

MODELOWANIE WÓD PODZIEMNYCH DLA USTALENIA ZASOBÓW EKSPLOATACYJNYCH UJĘĆ NA PRZYKŁADZIE TRÓJMIASTA

GROUNDWATER FLOW MODELLING FOR EVALUATING THE ADMISSIBLE VOLUME OF EXTRACTED GROUNDWATER – TRICITY REGION CASE STUDY

BEATA JAWORSKA-SZULC¹

Abstrakt. Aglomeracja Trójmiejska obejmuje zróżnicowany geomorfologicznie obszar. Wody podziemne ujmowane są na obszarze wysoczyzny, w strefie zasilania i przepływu wód podziemnych, a także na obszarze nizin nadmorskich, w strefie ich drenażu. W artykule przedstawiono wyniki badań modelowych prowadzonych w celu ustalenia zasobów eksploatacyjnych wód z utworów plejstocenu na dwóch ujęciach zlokalizowanych w części wysoczyznowej: Gdynia Wiczlino oraz Gdynia Wielki Kack. Obliczenia przeprowadzono niezależnie dla obu ujęć, uwzględniając pracę innych dużych ujęć wód podziemnych znajdujących się na obszarze badań (Gdynia Sieradzka oraz Gdańsk Osowa). Symulacje modelowe wykazały, że istnieje ich silne współdziałanie. Zaznacza się ono szczególnie w warunkach jednoczesnego poboru wód na wszystkich ujęciach w ilości ich maksymalnych zatwierdzonych zasobów. Eksploatacja prowadzi wówczas do powstania głębokiego na 15 m, regionalnego leja depresji, przy czym w obu skonstruowanych niezależnie modelach uzyskano niemal identyczny wynik. Tak intensywny pobór wód podziemnych jest niekorzystny ze względu na zmianę reżimu przepływu wody w ciekach powierzchniowych. W wyniku eksploatacji zwiększa się infiltracja rzek, a zmniejsza się ich drenaż, lokalnie zanika górna warstwa wodonośna, a ciekły płynące na tym terenie mogą okresowo wysychać. W efekcie obliczeń optymalizacyjnych ustalono, że maksymalny pobór wód nie powinien przekraczać na ujęciu Wiczlino 650 m³/h, a na ujęciu Wielki Kack 410 m³/h.

Słowa kluczowe: wody podziemne, zasoby eksploatacyjne, ujęcia wód podziemnych.

Abstract. Hydrogeological conditions of the Tricity region are diversified. Its western part, the Kaszubian Lake Upland, is the recharge area, whereas its eastern part, marine lowlands, is the drainage area. There are four large groundwater intakes located in the upland area. The admissible volume of extracted groundwater has been estimated for two of the intakes. For this purpose mathematical models of groundwater flow were developed, and the interactions between groundwater intakes were verified. The model simulations showed an influence of groundwater exploitation on the groundwater, especially with the amount of maximum admissible resources. The exploitation caused the formation of a 15 m deep regional depression cone. Almost the same result was received in both the independently constructed models. Such an intense groundwater abstraction also changes the regime of surface water flows. An infiltration of rivers is increasing and drainage is smaller, locally an upper water-bearing layer dries out and the streams in this area can periodically dry. As an effect of calculations, it was evaluated that the maximum level of exploitation for the Wiczlino intake is 650 m³/h, and for the Wielki Kack intake – 410 m³/h.

Key words: groundwater, admissible volume of extracted groundwater, groundwater intakes.

WSTĘP

Agglomeracja Trójmiejska położona jest na obszarze zróżnicowanym geomorfologicznie. Zachodnie dzielnice położone są na wysoczyźnie Pojezierza Kaszubskiego, podczas

gdy północno-wschodnie na nizinach nadmorskich. Wody podziemne ujmowane są zarówno na obszarze wysoczyzny, w strefie zasilania i przepływu wód podziemnych, jak i na

¹ Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Geotechniki, Geologii i Budownictwa Morskiego, ul. Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk; e-mail: bejaw@pg.gda.pl

obszarze nizin nadmorskich, w strefie ich drenażu. Poniżej przedstawiono wyniki niezależnych badań modelowych prowadzonych dla dwóch ujęć zlokalizowanych w części wysoczyznowej: Gdynia Wiczlino oraz Gdynia Wielki Kack, w celu ustalenia zasobów eksploatacyjnych wód z utworów

plejstocenu. Ze względu na bliskie sąsiedztwo ujęć w obu przypadkach obszar badań modelowych był podobny i obejmował wszystkie większe ujęcia Trójmiasta znajdujące się na wysoczyźnie.

WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

Obszar badań obejmuje północno-wschodnią część wysoczyzny Pojezierza Kaszubskiego aż do jej krawędzi. Na tym obszarze zwykle wody podziemne występują w trzech piętrach wodonośnych: kredowym, paleogeńsko-neogeńskim i plejstocenijskim (Kozerski red., 2007). Poziom wodonośny w osadach kredowych występuje na rzędnej około 160 m p.p.m. w drobnoziarnistych piaskach kwarcowo-glaukonitowych. Na piętro paleogeńsko-neogeńskie składają się wodonośne osady oligocenu, eocenu i miocenu (Jaworska-Szulc, 2005b). Drobnoziarniste piaski oligocenu i eocenu stanowią odrębną strukturę wodonośną o miąższości nie przekraczającej 20 m. Strop utworów wodonośnych leży zazwyczaj na rzędnej około 90 m p.p.m. Poziom miocenijski jest nieciągły i występuje w dwóch warstwach drobnoziarnistych piasków z pyłem burowęglowym, które są rozdzielone warstwami mułków i iłów. Lokalnie miocenijska

i oligocenijska warstwa pozostają w kontakcie hydraulicznym (Kozerski red., 2007).

Głównym użytkowym poziomem wodonośnym jest poziom plejstocenijski. W jego obrębie wydziela się dwa poziomy wodonośne: górny, związany z piaszczysto-żwirowymi osadami zlodowacenia wisły, oraz dolny, związany z piaszczysto-żwirowymi osadami zlodowaceń środkowopolskich i południowopolskich. Poziom dolny ma największe znaczenie użytkowe, stwierdzono tu bardzo korzystne warunki hydrogeologiczne. Miąższość piasków wodonośnych wynosi średnio około 30 m, a w głęboko wciętych strukturach rynnowych przekracza 50 m (fig. 1). Wodoprzewodność wynosi 200–1000 m²/d, na ujęciach przekracza 1000 m²/d. Na obszarze pogrzebanych rynien erozyjnych poziom dolny pozostaje w kontakcie z osadami wodonośnymi miocenu i oligocenu (Chmielowska, 1998; Orłowski, 1998).

