

Zbigniew Fąfara*

**PRZYKŁAD WYKORZYSTANIA
METODY ATMOGEOCHEMICZNEJ DO ROZPOZNANIA
SKAŻENIA GRUNTU SUBSTANCJAMI ROPOPOCHODNYMI****

1. WSTĘP

We współczesnym świecie stosunkowo często dochodzi do skażenia środowiska naturalnego substancjami ropopochodnymi. Typowym przykładem jest niekontrolowane rozlanie produktów naftowych na powierzchni terenu. Węglowodory wnikając w głąb gruntu, będą podlegać różnym procesom [1, 2, 3], w efekcie których stwarzać będą potencjalne zagrożenie dla środowiska, mimo zniknięcia powierzchniowych oznak tego zagrożenia. Typowym niebezpieczeństwem jest poprzeczna migracja zanieczyszczeń w głąbi gruntu, przez co mogą one nieoczekiwanie dać znać o sobie w miejscach znacznie odległych od obszaru wprowadzenia.

Szybka i skuteczna reakcja wymaga odpowiednich metod rozpoznania skali zagrożenia. Współczesna literatura obfituje w przykłady tego typu procedur, np. [4, 5]. Zawsze istnieje możliwość pobrania próbek gruntu w celu ich analizy laboratoryjnej. Procedura ta jest jednak kłopotliwa z uwagi na duże koszty (pobranie próbek, ich przechowywanie i badanie laboratoryjne z użyciem specjalistycznej aparatury) i stosunkowo długi czas oczekiwania na wyniki. Przewagę mają tanie i prawie natychmiastowe wskaźnikowe metody pośrednie, jak rozwijana ostatnio metoda atmogeochemiczna [4–7] i georadarowa [5].

Omówiony w niniejszej pracy przykład wykorzystania wyników pomiarów atmogeochemicznych (zazwyczaj najszybsza i najtańsza z oferowanych metod) do rozpoznania skażenia na terenie bazy paliwowej dostarcza szeregu ważnych informacji uzyskiwanych dzięki interpretacji jedynie jakościowych pośrednich wyników pomiaru koncentracji par węglowodorów w gazach gruntowych. Stosunkowo prosta sonda wprowadzana do gruntu pozwala na znalezienie profilu głębokościowego koncentracji zanieczyszczeń ropopochodnych metodą atmogeochemiczną, pobierając jednocześnie rdzeń próbek warstw gruntu, przez które przechodzi. Dzięki temu można je dodatkowo poddać analizie wzrokowej lub skierować pobrane próbki do badania laboratoryjnego.

* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

** Pracę zrealizowano w ramach umowy nr 15/69/T12/2004/27

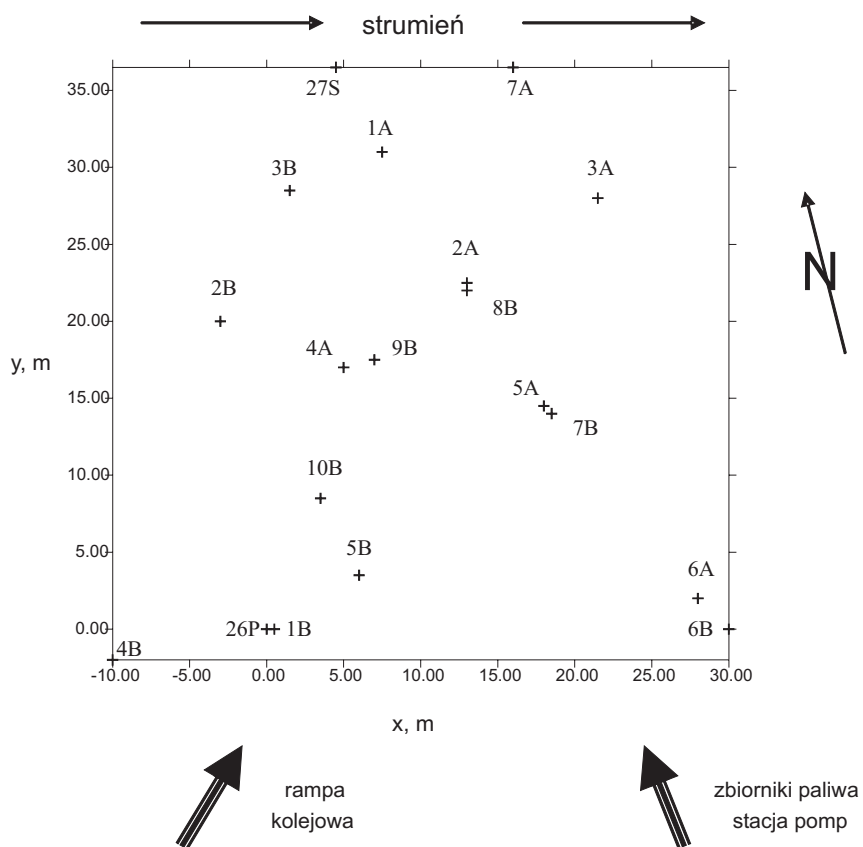
2. PRZEDMIOT BADAŃ I WYKONANIE POMIARÓW

Badania zrealizowano na obszarze bazy paliwowej średniej wielkości. Wykorzystano aparaturę firmy Dräger [4–6], w skład której wchodzi zestaw z sondą pomiarową wprowadzaną do gruntu (do głębokości maksymalnie 3 m) oraz miernik MultiWarn II z aktywnym czujnikiem podczerwieni wykalibrowanym w % obj. ekwiwalentnej koncentracji propanu. Miernika tego użyto do wykrywania obecności par węglowodorów w gazach gruntowych. Celem badań było ewentualne stwierdzenie obecności substancji ropopochodnej w przypowierzchniowej warstwie gruntu, na wskazanym obszarze w pobliżu strumienia. Zanieczyszczenia mogłyby się tutaj znaleźć w drodze poprzecznej filtracji w głębi gruntu od miejsc szczególnie narażonych na powierzchniowe wycieki paliwa, tzn. przeładunkowej rampy kolejowej (obszar przepompowywania paliwa z cystern kolejowych do zbiorników za pośrednictwem specjalnej instalacji) oraz stacji pomp (miejsce przepompowywania paliwa ze zbiorników do cystern samochodowych). W interesującym obszarze teren charakteryzuje się nieznacznym spadkiem w kierunku strumienia, który oszacowano na poziomie $\alpha = 0^\circ 40'$. Na terenie łączącym interesujący obszar badań z rampą kolejową i stacją pomp nachylenie jest nawet większe i dochodzi do $\alpha = 2^\circ$.

Pomiary zrealizowano w dwóch seriach w odstępach ponad czterech miesięcy. Każdej z serii towarzyszyły nieco odmienne warunki atmosferyczne, które miały istotny wpływ na warunki panujące w gruncie, a w konsekwencji – na uzyskane wyniki (generalnie – na rejestrowany poziom wskazań zawartości ekwiwalentnej koncentracji propanu w gazach gruntowych wyrażonej w % obj., jednak obraz jakościowy skażenia gruntu węglowodorami powinien być w znacznie mniejszym stopniu uzależniony od warunków pogodowych).

Pierwsza seria została zrealizowana 25 maja 2005 roku. W okresie poprzedzającym i w czasie pomiarów było upalnie i bezdeszczowo, a temperatury w ciągu dnia wynosiły powyżej 20°C . Wykonano wtedy siedem otworów o głębokości maksymalnej do 1,5 m. Do otworów wprowadzano sondę pomiarową i rejestrowano ekwiwalentną koncentrację propanu w gazach gruntowych na trzech głębokościach: 0,5 m, 0,8 m i 1,2 m. Te punkty pomiarowe w dalszej części pracy oznaczono symbolami składającymi się z cyfry (od 1 do 7) i dużej litery A. Lokalizację otworów serii A przedstawiono na planie sytuacyjnym na rysunku 1.

