

RYSZARD KULMA*, ANDRZEJ HAŁADUS*, EWA PRUSSAK**

Zasoby wód podziemnych Mierzei Wiślanej

Słowa kluczowe

Hydrogeologia, zasoby wód podziemnych, obliczenia prognostyczne

Streszczenie

Plejstoceno-holocenoński poziom wodonośny, występujący na Mierzei Wiślanej od Kątów Rybackich — na zachodzie, do granicy państwa — na wschodzie, jest jedynym źródłem zaopatrzenia ludności w wodę. Wody tego poziomu występują w formie soczewy wód słodkich, pozostającej w równowadze hydrodynamicznej i hydrogeochemicznej z otaczającymi je wodami słonymi Zatoki Gdańskiej i Zalewu Wiślanego. Poziom ten zasilany jest wyłącznie poprzez infiltrację opadów atmosferycznych.

Model matematyczny warunków hydrogeologicznych tego rejonu, opracowany w oparciu o aktualny stan rozpoznania, umożliwił wykonanie obliczeń bilansu wodnego dla prognozowanych stanów zwierciadła wód podziemnych. Wyniki symulacji stanowią ilościową charakterystykę głównych czynników kształtujących stosunki wodne tego obszaru, tj. infiltracji efektywnej opadów atmosferycznych, drenażu do wód powierzchniowych Zalewu Wiślanego i Zatoki Gdańskiej oraz eksploatacji wód podziemnych. Pozwoliły również ustalić wielkość zasobów dyspozycyjnych i warunki optymalnej eksploatacji ujęć wód podziemnych. Zapewniają one również skuteczną ochronę jakości ujmowanych wód w tych specyficznych warunkach hydrogeologicznych. Oceniono, że zasoby dyspozycyjne wód podziemnych na części Mierzei Wiślanej o powierzchni 35 km² wynoszą 8200 m³/d.

Wprowadzenie

Mierzeja Wiślana stanowi piaszczysty wał wydmy, ciągnący się na długości 90 km od Gdańska (ujście Martwej Wisły) do Bałtijska w Rosji. W granicach Polski obejmuje odcinek długości około 70 km. Jej zachodnia część graniczy z Żuławami Wiślаныmi, które tworzą płaską

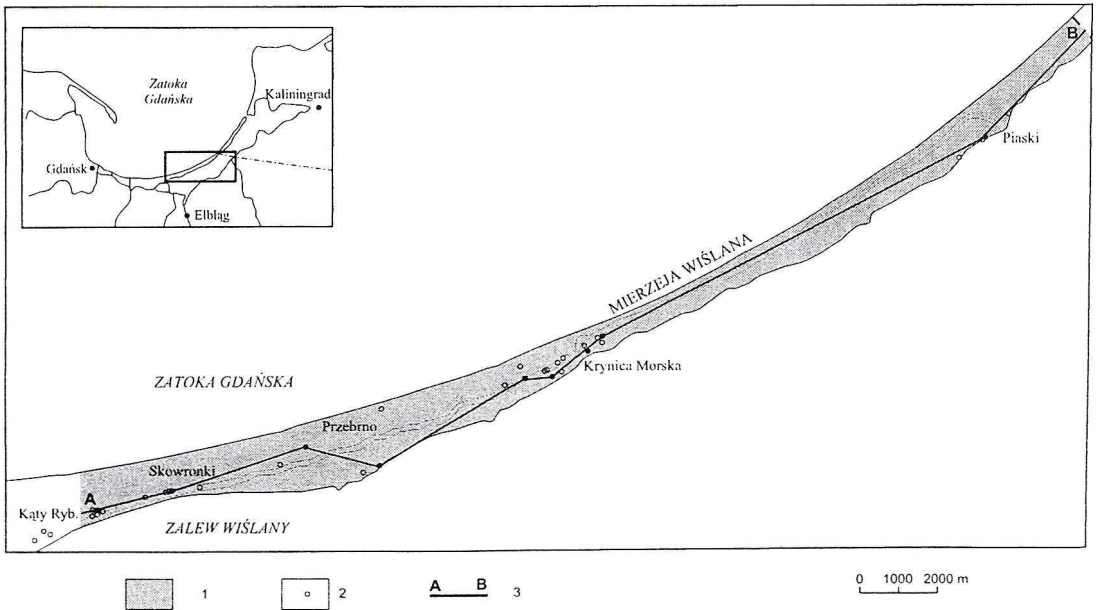
* Dr inż., Zakład Hydrogeologii i Ochrony Wód AGH, Kraków.

