

RYSZARD KULMA*, ANDRZEJ HAŁADUS*, MIROSLAW LIDZBARSKI**

Zasoby wód podziemnych na obszarze Żuław Wiślanych

Słowa kluczowe

Hydrogeologia, zasoby wód podziemnych, obliczenia prognostyczne

Streszczenie

Struktura wodonośna Żuław Wiślanych obejmuje trzy poziomy wodonośne: I — plejstoceńsko-holoceni, II — różnowiekowy i III — kredowy. Występowanie I i II poziomu jest powszechne, chociaż warunki hydrogeologiczne w poszczególnych częściach delty Wisły są zróżnicowane. Poziom plejstoceńsko-holoceni najlepiej jest wykształcony na Żuławach Gdańskich (GZWP 112) i w zachodniej części Żuław Elbląskich (GZWP 203). Poziom kredowy obejmuje wschodnią część dużej struktury hydrogeologicznej — subniecki gdańskiej, znacznie wykraczającej poza obszar Żuław. Jednak użytkowe znaczenie tego zbiornika ogranicza się tylko do Żuław Gdańskich — GZWP 111. Wyodrębnione poziomy wodonośne powiązane są wspólnym systemem krążenia wód.

Obszar Żuław Wiślanych stanowi regionalną bazę drenażu wszystkich poziomów wodonośnych. Naturalne kierunki przepływów pionowych, skierowane ku powierzchni terenu, zostały znacznie zaburzone w wyniku intensywnej eksploatacji wód podziemnych. Największe zmiany obserwuje się w rejonie Gdańska i Elbląga, gdzie depresje regionalne sięgają kilkunastu metrów. Aktualna eksploatacja wód podziemnych wynosi około 122 000 m³/d, w tym najwięcej, bo około 63 000 m³/d, z poziomu plejstoceńsko-holoceni.

Głównym źródłem formowania zasobów wód podziemnych wszystkich poziomów wodonośnych jest dopływ lateralny z obszaru Pojezierza Kaszubskiego i Starogardzkiego oraz z Pojezierza Iławskiego. Udział bezpośredniego zasilania infiltracyjnego na Żuławach Wiślanych jest znacznie ograniczony z uwagi na izolujący charakter utworów (namuły) przykrywających prawie cały obszar oraz rozbudowany system melioracyjny, odbierający większą część opadów atmosferycznych.

Czynnikami ograniczającym możliwość eksploatacji wód podziemnych są uwarunkowania hydrodynamiczne wykluczające możliwość obniżenia zwierciadła wód w poziomie plejstoceńsko-holoceni poniżej spągu pokrywy utworów izolujących oraz jakość wód podziemnych. Na znacznych obszarach Żuław Wielkich i Elbląskich wysoka koncentracja chlorków, żelaza, manganu i fluorków w wodach podziemnych pozbawia poziomy wodonośne cech użytkowych.

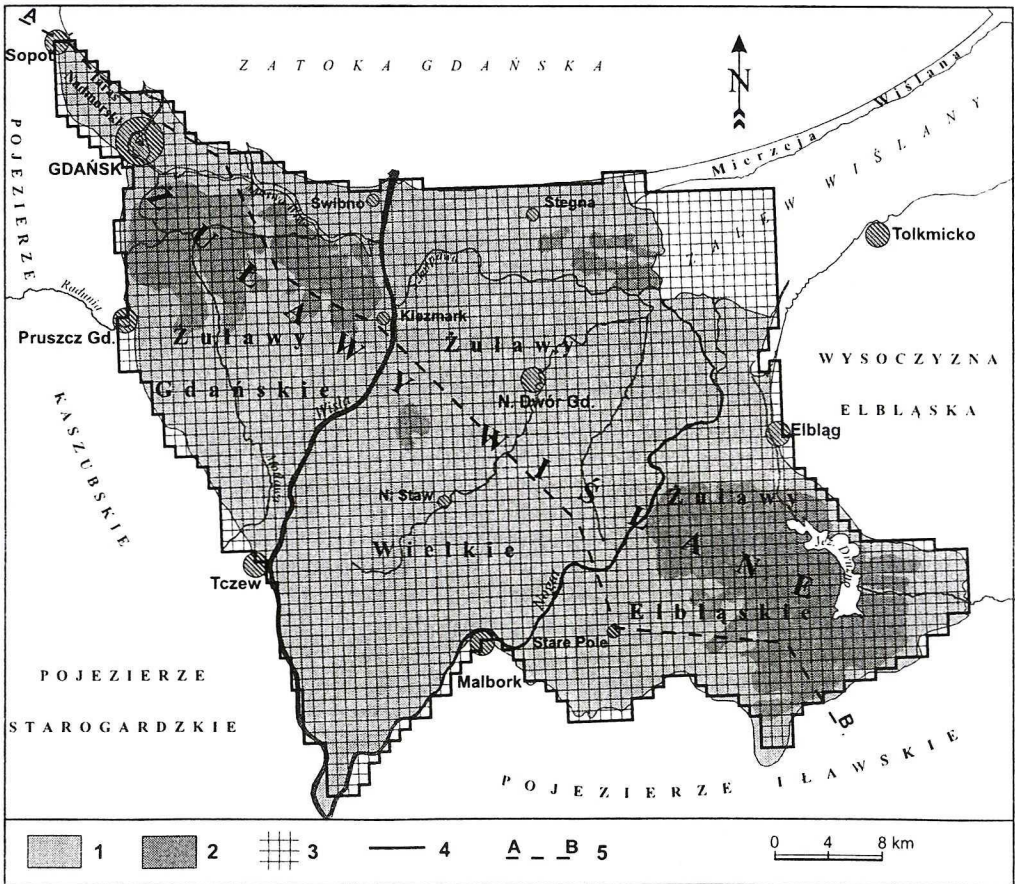
* Dr inż., Zakład Hydrogeologii i Ochrony Wód AGH, Kraków.

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

Badania modelowe obejmowały trzy poziomy wodonośne występujące na obszarze delty Wisły. Granice zewnętrzne modelu zostały oparte na naturalnych elementach morfologicznych (krawędzie wysoczyzn pojeziernych) oraz na brzegu morskim. W wyniku obliczeń symulacyjnych zostały ustalone warunki optymalnej eksploatacji wód podziemnych dla całej struktury wodonośnej oraz w odniesieniu do podziału regionalnego Żuław. Łącznie dla całych Żuław Wiślanych zasoby dyspozycyjne wynoszą 212 880 m³/d.

Wprowadzenie

Eksploatacja poziomów wodonośnych na obszarze Żuław Wiślanych istotnie zaburza naturalne warunki i w konsekwencji może doprowadzić do powstania bądź utrwalenia nie-

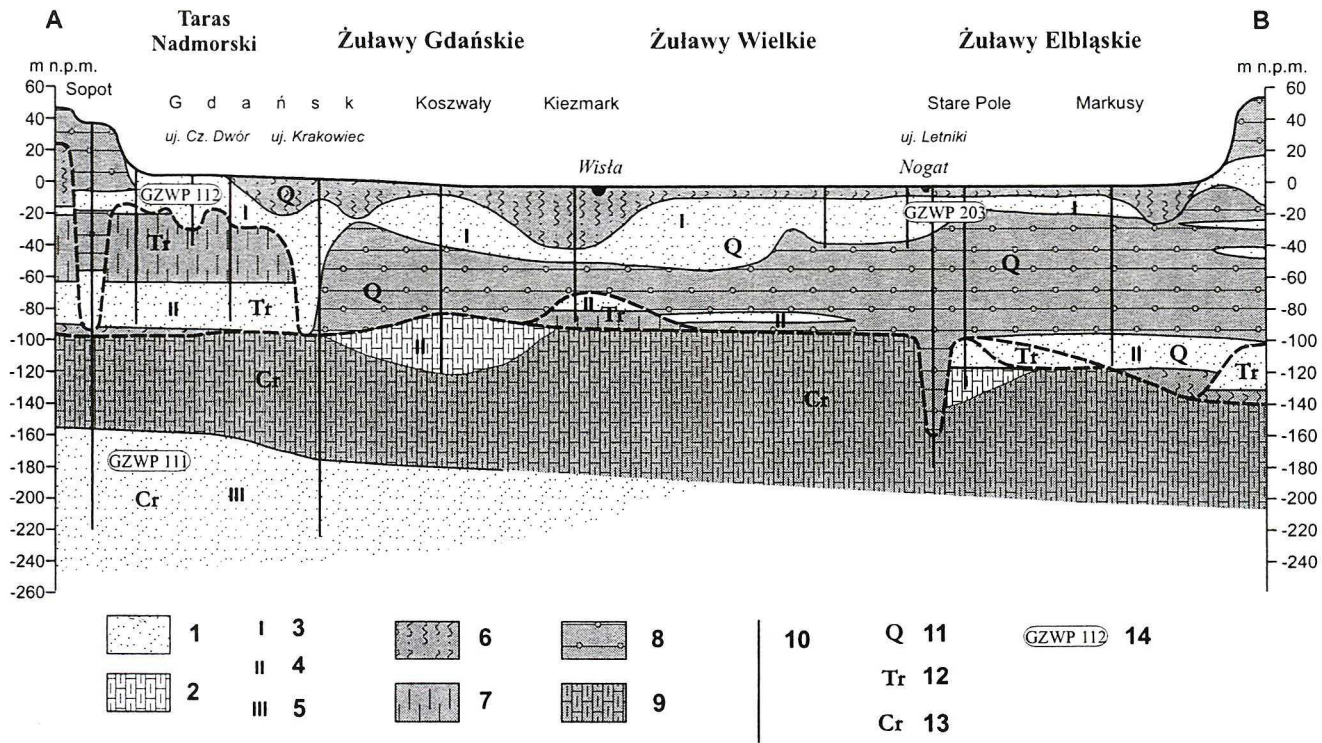


Rys. 1. Lokalizacja obszaru badań

1 — delta Wisły (Żuławy Wiślane), 2 — depresja (< 0 m n.p.m.), 3 — siatka dyskretyzacji, 4 — granica badań modelowych, 5 — linia przekroju hydrogeologicznego