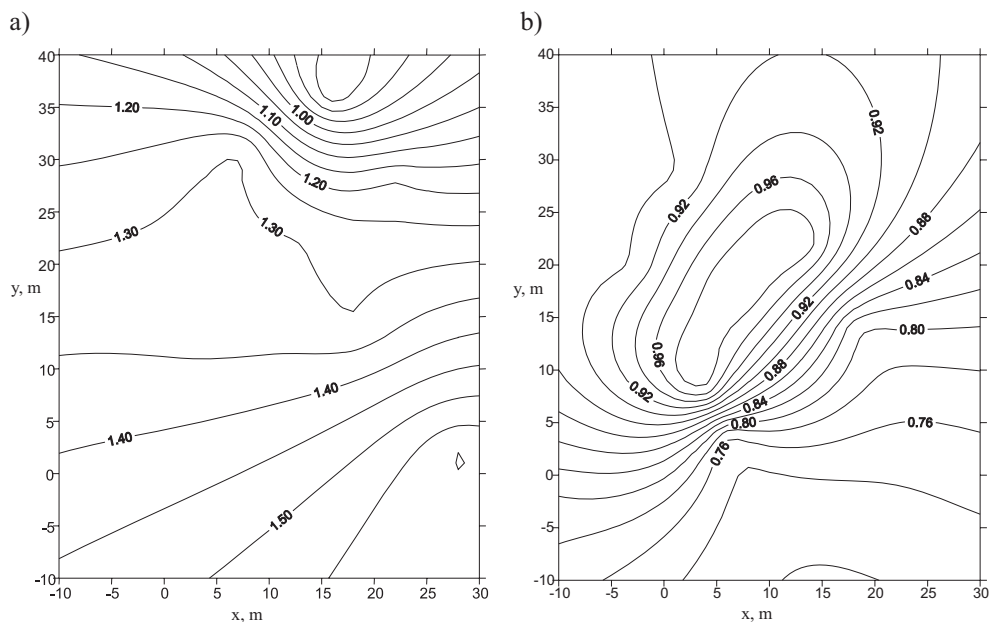
Drugą serię pomiarów zrealizowano 6 października 2005 roku. W dniach poprzedzających występowały przelotne opady deszczu, średnio intensywne. Dodatkowo od ponad tygodnia, rano (niekiedy nawet do południa) utrzymywała się mgła, która opadając, pozostawiała rosę. Temperatura w ciągu dnia oscylowała wokół 10°C . Wszystko to sprawiało, że grunt w czasie pomiarów był wilgotny, dodatkowo nastąpiło podniesienie się stropu strefy saturacji. Stosunkowo niska temperatura powietrza negatywnie wpływała na intensywność parowania węglowodorów obecnych w gruncie. W dniu badań wykonano dziesięć otworów o głębokości maksymalnej do 1,1 m. Do otworów wprowadzano sondę pomiarową i rejestrowano ekwiwalentną koncentrację propanu w gazach gruntowych na dwóch głębokościach: 0,5 m i $0,8 \div 0,9$ m. Te punkty pomiarowe w dalszej części pracy oznaczono symbolami składającymi się z liczby (od 1 do 10) i dużej litery B. Lokalizację otworów serii B przedstawiono na planie sytuacyjnym na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat lokalizacji wykonanych otworów pomiarowych na obszarze bazy paliwowej

W celu umiejscowienia punktów pomiarowych na rysunku 1 wprowadzono kartezjański układ współrzędnych o środku w punkcie 26P, który określa lokalizację istniejącego na badanym obszarze otworu piezometrycznego. Na planie poza wykonanymi otworami pomiarowymi serii A i B zaznaczano również punkt 27S, który odpowiada położeniu istniejącej studni drenażowej, chroniącej strumień przed ewentualnym przedostaniem się do niego zanieczyszczeń ropopochodnych. Do studni doprowadzona jest instalacja do wypompowywania z niej płynu i odprowadzenia go do oczyszczalni. Na diagramie zaznaczono także położenie strumienia oraz kierunek od umiejscowienia rampy kolejowej i stacji pomp.

