

*Justyna Zapart*

**ZASTOSOWANIE GIS  
W MODELOWANIU HYDROGEOLOGICZNYM  
NA PRZYKŁADZIE UJĘCIA SERBY**

---

***APPLICATION OF GIS IN GROUNDWATER MODELING  
EXAMPLE OF WATER INTAKE SERBA***

**Streszczenie**

Wykorzystanie wód podziemnych oraz eksploatacja i ochrona ich ujęć to jedno z ważniejszych zagadnień, którymi zajmuje się współczesna hydrogeologia.

Niniejszy referat przedstawia możliwości wykorzystania Systemów Informacji Geograficznej (GIS) z zastosowaniem aplikacji ArcGis i Surfer do analizy danych archiwalnych i wyników badań terenowych. Dzięki zastosowaniu technik GIS szerokie spektrum informacji geograficznych, geologicznych i hydrogeologicznych zostało ujęte w formę bazy danych opisowych oraz połączonych z nią danych graficznych. Jako przykład pokazano użycie warstw informacyjnych stworzonych w wymienionym oprogramowaniu w modelowaniu hydrogeologicznym oraz w wyznaczeniu strefy ochronnej dla ujęcia Serby.

**Słowa kluczowe:** GIS, model hydrogeologiczny, ujęcie wód

***Summary***

*The most important issues modern hydrogeology is: exploitation and protection of groundwater intakes.*

*This paper presents, the area where located is the water intake Serby, possibility of using Geographic Information System using applications Arcgis, Surfer for the analysis of archival data and results of field studies.*

*Many geographic, geological and hydrogeological information presented in the described and graphical database. The result was the groundwater model and the protection zone for water intake Serby.*

**Key words:** GIS, groundwater model, water intake

## WSTĘP

Systemy Informacji Przestrzennej (GIS – *Geographic Information System*) mają szerokie zastosowanie w różnych dyscyplinach naukowych, w przemyśle, logistyce i innych dziedzinach życia. Obecnie trwa okres bardzo silnego ich rozwoju, wszędzie tam, gdzie istnieje potrzeba gromadzenia dużych ilości danych i zarządzania nimi w zbiorach [Okła 2000]. Metody GIS znalazły wiele zastosowań w naukach przyrodniczych [Kistowski, Iwańska 1997], w szczególności w interpretacji, wizualizacji, gromadzeniu oraz analizie danych archiwalnych i danych zebranych w czasie badań terenowych [Chudy 2004].

Zastosowanie techniki GIS do tworzenia modeli hydrodynamicznych daje możliwość dokładnego odwzorowania skomplikowanej wielowarstwowej struktury parametrów hydrogeologicznych, stworzenia bazy dla dokładnego obliczenia zasobów, określenia dróg krążenia wód podziemnych oraz przeprowadzenia dowolnej symulacji prognostycznej w geograficznie zorientowanym systemie wodonośnym. Dzięki zastosowaniu systemów informacji przestrzennej GIS operowanie ogromną ilością baz danych, wzajemnie z sobą powiązanych, nie zawsze w tym samym systemie i układzie współrzędnych, staje się możliwe. Mapy strukturalne wykonuje się jako cyfrowe warstwy informacyjne stropów i spągów z uwzględnieniem struktur kopalnych, nieciągłości warstw wodonośnych oraz okien hydrogeologicznych [Gurwin, Serafin 2008].

Głównym zadaniem przeprowadzonych prac było stworzenie systemu informacyjnego na bazie programu ArcGis oraz Surfer wraz ze zbiorem map numerycznych, który pomoże w połączeniu różnych typów danych geograficznych, hydrogeologicznych, geologicznych, oraz aktualnych obserwacji terenowych. Za cel uznano także stworzenie modelu hydrodynamicznego za pomocą oprogramowania Groundwater Vistas ze zwróceniem uwagi na ochronę wód badanego ujęcia poprzez wyznaczenie jego strefy ochronnej. Podjęto próbę zgromadzenia i ujednoczenia informacji zawartych w dostępnych dokumentacjach, bazach danych, informacji zebranych podczas obserwacji terenowych oraz z dostępnych map (topograficznych, geologicznych, sozologicznych, hydrograficznych).

## OBSZAR BADAŃ

Główny obiekt prac badawczych stanowi ujęcie wody podziemnej Serby. Ujęcie położone jest w odległości około 4–7,5 km w kierunku północnym od Głogowa, w województwie dolnośląskim. Stanowi ono barierę studni rozciągających się w linii SW–NE na długości 3,5 km. Jest głównym źródłem zaopatrzenia gminy Głogów w wodę.

