

Wpływ liczby punktów monitoringowych i metody interpolacji na precyzję wykonania mapy hydroizohips

Dominika Dąbrowska¹, Marek Soltysiak¹, Andrzej Witkowski¹

The influence of the number of boreholes and the interpolation method for the contouring map precision. *Prz. Geol.*, 63: 661–665.

Abstract. To obtain reliable and representative results of the groundwater quality monitoring, the adequate monitoring network to the hydrogeological and spatial conditions should be constructed. The representative location of monitoring points determines the precision of contour map and thus the knowledge of the hydrodynamic system in the analyzed area. This article is an attempt to interpret the contour map for groundwater monitoring network of the municipal landfill in Tychy-Urbanowice. There were taken into account the different number of piezometers to construct contour maps and four methods of interpolation were used: triangulation with linear interpolation, natural neighbor, kriging, radial basis function. The article shows the differences in the obtained contour maps and emphasizes restrictions in the application of triangulation and radial basis function as a result.

Keywords: landfills, monitoring network, hydrodynamic system, Tychy-Urbanowice

W celu uzyskania wiarygodnych i reprezentatywnych wyników badań monitoringowych jakości wód podziemnych należy zaprojektować odpowiednią do warunków hydrogeologicznych i przestrzennych sieć monitoringu. Dzięki właściwemu zlokalizowaniu punktów obserwacyjnych i dobru odpowiedniej ich liczby można uzyskać dokładną mapę hydroizohips opisywanego obszaru, a tym samym lepiej poznać układ hydrodynamiczny i usytuowanie w nim monitorowanego obiektu (Witkowski, 2009).

Artykuł dotyczy oceny wpływu liczby punktów monitoringowych i zastosowanej metody interpolacji na wiarygodność wykonania mapy hydroizohips na przykładzie sieci lokalnego monitoringu wód podziemnych w rejonie zespołu składowisk odpadów komunalnych w Tychach-Urbanowicach.

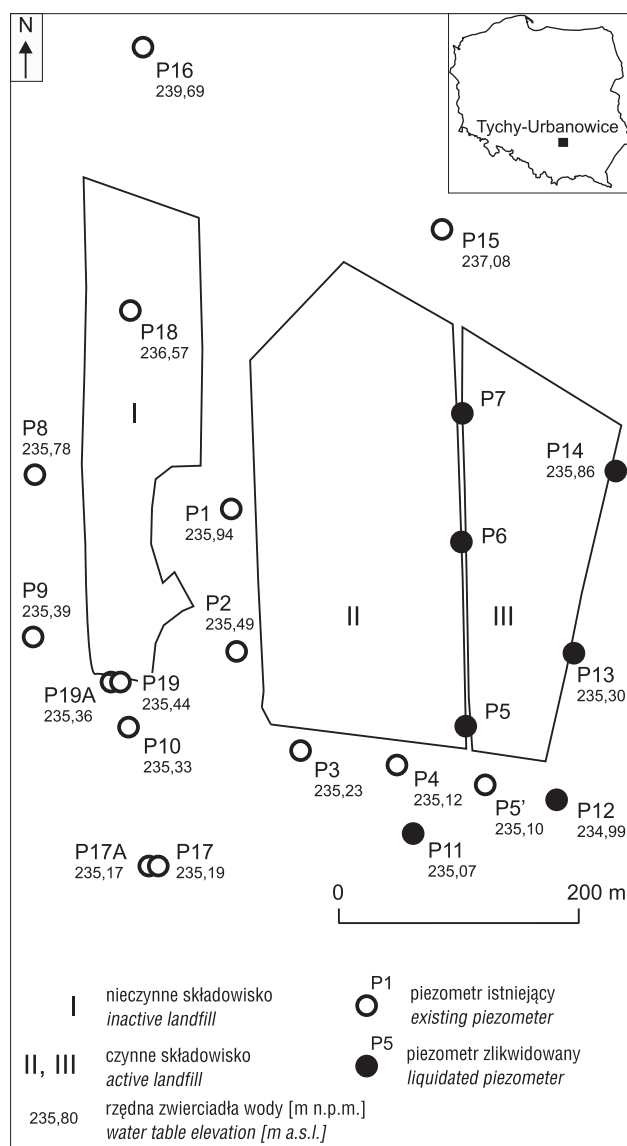
LOKALIZACJA I CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAŃ

Zespół składowisk odpadów komunalnych znajduje się we wschodniej części miasta Tychy, w dzielnicy Urbanowice. W jego skład wchodzi: nieczynne i zrehabilitowane składowisko, nowe czynne składowisko i infrastruktura towarzysząca o łącznej powierzchni 12,7 ha (ryc. 1).

