

**MAPA WIARYGODNOŚCI ROZPOZNANIA PIERWSZEGO POZIOMU
WODONOŚNEGO WYKONANA NA PODSTAWIE RANKINGU STUDZIEN
W REJONIE UNISŁAWIA**

**MAP OF UNCERTAINTY OF SHALLOW GROUNDWATER
BASED ON BOREHOLES AND DIGGING WELLS**

Marek Kachnic

Instytut Geografii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

SŁOWA KLUCZOWE: wody podziemne, wiarygodność, ranking informacji, pierwszy poziom wodonośny, AHP, IDRISI

STRESZCZENIE: W artykule przedstawiono wykorzystanie założeń metody analizy hierarchii (AHP – *Analytical Hierarchy Process*) do opracowania rankingu przydatności studzien kopanych i wierconych wykorzystanych do określenia zasięgu występowania pierwszego poziomu wodonośnego (ppw). Badania zostały zrealizowane na obszarze objętym arkuszem Unisław Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000. Procedura przygotowania, analizy i wizualizacji danych została opracowana z pomocą programu IDRISI. Do struktury decyzyjnej opracowania rankingu studzien wierconych przyjęto następujące kryteria: informacje o występowaniu (lub braku) warstwy wodonośnej; wydajność jednostkową, rodzaj przeprowadzonej weryfikacji terenowej studzien oraz możliwość weryfikacji informacji o punkcie badawczym poprzez aktualny stan techniczny studni. Do struktury decyzyjnej rankingu studzien kopanych przyjęto następujące kryteria: rodzaj użytkownika, stan techniczny studni, występowanie studni w innych bazach danych (mapach), głębokość studni i wysokość słupa wody. Preferencje w zakresie poszczególnych kryteriów określano przy pomocy charakterystycznej dla metody AHP postaci względnych ocen ważności kryteriów. Mapy cząstkowe kryteriów zagregowano do mapy wynikowej metodą ważonej kombinacji liniowej. Ostateczną mapę wynikową uzyskano z pomocą modelowania kartograficznego i modułu CONTRACT z programu IDRISI. Wyniki analiz świadczą o słabym pokryciu terenu badań wiarygodną informacją wynikającą z rozpoznania punktowego pierwszego poziomu wodonośnego. W celu pełnego zobrazowania „stanu wiedzy” (*knowledge base*) procedurę należy uzupełnić o pozostałe składniki środowiska przyrodniczego mające znaczenie przy ustalaniu zasięgu ppw (np. źródła, wody powierzchniowe, inne otwory geologiczne).

1. WSTĘP

Od 2003 r. w Polsce realizowane są dwa niezależne tematy kartograficzne odnoszące się w całości lub w części do wód podziemnych pierwszego poziomu wodonośnego (ppw¹). W ramach każdego z tych tematów realizowanych jest po 1069 arkuszy map seryjnych w cięciu arkuszowym w skali 1:50 000. Są to Mapa hydrograficzna Polski w skali 1:50 000 (wydawnictwo GUGiK) oraz uzupełnienie edycji „Szczegółowej mapy hydrogeologicznej w skali 1:50 000” (MhP) o grupę tematyczną „pierwszy poziom wodonośny” i wprowadzenie jej do bazy danych GIS MhP.

Informacja o zasięgu występowania płytkich wód podziemnych ma priorytetowe znaczenie w ochronie środowiska. Płytkie wody podziemne pełnią ważną rolę środowiskową wpływając na stan ekosystemów od nich zależnych (np. zaliczonych do specjalnych obszarów ochrony siedlisk NATURA 2000).

Jak dotąd w Polsce nie opublikowano prac, które dotyczyłyby opisu wiarygodności treści map (hydro)geologicznych. Brak prac na ten temat wynika głównie z braku metod opisu błędu i niepewności na bazie teorii prawdopodobieństwa, zbiorów rozmytych (*fuzzy sets*) i teorii dowodów (*theory of evidence*). W przypadku nauk geologicznych dodatkowym utrudnieniem jest problem opisu obiektów ukrytych i obiektów o „nieostrych granicach”. Są to obiekty dla których z racji swojego charakteru nie można wyznaczyć jednoznacznej granicy. Przykładem są granice jednostek geologicznych czy też zasięg warstw wodonośnych.

