły od 5% w Kopalni „Halemba” do 67% w Kopalni „Pokój” (rys. 1).



Rys. 1. Efektywność odmetanowania kopalń w 2003 r. [16]

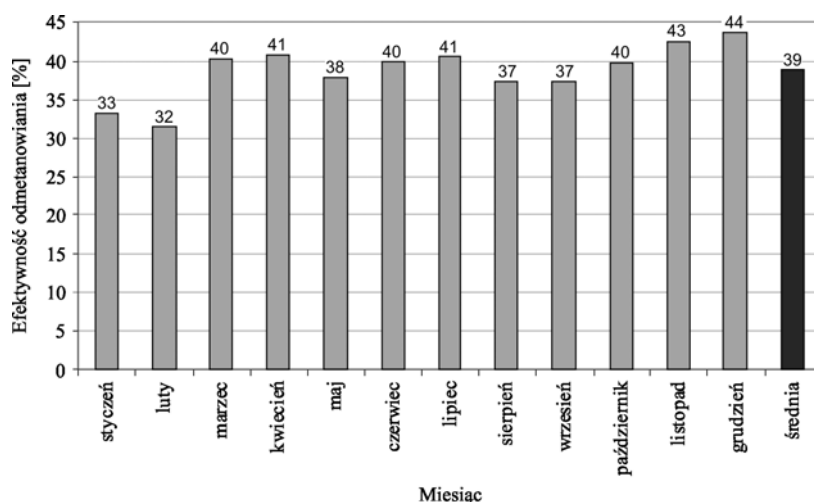
Generalnie wskaźniki efektywności odmetanowania kopalń są niskie. Najwyższe wskaźniki efektywności występują dla kopalń o stosunkowo niskich metanowościach bezwzględnych co wykazuje, że wskaźnik ten nie może być uważany za miarę optymalnego wykorzystania odmetanowania w lokalnych warunkach kopalń.

3. Badania w Kopalni Węgla Kamiennego „Pniówek”

Kopalnia Węgla Kamiennego „Pniówek” prowadzi eksploatację w warunkach największego w Polsce zagrożenia metanowego.

W 2003 r. metanowość bezwzględna kopalni wynosiła $239,0 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{min}$, z czego wentylacyjnie odprowadzono $145,9 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{min}$ i odmetanowaniem $93,1 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{min}$, a średnia efektywność odmetanowania kopalni wynosiła 38,95%.

Wskaźniki efektywności odmetanowania w KWK „Pniówek” były zmienne w czasie (rys. 2), co było spowodowane między innymi lokalizacją eksploatacji w pokładach węgla o różnych metanonośnościach i intensywności procesu odmetanowania [12].



Rys. 2. Wskaźniki efektywności odmetanowania w KWK „Pniówek” w 2003 r. [12]

Materiał analityczny uzyskany z dokumentacji kopalni [11] dotyczący niektórych wybranych parametrów odmetanowania poddano badaniom statystycznym, które pozwoliły określić zależności funkcyjne wskaźników efektywności odmetanowania od charakterystycznych parametrów drenazu górotworu.

