

Zbigniew Fąfara\*, Tadeusz Solecki \*

**BADANIA PORÓWNAWCZE  
KONCENTRACJI WĘGLOWODORÓW W GRUNCIE  
NA TERENIE BAZY PALIW NAFTOWYCH\*\***

**1. WPROWADZENIE**

Na obszarze analizowanej bazy paliwowej stwierdzono dopływ do strumienia wody skażonej substancjami ropopochodnymi. W celu zlikwidowania tego zjawiska wykonano barierę hydrauliczną przechwytyjącą zanieczyszczoną wodę i odprowadzającą ją do oczyszczalni. W celu rozpoznania źródeł skażenia wykonano na wytypowanym obszarze bazy szereg otworów badawczych, w których pobrano próbki gruntu i wysłano je do wykonania badań laboratoryjnych mających na celu stwierdzenie ilości i charakteru ropopochodnych substancji zanieczyszczających. Niezależnie zrealizowano badania metodą atmogeochemiczną w dwóch okresach czasu odległych od siebie, cechujących się odmiennymi warunkami pogodowymi. Uzyskane wyniki stały się podstawą do przeprowadzenia analizy porównawczej, która przede wszystkim miała na celu weryfikację wniosków, do jakich prowadzi interpretacja wyników pomiaru koncentracji par węglowodorów w gazach gruntowych.

**2. MIEJSCE BADAŃ**

Baza paliwowa, na której obszarze przeprowadzono badania, ulokowana jest na terenie generalnie płaskim z lekkim nachyleniem ku północy, gdzie przepływa niewielki potok przybierający większe rozmiary w okresach opadów i roztopów. Zbiera on z terenu badań wody powierzchniowe i odprowadza je do większej rzeki.

Podłoże badanego terenu budują wapienie jurajskie, natomiast interesujący wycinek leży w obrębie zapadliska tektonicznego wypełnionego ilastymi utworami miocenu, które od powierzchni pokryte są utworami czwartorzędowymi. Utwory te osiągają miąższość około 26 m od powierzchni terenu i w stropie wykształcone są jako gliny oraz mułki, a poniżej

---

\* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

\*\* Praca zrealizowana w ramach badań własnych Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH

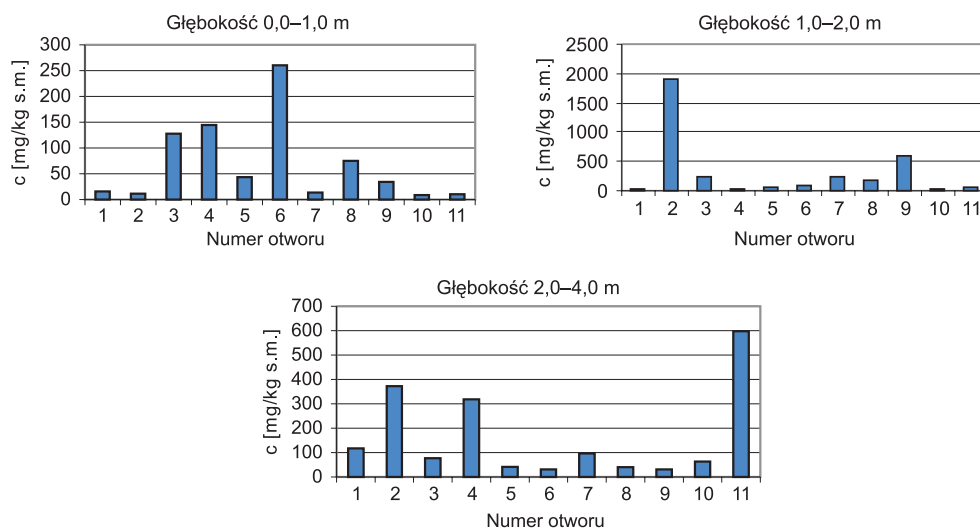
jako piaski i piaski z domieszką żwiru oraz otoczków. Szczegółowe badania geologiczne pokazały, że zalegające w stropie gliny i mułki charakteryzują się miąższością około 8,8 m.