** Mgr, Państwowy Instytut Geologiczny, Oddział Geologii Morza, Gdańsk-Oliwa.

równinę powstałą na skutek działalności akumulacyjnej Wisły. Część wschodnia obejmuje wąski pas lądu położony pomiędzy Zatoką Gdańską i Zalewem Wiślanym. Właśnie ten fragment obszaru (rys. 1), z uwagi na jego walory krajobrazowe, położenie między dwoma akwenami oraz rekreacyjny charakter zagospodarowania terenu, stał się przedmiotem specjalnego zainteresowania w zakresie gospodarki wodnej.

Odrębność warunków występowania wód podziemnych na Mierzei Wiślanej wynika z faktu, że jedynym źródłem zasilania jest infiltracja opadów atmosferycznych. Zgromadzone w tej strukturze zasoby wodne są ograniczone, ponieważ podlegają łatwemu drenażowi przez otaczające zbiorniki wód powierzchniowych. Dodatkowo, utworzona w naturalny sposób soczewa wód słodkich, w przypadku nadmiernej eksploatacji zasobów, jest zagrożona ingresją wód słonych.

Dotychczasowy stan rozpoznania geologicznego jest bardzo słaby. Nieliczne punkty badawcze, wykonane w większości jako otwory studzienne ujęć miejskich i ośrodków wypoczynkowych w Krynicy Morskiej, Kątach Rybackich i Piaskach, dostarczają informacji o zasięgu lokalnym. Wykorzystanie modelu matematycznego, mimo niedostatków rozpoznania okazało się metodą umożliwiającą opracowanie wiarygodnej prognozy hydrogeologicznej wraz z oceną zasobów dyspozycyjnych Mierzei Wiślanej. Specyficznym problemem, jaki należało uwzględnić w badaniach modelowych, było zachowanie istniejącej równowagi pomiędzy wodami słodkimi i słonymi.



Rys. 1. Szkic sytuacyjny obszaru badań

1 — obszar badań, 2 — studnie i otwory wiertnicze, 3 — linia przekroju hydrogeologicznego

Fig. 1. Location of the research area

1 — research area, 2 — wells and drill holes, 3 — line of the hydrogeological cross-section

1. Równowaga wód słodkich i słonych

W strefie wybrzeża morskiego występuje granica między dwoma środowiskami hydrogeochemicznymi. Jedno z nich — to morze, z osadami dennymi wypełnionymi słonymi wodami, drugie — to słodkie wody podziemne, występujące w warstwach wodonośnych strefy brzegowej. Oba te środowiska kontaktują się ze sobą, przy czym w warunkach naturalnych istnieje stan równowagi hydrodynamicznej i hydrogeochemicznej.

Cechą specyficzną wybrzeża jest również to, że morze stanowi podstawową bazę drenażową, zwłaszcza dla unikatowych jednostek (wyspy, mierzeje), które tworzą odrębne systemy wodonośne. W obrębie tych jednostek utwory powierzchniowe, zwykle o dużej wodoprzepuszczalności, pokrywają obszary zasilania warstw wodonośnych. Strefy drenażu wód podziemnych ciągną się wzdłuż linii brzegowych morza, a także zatok lub jezior przymorskich. Pas wzniesień wydmych jest działem wodnym, który wyznacza dwa oddzielne obiegi wód. Czas przebywania wody w systemie hydrogeologicznym mierzei lub wyspy jest bardzo krótki i wynosi do kilkunastu lat. Poziom wodonośny ograniczony jest od spągu powierzchnią rozdziału faz, tj. wód słodkich i słonych. W najszerszych przekrojach struktury hydrogeologicznej soczewa wód słodkich (zwykłych) oparta jest na stropie warstw słaboprzepuszczalnych. Miąższość tej soczewy uzależniona jest także od rzędnych swobodnego zwierciadła wody, czyli od wielkości efektywnej infiltracji opadów atmosferycznych.