Stare składowisko odpadów komunalnych w Tychach-Urbanowicach, o powierzchni 3,5 ha, zamknięto na początku lat 90. XX w. ze względu na brak uszczelnienia od podłoża. Czynne składowisko składa się z dwóch kwater wybudowanych w latach 1994–2004, wyposażonych w nowoczesny system uszczelnienia i zabezpieczeń (Dąbrowska & Witkowski, 2013).

Rozpatrywany zespół składowisk jest położony w zapadlisku przedkarpackim, w środkowej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Podłoże składowisk stanowią osady czwartorzędu – plejstocenyjskie osady akumulacji rzecznej i zastoiskowej wykształcone w postaci piasków różnoziarnistych, rzadziej żwirów i glin. Miąższość tych osadów wynosi 12,5–17,0 m (Witkowski & Żurek, 2007).

W rejonie składowisk występują trzy piętra wodonośne: czwartorzędu, triasu i karbonu. Bezpośrednio w podłożu składowisk znajduje się, praktycznie niez izolowane od powierzchni terenu, piętro wodonośne czwartorzędu, które



Ryc. 1. Położenie i plan obszaru badań
Fig. 1. Location and plan of the study area

¹ Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski, ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec; ddabrowska@us.edu.pl, andrzej.witkowski@us.edu.pl, marek.soltysiak@us.edu.pl.

niemal na całym badanym obszarze tworzy jeden poziom wodonośny. Od niżej położonych pieter wodonośnych poziom ten jest izolowany kompleksem słabo przepuszczalnych utworów ilastych miocenu o miąższości ok. 80 m. Przepływ wód podziemnych piętra czwartorzędu odbywa się w kierunku południowym (ryc. 2–4). Podstawą drenażu dla 95% objętości wód podziemnych piętra czwartorzędu z rejonu składowisk jest rzeka Gostynia (Sitek i in., 2010).

Zwierciadło wody ma przeważnie charakter swobodny i zgodnie z wynikami pomiarów z 2013 r. leży na głębokości od ok. 2 m p.p.t. w okolicy piezometru P15 do ok. 8 m p.p.t. w pobliżu piezometru P8 (Witkowski, 2013).

SIEĆ MONITORINGU

Monitoring wód podziemnych czwartorzędowego piętra wodonośnego na rozpatrywanym obszarze jest prowadzony od 1995 r. Pierwotna sieć lokalnego monitoringu wód podziemnych (LMWP) składała się z 14 piezometrów (P1–P4, P5', P6–P14 na ryc. 1). W następnych latach sieć uzupełniono o piezometry: P15, P16 (zlokalizowane w strefie dopływu wody do składowisk), P18 (usytuowany na wierzchołku nieczynnego składowiska) i o dwie pary piezometrów gniazdowych: P17 i P17A oraz P19 i P19A ujmujących wody ze stropowej (P17 i P19) oraz spągowej (P17A i P19A) partii czwartorzędowego poziomu wodonośnego. Zlikwidowano natomiast piezometry: P5, P6, P7, P11, P12, P13 i P14 (ryc. 1). Obecnie czynnych jest 15 urządzeń, w tym 4 gniazdowe (Dąbrowska, 2012).

CEL I METODY BADAŃ

Badanie dokładności mapy hydroizohips rejonu składowisk odpadów wykonano na podstawie danych ze wspomnianej sieci LMWP według stanu na 2008 r. (Witkowski, 2008). Do konstrukcji map hydroizohips zastosowano cztery różne metody interpolacji: triangulacji z interpolacją liniową, naturalnego sąsiedztwa, krigingu i radialnej funkcji bazowej (Nielsen & Wendroth, 2003).