3.1. Wpływ drenazu na efektywność odmetanowania wyrobisk eksploatacyjnych

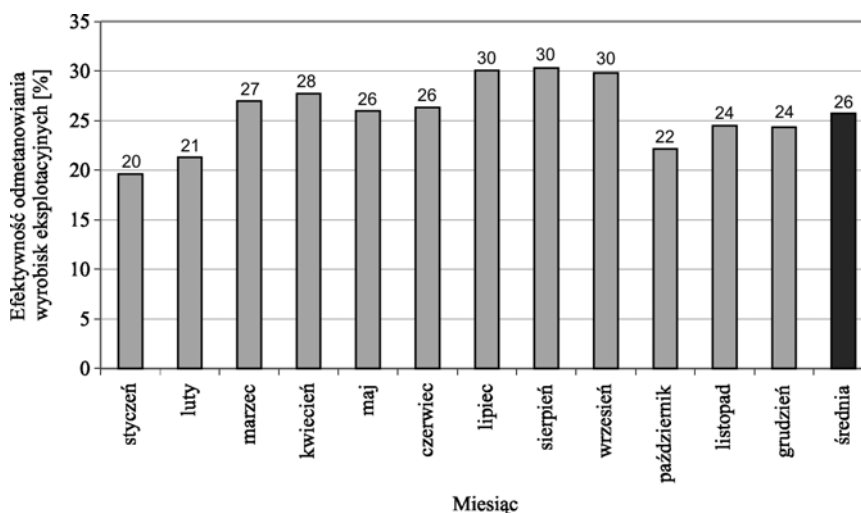
Efektywność odmetanowania wyrobisk eksploatacyjnych jest zmienna i zależna od wielu parametrów w tym szczególnie od systemów eksploatacji, wentylacji i odmetanowania. W rejonach ścian rozkład naprężeń w górotworze w sposób istotny wpływa na gazoprzepuszczalność górotworu, a tym samym na efektywność procesu odmetanowania (rys. 3).

Średnia efektywność odmetanowania wyrobisk eksploatacyjnych w 2003 roku w KWK „Pniówek” kształtowała się na poziomie 26% (rys. 3) [12].

Analizując wpływ drenażu [11] na efektywność odmetanowania w rejonach ścianowych, wyznaczono parametry dominujące, za które uznano:

- podciśnienie odmetanowania na stacji pomiarowej zbiorczej;
- gęstość otworów drenażowych charakteryzującą natężenie drenażu w procesie odmetanowania, wyrażoną stosunkiem sumy długości otworów drenażowych do długości ich rzutów geometrycznych na oś wyrobiska przyścianowego.

Dane poddano badaniom statystycznym, stosując programy Statistica 6.0 PL [8] do opisanie zależności pomiędzy zmiennymi losowymi za pomocą regresji wielorakiej i przedstawienia w formie funkcyjnej i graficznej.



Rys. 3. Wskaźniki efektywności odmetanowania wyrobisk eksploatacyjnych w KWK „Pniówek” w 2003 r.[12]

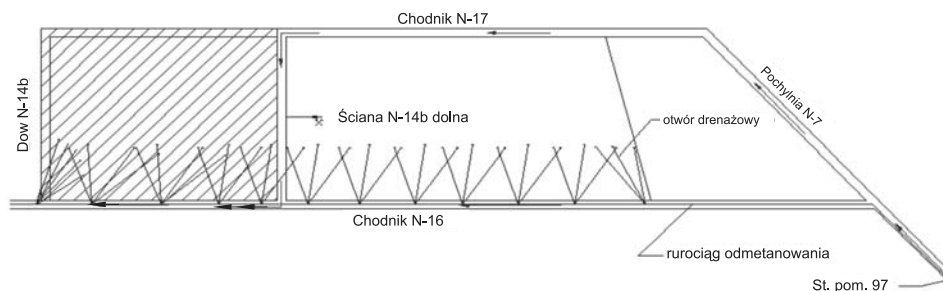
Odmetanowanie wyrobisk eksploatacyjnych

Badania wpływu drenażu górotworu na efektywność odmetanowania przeprowadzono dla dwóch wyrobisk ścianowych charakteryzujących się wysokim zagrożeniem metanowym:

- 1) rejonu ściany N-14b dolnej w pokładzie 363,
- 2) rejonu ściany N-14a górnej w pokładzie 363.

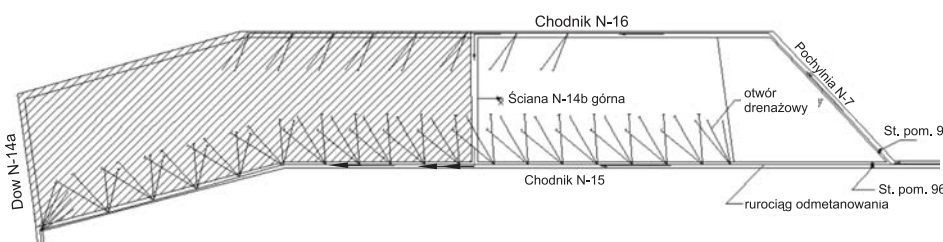
Ściany N-14b dolna (rys. 4) i N-14a górna (rys. 5) w pokładzie 363 o grubości od 1,71 m do 2,15 m były eksploatowane systemami ścianowym podłużnymi z zawałem stropu. Metanonośność węgla w pokładzie 363 wynosiła około $7 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{Mg}_{\text{CSW}}$. Metanowości bezwzględne i względne wynosiła odpowiednio około: $15 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{min}$ i około $14 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{Mg}$ wyd.