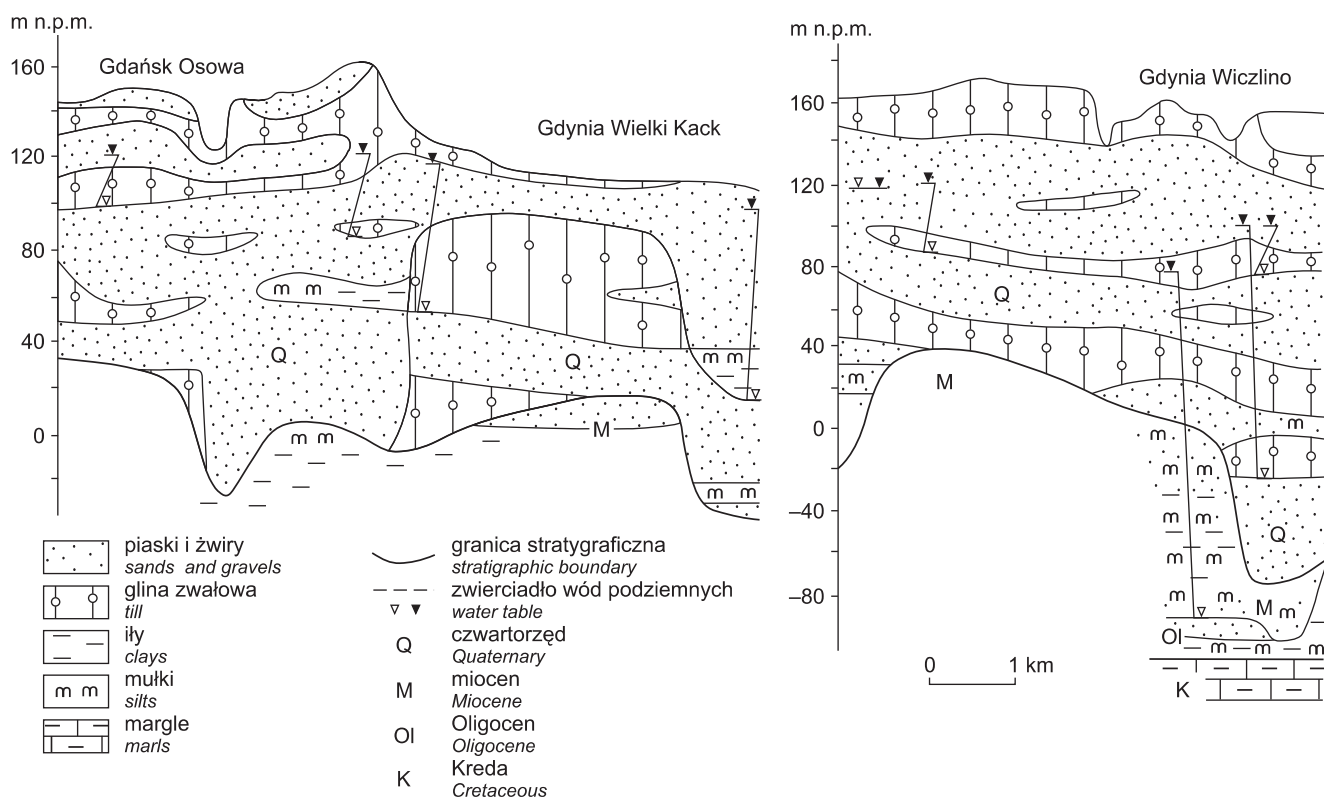


Fig. 1. Schematyczne przekroje hydrogeologiczne (według Chmielowskiej, 1998)

Hydrogeological cross-sections (after Chmielowska, 1998)

BADANIA MODELOWE

Badania modelowe dla ujęcia Wiczlino wykonano w 2004 roku w celu ustalenia wysokości zasobów eksploatacyjnych, natomiast model dla ujęcia Wielki Kack powstał w roku 2007. Oba modele stanowią fragment i uszczegółowienie regionalnego modelu hydrogeologicznego (Jaworska-Szulc, 2007).

Badaniami objęto przybliżony obszar zasilania i oddziaływania ujęć, a granice obszaru modelowanego odsunięto na odległość umożliwiającą analizę oddziaływań (fig. 2). Obszar badań modelowych dla ujęcia Wiczlino zajmuje powierzchnię ponad 228 km². W przyjętym schemacie uwzględniono dwie plejstocenijskie warstwy wodonośne (lokalnie z warstwą mioceńską) oraz rozdzielającą je warstwę glin. Schematyzacji dokonano na podstawie danych ze 184 otworów hydrogeologicznych (Jaworska-Szulc, 2005a). Model wykonany dla Wielkiego Kacka pokrywa obszar o powierzchni 86,3 km². Na podstawie danych ze 94 otworów hydrogeologicznych w modelu zadano górną warstwę plejstocenijską, warstwę plejstocenijsko-mioceńską, oligocenijsko-eocenijską oraz warstwy osadów słabo przepuszczalnych rozdzielające poziomy wodonośne. Z powodu braku danych na temat parametrów filtracyjnych osadów słabo przepuszczalnych przyjęto wstępnie współczynniki filtracji pionowej z literatury (Marciniak i in., 1999), po czym poddano je kalibracji. W zasięgu obu modeli znalazły się inne duże ujęcia wód podziemnych, eksploatowane na potrzeby Trójmiasta na ob-

szarze wysoczyzny: Gdynia Sieradzka, Gdańsk Osowa i Sopot Brodwinno.