Wysokość soczewy wodnej i kształt powierzchni rozgraniczającej wodę słodką od słonej określone są prawem równowagi dwóch nie mieszających się cieczy o różnej gęstości. Wynika z tego prawa, że głębokość występowania wody słonej na terenie wybrzeży morskich jest funkcją wysokości zwierciadła słodkiej wody gruntowej i ciężaru właściwego wody morskiej. W warunkach naturalnych pomiędzy wodą słodką a słoną wytwarza się stan równowagi (Bokelman 2000). Jego naruszenie następuje najczęściej wskutek ingerencji człowieka, np. poprzez pobór wody studniami, prowadzenie prac odwadniających lub uszczelnienie powierzchni terenu.

Konsekwencją eksploatacji studni jest przesuwanie się frontu (a dokładniej języka) wody słonej w kierunku ujęcia. W momencie, gdy znajdzie się on pod maksymalnym wzniesieniem zwierciadła wody w obrębie mierzei wystąpi sytuacja krytyczna. Dalszy wzrost wydajności studni spowoduje szybką ingresję wód zasolonych w jej kierunku (Sadurski 1994). Obniżenie zwierciadła wody, wytworzone w czasie pompowania studni (lej depresji), zmniejsza także wysokość słupa wody słodkiej. Na granicy wody słodkiej i słonej powstaje wówczas odwrotny stożek, stwarzający dodatkowe zagrożenie wdarcia się wody słonej do studni.

2. Uwagi o modelu hydrogeologicznym Mierzei Wiślanej

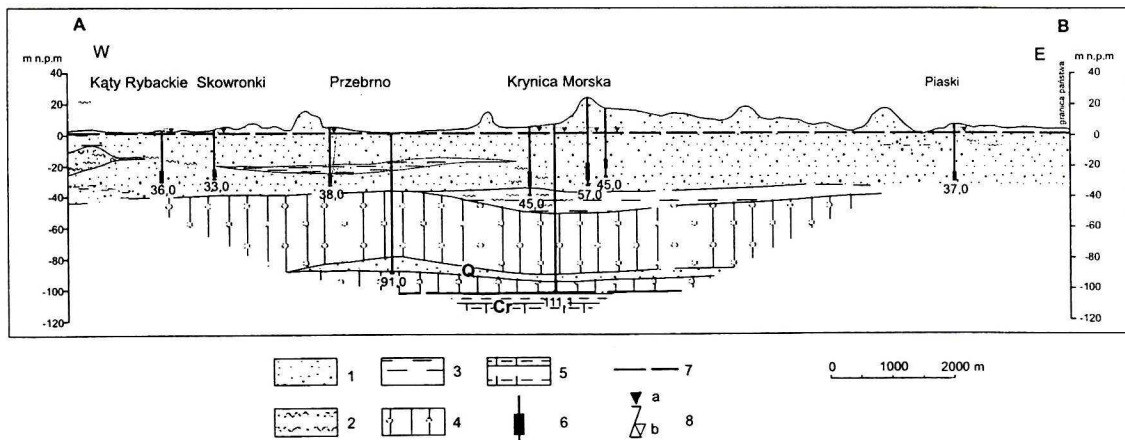
Model warstwy wodonośnej został przygotowany (Kulma i in. 2000) w oparciu o materiały dokumentacyjne, odzwierciedlające obecny stan rozpoznania geologicznego. Rozpoznanie hydrogeologiczne obszaru badań opiera się na informacjach zgromadzonych w Regionalnym Banku Danych SYSTEM HYDRO (RBDH), które w ostatnich latach stały się podstawą dla opracowania map hydrogeologicznych w skali 1 : 50 000 (Prussak 1998). Przetworzone ele-

menty rozpoznania wykorzystane zostały przy schematyzacji warunków występowania poziomu wodonośnego oraz źródeł jego zasilania i drenażu.