Fig. 1. Location of the investigated area

1 — Vistula Delta River, 2 — depression (< 0 m. a.s.l.), 3 — discretization network, 4 — modeling boundary, 5 — lines of hydrogeological cross-section



Rys. 2. Przekrój hydrogeologiczny

I, 2 — utwory wodonośne: 1 — piaski, 2 — margle, 3 — pierwszy poziom wodonośny (plejstoceńsko-holoceniński), 4 — drugi poziom wodonośny („różnowickowy”), 5 — trzeci poziom wodonośny (kredowy), 6, 7, 8, 9 — utwory rozdzielające: mułki (6), il (7), glina (8), margle (9), 10 — otwory wiercnicze, 11, 12, 13 — stratygrafia: czwartorzęd (11), trzeciorzęd (12), kreda (13), 14 — Główne Zbiorniki Wód Podziemnych (GZWP)

Fig. 2. Hydrogeological cross-section

1, 2 — groundwater aquifers: 1 — sands, 2 — marl, 3 — first groundwater aquifer (Pleistocene-Holocene), 4 — second groundwater aquifer (Quaternary-Tertiary-Cretaceous), 5 — third groundwater aquifer (Cretaceous), 6, 7, 8, 9 — confining layers: silt (6), clay (7), till (8), marl (9), 10 — wells, 11, 12, 13 — Stratigraphy: Quaternary (11), Tertiary (12), Cretaceous (13), 14 — major groundwater basin (MGB)

korzystnych tendencji hydrodynamicznych. W tej sytuacji nieodzownym działaniem jest prowadzenie racjonalnej gospodarki wodnej odnoszącej się do całego obszaru zbiornika. Wiąże się to z koniecznością respektowania wyznaczonych stref ochronnych ujęć wodnych oraz weryfikacją wydanych pozwoleń wodno-prawnych. Podstawy podejmowania decyzji dotyczących wielkości poboru wód podziemnych powinny być oparte na wiarygodnych obliczeniach, uwzględniających wszystkie uwarunkowania wynikające z budowy geologicznej, stosunków wodnych oraz potrzeb komunalnych i przemysłowych rozpatrywanego obszaru.

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 (Kreczko 1998; Lidzbarski 1998; Prussak 1998; Uścińowicz 1998). Przetworzone elementy rozpoznania wykorzystane zostały przy schematyzacji warunków występowania poziomów wodonośnych oraz źródeł ich zasilania i drenażu.

Użytkowe znaczenie dla zaopatrzenia w wodę pitną i przemysłową mają trzy główne poziomy wodonośne: czwartorzędowy — w utworach piaszczysto-żwirowych, różnowiekowy — obejmujący piaszczyste osady trzeciorzędu, najstarszych ogniw plejstocenu i serię węglanowo-krzemionkową górnej kredy, oraz kredowy — związany głównie z utworami piasków glaukonitowych.

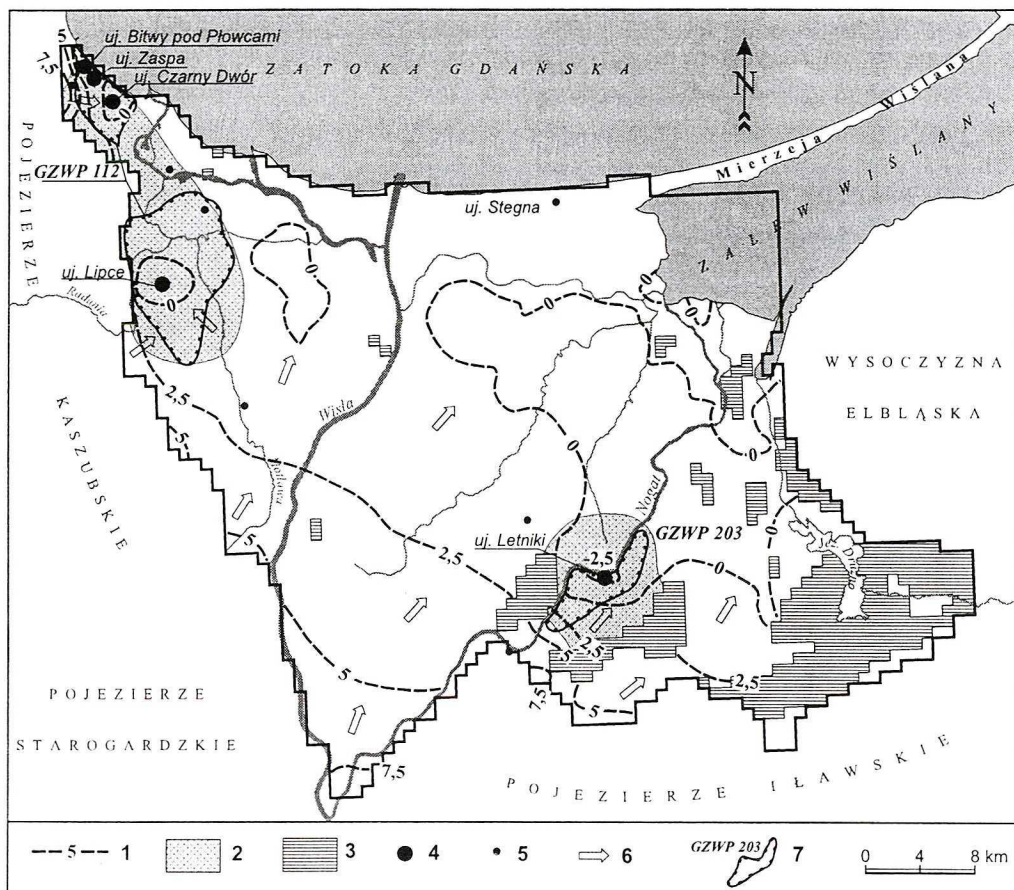
Z uwagi na znaczne podobieństwo warunków hydrogeologicznych i wspólny system wodonośny do obszaru badań został włączony również Taras Nadmorski, stanowiący naturalne przedłużenie delty Wisły w kierunku północnym (rys. 1). Ta niewielka jednostka, o powierzchni kilkunastu kilometrów kwadratowych, spełnia ważną rolę zaopatrzenia w wodę do celów komunalnych i przemysłowych zespołu miejskiego Gdańsk-Sopot. Wody podziemne występują tutaj w trzech poziomach wodonośnych: plejstoceńsko-holocieńskim, oligocieńskim i kredowym (rys. 2).

1. Warunki formowania zasobów wód podziemnych

1.1. Czwartorzędowy poziom wodonośny

Wodonośne twory czwartorzędu rozprzestrzeniają się praktycznie na całym obszarze Żuław Wiślanych. Ich brak stwierdzono jedynie w południowo-wschodniej części Żuław Elbląskich (rys. 3). Główny poziom, o znaczeniu użytkowym, tworzą piaski i żwiry pochodzenia wodnolodowcowego, zaliczane pod względem stratygraficznym do plejstocenu i holocenu.

Miąższość serii piaszczystej jest znacznie zróżnicowana, zależna w dużej mierze od morfologii stropu nieprzepuszczalnego podłoża. Największe miąższości, dochodzące do 80 m, stwierdzone zostały w obrębie kopalnej doliny erozyjnej przebiegającej po stronie zachodniej przez przykrawędziową część Żuław Gdańskich. Najmniejsze miąższości, poniżej 10 m, występują na obszarze Żuław Elbląskich, w południowej części Żuław Wielkich oraz w południowej i centralnej części Żuław Gdańskich. Przewodność serii wodonośnej wynosi zwykle od 700 do 1500 m²/d, a przy sprzyjających warunkach hydrogeologicznych sięgać może nawet do 4500 m²/d.