W trakcie wykonywania otworów pomiarowych na całej ich długości pobierano próbki rdzenia w celu określenia przede wszystkim położenia stropu strefy saturacji, ponieważ zastosowana atmogeochemiczna metoda rozpoznawania zanieczyszczenia gruntu węglowodorami może być wykorzystywana tylko w strefie aeracji. Wyniki badania położenia stropu strefy saturacji w czasie realizowania serii pomiarowych A i B zamieszczono na rysunku 2 (zastosowano ten sam układ współrzędnych kartezjańskich). Diagramy pokazują między innymi różnice wynikające z odmiennych warunków pogodowych, panujących podczas realizacji poszczególnych serii pomiarowych.



Rys. 2. Zmierzona głębokość stropu strefy nasycenia na interesującym obszarze badań: a) pierwsza seria pomiarowa; b) druga seria pomiarowa

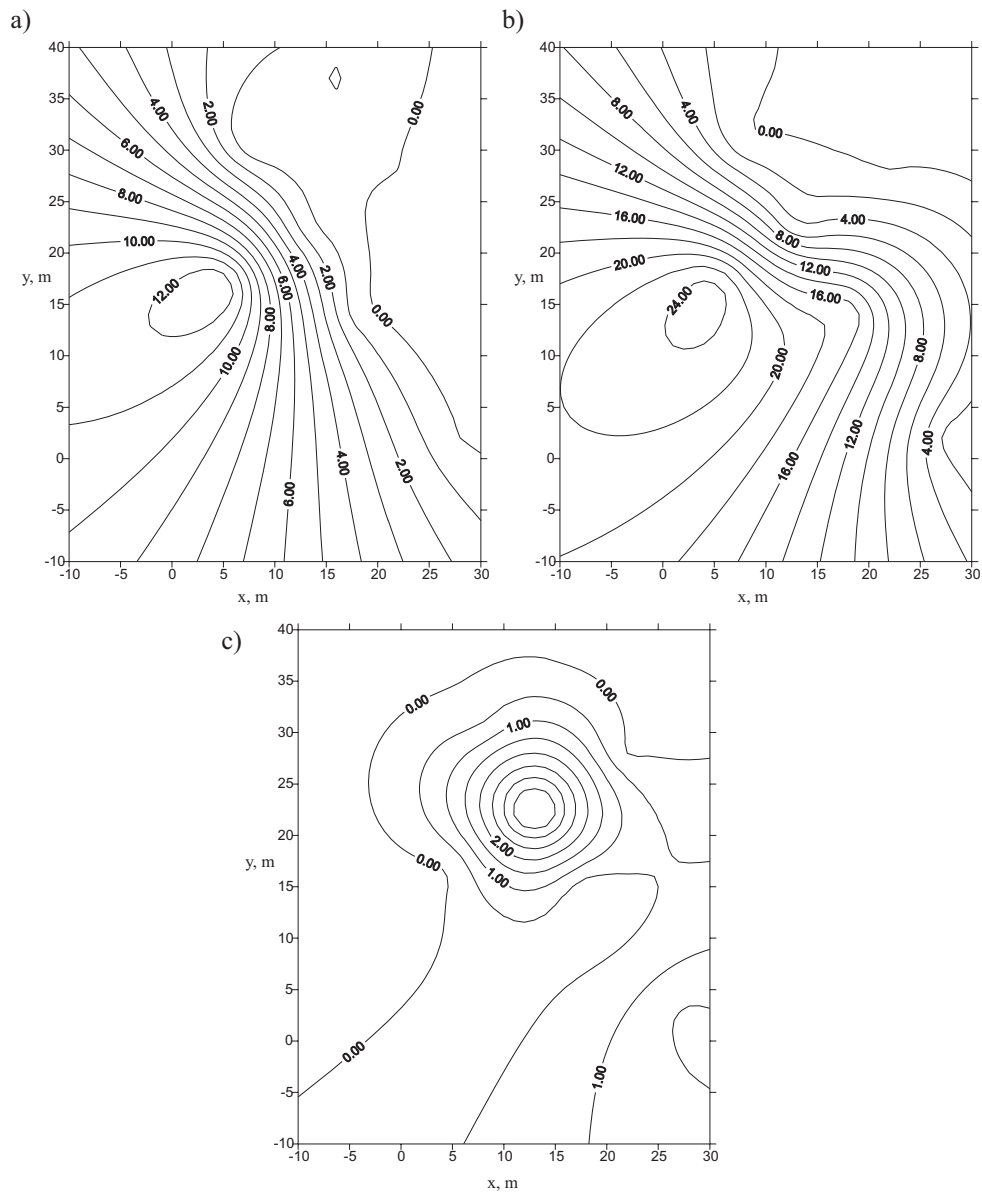
Z rysunku 2 wynika między innymi, że strop strefy nasycenia w czasie wykonywania drugiej serii pomiarowej znajdował się o około 0,4 m wyżej niż podczas realizacji pomiarów pierwszej serii. Na rysunku 2a można zauważyć, że w południowej części wybranego obszaru strop strefy nasycenia stwierdzono na głębokości około 1,5 m. W kierunku północnym (w kierunku strumienia) granica ta zaczyna się podnosić do około 1 m. Spiętrzenie wody szczególnie zaznacza się w otoczeniu studni 27S. Układ ten ukształtował się w czasie bardzo małych opadów, po kilkudniowym okresie słonecznej i bezdeszczowej pogody.

