

GEOLOGICZNE ASPEKTY MIGRACJI GAZÓW KOPALNIANYCH NA POWIERZCHNIĘ W PRZYPADKU LIKWIDACJI KOPALŃ WĘGLA KAMIENNEGO

1.WPROWADZENIE

Metan, występujący w pokładach węgla, przez dziesiątki lat był przedmiotem badań, głównie ze względu na bezpieczeństwo pracy w kopalniach. Gaz ten jest związany z substancją węglową w formie zasorbowanej i wolnej. Obie te formy występują w pokładach w stanie równowagi, określonej przez ciśnienie gazu, wilgotność węgla i jego właściwości sorpcyjne. Jej zaburzenie powoduje uwalnianie się metanu z węgla, czyli jego przejście do postaci wolnej, co czyni możliwą jego migrację w górotworze. Tak uwolniony metan, wypełnia pory i szczeliny nie tylko w węglu ale także w całym górotworze.

W przypadku czynnych kopalń węgla kamiennego działalność górnicza powoduje istotną zmianę warunków naprężeniowo-deformacyjnych panujących w górotworze a w konsekwencji zmiany jego struktury. Wyzwalający się w takich warunkach wolny gaz może gromadzić się w porach, szczelinach i pustkach poeksploatacyjnych, a jego przepływ odbywa się zazwyczaj w obrębie sieci wentylacyjnej kopalni.

Proces ten zmienia się diametralnie w momencie likwidacji kopalni, gdy przestają działać systemy wentylacyjne a proces migracji odbywa się głównie na drodze dyfuzji i filtracji. Wówczas rozpoczyna się z reguły niekontrolowany, proces migracji gazów kopalnianych w kierunku powierzchni, który może być przyczyną powstania zagrożenia gazowego na powierzchni. Zagrożenie to stwarza przede wszystkim metan, czasem również dwutlenek węgla i w niewielkim stopniu radon. Przenikanie metanu do dolnych kondygnacji budynków, garaży, a także kanałów telekomunikacyjnych i ściekowych, może powodować, przy stężeniach powyżej 5%, zagrożenie wybuchowe, natomiast dwutlenek węgla, może stanowić zagrożenie dla zdrowia i życia mieszkańców. Tak więc zagrożenie gazowe na powierzchni obszarów pogórnich należy zaliczyć do istotnych lecz raczej nie ze względu na wysoki jego poziom, ale przede wszystkim z powodu jego dużej zmienności przestrzennej i czasowej.

Celem pracy było przeprowadzenie kompleksowej analizy czynników wpływających na przebieg procesu migracji gazów kopalnianych w kierunku powierzchni, a następnie opracowanie metodologii postępowania, która umożliwi lokalizację miejsc wystąpienia podwyższonej emisji gazów (głównie metanu) na powierzchni terenu zlikwidowanych kopalń węgla kamiennego.

Dla osiągnięcia złożonych celów pracy przeprowadzone zostały liczne analizy, badania modelowe oraz powierzchniowe pomiary geochemiczne, których wynikiem były:

- koncepcyjne modele geologiczne badanych ośrodków w aspekcie regionalnym i lokalnym,
- modele numeryczne dla dwóch wybranych rejonów likwidowanych kopalń,
- symulacje komputerowe przeprowadzone w oparciu o modele numeryczne,
- mapy stężenia metanu (CH₄) i dwutlenku węgla (CO₂) w piezometrach gazowych na obszarze dwóch wytypowanych zlikwidowanych kopalń.

Modele geologiczne

Metodyka opracowania koncepcyjnych modeli geologicznych opierała się na szczegółowej analizie następujących elementów:

- litostratygraficznej skał budujących utwory karbonu,
- miąższości nadkładu i jego wykształcenia,
- tektoniki,
- metanonośności pokładów węgla,
- dokonanej eksploatacji, w tym stref nakładania się krawędzi eksploatacyjnych.

Do analizy wytypowano dwie zlikwidowane kopalnie węgla kamiennego :

- rejon I dawna kopalnia „Niwka-Modrzejów” ,
- rejon II dawna kopalnia „1Maja”, będąca ruchem górniczym KWK „Marcel”.

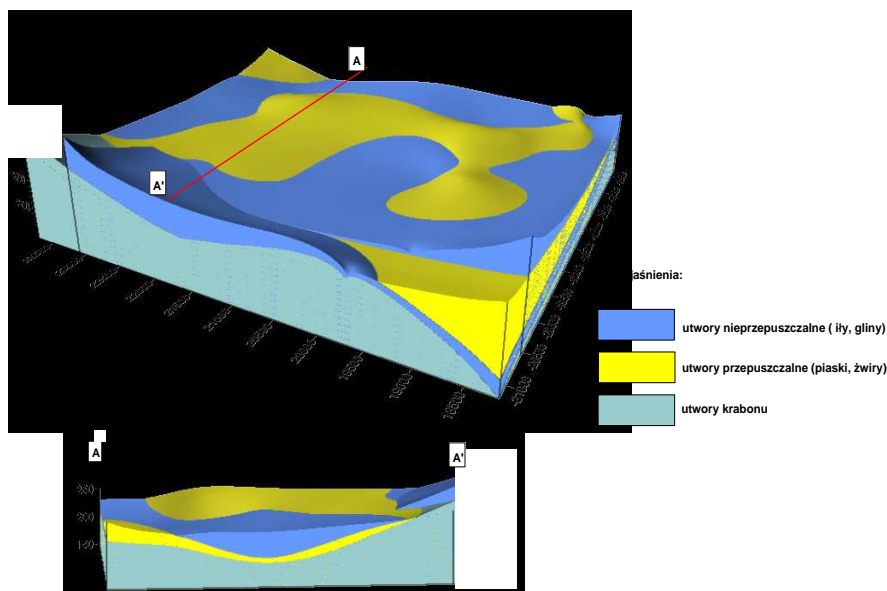
Wybór tych kopalń wiązał się ze zróżnicowaniem ich budowy geologicznej, szczególnie warstw nadkładu, jak również kopalnie były zaliczone do III i IV kategorii zagrożenia metanowego w okresie prowadzenia eksploatacji.