W literaturze zagranicznej zagadnienie opisu „niepewności” informacji (ang. *uncertainty*) jest tematem coraz częściej pojawiającym się w nauce i zastosowaniach praktycznych. W czasopiśmie można znaleźć pojedyncze prace analizujące to zagadnienie niepewności danych (hydro)geologicznych. Przykładem mogą być publikacje Ferrier, Wadge (1997), Caselton, Luo (1992), Tacher *et al.* (2006).

2. RANKING ŹRÓDEŁ INFORMACJI

W celu przygotowania mapy wiarygodności rozpoznania hydrogeologicznego uzasadnionym jest opracowanie rankingu „jakości” informacji wykorzystywanych w opracowaniu map pierwszego poziomu wodonośnego. Mapy hydrogeologiczne opracowywane są głównie na podstawie rozpoznania punktowego (studnie i otwory obserwacyjne, studnie kopane oraz źródła) a także innych informacji (głównie z zakresu geomorfologii i hydrografii). O ile granice rzek, zbiorników powierzchniowych czy też głównych jednostek

¹ W artykule stosowane są skróty „ppw” i „PPW” dla odróżnienia odpowiednio pierwszego poziomu wodonośnego wyznaczanego wg kryteriów autora (zob. pkt 2.4) i pierwszego poziomu wodonośnego wg kryteriów Państwowego Instytutu Geologicznego (Ćwiertniewska, Herbich, 2005)

geomorfologicznych są rozpoznane na w miarę jednakowym poziomie wiarygodności o tyle punkty rozpoznania hydrogeologicznego cechuje znaczna rozpiętość tej wiarygodności. Najbardziej wiarygodnymi w dokumentowaniu pierwszego poziomu wodonośnego są studnie głębinowe (szczególnie te, które wykorzystują wody pierwszego poziomu wodonośnego). Mniejszą rangę wiarygodności mają piezometry i inne otwory wiertnicze. Do obiektów o relatywnie najmniejszej wiarygodności zaliczyć można studnie kopane.

Spośród wyżej wymienionych źródeł informacji jako podstawę wstępnej oceny „stanu i jakości wiedzy” wybrano studnie wiercone i kopane. Wykorzystując metodykę zaproponowaną przez Saaty (Saaty, 1980) gdzie w metodzie analizy hierarchii (AHP) opracowano strukturę decyzyjną dla tych dwóch kryteriów i ustalono dla nich podkryteria decydujące o przydatności tych obiektów pod kątem opracowania map pierwszego poziomu wodonośnego (ppw).

2.1. Struktura decyzyjna dla oceny reprezentatywności studzien wierconych

Do oceny reprezentatywności studzien wierconych (sw) wybrano kryteria główne, które uwzględniono w hierarchii decyzyjnej (Tab. 1).

Dla każdego z powyższych kryteriów głównych ustalono podkryteria, które były podstawą zróżnicowania reprezentatywności poszczególnych punktów. Podkryteria opisano w tabelach 2-5.

Podkryteria zróżnicowano w skali od 0 do 255, która została tak dobrana ze względu na jej dalsze wykorzystanie w systemach informacji geograficznej. Przyjęto, że im większa wartość przypisanych punktów, tym większa reprezentatywność cechy potwierdzającej występowanie ppw.

Tab. 1. Ustalone kryteria główne struktury decyzyjnej dla studzien wierconych.

