

ANDRZEJ TKACZYK
MACIEJ PIETRZAK

SEGI-AT Sp. z o.o. Warszawa
SEGI-AT Ltd Warszawa

Rekultywacja terenu zanieczyszczonego substancjami ropopochodnymi na przykładzie Szpitala Bródnowskiego **Remediation of contaminated site of Bródnowski hospital by Petroleum Hydrocarbons**

Wstęp

W wyniku, nieznanego w czasie, awarii rurociągu paliwowego na terenie Szpitala Bródnowskiego w Warszawie (rys. 1) środowisko gruntowo – wodne zostało zanieczyszczone olejem napędowym.

Po wykonaniu badań geologiczno – sozologicznych określono szacunkowo następujące parametry plamy paliwa zalegającego na powierzchni wód gruntowych:

- powierzchnia 600 m²,
- średnia grubość produktu na zw. wody 30 cm,
- objętość zanieczyszczonego gruntu 180 m³,
- współczynnik wypełnienia porów olejem opałowym dla piasków średnich Vop 3 ÷ 5 %,
- łączna ilość wolnego produktu 5,4 ÷ 9,0 m³.

Prace rekultywacyjne

Na podstawie badań fizykochemicznych wody przeprowadzonych w otworach P-1, P-2, P-3 ustalono, między innymi, oznaczenia istotne dla technologii oczyszczania, których wielkości przedstawiono w tabeli 1.

Uwzględniając roczne wahania zwierciadła wody oszacowano objętość zanieczyszczonego gruntu w strefie aeracji i saturacji zalegających pod placem postojowo - parkingowym na terenie Szpitala

Grunt w strefie wahań zwierciadła wody reprezentowany był przez następujące frakcje:

- piasek drobny,
- piasek średni,
- piasek drobny, lekko zagliniony,
- mułek piaszczysty (mąda).

Są to grunty charakteryzujące się wodoprzepuszczalnością od 10⁻⁴ do 10⁻⁶ m/sek. co pozwalało na, w miarę

Tabela 1. Parametry fizyko – chemiczne (wybrane) wody gruntowej
Table 1. Physical chemical parameters (selected) of the groundwater

| Miejsce poboru próbek Sampling places | mg Fe dm ³ | mg Mn dm ³ | pH | mg O ₂ dm ³ | mg CO ₂ dm ³ | mg N dm ³ | zwierciadło wody ppt. water table elevation [cm] |
|--|--|--------------------------|-----|--------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|--|
| P-1 | 6,00 | 0,35 | 6,6 | 0,5 | 103,4 | 0,68 | 347 |
| P-2 | 0,10 | 0,08 | 6,9 | 6,6 | 24,2 | 0,08 | 323 |
| P-3 | 0,15 | 0,05 | 7,1 | 7,2 | 17,6 | 0,04 | 343 |
| P-4 | w otworze ustalono warstwę oleju 69 cm, nie pobrano próbek oil present, no samples were taken, oil thickness 69 cm | | | | | | 306 |

Tabela 2. Objętość zanieczyszczonych gruntów
Table 2 Volume of the contaminated ground

| Strefa Zone | Zaleganie warstwy Deposition of the layer [m] | Kubatura gruntu Cubage of the ground |
|-------------------------------------|---|---|
| Strefa aeracji Aeration zone | 2,00 ÷ 3,25 | 880 m ³ |
| Strefa saturacji Saturation zone | 3,00 ÷ 4,00 | 550 m ³ |
| Łącznie: Total: | | 1430 m ³ |

dobrą penetrację produktu ropopochodnego.

Szczerpywanie paliwa odbywało się, od września 1999 r. W tym celu wykorzystywano otwory techniczne: (φ 100 mm) st.1 do st.6, studnię st-4 (φ 160 mm) oraz sondy sozologiczne (φ 50 mm).

Do dnia 31.01.2000 r szcerpano 5320 dm³ oleju napędowego.