Bezpośrednimi badaniami symulacyjnymi objęto wschodnią część Mierzei Wiślanej o powierzchni około 40 km², leżącą w granicach państwa Polskiego. Siatkę dyskretyzacyjną utworzyło 1090 kwadratowych bloków obliczeniowych, o wymiarze $\Delta x = 200$ m, uszeregowanych w 73 wierszach i 147 kolumnach. Na etapie tworzenia modelu oraz w wyniku jego weryfikacji przyjęto następujące założenia:

— Ograniczenie obszaru badań modelowych stanowiła naturalna linia brzegowa Zatoki Gdańskiej (od północy) oraz Zalewu Wiślanego i ujściowego odcinka Wisły Królewieckiej (od południa). Wysokość zwierciadła wody w tych obszarach przyjęto jako stałą, wynoszącą 0,0 m n.p.m. Granice modelu od strony zachodniej i wschodniej miały charakter sztuczny, wyznaczony jednak przybliżonym przebiegiem linii prądu strumienia filtracyjnego.

— Warstwę wodonośną (rys. 2) stanowiły utwory czwartorzędowe (plejstoceno-holoceno), wykształcone najczęściej jako piaski drobno- i średnioziarniste, charakteryzujące się niskimi wartościami współczynnika filtracji. Ten podstawowy parametr hydrogeologiczny obejmuje wielkości od 2,5 m/d — głównie w zachodniej części obszaru między Kątami Rybackimi i Przebrnem, do 16,8 m/d — w części środkowej i wschodniej (od Krynicy Morskiej, przez Morski Las do Piasków). Średni współczynnik filtracji okazał się dość niski, bo wynosi około 5,2 m/d. Uzyskana po weryfikacji modelu przewodność czwartorzędowej warstwy wodonośnej zmienia się w przedziale od 50 do 520 m²/d, przy wielkości średniej wynoszącej około 180 m²/d.



Rys. 2. Przekrój hydrogeologiczny A-B

- 1 — piaski, 2 — mulki, 3 — ropy, 4 — gliny zwałowe, 5 — margle, 6 — otwór wiertniczy i ujęta część warstwy wodonośnej, 7 — zwierciadło wody plejstoceno-holoceno poziomu wodonośnego, 8 — zwierciadło wody podziemnej:
a — ustalona, b — nawierconca; Q — Czwartorzęd, Cr — Kreda

Fig. 2. Hydrogeological cross section A-B

- 1 — sands, 2 — muds, 3 — silts, 4 — glacial tills, 5 — marls, 6 — drilling well, well filters, 7 — groundwater level of pleistocene-holocene aquifer, 8 — groundwater table: a — stabilized, b — stated, Q — Quaternary, Cr — Cretaceous

— Położenie stropu warstwy wodonośnej, często np. w postaci wkładek utworów słaboprzepuszczalnych, wyznacza obszar możliwego występowania warunków naporowych. W przypadku braku utworów izolujących strop warstwy wodonośnej można utożsamiać z powierzchnią terenu. W obrębie Mierzei Wiślanej, dla tak zdefiniowanych warunków naporowo-swobodnych, powierzchnia stropowa kształtuje się w przedziale rzędnych od $-22,0$ m n.p.m. do około $+30,0$ m n.p.m.

— Morfologia nieprzepuszczalnego podłoża utworów wodonośnych, została w większości przyjęta w sposób przybliżony. Podstawę stanowiły wyniki wierceń (Tomczak i in. 1989; Burzyński i in. 1994), które wskazują, że spąg warstwy wodonośnej zalega najgłębiej ($-68,0$ m n.p.m.) w rejonie Przebrna, natomiast najwyżej ($-43,0$ m n.p.m.) występuje w rejonie Krynicy Morskiej. Przyjęte wielkości znajdują potwierdzenie w wynikach badań geofizycznych (Grycko, Kucharski 1994), które wskazują, że miąższość piasków zawierających wody słodkie sięga w centrum Mierzei około $45-50$ m.