Symbol kryterium	Opis kryterium głównego
A _{sw}	Informacje półjakościowe z bazy danych Banku HYDRO o ogólnych parametrach warstwy ppw (strop, spąg, zawodnienie) lub braku występowania warstwy wodonośnej
B _{sw}	Dane ilościowe o warstwie ppw zapisane w bazach danych (Bank HYDRO, mapy MhP i MhP-PPW) i uzyskane w wyniku badań hydrogeologicznych po zafiltrowaniu warstwy ppw (wykorzystano wydajność jednostkową studni ²)
C _{sw}	Rodzaj przeprowadzonej weryfikacji w ramach prac Państwowej Służby Hydrogeologicznej (PSH) w ramach realizacji programu poprawy bazy danych Banku HYDRO (rekordy w bazie danych o oznaczeniu: A; B; C i „brak”)
D _{sw}	Możliwość weryfikacji informacji o punkcie badawczym zależne od aktualnego stanu technicznego otworu (otwór istniejący, zlikwidowany, po rekonstrukcji, niezlokalizowany)

² Wydajność jednostkowa jest parametrem opisującym możliwości uzyskania wody z studni. Wydatek jednostkowy wzrasta w obszarach zasobnych w wody podziemne.

Tab. 2. Podkryteria dla kryterium głównego „A_{sw}”.

L.p.	Opis podkryterium	Punktacja
1.	Warstwa ppw zafiltrowana, studnia zupełna:	255
2.	Warstwa ppw zafiltrowana, studnia niezupełna:	200
3.	Warstwa ppw nie zafiltrowana:	125
4.	Warstwa ppw niezawodniona:	60
5.	Nie stwierdzono warstwy ppw:	50
6.	Brak profilu geologicznego (do głębokości 15m):	5

Tab. 3. Podkryteria dla kryterium głównego „B_{sw}”.

L.p.	Opis podkryterium	Punktacja
1.	Brak informacji o wydatku jednostkowym w studni	0 pkt.
2.	Podana wartość wydatku jednostkowego dla studni	liczba punktów analogiczna do wartości wydatku w m ³ /godz.

Tab. 4. Podkryteria kryterium głównego „C_{sw}”.

L.p.	Opis podkryterium	Punktacja
1.	Brak informacji o weryfikacji danych	0
2.	Weryfikacja A	50
3.	Weryfikacja B	125
4.	Weryfikacja C (najdokładniejsza)	200
5.	Weryfikacja dodatkowa niezależna od PSH	255

Tab. 5. Podkryteria dla kryterium głównego „D_{sw}”.

L.p.	Opis podkryterium	Punktacja
1.	Studnia z niepewną lokalizacją lub brak danych	5
2.	Studnia zlikwidowana	25
3.	Studnia istniejąca (brak danych o możliwości pomiaru zw. w.)	100
4.	Studnia istniejąca z możliwością pomiaru położenia zwierciadła wody i poboru próbki wody	200
5.	Studnia jak w pkt. 4 ale z wykonanym w pobliżu piezometrem lub inną studnią z możliwością pomiaru położenia zw. wody	255

2.2. Struktura decyzyjna oceny reprezentatywności studzien kopanych

Do oceny reprezentatywności studzien kopanych wybrano kryteria, przedstawione w hierarchii decyzyjnej (Tab. 6).

W przypadku podkryterium „C_{sk}” z każdą obecnością w bazie danych (np. na Mapie hydrogeologicznej w skali 1:200 000, Mapie hydrogeologicznej w skali 1:50 000 i Mapie hydrogeologicznej w skali 1:50 000 – pierwszy poziom wodonośny) reprezentatywność studni wzrastała każdorazowo o 50 punktów.

Podkryterium D_{sk} („głębokość studni”) zostało standaryzowane mnożąc głębokość przez wartość 10 i zaokrąglając uzyskany wynik do liczb całkowitych.

Z kolei podkryterium E_{sk} („słup wody w studni”) zostało ustandaryzowane mnożąc obliczoną wysokość słupa wody w studni przez wartość 50. Studniom, gdzie słup wody wynosił ponad 5 m przypisano wartość 255 punktów.

Tab. 6. Ustalone kryteria główne hierarchii decyzyjnej dla studzien kopanych.

Symbol kryterium	Opis kryterium głównego
Kryt. A _{sk}	Rodzaj użytkownika
Kryt. B _{sk}	Stan techniczny studni
Kryt. C _{sk}	Występowanie studni w bazach danych
Kryt. D _{sk}	Głębokość studni
Kryt. E _{sk}	Słup wody w studni

Zróżnicowanie (punktacje) podkryteriów A_{sk} (rodzaj użytkownika) i B_{sk} (stan techniczny studni) przedstawiono w Tab. 7 i Tab.8.