Rys. 3. Mapa hydroizohips I poziomu wodonośnego (na podstawie badań modelowych)

1 — hydroizohipsy I poziomu wodonośnego (m n.p.m.), 2 — strefy depresyjnego oddziaływania ujęć wód podziemnych (poniżej 2 m), 3 — obszary pozbawione I poziomu wodonośnego, 4, 5 — ujęcia wód podziemnych osiągające wydajność: 300–700 m³/h (4), < 20 m³/h (5), 6 — kierunki przepływu wód podziemnych, 7 — Główne Zbiorniki Wód Podziemnych (GZWP)

Fig. 3. Equipotential map of I aquifer groundwater level (according to modelling researches)

1 — hydroizohypse of I aquifer (m. a.s.l.), 2 — the zones in groundwater intakes depressive influence (below 2 m), 3 — area without I aquifer, 4, 5 — groundwater intakes with well discharge: 300–700 m³/h (4), < 20 m³/h (5), 6 — groundwater flow direction, 7 — major groundwater basin (MGB)

Plejstocénsko-holocénski poziom wodonośny zasilany jest głównie wodami podziemnymi dopływającymi lateralnie z obszarów wysoczyznowych Pojezierza Kaszubskiego, Pojezierza Iławskiego i Wysoczyzny Elbląskiej, otaczających deltę Wisły. Mniejszą rolę w formowaniu zasobów wodnych spełnia ascenzja z głębszych poziomów wodonośnych. Na ogół przyjmuje się (Janik i in. 1996), że zasilanie powierzchniowe, pochodzące z infiltracji opadów atmosferycznych, nie ma większego znaczenia z uwagi na obecność utworów słaboprzepuszczalnych (namulów) występujących w nadkładzie i odwadnianie Żuław Wiślanych systemem melio-

racyjnym. Wyjątek w tym względzie stanowią jedynie południowe fragmenty Żuław Gdańskich wraz z ich strefą krawędziową i rejon Tarasu Nadmorskiego.

Zwierciadło wody, zwykle o charakterze lekko napiętym, na znacznej części obszaru deltowego kształtuje się na rzędnych niewiele przekraczających 0 m n.p.m. lub poniżej tego poziomu. Położenie powierzchni piezometrycznej jest wynikiem działania rozbudowanego systemu odwadniającego, który zapewnia warunki dla rolniczego i przemysłowego wykorzystania obszarów depresyjnych. Wzrost wysokości hydraulicznych w czwartorzędowym piętrze wodonośnym, do kilku metrów n.p.m., obserwowany jest w miarę zbliżenia do strefy krawędziowej Żuław, zwłaszcza od strony zachodniej i południowej. Wskazuje to na kierunki i główne źródła zasilania warstw wodonośnych leżące w obrębie strefy krawędziowej lub poza obszarem delty Wisły.

Czwartorzędowy poziom wodonośny spełnia ważną rolę w zaspokajaniu komunalnych i przemysłowych potrzeb wodnych na obszarze Żuław Wiślanych. Eksploatacja zasobów w roku 1998 wynosiła około 65 000 m³/d. Zdecydowanie największy pobór wody (ponad 60%) skupiony jest w rejonie aglomeracji miejskiej Gdańska, a dominują ujęcia miejskie „Lipce”, „Czarny Dwór” i „Zaspa” (rys. 3).

1.2. Różnowiekowy poziom wodonośny

Taką nazwą określane są utwory wodonośne, które stratygraficznie należą do górnej kredy, trzeciorzędu i dolnego czwartorzędu (Kozerski, Kwaterkiewicz 1984). Praktycznie rozciągają się one na całym obszarze delty Wisły, ich brak lub bardzo wyraźną redukcję miąższości obserwuje się jedynie w zachodnim fragmencie Żuław Gdańskich. Geneza osadów, jak również charakter i sposób występowania wód w ich obrębie są bardzo zróżnicowane.

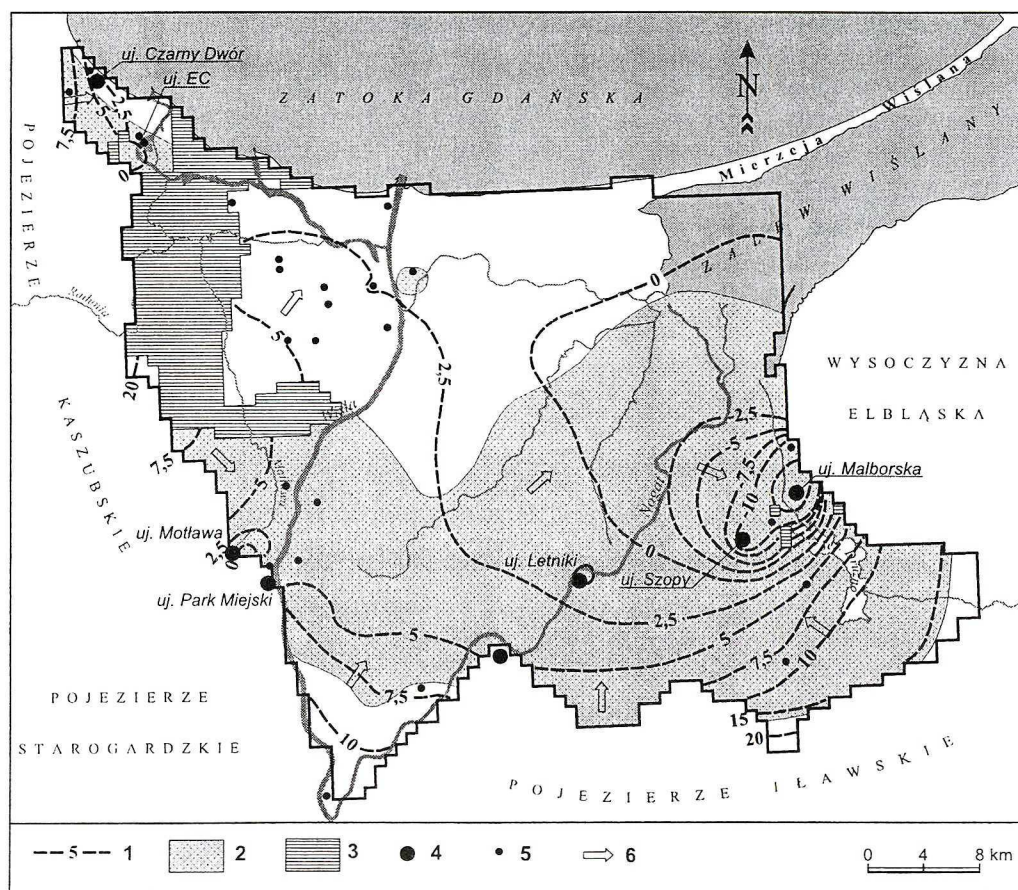
Największe znaczenie użytkowe ma różnowiekowy poziom wodonośny na obszarze Żuław Elbląskich (rys. 1, 2 i 4), gdzie w obniżeniu erozyjnym podłoża kenozoicznego, ciągnącym się od Elbląga w kierunku południowym, nastąpiło znaczne nagromadzenie osadów piaszczystych. Miąższość warstwy wodonośnej wynosi średnio od 30 do 50 m, a lokalnie, np. w rejonie Wiśniewa, dochodzi do 70 m. Przewodność hydrauliczna waha się zwykle w przedziale 240—480 m²/d, osiągając maksymalnie około 1700 m²/d (w rejonie ujęcia „Elbląg-Malborska”).

Powszechne występowanie różnowiekowego poziomu wodonośnego zostało stwierdzone również w południowej części Żuław Wielkich i wschodniej części Żuław Gdańskich. Miąższość utworów piaszczystych jest tu jednakże mniejsza i wynosi średnio około 20 m. W kierunku północnym obserwuje się dalsze stopniowe ograniczanie miąższości osadów piaszczystych. Odmierna sytuacja występuje na Tarasie Nadmorskim, gdzie wodonośne utwory oligocenu stanowią wyróżniający się zbiornik wód podziemnych kontynuujący się również na obszar Pojezierza Kaszubskiego. Miąższość warstwy wodonośnej wynosi 15—25 m, a przewodność hydrauliczna sięga 1500 m²/d.

Na prawie całym obszarze Żuław wodonośne utwory poziomu różnowiekowego podścielone są serią węglanowo-krzemionkową górnej kredy, które prowadzą wody typu szczelinowego. Studnie pobierają wody podziemne bądź z utworów węglanowych, bądź z nadległych trzecio- i czwartorzędowych piasków.

Pobór wody z utworów tworzących poziom różnowiekowy w roku 1998 wynosił około 45 000 m³/d, z czego ujęcia miejskie Tczewa, Szop i Elbląga wykorzystują ponad 60%. Hydrodynamicznym skutkiem długotrwałego, skupionego poboru wody jest lej depresyjny o znacznym zasięgu, w którego centrum znajduje się ujęcie „Elbląg-Malborska”. Poziom zwierciadła wody obniżył się tam do rzędnej około -30 m n.p.m. (rys. 4).

