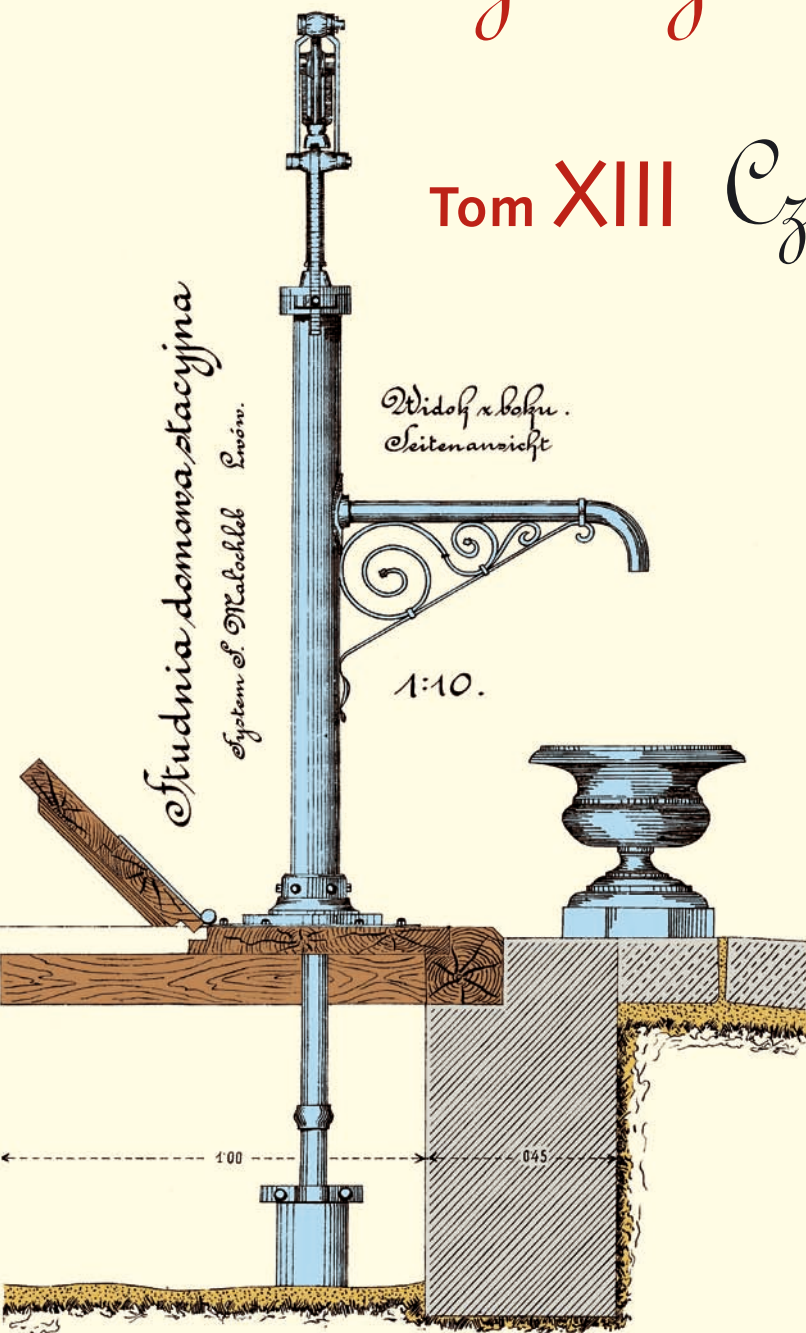


Współczesne problemy hydrogeologii

Tom XIII Część 3.





Wydanie publikacji zostało sfinansowane przez
Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej

Recenzenci:

Jadwiga Szczepańska
Wojciech Ciężkowski
Józef Górski
Andrzej Kowalczyk
Ewa Krogulec
Grzegorz Malina
Jerzy Małecki
Marek Marciniak
Jacek Motyka
Marek Nawalany
Jan Przybyłek
Andrzej Rózkowski
Andrzej Sadurski
Andrzej Szczepański
Stanisław Staśko
Stanisław Witczak
Andrzej Zuber

Redakcja: Andrzej Szczepański, Ewa Kmiecik, Anna Żurek

Teksty artykułów w częściach 2. i 3. zostały wydrukowane z wersji elektronicznej dostarczonej przez Autorów, metodą bezpośredniej reprodukcji (*camera ready*)