Tab. 7. Podkryteria dla kryterium „A_{sk}”.

L.p.	Opis podkryterium	Punktacja
1.	Użytkownik prywatny	50
2.	Użytkownik komunalny	100
3.	Studnia wiejska (awaryjna)	150
4.	Użytkownik nieznan	10

Tab. 8. Podkryteria dla kryterium „B_{sk}”.

L.p.	Opis podkryterium	Punktacja
1.	Studnia czynna	150
2.	Studnia czynna okresowo	100
3.	Studnia nieczynna	50
4.	Brak opisu (w kolumnie uwagi) w bazie danych	0

2.3. Ustalenie preferencji kryteriów dla studzien wierconych i kopanych

Wybrane kryteria główne (Tab. 2 i 6) nie są jednakowo „ważne” względem nadrzędnego celu jakim jest ocena wiarygodności punktów opróbowania ppw. Właściwą wagę kryteriów głównych uzyskuje się poprzez współczynniki wagowe (nazywanymi w metodzie AHP wektorem priorytetów). Dobór wag kryteriów głównych w metodzie AHP realizowany jest na drodze dyskusji w gronie ekspertów w tzw. fazie oceny. Kryteria główne porównuje się ze sobą parami nadając im odpowiednie preferencje za pomocą skali ustalonej przez Saatego (Saaty, 1980). Ustalenie przewagi jednego kryterium nad drugim jest subiektywne.

W omawianym przypadku nie wystąpiła potrzeba takiego postępowania z powodu braku grona ekspertów. Wagi kryteriów głównych przyjęto więc subiektywnie na podstawie wiedzy wykonującego analizę. Tabela 9 przedstawia dobrane wagi kryteriów głównych.

Tab. 9. Ustalone preferencje dla kryteriów studzien wierconych i kopanych.

Kryteria dla studzien wierconych	Waga	Kryteria dla studzien kopanych	Waga
A _{sw}	0.4	A _{sk}	0.1
B _{sw}	0.4	B _{sk}	0.2
C _{sw}	0.1	C _{sk}	0.2
D _{sw}	0.1	D _{sk}	0.2
	Σ = 1	E _{sk}	0.3
			Σ = 1

2.4. Przygotowanie warstw informacyjnych (map pikselowych) kryteriów głównych studzien wierconych i kopanych oraz agregacja danych

Warstwy informacyjne kryteriów głównych studzien wierconych przygotowano na podstawie danych z Banku HYDRO³. W Banku HYDRO, sprawdzono obecność w profilu studni wierconej występowania płytko-zalegającej warstwy wodonośnej o zwierciadle swobodnym. Dla każdej z 81 studni zlokalizowanej na obszarze badań sprawdzono czy do głębokości 15 m występowała warstwa osadów okruchowych o miąższości min. 2 m (nawet gdy nie była ona zawodniona).

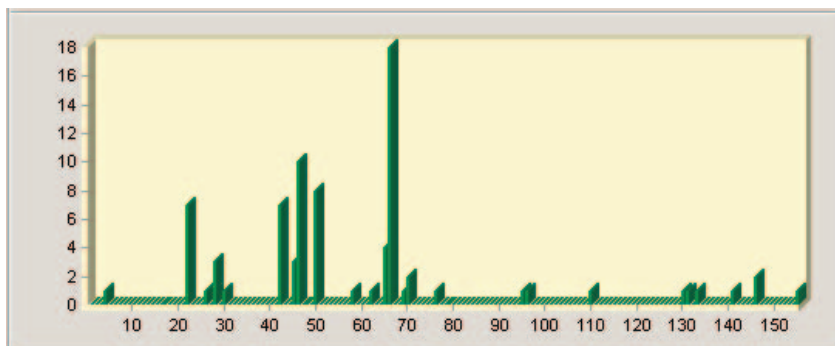
³ Bank HYDRO jest w Polsce podstawową bazą danych o wykonanych studniach i otworach badawczych. Baza danych została utworzona w drugiej połowie lat osiemdziesiątych i jest sukcesywnie przebudowywana i rozbudowywana. Bazą zarządza Państwowy Instytut Geologiczny w Warszawie.