Zwierciadło wód podziemnych w warunkach niezaburzonych eksploatacją kształtowało się zwykle na wysokości od około 15 m n.p.m. na Żuławach Wielkich do około 512 m n.p.m. w części południowo-wschodniej Żuław Elbląskich i Tarasu Nadmorskiego. W kierunku



Rys. 4. Mapa hydroizohips II poziomu wodonośnego (na podstawie badań modelowych)

1 — hydroizohipsy II poziomu wodonośnego (m n.p.m.), 2 — strefy depresyjnego oddziaływania ujęć wód podziemnych (poniżej 2 m), 3 — obszary pozbawione II poziomu wodonośnego, 4, 5 — ujęcia wód podziemnych osiągające wydajność: 100—400 m³/h (4), < 100 m³/h (5), 6 — kierunki przepływu wód podziemnych

Fig. 4. Equipotential map of II aquifer groundwater level (according to modelling researches)

1 — hydroizohypse of II aquifer (m. a.s.l.), 2 — the zones in groundwater intakes depressive influence (below 2 m), 3 — area without II aquifer, 4, 5 — groundwater intakes with well discharge: 100—400 m³/h (4), < 100 m³/h (5), 6 — groundwater flow direction

granicy z Pojezierzem Iławskim, skąd dopływa główny strumień lateralnego zasilania, powierzchnia piezometryczna wznosi się na wysokość 10—25 m n.p.m. Częściowe zasilanie boczne pochodzi również od strony wschodniej, z obszaru Wysoczyzny Elbląskiej. Na Tarasie Nadmorskim wodonośne utwory oligocenu zasilane są głównie z obszaru Pojezierza Kaszubskiego.

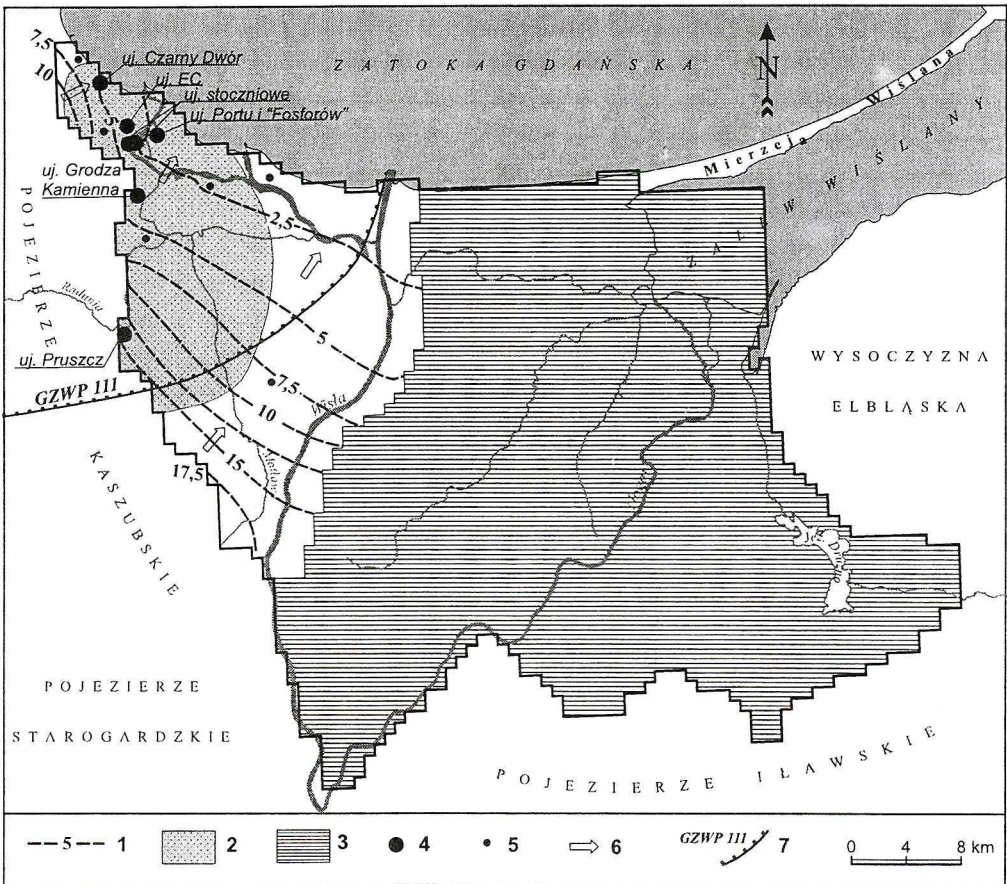
Różnowiekowa seria wodonośna przykryta jest z reguły kompleksem utworów słabo-przepuszczalnych, wykształconych głównie w postaci glin zwałowych, niekiedy iłów i mułków (rys. 2). Miąższość tej warstwy jest bardzo zmienna i wynosi od 30 do ponad 100 m. Lokalnie, np. w rejonie Niedźwiedzicy i Rybiny, stwierdzono także obecność okien hydrogeologicznych umożliwiających bezpośredni kontakt hydrauliczny z nadległym poziomem wodonośnym.

1.3. Kredowy poziom wodonośny

Występuje w obrębie rozległej struktury hydrogeologicznej, której zachodnia część obejmuje Żuławy Gdańskie, Taras Nadmorski i fragment Żuław Wiślanych (Burzyński, Sadurski 1980). W tym rejonie (rys. 1 i 5) główna seria wodonośna zbudowana jest z drobnoziarnistych piasków kwarcowo-glaukonitowych. W stropie i spągu tej serii stwierdzone zostały utwory słaboprzepuszczalne, umożliwiające powstanie basenu artezyjskiego. Izolujący charakter warstw podścielających ma znaczenie zwłaszcza jako zabezpieczenie przed dopływem słonych wód z piętra jurajskiego i triasowego.

Najkorzystniejsze warunki hydrogeologiczne związane są z centralną częścią basenu kredowego, w rejonie Gdańska, gdzie miąższość utworów wodonośnych dochodzi do 150 m, a przewodność osiąga około 600 m²/d (Sadurski 1983, 1986). W kierunku brzeżnych stref zbiornika obserwuje się stopniowe pogorszenie parametrów filtracyjnych warstwy wodonośnej. Zasilanie wód tego piętra ma charakter pośredni i odbywa się poprzez przesączanie z wyżej leżących warstw wodonośnych. Proces ten ma największe nasilenie w centralnych rejonach Pojezierza Kaszubskiego (Kozerski 1988), gdzie rzędne powierzchni piezometrycznej dochodzą do 150 m n.p.m.

Wody piętra kredowego eksploatowane są głównie w rejonie Gdańska. Łączny pobór w roku 1998, przez ujęcia miejskie i przemysłowe, wyniósł około 30 000 m³/d. Obecny stan zwierciadła wody w piętrze kredowym jest wynikiem prowadzonej przez kilkadziesiąt lat intensywnej eksploatacji (rys. 5). Powstały lej depresyjny osiągnął znaczące rozmiary, a w jego centrum, położonym w rejonie Gdańska Wrzeszcza, wysokość hydrauliczna została obniżona do kilku metrów poniżej poziomu morza. Skalę tego zjawiska podkreśla fakt, że w naturalnych warunkach filtracji powierzchnie ciśnień piezometrycznych układały się na rzędnych około 20 m n.p.m. przy zachodniej krawędzi Żuław i około 5 m n.p.m. w części wschodniej Żuław Gdańskich (Janik i in. 1996). Od drugiej połowy lat dziewięćdziesiątych obserwuje się proces wypełniania leja depresji na skutek ograniczonej eksploatacji wód podziemnych. W wielu miejscach zwierciadło stabilizuje się nawet powyżej powierzchni terenu. Zarówno w warunkach naturalnych, jak i obecnie wody basenu artezyjskiego są ważnym źródłem zasilania wyższych poziomów wodonośnych, szczególnie w strefie aktywnej wymiany wód obejmującej zachodnią część Żuław Gdańskich.



Rys. 5. Mapa hydroizohips III poziomu wodonośnego (na podstawie badań modelowych)

1 — hydroizohipsy III poziomu wodonośnego (m n.p.m.), 2 — strefy depresyjnego oddziaływania ujęć wód podziemnych (poniżej 2 m), 3 — obszary pozbawione III poziomu wodonośnego, 4, 5 — ujęcia wód podziemnych osiągające wydajność: 100-200 m³/h (4), < 100 m³/h (5), 6 — kierunki przepływu wód podziemnych, 7 — Główne Zbiorniki Wód Podziemnych (GZWP)

Fig. 5. Equipotential map of III aquifer groundwater level (according to modelling researches)

1 — hydroisohypse of I aquifer (m. a.s.l.), 2 — the zones in groundwater intakes depressive influence (below 2 m), 3 — area without III aquifer, 4, 5 — groundwater intakes with well discharge: 100-200 m³/h (4), < 100 m³/h (5), 6 — groundwater flow direction, 7 — major groundwater basin (MGB)

1.4. Czynniki kształtujące zasoby

Na wielkość zasobów dyspozycyjnych w użytkowych poziomach wodonośnych Żuław Wiślanych wpływają czynniki naturalne: zasilenie, drenaż, budowa geologiczna i kontakty wód podziemnych z powierzchniowymi oraz czynniki antropogeniczne, wynikające z charakteru prac inżynierskich (drenaż ujęć, melioracje, kanały itp.),

Pierwsza grupa czynników stanowi o warunkach hydrodynamicznych, związanych z regionalnym systemem krążenia wody. Kozerski i Kwaterkiewicz (1990) wydzielają pięć stref hydrodynamicznych różniących się sposobami zasilania, relacjami ciśnień w poszczególnych warstwach wodonośnych tworzących zbiorniki użytkowe oraz własnościami hydrogeologicznymi utworów je budujących. Naturalną granicę regionalnego przepływu na obszarze Żuław i otaczających je wysoczyznach stanowi seria nieprzepuszczalnych utworów mułowcowo-ilastych kredy. Do głębokości jej występowania istnieją warunki sprzyjające intensywnej wymianie wód słodkich. Głównymi obszarami zasilania i przepływu wód podziemnych zbiorników kredowych i kenozoicznych są wysoczyzny Pojezierza Kaszubskiego i Hławskiego oraz Pojezierza Starogardzkiego i Wysoczyzny Elbląskiej. Żuławy Wiślane stanowią natomiast regionalną bazę drenażową, w obrębie której wody spływają do cieków i zbiorników powierzchniowych. Lokalne bazy drenażowe tworzą się w otoczeniu ujęć wód podziemnych i systemów melioracyjnych.