Ściany były przewietrzane systemem na „Z” z odprowadzeniem powietrza wzdłuż zrobów.



Rys. 4. Schemat systemu przewietrzania i odmetanowania ściany N-14b dolna w pokładzie 363

Odmetanowanie ściany N-14b dolnej w pokładzie 363 było prowadzone z chodnika N-16. W pierwszym etapie odwiercono wiązkę złożoną z pięciu otworów drenażowych skierowanych do strefy odprężenia nad powierzchnią ściany N-14b dolnej. Następnie z chodnika N-16 w pokładzie 363 wykonano wiązki zawierające od trzech do pięciu otworów drenażowych we wzajemnych odległości około 30÷50 m skierowanych nad zroby ściany (rys. 4). Efektywność odmetanowania ściany wynosiła 62%.



Rys. 5. Schemat systemu przewietrzania i odmetanowania ściany N-14 górnej w pokładzie 363

Odmetanowanie ściany N-14a górnej pokł. 363 było prowadzone z chodnika N-15 pokł. 363 i chodnika N-16 pokł. 363. W pierwszej fazie odwiercono wiązkę złożoną z sześciu otworów skierowanych do strefy odprężenia nad powierzchnią ściany N-14a górna. W następnej kolejności z chodnika N-15 wykonano wiązki zawierające od trzech do pięciu otworów drenażowych we wzajemnych odległościach około 30÷50 m skierowanych nad zroby ściany (rys. 5). Efektywność odmetanowania ściany wynosiła 65%.

Badanie wpływu systemu drenażu na efektywność odmetanowania wyrobisk eksploatacyjnych

Materiał analityczny dla wyrobisk ścianowych — ściany N-14b dolnej (rys. 4) i ściany N-14a górnej (rys. 5) w pokładzie 363 — obejmujący 390 pomiarów został poddany bada-

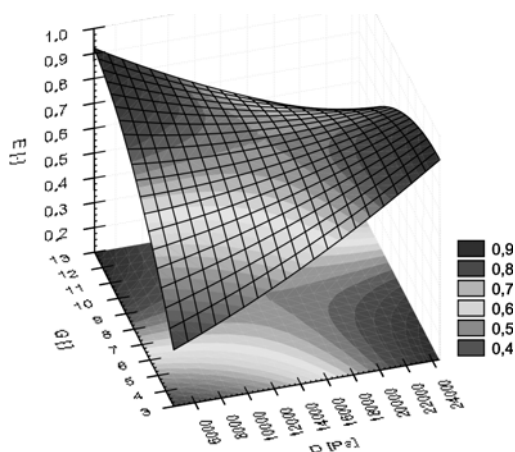
niom statystycznym, które pozwoliły wyznaczyć równanie regresji wielorakiej (2) i określić wpływ drenażu na efektywność odmetanowania dla wyrobisk eksploatacyjnych

$$E = -0,0043 \cdot G^2 + 3,8151 \cdot 10^{-10} \cdot D^2 - 5,1338 \cdot 10^{-6} \cdot G \cdot D + 0,152 \cdot G + 3,3016 \cdot 10^{-5} \cdot D - 0,1692 \quad (2)$$

gdzie:

- E — wskaźnik efektywność odmetanowania [-],
- G — gęstość otworów drenażowych [-],
- D — wielkość bezwymiarowa depresji w otworach [Pa].

Zależność (2) przedstawiono także w formie wykresu powierzchniowego i warstwico-
wego (rys. 6).



