

**EFEKTYWNOŚĆ AUTOMATYCZNEGO PRZETWARZANIA  
REGIONALNEGO MODELU POLA HYDRODYNAMICZNEGO  
NA PRZYKŁADZIE FRAGMENTU OBSZARU  
PASMA PRZEDKARPACKIEGO**

**The results of the automatic transformation process  
of a regional hydrodynamic simulating model  
given on the small area of Forecarpathian zone**

**Maciej DZIĘGIEL**

*Górnośląska Wyższa Szkoła Handlowa im. W. Korfanteo, ul. Harcerzy Września 3,  
40-659 Katowice; e-mail: md@kom.ipl.net*

**Treść:** Uszczegółowienie podziału na bloki w modelu regionalnym pola hydrodynamicznego na podanym przykładzie wskazuje, że proces ten wymaga ostrożności. Badania prowadzono na fragmencie modelu regionalnego Głównego Zbiornika Wód Podziemnych nr 425, w którym siatka dyskretyzacyjna została pięciokrotnie zagęszczona. Powyższa operacja została wykonana dla uzyskania dokładniejszego odwzorowania zagospodarowania przestrzennego terenu. Drogą do uzyskania właściwych wyników była ponowna interpolacja większości parametrów hydrogeologicznych modelu regionalnego. Program Processing Modflow 5.0 daje powyższą możliwość. Uszczegółowiony model został poddany weryfikacji z wykorzystaniem własnych pomiarów poziomu zwierciadła wód podziemnych na prawym brzegu rzeki Wisłok. Uzyskano wystarczającą zgodność pola hydrodynamicznego.

**Słowa kluczowe:** wody podziemne, model regionalny, model szczegółowy

**Abstract:** Making a regional hydrodynamic simulating model much more detailed on the given example proves that this operation should be careful. The research was done on the small part of the regional model of the Major Groundwater Basin No. 425 whose discretization grid was made five times denser. This operation was made to obtain a more exact image of, for example, the landuse of the area, for example. The means to obtain appropriate results was the interpolation of the majority of the hydrogeological parameters of the regional hydrodynamic simulating model. The Processing Modflow 5.0 code makes the above possible. The more detailed model was verified on the basis of the author's measuring of the groundwater table on the Right Bank of the Wisłok river valley. Satisfactory compatibility of hydrodynamic fields has been stated.

**Key words:** groundwater, regional groundwater modelling, detailed groundwater modelling

## WSTĘP

Proces modelowania pola hydrodynamicznego składa się zazwyczaj z dwóch faz o zróżnicowanej dokładności dyskretyzacji badanego obszaru. Faza pierwsza dotyczy utworzenia regionalnego modelu pola hydrodynamicznego z podziałem mniej szczegółowym. Faza druga – to tworzenie lokalnych fragmentów modelu o większej gęstości siatki dyskretyzacyjnej.

Zagęszczenie podziału modelu bardzo często dokonywane jest ze względu na potrzebę zróżnicowania warunków zasilania lub sposobu poboru wody, bez zwiększenia stopnia dokładności rozpoznania hydrogeologicznego. Lepsze odwzorowanie numeryczne warunków transportu masy wymaga także podziału na mniejsze bloki obliczeniowe w celu uniknięcia problemów numerycznych związanych między innymi z dyspersją numeryczną. W podanych sytuacjach szczegółowej dyskretyzacji danego obszaru dokonuje się automatycznie za pomocą procedur zawartych w pakietach programowych (Madsen *et al.* 2002, Madsen 2003, Chau 2004). Wśród parametrów hydrogeologicznych, które muszą być przetwarzane, należy wymienić rzędną stropu i spągu warstwy wodonośnej, jej współczynnik filtracji, rzędną zwierciadła wód powierzchniowych i podziemnych oraz infiltrację opadów atmosferycznych. Autor pokazuje zakres niezbędnych działań, aby można było prawidłowo zrealizować to zadanie.