Proces rekultywacji został zakłócony przez prowadzone w pobliżu odwodnienia budowlane, które spowodowały:

- wytworzenie rozległego leja depresyjnego, który objął swym zasięgiem cały obszar rekultywacji na terenie Szpitala,
- obniżenie zwierciadła wody w rejonie studni technologicznych, z których szcerpywane było paliwo wynosiło od 70 do 85 cm (dziennie zmiany dochodziły do 30 cm).

Na skutek odwodnień stagnujące zwierciadło wody, na lokalnym dziale wodnym pomiędzy Wisłą a kanałem Bródnowskim, zmieniło kierunek nachylenia od NW do ENE (ok. 120⁰). Ten kierunek spływu wód był wypadkową pomiędzy centrami lejów depresyjnych wytworzonych przez odwodnienia wykopów budowlanych (rys. nr 4a i 4b).

Efektem odwodnień był także:

- wzrost miąższości zanieczyszczonych gruntów, wynikający z obniżenia się zwierciadła wody, a z nim plamy paliwa,

- wzrost stopnia zanieczyszczenia wód podziemnych i jego zasięgu, spowodowany wymywaniem paliwa z gruntów występujących poniżej pierwotnego zwierciadła wody, przy wypełnianiu się lejki depresyjnego w przezwach odwodnienia.

Wystąpiły również zjawiska pozytywne. Niewątpliwie w wyniku „wspomożenia” depresjonowania terenu rekultywacji przez odwodnienia budowlane nastąpił zwiększony dopływ produktu do otworów eksploatacyjnych, umożliwiające szczypanie 20 – 30 dm³ paliwa dziennie (maksymalnie 85 dm³).

Ujawniono również obecność drugiej plamy produktu zalegającej pod budynkami Szpitala, w tym pod budynkiem przepompowni.

Wydajności poszczególnych studni, używanych do odwodnień budowlanych oraz współpracujących z nimi igłofiltrów, były zmienne w czasie i dostosowane do potrzeb prowadzonych budów. Maksymalne obniżenie zwierciadła wody, spowodowane odwodnieniami budowlanymi, wyniosło ok. 0,8 m.

Prace modelowe

W związku z prowadzonymi odwodnieniami budowlanymi przebieg prac rekultywacyjnych, w tym głównie szczypanie paliwa, oparty był o symulacje komputerowe programami Bioslurp i VisualModflow.

Celem wykonanych prac modelowych było przeprowadzenie symulacji wspomagających projekt optymalnego systemu szczypania produktu nafto-

wego na terenie Szpitala. Zasadnicze znaczenie dla rozwiązań modelowych, przy założonym celu, miało określenie rozkładu zwierciadła wody w skali regionalnej, co pozwoliło, w dalszym etapie, na symulację prowadzonych odwodnień budowlanych i zbadanie ich bezpośredniego wpływu na prowadzone prace rekultywacyjne.

Prace modelowe składały się z trzech zasadniczych elementów:

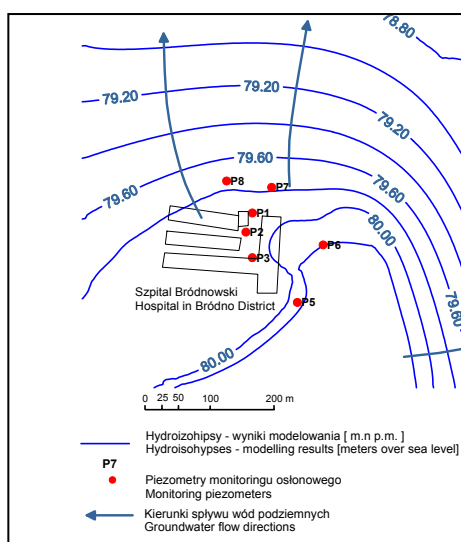
- model przepływu wód podziemnych odzwierciedlający dynamikę przepływów w czwartorzędowym poziomie wodonośnym w skali regionalnej – program Visual Modflow (model w stanie ustalonym),
- model przepływu wód podziemnych w stanie nieustalonym badający wpływ odwodnień budowlanych na zmiany położenia zwierciadła wody w bezpośrednim sąsiedztwie rejonu prac rekultywacyjnych – program Visual Modflow (model w stanie nieustalonym),
- model lokalny dla rejonu Szpitala Bródnowskiego, symulacje szczypania wolnej fazy produktu ropopochodnego – program Bioslurp.