Projekt okładki i stron tytułowych: Andrzej Tomaszewski

Na okładce: fragment projektu studni miejskiej we Lwowie z 1906 roku
— ze zbiorów prof. **Antoniego S. Kleczkowskiego** (1922–2006)

Korekta: Zespół

Skład komputerowy systemem $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$: pre $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ t, www.pretext.com.pl

Druk: ROMA-POL, www.romapol.pl

ISBN-13 978-83-88927-16-4

Beata Jaworska-Szulc

**Wyznaczenie optymalnego sposobu eksploatacji
ujęć za pomocą modelu numerycznego
na przykładzie rejonu Słupska**

**Determination of the Optimal Way of the
Exploitation Based on the Numerical Model —
Case Study Słupsk Region**

Słowa kluczowe wody podziemne, ujęcia wód podziemnych, zasoby eksploatacyjne

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

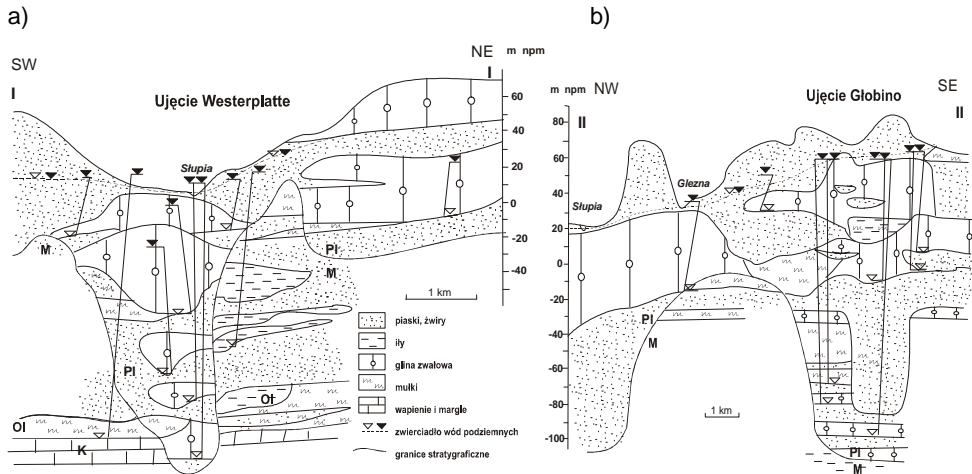
Abstract In the Słupsk region fresh water has been found in Neogene formations in two separated aquifers. Upper aquifer consists of Pleistocene sands and gravels, and bottom aquifer is built of Pleistocene and Miocene sands. In some places the aquifers are in direct contact with each other. Both layers are exposed to the possibility of salinities through ascension of water from the Cretaceous aquifer. Water supply of the city of Słupsk will be based on two groundwater intakes: Westerplatte and Głobino taking water from Neogene aquifers. Therefore the model of the intakes recharge area was built. Next an optimal way of exploitation was determined.

1. Wstęp

Rejon Słupska należy do obszarów o korzystnych lecz skomplikowanych warunkach hydrogeologicznych. W neogeńskim poziomie wodonośnym wyróżnia się dwie warstwy wodonośne, przy czym obie narażone są na możliwość zasolenia w wyniku ascencji wód piętra kredowego. Ze względu na planowane zaopatrzenie w wodę miasta Słupska wyłącznie w oparciu o ujęcia Westerplatte i Głobino, badaniami objęto przybliżony obszar zasilania i oddziaływania tych ujęć. Sporządzono wspólny model uwzględniający ich współpracę, a następnie określono optymalny sposób eksploatacji.

2. Warunki hydrogeologiczne

Na obszarze badań występuje neogeński poziom wodonośny składający się z dwóch ciągłych warstw rozdzielonych serią słabo przepuszczalną (rys. 1). Warstwy wodonośne wykazują lokalnie kontakty hydrauliczne w oknach hydrogeologicznych. Warstwa dolna ma podstawowe znaczenie w obrębie doliny kopalnej Słupi, natomiast na pozostałym obszarze ujmuje się głównie wody warstwy górnej. Dolna warstwa ma zmienną miąższość w zależności od tego czy przebiega w obrębie plejstocenu czy miocenu. W części mioceńskiej występuje w piaskach drobno i średnioziarnistych oraz mułkowatych o miąższości około 30 m, maksymalnie do 80 m. Plejstocenijskie piaski i żwiry na obszarze doliny kopalnej Słupi osiągają miąższość 40-50 m, lokalnie 70-80 m. Górna warstwa jest bardziej jednorodna, występuje w plejstocenijskich piaskach i żwirach o miąższości około 30 m, maksymalnie do 60 m.



