

Grzegorz Kołodziejak  
*Instytut Nafty i Gazu, Kraków*

## Ocena możliwości minimalizacji zagrożeń powodowanych ekshalacjami gazu ziemnego na terenie miasta Przeworsk

### Wstęp

Działalności wiertniczej towarzyszą różnorodne zjawiska wywierające określone skutki dla środowiska naturalnego. Jednym z tych zjawisk są ekshalacje gazu ziemnego.

Na terenie Polski zjawisko ekshalacji gazu występuje na przedgórzu Karpat. Najbardziej zagrożone, z uwagi na zwiększoną intensywność oraz lokalizację, wydają się być okolice Przeworska, gdzie zjawisko to rejestrowane jest w obrębie samego miasta. Słuszne zatem wydaje się

podjęcie działań na rzecz ograniczenia lub – jeżeli to możliwe – eliminacji tego zjawiska.

Na zlecenie PGNiG S.A. w Warszawie Oddział w Sanoku, w okolicach Przeworska od wielu lat prowadzone są badania mające na celu rozpoznanie występujących ekshalacji gazu i działania zmierzające do opracowania skutecznej metody likwidacji, bądź ograniczenia tego zjawiska – wywierającego negatywny wpływ na środowisko, a przede wszystkim stanowiącego zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi.

### Czynniki geologiczne wpływające na intensywność ekshalacji gazu ziemnego na obszarze przedgórza Karpat

Zjawiska migracji gazu występujące na obszarze przedgórza Karpat wiążą się bezpośrednio z budową geologiczną złóż gazu ziemnego w utworach mioceńskich, które przeważnie występują w wielowarstwowych pułapkach strukturalno-litologicznych w piaskowcowych lub mułowcowych skałach zbiornikowych. Złoża te najczęściej związane są ze strukturami kompakcyjnymi, występującymi na wyniosłościach podłoża. Osady czwartorzędowe charakteryzują się miąższościami rzędu kilkudziesięciu metrów, co powoduje, że najwyższe położone utwory sarmatu są słabo związane. Stwarza to warunki dla migracji gazu; zarówno wzdłuż naturalnych powierzchni dyslokacyjnych, jak i w strefach otworów wiertniczych, oraz powstawania wtórnych akumulacji gazu ziemnego w najwyższej zalegających wkładkach piaskowcowych i mułowcowych sarmatu, a czasami także w osadach czwartorzędowych.

Do najważniejszych czynników geologicznych mających wpływ na migrację gazu; zarówno do powierzchni jak i do stref wtórnych akumulacji, należą [1–5]:

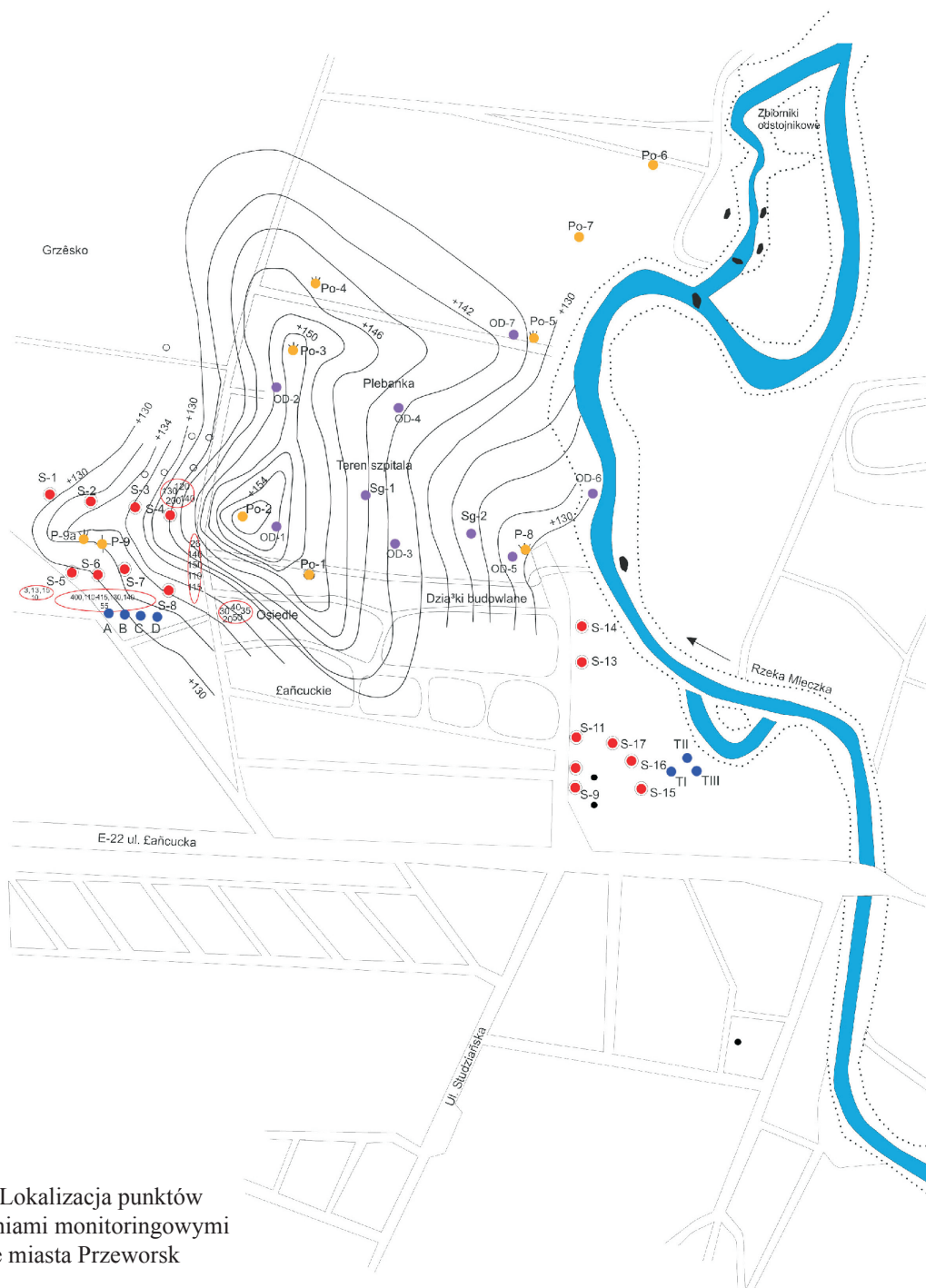
- cechy petrofizyczne ośrodka skalnego, takie jak: porowatość i przepuszczalność (zarówno wzdłuż uławicenia, jak i w kierunku prostopadłym do uławicenia warstw nadkładu), szczelinowatość, kawernistość,
- rozkład gradientów ciśnień złożowych, porowych i szczelinowania,
- ciśnienie górotworu,
- litologia profilu otworu wiertniczego,
- występowanie stref przepuszczalnych, w obrębie których może następować zwiększona filtracja płuczki wiertniczej i zaczynu cementowego,
- właściwości i chemizm skał ilastych,
- typ i miąższość nadkładu czwartorzędowego.

**Opis działań podjętych przez PGNiG S.A. w Warszawie Oddział w Sanoku w celu minimalizacji zagrożeń powodowanych ekshalacjami gazu**

Dla ograniczenia zagrożeń powodowanych ekshalacjami gazu, PGNiG S.A. w Warszawie Oddział w Sanoku podjął szereg działań na terenie złoża Przeworsk. Wykonane zostały odwierty odgazowujące poziom sarmatu, które zlokalizowano na terenie złoża Przeworsk, w rejonie Plebąki – osiedla mieszkaniowego, szpitala i działek budowlanych (rysunek 1).