Do modelowania numerycznego wykorzystano program ModFlow (McDonald, Harbaugh, 1988), wersję ModFlow 2000, w pakiecie programów GMS 5.0 (Groundwater Modelling System). Identyfikację modeli oparto na mapie hydroizohips dla warunków naturalnych (fig. 2), sporządzonej na podstawie materiałów archiwalnych. Za kryterium kalibracji przyjęto wartości błędu średniego bezwzględnego

$$MAE = \sum_{i=1}^n |H_{pi} - H_{oi}| \quad (\text{Anderson i Woessner, 1992}) \quad \text{gdzie:}$$

H_p – rzędna pomierzonego zwierciadła wód podziemnych,
 H_o – rzędna obliczonego zwierciadła wód podziemnych.
 Uzyskane wartości przedstawiono w tabeli 1.

Lepszą zgodność uzyskano w modelu dla Wielkiego Kacka, co wydaje się oczywiste, biorąc pod uwagę, że objął on znacznie mniejszy obszar i dodatkowo uwzględnił warstwę oligocenijsko-eocenijską i jej wpływ na zasilanie poziomów plejstocenijskich.

Model został pozytywnie zweryfikowany na podstawie wyników próbnych pompowań.

Obliczone na modelu wielkości depresji w studniach były zbliżone do zaobserwowanych. Różnice wynosiły od 0 do 0,6 m, zwykle jednak nie przekraczały kilkudziesięciu centymetrów. Pozytywna weryfikacja modelu na pompowania

Fig. 2. Mapa hydroizohips plejstocenijsko-mioceńskiego poziomu wodonośnego w warunkach naturalnych