W trakcie badań hydrogeologicznych stwierdzono występowanie jednego czwartorzędowego poziomu wodonośnego, który stanowi warstwa piasku i piasku z domieszką żwiru z nieprzepuszczalną podstawą poziomu (na głębokości około 26 m) w postaci łąk mioceńskich. Współczynnik filtracji czwartorzędowego poziomu wodonośnego określony na podstawie próbnego pompowania wyniósł  $k = 1,84 \times 10^{-4}$  m/s. Na omawianym terenie uwiadcza się wyraźny wpływ większej rzeki na kierunek przepływu czwartorzędowych wód gruntowych z ciągłego poziomu wodonośnego. Oznaczono go jako NW-SE. Natomiast wody sączeń śródglinowych nie mają ustalonego kierunku spływu i są drenowane przez potok przepływający przez teren bazy paliwowej, w jego północnej części [3].

Z powodu stwierdzenia zanieczyszczenia wód sączeń śródglinowych substancjami ropopochodnymi występuje zagrożenie wód potoku i z tego względu zastosowano system ochrony potoku, polegający na stworzeniu bariery hydraulicznej przechwytyjącej zanieczyszczone wody i odprowadzającej je do oczyszczalni. Bariera ta skutecznie chroni potok przed zanieczyszczeniami ropopochodnymi dopływającymi z gruntu [4].

### 3. TERENOWE BADANIA SOZOLOGICZNE

Na analizowanym fragmencie obszaru bazy paliwowej w ramach przeprowadzonych badań sozologicznych wykonano 33 otwory badawcze do głębokości 4,5 m ppt. W czasie prowadzenia wierceń pobierano próbki gruntu dla oceny stopnia ich zanieczyszczenia węglowodorami. Wytypowano następujące trzy interwały głębokości pobierania próbek: 0,0÷1,0 m, 1,0÷2,0 m oraz 2,0÷4,0 m. Próbki gruntu posiadały masę około 750 g i dostarczano je do laboratorium w dniu pobrania. Niezależnie pobierano także próbki wody, jednak badania te nie są przedmiotem zainteresowania autorów tego artykułu.

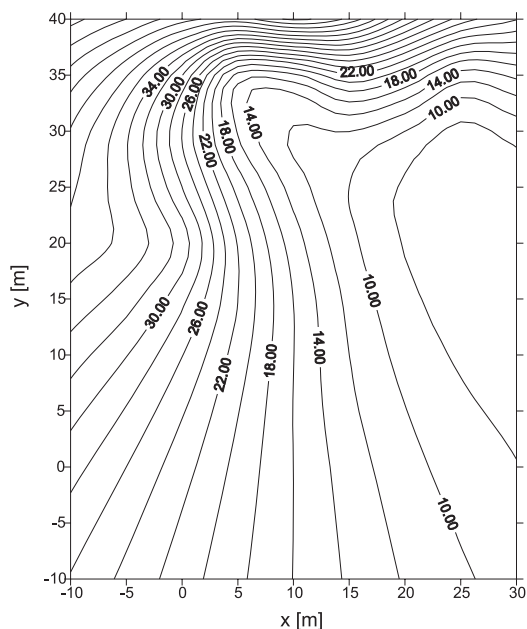


**Rys. 1.** Zawartość sumaryczna benzyn w próbkach gruntu na określonych głębokościach

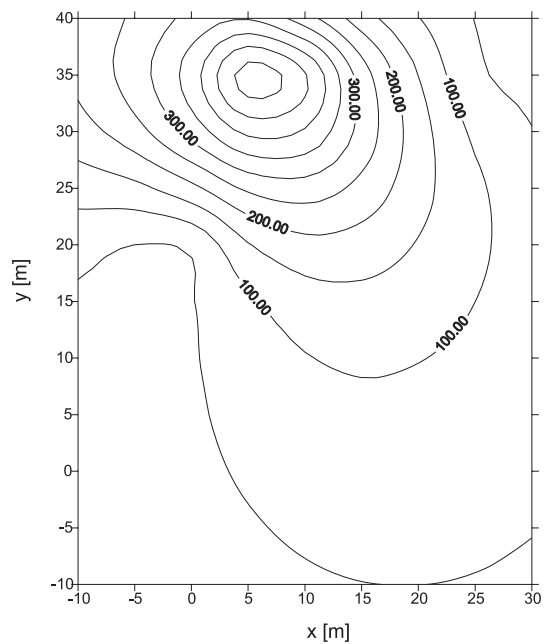
Badania laboratoryjne próbek gruntu obejmowały oznaczenie zawartości sumy węglowodorów oraz węglowodorów alifatycznych, a także zawartości benzyn i oleju mineralnego w uśrednionych próbkach gruntu pobranych w zakresie wytypowanych interwałów głębokości.