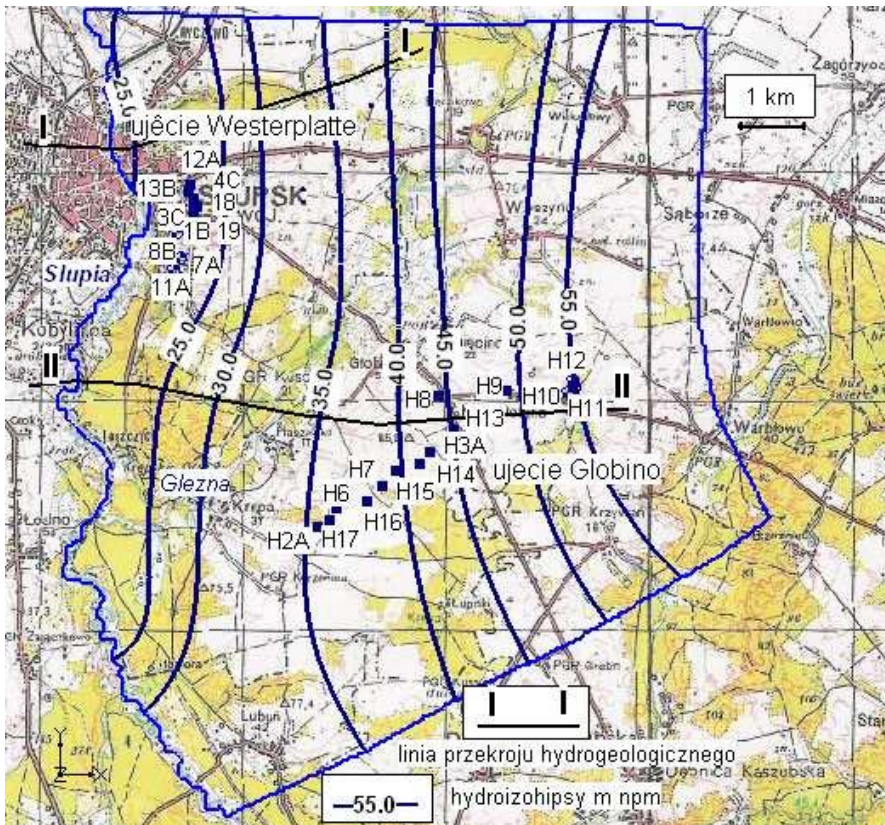
Rysunek 1. Schematyczne przekroje hydrogeologiczne: a) ujęcie Westerplatte
b) ujęcie Głobino

Figure 1. Hydrogeological cross-section: a) Westerplatte intake; b) Głobino intake

Seria słaboprzepuszczalna zbudowana jest głównie z glin zwałowych, glin piaszczystych, mułków i ilów o miąższości od 10 m do 100 m (Balcer, Pruszkowska 1987; Stelmach i in., 1986). Naturalny kierunek przepływu wód podziemnych przebiega ze wschodu na zachód, wyraźnie zaznacza się tu drenaż rzeki Słupi. W obu warstwach wodonośnych w rejonie Słupska wytworzył się głęboki lej depresji związany z intensywną eksploatacją, której szczyt przypadł na lata 80. Poziom wodonośny zasilany jest głównie poprzez infiltrację opadów oraz dopływy boczne, a także w niewielkim stopniu w wyniku ascenzyjnego przesączania słonych wód zalegających niżej piętra kredowego.

3. Badania modelowe

Badania modelowe oparto o rozpoznanie warunków występowania wód podziemnych zawarte w dokumentacjach hydrogeologicznych (Balcer, Pruszkowska 1987; Kliński i in., 2006; Stelmach i in. 1986). Model koncepcyjny skonstruowano w skali 1:25 000, objął on obszar o powierzchni 109 km² (rys. 2).