Rejon I

Budowę geologiczną utworów czwartorzędowych przedstawiono na przestrzennym modelu 3D (rys.1). Analizowane utwory czwartorzędu cechują się dobrymi parametrami przepuszczalnymi

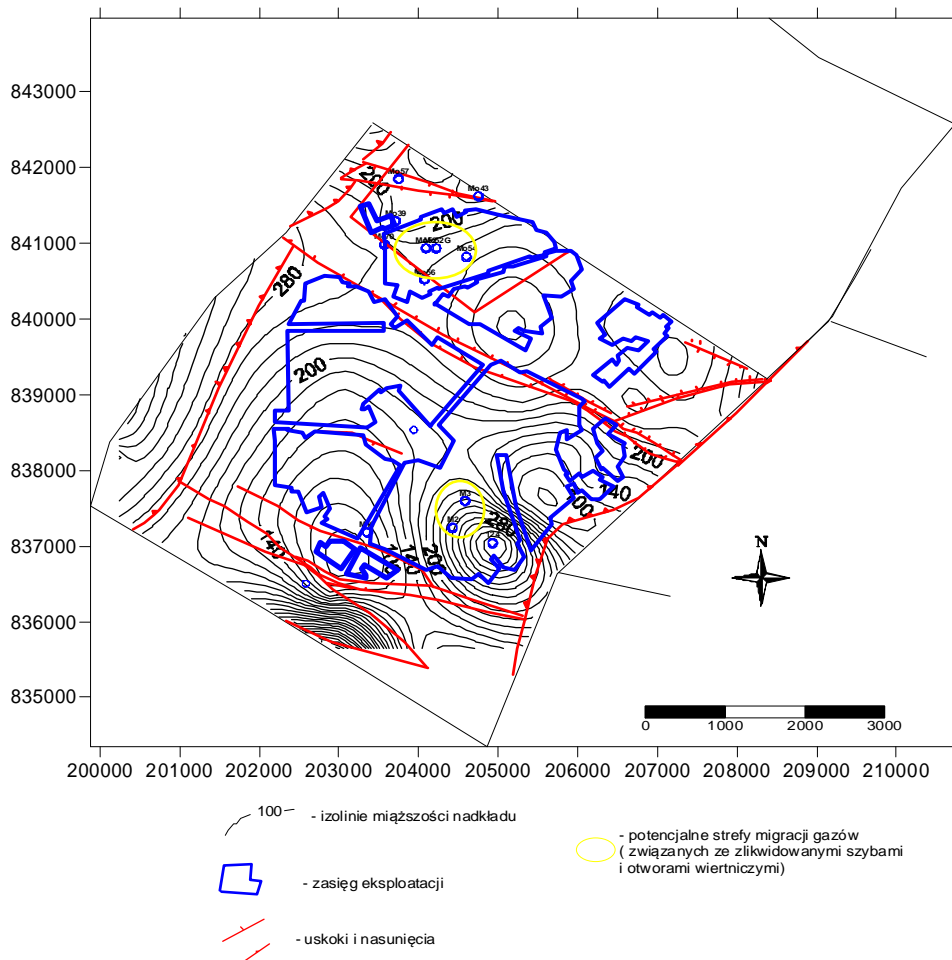
Z wstępnego rozeznania wynika, że najdogodniejsze warunki do migracji gazów kopalnianych występują w północnej części obszaru zlikwidowanej kopalni „Niwka-Modrzejów”, gdzie zroby poeksploatacyjne zalegają bardzo płytko, tylko pod cienkim nadkładem czwartorzędu.

W analizowanym obszarze utwory karbonu poprzecinane są szeregiem uskoków o zróżnicowanych zrzutach, z których większość posiada przebieg N – S lub NW – SE, rzadziej NE – SW.



Rys. 1. Model 3D nadkładu czwartorzędowego w rejonie zlikwidowanej kopalni „Niwka-Modrzejów”

zjawiska migracji metanu pozwoliły na skonstruowanie odpowiednich map tematycznych i modeli 3D w podobny sposób jak dla rejonu I, którego efektem była zbiorcza mapa z elementami wpływającymi na migrację z zaznaczonymi strefami potencjalnego zagrożenia gazowego przedstawiona na rys.3



Rys. 3. Zbiorcza mapa z elementami wpływającymi na migrację z zaznaczonymi strefami potencjalnego zagrożenia gazowego dla ruchu „1 Maja” kopalni „Marcel”

Przeprowadzona analiza geologiczno-górnicza oraz prognoza stref migracji gazów kopalnianych w kierunku powierzchni zostały wykorzystane do opracowania numerycznego modelu numerycznego procesu migracji gazów, dla badanego przypadku zlikwidowanej kopalni węgla

Modele numeryczne migracji gazów

Modele numeryczne zostały zbudowane dla powyższych dwóch wybranych rejonów, które posiadają wyraźnie odmienną budowę geologiczną. Do ich opracowania wykorzystano symulator TOUGHv2.0, a jako dane wejściowe przyjęto informacje uzyskane w procesie konstrukcji koncepcyjnych modeli geologicznych. Dla rejonu I – kopalnia „Niwka-Modrzejów” jest to tzw. model „odkryty”, gdzie warstwy karbonu zalegają pod cienkim i przepuszczalnym nadkładem czwartorzędowym, natomiast dla rejonu II – kopalnia „1Maja” jest to tzw. model „zakryty”, charakteryzujący się grubym i nieprzepuszczalnym nadkładem utworów trzeciorzędu i czwartorzędu.

Celem przeprowadzonych badań numerycznych i symulacyjnych była, między innymi, weryfikacja opracowanych prognoz geologicznych i określenie zmian w czasie stanu potencjalnego zagrożenia, związanego z emisją i migracją gazów kopalnianych w kierunku powierzchni. W badaniach tych wykorzystano moduł symulatora TOUGH, umożliwiającą badanie przepływu jedno-, dwu- i trójfazowego dla modelu z przepływem solanek, powietrza, dwutlenku węgla i metanu. Wynikiem przeprowadzonych symulacji jest między innymi, prognoza zawartości gazów w powietrzu glebowym w wybranych strefach modelowanych rejonów.

Modelem numerycznym sporządzonym dla kopalni „Niwka-Modrzejów” objęto powierzchnię 36km² (6 x 6 km), o rozciągłości w skali pionowej rzędu 450 m. Granice modelu przyjęto w taki sposób, aby obejmował on swym zasięgiem cały górotwór z wpływami eksploatacji znajdującymi się powyżej lustra wody zatopionych starych zrobów. W płaszczyźnie poziomej model podzielono na kwadraty o wymiarach 400x400m, natomiast wzdłuż osi pionowej dokonano podziału na warstwy o grubości 37,5m, z tym, że dla lepszego uwzględnienia szczegółów budowy geologicznej oraz warunków przypowierzchniowych, zagęszczano je wprowadzając dodatkowy podział o mniejszych grubościach do 10m. Tak więc łącznie model posiadał 3150 komórek i 26 regionów. Wprowadzone do modelu regiony pozwoliły na odzwierciedlenie położenia poszczególnych ośrodków budujących górotwór oraz ich zalegania, a także przebiegu stref tektonicznych powodujących przerwanie ciągłości ośrodka.