W pierwszym etapie prac, z zastosowaniem wymienionych metod, wyinterpolowano rzędne zwierciadła wody określone w 2008 r. na podstawie pomiarów w 19 piezometrach: P1, P2, P3, P4, P5', P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14, P15, P16, P17, P17A, P18, P19 i P19A (ryc. 1). Następnie powtórzono interpolację z wykorzystaniem tych samych metod, tym razem jednak uwzględniono dane tylko z 15 urządzeń (pominięto zlikwidowane punkty P11, P12, P13 i P14). Ponieważ piezometry gniazdowe (P17 i P17A, P19 i P19A) w każdej z par są usytuowane bardzo blisko siebie (w odległości ok. 1,5 m), wzięto pod uwagę wynik pomiaru w jednym z nich. Do interpolacji wykorzystano więc rzędne zwierciadła wody odpowiednio z 17 i 13 punktów. Po sporządzeniu map hydroizohips z zastosowaniem każdej z czterech metod interpolacji porównano przebieg hydroizohips wyznaczonych na podstawie danych z różnej liczby piezometrów. W kolejnym etapie prac porównano mapy hydroizohips wyinterpolowane z uwzględnieniem 17, a następnie 13 punktów, z wykorzystaniem:

– metod triangulacji z interpolacją liniową i naturalnego sąsiedztwa,

– metod krigingu i radialnej funkcji bazowej.

Dodatkowo wykonano mapę hydroizohips metodami krigingu i radialnej funkcji bazowej, opierając się na interpolacji danych ze wszystkich 19 piezometrów, w tym także z piezometrów gniazdowych.

Mapy przygotowano w programie Surfer i wyeksportowano do programu QGIS. Po nadaniu im georeferencji było możliwe określenie powierzchni poszczególnych fragmentów uzyskanych map. Granice obszaru badań wyznaczyły boki prostokąta przechodzące przez skrajne piezometry, najdalej wysunięte w kierunkach północnym, południowym, wschodnim i zachodnim, tj. P16, P17, P14 i P9 (ryc. 1). Tak wyznaczone pole ma powierzchnię 30,8 ha. W jego granicach nie znalazły się ani kulminacje terenu, ani osie dolin cieków powierzchniowych, dlatego można przyjąć, że interpolacja dotyczyła części warstwy wodonośnej położonej poza wododziałami i osiami drenażu.