Warstwy informacyjne wybranych kryteriów dla studzien kopanych przygotowano na podstawie informacji z warstwy tematycznej bazy danych GIS – pierwszy poziom wodonośny (Krawczyński, 2005). Wykorzystano również bazę danych Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000 (Zambrzycka, 2002) oraz Mapę hydrogeologiczną Polski w skali 1:200 000 (Wilczyński, Dmoch, 1980).

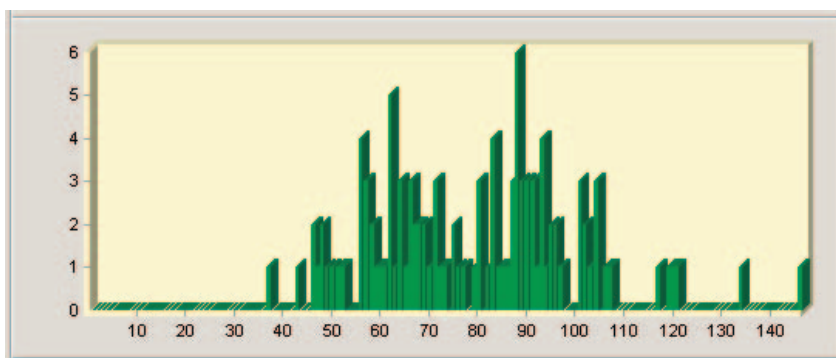
Przygotowane w programie EXCEL zbiory danych zostały po ustandaryzowaniu (zob. rozdz. 2.1-2.2) rozdzielone na kryteria główne. Przygotowano pustą macierz reprezentującą obszar arkusza Unisław w skali 1:50 000, który został zdyskretyzowany siatką o wymiarze bloku 100 m na 100 m. Korzystając z funkcji importu danych ASCII do IDRISI, uzyskano mapy pikselowe poszczególnych kryteriów w skali od 0 do 255.

Agregacja danych została zrealizowana metodą ważonej kombinacji liniowej (*Weighted Linear Combination – WLC*). Macierze map pikselowych poszczególnych kryteriów zostały przemnożone przez współczynniki wag zgodnie z tabelą 9, a następnie zsumowane. Agregację danych wykonano osobno dla studzien wierconych i kopanych. Histogramy częstości pikseli map wynikowych po zagregowaniu danych przedstawiono na rysunkach 1 i 2.

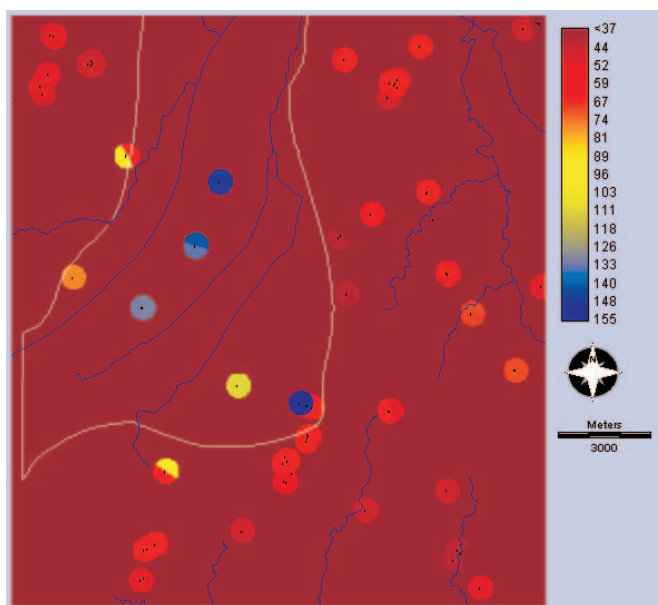
Wynikowe mapy pikselowe poddano modelowaniu kartograficznemu (algebrze map), którego celem było czytelniejsze zobrazowanie zróżnicowania reprezentatywności punktów opróbowania poziomu wodonośnego. Modelowanie obejmowało działania podziału map pikselowych na podgrupy, interpolacji metodą wieloboków Thiessena i ograniczenia obszaru po interpolacji do ekwidystant wokół studzien wierconych o promieniu $R = 500$ m (Rys. 3), a wokół studzien kopanych o promieniu $R = 300$ m (Rys. 4).