Ponadto wykonano 14 sond degazacyjnych, odgazowujących warstwy czwartorzędu, które zlokalizowano na terenie pól uprawnych w rejonie odwiertu P-9 oraz pomiędzy rzeką Mleczką a ulicą Łańcucką.

Od trzydziestu lat prowadzony jest monitoring geochemiczny według przyjętego przez PGNiG S.A. w Warszawie Oddział w Sanoku harmonogramu. Poszczególne obiekty



Rysunek 1. Lokalizacja punktów objętych badaniami monitoringowymi na terenie miasta Przeworsk

badan zakwalifikowano do osobnych grup, wyznaczonych w oparciu o materiał do badań analitycznych (powietrze atmosferyczne, powietrze gruntowe, woda gruntowa oraz woda powierzchniowa).

Wśród poszczególnych obiektów badań istotną rolę odgrywa monitoring sond degazacyjnych: S-1 do S-8 oraz A, B, C, D (rysunek 1), które stanowią swego rodzaju ekran, mający na celu wyłapywanie migrującego gazu i ograniczający w ten sposób rozprzestrzenianie się ekshalacji w kierunku przyległych zabudowań. Jednocześnie do analizy chemicznej pobierane są próby gazu i wody, pochodzące z potencjalnie zagrożonych ekshalacją zabudowań, znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie wtórnie utworzonego złoża gazu, w otoczeniu odwiertów P-9 i P-9a. Analogiczny ekran stanowią sondy od S-10 do S-13 (rysunek 1).

### Geochemiczne badania monitoringowe zjawiska ekshalacji gazu – studium przypadku

Podczas realizacji projektu NEB/PL/PDK/2.1/06/45 „*Ekshalacje gazu ziemnego – polsko-ukraiński problem przedgórza Karpat*”, w latach 2007–2008 na terenie miasta Przeworsk przeprowadzone zostały niezależne badania monitoringowe. Wykonano dziesięć serii pomiarowych, uwzględniających pobór 40 próbek powietrza glebowego.

Do badań prowadzonych w ramach realizowanego projektu wykorzystano technikę sondowania gazów gruntowych, w celu zbadania składu powietrza gruntowego na obecność w nim metanu i określeniu jego stężenia.

Siatkę zagęszczenia punktów pomiarowych zaprojektowano w oparciu o analizę dokumentacji geologiczno-geochemicznej z rejonu objętego badaniami. Argumentem bazowym przy konstruowaniu siatki był tu przede wszystkim monitoring geochemiczny prowadzony przez PGNiG S.A. w Warszawie Oddział w Sanoku. Uwagę skierowano głównie na obszary zamieszkałe przez ludność. Plan rozmieszczenia punktów pomiarowych we wstępnej

Bardzo ważną rolę odgrywają okresowo wykonywane zabiegi płukania ww. sond, w celu odpiaszczenia i udroźnienia ich głębszych partii, w których wykonane są perforacje. Okazuje się, że tego typu zabiegi skutecznie poprawiają pracę sond degazacyjnych, dzięki czemu odgazowanie terenu staje się bardziej efektywne. Poprawienie drożności poszczególnych sond potwierdza się w otrzymanych wynikach badań geochemicznych.

Z całą pewnością do odgazowania terenu przyczyniają się także otwory badawcze pozostawione po badaniach geochemicznych, prowadzonych przy użyciu przenośnych sond. Ze względu na ich ilość i kierunki rozmieszczenia, przy sprzyjających warunkach atmosferycznych proces szczypania płytkich, wtórnych złóż przebiega intensywniej – jest to bowiem otwarcie dróg dla swobodnego przepływu gazu (naturalnej dyfuzji gazu) do powierzchni terenu.

fazie niniejszego zadania potraktowano jako rekonesansowy, uwzględniający tereny sąsiadujące z rejonem stwierdzonych wcześniej ekshalacji gazowych.