Do oznaczania i analizy ilościowej zanieczyszczeń węglowodorowych w gruntach zastosowano metodykę fourierowskiej spektroskopii w podczerwieni na spektrometrze FTS 165 firmy Bio-Rad Digilab Analytical Instruments w oparciu o normę DIN 38409. Zastosowana metodyka analityczna gwarantuje zachowanie niskowrzących składników występujących np. w benzynie. Polega ona na ekstrakcji frakcji węglowodorowych przy użyciu czterochloroetylenu, oczyszczeniu ich ze śladowych ilości wody i polarnych węglowodorów, a następnie wystawieniu ich na promieniowanie podczerwone. Do ilościowego oznaczania węglowodorów wykorzystuje się absorpcję w połączeniu z pomiarem intensywności pasm pochodzących od drgań walencyjnych poszczególnych grup węglowodorów alifatycznych i aromatycznych.

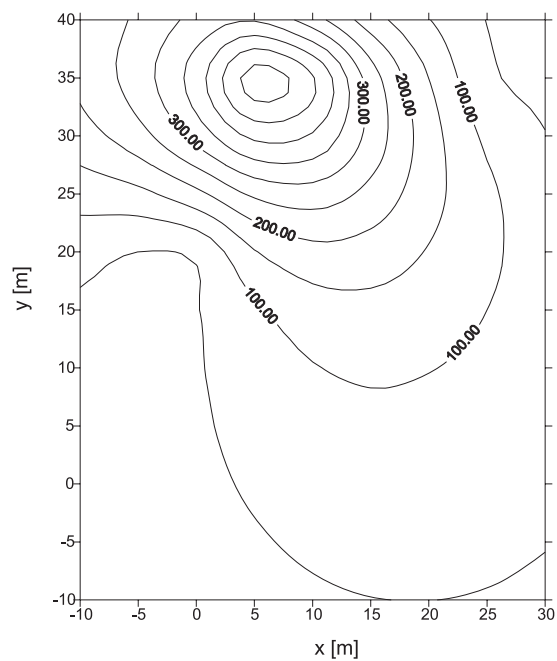
Z punktu widzenia prowadzonych badań porównawczych interesująca była sumaryczna zawartość benzyn w próbkach gruntu. Na rysunku 1 przedstawiono w postaci wykresu słupkowego, określoną badaniami laboratoryjnymi próbek sumaryczną zawartość benzyn, uśrednioną w wybranych interwałach głębokości w poszczególnych otworach [3]. Obszar badań atmogeochemicznych stanowił tylko część terenu bazy paliwowej, na którym wykonano otwory badawcze, pobrano próbki gruntu i poddano je badaniom laboratoryjnym. Generalnie obszary te pokrywały się w odniesieniu do pięciu z jedenastu wszystkich wykonanych otworów. Na rysunkach 2–4 przedstawiono mapy konturowe sumarycznej zawartości benzyn w próbkach gruntu pochodzących z różnej głębokości, które przygotowano w oparciu o dane pochodzące z tych pięciu otworów.



Rys. 2. Sumaryczna zawartość benzyn [mg/kg s.m.] w gruncie na głębokości 0,0÷1,0 m ppt



Rys. 3. Sumaryczna zawartość benzyn [mg/kg s.m.] w gruncie na głębokości 1,0÷2,0 m ppt

