

## OCENA ROZPOZNANIA HYDROGEOLOGICZNEGO NA PRZYKŁADZIE WYBRANEGO FRAGMENTU POJEZIERZA POMORSKIEGO – BORY TUCHOLSKIE

### ASSESSMENT OF HYDROGEOLOGY RECOGNITION ON THE EXAMPLE SELECTED AREA OF POMERANIA LAKELAND – BORY TUCHOLSKIE

MAREK KACHNIC<sup>1</sup>

**Abstrakt.** W pracy przedstawiono propozycję jakościowej oceny poziomu rozpoznania hydrogeologicznego pod kątem ustalenia wiarygodności wyników obliczeń przeprowadzonych na hipotetycznym modelu hydrodynamicznym. Poziom rozpoznania hydrogeologicznego oceniono dwiema metodami: metodą subiektywną opartą na ilościowym rozpoznaniu hydrogeologicznym oraz metodą opartą na wyliczeniu parametrów statystyki przestrzennej z wykorzystaniem programu ArcGIS. Poziomy wyznaczone dla dwóch warstw hipotetycznego modelu przedstawiają obszar najbardziej wiarygodnego rozpoznania hydrogeologicznego. Do oceny jakości rozpoznania wykorzystano informacje z bazy danych Mapy hydrogeologicznej Polski 1:50 000 oraz Szczegółowej mapy geologicznej Polski 1:50 000 – arkusz Łąg.

**Słowa kluczowe:** wody podziemne, model, wiarygodność, niedokładność.

**Abstract.** Based on the data from Hydrogeological Map of Poland in the scale 1:50 000 and Detailed Geological Map (sheet Łąg), area of the best hydrogeological recognition was outlined. Two methods of assessment of area with the best hydrogeological recognition were used. The first (more subjective) method was based on the manual evaluation of extent area with the best recognition. The second method (more objective) was based on the spatial distribution parameters. In the second method area of the best recognitions was established with help of ArcGIS software. Standard Deviation Ellipse from ArcGIS can be used to establish area with best hydrogeological recognition. Extent of that area covers most valuable result from any hydrogeological models.

**Key words:** groundwater flow, river basement models, hydrogeological recognition, uncertainty.

## WSTĘP

W Ramowej Dyrektywie Wodnej zwrócono uwagę na zagadnienie niedokładności wykorzystywanych danych i wynikający z tego błąd uzyskany w modelach zlewniowych. Nie zdefiniowano jednak terminu „niepewność” i zamiast tego używa się określenia „adekwatny poziom zaufania i precyzji”. Przykładowo, w nawiązaniu do częstotliwości opróbowania monitoringowego, podano: „Częstotliwość powinna być tak dobrana, żeby uzyskać akceptowalny poziom zaufania i precyzji. Oszacowanie poziomu zaufania i precyzji dla systemu monitoringu powinno być określone

w planach zarządzania zlewniami” (sekcja 1.3.4 aneksu V RDW). Zamiennie z terminem „adekwatny” użyte są również określenia „wystarczający” (*sufficient*) i „akceptowalny” (*acceptable*).

Powstaje pytanie, w jaki sposób określić „adekwatny poziom zaufania i precyzji” dla coraz częściej wymaganych modeli zlewniowych. Poziom zaufania dla takich modeli jest zagadnieniem trudnym do oceny, bo związany jest z niedokładnością wynikającą z założonej hipotezy (modelu koncepcyjnego, struktury modelu), stopnia rozpoznania wa-

<sup>1</sup> Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Wydział Biologii i Nauk o Ziemi, ul. Gagarina 9, 87-100 Toruń; e-mail: marek.kachnic@umk.pl

runków hydrogeologicznych i trudności lub wręcz niemożliwości zamodelowania procesów fizyczno-chemicznych<sup>2</sup>.

W niedokładności struktury modelu występują co najmniej trzy istotne źródła „błędów” (Gaganis, Smith, 2005):

- 1) matematyczne i modelowe ograniczenia wynikające z tego, że wszystkie modele są uproszczeniem i przybliżeniem rzeczywistości;
- 2) brak wiedzy, który może wynikać z braku rozpoznania lub braków w teoriach dotyczących zachowania składników modelu i ich interakcji;
- 3) brak możliwości przewidzenia zmiany fizycznej (lub chemicznej) charakterystyki systemu hydrogeologicznego.