Nadany krok – równy 200 m, po czterech pierwszych seriach pomiarowych i otrzymanych w nich wynikach posłużył jako punkt wyjścia i pozwolił na wstępną ocenę sytuacji w terenie. Na tej podstawie została zmodyfikowana siatka pomiarowa. Nadany został nowy, mniejszy o połowę krok siatki pomiarowej (równy 100 m), którą pokryto zawężony już obszar najbardziej newralgicznych miejsc, gdzie w powietrzu gruntowym uzyskano podwyższone wartości stężenia metanu. Chodziło tu głównie o rejon Osiedla Łańcuckiego, przez które prawdopodobnie przebiegają drogi migracji gazu ziemnego; związane zarówno z utworzeniem się w warstwach czwartorzędowych (piaskowcowo-żwirowych) wtórnej akumulacji gazu, jak i ze skutkami erupcji na odwiercie gazowym Przeworsk-9.

### Analiza wyników pomiarów

Pierwsze cztery serie pomiarowe, wykonane w formie zdjęć gazowych w określonych odstępach czasu, odbywały się w porze letniej – co przy wyjątkowo ciepłej i suchej aurze miało niebagatelny wpływ na uzyskane wyniki pomiarów tła gazowego w powietrzu gruntowym.

Czynniki pogodowe, takie jak: temperatura powietrza, wielkość opadów atmosferycznych, stan wód gruntowych i rzeki Mleczki, sprawiły, iż wśród otrzymanych wyników badań nie było niepokojących wartości anomalnych, zaś

te, które odnotowano pojawiły się tylko przy jednym z zdjęć i prawdopodobnie były one związane z miejscową infiltracją metanu w rejonie rzeki Mleczki.

Znając zależność pór roku i związanych z tym warunków panujących w terenie, wyników takich można się było spodziewać i na pewno nie oddawały one w pełni tego, co można zaobserwować podczas monitorowania całorocznego.

Na bardzo dobre warunki naturalnej degazacji z pewnością miały wpływ:

- wysoka przepuszczalność warstw przypowierzchniowych, a w związku z tym bardzo dobra wymiana powietrza atmosferycznego z glebowym,
- niski stan rzeki Mlecзки, który sprawił, że ograniczona została infiltracja w warstwy brzegowe i dalej, w głąb terenu. Nie zmienia to jednak faktu, że jeśli istniałaby stała emanacja gazu ziemnego do warstw przypowierzchniowych, na pewno zostałaby ona wychwycona za pomocą zdjęcia gazowego.

Zdjęcia rozpoznawcze w siatce o dużym kroku (równym 200 m) nie wskazały newralgicznych rejonów anomalii metanowych – uzasadnione było więc zagęszczenie siatki punktów pomiarowych i skoncentrowanie się na dużo węższym obszarze. Obszarem tym był rejon, gdzie w ramach prowadzonego monitoringu geochemicznego stwierdzono zarówno obecność gazu ziemnego w glebie, jak i w wodzie.

Kolejne 6 serii pomiarowych odbywało się w porze jesienno-zimowej, przy coraz niższej temperaturze zewnętrznej i wysokim ciśnieniu atmosferycznym – co wpłynęło

na uzyskane wyniki pomiarów tła gazowego w powietrzu gruntowym.

Powyższe czynniki sprawiły, iż wśród otrzymanych wyników badań pojawiło się znacznie więcej wartości anomalnych, a niektóre z nich osiągnęły wysokie wartości – sięgające nawet kilkudziesięciu procent. Uzyskana zmienność wyników świadczy o tym, iż niektóre z zaobserwowanych znacznych emanacji metanu mogły mieć charakter efuzyjny.