Geologicznie obszar badań położony jest w obrębie monokliny przedsudeckiej. Głębsze podłoże budują skały starszego paleozoiku. Na seriach pale-

ozoicznych leżą niezgodnie i monoklinalnie osady permio-mezozoiczne wykształcone w postaci lądowych osadów czerwonego spągowca i morskich osadów cechsztynu oraz triasu, zbudowane z piaskowców, mułowców, ilowców, wapieni, dolomitów, anhydrytów oraz margli. Podłoże podkenozoiczne pocięte jest uskokami i zalegają na nim, na całym obszarze, utwory neogenu [Michalska 1995].

Utwory neogeniczne reprezentowane są przez: ily, piaski, żwiry oraz pokłady węgla brunatnego i tworzą dość monotony kompleks o miąższości do około 380 m. W profilu tym występują osady datowane od oligocenu do mioce-  
nu górnego.

Utwory czwartorzędowe występują na całym omawianym terenie. Urozmaicenie reliefu stropu warstwy niżej zalegającej wpływa na zróżnicowanie miąższości utworów czwartorzędowych, która waha się od 1,5 do 92 m. Większa miąższość osadów czwartorzędowych związana jest z doliną Odry. Utwory te wykształcone są w postaci osadów piaszczysto-żwirowych, glin i pyłów. Stratygraficznie reprezentują okres zlodowaceń południowopolskich, środkowopolskich i Wisły. Dna współczesnych dolin rzecznych wyścielają natomiast osady holocenu. Są to namuły, piaski, żwiry tarasów zalewowych [Michalska 1995].

Na terenie badawczym rozpoznano dwa piętra wodonośne: czwartorzędowe i neogeniczne. W czwartorzędowym piętrze wodonośnym wyróżnia się: przypowierzchniowy poziom wodonośny o miąższości kilku metrów oraz głębsze poziomy wodonośne, o charakterze użytkowym. Czwartorzędowy przypowierzchniowy poziom wodonośny, ujmowany studniami kopanymi, wykształcony jest w postaci piasków średnioziarnistych o miąższości 1,3–7,5 m, występujących wśród ilów zastoiskowych, mułów. Zwierciadło wody ma charakter swobodny i zalega na głębokości 1,5–4,5 m poniżej powierzchni terenu. Poziom ten uzależniony jest od czynników atmosferycznych i często narażony na zanieczyszczenia. Piętro neogeniczne jest izolowane od powierzchni terenu. Kompleks ilasty przeławicony jest osadami piaszczystymi, tworząc wielowarstwowy system wodonośny o złożonych warunkach hydrogeologicznych.

Na omawianym obszarze wyróżnia się dwa poziomy wodonośne: mioceński i oligoceński [Dąbrowski 1994]. Użytkowy charakter ma poziom mioceński, natomiast rozpoznany otworami poszukiwawczymi w południowej części obszaru oligoceński poziom wodonośny, w związku z kontaktami tektonicznymi i hydrostrukturalnymi ze skałami podłoża, jest wysoko zmineralizowany i nie stanowi poziomu użytkowego [Zaleska 1992, Malinowska-Pisz 2000].

W dynamice wód piętra neogenicznego zauważa się wpływ odwadniania kopalń rud miedzi Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego – dotyczy to warstw wodonośnych oligocenu oraz dolnego i środkowego miocenu [Bocheńska, Kalisz 1997; Bocheńska, Poprawski 1998]. Lej depresyjny sięga od miejscowości Kotła po Odrę.

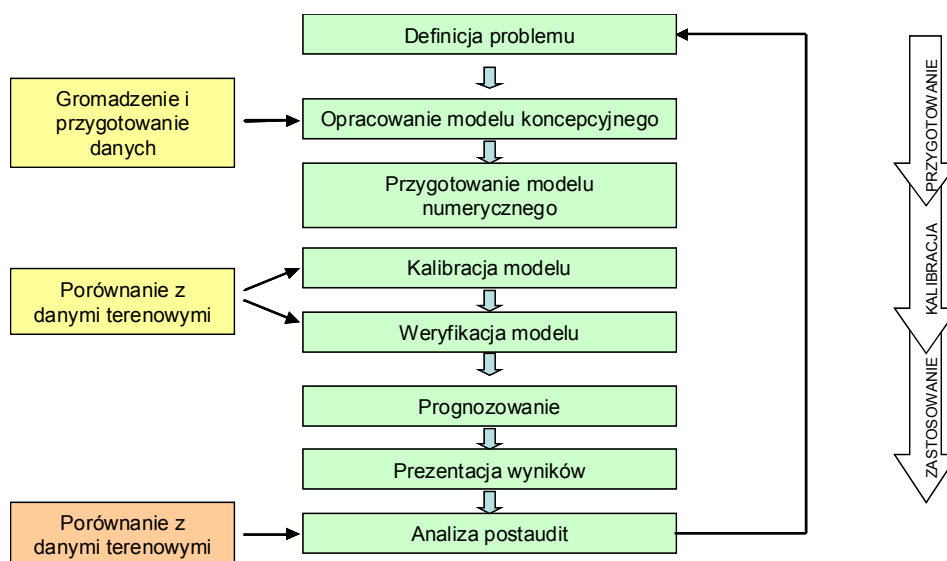
## BAZA DANYCH DO MODELU

Model wykonano na podstawie schematu postępowania zaproponowanego przez Anderson i Woessner [1992], co przedstawia rysunek 1.