Taki schemat prac wynikał bezpośrednio ze specyfiki zastosowanego oprogramowania. Model Bioslurp jest, bowiem przestrzennym modelem opartym na metodzie elementów skończonych do symulacji trój-fazowego przepływu i może być stosowany do niedużych obszarów. Z tego względu do symulacji określających wpływ odwodnień budowlanych na prowadzone prace rekultywacyjne zastosowano Modflow. Wyniki symulacji programem Modflow wprowadzono jako warunki brzegowe

do modelu szczyptywania produktu – Bioslurp.

Wyniki modelu w skali regionalnej posłużyły do wyznaczenia rozkładu zwierciadła wody na całym modelowanym obszarze, co w rezultacie pozwoliło na określenie dominujących kierunków przepływu wody w bezpośrednim sąsiedztwie rejonu awarii rurociągu paliwowego. Jako kryterium kalibracji przyjęto zgodność rozkładu przestrzennego wysokości hydraulicznej w czwartorzędowej warstwie wodonośnej uzyskanego z modelu z rozkładem uzyskanym na mapie hydroizohips zinterpretowanych z danych pomiarowych na modelowanym obszarze.

Wyniki symulacji wykorzystano w pracach modelowych określających



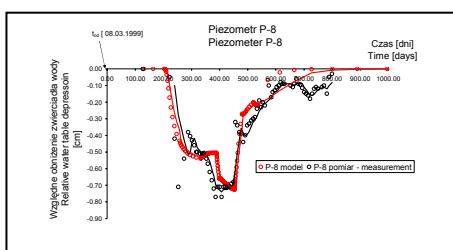
RYSUNEK 1. Rozkład zwierciadła wody, stan przed odwodnieniami budowlanymi – wyniki modelowania

FIGURE 1. Water table distribution state before construction dewatering – results of the modelling

wpływ odwodnień budowlanych na położenie zwierciadła wody w bezpośrednim rejonie awarii. Model w stanie ustalonym rozbudowano dodatkowo wprowadzając studnie depresjonujące, wykorzystane do odwodnień budowlanych przy ulicy Św. Wincentego.

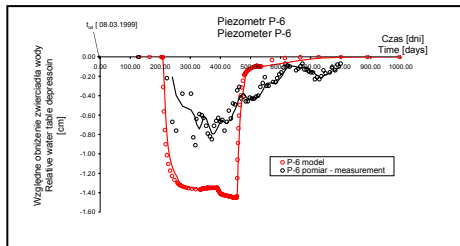
Odwodnienia prowadzono w okresie od maja 1999 r. do marca 2000. Z powodu braku szczegółowych danych co do rzeczywistej wydajności studni odwadniających, wprowadzone w modelu wydajności mają charakter szacunkowy. Za podstawę kalibracji przyjęto zgodność względnego obniżenia zwierciadła wody zarejestrowanego w piezometrach monitoringu osłonowego w porównaniu z wartościami uzyskanymi z modelu. W procesie kalibracji wykorzystano pomiary w piezometrach monitoringu osłonowego (P-6,7,8) i technologicznego (P-1,2,4).

W projektowaniu i kontrolowaniu sposobu eksploatacji systemu depresjonowania zwierciadła wody podziemnej i równoczesnego szczyptywania wolnej fazy produktu naftowego, posłużono się programem Bioslurp.