W celu odwzorowania właściwości fizycznych modelu wydzielono w nim 7 różniących się wzajemnie serii litostratygraficznych (pięć spośród nich reprezentuje utwory karbonu a dwa, utwory jego nadkładu). Kryterium podziału na serie była ich zróżnicowana przepuszczalność dla wody i gazu. Założono, że model będzie odwzorowywał przepływy dwufazowe - wody i gazu. Średnie wartości parametrów dla poszczególnych serii litostratygraficznych uwzględnionych w modelu, zostały przedstawione w tabeli 1.

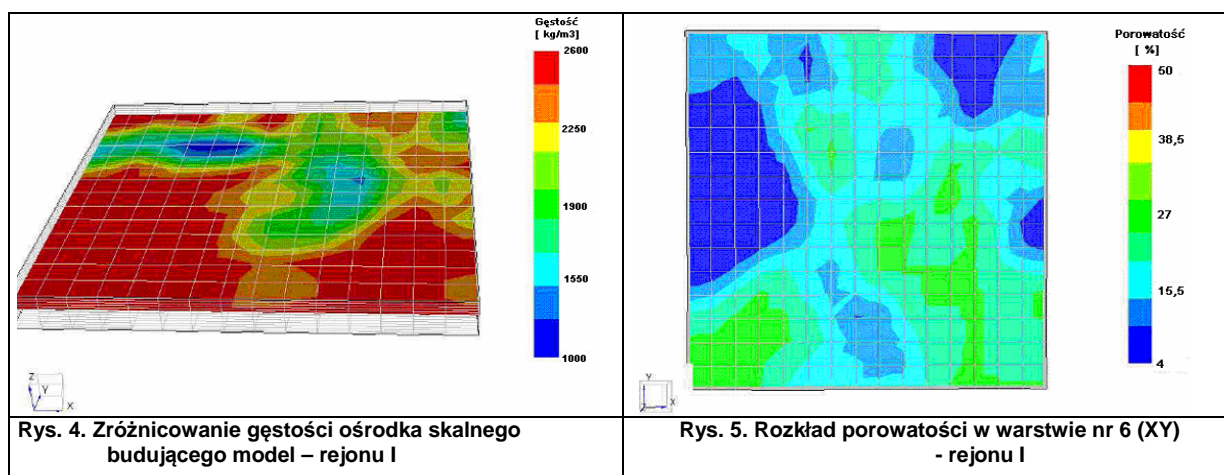
Tabela 1.

Parametry ośrodków skalnych przyjętych do obliczeń modelowych i symulacyjnych

Ośrodek	Gęstość [kg/m ³]	Porowatość [%]	Przepuszczalność [m ²]			Ciepło właściwe [J/kg]	Przewodność cieplna [W/m]	Ścisłość [1/Pa]
			X	Y	Z			
SP000	2300	4	1·10 ⁻¹⁵	1·10 ⁻¹⁵	1·10 ⁻¹⁵	2,0	1100	7·10 ⁻¹⁰
GSP00	2500	11	1·10 ⁻¹⁴	1·10 ⁻¹⁴	1·10 ⁻¹³	2,0	1000	7·10 ⁻¹⁰
SM000	2400	5	2·10 ⁻¹⁵	2·10 ⁻¹⁵	2·10 ⁻¹⁶	2,0	1000	7·10 ⁻¹⁰
KSP00	2500	15	5,4·10 ⁻¹⁴	5,4·10 ⁻¹⁴	5,4·10 ⁻¹⁴	2,0	1000	5·10 ⁻¹⁰
ZROBY	1000	50	1·10 ⁻⁹	1·10 ⁻⁹	1·10 ⁻⁹	2,0	1000	9·10 ⁻¹⁰
ROCK2	2600	25	1·10 ⁻¹⁰	1·10 ⁻¹⁰	1·10 ⁻¹⁰	2,0	1000	6·10 ⁻¹⁰
ROCK1	2500	10	1·10 ⁻¹⁶	1·10 ⁻¹⁶	1·10 ⁻¹⁰	2,0	1000	7·10 ⁻¹⁰

*SP – seria paraliczna,
 GSP – górnośląska seria piaskowcowa,
 SM – seria mułowcowa,
 KSP – krakowska seria piaskowcowa,
 ROCK – utwory nadkładu

Rozkłady parametrów fizycznych, odzwierciedlające właściwości górotworu z rejonu 1 (zlikwidowanej kopalni „Niwka-Modrzejów”) przedstawiono na rys. 4 i 5.



Rys. 4. Zróżnicowanie gęstości ośrodka skalnego budującego model – rejonu I

Rys. 5. Rozkład porowatości w warstwie nr 6 (XY) - rejonu I

Drugi model numeryczny dotyczący dawnej kopalni „1-Maja” ma powierzchnię 56 km² (8 x 7 km), a jego wymiar pionowy wynosi 850m. Model był budowany etapami, w podobny sposób jak model dla rejonu 1. W symulatorze został ujęty cały obszar zawarty pomiędzy nasunięciami orłowskim i michałkowickim, natomiast w celu przyspieszenia obliczeń wyłączono pozostałe bloki na zewnątrz od tych nasunięć. Ponadto w rejonie uskoku północnego zagęszczono siatkę w płaszczyźnie Y. Tak wyznaczony fragment ośrodka skalnego poddano dyskretyzacji stosując przestrzenną siatkę ortogonalną. W płaszczyźnie poziomej został on podzielony na komórki o wymiarach 600 x 600 m. Natomiast wzdłuż osi pionowej dokonano podziału na warstwy grubości 50m, zagęszczając je w strefie przypowierzchniowej przez wydzielenie dodatkowej warstwy o grubości 10m, która odzwierciedla strefę atmosfery ponad powierzchnią ziemi. Model składał się z 4080 komórek i 14 regionów. Regiony w modelu rejonu „1Maja” odzwierciedlają podstawową strukturę geologiczną badanego rejonu. Do budowy modelu wykorzystano właściwości fizyczne skał zbiornikowych przedstawione w poniższej tabeli 2.

Tabela 2.