Specyfika uwarunkowań hydrodynamicznych oraz płaszczyzny rozdziału wód słodkich i stonych (zatoki i zalewu) różnicują i ograniczają wielkość zasobów dyspozycyjnych zbiorników wód podziemnych (Burzyński, Sadurski 1995). Występują także trudności w określeniu wielkości tych zasobów w skali regionu. Najwłaściwszym sposobem ich określenia jest w tym przypadku wyznaczenie granic przestrzennych poszczególnych zbiorników wód podziemnych oraz rozpoznanie ilościowe wielkości ich zasilania i drenażu (naturalnego i związanego z eksploatacją ujęć, drenażem bądź nawodnieniem części ich powierzchni itp.).

Wielkość zasobów dyspozycyjnych czwartorzędowych zbiorników wód podziemnych (GZWP 112 — Żuławy Gdańskie, GZWP 203 — Dolina Letniki i GZWP 204 — Żuławy Elbląskie) kształtuje się pod wpływem wielu różnorodnych czynników. Zasadnicze znaczenie ma lateralny dopływ z wysoczyzn pojeziernych oraz ascenzja wód ze struktur kredowych i głębszych kenozoicznych. Infiltracja opadowa, z uwagi na znaczne powierzchniowo przykrycie warstw wodonośnych utworami słaboprzepuszczalnymi oraz odwadnianie delty systemem melioracyjnym, odgrywa mniejszą rolę.

Zbiornik kredowy (GZWP 111 — subniecka gdańska) zasilany jest głównie z obszaru Pojezierza Kaszubskiego, poprzez pośrednią infiltrację opadową i przeciekanie lub przepływ z wyżej leżących struktur kenozoicznych. Strefę drenażu regionalnego stanowią obszar Żuław Gdańskich i Zatoki Gdańskiej. Różnice ciśnień między tymi strefami sięgały w naturalnych warunkach od 130 do 150 m. Wody tego zbiornika są równocześnie przedmiotem intensywnej eksploatacji (znaczne obniżenie ciśnienia w pobliżu największych ujęć) oraz stanowią o zasilaniu wyżej leżących wód kenozoicznych w obrębie Żuław Gdańskich, częściowo także Żuław Wielkich. Na obszarze Żuław Elbląskich częstą formą umożliwiającą przepływ strumienia filtracyjnego są erozyjne wcięcia w podłoże kredowe i powstałe w ten sposób bezpośrednie kontakty hydrauliczne.

2. Model hydrogeologiczny Żuław Wiślanych

Na obszarze Żuław Wiślanych stosowanie powszechnych metod określania wielkości zasobów dyspozycyjnych (Paczyński i in. 1996) napotyka na ogromne trudności. Determinują je

bowiem nie tylko czynniki naturalne, ale także i antropogeniczne: pompowanie z polderów (44—353 mm słupa wody/rok), nawodnienia (100—250 mm/rok) oraz charakter zagospodarowania powierzchni i związany z tym stopień zdegradowania wód podziemnych. Na problemy w ustalaniu rzeczywistych wielkości zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych całego regionu Żuław wpływ ma także ich intensywna eksploatacja przez około 2000 studni. Nie do końca określone są także granice występowania zbiorników użytkowych. W tej sytuacji jedynym sposobem określenia wielkości regionalnych zasobów dyspozycyjnych jest modelowanie matematyczne, w którym mogą być uwzględnione wyżej opisane, skomplikowane warunki zasilania, drenażu i przepływu wód tworzących gdański system wodonośny.

Model warstw wodonośnych opracowany został (Kulma i in. 2000) w oparciu o dotychczasowy stan rozpoznania geologicznego. Bezpośrednimi badaniami modelowymi objęty został obszar około 1954,56 km² podzielony na kwadratowe bloki obliczeniowe (rys. 1) o wymiarach $x = y = 800$ m. Praktycznie wszystkie granice wyznaczające zewnętrzny zarys modelu miały naturalny charakter. Od północy była to linia brzegowa Zatoki Gdańskiej na odcinku od Sopotu do Kątów Rybackich. Z pozostałych stron brzeg modelu przebiegał wzdłuż krawędzi wysoczyznowej Pojezierza Kaszubskiego (od zachodu), Pojezierza Iławskiego (od południa) i Wysoczyzny Elbląskiej (od wschodu). Jedynie w północno-wschodnim fragmencie modelu granica miała charakter umowny. Dwie przyjęte linie, o przebiegu równoleżnikowym i południkowym, sztucznie wyznaczyły część Zalewu Wiślanego włączoną do obliczeń symulacyjnych (rys. 1).

Płynące przez obszar delty główne rzeki: Wisła i Nogat oraz ich dopływy, w tym: Motława wraz z Radunią i Martwa Wisła (na Żuławach Gdańskich), Szarpawa, Wisła Królewiecka, Linawa, Tuga-Święta i kanał Panieński (na Żuławach Wielkich) oraz Elblążka-Elbląg, Cieplicówka, Balewka, Dzierzgon, kanał Jagielloński i jezioro Druzno (na Żuławach Elbląskich) — stanowiły wewnętrzne warunki brzegowe. Taką samą rolę spełniał na modelu polderowy system rowów i kanałów odwadniająco-nawadniających oraz ujęcia wód podziemnych.

Model hydrogeologiczny Żuław Wiślanych charakteryzuje się określonymi parametrami warstw wodonośnych, do których należą między innymi: wysokości położenia stropu i spągu, współczynniki filtracji oraz wysokość hydrauliczna. Wielkości te w sposób ogólny zostały omówione uprzednio. Model wyróżniają jednak przedstawione poniżej cechy szczególne.

Warunki brzegowe obliczeń symulacyjnych. Jednoznaczność rozwiązania symulacyjnego w ustalonym reżimie filtracji związana jest z przyjęciem właściwych warunków brzegowych. Zapewnić mają one podobieństwo zasilania lub drenażu warstw wodonośnych zarówno dla stanów naturalnych, jak i wymuszonych działaniem systemów melioracyjnych oraz eksploatacją ujęć wód podziemnych.

Warunki brzegowe I rodzaju ($H = \text{const.}$) przyjęto na granicy z Zatoką Gdańską, pozostającej w dobrej więzi hydraulicznej z czwartorzędową warstwą wodonośną. Warunki brzegowe II rodzaju ($Q = \text{const.}$) wykorzystano do odwzorowania infiltracyjnego zasilania czwartorzędowego poziomu wodonośnego przez opady atmosferyczne oraz działania ujęć eksploatacyjnych warstwy wodonośnej z określoną wydajnością. Warunki brzegowe III rodzaju ($Q = f(\Delta H)$) uwzględniały sytuacje, w których ma miejsce pośredni kontakt hydrauliczny wód powierzchniowych i podziemnych lub między różnymi poziomami wodonośnymi rozdzielonymi warstwą osadów słaboprzepuszczalnych.

Zasilanie infiltracyjne. Dla warstwy czwartorzędowej wielkość zasilania infiltracyjnego została przyjęta z uwzględnieniem wysokości opadów atmosferycznych i wykształcenia litologicznego utworów strefy aeracji. Wykorzystane zostały obserwacje hydrologiczne opracowane (Malicki, Miszke 1990) w postaci rozkładu średnich rocznych sum opadów. Najniższe z nich, o wysokości 520 mm/rok, związane są z rozwidleniem Wisły i Nogatu (południowy fragment Żuław Wiślanych) oraz strefą brzegową Zatoki Gdańskiej (północny fragment Żuław Gdańskich). Wielkości maksymalne opadów atmosferycznych, przekraczające 760 mm/rok, odnotowane zostały już poza deltą Wisły, na obszarze Wysoczyzny Elbląskiej między Elblągiem a Tolkmickiem.

O wielkości zasilania infiltracyjnego decydują również inne czynniki, związane głównie z ukształtowaniem terenu i rodzajem utworów geologicznych w strefie przypowierzchniowej. Mimo bardzo dogodnych warunków morfologicznych (niewielkie deniwelacje terenu) przeważa niski wskaźnik infiltracji. Wynika on w głównej mierze z przepuszczalności utworów występujących ponad zwierciadłem wód podziemnych pierwszej warstwy wodonośnej. Warunki te należą jednak do skrajnie zróżnicowanych. Sprzyjające są w rejonie Tarasu Nadmorskiego oraz strefie przybrzeżnej Zatoki Gdańskiej, gdzie powierzchniowe zasilanie wód podziemnych zachodzi praktycznie bez przeszkód. Niekorzystne są natomiast na obszarach polderowych, odwadnianych systemami melioracyjnymi, przy znikomym możliwościach przenikania wód opadowych.