Na słabsze warunki naturalnej degazacji w tym wypadku na pewno miały wpływ:

- znikoma przepuszczalność warstw przypowierzchniowych, spowodowana zamrożoną wierzchnią warstwą gleby, która stanowiła szczelny ekran, uniemożliwiający naturalną degazację metanu do atmosfery (czyli słaba wymiana powietrza atmosferycznego z glebowym),
- wzrost opadów, który spowodował podwyższenie stanu wody w rzece Mlecзка i doprowadził do zwiększenia się poziomu wód podziemnych zawierających metan.

Tablica 1. Rozkład wielkości anomalii gazowych w ciągu pierwszych czterech serii pomiarowych

Rząd wielkości anomalii metanowych [% obj. CH <sub>4</sub> ]	Data poboru prób			
	27.07.2007	17.08.2007	31.08.2007	14.09.2007
10 <sup>-3</sup>	1 (0,0015)	0 (-)	1 (0,0044)	0 (-)
10 <sup>-2</sup>	1 (0,0479)	0 (-)	0 (-)	0 (-)
10 <sup>-1</sup>	2 (0,5324–0,6970)	0 (-)	0 (-)	0 (-)
10 <sup>0</sup>	1 (1,19)	0 (-)	0 (-)	0 (-)
10 <sup>1</sup>	0 (-)	0 (-)	0 (-)	0 (-)
Razem	5	0	1	0

Tablica 2. Rozkład wielkości anomalii gazowych – serie pomiarowe nr V, VI, VII, VIII, IX i X

Rząd wielkości anomalii metanowych [% obj. CH <sub>4</sub> ]	Data poboru prób					
	30.10.2007	20.11.2007	12.12.2007	11.01.2008	29.01.2008	05.03.2008
10 <sup>-3</sup>	3 (0,0019–0,0095)	2 (0,001)	12 (0,0011–0,0058)	6 (0,0010–0,0097)	5 (0,0012–0,0074)	3 (0,0012–0,0038)
10 <sup>-2</sup>	4 (0,0135–0,0553)	0 (-)	0 (-)	8 (0,0135–0,0761)	1 (0,0124)	0 (-)
10 <sup>-1</sup>	1 (0,5134)	0 (-)	2 (0,1982–0,5943)	6 (0,2645–0,1115)	0 (-)	1 (0,7519)
10 <sup>0</sup>	0 (-)	0 (-)	0 (-)	1 (3,39)	1 (7,20)	1 (9,7752)
10 <sup>1</sup>	0 (-)	1 (62,6885)	1 (69,87)	1 (11,38)	1 (85,37)	1 (66,5162)
RAZEM	8	3	15	22	8	6



## Propozycja możliwych rozwiązań zmierzających do minimalizacji zagrożeń związanych z ekshalacjami gazu ziemnego

Analiza wyników pomiarów przeprowadzonych w latach 1979–2008 pozwala na zweryfikowanie działań, mających na celu zminimalizowanie negatywnych skutków ekshalacji gazu ziemnego występujących na terenie złoża Przeworsk.

Poniżej przedstawione zostały propozycje działań umożliwiające zwiększenie efektywności prowadzonego monitoringu i odgazowania zagrożonego terenu, w tym m.in. zaproponowano:

- sprawdzenie stanu technicznego i ewentualną wymianę stałych sond degazacyjnych ekranu od S-10 do S-13, w związku z planowanymi inwestycjami budowlanymi na działkach leżących po prawej stronie ul. Szpitalnej (za ww. ekranem) w kierunku rzeki Mleczyki,
- wprowadzenie harmonogramu okresowego „czyszczenia” (płukania i konserwacji) sond wchodzących w skład systemu monitoringu, w celu utrzymania ich drożności, a tym samym efektywnej degazacji zagrożonych ekshalacjami terenów,
- zwrócenie się władz samorządowych Przeworska z prośbą o apel do mieszkańców miasta i poinformowanie ich, iż zamieszkują oni tereny położone na naturalnych, płytko zalegających warstwach złoża gazu ziemnego, który ekshaluje do warstw przypowierzchniowych (a w związku z tym o zachowanie szczególnej ostrożności przy prowadzeniu wszelkiego rodzaju prac ziemnych, stanowiących w tym przypadku ingerencję w warstwy gruntowe, będące płaszczem izolacyjnym

dla najpłytszych, wtórnych akumulacji gazu ziemnego). Zachowanie szczególnych warunków ostrożności oraz zobowiązanie do stosowania odpowiednich przepisów BHP powinno dotyczyć w szczególności:

- wykonywania robót budowlanych (kładzenia fundamentów),
- kopania lub wiercenia studni za wodą pitną – których zdecydowanie odradza się,
- wykonywania prac przy sieci kanalizacyjnej,
- dalsze racjonalne prowadzenie eksploatacji złoża Przeworsk, przekładające się na zmniejszenie nagazowania przypowierzchniowych warstw czwartorzędowych,
- posadowienie dodatkowych sond degazacyjnych w paśmie od S-1 do S-4, w celu uszczelnienia ekranu,
- przedłużenie ekranu A, B, C, D (stanowiącego barierę degazacyjną przy zabudowaniach) o kolejne sondy w kierunku wschodnim,
- posadowienie sondy degazacyjnej (lub kilku sond) na terenie zajazdu Pastewnik (np. w obrębie ogrodzenia),
- posadowienie dodatkowych sond degazacyjnych pomiędzy odwiertem Po-2 a zabudowaniami, w kierunku południowym od ww. odwiertu,
- ewentualne wprowadzenie systemu ujęcia ekshalującego metanu oraz wykorzystanie go, bądź spalanie. Instalacja taka umożliwiłaby zmniejszenie emisji powierzchniowej do atmosfery,
- posadowienie stałych sond degazacyjnych bezpośrednio w otoczeniu odwiertów: P-9, P-9a, P-14 oraz Po-2.

### Podsumowanie

Występowanie powierzchniowych zjawisk ekshalacyjnych na obszarach basenów naftowych, stref i pól ropo- i gazonośnych, jest zjawiskiem częstym. Od wielu lat obserwuje się je także na obszarze przedgórzia Karpat, a w tym również w okolicach Przeworska, gdzie od wielu lat ujawniały się one w sposób naturalny, bez ingerencji człowieka. Opisywany obszar złoża gazu ziemnego Przeworsk położony jest w strefie zagrożenia gazowego, wynikającego z występowania podwyższonych koncentracji metanu w gruncie – najczęściej w miejscach związanych z działalnością przedsiębiorstw przemysłu naftowego.

Po zaistnieniu erupcji w odwiercie P-9 (w roku 1979), podjęto szeroko zakrojone badania i obserwacje terenu dotkniętego skutkami niekontrolowanego wypływu gazu, które miały na celu zidentyfikowanie zjawiska nagazowania

(poprzez system stałego monitoringu) oraz likwidacji powstałego zagrożenia (poprzez proces degazacji). Przyjęty wówczas system kontroli zjawisk ekshalacyjnych, przy nieznacznych zmianach, kontynuowany jest do dziś; i choć nie daje on jednoznacznej odpowiedzi o stanie nagazowania obszaru – ze względu na jego subiektywny charakter, zdeterminowany położeniem punktów pomiarowych (sond, studni i odwiertów) – to stanowi podstawę do wyciągania wniosków dotyczących przyczyn powstawania zjawisk ekshalacyjnych na tym obszarze oraz określenia wpływu poszczególnych czynników na stan nagazowania warstw przypowierzchniowych.

Eksploatacja złoża gazu ziemnego Przeworsk jest również czynnikiem wpływającym na wielkość powierzchniowych zjawisk ekshalacyjnych, ale – jak wynika z przepro-

wadzonej analizy – nie jest to zależność liniowa. Największe zmiany w nagazowaniu gruntu obserwuje się w pobliżu otworów eksploatacyjnych. Jest to spowodowane istnieniem nieszczelności w strefach przyotworowych, co sprawia, że strefy pozarurowe tworzą kominy migracyjne, będące głównymi kanałami rozprowadzającymi gaz: do najwyższych warstw sarmatu, do czwartorzędu oraz do atmosfery [6].