Parametry ośrodków skalnych przyjętych do obliczeń modelowych i symulacyjnych w modelu 2

Ośrodek	Gęstość [kg/m ³]	Porowatość [%]	Przepuszczalność [m ²]			Ciepło właściwe [J/kg]	Przewodność cieplna [W/m]	Ścisłość [1/Pa]
			X	Y	Z			
Rock1	2600	27	1·10 ⁻¹⁰	1·10 ⁻¹⁰	1·10 ⁻¹⁰	1000	2,00	7·10 ⁻¹⁰
TRZ_1	2200	5	5·10 ⁻¹⁵	5·10 ⁻¹⁵	1·10 ⁻¹⁶	1000	2,00	9·10 ⁻¹⁰
TRZ_2	2500	10	1·10 ⁻¹⁴	1·10 ⁻¹⁴	1·10 ⁻¹⁴	1000	2,00	9·10 ⁻¹⁰
KARB1	2600	9	1·10 ⁻¹³	1·10 ⁻¹³	1·10 ⁻¹⁴	1000	2,00	6·10 ⁻¹⁰
KARB2	2600	8	1·10 ⁻¹⁴	1·10 ⁻¹⁴	1·10 ⁻¹⁵	1000	2,00	6·10 ⁻¹⁰
ZROBY	1000	50	1·10 ⁻⁹	1·10 ⁻⁹	1·10 ⁻⁹	1000	2,00	7·10 ⁻¹⁰
USK_1	1	50	1·10 ⁻⁹	1·10 ⁻⁹	1·10 ⁻⁹	1000	2,00	9·10 ⁻¹⁰
USK_2	1	27	1·10 ⁻¹³	1·10 ⁻¹³	1·10 ⁻¹³	1000	2,00	9·10 ⁻¹⁰

* KARB – utwory karbonu

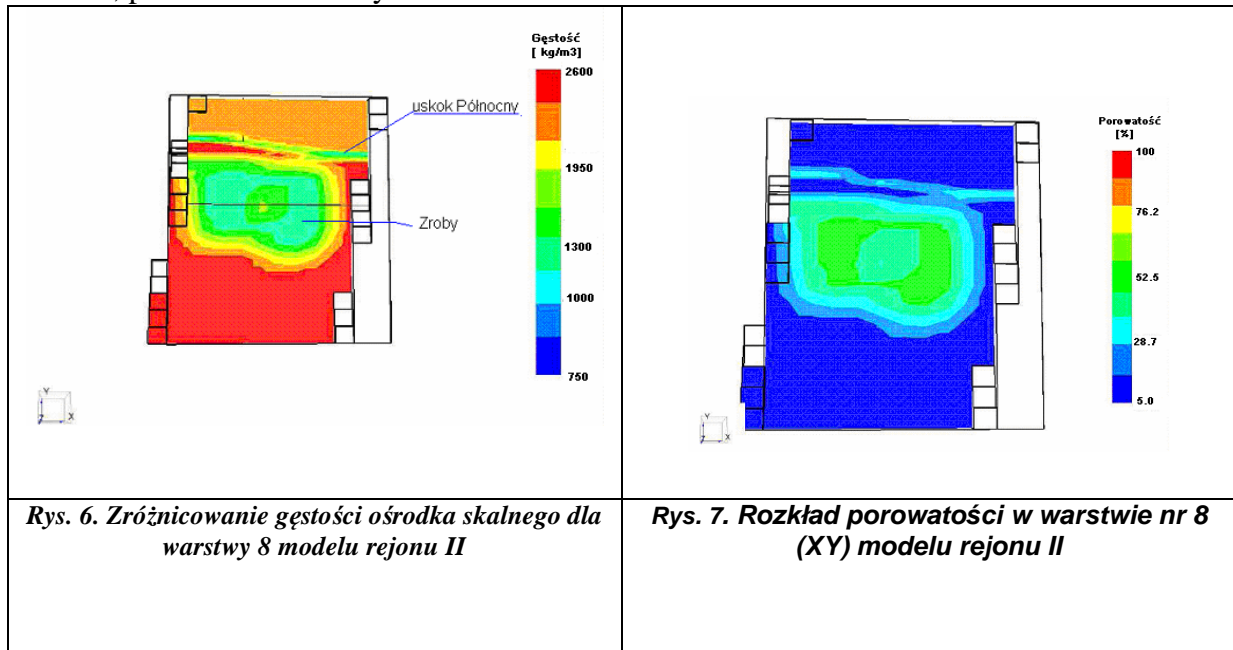
TRZ_1 i 2 – utwory izolujące trzeciorzędu,

ROCK1 – utwory czwartorzędu,

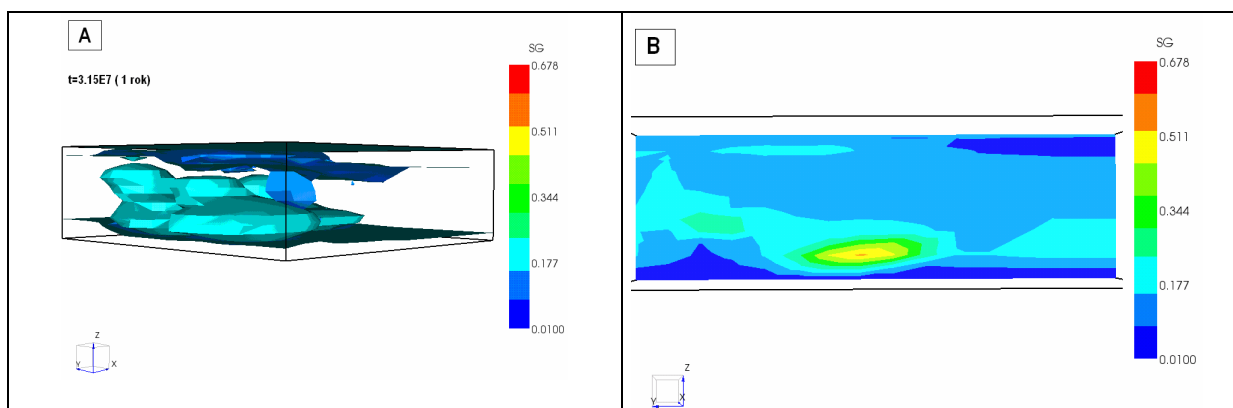
USK_1 i 2 – uskoki przepuszczalne i izolujące