Błąd wynikający z punktów 1 i 2 można redukować wynikami dalszych badań i bardziej szczegółowym modelem. Błąd wynikający z punktu 3 jest nieredukowalny.

W jaki sposób uwzględnić powyższe „braki” w ocenie poziomu zaufania (wiarygodności) na etapie walidacji mo-

delu i przedstawiania wyników obliczeń. W jaki sposób poinformować decydenta o stopniu wiarygodności modelu. Wyniki modelowania mogą być bowiem podstawą do wydania niewłaściwej decyzji, a która może wynikać z braku informacji o ograniczeniach wykonanego modelu.

W pracy podjęto próbę oceny poziomu wiarygodności wyników modelowania, wynikających z braku wiedzy (braku rozpoznania hydrogeologicznego).

Zagadnienie braku rozpoznania hydrogeologicznego jest ściśle związane z równomiernością lokalizacji punktów opróbowania i odpowiednią do modelu koncepcyjną głębokością rozpoznania. Na ogół do modeli zlewniowych wykorzystuje się informacje bazujące na istniejących otworach obserwacyjnych i studziennych. Zwykle są to ujęcia wód pitnych zlokalizowane w pobliżu terenów zabudowanych. Rozpoznanie poza nimi jest często nierównomierne i niewystarczające. Te same zastrzeżenia dotyczą głębokości rozpoznania.

## OBSZAR BADAŃ

Ocenę poziomu rozpoznania hydrogeologicznego testowano na danych z obszaru położonego we wschodniej części Pojezierza Pomorskiego (fig. 1). Obszar badań (obszar hipotetycznego modelu) wyznacza zasięg arkusza Łąg Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000 (MhP) (Prussak, 2000). Zadanie testowano na informacjach z bazy danych z tej mapy oraz danych ze Szczegółowej mapy geologicznej Polski w skali 1:50 000 (SMGP). W artykule nie uwzględniono najnowszych danych z map pierwszego poziomu wodonośnego (MhP-PPW-WH).

Teren badań jest obszarem młodoglacjalnym, warstwy wodonośne występują w osadach kenozoiku. Tylko poziom wodonośny plejstocenu jest rozpoznany i jest głównym użytkowym poziomem w tym rejonie. System wodonośny składa się z warstwy wodonośnej o zwierciadle swobodnym (Prussak, 2000; Kachnic, 2003; Kachnic, Sadurski, 2005) i kilku międzymorenowych warstw wodonośnych o zwierciadle napiętym (Prussak, 2000; Kachnic, 2005). Warstwa wodonośna o zwierciadle swobodnym jest wykorzystywana tylko przez trzy studnie i nie została uwzględniona w ocenie stopnia rozpoznania.