Na rysunku 2b układ jest diametralnie inny. Po stronie południowej strop strefy nasycenia znajduje się wyżej, co najprawdopodobniej spowodowane jest spiętrzeniem w gruncie wody opadowej spływającej z terenu bazy paliwowej do zlewiska przy strumieniu. Najniższy poziom stropu strefy nasycenia występuje po stronie północnej w okolicy studni oczyszczającej. Pewne zaburzenie w środkowej części analizowanego obszaru w regularnym przebiegu linii na rysunku 2a i lokalnym obniżeniu poziomu wody na rysunku 2b może być wynikiem prac ziemnych wykonanych wcześniej podczas układania podziemnego rurociągu do odprowadzania do oczyszczalni zanieczyszczeń ujętych w studni 27S.

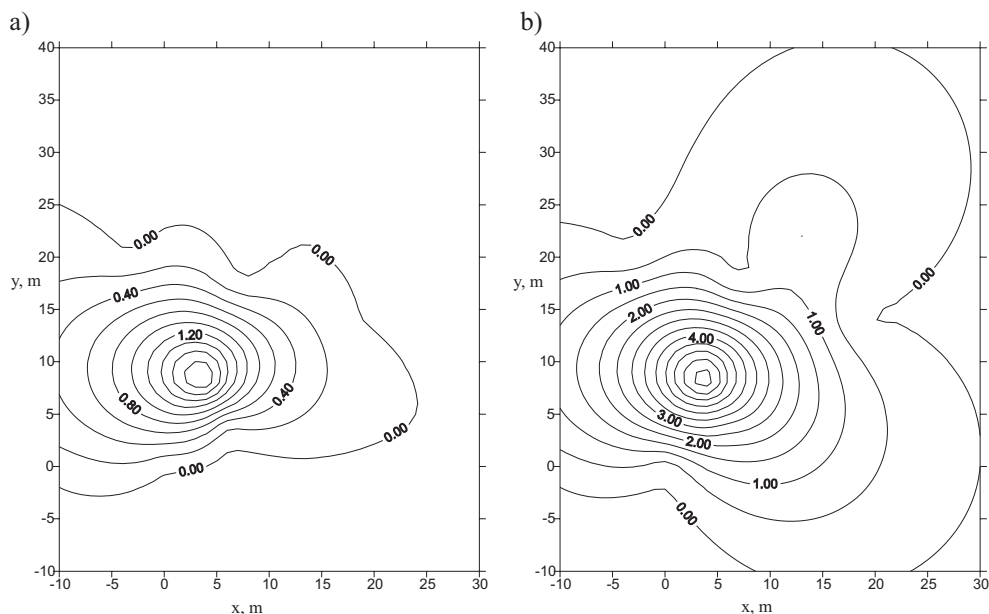
3. WYNIKI POMIARÓW BEZPOŚREDNICH I ICH ANALIZA