Rysunek 2. Obszar badań modelowych - mapa hydroizohips górnej warstwy wodonośnej
Figure 2. The research area – hydrozohypses of the upper layer

Zamiany modelu koncepcyjnego na model dyskretny dokonano siatką, w której wszystkie bloki są kwadratami o długości boku 50 m. W modelu, na podstawie danych ze 118 otworów hydrogeologicznych, zadano obie warstwy wodonośne oraz rozdzielającą je warstwę osadów słaboprzepuszczalnych. Układ ciśnień wskazuje na możliwość przesiąkania ascenzyjnego z warstwy dolnej do górnej. Zachodnią granicę modelu oparto na rzece Słupi (rys. 2), zadano tam warunek brzegowy III rodzaju typu River. Warunek wewnętrzny tego rodzaju zadano również na rzece Glezna. Zachodnia granica warstwy pierwszej, a także wschodnia i zachodnia granica warstwy drugiej biegnie równoległe do hydroizohips, zadano tu warunek III rodzaju typu GHB, oblicza on wartość przepływu w zależności od obliczonych wartości ciśnień. Północne i południowe granice obu warstw są prostopadłe do hydroizohips, odwzorowano je więc warunkiem II rodzaju typu $Q=0$. Do modelowania numerycznego zastosowano program ModFlow (McDonald, Harbaugh, 1988), wersję ModFlow 2000, w pakiecie programów GMS 6.0 (Groundwater Modelling System).

Identyfikację modelu oparto o mapy hydroizohips dla warunków naturalnych sporządzone na podstawie materiałów archiwalnych, a także w oparciu o dane z otworów studziennych z okresu przed eksploatacją ujęć. Zweryfikowano wprowadzone do modelu wartości współczynnika filtracji poziomej warstw wodonośnych, współczynnika filtracji pionowej warstw słaboprzepuszczalnych, wielkość zasilania z infiltracji opadów, a także wartości współczynników filtracji osadów dennych w rzekach. Średnia wartość współczynnika filtracji po kalibracji wyniosła w górnej warstwie wodonośnej 0,67 m/h, a w warstwie dolnej 0,66 m/h. Wartości współczynnika filtracji pionowej przez glinę rozdzielającą warstwy wodonośne przyjęto wstępnie z literatury (Marciniak i in., 1999), a po kalibracji ostatecznie wynoszą od $2 \cdot 10^{-5}$ do $4 \cdot 10^{-5}$ m/h. Innymi parametrami, których wartości uściślono w procesie identyfikacji modelu były współczynniki filtracji osadów dennych rzeki Słupia i Glezna. Przyjęte wstępnie wartości poddano tarowaniu. Porównano moduł odpływu podziemnego, obliczony w symulacjach modelowych, z wielkościami przepływów rzeczywistych w ciekach według pomiarów archiwalnych (Balcer, Pruszkowska 1987). W modelowaniu hydrogeologicznym często porównuje się średni niski przepływ w ciekach z odpływem podziemnym pochodzenia rzecznoego (Witczak i in., 2002; Gurwin 2000). Ostatecznie ustalono, że wartości współczynnika filtracji osadów dennych zawierają się w przedziale 0,002-0,01 m/h.

Prawidłowo przeprowadzoną identyfikację wyraża osiągnięcie minimalnej wartości błędu

średniego bezwzględnego:
$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |H_{pi} - H_{oi}|$$
 (Anderson, Woessner 1992),

gdzie: H_p – rzędna pomierzonego zwierciadła wód podziemnych, H_o – rzędna obliczonego zwierciadła wód podziemnych, n – liczba węzłów obliczeniowych, i – numer węzła. W obu warstwach wodonośnych wartość błędu średniego absolutnego wynosi 1,5 m, co względem naturalnych wahań zwierciadła wody należy uznać za zadowalające. Skalibrowany model poddano weryfikacji. W oparciu o dane archiwalne z próbnych pompowań zadawano wydatek, z jakim były eksploatowane studnie i sprawdzono policzoną przez model wartość depresji. Różnice między obliczonymi a obserwowanymi wartościami depresji wynoszą od 0 m do 0,4 m, zwykle jednak nie przekraczają kilku lub kilkunastu centymetrów.

Bilans przepływu wód obliczony na modelu (rys. 3) pokazuje, że na analizowanym obszarze poziom wodonośny zasilany jest głównie, bo w ponad 53%, przez infiltrację efektywną opadów. Pozostałe 43% pochodzi z dopływów lateralnych. Średni moduł zasilania infiltracyjnego określono w wyniku modelowania na $14,85 \text{ m}^3/\text{h km}^2$, tj. 130 mm/rok, co stanowi 16,3% średniego opadu na obszarze badań.