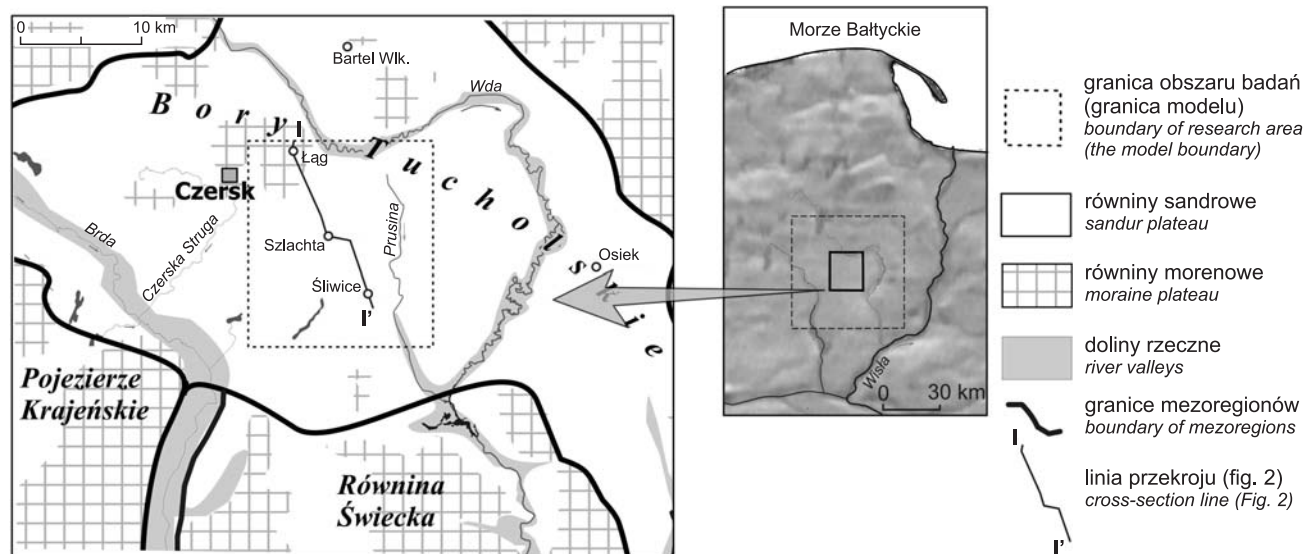


Fig. 1. Lokalizacja obszaru badań

Location of the study area

<sup>2</sup> Poziom zaufania odnosi się też do klasycznego błędu pomiaru w punktach opróbowania.

## METODYKA

Typowe modele zlewniowe budowane są jako wielowarstwowe. Poszczególne warstwy modelu odwzorowują kolejne warstwy wodonośne. Wobec zmiennej głębokości rozpoznania każda z wyznaczonych warstw na modelu ma własny stopień wiarygodności, który można jakościowo scharakteryzować, np. poprzez podanie liczby punktów, w których rozpoznano badaną warstwę.

Jako kryterium rozpoznania przyjęto informacje o parametrach warstwy po jej zafiltrowaniu z okresu budowy studni po próbnym pompowaniu. Dane o lokalizacji i zafiltrowaniu pobrano z zapisu cyfrowego bazy danych MhP. Dla uproszczenia przyjęto, że granice modelu pokrywają się z granicami arkusza Łąg MhP.

Wybrane obliczenia statystyki przestrzennej wykonano z użyciem narzędzi analitycznych programu ArcGIS ver. 9.

## SCHEMAT IDEOWY MODELU

Obecność wielu warstw wodonośnych w poziomie plejstoceńskim obszarze badań jest rezultatem kolejnych zlodowaceń, w tym głównie etapów postoju lądolodów. Warstwy wodonośne, przedzielające gliny morenowe, zbudowane są głównie z osadów piaszczysto-żwirowych pozostawionych przez wody roztopowe (Galon, Dylik, 1967). Wśród kopalnych form akumulacji okruchowej w terenach młodoglacjalnych główny udział w budowie poziomów wodonośnych mają pogrzebane osady fluwialne (kilkukrotnie nałożone serie sedimentacyjne osadów rzek typu roztokowego), rynniny subglacjalne, a także doliny kopalne.

Przegląd materiałów geologicznych z obszaru badań nie daje podstaw do wyznaczenia głębokich dolin kopalnych lub

rynien subglacjalnych, które należałoby analizować oddzielnie. Przyjęto zatem, że rozległe międzymorenowe warstwy wodonośne są kopalnymi sandrami, a kluczem do interpretacji i właściwego przedstawienia zasięgu ich wystąpienia jest analiza rzędnych ich zalegania.

Na podstawie analizy przekrojów z MhP i SMGP (fig. 2) oraz histogramu rzędnych posadowienia filtra w studniach (kształt dwumodalny – fig. 3) wyznaczono dwa przedziały wysokości zalegania głównych międzymorenowych warstw wodonośnych, rozgraniczonych na rzędnej 102 m n.p.m. W związku z tym model koncepcyjny został „zbudowany” z dwóch warstw.