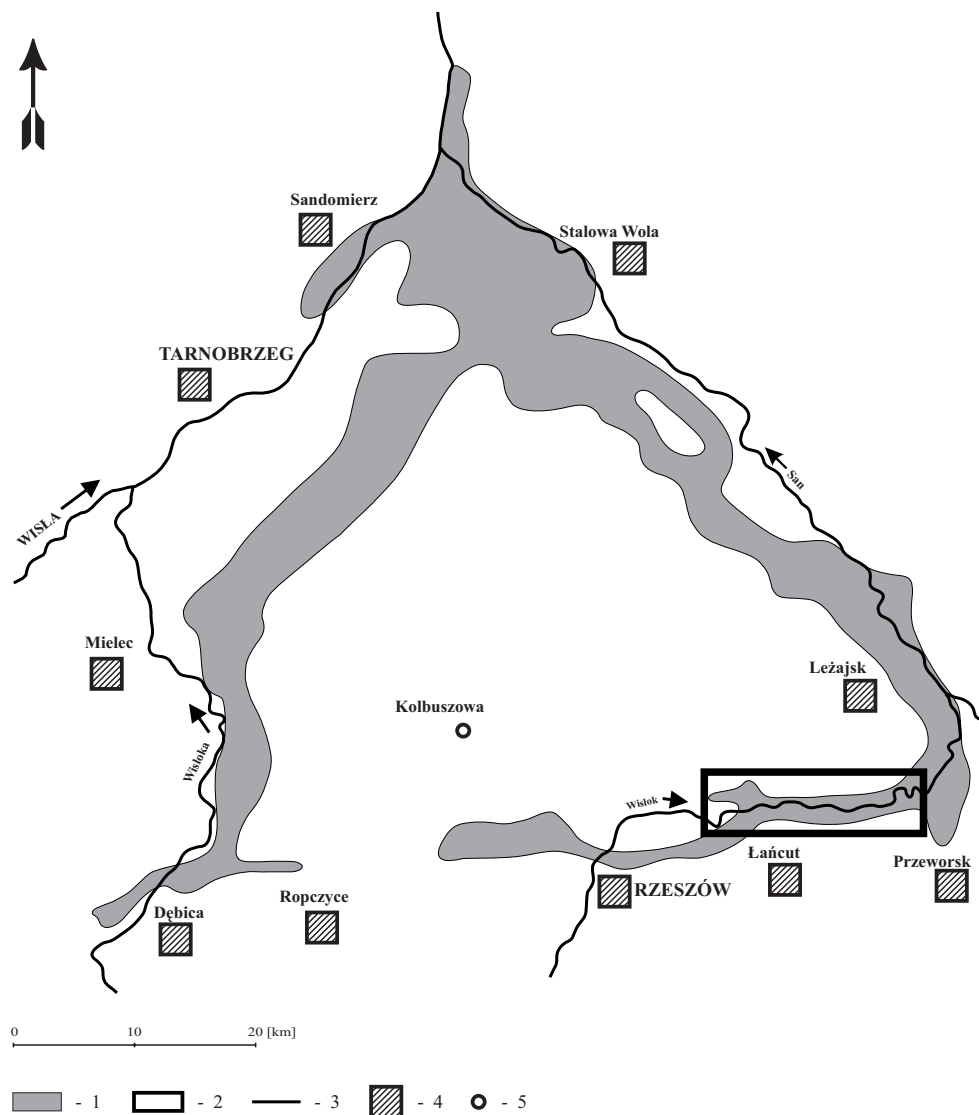
## WARUNKI NATURALNE

Teren badań autora stanowił fragment modelu regionalnego pokrywającego obszar Głównego Zbiornika Wód Podziemnych nr 425: Dębica – Stalowa Wola – Rzeszów (GZWP 425) (Kleczkowski red. 1990a, b), położonego we wschodniej części Kotliny Sandomierskiej, w paśmie przedkarpackim (Fig. 1). Obejmuje krótki odcinek zlewni rzeki Wisłoka, ciągnący się na wschód od Rzeszowa, pomiędzy Strażowem a Gniewczyną Łańcucką (Dziegiel 2001).