Rys. 6. Zależność wskaźników efektywności odmetanowania od gęstości otworów drenażowych i depresji odmetanowania dla wyrobisk eksploatacyjnych

Wskaźniki efektywności odmetanowania E są najwyższe powyżej 0,8 dla:

- depresji w otworach drenażowych D w zakresie od 21 kPa do 24,5 kPa i gęstości otworów drenażowych G w zakresie od 3 do 8;
- depresji w otworach drenażowych D w zakresie od 4 kPa do 9 kPa i gęstości otworów drenażowych G w zakresie 9 do 13.

Aby sprawdzić równania regresji wielorakiej, porównano wartości efektywności odmetanowania uzyskane w kopalni z efektywnością odmetanowania wyznaczoną równaniem (2) dla:

- ściany N-14b dolnej — 7 stycznia 2003 r. na 351 mb wybiegu ściany wartość rzeczywista wskaźnika efektywności odmetanowania E wynosiła 0,59 — dla gęstości otwo-

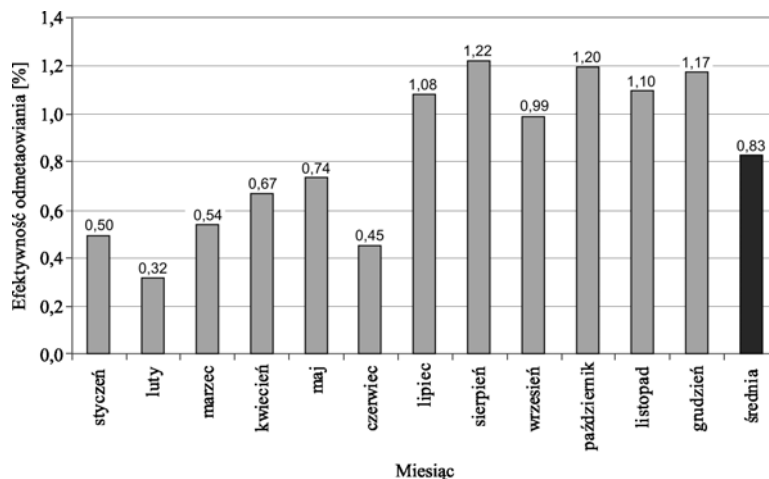
- rów drenażowych G wynoszącej 5,75 i depresji odmetanowania D równej 13,0654 kPa, natomiast wartość efektywności odmetanowania obliczona dla powyższych wartości wynosi 0,693, dlatego błędy bezwzględny i względny wynosiły odpowiednio 0,13 i 22%;
- ściany N-14a górnej 5 czerwca 2003 r. na 421 mb wybiegu ściany wartość rzeczywista wskaźnika efektywności odmetanowania E wynosiła 0,61 — dla gęstości otworów drenażowych G wynoszącej 11,78 i depresji w otworach D równej 12,6654 kPa, natomiast wartość efektywności odmetanowania obliczonej dla powyższych wielkości wynosi 0,738 w dlatego błędy bezwzględny i względny wynoszą odpowiednio 0,128 i 21%.

3.2. Wpływ drenażu na efektywność odmetanowania wyrobisk korytarzowych w kopalni

Ze względu na niską efektywność, odmetanowanie pokładów węgla z drażonych wyrobisk korytarzowych jest prowadzone w ograniczonym zakresie, głównie w celu rozpoznania stanu zagrożenia metanowego i obniżenia stanu zagrożenia wyrzutami metanu i skał.

W przypadku drażenia wyrobisk w nierozpoznanych partiach złoża lub strefach zaburzeń tektonicznych oraz w sąsiedztwie stropu karbonu dla odmetanowania wykorzystuje się otwory wyprzedzające i badawcze.

Średnia efektywność odmetanowania wyrobisk korytarzowych w 2003 r. w KWK „Pniówek” wynosiła 0,83% (rys. 7) [12].