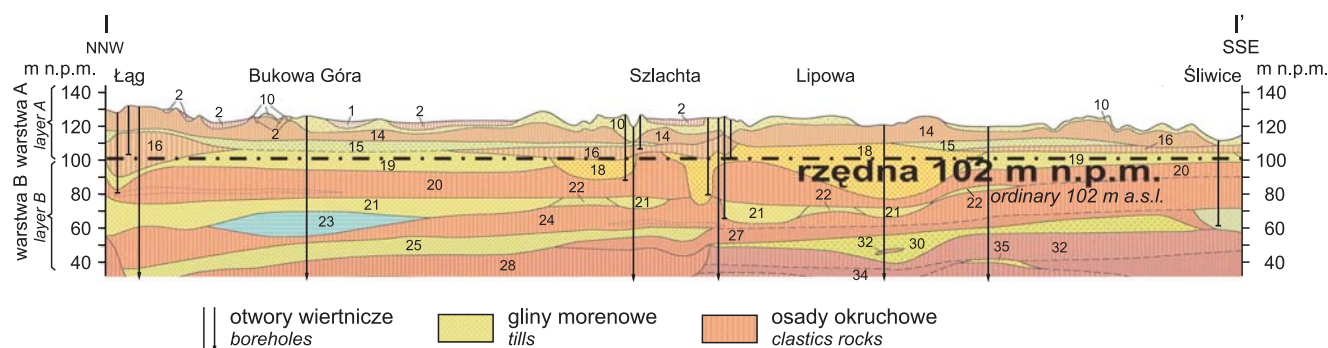
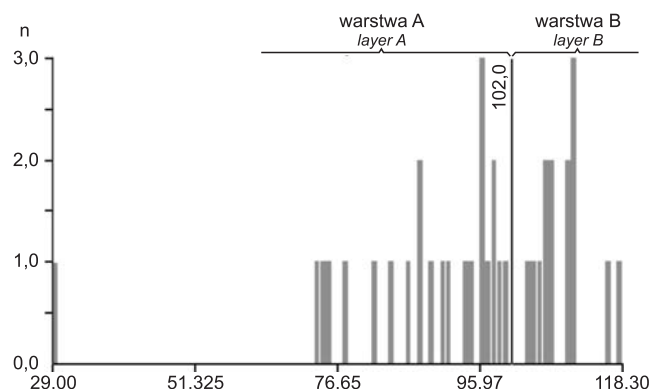


Fig. 2. Przekrój geologiczny I-I' wg Szczegółowej mapy geologicznej Polski, ark. Łąg (Trzepla, Drozd, 2005, zmieniony)

Geological cross-section I-I' based on the Detailed Geological Map of Poland, sheet Łąg (Trzepla, Drozd, 2005, modified)

Fig. 3. Rozkład częstości rzędnej filtra studni w m n.p.m. warstw wodonośnych o zwierciadle napiętym

Histogram of ordinate of well screen in m a.s.l. of confined aquifer



## OCENA POZIOMU ROZPOZNANIA HYDROGEOLOGICZNEGO

Do oceny poziomu rozpoznania zastosowano dwie metody. Pierwsza metoda oparta jest na sposobie subiektywnego manualnego okonturowania rejonu o najlepszym rozpoznaniu. W tym celu wykorzystano klasyczne zapytanie SQL (*Structured Query Language*) do bazy danych z poleceniem wyświetlenia studzien, w których wysokość środka filtra spełnia warunek zalegania poniżej 102 m n.p.m., a więc w warstwie B. Następnie wyznaczono rejon występowania tych studzien poprzez okonturowanie skupień punktów (studzien) ze strefą buforową o szerokości około 1 km. Analogicznie postąpiono ze studniami przypisanymi do warstwy A, na modelu zalegającej nad rzędną 102 m n.p.m. Na figurze 4 przedstawiono wyznaczone obszary rozpoznania hydrogeologicznego dla założonego schematu występowania warstw wodonośnych.

W drugiej metodzie oceny rozpoznania hydrogeologicznego posłużono się dołączonym do programu ArcGIS modulem obliczeniowym *Directional Distribution – Standard Deviational Ellipse* (elipsa odchylenia standardowego) z grupy narzędzi umożliwiających obliczenia statystyczne odnoszące się do lokalizacji (*spatial statistics*). Analiza matematyczna konstrukcji elipsy opisana jest w pracy Lefevera (1926). Wynik działania modułu tworzy eliptyczny obszar z centrum na przecięciu wartości średniej współrzędnych X i średniej współrzędnych Y (tzw. *mean centre*) badanego zbioru punktów. Długość osi elips jest przyjmowana z obliczonej odległości standardowej (*standard distance*) oddzielnie dla współrzędnych X i Y<sup>3</sup>.