Na badanym obszarze wyróżniono dwa zasadnicze typy rzeźby terenu (Fig. 2) (Klimaszewski red. 1972, Kondracki 1998):

- 1) obniżenie dolinne, jakie stanowią równiny akumulacji wodnej Pradoliny Podkarpackiej wraz z doliną Wisłoka;
- 2) wysoczyzny: od północy – Płaskowyż Kolbuszowski, a od południa – Podgórze Rzeszowskie

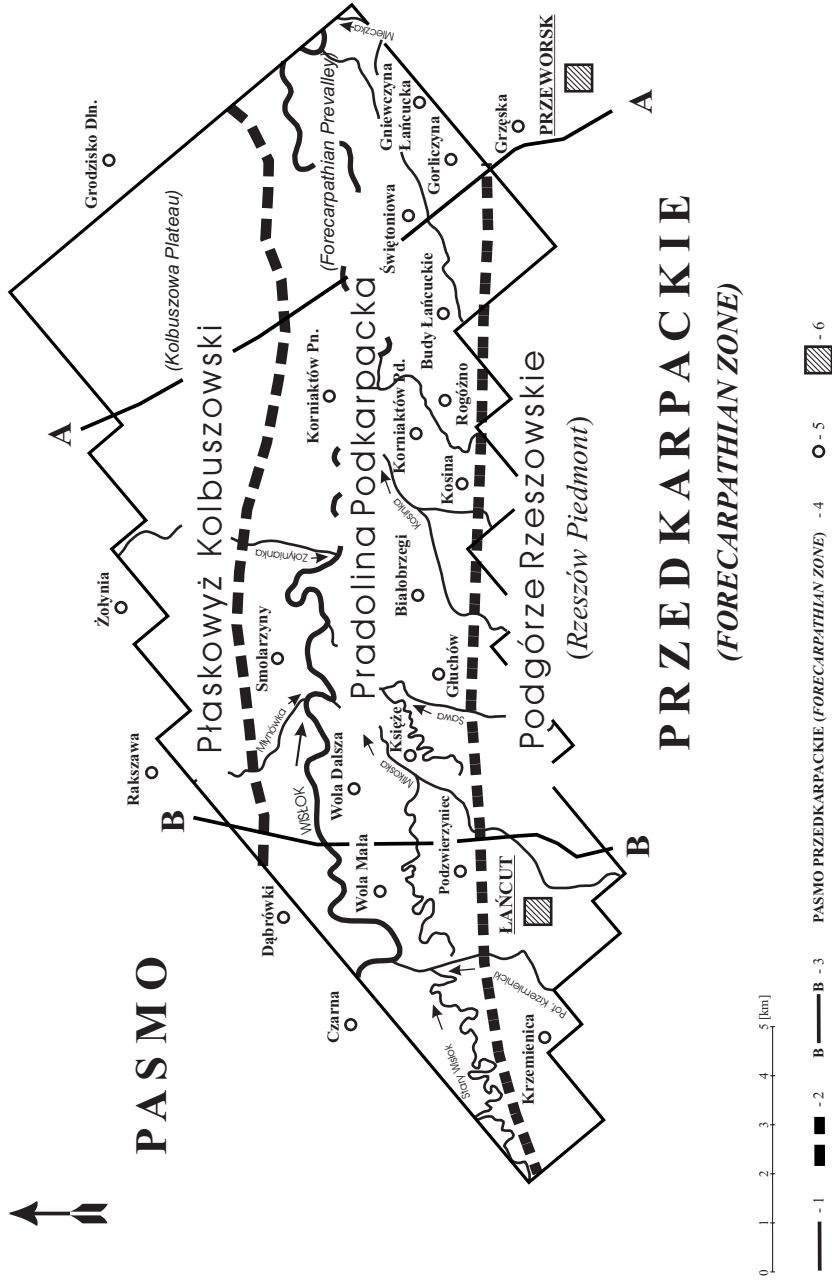
Z geologicznego punktu widzenia omawiany obszar leży w zapadlisku przedkarpackim. Na kompleksie osadów trzeciorzędowych wykształconych głównie w postaci iłków zalegają utwory czwartorzędowe o zróżnicowanym charakterze (Mojski red. 1994, Stupnicka 1997). Stanowi je głównie kompleks osadów piaszczysto-żwirowych o miąższości dochodzącej średnio do kilkunastu metrów (Fig. 3), będący zarazem jedynym poziomem wodonośnym na badanym terenie (Paczyński 1985, Kleczkowski red. 1990a, b). Zwierciadło wód podziemnych, które jest przeważnie swobodne, występuje na głębokości od kilku metrów p.p.t. w dolinie Wisłoka do kilkudziesięciu metrów p.p.t. na wysoczyznach.