Podstawą poprawnego wykonania modelu jest stworzenie odpowiedniej bazy danych.

W związku ze zgromadzeniem dużych ilości danych dokonano schematyzacji źródeł, z których wykorzystano informacje (rys. 2). Wydzielono trzy główne grupy danych pochodzących z następujących zasobów: badań terenowych, materiałów ze źródeł zewnętrznych i materiałów kartograficznych.

Do bazy wprowadzono 924 punkty pomiarowe położenia zwierciadła wody podziemnej wraz z informacją na temat umiejscowienia względem układu współrzędnych. Dane te głównie pochodziły z Banku Hydro. Uzupełniono je własnymi obserwacjami w części punktów badawczych. Ponadto w bazie zawarto wyniki oznaczenia przepuszczalności utworów.



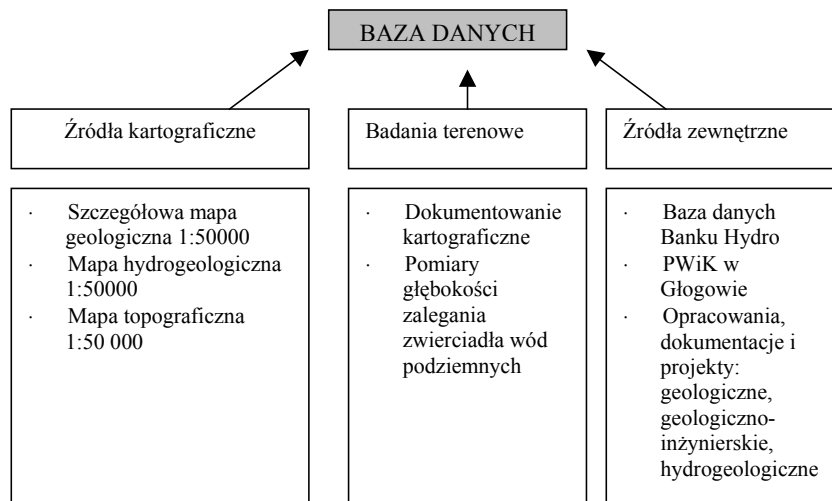
**Rysunek 1.** Schemat procesu modelowania przepływu wód podziemnych [Anderson, Woessner 1992]

**Figure 1.** Diagram of the modeling process of groundwater flow [Anderson, Woessner 1992]

Do danych pochodzących ze źródeł zewnętrznych zaliczono również informacje na temat budowy geologicznej, poboru wód podziemnych na ujęciu, dane meteorologiczne i hydrologiczne. Materiał wyjściowy dla zgromadzonych informacji stanowiły różnego rodzaju opracowania między innymi: „Dokumen-

tacja hydrogeologiczna dla ustanowienia stref ochronnych ujęcia wód podziemnych” [Dąbrowski 1994], „Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów zwykłych wód podziemnych z utworów trzeciorzędowych podsystemu wodonośnego wysoczyzny leszczyńskiej regionu wielkopolskiego, część województw: leszczyńskiego, legnickiego, zielonogórskiego i poznańskiego” [Dąbrowski 1994], „Dokumentacja określająca warunki hydrogeologiczne dla ustanowienia obszaru ochronnego zbiornika wód podziemnych Pradolina Barycz-Głogów (W) (GZWP nr 302)” [Gurwin 2007], „Projekt prac geologicznych na wykonanie otworów piezometrycznych do monitoringu jakości i ilości wód podziemnych w rejonie ujęcia «Serby» dla m. Głogowa” [Łukasiewicz i in. 2000] oraz „Opracowanie Ekofizjograficzne dla Województwa Dolnośląskiego”. Kolejnym źródłem informacji zawartych w bazie danych, głównie w jej części graficznej, były materiały kartograficzne. Na ich podstawie wprowadzono elementy topograficzne miasta (drogi, koleje itp.), budowę geologiczną, sieć rzeczną, topografię terenu.

Po zebraniu materiałów przystąpiono do prac nad koncepcją bazy danych. Pierwsze podjęte kroki dążyły do stworzenia dokładnej bazy graficznej dla późniejszych obiektów i ich parametrów opisowych w układzie współrzędnych PUWG 1992. Dane liczbowe i opisowe zostały przeniesione do formy cyfrowej jako arkusze MS Excel, co ułatwiało ich import do programu ArcGis lub Surfer, a następnie do aplikacji Groundwater Vistas.