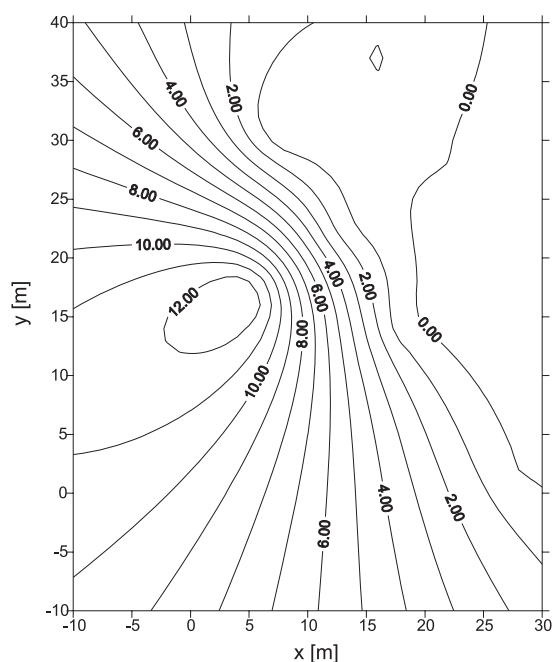


Rys. 4. Sumaryczna zawartość benzyn [mg/kg s.m.] w gruncie na głębokości 2,0÷4,0 m ppt

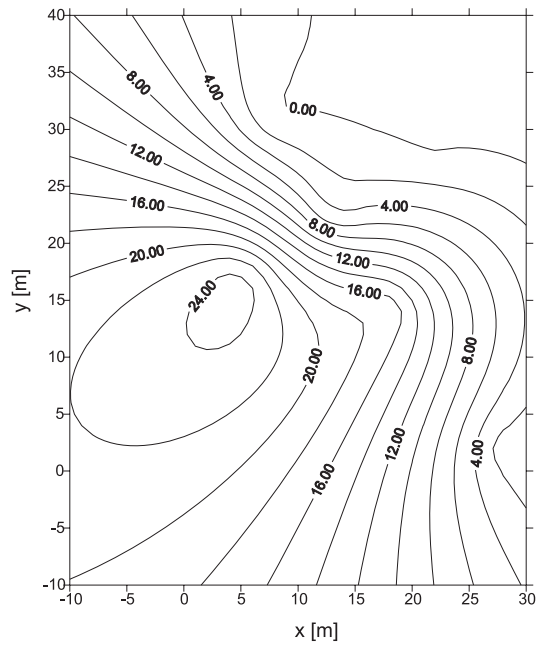
#### 4. WYNIKI POMIARÓW ATMOGEOCHEMICZNYCH

Pomiary atmogeochemiczne wykonano z wykorzystaniem aparatury firmy Dräger [2]. W jej skład wchodzi zestaw z sondą pomiarową wprowadzaną do gruntu metodą uderową na głębokość maksymalnie 3 m oraz miernik Multiwarn II z aktywnym czujnikiem podczerwieni do wykrywania par węglowodorów wybuchowych, wykalibrowanym w % obj. ekwiwalentnej koncentracji propanu. Miernik użyto do wykrywania par węglowodorów wybuchowych w gazach gruntowych. Ograniczeniem tej metody pomiaru jest stopień zawilgocenia gruntu. W przypadku pełnego nasycenia przestrzeni porowej wodą pomiar nie był możliwy.