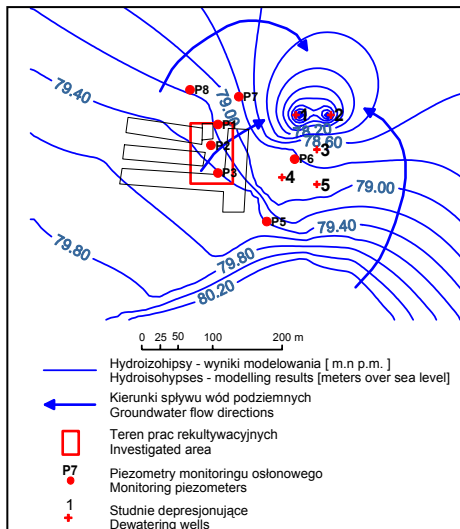
RYSUNEK 2. Kalibracja modelu – względne obniżenie zwierciadła wody, porównanie wyników modelowania z danymi pomiarowymi – piezometr P-8

FIGURE 2. Model calibration – relative depression of the water level, comparison of the modelling results with the measurements - piezometer P-8



RYSUNEK 3. Kalibracja modelu – względne obniżenie zwierciadła wody, porównanie wyników modelowania z danymi pomiarowymi piezometr P-6

FIGURE 3. Model calibration – relative depression of the water level, comparison of the modelling results with the measurements piezometer P-6

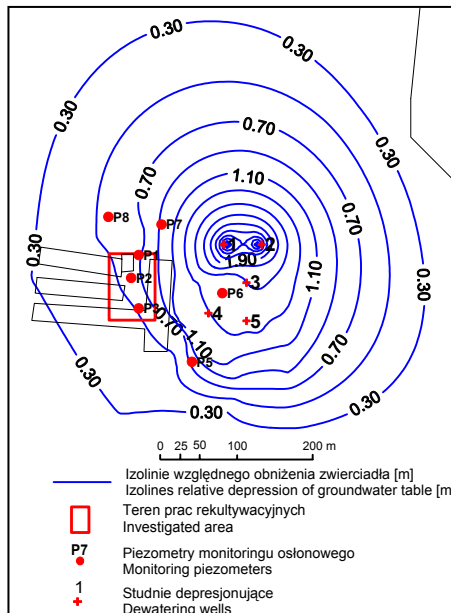


RYSUNEK 4a. Wyniki modelowania określające wpływ odwodnień budowlanych na położenie zwierciadła wody w bezpośrednim rejonie awarii.

FIGURE 4a. Modelling results describing the construction dewatering effect on the water table datum in the direct accident region.

Na podstawie codziennych pomiarów hydrogeologicznych i sozologicznych, na bieżąco uzupełnianych podczas eksploatacji systemu szczyrpywania, wykonano szereg modeli dla terenu awarii w warunkach:

- naturalnych (przed rozpoczęciem depresjonowania zwierciadła wody podziemnej)
- sztucznie zmienionych (podczas prowadzenia prac rekultywacyjnych wspomaganym depresjonowaniem zwierciadła wody i zakłóconych odwodnieniami budowlanymi)

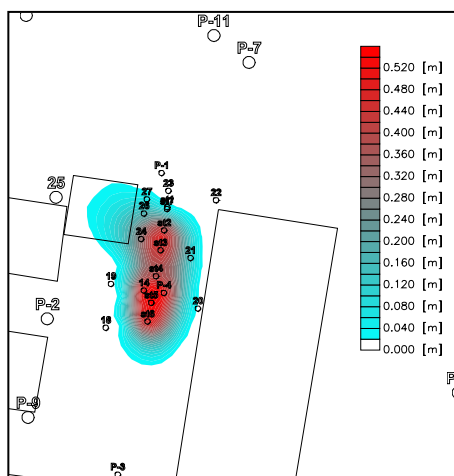


RYSUNEK 4b. Wyniki modelowania określające wpływ odwodnień budowlanych na położenie zwierciadła wody w bezpośrednim rejonie awarii - zasięg leja depresji