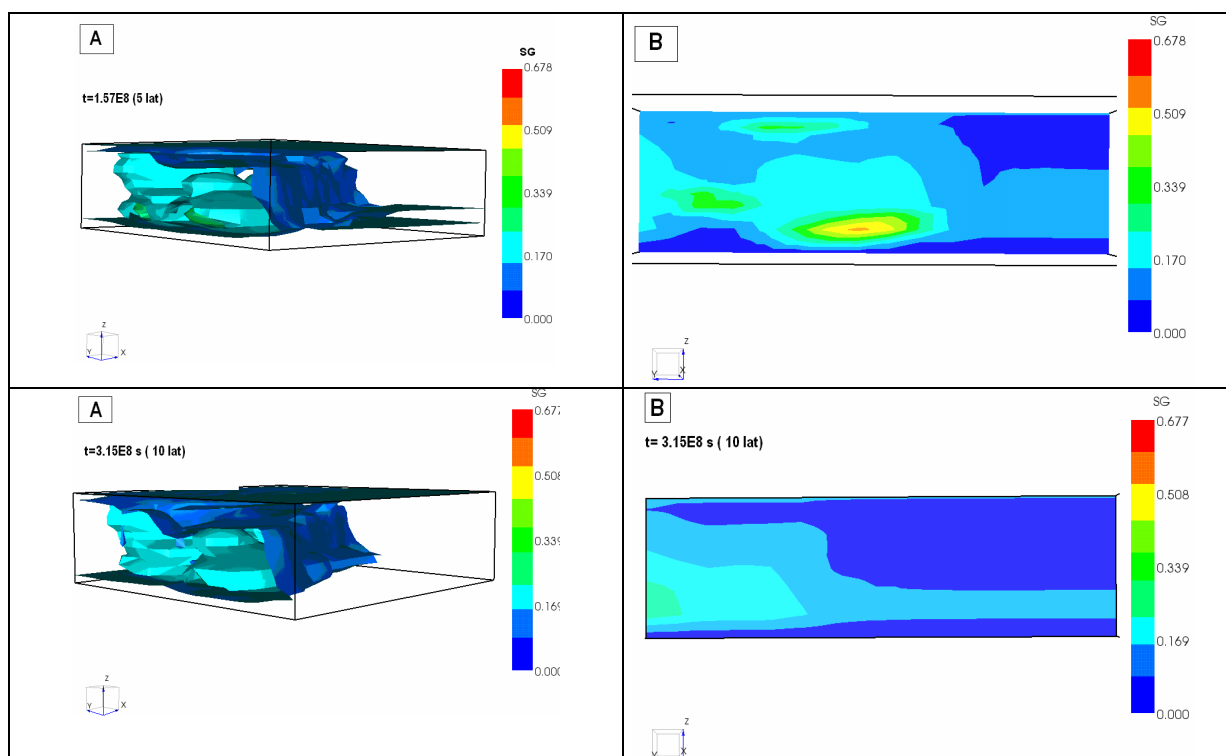
ZROBY – zroby.

Przykładowe rozkłady gęstość ośrodka skalnego i porowatości, w wybranych warstwach modelu, przedstawiono na rys. 6 i 7

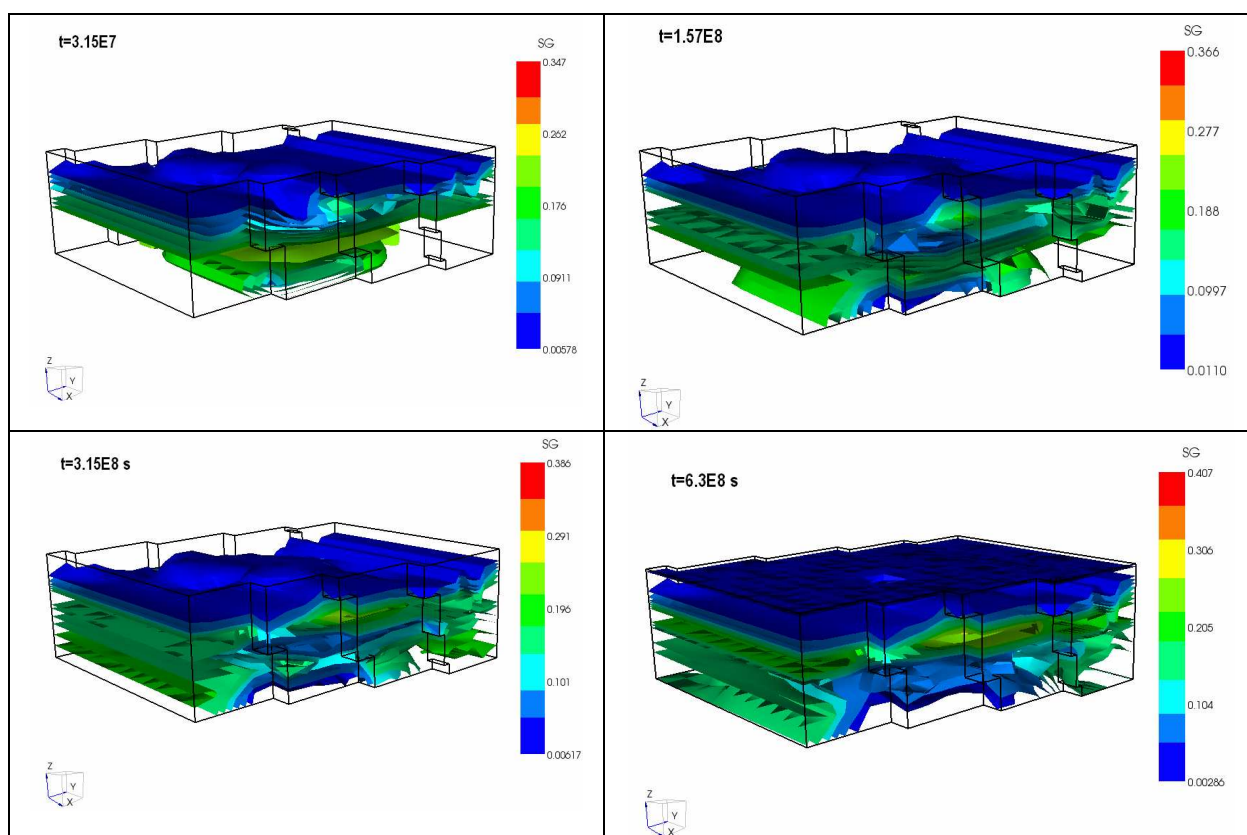


Uzyskane wyniki symulacji komputerowych dla rejonu 1 kopalni „Niwka--Modrzejów” przedstawiono na rys. 8. Na podstawie wygenerowanych, w poszczególnych celach modelu, obliczeń nasycenia gazem przestrzeni porowej (SG) i ciśnienia (P) skonstruowano wykresy zmian tych parametrów w różnych okresach oraz przestrzenny rozkład nasycenia w zadanym przedziale czasowym symulacji rys. 9. Na podstawie uzyskanych wyników symulacji wyraźnie zaobserwowano, że przepływ gazów w kierunku powierzchni odbywa się właśnie przez strefy uskokowe, niezawodnione przestrzenie porowe skał budujących górotwór karboński, jak i jego nadkład, jak również zintensyfikowany przepływ gazów ma miejsce w strefach spękań objętym zasięgiem stref wpływu dokonanej eksploatacji, szczególnie w strefach nakładających się oddziaływań krawędzi eksploatacyjnych.