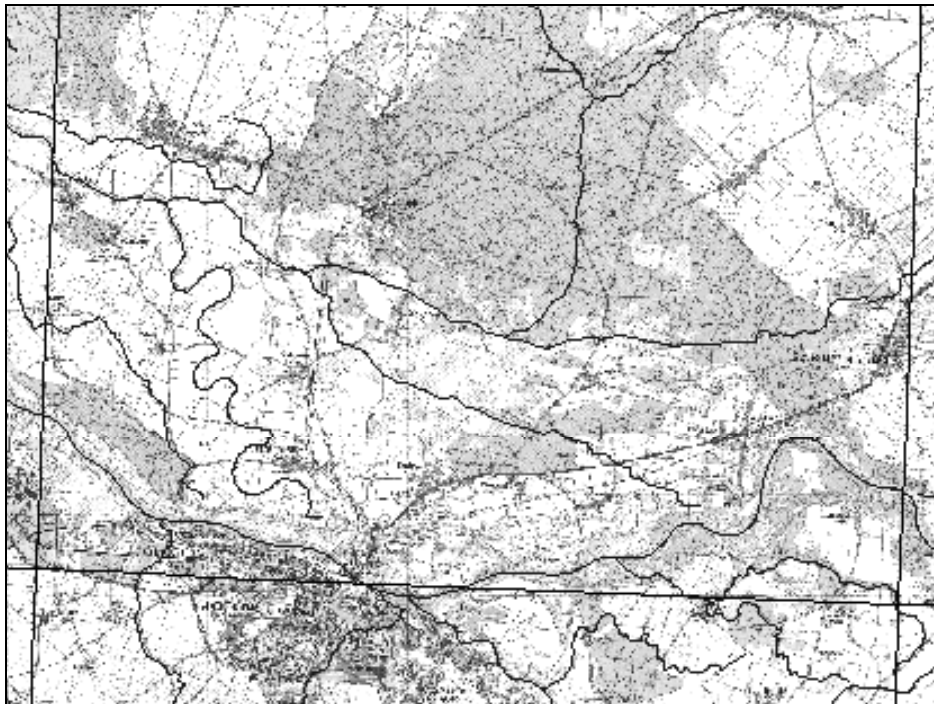


**Rysunek 2.** Klasyfikacja źródeł danych  
**Figure 2.** Classification of data sources

Tak pogrupowane informacje w połączeniu z przygotowaną bazą graficzną pozwoliły na stworzenie funkcjonalnego narzędzia do zarządzania zbiorami danych oraz ich wizualizacji i interpretacji. Wykonane pomiary z wykorzystaniem techniki GPS pozwoliły na dokładną lokalizację punktów badawczych w przestrzeni, co umożliwiło automatyczne i precyzyjne naniesienie otworów obserwacyjnych na mapę.

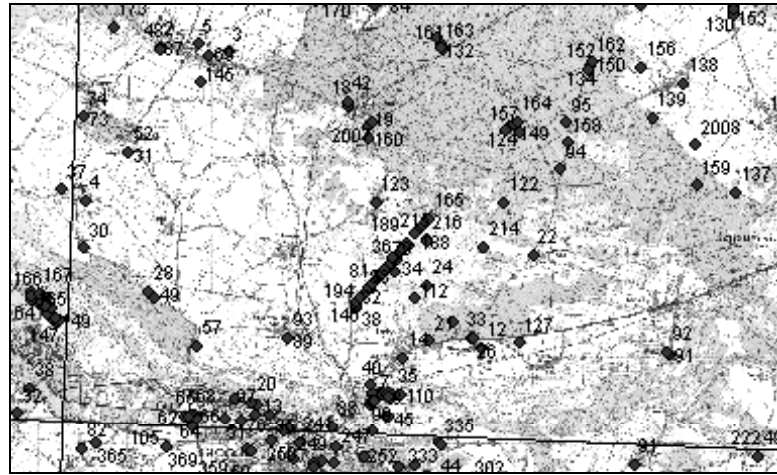
Na podstawie zebranych danych z wykorzystaniem programu ArcGis oraz Surfer stworzono bazę danych składającą się z następujących warstw informacyjnych (rys. 3–9):

- topografia terenu,
- lokalizacja punktów pomiarowych,
- położenie zwierciadła ustabilizowanego wód podziemnych,
- położenie spągu warstwy IV-rzędowej,
- sieć rzeczna,
- mapa współczynnika filtracji II warstwy modelu,
- warunki brzegowe i zasilanie modelowanego obszaru.