Hydroisohypses of the Pleistocene –Miocene aquifer

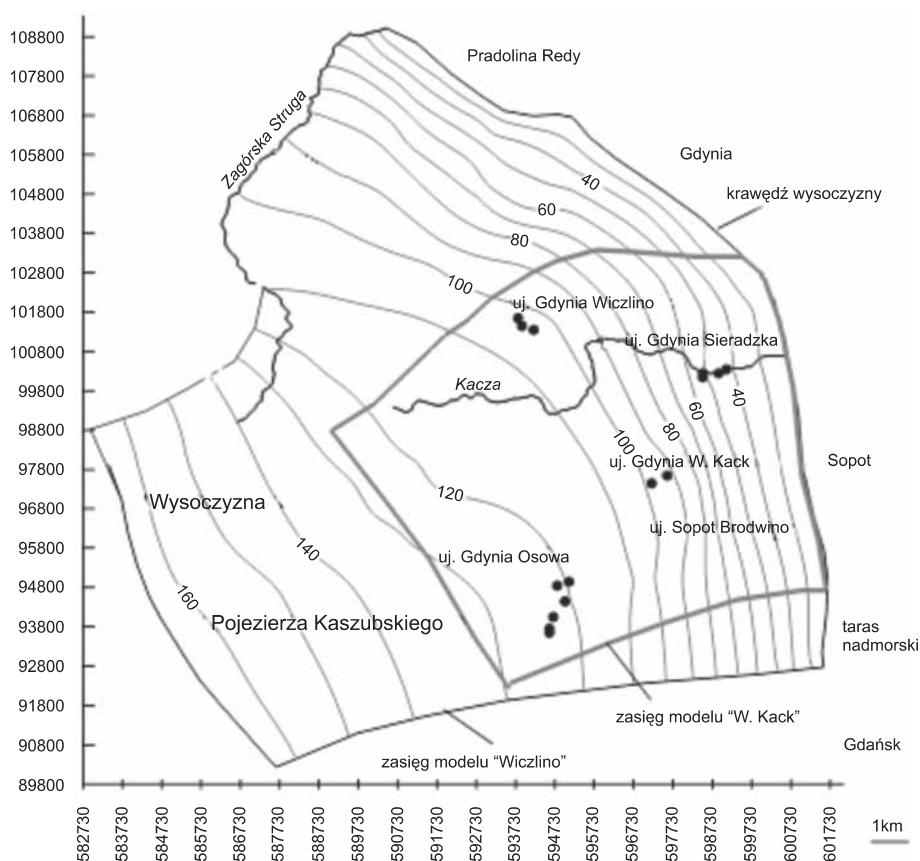


Tabela 1
Wartości błędów kalibracji
 The calibration errors

	Błąd średni absolutny (bezwzględny) [m]	
	model Wiczlino	model Wielki Kack
Górna warstwa plejstocenska	2,67	1,53
Dolna warstwa plejstocenska	1,95	1,86
Oligocenska-eocenska warstwa wodonośna	–	1,13

hydrogeologiczne jest wskaźnikiem wiarygodności modelu (Dąbrowski, Przybyłek, 2005), można zatem uznać analizowane modele za wiarygodne.

Wyniki badań modelowych wykazały, że w warunkach naturalnych plejstocenska piętro wodonośne jest zasilane

głównie przez infiltrację opadów (średnio ok. 60%) oraz przez lateralny dopływ z wysoczyzny. Moduł zasilania infiltracyjnego określono w modelu dla Wiczlino na $11,7 \text{ m}^3/\text{h km}^2$, tj. $102,5 \text{ mm/rok}$, co daje 17,8% średniego opadu na obszarze badań, natomiast w modelu Wielkiego Kacka zasilanie wyniosło $15,6 \text{ m}^3/\text{h km}^2$, tj. $136,7 \text{ mm/rok}$, co stanowi około 21% średniego opadu na obszarze badań. Odpływ z warstwy górnej to przede wszystkim przesiąkanie descenzyjne do warstwy plejstocenska-miocenska. Należy zaznaczyć, że miejscami warstwy te mogą być w bezpośrednim kontakcie. Około 80% wód odpływa z poziomu plejstocenska-miocenska w kierunku bazy drenażu na linii krawędzi wysoczyzny.

Oligocenska-eocenska poziom wodonośny zasilany jest w 77% przez przesiąkanie z warstw leżących wyżej, a w 23% przez dopływy boczne. Na odpływ z tego poziomu składa się odpływ lateralny w kierunku nizin nadmorskich i Zatoki Gdańskiej (ponad 70%) oraz przesiąkanie ascenzyjne do osadów plejstocenu (prawie 30%).

ZASOBY EKSPLOATACYJNE UJĘĆ I ROZWÓJ REGIONALNEGO LEJA DEPRESJI

Zasoby eksploatacyjne ujęcia Wiczlino do roku 2006 były zatwierdzone w wysokości $930 \text{ m}^3/\text{h}$. Wyniki symulacji wskazały jednak, że eksploatacja nie powinna przekraczać $650 \text{ m}^3/\text{h}$ (Jaworska-Szulc, 2005a). Eksploatacja z takim wydatkiem zapewnia właściwą pracę sąsiednich ujęć i mimo

stwierzonego wzajemnego oddziaływania, nie wpłynie ujemnie na ich zasoby i jakość wody. Depresje w studniach wynoszą przy tej wydajności w warstwie górnej do 14 m, a w warstwie dolnej do 24 m i spełniają warunki techniczne i hydrogeologiczne.