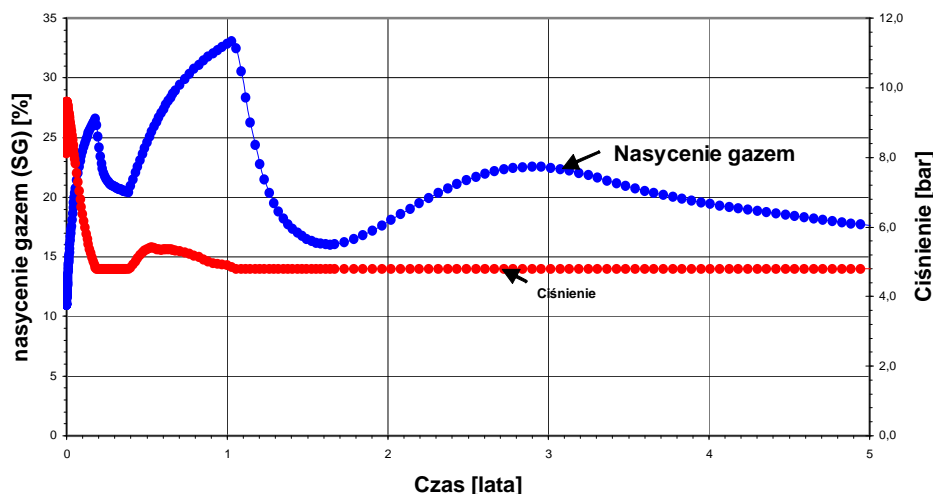
Rys. 8 Nasylenie gazami (SG) przestrzeni porowej górotworu karbońskiego i nadkładu w modelu „Niwka – Modrzejów” po 1,5 i 10 latach; A – rozkład przestrzenny, B –przekrój w płaszczyźnie YZ, kierunek N-S



Rys. 9. Rozkład nasycenia gazami (SG) przestrzeni porowej górotworu karbońskiego i nadkładu w modelu „1Maja” po 1 roku, 5, 10 i 20 latach

Analizując bardziej szczegółowo przez kilka miesięcy zmianę rozkład ciśnień i nasycenia gazem przestrzeni porowej, na przykładzie cel z warstw 12 i 13, zaobserwowano

wyraźny spadek ciśnienia, wynoszący około 5 barów. W ciągu jednego roku ciśnienie to ustabilizowało się i osiągnęło wartość 5 barów. W tym samym czasie nasycenie gazem w okresie kilku miesięcy wzrosło o 25%, a następnie w ciągu jednego roku oscylowało między 20 a 32% (rys. 10). Zmiany te dobrze korelują się z wyłączeniem systemów wentylacyjnych kopalni i z zintensyfikowanym przepływem gazów z płytkich zrobów w kierunku powierzchni.

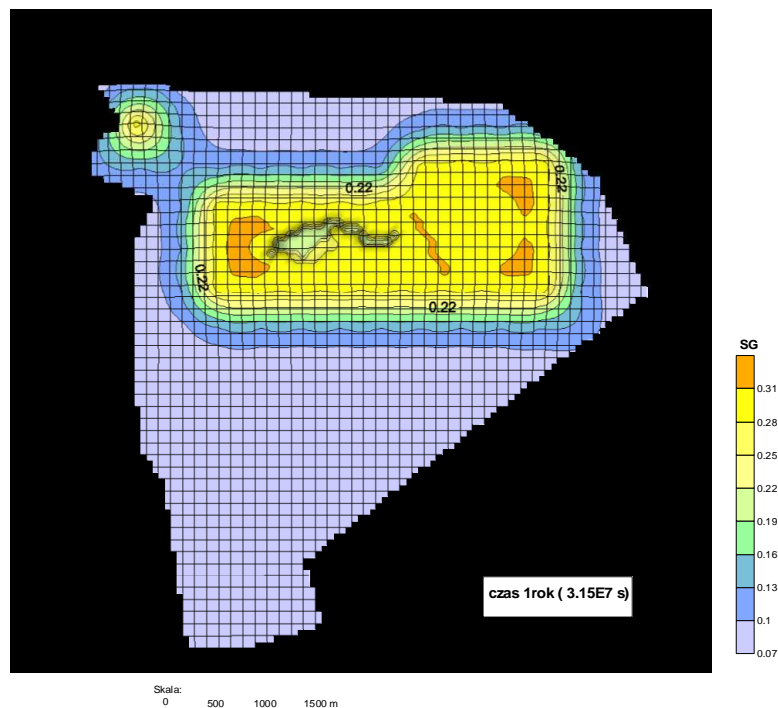


Rys. 10. Przykładowy rozkład ciśnienia i nasycenia gazem przestrzeni porowej warstwy przypowierzchniowej w komórce 2662, w okresie do 5 lat

Podsumowując analizę uzyskanych wyników należy stwierdzić, że :

- wyniki badań z wykorzystaniem symulacji komputerowej w pełni potwierdzają istnienie zjawiska migracji gazów kopalnianych zarówno w rejonie I, jak i II,
- migracja odbywa się poprzez strefy spękań i zaburzeń tektonicznych, jak również przez porowaty ośrodek skalny, charakteryzujący się zróżnicowaną budową geologiczną,
- symulacja komputerowa dla rejonu I pokazała, że w pierwszym roku nasycenie gazami warstwy przypowierzchniowej wyniesie około 30%, a w kolejnych latach będzie spadać do zera, eliminując potencjalne zagrożenie gazowe powierzchni terenu,
- symulacje komputerowe dla rejonu II potwierdzają dokładność metody geologicznej w określaniu potencjalnych miejsc migracji gazów w kierunku powierzchni. Wynika z nich, że migracja gazów może odbywać się przez zlikwidowane szyby i otwory , natomiast migrujące przez górotwór gazy mogą się pojawić w warstwie przypowierzchniowej tego rejonu dopiero po 20 latach,

porównanie wyników uzyskanych za pomocą metody geologicznej z wynikami symulacji komputerowej dla rejonu I wykazuje dobrą zbieżność. Zasięg nasycenia gazem warstwy przypowierzchniowej w metodzie symulacyjnej jest jednak nieco szerszy niż w metodzie geologicznej i pokrywa się z zasięgiem płytkiej eksploatacji pokładu 510. Zgodność tych metod, szczególnie dobrze uwidacznia się w strefie uskoku niweckiego (rys. 11).