4. Wyznaczenie optymalnego sposobu eksploatacji

Wyniki symulacji przepływu wód podziemnych potwierdziły rozpoznane na badanym obszarze korzystne warunki poboru wód podziemnych. Szczególnie zasobna warstwa wodonośna występuje w rejonie ujęcia Westerplatte, gdzie przy dużych wydajnościach i znacznym zagęszczeniu studzien uzyskuje się stosunkowo małe depresje. Jednak tę korzystną sytuację hydrogeologiczną komplikuje możliwość ascenzji słonych wód piętra kredowego. W przeszłości obserwowano zarówno w dolnej, jak i w górnej warstwie wodonośnej podwyższone wartości chlorków. W rejonie ujęcia Westerplatte zagrożenie dotyczy głównie dolnej warstwy, a w południowo-zachodniej części ujęcia Głobino również warstwy górnej. W związku z powyższym eksploatacja dolnego poziomu na ujęciu Westerplatte powinna być utrzymana na niskim poziomie, a na ujęciu Głobino w warstwie górnej należy kontrolować wielkość poboru w południowo-zachodnim skrzydle ujęcia (studnia H2A – rys. 2). Dodatkowo jako kryterium przy ustalaniu dopuszczalnej wartości eksploatacji na obu ujęciach przyjęto maksymalne wartości depresji wg decyzji zasobowej, w poziomie górnym 6-10 m, a w poziomie dolnym do 20 m. Ponieważ stwierdzono wzajemne oddziaływanie ujęć Głobino i Westerplatte, symulacje ich eksploatacji przeprowadzono łącznie, pompując jednocześnie studnie na obu ujęciach. Mając na uwadze wszystkie powyższe aspekty przeprowadzono kilka wariantów eksploatacji wód (tab. 1).

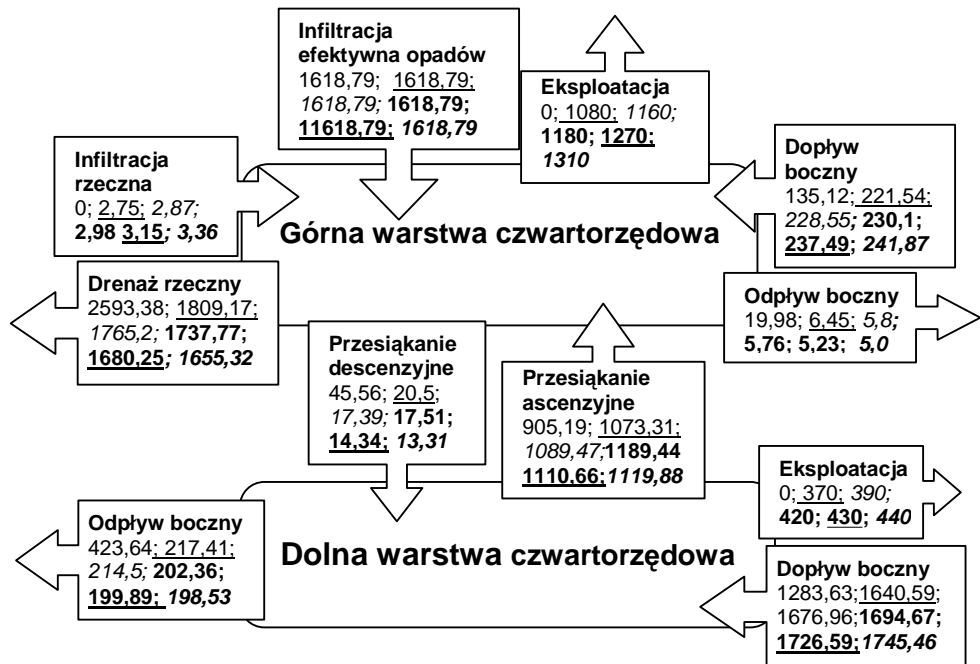
Z przedstawionych w tabeli 1 wariantów eksploatacji za dopuszczalne można uznać warianty 1-4 (lub eksploatacja mniejsza). W wariantach 5 na ujęciu Głobino depresje w poszczególnych studniach przekraczają w poziomie górnym 10 m, a w poziomie dolnym 20 m. Należy więc go wykluczyć. Regionalny lej depresji dla tej symulacji obejmuje prawie cały obszar badań, na ujęciu Westerplatte obniżenie zwierciadła wody w warstwie górnej wynosi ponad 6 m, a w dolnej ponad 4 m. Na ujęciu Głobino depresje są jeszcze większe, w warstwie górnej na całym obszarze ujęcia wynoszą powyżej 9 m, a w warstwie dolnej powyżej 7-8 m.