Rys. 7. Efektywność odmetanowania wyrobisk korytarzowych w Kopalni „Pniówek” w 2003 r. [12]

Analizując parametry drenażu z wyrobisk korytarzowych [11], wyznaczono parametr dominujący charakteryzujący natężenie drenażu w procesie odmetanowania, za który uznano gęstość otworów drenażowych wyrażoną stosunkiem sumy długości otworów drenażowych do długości odcinka wyrobiska odpowiadającej rzutom geometrycznym otworów na

oś tego wyrobiska. Parametry depresji odmetanowania nie poddano badaniom ze względu na małą zmienność dla poszczególnych wyrobisk.

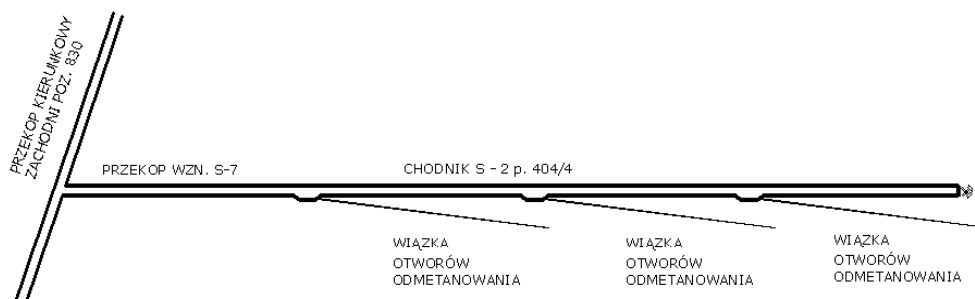
Dane poddano badaniom statystycznym, stosując program Statistica 6.0 PL [8] dla opisanie zależności pomiędzy zmiennymi losowymi za pomocą regresji liniowej, a zależności przedstawiono w formie funkcyjnej i graficznej.

Odmetanowanie wyrobisk korytarzowych

Badania wpływu drenażu górotworu otworami odmetanowania na efektywność odmetanowania przeprowadzono dla wyrobisk korytarzowych charakteryzujących się wysokim zagrożeniem metanowym:

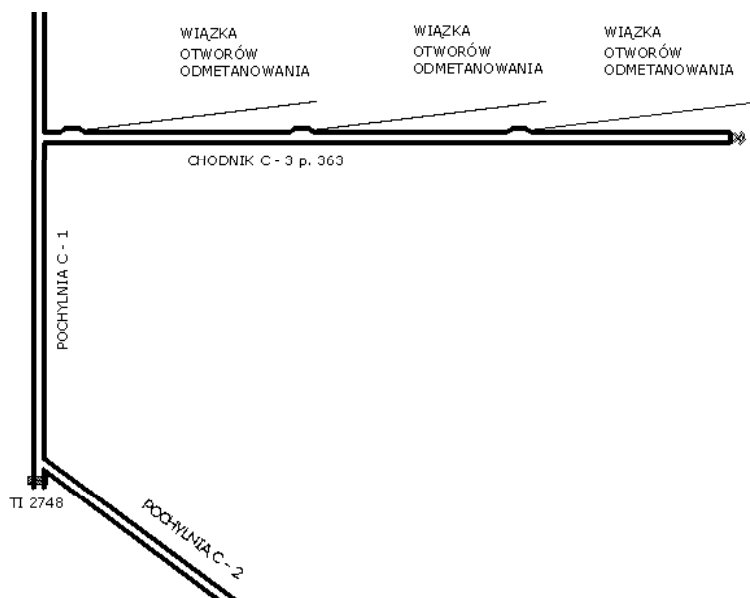
- chodnik S-2 w pokładzie 404/4 (rys. 8),
- chodnik C-3 w pokładzie 363 (rys. 9),
- chodnik C-6 w pokładzie 361 (rys. 10).

Chodnik S-2 w pokładzie 404/4 o grubości od 1,90 do 2,65 m był drążony przy zastosowaniu kombajnu AM-50. Metanonośność pokładu 404/4 wynosiła $5,7 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{Mg}_{\text{csw}}$. Do przewietrzania wyrobiska zastosowano system wentylacji kombinowanej tłoczącej z zastosowaniem odpylacza. Odmetanowanie chodnika S-2 w pokładzie 404/4 było wykonywane poprzez otwory drenażowe o długości dostosowanej do warunków górnictwo-geologicznych — najczęściej o długości ok. 60 m (rys. 8). Średnia efektywność odmetanowania chodnika wynosiła 20,5%.