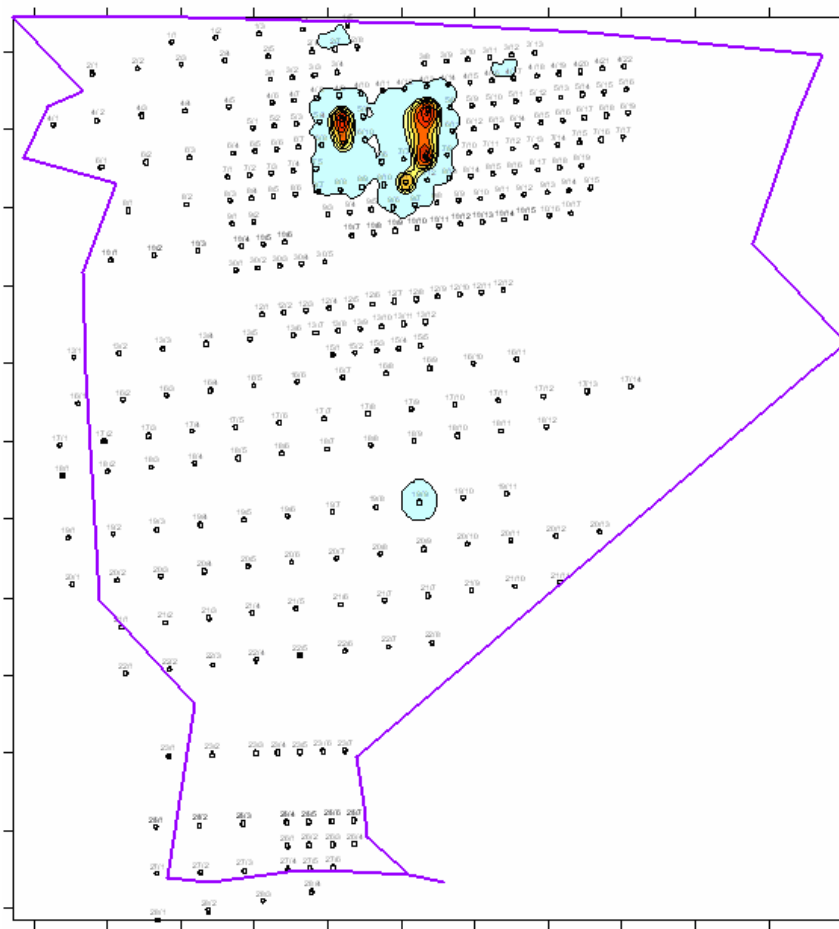
Rys. 11. Wynik symulacji komputerowej po kilku miesiącach (4m-ce) w rejonie „Niwka -Modrzejów.

Badania geochemiczne na powierzchni rejonów badań

W celu zweryfikowania przeprowadzonych prognoz geologicznych i symulacji komputerowych, w przedmiotowych rejonach badań zostały wykonane badania geochemiczne. Obejmowały one grupę badań rekonesansowych i szczegółowych.

W wymienionych rejonach wykonano łącznie około 600 sondowań geochemicznych usytuowanych w regularnej siatce kwadratowej o kroku pomiarowym 50m na całej powierzchni badanego obszaru. Dodatkowe pomiary geochemiczne wykonano w otoczeniu szybów. Głębokość sondowań wynosiła około 2m. We wszystkich pobranych próbkach gazów glebowych oznaczano zawartość następujących gazów: CH₄, C₂H₆, C₃H₈, ΣC_nH_{2n+2}, O₂, N₂, H₂, He, Ar, CO, CO₂, H₂S.

Analiza wyników uzyskanych z profili gazowych wykazywała ich wyraźny związek z budową geologiczną, jak również z miejscami występowania stref uskokowych. Z przedstawionej na rys.12 mapy koncentracji metanu w powietrzu glebowym widać, że maksymalne stężenie tego gazu wynoszące ponad 60%, występuje w północnej części obszaru badań rejonu I, gdzie miąższość nadkładu utworów czwartorzędowych jest poniżej 5,0m. Istnieje więc dobra drożność dróg transportu metanu.



○ 7/1 - pkt i nr pomiaru w badaniach geochemicznych

Zawartość CH₄ w powietrzu glebowym (%)

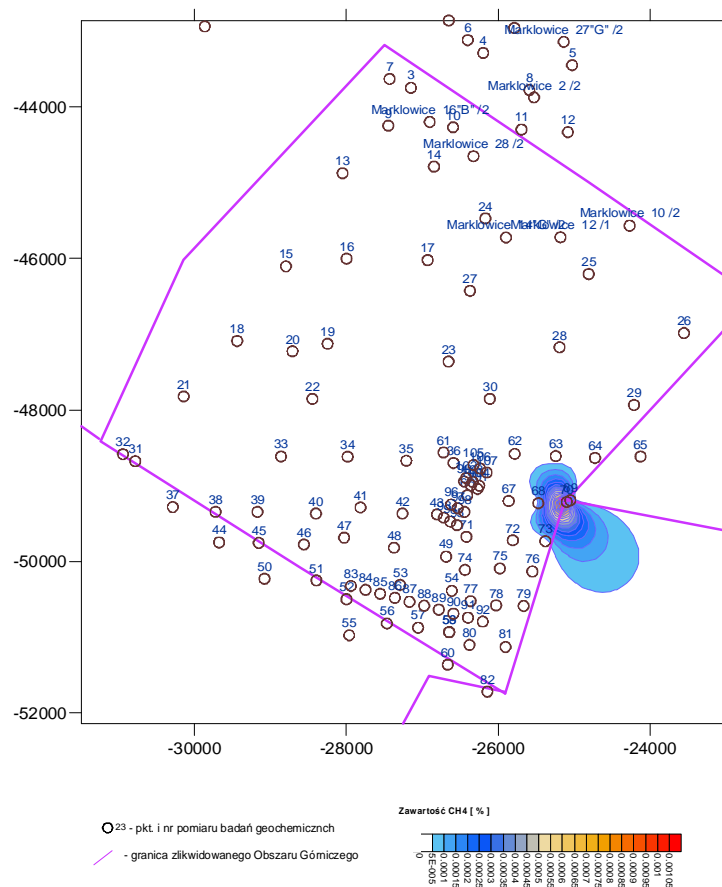
0	1	2	3	4	5	6	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---	---

- granica zlikwidowanego Obszru Górniczego kopalni „Niwka-Modrzejów”

Rys. 12. Mapa zawartości CH₄ w powietrzu glebowym na obszarze zlikwidowanej kopalni „Niwka-Modrzejów”

W rejonie II – zlikwidowany ruch górniczy „1Maja” w kopalni „Marcel”, na podstawie wykonanych sondowań geochemicznych wykonano mapę koncentracji metanu (rys.13) pokazującą, że na całym badanym obszarze stężenie metanu jest równe zero. Jedynie w części SW obszaru badań (na granicy kopalnią „Jas-Mos”, ruch „Moszczenia”) widoczna jest niewielka koncentracja metanu w rejonie szybu III (0,0041%).