Maksymalny dopuszczalny pobór wód na ujęciu Westerplatte wynosi zatem $800 \text{ m}^3/\text{h}$, przy jednoczesnym poborze maksymalnym na ujęciu Głobino $900 \text{ m}^3/\text{h}$, sytuację tę ilustruje wariant 4. Sugerowany sposób eksploatacji przedstawia wariant 1, w razie konieczności zwiększenia wydatku, za dopuszczalne i bezpieczne można uznać warianty 2 i 3. W wariantach 1 regionalne obniżenie zwierciadła wody w warstwie górnej wynosi na ujęciu Westerplatte 5-6 m, a na ujęciu Głobino 6-7 m, w wariantach 2 i 3 na ujęciu Westerplatte pozostaje na podobnym poziomie, a na ujęciu Głobino zwiększa się do 7-8 m. W warstwie dolnej regionalne depresje wynoszą dla wariantu 1 na ujęciu Westerplatte 3 m, a na ujęciu Głobino 5-6 m, dla wariantu 2 i 3 zwiększają do 6-7 m na ujęciu Głobino i do 3-4 m na ujęciu Westerplatte.

Tabela 1. Optymalizacja poboru wód na ujęciu Głobino i Westerplatte**Table 1.** Optimization of the groundwater exploitation on the Głobino and Westerplatte intakes