— Zasilanie infiltracyjne okazało się podstawowym czynnikiem decydującym o wielkości zasobów dyspozycyjnych w obrębie wschodniej części Mierzei Wiślanej. W ciągu roku przyrost retencji wód podziemnych następuje jedynie pomiędzy wrześniem a marcem, kiedy sumy miesięczne opadów przewyższają sumy miesięczne parowania (Biernacki 1994). W obliczeniach symulacyjnych, wykonywanych dla ustalonych warunków filtracji, sezonowa zmienność zasilania infiltracyjnego nie mogła być jednak uwzględniona. Zastąpiła ją wielkość stała, reprezentatywna dla całego okresu prognozy hydrogeologicznej. Ostatecznie przyjęto wysokość opadów atmosferycznych 560 mm/rok (Malicki 1990) i wskaźnik infiltracji obejmujący przedział od $0,05$ do $0,33$ ($\eta_{sr} = 0,21$). Wykluczono możliwości lateralnego dopływu wód podziemnych od strony Wysoczyzny Elbląskiej (Sadurski i in. 1994).

— Położenie początkowego zwierciadła wód podziemnych w obliczeniach symulacyjnych zostało określone w oparciu o rozkład izol linii powierzchni wody słodkiej, obliczony na wcześniej wykonanym modelu matematycznym Mierzei Wiślanej (Burzyński i in. 1994). Uzyskany układ zwierciadła naśladuje w przybliżeniu morfologię terenu, a najwyższe wysokości hydrauliczne przypadają na centralne części wąskiej strefy filtracyjnej i wynoszą: $+0,80$ m n.p.m. — w Kątach Rybackich, $+0,60$ m n.p.m. — w Przybrnie, $+0,30$ m n.p.m. — w Krynicy Morskiej, $+0,25$ m n.p.m. — w Morskim Lesie i $+0,30$ m n.p.m. — w Piaskach.

— Czwartorzędowa warstwa wodonośna stanowi w tym rejonie jedyne źródło zaopatrzenia w wodę słodką. Eksploatowana jest przez studnie ujęć wodociągowych, zwykle skupione na niewielkim obszarze, oraz znaczną ilość rozproszonych studni przydomowych. Sumaryczna wydajność otworów studziennych w roku 1998 wynosiła około 950 m³/d i stanowiła 10% zatwierdzonych zasobów ujęć wodnych. Potrzeby wodne w sezonie letnim są o $60-80\%$ wyższe niż poza sezonem. Pobór wód podziemnych jest jednak uwarunkowany ograniczonymi możliwościami odbudowy ich zasobów oraz zachowaniem równowagi pomiędzy wodami słodkimi i słonymi.

Obliczenia symulacyjne na modelu Mierzei Wiślanej obejmowały trzy warianty prognozy, pozwalające na ocenę głównych czynników kształtujących stosunki wodne tego obszaru filtracji. Wariant 0 — miał na celu odtworzenie naturalnych warunków formowania się soczewy wód słodkich; stan taki uzyskano poprzez zaniechanie poboru wody ze wszystkich studziennych ujęć wodnych. Wariant 1 — obejmował badania zmierzające do rekonstrukcji aktualnego

(z końca 1999 r.) stanu hydrodynamicznego, był zatem etapem weryfikacji modelu. Wariant 2 — zawierał prognozę stosunków wodnych w piętrze czwartorzędowym przy optymalnym wykorzystaniu zasobów eksploatacyjnych istniejących ujęć wód podziemnych; uzyskany stan hydrodynamiczny nie narusza równowagi wód słodkich i słonych.

3. Bilans wód podziemnych

Obliczenia wykonane na modelu hydrogeologicznym Mierzei Wiślanej umożliwiają wskazanie głównych czynników kształtujących stosunki wodne tego specyficznego obszaru filtracji. Zadanie to sprowadza się do określenia relacji pomiędzy wielkością zasilania infiltracyjnego i reżimem eksploatacji wód podziemnych. Zestawienie bilansowe dostarcza szczegółowych danych dla analizy tego procesu.