WYNIKI BADAŃ

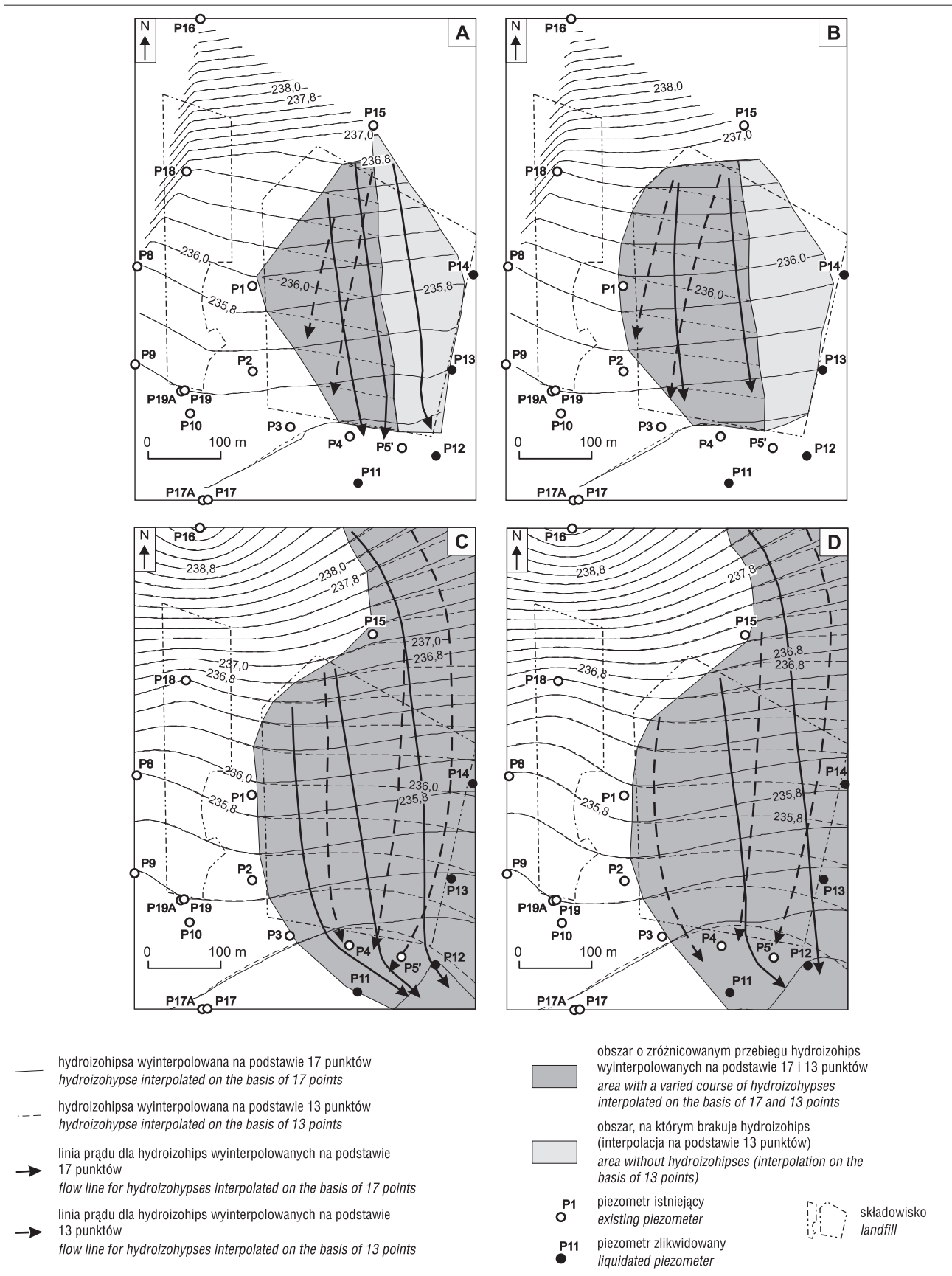
Głównymi różnicami między metodami triangulacji i naturalnego sąsiedztwa a metodami krigingu i radialnej funkcji bazowej są wielkość i kształt interpolowanej powierzchni. Interpolacja z wykorzystaniem metod triangulacji i naturalnego sąsiedztwa zasadniczo odbywa się w obrębie pola określonego liniami łączącymi sąsiednie skrajne punkty. W przypadku obszaru, na którym znajduje się 19 piezometrów sieci monitoringu w Tychach-Urbanowicach, powierzchnia tego pola wyniosła 20,3 ha. W metodach krigingu i radialnej funkcji bazowej powierzchnia interpolacji jest ograniczona powierzchnią dowolnego prostokąta.

W przypadku **metody triangulacji z interpolacją liniową** skutkiem nieuwzględnienia wyników pomiarów z czterech piezometrów było zmniejszenie powierzchni objętej interpolacją o 3,1 ha (ryc. 2A). Odmienny przebieg hydroizohips, wyznaczonych na podstawie danych z 17 i 13 punktów, stwierdzono na obszarze 4,3 ha, co stanowi ok. 21% powierzchni obejmującej wszystkie piezometry. Linie prądu, które wyznaczono w granicach tego obszaru w wyniku interpolacji 17 i 13 punktów, odbiegały od siebie o ok. 20°. Linie prądu wyznaczone na podstawie rzędnych z 17 piezometrów miały przebieg NNW–SSE, a linie wyznaczone na podstawie rzędnych z 13 piezometrów – NNE–SSW.