Odsunięte granice modelu. Wyniki obecnego rozpoznania hydrogeologicznego potwierdzają ogólnie przyjmowany pogląd (Burzyński, Sadurski 1980; Kozerski 1988; Kozerski, Kwaternikiewicz 1990; Zaleski 1988), że utwory wodonośne budujące Żuławę Wiślana są w znaczącej ilości zasilane przez dopływ boczny z otaczających wysoczyzn pojeziernych. Świadczy o tym ciągłość strumienia filtracyjnego, zachowana dzięki licznym kontaktom hydraulicznym, oraz niezmiennosc kierunków przepływu wód podziemnych po obu stronach linii granicznej, wyznaczającej deltę Wisły. Również biorąc pod uwagę równowagę bilansową pomiędzy przychodem i rozchodem wody można łatwo wykazać, że przy ograniczonych możliwościach bezpośredniego przenikania opadów atmosferycznych źródłem pochodzenia wód słodkich muszą być obszary zewnętrzne.

Wielkość zasilania lateralnego jest zróżnicowana dla poszczególnych poziomów wodonośnych i odcinków krawędziowych wysoczyzn. Wielkości te zostały wstępnie rozpoznane w ramach prac dokumentacyjnych. Wprowadzone na model hydrogeologiczny i poddane procesowi weryfikacji mogły być uznane za wymierny i wiarygodny czynnik kształtujący zasoby wodne Żuław Wiślanych.

Rzeki. Powszechnie przyjmuje się (Janik i in. 1996; Kozerski, Kwaternikiewicz 1990), że ciekły i zbiorniki wód powierzchniowych na obszarze Żuław Wiślanych spełniają jedynie podrzędną rolę w kształtowaniu zasobów wód podziemnych. W zdecydowanej większości są one izolowane przez utwory słaboprzepuszczalne, a przypadki bezpośredniego kontaktu hydraulicznego wód powierzchniowych i podziemnych należą do rzadkości. Tym niemniej oddziaływanie to zostało uwzględnione w obliczeniach symulacyjnych w postaci warunków brzegowych III rodzaju, w których wielkość przesączania zależy od pionowej przewodności namulów. Przy jej obliczeniu przyjęto średni współczynnik filtracji $k^o = 2,4 \times 10^{-4}$ m/d, a jako miąższość m^o wykorzystano różnicę wysokości pomiędzy powierzchnią terenu i stropem pierwszej warstwy

wodonośnej pomniejszoną o wielkość wcięcia koryta rzecznego. Wysokości zwierciadła wody wykorzystane do symulacji cieków i zbiorników powierzchniowych określone zostały na podstawie analizy map sytuacyjno-wysokościowych.

Polderowy system melioracyjno-nawadniający. Rozbudowana sieć rowów i kanałów, obejmująca około 80% powierzchni objętej badaniami modelowymi, zmusiła do przyjęcia uproszczonego sposobu symulacji tego systemu hydrotechnicznego. Założono zatem, że przewodność hydrauliczna warstwy namulów może zostać obliczona podobnie jak w przypadku naturalnych cieków, zwykle jednak z uwzględnieniem mniejszego zagłębienia rowów. Sumaryczną powierzchnię dna rowów, z której możliwe jest przesączanie do (lub z) warstwy wodonośnej określono w sposób przybliżony wydzielając w obrębie modelu obszary o różnym zagęszczeniu sieci melioracyjnej. Przy rzadkiej sieci (sumaryczna długość rowów około 5000 m/km^2) powierzchnia zasilania stanowiła około 0,015 wielkości bloku obliczeniowego i wzrastała 1,5-krotnie dla sieci średniej oraz 2,5-krotnie w przypadku sieci gęstej.

Przewodność pionowa. Warstwy wodonośne występujące na obszarze Żuław Wiślanych rozgraniczone są utworami słaboprzepuszczalnymi. Izolacja ta występuje zwłaszcza między poziomem czwartorzędowym i różnowiekowym w postaci pakietu glin zwałowych. W tej sytuacji możliwość przesączania międzywarstwowego charakteryzuje parametr przewodności pionowej zawierający się w przedziale od $1,0 \times 10^{-8}$ do $4,5 \times 10^{-4} \text{ d}^{-1}$.

Rodzaj pośredniego kontaktu hydraulicznego charakteryzuje również utwory należące do poziomu różnowiekowego i górnokredowego. Na Żuławach Gdańskich, do których zawężony został obszar występowania warstwy trzeciej (górnokredowych piasków glaukonitowych), częściową izolację może stanowić zwarty nadkład serii marglisto-wapiennej. Przewodność pionowa tych utworów przyjmuje wartości w granicach $5,3 \times 10^{-9}$ do $4,6 \times 10^{-3} \text{ d}^{-1}$.

3. Bilans wód podziemnych

Rezultaty obliczeń symulacyjnych pozwalają na sporządzenie bilansu wód podziemnych w obrębie Żuław Wiślanych oraz przeprowadzenie szczegółowej analizy czynników kształtujących zasoby tych wód. Mogą zatem stanowić wiarygodną podstawę dla racjonalizacji gospodarki wodnej tego obszaru. Przydatny do tego celu jest zwłaszcza wariant rozwiązań prognostycznych, pozwalający na prognozę stanów hydrodynamicznych przy optymalnym wykorzystaniu zasobów eksploatacyjnych istniejących (bądź projektowanych) ujęć wód podziemnych. Zostały w nim określone:

— ilości wody zasilającej bądź drenażującej warstwy wodonośne przez przyjęte na modelu zewnętrzne granice obszaru filtracji,

— ilości wody infiltrującej do czwartorzędowej warstwy wodonośnej w postaci opadów atmosferycznych lub też przesączającej się pomiędzy poziomami wodonośnymi,

— wielkości zasilania lub drenażu obszaru filtracji przez główne ciekę powierzchniowe i polderowy system melioracyjno-nawadniający, występujące wewnątrz modelowanego obszaru.

3.1. Warstwa pierwsza — czwartorzędowy poziom wodonośny

Całkowita ilość wód podziemnych uwzględniona w bilansie pierwszej warstwy wodonośnej wynosi 132 100 m³/d. Głównym czynnikiem kształtującym zasoby wodne jest dopływ boczny, zwłaszcza od strony zachodniej — z Pojezierza Kaszubskiego. Natężenie dopływających strumieni wód podziemnych osiąga ponad 84 900 m³/d (64,3% sumy bilansowej), w tym udział zasilania z kierunku zachodniego stanowi około 80%.

W zasilaniu czwartorzędowego poziomu wodonośnego mniej znaczącą rolę odgrywa infiltracja opadów atmosferycznych. Efektywny dopływ wody z tego źródła wynosi około 23 100 m³/d (17,5%).

Na uwagę zasługuje również zasilanie przez rzeki i zbiorniki wód powierzchniowych, które osiąga natężenie 21 300 m³/d (16,1%). Bilans uzupełnia przesączanie z różnowiekowego poziomu wodonośnego z wydajnością 2800 m³/d (2,1%).

Po stronie rozchodów równania bilansowego dominują dwa elementy: odbiór wody przez systemy drenażowe i odpływ przez zewnętrzne granice modelowanego obszaru, głównie w kierunku północnym. Po zrealizowaniu założeń objętych maksymalnym, dopuszczalnym poborem wód podziemnych może on wynosić ponad 93 600 m³/d, co stanowi 70,9% ogółu wód bilansowych. W tych warunkach następuje ograniczenie ilości wód odpływających do Zatoki Gdańskiej i Zalewu Wiślanego (łącznie ok. 11 500 m³/d, tj. 8,8%) oraz wód odbieranych przez rowy drenażowe na polderach (do 12 600 m³/d, tj. 9,5%) i rzeki (do 6300 m³/d, tj. 4,7%). Wzrasta natomiast, osiągając około 8100 m³/d (6,1%), przesączanie do różnowiekowego poziomu wodonośnego.

3.2. Warstwa druga — różnowiekowy poziom wodonośny

Bilans wody w obrębie drugiej warstwy wodonośnej wyznaczają czynniki zewnętrzne w postaci dopływu i odpływu lateralnego oraz pionowej wymiany wód z nadległym i niżej leżącym poziomem wodonośnym. Całkowita ilość krążących wód wynosi około 88 200 m³/d.

Wszystkie granice zewnętrzne mają zdecydowany charakter zasilający, a wielkość dopływu wynosi 75 000 m³/d (85,1% sumy bilansowej). Znaczącą rolę spełnia zasilanie z przesączania, które osiąga 13 100 m³/d (14,9%), przy czym większa ich część (8100 m³/d, tj. 9,2%) pochodzi z czwartorzędowego piętra wodonośnego. Stronę rozchodów, oprócz zakładanej dużej wydajności ujęć 84 600 m³/d (95,9% sumy bilansowej), uzupełnia jedynie pionowy przepływ strumienia filtracyjnego do piętra czwartorzędowego z wydajnością 2900 m³/d (3,2%). Pozostałe elementy bilansu rozchodów stanowią mniej niż 1,0% ich sumy.