Wyniki pomiarów bezpośrednich w gruncie wykonanych metodą atmochemiczną, w celu określenia ekwiwalentnej koncentracji propanu w % obj. w gazach gruntowych zaprezentowano w postaci powierzchniowych map konturowych, przygotowanych w oparciu

o punktowe oznaczenia otrzymane w poszczególnych otworach pomiarowych z wykorzystaniem metody krigingu. Na rysunku 3 przedstawiono mapy uzyskane na podstawie wyników badań w pierwszej serii pomiarowej dla trzech różnych głębokości. Analogicznie rysunek 4 dotyczy drugiej serii pomiarowej.



Rys. 3. Mapy konturowe ekwiwalentnej koncentracji propanu (% obj.) w gazach gruntowych otrzymane na podstawie analizy wyników z pierwszej serii pomiarowej uzyskanych na określonej głębokości: a) 0,5 m; b) 0,8 m; c) 1,2 m



Rys. 4. Mapy konturowe ekwiwalentnej koncentracji propanu (% obj.) w gazach gruntowych otrzymane na podstawie analizy wyników z drugiej serii pomiarowej uzyskanych na określonej głębokości: a) 0,5 m; b) 0,8 m

W trakcie pomiarów zauważono, że węglowodory w gazach gruntowych pojawiają się dopiero na głębokości około $0,4 \div 0,5$ m. Powyżej na ogół grunt nie jest skażony. Oznacza to, że wyciek paliwa musiał nastąpić poza badanym obszarem. Biorąc pod uwagę nachylenie terenu, można stwierdzić, że skażenie musiało mieć miejsce na południe od analizowanego obszaru. Najwyższe ekwiwalentne koncentracje propanu w gazach gruntowych zaobserwowano na głębokości $0,8 \div 0,9$ m. Tutaj też stwierdzono największy poziomy zasięg substancji ropopochodnej. Głębiej rejestrowane koncentracje szybko spadają. Na głębokości $1,2 \div 1,4$ m występuje strop poziomu nasycenia wodą i nie jest możliwy pomiar koncentracji par węglowodorów w gazach gruntowych. Niemniej nie obserwowano obecności węglowodorów w pobranych próbkach gruntu z głębokości poniżej poziomu wód gruntowych. Oznacza to brak znaczącej pionowej filtracji substancji ropopochodnej w obszarze skażenia przez strop warstwy wodonośnej i jej dalszą filtrację poprzeczną do analizowanego obszaru lub ewentualne wypłukanie pierwotnych zanieczyszczeń gruntu na tej głębokości na skutek pionowych ruchów lustra wody.

Przebieg izolinii ekwiwalentnej koncentracji propanu w gazach gruntowych na rysunku 3 wskazuje na najbardziej prawdopodobny dopływ substancji ropopochodnej do interesującego obszaru z kierunku południowo-zachodniego (rys. 1), czyli z miejsca lokalizacji kolejowej rampy przeładunkowej paliwa. Raczej nie ma podstaw do twierdzenia, że węglowodory filtrują również z obszaru pompowania paliwa do cystern samochodowych (kierunek południowo-wschodni), przynajmniej w takiej ilości.