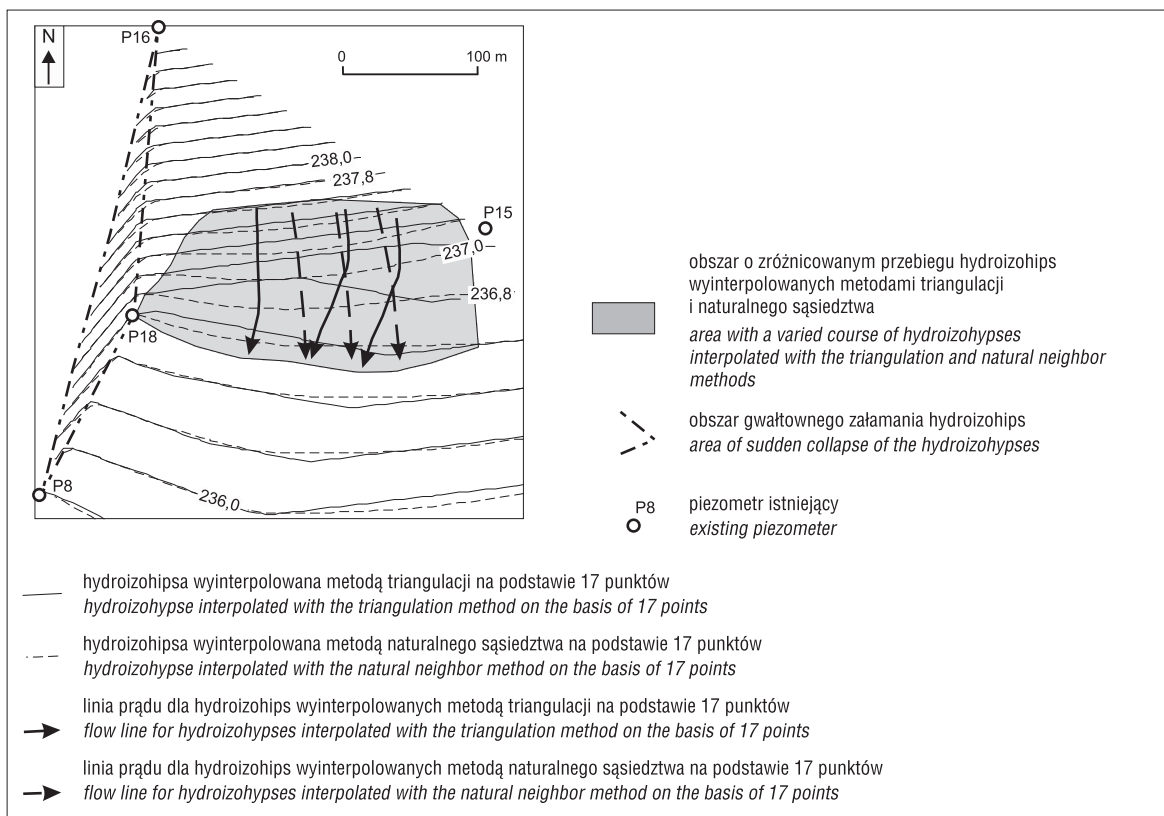
W przypadku metody **naturalnego sąsiedztwa** konsekwencją pominięcia wyników pomiarów z czterech urządzeń była różnica w przebiegu hydroizohips na obszarze 5,7 ha, co odpowiada ok. 28% powierzchni obejmującej 19 piezometrów (ryc. 2B). W wyniku pominięcia tych punktów powierzchnia interpolacji zmniejszyła się o 2,9 ha. Efektem innego przebiegu hydroizohips na powierzchni 5,7 ha była rozbieżność wyznaczonych kierunków przepływu wód podziemnych (przy czym kierunki te były takie same jak w przypadku metody triangulacji z interpolacją liniową). Ich odchylenie względem siebie wyniosło ok. 10–20°.

W przypadku metod **krigingu** (ryc. 2C) oraz **radialnej funkcji bazowej** (ryc. 2D) interpolacja dotyczyła całego obszaru badań (30,8 ha), niezależnie od liczby uwzględnionych piezometrów. Ogółem uzyskano po dwie mapy hydroizohips. Na mapach sporządzonych z zastosowaniem tych metod różnice w kierunkach linii prądu (wynikające z różnej ilości danych) stwierdzono na blisko połowie powierzchni – odpowiednio na 49,5% (kriging) i ok. 48% (radialna funkcja bazowa). Niezależnie od tego, którą metodę zastosowano, układ hydroizohips wyznaczonych na podstawie danych z 17 i 13 punktów był inny we wschodniej części obszaru, w której zlikwidowano piezometry. W zależności od liczby interpolowanych punktów przebieg linii prądu zmieniał się o 5–20°, lokalnie nawet się one krzyżowały.