**Rysunek 3.** Bazowa mapa topograficzna (mapa wyeksportowana z ArcGis)

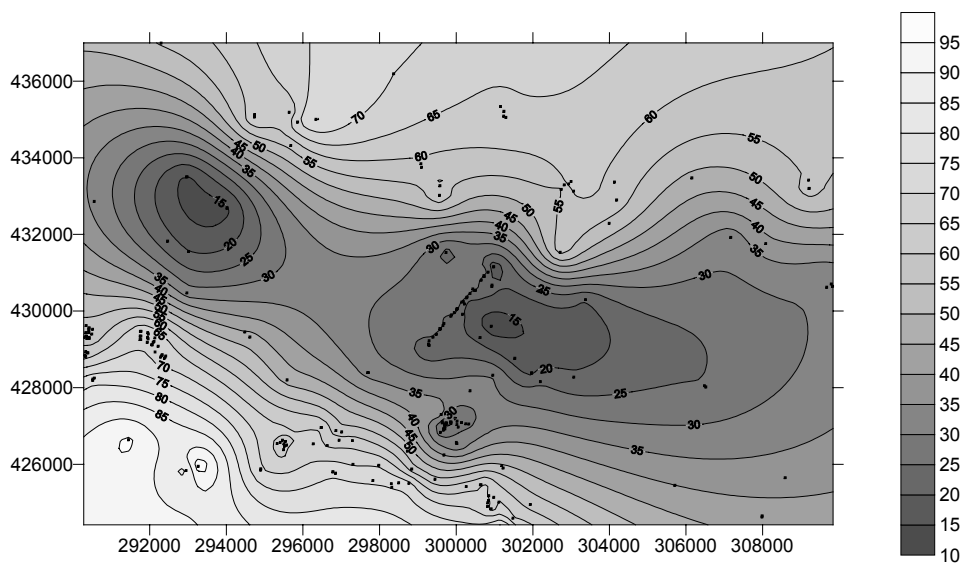
**Figure 3.** Base topographic map (map exported from ArcGis)



● piezometry, studnie

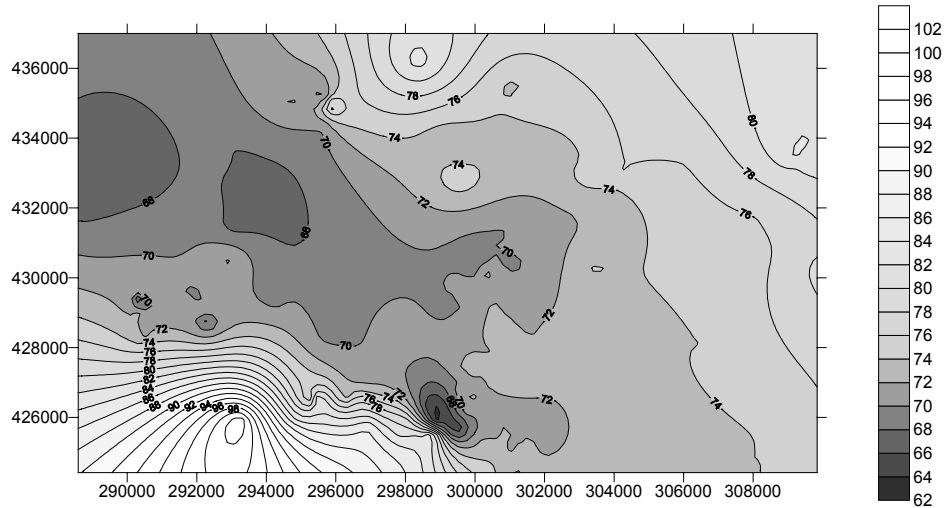
**Rysunek 4.** Mapa położenia punktów pomiarowych zwierciadła wód podziemnych (mapa wyeksportowana z ArcGis)

**Figure 4.** Localization map of research points water level (map exported from ArcGis)



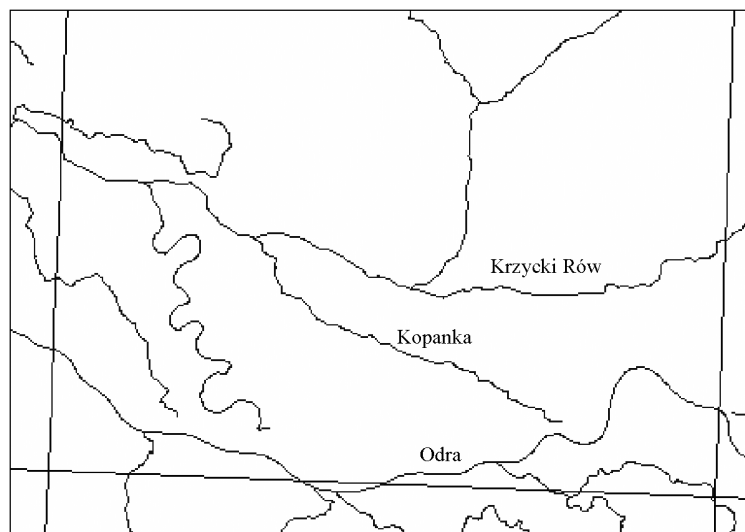
**Rysunek 5.** Mapa położenia spągu warstwy IV-rzędowej w m n.p.m (mapa wyeksportowana z Surfera)