Koncentracja zanieczyszczeń ropopochodnych na badanym obszarze wzrasta i osiąga lokalne maksimum. Na głębokości 0,5 m w środkowej części badanego obszaru ekwiwalentna koncentracja propanu w gazach gruntowych przekracza 12% obj., podczas gdy na krawędzi południowej wynosi kilka % obj. Na głębokości 0,8 m w środkowej części ekwiwalentna koncentracja propanu przekracza 24% obj., natomiast na krawędzi południowej wynosi kilkanaście % obj. Świadczy to o dopływie zanieczyszczeń w drodze filtracji w gruncie z obszaru ulokowanego na południu od badanego obszaru i ich lokalnego spiętrzenia w pobliżu strumienia. Na głębokości 1,2 m zanieczyszczenie gazów gruntowych parami węglowodorów obserwuje się tylko w pobliżu oczyszczającej studni drenażowej, co wynika z faktu obniżenia przez nią poziomu wód gruntowych.

Wyniki ekwiwalentnej koncentracji propanu w gazach gruntowych uzyskane w drugiej serii pomiarowej cechują się znacznie niższym poziomem wskazań i nieco mniejszym zasięgiem. Generalnie spowodowane to jest wyraźnie gorszymi warunkami pogodowymi, niższą temperaturą i większą wilgotnością gruntu. W trakcie badań w części południowej analizowanego obszaru stwierdzono podniesiony poziom wód gruntowych do głębokości niespełna 0,7 m (w czasie pierwszej serii pomiarowej strefę nasycenia wodą zaobserwowano tutaj na głębokości około 1,5 m). W efekcie najbardziej skażony węglowodorami poziom gruntu (0,8÷0,9 m) znalazł się pod wodą, węglowodory nie mogły przechodzić w stan gazowy i dyfundować w kierunku powierzchni, a w konsekwencji – pojawić się na głębokości 0,5 m. Z drugiej strony mniej skażone wyższe partie gruntu (od głębokości około 0,4 m) mogły zostać oczyszczone z par węglowodorów przez filtrujące pionowo w dół wody opadowe.

W środkowej części badanego obszaru nastąpiło obniżenie lustra wody (do prawie 1,0 m), która następnie nieco się spiętrza w północnej części obszaru w pobliżu strumienia i studni drenażowej (poziom lustra wody wynosi około 0,9 m). Efekt ten stworzył warunki do odparowania części substancji ropopochodnej, wymieszania się z gazami gruntowymi i zarejestrowania w czasie pomiaru niezerowej ekwiwalentnej koncentracji propanu. Z drugiej strony zaobserwowane lokalne maksima ekwiwalentnej koncentracji propanu w drugiej serii pomiarowej (rys. 4) pokrywają się z maksimami odpowiadającymi pierwszej serii pomiarowej (rys. 3), co może potwierdzać wysuniętą tezę o kumulowaniu się zanieczyszczeń ropopochodnych w tym obszarze.

4. WNIOSKI

Wykonane pomiary atmogeochemiczne koncentracji par węglowodorów w gazach gruntowych pozwoliły stwierdzić, że na badanym obszarze (w pobliżu strumienia i studni drenażowej 27S) istnieje zanieczyszczenie powierzchniowej warstwy gruntu substancją ropopochodną. W szczególności można sformułować następujące wnioski:

1. Wysoki poziom rejestrowanej ekwiwalentnej koncentracji propanu w gazach gruntowych wskazuje na zanieczyszczenie lotnymi węglowodorami, w tym wypadku przede wszystkim etyliną (potwierdziły to wyniki laboratoryjne próbek gruntu).
2. Układ izolinii ekwiwalentnej koncentracji propanu w gazach gruntowych wskazuje na dopływ węglowodorów do interesującego obszaru z kierunku południowo-zachodniego, czyli z lokalizacji przeładunkowej rampy kolejowej (przede wszystkim).