Wyniki analizy map hydroizohips wskazują, że skutkiem zmniejszenia liczby interpolowanych piezometrów

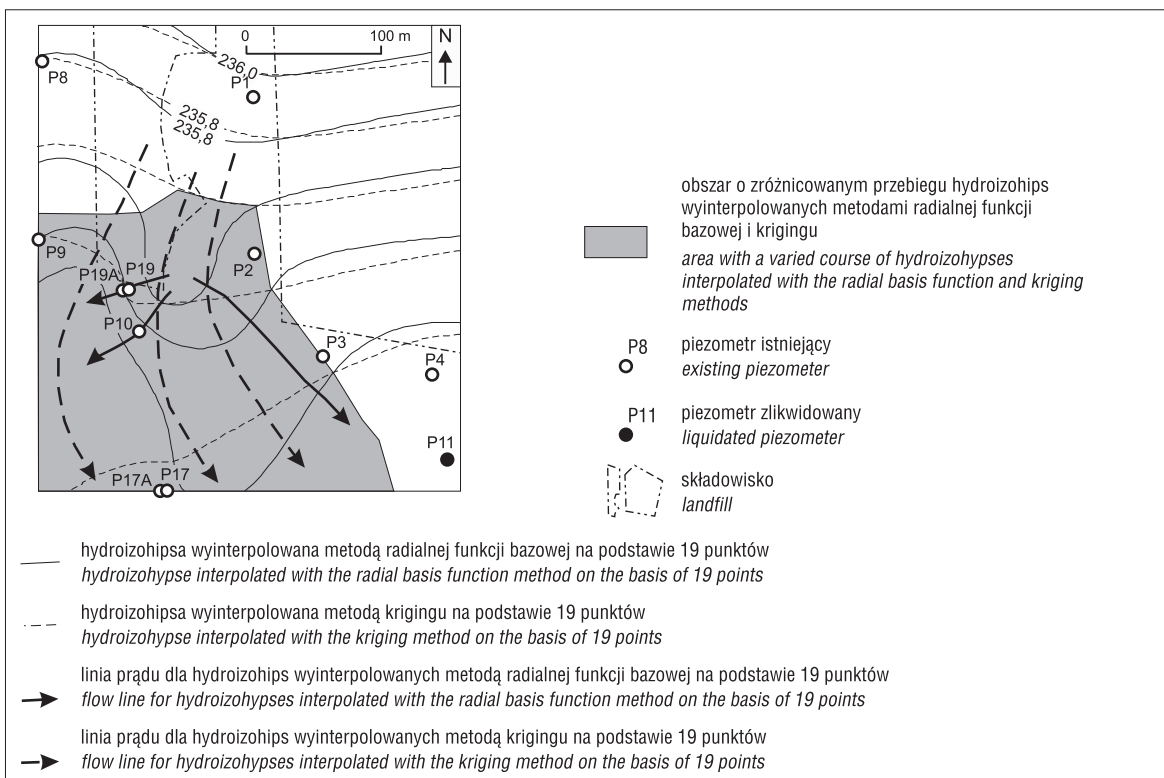


Ryc. 2. Wyniki interpolacji rzędnych zwierciadła wody w 17 i 13 punktach lokalnej sieci monitoringu wód podziemnych na obszarze składowisk odpadów komunalnych w Tychach-Urbanowicach. **A** – metoda triangulacji z interpolacją liniową; **B** – metoda naturalnego sąsiedztwa; **C** – metoda krigingu; **D** – metoda radialnej funkcji bazowej
Fig. 2. The results of the interpolation for 17 and 13 points of the local groundwater monitoring network of the municipal landfills in Tychy-Urbanowice. **A** – triangulation with linear interpolation method; **B** – natural neighbor method; **C** – kriging method; **D** – radial basis function method



Ryc. 3. Rzędne zwierciadła wody w 17 punktach lokalnej sieci monitoringu wód podziemnych na obszarze składowisk odpadów komunalnych w Tychach-Urbanowicach – wyniki interpolacji metodami triangulacji z interpolacją liniową oraz naturalnego sąsiedztwa

Fig. 3. The results of the interpolation with using the triangulation with linear interpolation and the natural neighbor methods for 17 points of the local groundwater monitoring network of the municipal landfills in Tychy-Urbanowice



