

BADANIA MODELOWE DO ANALIZY ZASOBÓW I OBSZARU OCHRONNEGO GZWP 208 BISKUPIEC

GROUNDWATER FLOW MODELLING FOR REGIONAL RESOURCES EVALUATION AND VERIFICATION OF PROTECTION ZONES: MGWB 208 BISKUPIEC

BEATA JAWORSKA-SZULC¹

Abstrakt. Model matematyczny zbiornika GZWP 208 Biskupiec wykonano w celu oszacowania jego zasobów oraz weryfikacji granic i obszarów ochronnych. Powierzchnia modelowanego obszaru jest 2,5 razy większa niż sam zbiornik. Dzięki temu uwzględniono główne bazy drenażu, jakimi są głęboko wcięte jeziora: Dadaj, Tejstymy, Gieladzkie i Lampackie, a które znajdują się poza obszarem GZWP 208. Wyniki obliczeń potwierdziły, że zbiornik Biskupiec stanowi obszar zasilania dla sąsiednich terenów, wody odpływają głównie w kierunku północnym, a także na wschód i zachód, w mniejszym stopniu na południe. Ponieważ zbiornik nie jest zasilany lateralnie, nie ma potrzeby wyznaczania obszaru ochronnego poza jego granicami. Moduł zasobów dyspozycyjnych oszacowano na $7,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{km}^2$.

Słowa kluczowe: model przepływu wód podziemnych, obszary ochronne GZWP, zasoby wód podziemnych.

Abstract. In order to evaluate groundwater resources and to verify boundaries and protection zones, a mathematical model of the Major Groundwater Basin (MGWB) 208 Biskupiec was developed. The model area is more than two times larger than the MGWB range. Therefore, the model includes the main discharge zones located outside the basin 208, which are the deeply indented lakes of Dadaj, Tejstymy, Gieladzkie and Lampackie. The calculation results confirmed that the MGWB Biskupiec is the recharge area for neighbouring terrains. The waters flow away from the basin mainly to the north, east and west, and to a lesser extent to the south. The Biskupiec basin is not recharged laterally, so there is no need to assign the protection zones beyond its borders. Disposable resources module is $7.5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{km}^2$.

Key words: groundwater flow model, MGWB protection zone, groundwater resources.

KONCEPCJA MODELU HYDROGEOLOGICZNEGO

Model matematyczny zbiornika GZWP 208 Biskupiec sporządzono w celu weryfikacji modelu hydrogeologicznego, określenia czasu dopływu wód zasilających zbiornik, określenia wskazań eksploatacyjnych dla ochrony jego stanu ilościowego oraz oszacowania zasobów zbiornika. Do badań modelowych wydzielono obszar o powierzchni 755 km^2 . Zasięg modelu wykracza znacznie poza obszar zbiornika, którego powierzchnia wynosi 296 km^2 . Ponieważ obszar GZWP 208 jest obszarem zasilania terenów przyległych, zasięg badań modelowych objął większe bazy drenażu, jakimi są głęboko wcięte jeziora: Dadaj, Tejstymy, Gieladzkie i Lampackie.

Dzięki temu można określić ich całkowity drenaż, ustalić kierunki przepływu wód w sąsiedztwie zbiornika i zweryfikować przebieg jego granic. Do schematyzacji warunków występowania wód podziemnych wykorzystano dane z około 200 otworów hydrogeologicznych, a także dane z badań geoelektrycznych. Zastosowano dyskretyzację obszaru badań siatką kwadratową od długości boku 100 m.

Obszar GZWP Biskupiec charakteryzuje skomplikowana budowa geologiczna o stosunkowo pełnym wykształceniu profili osadów plejstoceńskich leżących na dość wyrównanej powierzchni podłoża neogeńskiego. W całym profilu

¹ Politechnika Gdańska, ul. Narutowicza 11/12, 80-233, Gdańsk; e-mail: bejaw@pg.gda.pl

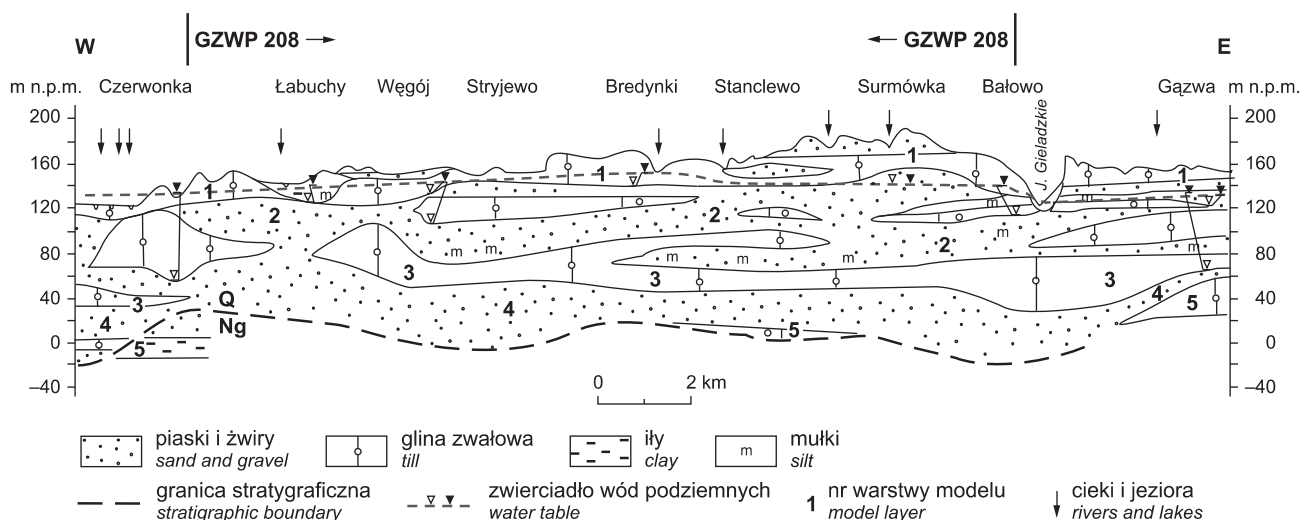


Fig. 1. Schematyczny przekrój hydrogeologiczny (opracowano na podstawie Odoj i in., 2009)