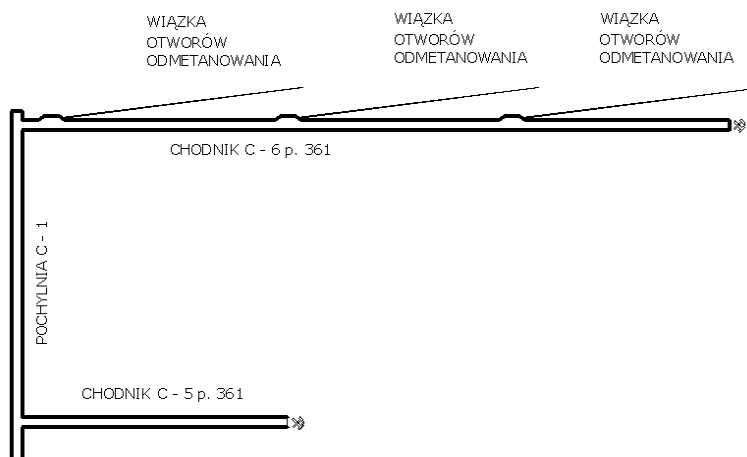
Rys. 8. System drenażu w chodniku S-2 w pokładzie 404/4

Chodnik C-3 w pokładzie 363 o grubości od 1,30 do 2,15 m był drążony kombajnem AM-50. Metanonośność pokładu 363 wynosiła $6,1 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{Mg}_{\text{csw}}$. Do przewietrzania wyrobiska zastosowano system wentylacji kombinowanej, tłoczącej z zastosowaniem odpylacza. Odmetanowanie chodnika C-3 w pokładzie 363 wykonywane było za pomocą otworów drenażowych o długości dostosowanej do warunków górnictwo-geologicznych, najczęściej o długości ok. 60 m (rys. 9). Średnia efektywność odmetanowania dla tego chodnika wynosiła 20,2%.



Rys. 9. System drenażu w chodniku C-3 w pokładzie 363

Chodnik C-6 w pokładzie 361 o grubości od 1,32 do 2,45 m był drążony kombajnem AM-50. Metanowość pokładu 361 wynosiła $2,68 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{min}$. Dla przewietrzania wyrobiska zastosowano systemem wentylacji kombinowanej tłoczącej z zastosowaniem odpylacza. Odmetanowanie chodnika C-6 w pokładzie 361 było wykonywane za pomocą otworów drenażowych o długości dostosowanej do warunków górniczo-geologicznych, najczęściej o długości ok. 60 m (rys. 10). Średnia efektywność odmetanowania chodnika wynosiła 20,3%.



Rys. 10. System drenażu w chodniku C-6 w pokładzie 361

Badanie wpływu systemu drenażu na efektywność odmetanowania wyrobisk korytarzowych

Materiał analityczny został poddany badaniom statystycznym, które pozwoliły wyznaczyć równanie regresji liniowej określające wpływ gęstości drenażu na efektywność odmetanowania dla drażonych wyrobisk korytarzowych (3)