Ryc. 4. Rzędne zwierciadła wody w 19 punktach lokalnej sieci monitoringu wód podziemnych na obszarze składowisk odpadów komunalnych w Tychach-Urbanowicach – wyniki interpolacji metodami krigingu i radialnej funkcji bazowej

Fig. 4. The results of the interpolation with using the kriging and the radial basis function methods for 19 piezometers of the local groundwater monitoring network of the municipal landfills in Tychy-Urbanowice

o cztery była zmiana układu hydroizohips na 21–28% powierzchni całego obszaru w przypadku metod triangulacji i metody naturalnego sąsiedztwa. Nieuwzględnienie piezometru P11 praktycznie nie miało znaczenia, ponieważ układu się on niemal współliniowo z piezometrami P17 i P12 (ryc. 1). W przypadku map wykonanych z zastosowaniem metod krigingu i radialnej funkcji bazowej efektem zmniejszenia liczby piezometrów była zmiana położenia hydroizohips na niemal połowie powierzchni badanego obszaru.

W przypadku metod krigingu i radialnej funkcji bazowej praktycznie nie stwierdzono różnic w przebiegu hydroizohips wyznaczonych na podstawie interpolacji tej samej liczby punktów. Różnice takie stwierdzono natomiast w przebiegu hydroizohips wyznaczonych metodami triangulacji i naturalnego sąsiedztwa w rejonie piezometrów P15 i P18 (ryc. 3). W konsekwencji na ok. 13% powierzchni uzyskano rozbieżne kierunki przepływu.

Na mapach hydroizohips sporządzonych z zastosowaniem metod triangulacji i naturalnego sąsiedztwa są widoczne załamania hydroizohips pod ostrym kątem w kierunku południowo-zachodnim (na obszarze o powierzchni 0,5 ha, między piezometrami P8, P16 i P18 – ryc. 3). Wynika to z działania algorytmu interpolacyjnego (dążenie do uzyskania największej liczby trójkątów).

Zastosowane metody mają swoje ograniczenia, dlatego do otrzymanych wyników należy podchodzić krytycznie, zwłaszcza w odniesieniu do liczby analizowanych punktów pomiarowych i ich reprezentatywności. Bezskrytyczne uwzględnienie przy interpolacji wszystkich danych (w tym z poszczególnych piezometrów gniazdowych) może prowadzić do uzyskania błędnych wyników. Szczególnie wrażliwa na zmianę liczby punktów jest metoda radialnej funkcji bazowej. W celu wykazania jej wrażliwości wykonano mapy hydroizohips metodami krigingu i radialnej funkcji bazowej, przy czym wzięto pod uwagę wszystkie 19 piezometrów (w tym gniazdowe). Znaczne różnice w przebiegu hydroizohips na tych mapach można zauważyć w południowo-zachodniej części obszaru badań (ryc. 4). Powierzchnia, na której stwierdzono różnice w przebiegu hydroizohips, wynosi 4,6 ha, co stanowi niemal 15% całego rozpatrywanego terenu. Układ hydroizohips wyznaczony w wyniku interpolacji metodą radialnej funkcji bazowej wskazuje, że np. piezometr P10, usytuowany na południowym przedpolu starego składowiska, oraz piezometr gniazdowy P17A nie znajdują się w strefie negatywnego oddziaływania tego składowiska. Dane z monitoringu świadczą jednak o wyraźnym wpływie nieczynnego składowiska na wody ujmowane w piezometrach P10 i P17A. Przykładowo w 2008 r. przewodność wody w piezometrze P10 wynosiła 4,4 mS/cm (Witkowski, 2008). Te same dane wyinterpolowane metodą krigingu wskazywały na wpływ składowiska na wody ujmowane w piezometrach P10 i P17A.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Do wykonania wiarygodnej mapy hydroizohips niezbędne jest: właściwe zlokalizowanie punktów pomiarowych, przyjęcie ich odpowiedniej liczby (np. problem piezometrów gniazdowych), dokładne pomierzenie położenia zwierciadła wody podziemnej, a także wybranie właściwej metody interpolacji.