| Ujęcie/ Nr otworu | Poziom wodon. | Wariant 1 Q = 1450 m ³ /h | | Wariant 2 Q = 1550 m ³ /h | | Wariant 3 Q = 1600 m ³ /h | | Wariant 4 Q = 1700 m ³ /h | | Wariant 5 Q = 1750 m ³ /h | |
|-------------------------|------------------|--|----------|--|----------|--|----------|--|----------|--|----------|
| | | Q [m ³ /h] | s [m] | Q m ³ /h] | s [m] | Q [m ³ /h] | S [m] | Q [m ³ /h] | s [m] | Q [m ³ /h] | s [m] |
| G/2A | Q1 | 30 | 6,7 | 40 | 7,9 | 40 | 8,0 | 40 | 9,2 | 40 | 9,6 |
| G/H17 | Q1 | 70 | 6,4 | 90 | 7,6 | 90 | 7,6 | 120 | 8,9 | 130 | 9,4 |
| G/H6 | Q1 | 70 | 6,5 | 90 | 7,6 | 90 | 7,6 | 130 | 9,0 | 135 | 9,4 |
| G/H16 | Q1 | 60 | 6,7 | 80 | 7,9 | 80 | 8,0 | 100 | 9,6 | 105 | 9,8 |
| G/H15 | Q1 | 0 | 6,85 | 10 | 9,4 | 10 | 9,4 | 0 | 8,8 | 0 | 9,3 |
| G/H14 | Q1 | 30 | 8,6 | 30 | 9,5 | 30 | 9,5 | 20 | 9,9 | 20 | 10,5 |
| G/H3A | Q1 | 50 | 7,6 | 50 | 8,4 | 50 | 8,5 | 60 | 9,4 | 70 | 10,0 |
| G/H7 | Q1 | 20 | 7,8 | 20 | 8,9 | 20 | 8,9 | 20 | 10,0 | 20 | 10,5 |
| G/H13 | Q1 | 30 | 8,1 | 30 | 8,9 | 30 | 9,0 | 30 | 9,8 | 30 | 10,4 |
| G/H8 | Q1 | 90 | 7,7 | 90 | 8,4 | 90 | 8,4 | 100 | 9,4 | 110 | 9,9 |
| G / H9 | Q1 | 50 | 8,2 | 50 | 8,9 | 50 | 9,0 | 50 | 9,8 | 50 | 10,2 |
| Σ Głobino Q1 | | Q = 500 m ³ /h | | Q = 580 m ³ /h | | Q = 580 m ³ /h | | Q = 670 m ³ /h | | Q = 710 m ³ /h | |
| G/H10 | Q2 | 30 | 17,9 | 30 | 18,9 | 30 | 19,0 | 30 | 19,6 | 30 | 20,5 |
| G/H11 | Q2 | 80 | 17,1 | 90 | 19,0 | 90 | 19,0 | 90 | 19,8 | 90 | 20,4 |
| G/H12 | Q2 | 90 | 16,4 | 100 | 18,2 | 100 | 18,2 | 110 | 19,4 | 120 | 20,1 |
| Σ Głobino Q2 | | Q = 200 m ³ /h | | Q = 220 m ³ /h | | Q = 220 m ³ /h | | Q = 230 m ³ /h | | Q = 240 m ³ /h | |
| Σ Głobino Q1+Q2 | | Q = 700 m ³ /h | | Q = 800 m ³ /h | | Q = 800 m ³ /h | | Q = 900 m ³ /h | | Q = 950 m ³ /h | |
| W/12A | Q1 | 70 | 6,3 | 70 | 6,4 | 80 | 6,6 | 80 | 6,7 | 80 | 6,7 |
| W/4C | Q1 | 100 | 6,3 | 100 | 6,3 | 110 | 6,6 | 110 | 6,7 | 110 | 6,7 |
| W/18 | Q1 | 100 | 6,45 | 100 | 6,5 | 100 | 6,7 | 100 | 6,8 | 100 | 6,8 |
| W/13B | Q1 | 100 | 6,45 | 100 | 6,55 | 100 | 6,7 | 100 | 6,8 | 100 | 6,85 |
| W/3C | Q1 | 90 | 6,65 | 90 | 6,7 | 90 | 6,9 | 90 | 7,0 | 90 | 7,0 |
| W/19 | Q1 | 90 | 6,65 | 90 | 6,7 | 90 | 6,9 | 90 | 7,0 | 90 | 7,0 |
| W/1B | Q1 | 30 | 6,5 | 30 | 6,6 | 30 | 6,8 | 30 | 6,8 | 30 | 6,9 |
| ΣWesterplatte Q1 | | Q = 580 m ³ /h | | Q = 580 m ³ /h | | Q = 600 m ³ /h | | Q = 600 m ³ /h | | Q = 600 m ³ /h | |
| W/8B | Q2 | 90 | 4,6 | 90 | 4,7 | 105 | 5,4 | 105 | 5,4 | 105 | 5,4 |
| W/7A | Q2 | 50 | 5,1 | 50 | 5,2 | 50 | 5,7 | 50 | 5,7 | 50 | 5,7 |
| W/11A | Q2 | 30 | 4,8 | 30 | 4,9 | 45 | 6,2 | 45 | 6,3 | 45 | 6,3 |
| ΣWesterplatte Q2 | | Q = 170 m ³ /h | | Q = 170 m ³ /h | | Q = 200 m ³ /h | | Q = 200 m ³ /h | | Q = 200 m ³ /h | |
| ΣWesterpl.Q1+Q2 | | Q = 750 m ³ /h | | Q = 750 m ³ /h | | Q = 800 m ³ /h | | Q = 800 m ³ /h | | Q = 800 m ³ /h | |

Dla poszczególnych wariantów eksploatacji obliczono bilans przepływu wód podziemnych (rys. 3). Wyniki symulacji pokazują, że wraz ze wzrostem poboru wód zwiększa się dopływ boczny ze wschodu do obu warstw wodonośnych, a zmniejsza się odpływ na zachód. W górnym poziomie wodonośnym eksploatacja wymusza zwiększenie dopływu bocznego od 64% (wariant 1) do 79% (wariant 5) wartości w warunkach naturalnych. W warstwie dolnej dopływ zwiększa się od 28% (wariant 1) do 36% (wariant 5), a odpływ na zachód zmniejsza się od 49% (wariant 1) do 53% (wariant 5).



Rysunek 3. Schemat bilansu przepływu wód podziemnych [m^3/h]

Objaśnienia: bez eksploatacji, Wariant 1, Wariant 2, **Wariant 3**, Wariant 4, Wariant 5

Figure 3. Groundwater balance [m^3/h]

Explanation: without exploitation; with exploitation: Variant 1, Variant 2, **Variant 3**, Variant 4, Variant 5

Eksploatacja górnej warstwy prowadzi do znacznej redukcji drenażu rzeczny, w wariantcie 5 drenaż jest mniejszy o ponad 36% w stosunku do warunków naturalnych. Intensywna eksploatacja poziomu górnego w znacznym stopniu wpływa również na zmiany w reżimie przepływów pionowych. Przepiękanie descenzyjne z poziomu górnego uległo zmniejszeniu o 69% (wariant 4), a przepiękanie ascenzyjne wzrosło maksymalnie o 32% (wariant 3).