Ocena zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych na obszarze Mierzei Wiślanej jest oparta o bilans wodny, uzyskany jako wynik obliczeń na modelu hydrogeologicznym. Równanie bilansowe (Macioszczyk, Kazimierski 1990; Kazimierski 1995), dostosowane do istniejących warunków pojedynczej, czwartorzędowej warstwy wodonośnej, można zapisać w postaci:

$$IE \pm R = DR + \Sigma Q \quad [1]$$

gdzie:

- elementy zasilania wód podziemnych:
 - IE — infiltracja efektywna opadów atmosferycznych,
 - R — różnice bilansowe (błąd obliczeń lub retencja);
- elementy drenażu wód podziemnych:
 - DR — drenaż do wód powierzchniowych,
 - Q — eksploatacja wód podziemnych.

Wynikająca z badań modelowych ilość wód podziemnych zamyka się sumą bilansową około 12 400 m³/d. Po stronie przychodów, w równaniu [1], wyłącznym źródłem zasilania jest infiltracja opadów atmosferycznych.

W odtworzonych warunkach naturalnych (wariant 0) rolę drenującą spełniały: Zatoka Gdańska (od strony północnej) z wydajnością 6250 m³/d (50,5% sumy bilansowej) i Zalew Wiślany (od strony południowej) — z wydajnością 5730 m³/d (46,2%). Na pozostałe 3,3% składają się odpływy w kierunku zachodnim i wschodnim oraz drenaż ujściowego odcinka Wisły Królewieckiej.

Aktualny stan hydrodynamiczny (wariant 1), w którym sumaryczny pobór wody przez studnie ujęć wodnych wynosił 950 m³/d (7,7% sumy bilansowej) spowodował niewielkie zmniejszenie drenażu przez otaczające akweny. Do Zatoki Gdańskiej odpływa w tych warunkach strumień filtracyjny o natężeniu 5880 m³/d (47,4%), natomiast do Zalewu Wiślanego — 5150 m³/d (41,5%).

Prognozowany układ optymalnego wykorzystania studni ujęciowych (wariant 2), w którym zachowany został drenujący charakter wszystkich granic zewnętrznych, wskazuje na możliwość

eksploatacji wód podziemnych z łączną wydajnością 3200 m³/d (25,8% sumy bilansowej). Osiągane przy tym poborze maksymalne obniżenie zwierciadła wody (depresja) w najbliższym otoczeniu studni (bloku obliczeniowym) nie przekracza 0,9 m. Zakładane zwiększenie wydajności ujęć wód podziemnych, w stosunku do stanu aktualnego, powoduje dalsze ograniczenie drenażu przez zbiorniki wodne otaczające Mierzeję Wiślaną. Odpływ w kierunku północnym do Zatoki Gdańskiej osiągnie wydajność 5080 m³/d (41,0%), natomiast w kierunku południowym do Zalewu Wiślanego — 3840 m³/d (31,0%). Drenaż przez pozostałe granice praktycznie nie ulega zmianie i ma zupełnie podrzędne znaczenie.

4. Zasoby dyspozycyjne czwartorzędowego piętra wodonośnego

Ilość wód podziemnych możliwych do zagospodarowania w określonych warunkach środowiskowych i hydrogeologicznych, jakie występują na części Mierzei Wiślanej otoczonej z obu stron zbiornikami słonych wód Zatoki Gdańskiej i Zalewu Wiślanego, jest w znacznym stopniu ograniczona. Wskazuje na to postać równania bilansowego [1], w którym po stronie zasilania występuje jedynie efektywna infiltracja opadów atmosferycznych. Dodatkowo, pobór wody z warstwy wodonośnej (a faktycznie z soczewy wód słodkich) musi odbywać się w sposób gwarantujący zachowanie równowagi pomiędzy wodami słodkimi i słonymi.