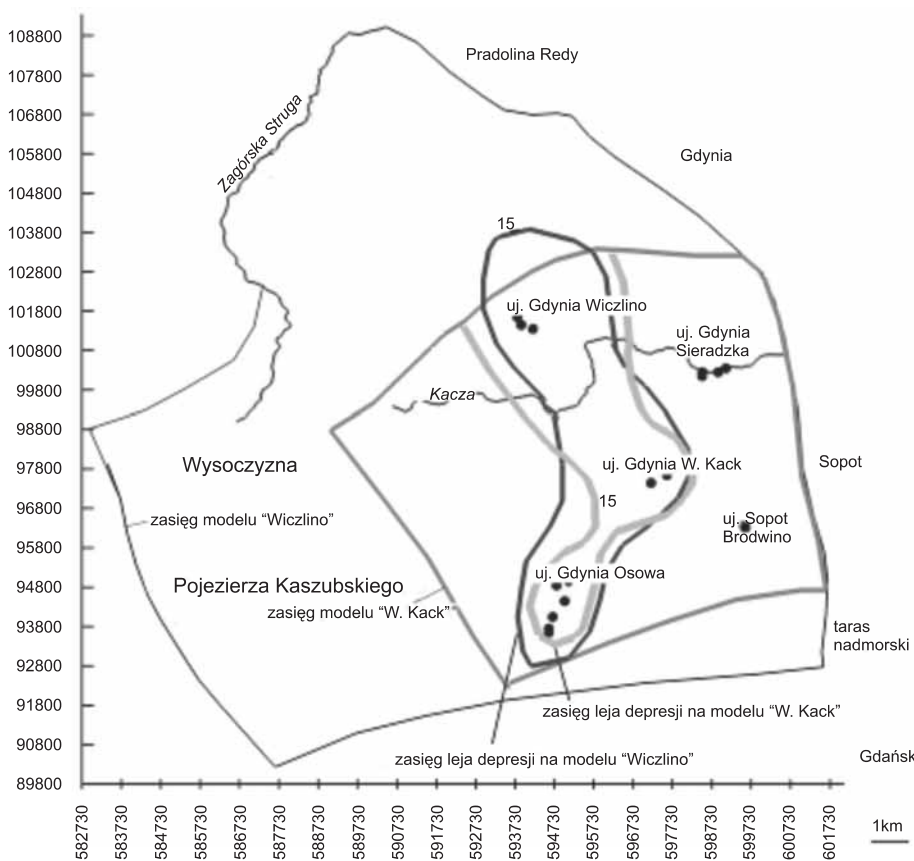


Fig. 3. Zasięg regionalnego leja depresji (15 m) w poziomie plejstocenska-miocenska podczas maksymalnej eksploatacji wszystkich ujęć

A depression cone (15 m deep) in Pleistocene-Miocene aquifer during the maximum exploitation on all groundwater intakes

W wyniku obliczeń modelowych dla ujęcia Wielki Kack ustalono, że możliwy jest pobór wód podziemnych z piętra plejstoceniowego w ilości dotychczasowych zasobów 410 m³/h, przy utrzymaniu depresji do 19 m w warstwie górnej i 18,5 m w warstwie dolnej. Należy jednak podkreślić, że tylko w jednym wariantcie eksploatacji udało się utrzymać takie depresje, a w pozostałych zostały one przekroczone. Jednak ze względu na duże wartości ciśnień piezometrycznych zwiększenie depresji w warstwie dolnej jest dopuszczalne i bezpieczne. Mimo że obszar wpływu ujęcia ma znaczny zasięg, depresje w sąsiednich ujęciach podczas eksploatacji ujęcia Wielki Kack z wydajnością 410 m³/h nie przekraczają 1–2 m. Podobne wyniki uzyskano dla ujęcia Wiczlino, którego eksploatacja z wydatkiem 650 m³/h zaznacza się depresjami w sąsiednich ujęciach od 1 do 2,5 m.

Przeprowadzone symulacje modelowe wykazały, że równoczesna eksploatacja wszystkich ujęć w ilości ich maksymalnych zasobów (Wiczlino 650 m³/h, Wielki Kack 410 m³/h, Sieradzka 300 m³/h i Osowa 1000 m³/h) prowadzi do bardzo silnego wzajemnego oddziaływania ujęć i powoduje powstanie głębokiego na około 10–15 m regionalnego leja depresji. W obu niezależnie konstruowanych modelach uzyskano bardzo podobny wynik (fig. 3). Badania wykazują konieczność

zweryfikowania również wielkości zasobów ustalonych w latach 80. dla ujęcia Gdańsk Osowa. Mimo wyjątkowo korzystnych warunków występowania wód podziemnych, zasoby w wysokości 1000 m³/h wydają się być przeszacowane. Intensywna eksploatacja jest również niebezpieczna ze względu na zmianę reżimu przepływu wody w rzece Kaczej i potoku Źródło Marii. W wyniku eksploatacji zwiększa się infiltracja rzek, a zmniejsza się ich drenaż. W związku z lokalnym zanikiem górnej warstwy wodonośnej mniejsze cieki (potok Źródło Marii) mogą lokalnie wyschnąć. W nawiązaniu do Ramowej Dyrektywy Wodnej i Prawa Wodnego jest to niedopuszczalne. Sytuację taką mogą pogłębić zjawiska ekstremalne, np. susza.