FIGURE 4b. Modelling results describing the construction dewatering effect on the water table datum in the direct accident region –depression range

Model dla warunków sztucznie zmienionych, odpowiadający sytuacji depresjonowania zwierciadła wód podziemnych, wykonano dostępną w zastosowanym oprogramowaniu, metodą „restartowania problemu”. Metoda ta polega na wykonywaniu kolejnych symulacji, które są kontynuacją modelu poprzedniego. Przyjęto, zgodnie z tą

techniką, że pierwszym i podstawowym modelem jest model dla warunków naturalnych, czyli odpowiadający sytuacji bez działania studni depresjonujących i bez prowadzenia odwodnień budowlanych.



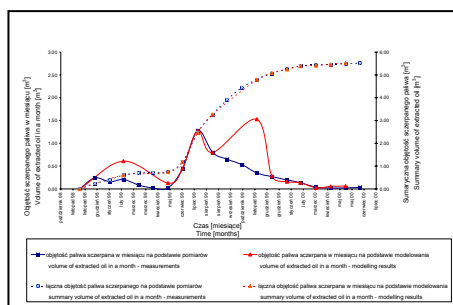
RYSUNEK 5. Rozkład produktu ropopochodnego - wyniki modelowania programem Bioslurp.
FIGURE 5. Hydrocarbon product distribution – results of program bioslurp modelling

Model dla warunków naturalnych miał na celu oszacowanie na podstawie danych pomiarowych całkowitej objętości paliwa z uwzględnieniem:

- objętości wolnego produktu znajdującego się na wodzie,
- rezydualnej objętości produktu w strefie aeracji i saturacji.

Zamodelowana w ten sposób sytuacja odpowiada stanowi z listopada 1998r. Następnie wykonano szereg symulacji będących kontynuacją stanu pierwotnego, zakładając wydatki studni depresjonujących i ilości szczyptywanego paliwa, jak również zmieniając warunki brzegowe uwzględniające wpływ odwodnień budowlanych. Uzyskane wyniki weryfikowano, porównując je z

pomiarami rzeczywistymi, wykonywanymi w sposób ciągły w procesie szczyptywania paliwa na podstawie prognoz modelowych. Pozwoliło to na weryfikację i kalibrację modelu.



RYSUNEK 6. Objętość produktu w poszczególnych miesiącach rekultywacji wyniki modelu i dane pomiarowe.

FIGURE 6. Product volume in particular months – model's results and measurements

Wykonano w ten sposób szereg symulacji, które dają sumarycznie prognozę ostateczną dla całego okresu prac rekultywacyjnych do grudnia 2000 roku. Dodatkowo zmieniano warunki brzegowe na podstawie wyników symulacji prowadzonych odwodnień budowlanych.

Podsumowanie

Wykonane prace modelowe umożliwiły nie tylko kontrolę procesu rekultywacji, uwzględniającą prowadzone odwodnienia budowlane, ale także określenie ich wpływu na stan środowiska wodnego w bezpośrednim rejonie awarii

Summary

In the article has been described problem referring to the water environment contaminated with the oil caused by the pipe break accident in hospital of Bródno district area in Warsaw.

The removal of the free oil stain of the approx. volume 9 m³ turned out to be much more complicated due to the construction dewatering conducted in the neighborhood.

Formed by these dewatering a vast depression caused an increase in the contaminated area extension as well as oil escape outside the reclamation region.

Considering that problem there had been conducted constant computer simulations of the stain relocation. Analyses of the conducted modeling research had been used to the extraction control. In effect it helped in keeping hydraulic control on the product stain and obtaining the planned ecological effect.

Autor's address:

Andrzej Tkaczyk, Maciej Pietrzak

SEGI-AT Sp. Z o.o.

02-876 Warszawa, ul. Baletowa 3