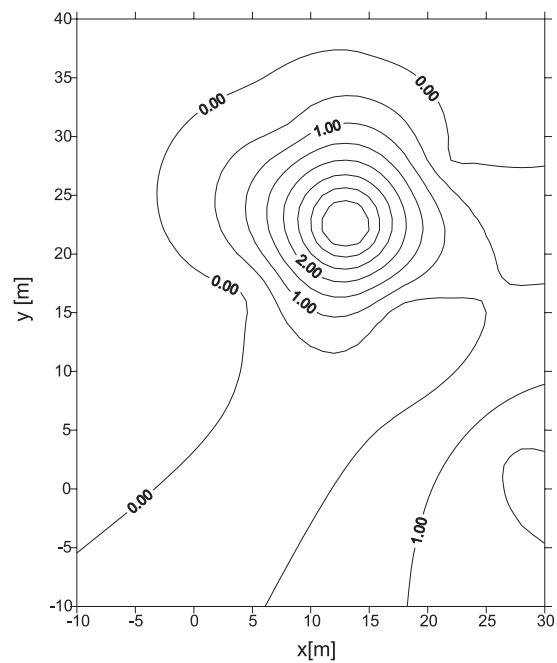
Badania zrealizowano w dwóch seriach w odstępie ponad trzech miesięcy. Każdej serii towarzyszyły nieco odmienne warunki atmosferyczne, które w sposób istotny wpływały na otrzymywane wyniki. Dokładny opis przebiegu badań i wszystkich uzyskanych wyników można znaleźć w pracy [1]. W tym miejscu dla celów porównawczych zaprezentowano tylko część rezultatów dotyczących pierwszej serii pomiarowej. Wykonano wówczas siedem otworów (ich lokalizacja mniej więcej pokrywała się z położeniem pięciu otworów wybranych w poprzedniej metodzie badań) wprowadzając sondę maksymalnie do głębokości 1,5 m. Proces wbijania sondy przerywano po stwierdzeniu pełnego nasycenia gruntu wodą. Badanie koncentracji węglowodorów w gazach gruntowych prowadzono w momencie osiągnięcia głębokości: 0,5 m, 0,8 m i 1,2 m. Na rysunkach 5–7 przedstawiono mapy konturowe zarejestrowanej ekwiwalentnej koncentracji propanu. Początek kartezjańskiego układu współrzędnych oraz jego ułożenie względem kierunków geograficznych są identyczne do tych z rysunkach 2–4.



Rys. 5. Ekwiwalentna koncentracja propanu w gazach gruntowych [% obj.] na głębokości 0,5 m ppt



**Rys. 6.** Ekwiwalentna koncentracja propanu w gazach gruntowych [% obj.] na głębokości 0,8 m ppt



**Rys. 7.** Ekwiwalentna koncentracja propanu w gazach gruntowych [% obj.] na głębokości 1,2 m ppt

## 5. ANALIZA PORÓWNAWCZA WYNIKÓW

Analizując wyniki laboratoryjnego badania próbek gruntu [3] zamieszczone na rysunkach 2–4, można zauważyć, że najwyższe zawartości benzyn stwierdzono w próbkach pochodzących z głębokości 1,0÷2,0 m. Przebieg izolinii sugeruje dopływ węglowodorów do interesującego obszaru z kierunku SW. Węglowodory mają tendencję do gromadzenia się w górnej części mapy, czyli w obszarze, gdzie przepływa strumień (kierunek naturalnego spadku terenu i kierunek drenowania sączeń śródglinowych). Na głębokości 2,0÷4,0 m skażenie gruntu zasadniczo ma miejsce tylko w pobliżu strumienia.

Maksymalne koncentracje par węglowodorów wybuchowych w gazach gruntowych zarejestrowane metodą atmogeochemiczną dotyczą głębokości 0,8 m. Wyniku tego nie można bezpośrednio przekładać na zawartość zanieczyszczeń ropopochodnych w fazie płynnej, ponieważ intensywność ich parowania zależy od szeregu czynników, między innymi od temperatury (w momencie realizacji pierwszej serii pomiarów panowała upalna, sucha pogoda i temperatura przypowierzchniowej warstwy gruntu malała z głębokością) oraz nasycenia porów wodą (które rosło wraz z głębokością i punkt pomiarowy na głębokości 1,2 m znajdował się już w pobliżu poziomu pełnego nasycenia gruntu wodą). Tym niemniej zaobserwowano wzrost koncentracji par węglowodorów w gazach gruntowych przy przejściu z punktu pomiarowego na głębokości 0,5 m do punktu na głębokości 0,8 m, co z powodzeniem można interpretować jako podniesienie zawartości substancji ropopochodnej w gruncie na głębokości około 1 m (wniosek analogiczny do otrzymanego na podstawie badania próbek gruntu).

Zaobserwowany spadek koncentracji par węglowodorów w gazach gruntowych na głębokości 1,2 m najprawdopodobniej jest związany ze wzrostem wilgoci w gruncie (nie musi pochodzić od spadku zawartości węglowodorów w tym miejscu) i tutaj uwidaczniają się niedostatki metody atmogeochemicznej.