Powyższe wyniki szczegółowych badań geochemicznych w pełni potwierdzają, że na terenie zlikwidowanej kopalni „1 Maja” głównymi drogami migracji gazów kopalnianych są dawne wyrobiska szybowe, które nie zostały szczelnie zlikwidowane.



Rys. 13. Mapa zawartości metanu w powietrzu glebowym na obszarze zlikwidowanego ruchu „1 Maja” kopalni „Marcel”

Podsumowując wyniki analizy pomiarów geochemicznych przeprowadzonych w dwóch zlikwidowanych kopalniach węgla kamiennego należy stwierdzić, że w pełni potwierdziły one istnienie migracji gazów kopalnianych, szczególnie metanu i dwutlenku węgla, stwierdzając ich występowanie w określonych strefach w powietrzu glebowym przypowierzchniowej warstwy gruntu. Są one zbieżne z wynikami wcześniejszych analiz geologicznych oraz symulacji komputerowych. Oznacza to, że zastosowane metody badawcze i opracowana metodologia ich stosowania są odpowiednimi narzędziami analitycznymi do badania zjawiska migracji gazów w okresie po likwidacji kopalni i do wyznaczenia położenia stref potencjalnego zagrożenia gazowego na powierzchni.

WNIOSKI

1. Przeprowadzone kompleksowe badania w zakresie geologicznych uwarunkowań migracji gazów kopalnianych ze zlikwidowanych kopalń węgla kamiennego w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym w pełni potwierdziły istnienie tego zjawiska oraz umożliwiły jego ilościową charakterystykę.
2. Zastosowane kompleksowe podejście do problemu migracji gazów kopalnianych zostało oparte na trzech różnych metodach analitycznych i pomiarowych, mianowicie :
 - analizy geologicznej górotworu i jego parametrów w aspekcie migracji gazów,
 - modelowania i symulacji komputerowych procesu migracyjnego,
 - pomiarów geochemicznych wykonanych na powierzchni terenu pogórniczego.
3. Uzyskane wyniki z wykorzystaniem powyższych metod wykazały dobrą zgodność ocen w zakresie identyfikacji uprzywilejowanych dróg migracji gazów kopalnianych,

szczególnie metanu oraz określania miejsc na powierzchni o potencjalnie podwyższonym zagrożeniu gazowym.

4. Przeprowadzone badania potwierdziły, że istotny wpływ na intensywność emisji gazów kopalnianych i przebieg procesu ich migracji w górotworze w kierunku powierzchni oraz wynikowy rozkład gazów w powietrzu glebowym przypowierzchniowej warstwy gruntu, posiadają takie czynniki geologiczne, jak:
 - struktura górotworu,
 - litologiczne wykształcenie warstw karbońskich i ich nakładu, wpływające na kształtowanie się przepuszczalności i porowatości,
 - występowanie stref tektonicznych,
 - zawartość gazów, szczególnie metanu, w pokładach węgla i skałach otaczających,
 - zawodnienie górotworu i jego zmienność w procesie zatapiania kopalni.
5. Lokalne analizy zjawiska migracji gazów kopalnianych w kierunku powierzchni wskazują, że oprócz czynników geologicznych, także uwarunkowania górnicze, związane z prowadzoną w okresie aktywności kopalni działalnością górniczą, mają wpływ na kształtowanie się tego zjawiska. Szczególnie dotyczy to tworzenia się stref ułatwiających proces migracji, które są związane z:
 - rejonami dokonanej eksploatacji, gdzie w wyniku odprężenia górotworu dochodzi często do wyraźnego zwiększenia się jego szczelinowatości,
 - strefami nakładania się krawędzi zatrzymanej eksploatacji w kilku pokładach węgla, w których miało miejsce intensywne zniszczenie struktury otaczającego górotworu i jego wyraźne udroźnienie,
 - rejonami płytkiej eksploatacji pokładów węgla.
6. Wyniki badań w pełni potwierdziły istnienie takich uprzywilejowanych dróg transportu gazów kopalnianych w kierunku powierzchni, po zakończeniu eksploatacji pokładów węgla, jak :
 - strefy uskokowe,
 - strefy o wzmożonej szczelinowatości,
 - szyby i otwory mające ujście na powierzchnię, zazwyczaj nieszczelnie zlikwidowane.
7. Jednoznacznie stwierdzono, że kluczową rolę w kształtowaniu procesu migracji gazów kopalnianych w kierunku powierzchni odgrywa wykształcenie litologiczne i miąższość nakładu karbońskiego, szczególnie warstw trzeciorzędowych i czwartorzędowych. W przypadku grubych i nieprzepuszczalnych warstw trzeciorzędowych (iły mioceńskie) zjawisko migracji jest wyraźnie spowolnione (objawy wystąpienia gazu na powierzchni pojawiają się po znacznie wydłużonym czasie – około 30 latach) lub jest wręcz niemożliwe.
8. Określony metodą modelowania i symulacji komputerowych, czas migracji gazów kopalnianych dla poszczególnych karbońskich serii litostratygraficznych, przy ich miąższości 200 m, zależy od głębokości ich zalegania i przykładowo wynosi:
 - dla krakowskiej serii piaskowcowej w przedziale głębokości:
200–400 m – 12 dni; 800–1000 m – 14 dni;
 - dla serii paralicznej:
200–400 m – 980 dni; 800–1000 m – 2500 dni.
9. Wyniki prowadzonych badań w dwóch zlikwidowanych kopalniach, wskazują przede wszystkim, na wyraźne odmienne wykształcenie nakładu skał karbońskich, a zarazem potwierdziły użyteczność kooprocesora Tough w prognozowaniu procesów związanych z migracją gazów kopalnianych. Pozwoliły, między innymi, na :
 - odtworzenie rozkładu ciśnienia i nasycenia gazami przestrzeni porowej,
 - wskazanie potencjalnych źródeł zagrożenia gazowego,
 - możliwość migracji gazów w kierunku powierzchni, po zlikwidowaniu kopalni.

10. Korelacja parametrów gazowych i zmian zachodzących w górotworze, szczególnie w odniesieniu do warunków hydrogeologicznych wskazuje, że istotny wpływ na proces migracji gazów kopalnianych w kierunku powierzchni ma także podnoszenie się zwierciadła wody, dające efekt tłoka w odniesieniu do nagromadzeń gazów kopalnianych.

Dodatkowe informacje:

mgr inż. Jarosław Chećko, tel. 032 259 23 72, e-mail: jchecko@gig.eu