**Fig. 1.** Lokalizacja obszaru Głównego Zbiornika Wód Podziemnych nr 425 (GZWP 425) (Górka *et al.* 1996): 1 – obszar GZWP 425 (Górka *et al.* 1996), 2 – obszar badań autora (Dzięgiel 2001), 3 – ciekii wodne, 4 – miasta, 5 – miejscowości

**Fig. 1.** Location of the Major Groundwater Basin (MGWB) no 425 (Górka *et al.* 1996): 1 – MGWB 425 area (Górka *et al.* 1996), 2 – investigated area (Dzięgiel 2001), 3 – streams, 4 – towns, 5 – villages

Ciekii powierzchniowe, o charakterze generalnie drenującym, mają bezpośredni kontakt hydrauliczny z wodami podziemnymi, wyznaczając kierunek ich spływu.



**Fig. 2.** Mapa lokalizacji obszaru badań: 1 – granica obszaru badań, 2 – granice jednostek fizyczno-geograficznych, 3 – linia przekroju hydrogeologicznego, 4 – nazwa regionu hydrogeologicznego, 5 – miejscowości, 6 – miasta

**Fig. 2.** Location of the investigated area: 1 – investigated area border line, 2 – geographical unit border line, 3 – cross-section line, 4 – hydrogeological region name, 5 – villages, 6 – towns



**Fig. 3.** Przekroje hydrogeologiczne A – A i B – B (Fig. 2) (Górka *et al.* 1996): 1 – nieprzepuszczalne podłoże warstwy wodonośnej (ity mioceńskie), 2 – warstwy wodonośne (piaski i żwiry czwartorzędowe), 3 – osady słabo przepuszczalne (pyły i gliny czwartorzędowe), 4 – osady przypowierzchniowe przepuszczalne czwartorzędowe, 5 – ily, 6 – piaski, 7 – pospółki, 8 – pyły, 9 – pyły piaszczyste, 10 – piaski z domieszką gliny i pyłu, 11 – gliny pylaste, 12 – gliny, 13 – zwiertadło wody, 14 – numery otworów badawczych

**Fig. 3.** Hydrogeological cross-sections A – A, B – B (Fig. 2) (Górka *et al.* 1996): 1 – impermeable basement of aquifer (Miocene clays), 2 – aquifers (Quaternary sand and gravel), 3 – semipermeable sediment (Quaternary silt and loam), 4 – Quaternary permeable sub-surface sediment, 5 – clay, 6 – sand, 7 – sand and gravel, 8 – silt, 9 – sandy silt, 10 – sand and loam, and silt, 11 – silts loam, 12 – loam, 13 – water table, 14 – borehole number

## DOTYCHCZASOWE BADANIA MODELOWE NA OBSZARZE GZWP 425

Obszar badań modelowych autora stanowi fragment Głównego Zbiornika Wód Podziemnych nr 425 (GZWP 425) zdyskretyzowanego w istniejącym modelu regionalnym (Fig. 4) siatką kwadratową o kroku  $\Delta x$  i  $\Delta y = 1000$  m (Górka *et al.* 1996).

W schemacie warunków hydrogeologicznych przyjętym do regionalnego modelu obszaru GZWP 425 założono, że zasilanie poziomu wodonośnego odbywa się głównie za pośrednictwem opadów atmosferycznych oraz poprzez dopływy boczne z czwartorzędowej warstwy wodonośnej i utworów fliszowych (Górka *et al.* 1996). Symulowano ustalony przepływ dwuwymiarowy.

Poszczególnym blokom obliczeniowym przypisano rzędne zwierciadła wody na podstawie archiwalnych pomiarów w studniach wierconych i kopanych oraz powierzchni lustra wody rzek i ich głównych dopływów (Górka *et al.* 1996).