3. Układ izolinii ekwiwalentnej koncentracji propanu w gazach gruntowych pokazuje, że działająca studnia drenażowa w miarę skutecznie zabezpiecza strumień przed dopływem zanieczyszczeń ropopochodnych. Ekstrapolowane na podstawie uzyskanych wyników koncentracje węglowodorów w części północno-zachodniej sięgały w czasie wykonania pierwszej serii pomiarowej wartości kilku % obj. W tym obszarze została jednak wykonana betonowa bariera uniemożliwiająca przechodzenie zanieczyszczeń do strumienia. W konsekwencji są one później zbierane przez studnię.
4. Pierwotne skażenie gruntu w interesującym obszarze dotyczy węglowodorów w fazie ciekłej. Potwierdza to fakt zbierania się substancji ropopochodnej w oczyszczającej studni drenażowej 27S oraz charakter uzyskanych map ekwiwalentnej koncentracji propanu w gazach gruntowych dla dwóch odległych w czasie serii pomiarowych, wykonanych w bardzo różnych warunkach pogodowych. Woda opadowa powodowałaby oczyszczenie gruntu z par węglowodorów. Z drugiej strony ciągłe zbieranie się zanieczyszczeń w studni oczyszczającej świadczy o nieprzerwanym dopływie zanieczyszczeń do interesującego obszaru.
5. Zanieczyszczenia do badanego obszaru przedostają się w wyniku poprzecznej filtracji wzdłuż głębszych partii gruntu z wykorzystaniem naturalnego spadku terenu. Największą koncentrację zanieczyszczeń zaobserwowano na głębokości 0,8÷0,9 m. Strefa objęta przez filtrującą ciekłą substancję ropopochodną rozciąga się jednak najprawdopodobniej od głębokości około 0,5 m do około 1,3 m. Poniżej tej ostatniej znajduje się strop strefy nasycenia wodą, która generalnie uniemożliwia dalszą penetrację gruntu przez węglowodory. Powyżej 0,5 m najprawdopodobniej występują jedynie dyfundujące pary węglowodorów, które mogą przedostawać się do atmosfery.

LITERATURA

- [1] Kostecki P.T., Calabrese E.J.: *Hydrocarbon Contaminated Soils and Groundwater*. USA, Michigan, Lewis Publishers 1991
- [2] Lyman W.J., Reidy P.J., Levy B.: *Mobility and Degradation of Organic Contaminants in Subsurface Environments*. USA, Michigan, C.K. Smoley Inc. 1992
- [3] Yaron B., Calvet R., Prost R.: *Soil Pollution. Processes and Dynamics*. Berlin, Springer-Verlag 1996
- [4] Fałara Z.: *Możliwości lokalizacji skażeń ropopochodnych gruntów*. Sprawozdania z Posiedzeń Komisji Nauk Geologicznych PAN, Oddział w Krakowie, t. XLV/1 (styczeń – czerwiec 2001), Kraków, Wydawnictwo „Secesja” 2003, 260–265
- [5] Rychlicki S., Fałara Z., Marczak H., Solecki T., Stopa J., Tomecka-Suchoń S.: *Metody wykrywania zanieczyszczeń ropopochodnych w środowisku gruntowo-wodnym*. Studia, Rozprawy, Monografie, seria nr 75, Kraków, IGSMIE PAN 2000
- [6] Fałara Z., Stanek D.: *Badanie filtracji ropy w jednorodnym ośrodku porowatym*. Rocznik AGH Wiertnictwo Nafta Gaz, t. 17, 2000, 57–66
- [7] Fałara Z.: *Badanie filtracji węglowodorów w przypowierzchniowej warstwie użytków rolnych*. Rocznik AGH Wiertnictwo Nafta Gaz, t. 18/2, 2001, 325–337