**Figure 5.** Map the location of the floor IV-layer, m a.m.s.l. (map exported from Surfer)



**Rysunek 6.** Mapa położenia zwierciadła ustabilizowanego wód podziemnych w m n.p.m. (nieuwzględniająca studni ujęcia Serby) (mapa wyeksportowana z Surfera)

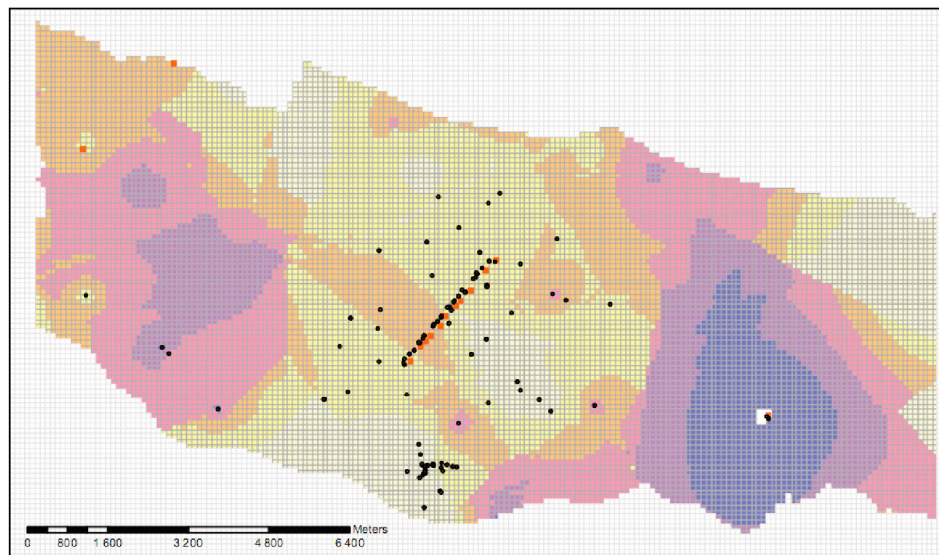
**Figure 6.** Map the location of the stabilized water level, m a.s.l (ignoring the water intake's Serby well) (map exported from Surfer)



**Rysunek 7.** Mapa sieci rzecznej (mapa wyeksportowana z ArcGis)

**Figure 7.** River localization map (map exported from ArcGis)



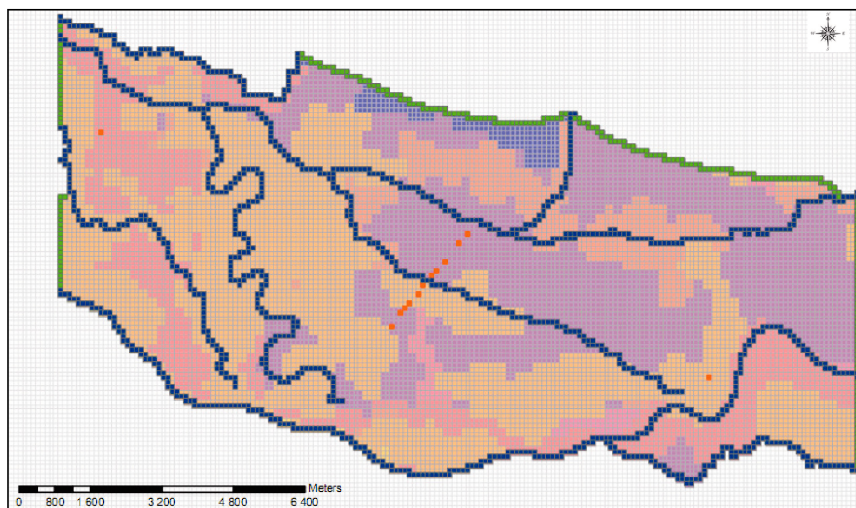


**Legenda**

- punkty obserwacyjne
  - ujęcia wody
  - nieaktywna część modelu
- współczynnik filtracji II warstwy**
- Kx
- |              |                |
|--------------|----------------|
| Light Yellow | 3,97 - 17,39   |
| Orange       | 17,39 - 25,62  |
| Pink         | 25,62 - 34,43  |
| Purple       | 34,43 - 46,55  |
| Blue         | 46,55 - 64,06  |
| Dark Blue    | 64,06 - 107,84 |

**Rysunek 8.** Mapa współczynnika filtracji II warstwy modelu  
(mapa wyeksportowana z ArcGis)

**Figure 8.** Map of hydraulic conductivity II-level of model (map exported from ArcGis)



- Legenda**
- H=const, warunek brzegowy I rodzaju
  - rzeki,  $Q=f(H)$ , warunek brzegowy III rodzaju
  - ujęcie wód podziemnych,  $Q=const$ , warunek brzegowy II rodzaju