## USZCZEGÓLOWIENIE FRAGMENTU OBSZARU MODELU GZWP 425

Zagęszczenie siatki dyskretyzacyjnej fragmentu modelu regionalnego GZWP 425 (Fig. 4), w wyniku którego krok siatki  $\Delta x$  i  $\Delta y$  zmniejszono pięciokrotnie, miało na celu zwiększenie dokładności odwzorowania zagospodarowania przestrzennego badanego podobszaru. Pozwala to uzyskać odpowiednią dokładność obliczeń transportu masy dotyczących migracji substancji rozpuszczonych w wodach podziemnych (Dzięgiel 2001). Każdy blok obliczeniowy modelu regionalnego został podzielony na 25 mniejszych bloków o długości boku równej 200 m. Należy zaznaczyć istnienie możliwości każdego innego podziału, w zależności od żądanej szczegółowości badań modelowych.

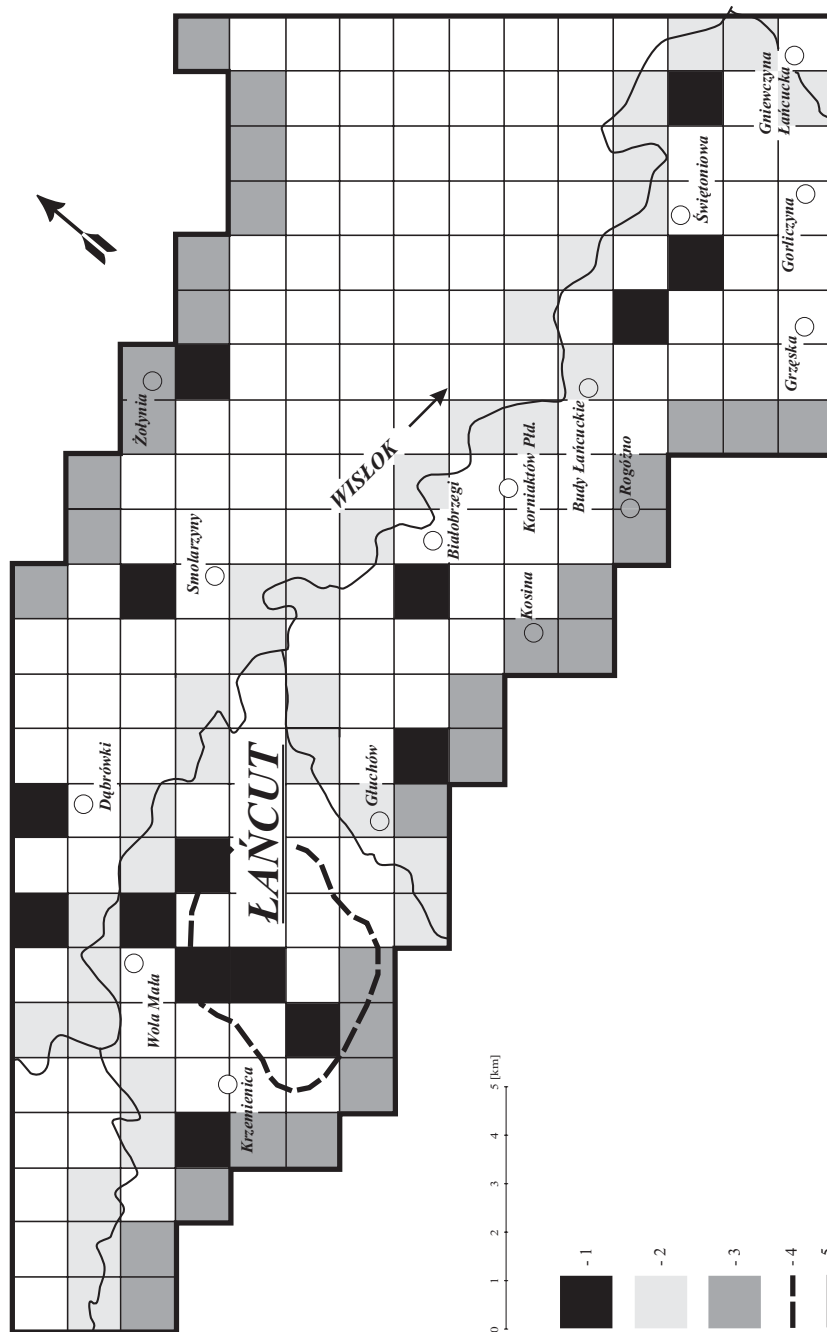
Automatyczne zagęszczanie modelu, stosowane rutynowo w obliczeniach hydrogeologicznych, powoduje przypisanie przez pakiet programowy Processing Modflow 5.0 (Chiang & Kinzelbach 1998) w zagęszczonej siatce 25 bloków wartości jednakowych, odpowiadających wartościom w bloku ulegającym podziałowi.