Zależność pomiędzy parametrami eksploatacyjnymi złoża a stanem nagazowania obszaru przejawia się tym, że wzrost ekshalacji wiąże się z niskimi oraz maksymalnymi wielkościami wydobywania. Przy wartościach pośrednich obserwuje się spadek ekshalacji we wszystkich grupach pomiarowych. Maksymalne wielkości wydobywania mogły powodować duże różnice ciśnień w strefach przyotworowych, w występujących tam skałach słabozwięzłych – co doprowadziło do wytworzenia się kanałów migracyjnych, przez które gaz przedostaje się do I poziomu gazowego i do czwartorzędu. W przypadku niskiego wydobywania (lub jego braku) następowała odbudowa ciśnienia złożowego i gaz

zaczynał migrować wytworzonymi wcześniej szczelinami – ku warstwom przypowierzchniowym.

Najprawdopodobniej horyzont Ia odgrywa istotną rolę w procesie nagazowywania obszaru złoża Przeworsk. Od 1987 roku ciśnienie denne statyczne tego horyzontu przewyższa ciśnienie horyzontu III, zalegającego głębiej – co świadczy o tym, że nie jest on zasilany gazem z horyzontu III i może być głównym źródłem gazu w gruncie. Wzrost wydobywania z horyzontu Ia powoduje, że rośnie koncentracja gazu w pobliżu otworów P-9, P-14 i P-14a oraz w grupach I i III.

Ze wzrostem wydobywania z horyzontu III spada koncentracja gazu wokół otworu P-9a, natomiast rośnie wokół P-14a oraz w grupie IV. Świadczy to o odgazowaniu otoczenia otworu P-9a, eksploatującego ten horyzont, jednak równocześnie oddziaływanie na horyzont powoduje zwiększoną migrację gazu, której efekty – w postaci podwyższonych koncentracji – obserwowane są w studniach degazacyjnych i piwnicach pobliskich budynków.

Artykuł nadesłano do Redakcji 18.02.2010 r. Przyjęto do druku 27.04.2010 r.

Recenzent: doc. dr inż. Andrzej Froński

## Literatura

- [1] Bonett A., Pafitis D.: *Getting to the Root of Gas Migration*. Oilfield Review, Spring, 1996.
- [2] Brufatto C. i in.: *From Mud to Cement-Building Gas Wells*. Oilfield Review, Autumn, 2003.
- [3] Herman Z. i in.: *Poprawa skuteczności cementowań kolumn rur okładzinowych w wybranych rejonach przedgórze Karpat*. Dokumentacja INiG, Kraków, 2004.
- [4] Herman Z., Sowizdżał K.: *Migracje i ekshalacje gazu ziemnego w odwiertach na obszarze polskiego przedgórze Karpat*. Problemy przemysłu naftowego, T2, 2005.
- [5] Herman Z., Zechenter J.: *Zapobieganie i likwidacja ekshalacji gazu ziemnego wokół otworów wiertniczych*. Dokumentacja IGNiG, Kraków, 1996.
- [6] Stopa J., Rychlicki S. i in.: *Analiza wpływu eksploatacji na ekshalacje gazu ze złóż*. Wiertnictwo Nafta Gaz, Tom 18/1, 2001.



Mgr inż. Grzegorz KOŁODZIEJAK – absolwent Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Krakowskiej. Asystent w Zakładzie Technologii Energii Odnawialnych Instytutu Nafty i Gazu w Krakowie. Obecnie zajmuje się realizacją prac związanych z wykorzystaniem energii ze źródeł odnawialnych, w szczególności biomasy.