3.3. Warstwa trzecia — górnokredowy poziom wodonośny

Przeptywy w obrębie modelowanego fragmentu trzeciej warstwy wodonośnej są relatywnie mniejsze i osiągają około 66 200 m³/d. Głównym elementem zasilania tego piętra wodonośnego jest dopływ od strony zachodniej wynoszący 59 700 m³/d (90,2%). Udział „wspomagający” ma dopływ z pozostałych granic zewnętrznych (4200 m³/d, tj. 6,4% — od strony północnej i 1900 m³/d, tj. 2,9% — od strony wschodniej).

Po stronie rozchodów dominujące znaczenie ma eksploatacja ujęć wód podziemnych z wydajnością 59 400 m³/d (89,7%). Podrzędne znaczenie spełnia przesączanie do różnowiekowego poziomu wodonośnego, osiągające około 5000 m³/d (7,6%), i odpływ wody przez granicę północną, który wynosi 1700 m³/d (2,6%).

4. Zasoby dyspozycyjne piętér wodonośnych

Do oceny zasobów dyspozycyjnych mogą być stosowane wyłącznie metody, w których uwzględnia się przestrzenną zmienność wszystkich elementów środowiska wodnego, geologicznego, a nawet gospodarczego (Paczyński i in. 1996). Praktycznie oznacza to, że jedynie metody modelowania, wykorzystujące w obliczeniach symulacyjnych prototyp obszaru badań z parametrami rozłożonymi, odpowiadają kryteriom wynikającym z zasad dokumentowania zasobów wód podziemnych. Ustalenie wielkości zasobów dyspozycyjnych zostało dokonane na drodze optymalizacji poboru wody przez istniejące (bądź projektowane) ujęcia, a poprzedzone analizą stanu pseudonaturalnego (bez poboru) oraz aktualnego stanu zagospodarowania zasobów. Przyjętym wskazaniom odpowiadają badania symulacyjne wykonane na modelu hydrogeologicznym Żuław Wiślanych.

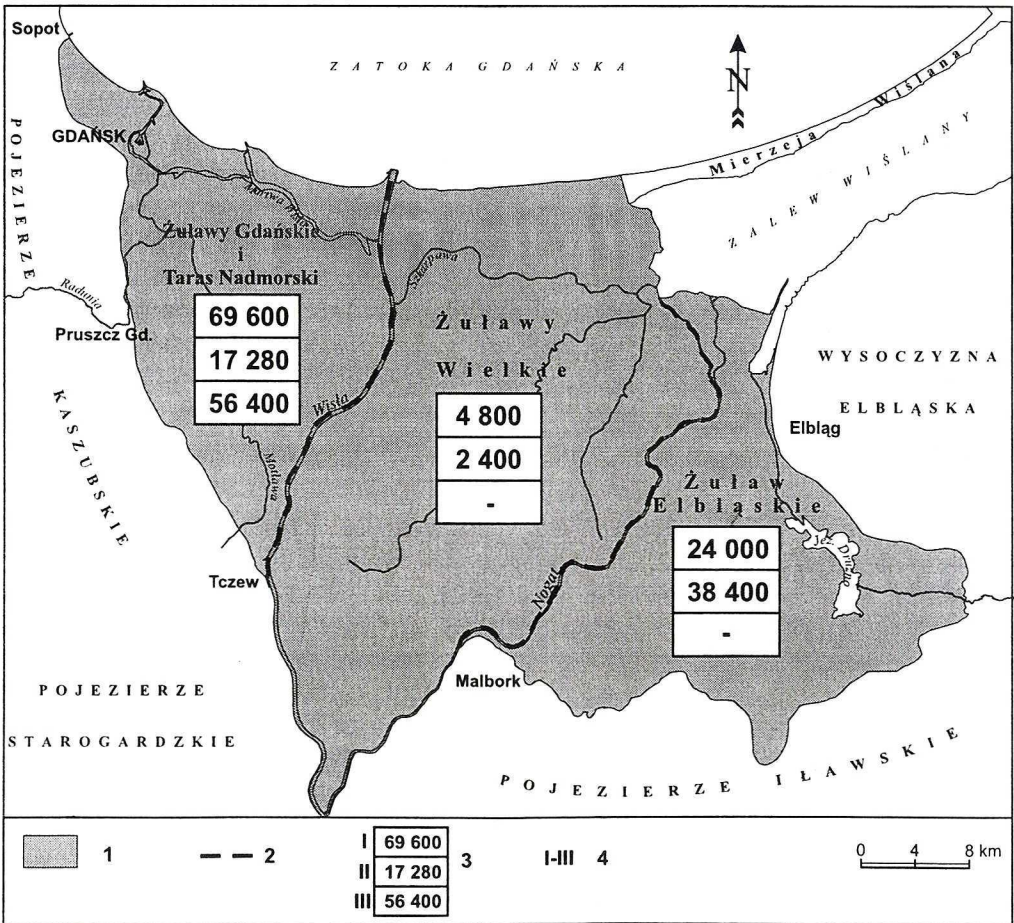
Odrębnym zagadnieniem, jakie należało uwzględnić w ocenie zasobów dyspozycyjnych Żuław Wiślanych, było zagrożenie jakości wód podziemnych. Już obecnie część zasobów wodnych występujących na tym terenie musi być wyeliminowana z uwagi na przekroczenie wielkości stężeń dopuszczalnych (Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 4.09.2000 r. — Dz.U. nr 82, poz. 937) lub niską klasę jakości wód (wg PIOŚ). O istnieniu obszarów zdegradowanych jakościowo świadczy obserwowana strefowość zasolenia wód podziemnych (Kozerski, Kwaterkiewicz 1984, 1990).

Przekroczenie dopuszczalnych stężeń niektórych składników dotyczy w szczególności: chlorków ($Cl > 250$ mg/l), fluorków ($F > 1,5$ mg/l), sodu ($Na^+ > 200$ mg/l) i żelaza ($Fe^{2+} > 0,2$ mg/l) oraz zanieczyszczeń antropogenicznych. Przyczyny zmian jakości w wodach podziemnych należy upatrywać w możliwości ingresji wód słonych od strony Zatoki Gdańskiej i Zalewu Wiślanego bądź ascenzji solanek z głębszych piętér wodonośnych (Sadurski 1986). Narażony jest zwłaszcza poziom czwartorzędowy występujący na obszarach depresyjnych, objętych działaniem polderowych systemów melioracyjno-nawadniających. Skutki nadmiernej eksploatacji są również zauważalne w obrębie drugiej i trzeciej warstwy wodonośnej.

Ostateczne działania optymalizujące wielkość poboru wody z warstw wodonośnych przeprowadzone zostały z uwzględnieniem generalnej zasady, w myśl której utrzymano, bądź zwiększono w niewielkim tylko stopniu, wydajności studni położonych w rejonie objętym bądź zagrożonym degradacją jakości wód podziemnych. Częściowy wzrost wydajności ujęcia, w granicach zatwierdzonych zasobów eksploatacyjnych, może dotyczyć jedynie ujęć zlokalizowanych w miejscach gwarantujących zachowanie dobrej jakości wody i nie powodujących negatywnych skutków środowiskowych.

Przyjęcie powyższych kryteriów pozwoliło na zróżnicowanie całości wód podziemnych na wody słodkie i zanieczyszczone.

Jako zasoby dyspozycyjne Żuław Wiślanych przyjęto „wody słodkie” oraz część „wód zanieczyszczonych”, w których jon fluorkowy nie przekraczał 3,0 mg/dm³. Dotyczy to zwłaszcza tych obszarów, gdzie istnieje możliwość mieszania się wód z podwyższoną zawartością fluoru ze słodkimi wodami innych poziomów wodonosnych. Zasoby dyspozycyjne poziomu różnowiekowego zostały pomniejszone o wartość gwarantującą możliwość eksploatacji ujęć w rejonie Tczewa, które zostały wyłączone ze struktury wodonosnej Żuław Wiślanych. Ostatecznie wielkości zasobów dyspozycyjnych Żuław Wiślanych (rys. 6), zatwierdzone decyzją Ministra Środowiska, wynoszą:



Rys. 6. Mapa zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych

1 — delta Wisły (Żuławy Wiślane), 2 — granica rejonów bilansowych, 3 — zasoby dyspozycyjne rejonów bilansowych w m³/d, 4 — numery poziomów wodonosnych

Fig. 6. Map of groundwater disposable resources

1 — Vistula Delta River, 2 — the border of groundwater extraction areas, 3 — The groundwater resources disposable of the area of groundwater extraction, m³/d, 4 — numbers of aquifers

— dla poziomu czwartorzędowego: 98 400 m³/d, z czego GZWP 112 — 64 800 m³/d i GZWP 203 — 24 000 m³/d,

— dla poziomu różnowiekowego: 58 080 m³/d,

— dla poziomu górnokredowego: 56 400 m³/d, z czego GZWP 111 — 53 280 m³/d.

Łącznie zatem, dla całego obszaru delty Wisły, zasoby dyspozycyjne wód podziemnych zostały ocenione na 212 880 m³/d.