Elipsy przedstawiają trend przestrzenny analizowanego wyróżnienia (cechy). Do obliczenia długości osi elips przyję-

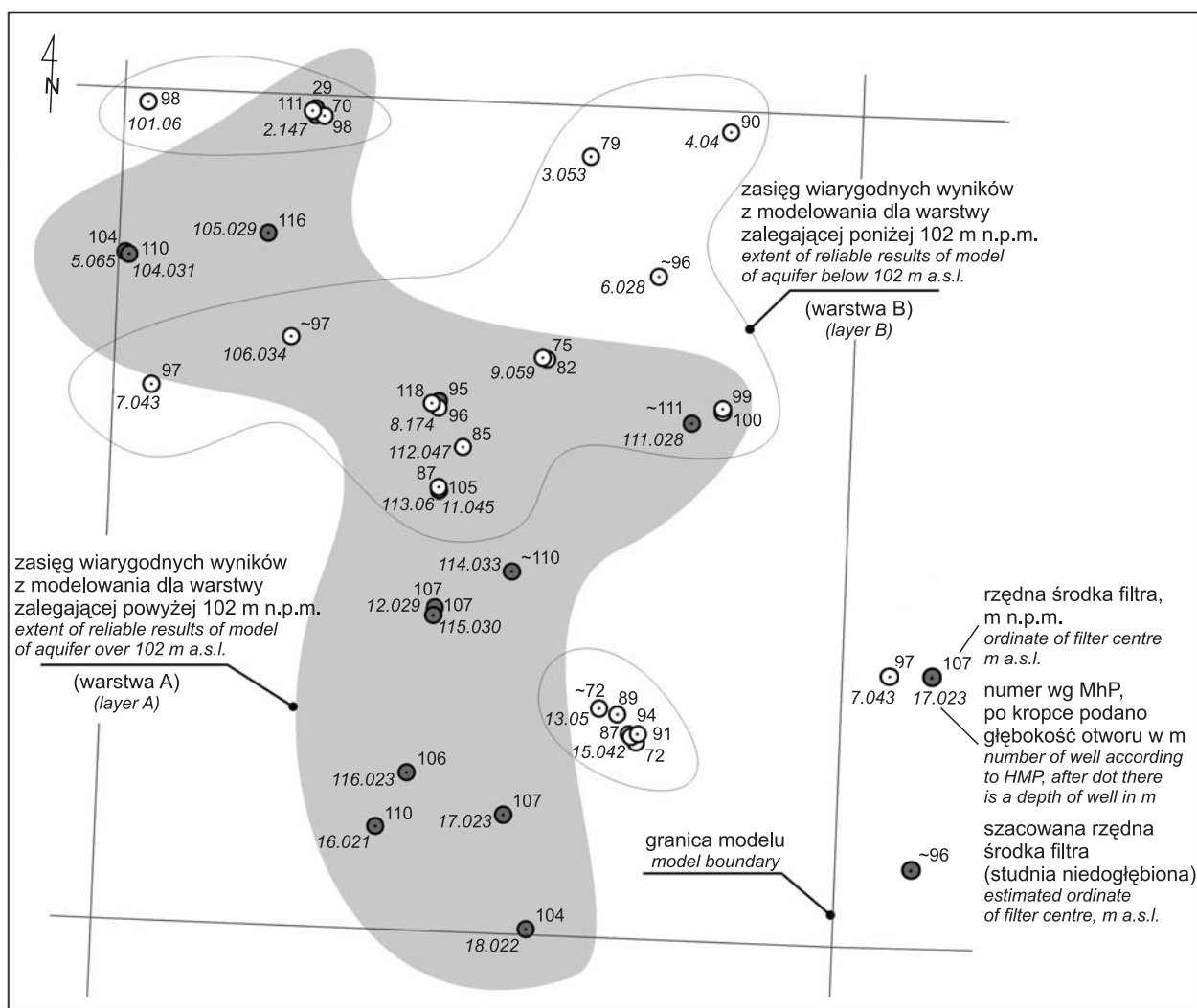
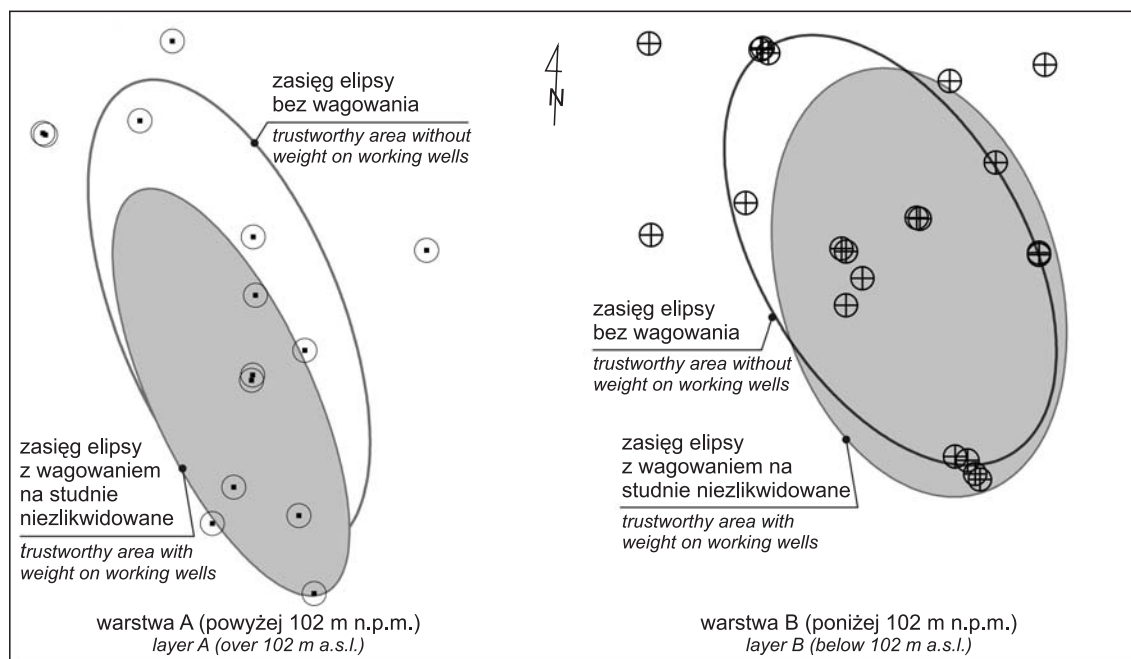