**zasilanie m/d**

- 0,000003
- 0,000029
- 0,000074
- 0,000177
- 0,000225
- 0,000273
- 0,000139
- 0,000332
- 0,000414
- nieaktywna część modelu

**Rysunek 9.** Mapa warunków brzegowych i zasilania (mapa wyeksportowana z ArcGis)

**Figure 9.** Map of boundary conditions and recharge of the model  
(map exported from ArcGis)

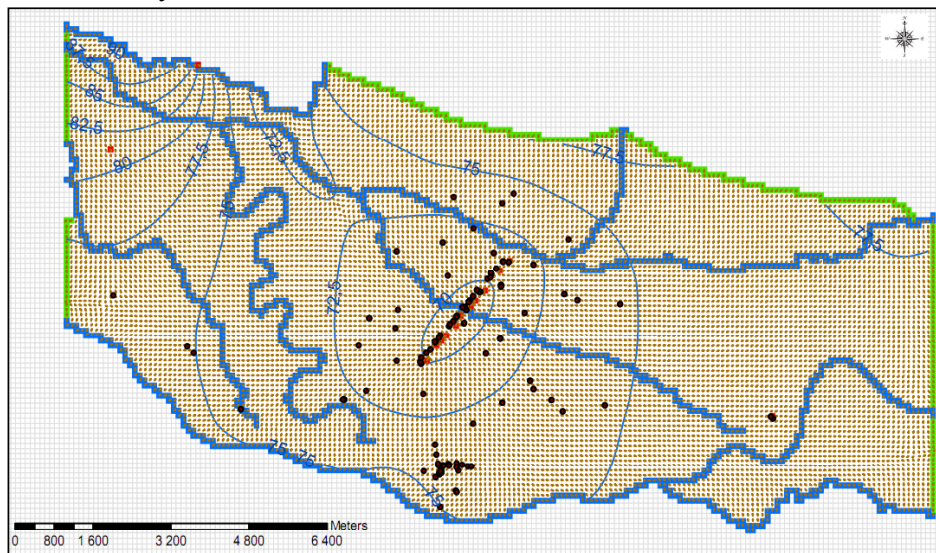
### PRZYKŁAD WYKORZYSTANIA BADAŃ MODELOWYCH Z ZASTOSOWANIEM GIS

Zaimportowane do aplikacji Groundwater Vistas warstwy informacyjne umożliwiły szybkie stworzenie modelu hydrogeologicznego. Model, po wytarowaniu i zweryfikowaniu posłużył do przeprowadzenia obliczeń bilansowych całego obszaru badawczego. Wynika z nich, że wartość całkowitego dopływu wynosi  $141\,552,9\text{ m}^3/\text{d}$ , a w wyszczególnieniu na poszczególne składowe:

- zasilanie przez warunek brzegowy I rodzaju –  $265,31\text{ m}^3/\text{d}$ ,
- dopływ wraz z ciekami –  $904\,36,35\text{ m}^3/\text{d}$ ,

- infiltracja efektywna – 50 851,25 m<sup>3</sup>/d,
- z kolei wartości odpływu kształtują się następująco:
- na pobór ze studni i ujęć 20 600 m<sup>3</sup>/d,
  - odpływ przez warunek brzegowy I rodzaju 45 033,26 m<sup>3</sup>/d,
  - drenujący charakter cieków 75 921,80 m<sup>3</sup>/d.

Na wykonanym numerycznym modelu przeprowadzono analizę prędkości przemieszczania się cząstek obliczeniowych w strumieniu wód podziemnych dla ustalenia potencjalnej strefy ochronnej ujęcia. W tym celu wykorzystano metodę śledzenia cząstek na modelu MODPATH. Tory przepływu poszczególnych cząstek zostały obliczone w kolejnych krokach czasowych (5 lat). Obliczenia wykonano wstecz, identyfikując obszar dopływów dla okresu 25 lat. Wynik przedstawiono na rysunku 10.



#### Legenda

- punkty obserwacyjne
- wektory prędkości przepływu wód podziemnych
- ujęcie wód podziemnych,  $Q=\text{const}$ , warunek brzegowy II rodzaju
- hydroizohipsy
- rzeki,  $Q=f(H)$ , warunek brzegowy III rodzaju
- $H=\text{const}$ , warunek brzegowy I rodzaju
- nieaktywna część modelu

**Rysunek 10.** Proponowana granica strefy ochronnej (mapa wyeksportowana z ArcGis)  
**Figure 10.** The proposed boundary of the protection zone (map exported from ArcGis)

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Stworzona baza danych dzięki swojej formie pozwala skutecznie analizować badane zjawiska. Ogromną jej zaletą jest możliwość przestrzennej analizy wielu procesów i parametrów jednocześnie. Daje możliwość porównywania i nakładania na siebie informacji pochodzących z map i materiałów z różnych źródeł. Wykorzystanie aplikacji GIS przyspiesza prace wizualizacyjne.