Dotyczy to takich parametrów, jak:

- współczynnik filtracji,
- rzędna spągu i stropu warstwy wodonośnej,
- rzędna zwierciadła wód podziemnych,
- infiltracja z opadów atmosferycznych.

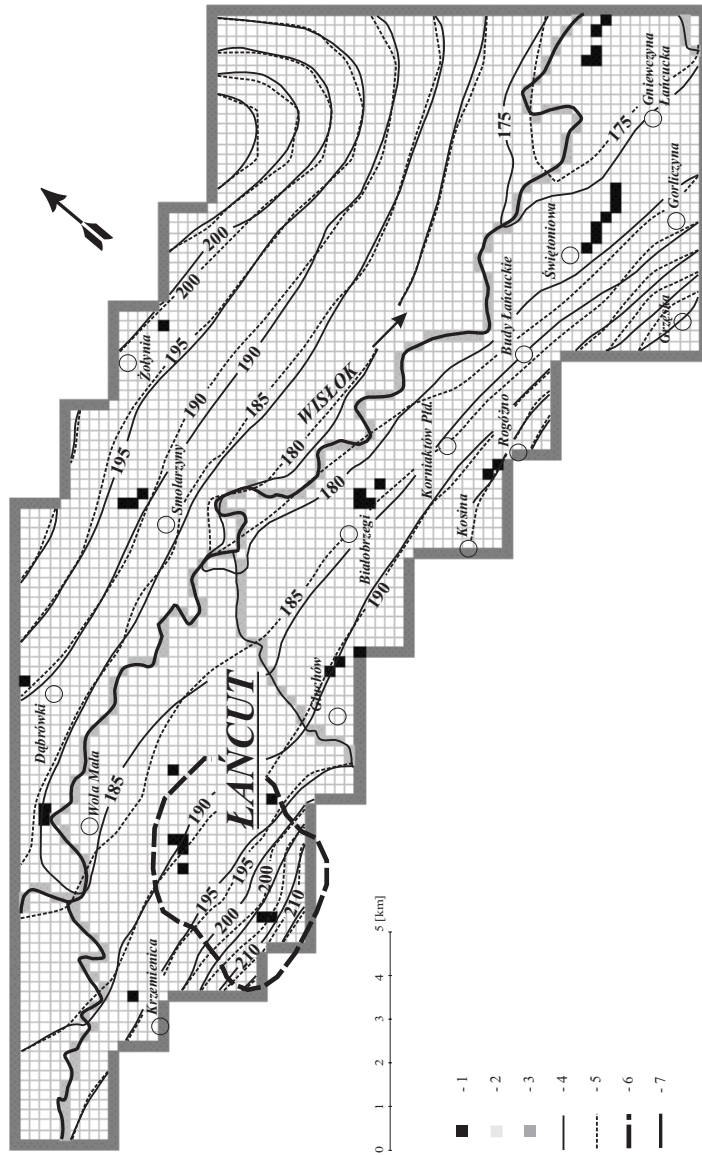
Struktura nowego, szczegółowego podziału zachowuje więc nadal strukturę modelu regionalnego ze skokowymi zmianami wartości parametrów na granicach bloków regionalnych (Fig. 5).

Powyższe powoduje, że w wielu nowych blokach położonych na brzegu bloków regionalnych obserwowano poważne zaburzenia pola hydrodynamicznego, a nawet osuszenie warstwy wodonośnej.



**Fig. 4.** Siatka dyskretyzacyjna modelu regionalnego GZWP 425 (Górka *et al.* 1996): 1 – bloki symulujące studnie ujęć (warunek II rodzaju), 2 – bloki symulujące ciekii wodne (warunek III rodzaju), 3 – bloki graniczne (warunek I rodzaju), 4 – granica aglomeracji miejskiej, 5 – ciekii wodne

**Fig. 4.** The discretization grid of the regional model of MGWB 425 (Górka *et al.* 1996): 1 – well blocks (second kind boundaries), 2 – stream blocks (third kind boundaries), 3 – border blocks (first kind boundaries), 4 – town border line, 5 – streams