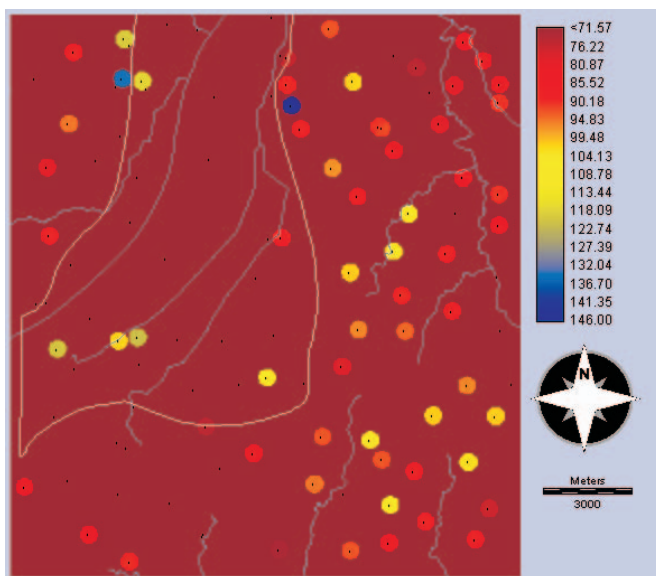
Rys. 1. Histogram częstości pikseli na mapie wynikowej reprezentatywności studzien wierconych z obszaru objętego ramką arkusza Unisław. Wysoka wartość piksela oznacza większą reprezentatywność punktu do wyznaczenia pierwszego poziomu wodonośnego.



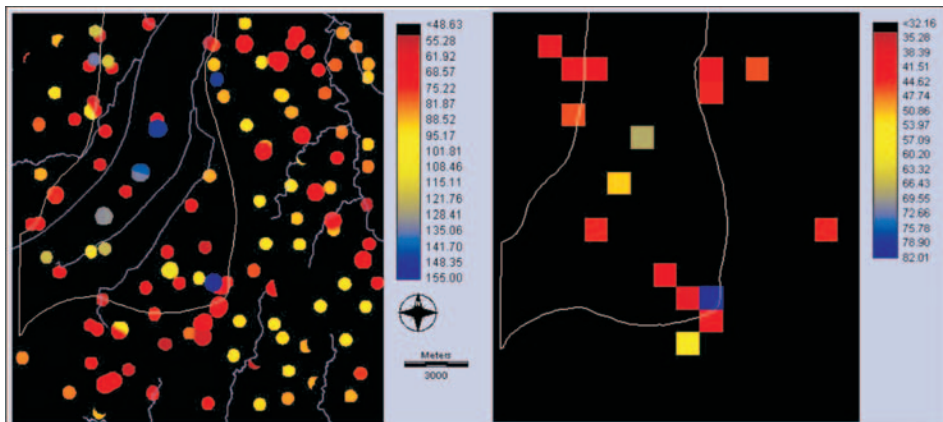
Rys. 2. Histogram częstości pikseli na mapie wynikowej reprezentatywności studzien kopanych z obszaru objętego zasięgiem arkusza Unisław.



Rys. 3. Mapa wynikowa reprezentatywności studzien wierconych. Niebieskie linie oznaczają ciekі wód powierzchniowych. Biała linia oznacza zasięg jednostki Pierwszego Poziomu Wodonośnego (PPW) wg Krawczyński (2005). Skala barwna odnosi się tylko do studzien.



Rys. 4. Mapa wynikowa reprezentatywności studzien kopanych. Oznaczenia jak na Rys. 3.



Rys. 5. Mapa wynikowa reprezentatywności studzien wierconych i kopanych (po lewej) oraz po prawej ta sama mapa zgeneralizowana funkcją CONTRACT (opcja *pixel aggregation*), która zredukowała liczbę pikseli. Piksel reprezentuje wartość średnią ze 100 okolicznych pikseli. Skala barwna odnosi się tylko do studzien.