Różnice między czterema zastosowanymi metodami geostatystycznymi obejmują wielkość i kształt interpolo-

wanej powierzchni. W metodach triangulacji i naturalnego sąsiedztwa uwzględnia się tylko powierzchnię między skrajnymi punktami pomiarowymi, z kolei w przypadku krigingu i metody radialnej funkcji bazowej jest możliwa interpolacja na dowolnym obszarze. Dzięki zastosowaniu tych samych metod interpolacji z wykorzystaniem różnej liczby piezometrów wykazano, że zredukowanie liczby punktów pomiarowych skutkuje rozbieżnością w przebiegu hydroizohips, a w przypadku metod triangulacji z interpolacją liniową i naturalnego sąsiedztwa dodatkowo może spowodować zmniejszenie obszaru interpretacji.

Zróżnicowana interpretacja układu hydrodynamicznego może mieć istotne znaczenie przy interpretacji wyników badań hydrochemicznych i ocenie rzeczywistego oddziaływania monitorowanego obiektu, jak również przy optymalizacji sieci.

Na podstawie porównania wyników uzyskanych czterema metodami z wykorzystaniem tej samej liczby punktów, z uwzględnieniem tylko jednego pomiaru z każdej pary piezometrów gniazdowych, uzyskano zbliżone układy hydroizohips (z wyjątkiem metody triangulacji). Uwzględnienie w interpolacji danych ze wszystkich piezometrów gniazdowych prowadziło do błędnej interpretacji układu hydrodynamicznego tylko w przypadku metody radialnej funkcji bazowej (ryc. 4). Przyczyną błędu jest wrażliwość radialnej funkcji bazowej na nadmiar danych z małej powierzchni.

Niezależnie od zastosowanej metody interpolacji należy pamiętać o konieczności uwzględnienia lokalnych uwarunkowań wynikających z obecności wododziałów oraz dolin rzecznych mających kontakt hydrauliczny z warstwą wodonośną. Dlatego żadna aplikacja nie zastąpi geologa przy interpretacji zjawisk zachodzących w środowisku gruntowo-wodnym, a same algorytmy (np. rekomendowany kriging lub naturalne sąsiedztwo) mogą pełnić wyłącznie funkcję wspomagającą.

LITERATURA

- DĄBROWSKA D. 2012 – Zmienność składu chemicznego wód podziemnych w rejonie nieczynnego składowiska odpadów komunalnych w Tychach-Urbanowicach [praca magisterska]. UŚ, Sosnowiec.
- DĄBROWSKA D. & WITKOWSKI A.J. 2013 – Skład chemiczny i jakość wód podziemnych czwartorzędowego piętra wodonośnego w rejonie zespołu składowisk w Tychach-Urbanowicach. [W:] Buczyński S. (red.), IV Międzynarodowe Warsztaty dla Młodych Hydrogeologów „Geotermia”. WNZKŚ UW, Wrocław: 73–81.
- NIELSEN D.R. & WENDROTH O. 2003 – Spatial and temporal statistics. Sampling field soils and their vegetation. Castera Verlag, Reiskirchen, Germany.
- SITEK S., WITKOWSKI A., KOWALCZYK A. & ŻUREK-PUCEK A.M. 2010 – Ocena oddziaływania składowiska odpadów komunalnych w Tychach na środowisko wód podziemnych w świetle badań modelowych. Biul. Państw. Inst. Geol., 442: 147–152.
- WITKOWSKI A.J. 2009 – Uwagi o monitoringu wód podziemnych dla składowisk odpadów komunalnych. Biul. Państw. Inst. Geol., 436: 535–546.
- WITKOWSKI A.J. 2008 – Ocena zasięgu i skali negatywnego wpływu starego (nieczynnego) składowiska na wody podziemne czwartorzędowego piętra wodonośnego w Tychach-Urbanowicach. UŚ, Katowice.
- WITKOWSKI A.J. 2013 – Monitoring jakości wód podziemnych dla fazy poeksploatacyjnej składowiska odpadów komunalnych w Tychach-Urbanowicach w 2013 roku. Arch. ZBU Intergeo Sp. z o.o., Sosnowiec.
- WITKOWSKI A.J. & ŻUREK A.M. 2007 – Wpływ starych zrehabilitowanych składowisk odpadów komunalnych na wody podziemne. [W:] Szczepański A. i in. (red.), Współczesne Problemy Hydrogeologii. T. 13. AGH, Kraków: 625–633.