Sprawdzono również, jak wpłynie eksploatacja oligoceno-eoceńskiego poziomu wodonośnego w ujęciu Wielki Kack na pracę ujęcia Sopot Brodwinno pobierającego wody z tego poziomu. Wyniki obliczeń wykazały, że eksploatacja poziomu oligoceno-eoceńskiego w ujęciu Wielki Kack może zaznaczyć się w niewielkim stopniu (1–2 m depresji) na ujęciu Brodwinno. Natomiast eksploatacja ujęcia Brodwinno powoduje obniżenie zwierciadła wody w ujęciu Wielki Kack maksymalnie o 2–3 m.

PODSUMOWANIE

Warunki hydrogeologiczne plejstoceniowego piętra wodonośnego na obszarze wzniesień morenowych okolic Gdańska są bardzo korzystne, ale również złożone, dobre ich rozpoznanie ogranicza się w zasadzie do rejonu większych ujęć. Należy podkreślić, że dokładność badań modelowych odpowiada dokładności rozpoznania hydrogeologicznego.

Badania modelowe wykazały, że istnieje silne współdziałanie ujęć wód podziemnych. Zaznacza się ono szczególnie

w warunkach maksymalnej eksploatacji zasobów zatwierdzonych dla tych ujęć. Eksploatacja ta prowadzi do powstania głębokiego (10–15 m), regionalnego leja depresji. Obliczenia optymalizacyjne wykazały, że maksymalny pobór wód z piętra plejstoceniowego nie powinien przekroczyć w ujęciu Wiczlino 650 m³/h, a w ujęciu Wielki Kack 410 m³/h. Przekroczenie tych wartości będzie skutkowało wysuszeniem części wód powierzchniowych.

LITERATURA

- ANDERSON M.P., WOESSNER W.W., 1992 – Applied groundwater modeling, simulation of flow and advective transport: 12–16. Academic Press London.
- CHMIELOWSKA U., 1998 – Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Żukowo. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- DĄBROWSKI S., PRZYBYŁEK J., 2005 – Metodyka próbnych pompowań w dokumentowaniu zasobów wód podziemnych. Ministerstwo Środowiska, Warszawa.
- JAWORSKA-SZULC B., 2005a – Ocena zasobów eksploatacyjnych w warunkach intensywnego współdziałania ujęć wysoczyńskich Trójmiasta. *W: Współczesne problemy hydrogeologii*, t. 12: 275–280. Wyd. UMK, Toruń.
- JAWORSKA-SZULC B., 2005b – Trzeciorzędowe poziomy wodonośne Pomorza Gdańskiego w świetle nowych poglądów na stratyografię. *Inżynieria Morska i Geotechnika*, 26, 4: 307–312.
- JAWORSKA-SZULC B., 2007 – Badania modelowe przepływu wód podziemnych. *W: Gdański system wodonośny* (red. B. Kozerski): 74–88. Wyd. Politechniki Gdańskiej, Gdańsk.
- KOZERSKI B. (red.), 2007 – Gdański system wodonośny. Wyd. Politechniki Gdańskiej, Gdańsk.
- MARCINIAK M., PRZYBYŁEK J., HERZIG J., SZCZEPAŃSKA J., 1999 – Badania współczynnika filtracji utworów półprzepuszczalnych. Wyd. UAM, Poznań, AGH Kraków.
- McDONALD M.G., HARBAUGH A.W., 1988 – A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model. U.S. Geological Survey Open-File Report, Washington.
- ORŁOWSKI R., 1998 – Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Rumia. Państw. Inst. Geol., Warszawa.