Kształt izolinii ekwiwalentnej koncentracji propanu na głębokości 0,5 m (rys. 5) i 0,8 m (rys. 6) wyraźnie wskazuje na kierunek SW dopływu zanieczyszczeń ropopochodnych do interesującego obszaru (podobnie jak zauważono to dla poprzedniej metody pomiarowej), które następnie gromadzą się w części północnej, w pobliżu strumienia. Niezerowe zarejestrowane koncentracje par węglowodorów w części północnej na głębokości 1,2 m są najprawdopodobniej wynikiem obniżenia lustra wody przez barierę hydrauliczną zainstalowaną w pobliżu strumienia.

Analizując wyniki pomiarów drugiej serii wykonanych metodą atmogeochemiczną (publikowane w pracy [1]) na podstawie kształtu izolinii także można rozpoznać potencjalny kierunek SW dopływu zanieczyszczeń do badanego obszaru. Druga seria pomiarowa była wykonana w zupełnie innych warunkach pogodowych (znacznie niższa temperatura powietrza, mgła, częste opady). Poziom lustra wody w gruncie niejednokrotnie znajdował się na głębokości mniejszej niż 1 m. Wykonano wówczas pomiary koncentracji par węglowodorów w gazach gruntowych w dziesięciu otworach na głębokości 0,5 m i 0,9 m. Zauważono ponad trzykrotny wzrost poziomu wskazań przy przejściu na niższą głębokość, co przemawia za wysuniętą poprzednio tezę kumulacji substancji ropopochodnej w gruncie na głębokości około 1 m.

## 6. PODSUMOWANIE

Dokonana analiza porównawcza wyników badania skażenia gruntu substancjami ropopochodnymi na obszarze bazy paliwowej z wykorzystaniem metody polegającej na poborze próbek gruntu i ich analizie laboratoryjnej oraz metody atmogeochemicznej bazującej na wprowadzaniu sondy do gruntu i badaniu koncentracji par węglowodorów wybuchowych w gazach gruntowych pozwala na wyciągnięcie następujących wniosków:

Metoda poboru próbek gruntu i ich badanie laboratoryjne jest czasochłonne i drogie, jednak ma zaletę polegającą na dostarczaniu wyników jakościowych i ilościowych.

Metoda atmogeochemiczna jest szybka i tania, jednak dostarcza wyniki jakościowe i ilościowe o charakterze względnym. Ponadto stwierdzono istotne ograniczenia tej metody polegające na niemożności badania w gruncie interwałów zawodnionych oraz zafalszowaniu wyników ilościowych (przede wszystkim) przez zmienny stopień nasycenia gruntu wodą.

Wyniki dostarczone przez obie metody pozwoliły na wyciągnięcie tych samych wniosków na temat potencjalnych kierunków dopływu i przepływu substancji ropopochodnej w gruncie.

Obie metody wskazują na tą samą tendencję wzrostu koncentracji substancji ropopochodnej w gruncie na głębokości około 1 m.

Generalnie można więc wskazać na dużą przydatność metody atmogeochemicznej do szybkiego i taniego rozpoznawania skażenia środowiska gruntowo-wodnego substancją ropopochodną. Rezultaty badania metodą atmogeochemiczną mogłyby ewentualnie być wykorzystane do właściwego zaplanowania sposobu prowadzenia dokładniejszych badań z wykorzystaniem metody bezpośredniego poboru próbek gruntu zanieczyszczonego substancjami ropopochodnymi.

## LITERATURA

- [1] Fąfara Z.: *Przykład wykorzystania metody atmogeochemicznej do rozpoznawania skażenia gruntu ropopochodnymi*. Rocznik AGH Wiertnictwo Nafta Gaz, t. 22/2, 2005 (w druku)
- [2] Rychlicki S., Fąfara Z., Marcak 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
- [3] Solecki T.: *Dokumentacja geologiczna określająca warunki hydrogeologiczne w związku z rozpoznaniem stanu jakościowego środowiska gruntowo-wodnego na terenie lokalizacji obiektu mogącego zanieczyścić wody podziemne*. Kraków, Arch. WOŚ 2004
- [4] Solecki T.: *Koncepcja systemu ochrony potoku w rejonie wiaduktu kolejowego bazy paliw płynnych*. Kraków, Archiwum Bazy Paliw 2002