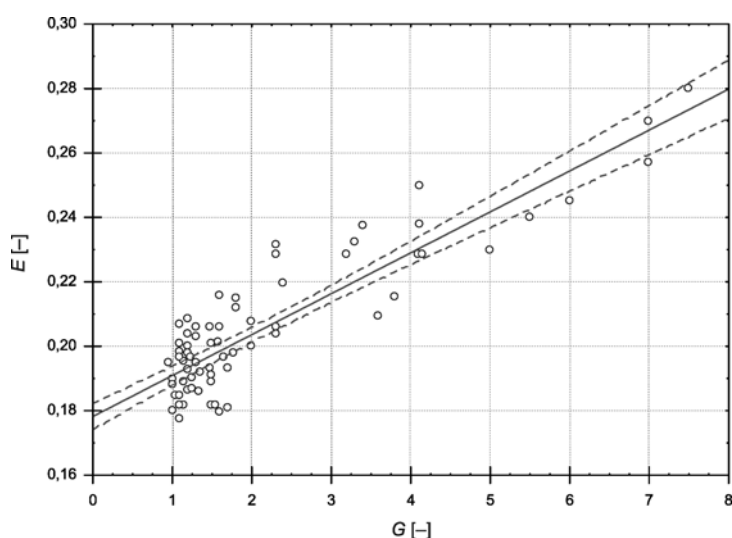
$$E = 0,0127 \cdot G + 0,1782 \quad (3)$$

gdzie:

E — wskaźnik efektywności odmetanowania [–],

G — gęstość otworów drenażowych [–].

Zależność (3) także przedstawiono w formie wykresu (rys. 11).



Rys. 11. Zależność wskaźnika efektywności odmetanowania od gęstości otworów drenażowych

Badanie wpływu drenażu górotworu na efektywność odmetanowania wyrobisk korytarzowych wykazało, że ze wzrostem gęstości otworów rośnie wskaźnik efektywności odmetanowania.

W celu sprawdzenia równania regresji liniowej porównano wartości efektywności odmetanowania uzyskane w kopalni z efektywnością odmetanowania wyznaczoną równaniem (3) dla niżej wymienionych chodników:

- Chodnik S-2 w pokładzie 404/4, 28 lutego 2003 r.; na 360 mb wybiegu drażonego chodnika wartość rzeczywista efektywności odmetanowania E wynosiła 0,207 — dla

gęstości otworów drenażowych G wynoszącej 2,2, natomiast wartość efektywności odmetanowania obliczona dla powyższych wartości wynosi 0,2061, dlatego błędy bezwzględny i względny wyniosły odpowiednio 0,00086 i 0,4%.

- Chodnik C-3 w pokładzie 363, 23 czerwca 2003 r.; na 560 mb wybiegu drażonego chodnika wartość rzeczywista efektywności odmetanowania E wynosiła 0,203 — dla gęstości otworów drenażowych G wynoszącej 1,46, natomiast wartość efektywności odmetanowania obliczona dla powyższych wartości wynosi 0,1967, dlatego błędy bezwzględny i względny wynoszą odpowiednio 0,00623 i 3%.
- Chodnik C-6 w pokładzie 361, 15 lipca 2003 r.; na 430 mb wybiegu drażonego chodnika wartość rzeczywista efektywności odmetanowania E wynosiła 0,205 — dla gęstości otworów drenażowych G wynoszącej 2,6, natomiast wartość efektywności odmetanowania obliczona dla powyższych wartości wynosi 0,211, dlatego błędy bezwzględny i względny wynoszą odpowiednio 0,00622 i 3%.

4. Stwierdzenia i wnioski

Przeprowadzone analizy i badania pozwalają na sformułowanie następujących stwierdzeń i wniosków:

- Efektywność odmetanowania górotworu zależy od wielu parametrów, a w szczególności od:
 - metanonośności pokładów węgla,
 - gazoprzepuszczalności górotworu,
 - systemu drenażu górotworu otworami,
 - parametrów instalacji odmetanowania,
 - systemu wentylacji wyrobisk górniczych.
- Wpływ poszczególnych czynników na proces i efektywność odmetanowania jest trudny do jednoznacznego oznaczenia i może być określony tylko badaniami statystycznymi.
- Efektywność procesu odmetanowania jest oceniana poprzez wyznaczenie stosunku wielkości wydatku strumienia metanu ujmowanego w procesie odmetanowania do sumy wydatków metanu odprowadzonego w procesach odmetanowania i wentylacji.
- Badania w KWK „Pniówek” pozwoliły na wyznaczenie zależności określającej wpływ takich czynników, jak: gęstość otworów drenażowych i depresji odmetanowania na efektywność odmetanowania wyrobisk eksploatacyjnych, w postaci funkcji powierzchniowej o równaniu

$$E = -0,0043 \cdot G^2 + 3,8151 \cdot 10^{-10} \cdot D^2 - 5,1338 \cdot 10^{-6} \cdot G \cdot D + 0,152 \cdot G + 3,3016 \cdot 10^{-5} \cdot D - 0,1692.$$