**Fig. 5.** Porównanie pola hydrodynamicznego modelu szczegółowego z modelem regionalnym: 1 – bloki symulujące studnie ujęć (warunek II rodzaju), 2 – bloki symulujące ciekii wodne (warunek III rodzaju), 3 – bloki graniczne (warunek I rodzaju), 4 – hydroizohipsy obliczone na modelu szczegółowym, 5 – hydroizohipsy obliczone na modelu regionalnym GZWP 425 (Fig. 4) (Górka *et al.* 1996), 6 – granica aglomeracji miejskiej, 7 – ciekii wodne

**Fig. 5.** Detailed hydrodynamic model compared with the regional one: 1 – well blocks (second kind boundaries), 2 – stream blocks (third kind boundaries), 3 – border boundaries (first kind boundaries), 4 – hydroisohipses obtained on the detailed hydrodynamic model, 5 – hydroisohipses obtained on the regional hydrodynamic model (Fig. 4) (Górka *et al.* 1996), 6 – town border line, 7 – streams



## ROZWIĄZANIE NUMERYCZNE

Prawidłowe rezultaty można uzyskać w wykorzystywanym przez autora pakiecie programowym Processing Modflow 5.0 (Chiang & Kinzelbach 1998), ale wymaga to zastosowania odpowiedniego interpolatora, celem wygładzenia rozkładu wartości poszczególnych parametrów dotyczących warstwy wodonośnej oraz cieków wodnych (współczynnik filtracji, rzędne spągu i stropu warstwy wodonośnej, zwierciadła wód podziemnych oraz infiltracja z opadów atmosferycznych) (Chau 2004). Do czynności tej wybrano metodę blokową odwrotnych odległości Sheparda (Shepard 1968). Interpolacja jest dokonywana z zastosowaniem metody różnic skończonych (FDM). Powyższa operacja umożliwia otrzymanie właściwego rozkładu przestrzennego pola hydrodynamicznego na modelu szczegółowym (Fig. 5).

Dopasowanie układu zwierciadła wód podziemnych uzyskanego z obliczenia na modelu szczegółowym do istniejącego na modelu regionalnym (Górka *et al.* 1996) przeprowadzono za pomocą pakietu PEST (Parameter Estimation) programu Processing Modflow 5.0 (Chiang & Kinzelbach 1998, Madsen 2003). Czynność tę wykonano poprzez regulację jednego z parametrów hydrogeologicznych modelu, jakim był w tym przypadku współczynnik filtracji. Omawianemu parametrowi przypisywano zakres wartości, w jakim ma się zmieścić po dokonaniu powyższej operacji. W wyniku powyższej czynności uzyskano pole hydrodynamiczne w stopniu zadowalającym zgodne z modelem regionalnym GZWP 425 (Górka *et al.* 1996) (Fig. 5).

## PODSUMOWANIE

Uszczegółowienie podziału na bloki w modelu regionalnym pola hydrodynamicznego wydaje się czynnością prostą, którą można wykonać poprzez automatyczne zagęszczenie sieci. Podany przykład wskazuje, że tak nie jest i że wymaga to ostrożności.

Obszar badań stanowi fragment modelu regionalnego Głównego Zbiornika Wód Podziemnych nr 425 (GZWP 425), w którym siatka dyskretyzacyjna została pięciokrotnie zagęszczona. Do obliczeń na modelu szczegółowym dane dotyczące rozkładu wartości poszczególnych parametrów hydrogeologicznych zostały wykorzystane z istniejącego regionalnego modelu hydrodynamicznego GZWP 425 (Górka *et al.* 1996). Powyższa operacja została wykonana dla uzyskania dokładniejszego obrazu – zagospodarowania przestrzennego terenu, niezbędnego dla określenia wrażliwości warstw wodonośnych na zanieczyszczenie substancjami chemicznymi przedostającymi się z powierzchni terenu.

Próba uszczegóławiania modelu regionalnego metodą automatycznego zagęszczenia jego sieci nastręczyła szereg problemów. Skokowe zmiany wartości parametrów wynikające z zachowania rozkładu pierwotnych parametrów w obszarze bloków regionalnych dawały błędne rezultaty. Drogą do uzyskania właściwych wyników była ponowna interpolacja większości parametrów modelu regionalnego. Program Processing Modflow 5.0 (Chiang & Kinzelbach 1998) daje możliwość uzyskania racjonalnego rozkładu wartości obliczonych parametrów poprzez wykorzystanie zawartych w tym pakiecie interpolatorów.