Wykonanie obliczeń na modelu hydrogeologicznym Mierzei Wiślanej, przy średniej w ciągu roku infiltracji opadów atmosferycznych oraz wariantach obliczeniowych różniących się wielkością poboru wody z warstwy wodonośnej (wariant 0 — brak poboru, wariant 1 — pobór aktualny, wariant 2 — pobór optymalny), dało podstawę dla określenia zasobów dyspozycyjnych. Ustalona wydajność studni eksploatacyjnych może, w niewielkim zakresie, być korygowana w zależności od zmieniających się okresowo warunków zasilania utworów wodonośnych lub sezonowego wzrostu zapotrzebowania na wody podziemne.

Obszar Mierzei Wiślanej, dla której dokonano oceny zasobów dyspozycyjnych, stanowi 35 km², jest więc o około 5 km² mniejszy niż modelowany. Wielkość zasilania infiltracyjnego przypadająca na obszar zasobowy (na odcinku od Kątów Rybackich do Piasków) wynosi 11 700 m³/d. Ostatecznie, jako wielkość zasobów dyspozycyjnych, przyjęto około 70% tej wielkości, tj. 8200 m³/d.

Podsumowanie

Plejstocénsko-holocénski poziom wodonośny na obszarze kosi Mierzei Wiślanej jest jedynym źródłem zaopatrzenia ludności w wodę. Wody tego poziomu występują w formie soczewy wód słodkich, pozostającej w bezpośrednim kontakcie z zasolonymi wodami Zatoki Gdańskiej i Zalewu Wiślanego, a także są drenowane przez te akweny. Zasoby zwykłych wód podziemnych na tym terenie formowane są wyłącznie drogą infiltracji opadów atmosferycznych. Wielkość poboru wód podziemnych musi uwzględniać więc konieczność zachowania równowagi pomiędzy wodami słodkimi i słonymi, a także uwzględniać ograniczone możliwości odbudowy zasobów wód słodkich.

Opracowanie modelu matematycznego i wykonane na modelu symulacje pozwoliły ocenić wielkość zasilania infiltracyjnego oraz ustalić warunki optymalnej eksploatacji wód podziemnych w tych specyficznych warunkach. Badania modelowe przeprowadzono dla obszaru o powierzchni około 40 km², w obrębie której zasilanie infiltracyjne oszacowano w wielkości około 12 400 m³/d. Oceny zasobów dyspozycyjnych dokonano dla powierzchni 35 km², tj. dla odcinka Mierzei od Kątów Rybackich do Piasków. Wielkość zasobów dyspozycyjnych przyjęto w wysokości 8200 m³/d.

Zatwierdzone zasoby eksploatacyjne wód podziemnych, według stanu obecnego (2001 r.) wynoszą około 9800 m³/d, są zatem nieco wyższe od obliczonych (w wyniku modelowania) zasobów dyspozycyjnych. Zapewnienie więc skutecznej ochrony ilościowej i jakościowej wód podziemnych na tym terenie wymaga dokonania redystrybucji zasobów eksploatacyjnych pomiędzy poszczególnych użytkowników. Zadaniem, które w szczególności powinno być uwzględnione przy uaktualnianiu warunków poboru wody z warstwy wodonośnej będzie konieczność rezygnacji z nadmiernego skupienia studni eksploatacyjnych na rzecz bardziej przestrzennego ich rozmieszczenia. W wielu przypadkach może to jednak oznaczać potrzebę dodatkowych inwestycji związanych z rozbudową istniejących bądź budową nowych ujęć wód podziemnych.