Podsumowanie

Model hydrogeologiczny struktury wodonośnej Żuław Wiślanych obejmuje trzy poziomy wodonośne o znaczeniu użytkowym: czwartorzędowy, różnowiekowy (czwartorzędowo-trzeciorzędowo-kredowy) i kredowy. Powierzchnia trójwarstwowego modelu matematycznego wynosi około 1 955 km², przy czym praktycznie wszystkie granice zewnętrzne oparte zostały na naturalnych elementach geomorfologicznych. Warunki wewnętrzne — to głównie sieć hydrograficzna, zasilanie z opadów atmosferycznych oraz odwzorowanie ujęć wód podziemnych i hydrotechnicznych systemów melioracyjnych. Istotnym elementem, ważącym w określeniu zasobności struktury, jest zasilanie lateralne oraz pionowe przeciekanie poprzez warstwy rozdzielające. Zasilanie powierzchniowe poziomu czwartorzędowego, związane z infiltracją opadów atmosferycznych, nabiera znaczenia jedynie w odniesieniu do wyróżnionych fragmentów obszaru filtracji.

W wyniku obliczeń symulacyjnych ustalono warunki optymalnej eksploatacji wód podziemnych dla całej struktury i wyróżnionych trzech poziomów wodonośnych. Uwzględniono w nich możliwości zaspokojenia potrzeb wodnych miast oraz istniejącą infrastrukturę przedsiębiorstw gospodarki komunalnej. Uznane za optymalne warunki pracy ujęć studziennych pozwolą na pobór:

— w warstwie czwartorzędowej: 93 620 m³/d z 24 ujęć, co stanowi 53,2% wielkości zatwierdzonych zasobów eksploatacyjnych (aktualnie pobiera się około 36% tej wielkości),

— w warstwie różnowiekowej: 84 580 m³/d z 36 ujęć, czyli około 52,3% wielkości zasobów zatwierdzonych eksploatacyjnych (aktualnie pobiera się około 27% tej wielkości),

— w warstwie górnokredowej: 59 400 m³/d z 22 ujęć, czyli około 100% wielkości zatwierdzonych zasobów eksploatacyjnych (obecnie ujęcia te eksploatują około 49,3% tej wielkości).

Łącznie w całej strukturze wielkość zasobów eksploatacyjnych zatwierdzonych przez odpowiednie organy decyzyjne kształtuje się na wysokości 396 658 m³/d. W roku 1998 pobór wód podziemnych wyniósł zaledwie 136 175 m³/d (34,3%). Pobór wód podziemnych przyjęty w obliczeniach prognostycznych daje podstawę do określenia możliwości eksploatacyjnych istniejących ujęć na 237 592 m³/d, tj. około 59,9% wielkości zatwierdzonych zasobów eksploatacyjnych dla 82 ujęć zlokalizowanych w granicach modelowanej struktury.

Zasoby dyspozycyjne wód podziemnych, spełniających kryteria określone w odniesieniu do wód pitnych dla poszczególnych poziomów wodonośnych tworzących strukturę Żuław Wiślanych, kształtują się następująco:

— poziom czwartorzędowy — 98 400 m³/d,

- poziom różnowiekowy — 58 080 m³/d,
 - poziom górnokredowy — 56 400 m³/d.
- Łącznie zatem dla Żuław Wiślanych wynoszą one 212 880 m³/d.

LITERATURA

- Burzyński K., Sadurski A., 1980 — Wpływ przykrawędziowego drenażu na obieg wód kredowego piętra wodonośnego na Żuławach Wiślanych. *Kwart. Geolog.* 33/2.
- Janik B., Młyńczak A., Orłowski R., Roeding E., Świerszcz W., 1996 — Projekt prac geologicznych dla sporządzenia dokumentacji hydrogeologicznej regionu gdańskiego Żuławy i Mierzeja Wiślana. Przedsiębiorstwo Hydrogeologiczne Sp. z o.o., Gdańsk.
- Kozerski B., Kwaternikiewicz A., 1990 — Określenie warunków występowania i metod wykorzystania zasobów wód podziemnych pięter wodonośnych na Żuławach. Politechnika Gdańska, Gdańsk.
- Kozerski B., Kwaternikiewicz A., 1990 — Wody podziemne Żuław Gdańskich. [W:] Materiały LXI Zjazdu PTG, Gdańsk.
- Kozerski B., 1988 — Warunki występowania i eksploatacji wód podziemnych w gdańskim systemie wodonośnym. [W:] Materiały IV Ogólnopolskiego Sympozjum nt. „Aktualne problemy hydrogeologii”, cz. I — Hydrogeologia Północy i Pomorza. Wyd. Instytut Morskiego, Gdańsk.
- Kozerski B., Kwaternikiewicz A., 1984 — Strefowość zasolenia wód podziemnych a ich dynamika na obszarze delty Wisły. *Archiwum Hydrotechniki* t. XXXI, z. 1.
- Kreczko M., 1998 — Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1 : 50 000, arkusze: Malbork (MhP 93), Elbląg Południe (MhP 94), Sztum (MhP 132). Wyd. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- 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.
- Lidzbarski M., 1998 — Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1 : 50 000, arkusze: Godziszewo (MhP 91), Tczew (MhP 92), Gnicw (MhP 131). Wyd. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Malicki J., Miszke M., 1990 — Krótka charakterystyka warunków meteorologicznych okresu pomiarowego na stacji Bielnik. IMGW Oddział Morski, Gdynia.
- Paczyński B., Macioszczyk T., Kazimierski B., Mitrega J., 1996 — Ustalenie dyspozycyjnych zasobów wód podziemnych. MOSZNiL, Warszawa.
- Prussak E., 1998 — Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1 : 50 000, arkusze: Frombork (MhP 31), Nowy Dwór Gdański (MhP 57), Elbląg Północ (MhP 58). Wyd. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Sadurski A., 1983 — Warunki hydrogeologiczne górnokredowego basenu arcyżyjskiego w rejonie Gdańska. [W:] Materiały Sympozjum nt. „Rozwój regionalnych badań hydrogeologicznych w Polsce”, Warszawa.
- Sadurski A., 1986 — Górnokredowy system wód podziemnych Pomorza Wschodniego. *Zeszyty naukowe AGH*, nr 46, Kraków.
- Uściń owicz S., 1998 — Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1 : 50 000, arkusze: Gdańsk (MhP 27), Pruszcz Gdański (MhP 55). Wyd. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Zaleski A., 1988 — Kredowo-czwartorzędowy poziom wodonośny południowo-wschodnich Żuław. [W:] Materiały IV Ogólnopolskiego Sympozjum nt. „Aktualne problemy hydrogeologii”, cz. I — Hydrogeologia Północy i Pomorza. Wyd. Instytut Morskiego, Gdańsk.

GROUNDWATER RESOURCES IN THE ŻUŁAWY WIŚLANE AREA

Key words

Hydrogeology, groundwater resources, prognostic calculations

Abstract

The Żuławki Wiślane groundwater structure includes three groundwater horizons: I — Pleistocene-Holocene, II — multiage, III — Cretaceous. The I and II horizons are widespread although hydrogeological conditions in various parts of the Vistula River delta are diversified. The Pleistocene-Holocene horizon is best developed in the Żuławki Gdańskie area (Main Groundwater Aquifer GZWP 112) and in the western part of the Żuławki Elbląskie one (Main Groundwater Aquifer GZWP 203). The Cretaceous aquifer occupies the eastern part of a large hydrogeological structure — the Gdańsk sub-trough which extends far beyond the Żuławki area. However, the practical importance of this aquifer is limited only to the Żuławki Gdańskie area (Main Groundwater Aquifer GZWP 111). The groundwater horizons are interconnected into the joint groundwater circulation system.

The Żuławki Wiślane area is a regional drainage base for all groundwater horizons. The natural vertical flow directions towards the surface have been significantly disturbed due to intensive exploitation of aquifers. Most advanced changes were observed in Gdańsk and Elbląg areas where regional depressions of groundwater table reach a dozen of meters. The current rate of groundwater withdrawal reaches 122,000 m³/24 h.

The main recharge for all the groundwater horizons in the study area comes from the lateral flow from the Kaszuby, Starogard and Iława lake districts. The direct infiltrational recharge from in the Żuławki Wiślane area is far limited due to impermeable cover of alluvial muds covering almost whole land and the well-developed melioration system which drains most of meteoric waters.

The limiting factors for exploitation of groundwaters are: hydrodynamic regime which precludes the lowering of groundwater table in Pleistocene-Holocene horizon below the bottom of impermeable beds and quality of groundwaters. In the vast areas of Żuławki Wiślane and Żuławki Elbląskie high concentrations of chlorides, iron, manganese and fluorides precludes the utilization of these outclassed waters.

The modelling included three groundwater horizons in the Vistula River delta area. The internal boundaries of the model were based upon the morphology (margins of lake district uplands) and the sea shore. The calculations enabled the optimization of exploitation conditions for groundwater intakes in the whole groundwater structure and for regional units of the Żuławki area. Total groundwater resources of the Żuławki Wiślane area reach 212,880 m³/24 h.