Zastosowanie GIS do gromadzenia i analizy danych w przypadku badań na ujęciu Serby przyniosło oczekiwane rezultaty. Informacje zebrane w jednym systemie pochodzące z różnych źródeł, odpowiednio wyselekcjonowane, pozwoliły na dokładne odwzorowanie warunków hydrogeologicznych badanego terenu. Pozyskane w ten sposób dane stały się bardzo dobrą podstawą do prognozowania zmian, których należy spodziewać się przy obecnym wykorzystaniu ujęcia. Uzyskane przestrzenne rozkłady parametrów hydrogeologicznych umożliwiły wyznaczenie strefy ochronnej ujęcia.

Zastosowanie metod GIS ułatwiło pracę, pozwalając wykorzystać jednocześnie dużą ilość informacji. Równocześnie dało możliwość weryfikacji i aktualizacji danych w każdym etapie modelowania oraz po jego zakończeniu.

## BIBLIOGRAFIA

- Anderson M., Woessner W. *Applied Groundwater Modeling*. Academic Press 1992.
- Bocheńska T., Kalisz M. *Wybrane problemy hydrogeologii górniczej lubińsko-głogowskiego obszaru miedzionośnego*. Współczesne Problemy Hydrogeologii 1997.
- Bocheńska T., Poprawski L. (red.). *Kenozoiczne zbiorniki wód podziemnych rejonu Lubin-Głogów*. Acta Universitas Wratislaviensis, 1998.
- Chudy K. *Zastosowanie systemów GIS do gromadzenia i unifikacji danych w obszarach działalności górniczej*. Modelowanie przepływu wód podziemnych, Acta Univ. Wratis. Hydrogeologia 2004.
- Dąbrowski S., in. *Dokumentacja hydrogeologiczna dla ustanowienia stref ochronnych ujęcia wód podziemnych*. Hydroconsult 1994.
- Dąbrowski S., in. *Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów zwykłych wód podziemnych z utworów trzeciorzędowych podsystemu wodonośnego wysoczyzny leszczyńskiej regionu wielkopolskiego, część województw: leszczyńskiego, legnickiego, zielonogórskiego i poznańskiego*. Przedsiębiorstwo Geologiczne „Proxima” S.A. 1994.
- Gurwin J. *Dokumentacja określająca warunki hydrogeologiczne dla ustanowienia obszaru ochronnego zbiornika wód podziemnych Pradolina Barycz – Głogów (W) (GZWP nr 302)*, tom II. 2007.
- Gurwin J., Serafin R. *Budowa przestrzennych modeli koncepcyjnych GZWP w systemach GIS zintegrowanych z MODFLOW*. Materiały konferencyjne III Konferencji Naukowej Modelowanie przepływu wód podziemnych 2008.
- Kistowski M., Iwańska M. *Systemy informacji geograficznej*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe 1997.
- Łukasiewicz J., in. *Projekt prac geologicznych na wykonanie otworów piezometrycznych do monitoringu jakości i ilości wód podziemnych w rejonie ujęcia „Serby” dla m. Głogowa*. Pracownia Geologiczna Łukasiewicz S.C. 2000.

- Malinowska-Pisz A. Mapa hydrogeologiczna Polski 1:50 000 ark. Szlichtyngowa z objaśnieniami. Przedsiębiorstwo Geologiczne „Proxima” S.A, 2000.
- Michalska E. *Mapa geologiczna Polski 1:50 000 ark. Szlichtyngowa z objaśnieniami*. PIG, 1995.
- Okła K. (red) – opracowanie zbiorowe. *System informacji przestrzennej w lasach państwowych – podręcznik użytkownika leśnej mapy numerycznej*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe S.C., 2000.
- Opracowanie Ekofizjograficzne dla Województwa Dolnośląskiego*. Zarząd Województwa Dolnośląskiego, Wojewódzkie Biuro Urbanistyczne, 2005.
- Szymanko J. *Koncepcje systemu wodonośnego*. Wydawnictwo Geologiczne, 1980.
- Wang H.F., Anderson M.P. *Intoduction to Groundwater Modeling*. W.H. Freeman and Co, 1982.
- Zaleska M., in. *Dokumentacja hydrogeologiczna wód podziemnych z utworów czwartorzędowych, trzeciorzędowych i kredowych woj. Legnickiego*. Przedsiębiorstwo geologiczne „Proxima” S.A, 1992.

Mgr inż. Justyna Zapart  
Instytut Inżynierii Środowiska  
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
50-363 Wrocław, Pl.Grunwaldzki 24  
e-mail: justyna.zapart@up.wroc.pl

Recenzent: *Prof. dr hab. inż. Tadeusz Bednarczyk*