LITERATURA

- Biernacki M., 1994 — Bilans hydrologiczny obszaru Mierzei Wiślanej. [W:] Rozpoznanie i ocena zasobów oraz możliwości eksploatacji wód pitnych, mineralnych i termalnych oraz peloidów na Mierzei Wiślanej. Przeds. Powierniczo-Wykonawcze GLOB, Gdańsk.
- Bockelman R.H., 2000 — Development of fresh water lenses. [W:] Hydrogeology of the coastal aquifers. [Ed. A. Sadurski]. Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Toruń.
- Burzyński K., Kot A., Sadurski A., 1994 — Równowaga wód słonych i słodkich — model matematyczny. [W:] Rozpoznanie i ocena zasobów oraz możliwości eksploatacji wód pitnych, mineralnych i termalnych oraz peloidów na Mierzei Wiślanej. Przeds. Powierniczo-Wykonawcze GLOB, Gdańsk.
- Grycko M., Kucharski R., 1994 — Ocena ingresji słonych wód morskich na Mierzei Wiślanej z wykorzystaniem metody elektrooporowcj. [W:] Rozpoznanie i ocena zasobów oraz możliwości eksploatacji wód pitnych, mineralnych i termalnych oraz peloidów na Mierzei Wiślanej. Przeds. Powierniczo-Wykonawcze GLOB, Gdańsk.
- Kazimierski B., 1995 — Struktura bilansu wód podziemnych i wynikające z jej znajomości możliwości interpretacyjne. [W:] Materiały VII Ogólnopolskiego Sympozjum nt. „Współczesne problemy hydrogeologii”, t. VII, cz. 1, Kraków-Krynica.
- Kulma R., Haładus A., Szczepański A., Kania J., Zdechlik R., 2000 — Badania modelowe dla ustalenia zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych na obszarze Żuław i Mierzei Wiślanej [W:] Dokumentacja zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych Żuław i Mierzei Wiślanej — Kreczko M., Lidzbarski M., Prussak E., Kordalski Z. PIG Oddział Geologii Morza, Gdańsk.
- Macioszczyk T., Kazimierski B., 1990 — Zasady budowy modeli systemów hydrogeologicznych dla oceny zasobów dyspozycyjnych i symulacji regionalnego ich zagospodarowania. Publikacje CPBP 04.10, z. 53. Wyd. SGGW AR, Warszawa.
- Malicki J., Miszke M., 1990 — Krótka charakterystyka warunków meteorologicznych okresu pomiarowego na stacji Bielnik. IMGW Oddział Morski, Gdynia.
- Prussak E., 1998 — Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1 : 50 000 ark. Kąty Rybackie. PIG Oddział Geologii Morza, Sopot.
- Prussak E., 1998 — Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1 : 50 000 ark. Krynica Morska. PIG Oddział Geologii Morza, Sopot.

- Prussak E., 1998 — Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1 : 50 000 ark. Frombork. PIG Oddział Geologii Morza, Sopot.
- Sadurski A., Kachnic M., Krawiec A., 1994 — Warunki hydrogeologiczne Mierzei Wiślanej [W:] Rozpoznanie i ocena zasobów oraz możliwości eksploatacji wód pitnych, mineralnych i termalnych oraz peloidów na Mierzei Wiślanej. Przeds. Powierniczo-Wykonawcze GLOB, Gdańsk.
- Tomczak A., Mojski J.E., Krzywiński J., Michałowska M., Pikies R., Zachowicz J., 1989 — Nowe dane o budowie geologicznej Mierzei Wiślanej. Kwart. Geolog. 2, Warszawa.

ANDRZEJ HAŁADUS, RYSZARD KULMA, EWA PRUSSAK

GROUNDWATER RESOURCES OF THE VISTULA RIVER SANDBAR

Key words

Hydrogeology, groundwater resources, prognostic calculations

Abstract

The Pleistocene-Holocene groundwater horizon is the only source of potable water for the Vistula River Sandbar between Kąty Rybackie and the state border. Groundwater occurs here as a lens of fresh water, which remains in hydrodynamic and hydrochemical equilibrium with the surrounding saline waters of the Gdańsk Bay and Vistula Lagoon. The horizon is recharged only by meteoric waters.

The mathematical model of hydrogeological conditions in the study area based upon the current state of knowledge enabled the calculation of groundwater balance for the prognosed positions of groundwater table. The results of such simulation provide quantitative characterization of principal factors controlling the aquatic environment in the area, i.e. effective infiltration of meteoric waters, surface drainage to the Vistula River Lagoon and Gdańsk Bay and groundwater withdrawal. Moreover, the obtained results led to the calculation of disposable groundwater resources and optimization of exploitation parameters of water intakes under specific conditions of the Vistula River Sandbar. The estimated disposable resources in the study area of 35 km² reach 8,200 m³/24 h.