Uszczegółowiony model został także poddany weryfikacji z wykorzystaniem własnych pomiarów poziomu zwierciadła wód podziemnych, przeprowadzonych przez autora. Uzyskano wystarczającą zgodność pola hydrodynamicznego.

Dopiero tak opracowany model hydrodynamiczny stał się podstawą do dokonywania na nim oceny migracji azotu azotanowego z obszarów rolniczych do wód podziemnych (Dzięgiel 2001), którą realizowano także za pomocą pakietu programowego Processing Modflow 5.0 (Chiang & Kinzelbach 1998).

## LITERATURA

- Chau K.W., 2004. Intelligent manipulation of calibration parameters in numerical modelling. *Advances in Environmental Research*, 8, 467–476.
- Chiang W.H. & Kinzelbach W., 1998. *Processing Modflow (v. 5.0). A Simulation System for Modelling Groundwater Flow and Pollution*. Hamburg, Zuerich, 1–325.
- Dzięgiel M., 2001. *Ocena wrażliwości warstw wodonośnych wybranego fragmentu obszaru pasma przedkarpackiego na zanieczyszczenia nawozowe, z zastosowaniem systemów informacji geograficznej (GIS)*. Politechnika Krakowska, Kraków.
- Górka J. et al., 1996. *Dokumentacja hydrogeologiczna zbiorników wód podziemnych nr 425, 426, 427*. PROGE, Kraków.
- Kleczkowski A.S. (red.), 1990a. Główne zbiorniki wód podziemnych (GZWP) w Polsce – własności hydrogeologiczne, jakość wód, badania modelowe i poligonowe. Wyd. AGH, Kraków, *Publikacje CPBP 04.10*, z. 55.
- Kleczkowski A.S. (red.), 1990b. *Mapa obszarów głównych zbiorników wód podziemnych (GZWP) w Polsce wymagających szczególnej ochrony. 1 : 500 000*. Inst. Geol. Inż. AGH, Kraków.
- Klimaszewski M. (red.), 1972. *Geomorfologia Polski t. I. Polska południowa – góry i wyżyny*. PWN, Warszawa.
- Kondracki J., 1998. *Geografia regionalna Polski*. PWN, Warszawa.
- Madsen H. et al., 2002. Comparison of different automated strategies for calibration of rainfall – runoff models. *Journal of Hydrology*, 261, 48–59.
- Madsen H., 2003. Parameter estimation in distributed hydrological catchment modelling using automatic calibration with multiple objectives. *Advances in Water Resource*, 26, 205–216.
- Mojski J.E. (red.), 1994. *Mapa Geologiczna Polski (Ark. Rzeszów) 1 : 200 000*. PIG, Warszawa.
- Paczyński B., 1985. Rola czwartorzędowych struktur kopalnych w retencjonowaniu wód podziemnych zapadliska przedkarpackiego. W: Kleczkowski A.S. et al., Aktualne problemy hydrogeologii, III Ogólnopolskie Sympozjum. Wyd. AGH, Kraków – Karniowice.
- Shepard D., 1968. A two dimensional interpolation function for irregularly spaced area. *Proceedings 23rd ACM National Conference*, 517–524.
- Stupnicka E., 1997. *Geologia regionalna Polski*. Wyd. Geol., Warszawa, 1–286.

### **Summary**

A regional hydrodynamic simulating model was made much more detailed on the given example, which proved that this operation should be careful. It was done on the small part of the regional model of the Major Groundwater Basin no. 425 (Figs 1–4). Its discretization grid was made five times denser (Fig. 5). The operation described above was made to obtain much more exact image of the landuse of the area, for example. The interpolation of the majority of the hydrogeological parameters of the regional hydrodynamic simulating model was the means to obtain appropriate results. The Processing Modflow 5.0 code makes the above possible. The model made much more detailed was verified on the basis of the author's measuring of the groundwater table on the Right Bank of the river Wisłok valley (Fig. 2). Satisfactory compatibility of hydrodynamic fields was stated.