Fig. 4. Wyznaczone zasięgi wiarygodnego rozpoznania hydrogeologicznego warstw A i B

Area with reliable hydrogeological recognition for layers A and B

<sup>3</sup> W opisie funkcji na stronie ESRI nie znalaziono opisu formuły obliczeniowej kąta rotacji dłuższej osi elipsy.



**Fig. 5. Zasięgi obszarów wiarygodnego rozpoznania hydrogeologicznego warstw A i B wyznaczone na podstawie obliczeń programem ArcGIS**

Extent of area with trustworthy hydrogeological recognition for modelled layers calculated in ArcGIS

to jedną odległość standardową<sup>4</sup>, która obejmuje 68% liczebności próby. Co istotne, moduł umożliwia użycie wag względem wybranego atrybutu (cechy) studni. Ponieważ głównym zadaniem jest ocena studzien pod kątem ich wykorzystania do weryfikacji modelu hydrodynamicznego, więc jako wagi wykorzystano informacje o stanie technicznym studzien zawarte w bazie danych. W bazie MhP arkusza Łąg zawarto informacje o tym czy studnia jest czynna, czy została zlikwidowana (kolumna „uwagi” oraz kolumna „zasoby eksploatacyjne”) i atrybut ten po zamianie na wartości logiczne 0 lub 1 został włączony do wagowania. Dla porównania zamieszczono wyniki z użyciem wag, jak również bez nich (fig. 5).

Zasięgi wyznaczonych obszarów o podwyższonej wiarygodności rozpoznania hydrogeologicznego uzyskane za pomocą zastosowanych metod są dość rozbieżne. Dla warstwy płytszej metoda subiektywna zaznacza około 50% obszaru o wysokiej wiarygodności rozpoznania (fig. 4). Z kolei w metodzie statystycznej (dla zadanego kryterium

jednego odchylenia standardowego) obszar o wysokim poziomie zaufania rozpoznania zajmuje około 20% obszaru arkusza.

Dla warstwy B w metodzie subiektywnej wyznaczono trzy rejony o większej wiarygodności, zajmujące około 30% obszaru arkusza. W metodzie statystycznej obszar o lepszym rozpoznaniu zajmuje podobną powierzchnię, ale kształt obszaru jest bardzo uogólniony.