3. PODSUMOWANIE

Mapy wynikowe (Rys. 5) obrazują ocenę wiarygodności rozpoznania pierwszego poziomu wodonośnego (ppw). Ocena ta jest oparta na analizie jakości opróbowania ppw za pomocą studzien wierconych i kopanych. Uzyskany wstępny obraz wynikowy oznacza, że dla badanego obszaru (objętego zasięgiem arkusza mapy w skali 1:50 000 – ark. Unisław), reprezentatywność danych jest generalnie słaba. Wiarygodne, uśrednione informacje pokrywają mniej niż 10% obszaru arkusza.

Pełny obraz wiarygodności informacji zamieszczonych na mapach hydrogeologicznych i hydrograficznych będzie możliwy po uwzględnieniu wyników oceny wiarygodności informacji z warstw tematycznych takich jak: sieć hydrograficzna, źródła, dane z innych otworów geologicznych (kartograficznych, geologiczno-inżynierskich, badawczych etc.) oraz występowanie wychodni osadów wodonośnych na powierzchni.

Przedstawioną tu metodykę należy traktować jako głos w dyskusji nad sposobem opisu „jakości” informacji zawartych w bazach danych i na mapach (hydro)geologicznych.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007-2009 jako projekt badawczy nr N525 008 32/1075.

4. LITERATURA

Caselton W. F., Luo W. B., 1992. Decision-Making with Imprecise Probabilities: Dempster-Shafer Theory. *Water Resources Research* 28 (12), s. 3071-3083.

Ćwiertniewska Z., Herbich P., 2005. *Zasady rejonizacji hydrogeologicznych warunków występowania pierwszego poziomu wodonośnego*. PIG Warszawa. (maszynopis)

Ferrier G., Wadge G., 1992. An integrated GIS and knowledge-based system as an aid for the geological analysis of sedimentary basins. *International Journal of Geographical Information Science*, 11 (3), s. 281-297.

Krawczyński J., 2005. *Opracowanie autorskie warstw informacyjnych bazy danych GIS Mapy hydrogeologicznej Polski 1: 50 000 – pierwszy poziom wodonośny występowanie i hydrodynamika*. Arkusz Unisław. Państw. Inst. Geol., Warszawa. Archiwum PIG.

Saaty T. L., 1980. *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. McGraw-Hill. Nowy York

Tacher L., Pomian-Srzednicki I., Parriaux A., 2006. Geological uncertainties associated with 3-D subsurface models. *Computers&Geosciences* 32, s. 212–221.

Wilczyński A., Dmoch I., 1980. *Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1:200 000 wraz z objaśnieniami, arkusz Toruń*. Wyd. Geol. Warszawa.

Zambrzycka M., 2002. *Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1: 50 000, arkusz Unisław*. Państw. Inst. Geol., Warszawa.

**MAP OF UNCERTAINTY OF SHALLOW GROUNDWATER
BASED ON BOREHOLES AND DIGGING WELLS**

KEY WORDS: shallow groundwater, uncertainty, maps, validity, reliability, AHP, hydrogeology, IDRISI

SUMMARY: The study evaluated the reliability of water wells, both drilled and excavated, as a source of information about the depth of shallow groundwater in the area of Unisław, Poland. The AHP method was used to assess the representativeness of measurement points used. In the case of drilled wells the parameters under evaluation included a confirmation of an aquifer existence or lack of it, its specific yield, type of field check performed and whether a measurement point could be verified by checking its technical condition. In the case of dug wells the parameters included user details, technical condition, overall depth, water depth and existence in cross-referenced databases (maps). A pixel-standardised image for each criterion was generated using the IDRISI software package (at a 100 m pixel size) and aggregated using the Weighted Linear Combination method. The resulting map shows a generally weak coverage of the area with reliable water wells in the research region.

dr inż. Marek Kachnic
marek.kachnic@umk.pl
telefon: +48 56 6112590
fax: +48 56 6112588