5. Podsumowanie

Wyniki symulacji wskazują na korzystne warunki eksploatacji wód podziemnych na ujęciu Westerplatte i Głobino, zwiększenie eksploatacji może być jednak niebezpieczne ze względu na możliwość zasolenia poziomu wodonośnego w wyniku ascencji słonych wód piętą kredowego. Sytuacja ta dotyczy bezpośrednio dolnego poziomu wodonośnego oraz pośrednio poziomu górnego, którego eksploatacja przyczynia się do zwiększenia ascencji wód poziomu dolnego.

Przy wyborze optymalnego wariantu eksploatacji na ujęciu Głobino, zasadniczym kryterium było utrzymanie odpowiedniego poziomu depresji i ograniczenie eksploatacji w południowo zachodnim skrzydle ujęcia. Na ujęciu Westerplatte natomiast mimo lepszych warunków filtracyjnych i niższych depresji, zwiększenie eksploatacji może być niebezpieczne ze względu na możliwość zasolenia poziomu wodonośnego. W efekcie obliczeń optymalizacyjnych ustalono, że maksymalny pobór wód nie powinien przekroczyć na ujęciu Westerplatte 800 m³/h, gdzie 600 m³/h to eksploatacja warstwy górnej przy depresjach do 7 m, a 200 m³/h pochodzi z warstwy dolnej przy depresjach do 6,5 m. Dopuszczalna wartość poboru wód wynosi 750-800 m³/h. Sytuację tę przedstawiają dwa warianty - 2 i 3. Eksploatacja warstwy górnej wynosi w nich 580 m³/h lub 600 m³/h, a dolnej 170 m³/h, lub 200 m³/h. Natomiast na ujęciu Głobino maksymalny pobór wód nie powinien przekroczyć 900 m³/h, gdzie 670 m³/h to eksploatacja warstwy górnej przy depresjach do 10 m, a 230 m³/h pochodzi z warstwy dolnej przy depresjach do 20 m. Całkowita eksploatacja na tym ujęciu nie powinna jednak wynosić więcej niż 800 m³/h. Sytuację tę przedstawiają dwa dopuszczalne warianty - 2 i 3. Eksploatacja warstwy górnej wynosi w nich 580 m³/h, a dolnej 220 m³/h.

Literatura

- Anderson M.P., Woessner W.W., 1992: *Applied groundwater modeling, Simulation of flow and advective transport*, Academic Press London, s.12-16.
- Balcer M., Pruszkowska E., 1987: *Zasoby wód podziemnych z utworów trzeciorzędowych i czwartorzędowych rejonu Słupsk-Rowy*, Przedsiębiorstwo Geologiczne w Warszawie, Zakład w Gdańsku.
- Gurwin J., 2000: *Model hydrogeodynamiczny systemu wodonośnego Pradoliny Odry*, Prace geologiczno-mineralogiczne LXX, Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego, ss. 90.
- Kliński Z., Cieklińska B., Jaworska-Szulc B., 2006: *Dodatek nr 1 do dokumentacji hydrogeologicznej zasobów wód podziemnych z utworów trzeciorzędowych i czwartorzędowych rejonu Słupsk-Rowy - obszar zasobowy 1*.
- Marciniak M., Przybyłek J., Herzig J., Szczepańska J., 1999: *Badania współczynnika filtracji utworów półprzepuszczalnych*, Uniwersytet im. A Mickiewicza w Poznaniu, 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.
- Stelmach M., Mazurek K., Czapracka K., Górski J., 1986: *Modelowanie matematyczne dynamiki wód podziemnych w rejonie Słupska*, Instytut Gospodarki przestrzennej i Komunalnej, Zakład Ujęć i Ochrony Wód Podziemnych, Oddział w Poznaniu.

Witczak S.L., Prażak J., Żurek A., 2002: *Wody podziemne i powierzchniowe jako niepodzielny zasób środowiska wodnego*. Materiały XIV Konferencji z cyklu Problemy wykorzystywania wód podziemnych w gospodarce komunalnej, pt. „Gospodarowanie zasobami wód podziemnych”, Częstochowa, ss. 19-28.