Podsumowując, bardziej obiektywna wydaje się metoda statystyczna. Należy jednak pamiętać o podstawowym założeniu metod statystyki parametrycznej, które prawidłowo przedstawiają parametry próby, gdy próba ma rozkład jednomodalny (i najlepiej zbliżony do normalnego). W przypadku wyraźnego zgrupowania studzien w dwóch lub więcej wyraźnie oddzielnych rejonach (przypadek warstwy B?) należałoby poszczególne skupienia grup studzien rozdzielić na podzbiory i obliczenia zasięgu elips przeprowadzać oddzielnie dla każdego podzbioru.

## PODSUMOWANIE

Na podstawie informacji uzyskanych z bazy danych MhP arkusza Łąg wyznaczono zasięg występowania obszaru wiarygodnego rozpoznania hydrogeologicznego niezależnie dla dwóch stref głębokościowych, będących odpowiednikami warstw na modelu matematycznym. W miarę obiektywne zasięgi wiarygodnego rozpoznania hydrogeologicznego opracowano

z pomocą programu ArcGIS, który wykreślił elipsę odchylenia standardowego (*Standard Deviation Ellipse*).

Uproszczony sposób wagowania informacji nawiązującej do technicznego stanu studni wymaga poprawy. Konieczna jest ulepszona ocena ilościowa przydatności punktów opróbowania warstwy wodonosnej do weryfikacji i walidacji modelu hydrogeologicznego. W tym celu należy opracować założenia do budowy rankingu studzien (lub też innych otworów geologicznych) pod kątem przydatności wykorzy-

<sup>4</sup> Możliwe jest również użycie dwóch i trzech odległości standardowych.

stania ich w budowie i walidacji modeli. Ranking powinien uwzględniać możliwość pomiaru statycznego zwierciadła wody, a także weryfikację lokalizacji punktu (studni), gdyż lokalizacja oparta na danych z bazy MhP często nie jest wiarygodna.

Przedstawiona propozycja wyznaczania obszarów o lepszym rozpoznaniu jest częścią szerszego zagadnienia, jakim jest ocena poziomu zaufania (wiarygodności) wyników

modelowania hydrodynamicznego. Pełna ocena poziomu zaufania wyników modelu wymaga kilku istotnych uzupełnień. Braki rozpoznania hydrogeologicznego są jednym z głównych składników tej oceny, ale nie jedynym. Oprócz problemu jakości rozpoznania konieczne do oceny są wiarygodność zadanych warunków brzegowych oraz ocena rozpoznania składników bilansu wodnego, jakimi są warunki zasilania warstw wodonośnych i odpływ podziemny.

## LITERATURA

- GAGANIS P., SMITH L., 2005 – Evaluation of the uncertainty of groundwater model predictions associated with conceptual errors: a per-datum approach to model calibration. *Advances in Water Resour.*, **29**, 4: 503–514.
- GALON R., DYLIK J. (red.), 1967 – Czwartorzęd Polski. PWN, Warszawa.
- KACHNIC M., 2003 – Wyznaczanie zasięgu warstwy wodonośnej w skali probabilistycznej w wybranym fragmencie Pojezierza Pomorskiego. W: *Współczesne problemy hydrogeologii*, t. 11: 327–334. Politechnika Gdańska, Gdańsk.
- KACHNIC M., 2005 – Wyznaczanie zasięgu międzymorenowych warstw wodonośnych w skali nieparametrycznej w wybranym fragmencie Pojezierza Pomorskiego. W: *Współczesne problemy hydrogeologii*, t. 12: 301–307. UMK, Toruń.
- KACHNIC M., SADURSKI A., 2005 – Probabilistic evaluation of the extent of the unconfined aquifer. *Prz. Geol.*, **53**, 10/2: 930–934.
- LEFEVER D.W., 1926 – Measuring geographic concentration by means of the Standard Deviation Ellipse. *Am. J. Sociol.*, **32**: 88–94.
- PRUSSAK E., 2000 – Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000 wraz z objaśnieniami, ark. Łąg. Państw. Inst. Geol., Warszawa. <http://psh.gov.pl>
- TRZEPLA M., DROZD M., 2005 – Szczegółowa mapa geologiczna Polski 1:50 000, ark. Łąg. Państw. Inst. Geol., Warszawa.