- Badania w KWK „Pniówek” pozwoliły na wyznaczenie zależności określającej wpływ gęstości otworów na efektywność odmetanowania dla wyrobisk korytarzowych w postaci funkcji liniowej o równaniu

$$E = 0,001272 \cdot G + 0,1787.$$

- Przedstawiony materiał jest próbą zastosowania badań statystycznych dla wyznaczenia wpływu niektórych parametrów na efektywność odmetanowania pokładów węgla w kopalniach węgla kamiennego i może być przyczynkiem dla przeprowadzenia dalszych kompleksowych prac badawczych w tym zakresie.

LITERATURA

- [1] *Berger J., Nowak E.*: Pozyskiwanie metanu metodami wiertniczymi z wyrobisk podziemnych i z powierzchni w kopalni Jastrzębskiej Spółki Węglowej SA Wiadomości Górnicze, nr 2, 1999
- [2] *Chlebik W.*: Stan techniki odmetanowania złóż ROW. Przegląd Górniczy, nr 4, 1976
- [3] *Czopek J., Mizera A.*: Odmetanowanie wyprzedzające pokładów i skał otaczających w kopalni „Brzeszcze”. Wiadomości Górnicze, nr 2–3, 1985
- [4] *Grzybek J.*: Wprowadzenie w zagadnienia eksploatacji metanu pokładów węgla. Przegląd Górniczy, nr 9, 1992
- [5] *Holesz K., Jakubów A., Nawrat S.*: Prognozowanie zagrożenia metanowego i stosowana prewencja w kopalniach czynnych i likwidowanych w Jastrzębskiej Spółce Węglowej SA. Międzynarodowa Konferencja: Najnowsze osiągnięcia w zakresie przewietrzania kopalń oraz zwalczania zagrożeń pożarowych, gazowych i klimatycznych. Szczyrk, kwiecień 1999
- [6] *Kozłowski B., Grębski Z.*: Odmetanowanie górotworu w kopalniach. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice, 1982
- [7] *Krzysztofik P., Kobiela Z.*: Ocena efektywności metod podziemnego odmetanowania złóż węgla kamiennego w Polsce na przykładzie kilku kopalń. Wiadomości Górnicze, nr 6, 1999
- [8] *Luszniewicz A.*: Statystyka z pakietem komputerowym Statistica PL teoria i zastosowania, C. H. Beck 2001
- [9] *Łunarszewski L.*: Ocena współczynnika efektywności odmetanowania. Przegląd Górniczy, nr 4, 1975
- [10] *Maciejewski W., Nawrat S., Stobiński J.*: Niektóre zagadnienia z zakresu odmetanowania kopalń. Zeszyty Naukowe AGH Górnictwo, nr 126, Kraków, 1986
- [11] Materiały niepublikowane firmy ZOK SA (książka raportowa i dokumentacja projektowa sieci odmetanowania)
- [12] Materiały niepublikowane KWK „Pniówek” (roczny raport odmetanowania)
- [13] *Myszor H., Wiśniewski B.*: Odmetanowanie ściany poprzecznej w fazie rozruchu. Przegląd Górniczy, nr 6, 1980
- [14] *Myszor H.*: Lokalizacja otworów drenażowych w rejonach ścian. Przegląd Górniczy, nr 7–8, 1980
- [15] *Roszkowski J., Szlązak N.*: Wybrane problemy odmetanowania kopalń węgla kamiennego. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków, 1999
- [16] Raport Roczny (2003) o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego GIŁ, Katowice, 2004
- [17] *Surman T., Falger A.*: Zastosowanie chodnika drenażowego metanu w kopalni „Brzeszcze”. Wiadomości Górnicze, nr 2–3, 1985