Hydrogeological cross-section (based on Odoj *et al.*, 2009)

plejstocenu dominują osady piaszczysto-żwirowe i kamieniste, powstałe w wyniku sedimentacji szczelinowej (Morawski, 2005). W przepuszczalnych osadach plejstocenu występują dwa poziomy wodonośne, przy czym zwykle ujmowany jest poziom górny, nazywany głównym poziomem zbiornikowym. Praktycznie na całym obszarze, z wyjątkiem głębokich wcięć erozyjnych w okolicy jezior, jest on przykryty warstwą osadów słabo przepuszczalnych lub naprzemianległych słabo przepuszczalnych i przepuszczalnych. Poziomy wodonośne lokalnie mogą pozostawać w kontakcie hydraulicznym, jednak na większości terenu rozdziela je glina zwałowa o zmiennej miąższości (fig. 1). Większe jeziora i ciek mają charakter drenujący, natomiast mniejsze jeziora położone wyżej niż pierwszy poziom wodonośny mogą lokalnie, pośrednio lub bezpośrednio go zasilać.

Na podstawie przyjętego schematu hydrogeologicznego w modelu zadano 5 warstw obliczeniowych (fig. 1), są to w kolejności od powierzchni terenu: 1 – warstwa słabo przepuszczalna (lokalnie nieciągła), 2 – górny poziom wodonośny, 3 – warstwa słabo przepuszczalna – gliny zwałowe (lokalnie o niewielkiej miąższości), 4 – dolny poziom wodonośny, 5 – warstwa słabo przepuszczalna – spąg modelu.

W warstwach słabo przepuszczalnych wartości współczynnika filtracji pionowej przyjęto na podstawie literatury (Marciniak i in., 1999), w zakresie $1 \cdot 10^{-9}$ – $1 \cdot 10^{-8}$ m/s. Współczynnik filtracji poziomej w górnej warstwie wodonośnej wynosi natomiast od 0,013 do 4,5 m/h, średnio 0,751 m/h, a w dolnej warstwie od 0,01 do 1,233 m/h, średnio 0,401 m/h.

Granice obszaru badań zdefiniowano warunkami II i III rodzaju. Prostopadle do hydroizohips warunkiem II rodzaju, natomiast na brzegach, gdzie występuje przepływ wody, zadano warunek III rodzaju typu *General Head Boundary*, który oblicza wartość przepływu w zależności od obliczonych wartości ciśnienia (McDonald, Harbaugh, 1988). Również liczne jeziora zdefiniowano warunkiem *General Head*. Natomiast rzeki odwzorowano warunkiem *River*, który uwzględniając wpływ zwierciadła wody w rzece na poziom wód pod-

Tabela 1

Wartości błędów kalibracji

Calibration errors

	Błąd średni [m]	Błąd średni absolutny [m]	Błąd średni kwadratowy [m]
Warstwa górna			
Warunki naturalne	0,147	1,193	1,513
Warunki aktualne	0,377	1,893	2,257
W granicach GZWP 208	0,149	1,118	1,431
Warstwa dolna			
Warunki naturalne	-0,464	1,128	1,492
Warunki aktualne	-1,851	1,851	2,280
W granicach GZWP 208	-0,421	0,895	1,221

ziemnych, oblicza przepływ wody między ciekami a warstwą wodonośną (McDonald, Harbaugh, 1988). Identyfikację modelu wykonano dla warunków aktualnych przy eksploatacji $127 \text{ m}^3/\text{h}$ (w granicach zbiornika $111 \text{ m}^3/\text{h}$), uwzględniając także dane archiwalne z czasu wykonania studzien. Średnie wartości błędów kalibracji przedstawiono w tabeli 1. Biorąc pod uwagę regionalny zasięg obliczeń modelowych, błąd średni absolutny w zakresie 0,89–1,85 m można uznać za dopuszczalny, zwłaszcza że w granicach zbiornika błąd jest nieco niższy.

Weryfikację modelu przeprowadzono w 14 studniach większych ujęć znajdujących się na obszarze badań. Również na tym etapie kalibrowano wartości współczynnika filtracji. Model uznano za zweryfikowany pozytywnie, gdy obliczone na modelu wielkości depresji w piezometrach różniły się od zaobserwowanych podczas próbnych pompowań w zakresie od zera do kilkudziesięciu centymetrów.

WYNIKI BADAŃ MODELOWYCH, ANALIZA ZASOBÓW I STREF OCHRONNYCH

W efekcie badań modelowych ustalono, że czwartorzędowy poziom wodonośny na obszarze badań jest zasilany głównie poprzez infiltrację opadów (70%), a także przez infiltrację wód powierzchniowych (12%). W mniejszym stopniu przez dopływy boczne (7%) oraz ascencję z poziomu dolnego (11%). Ascenzja z poziomu dolnego występuje lokalnie, tam gdzie obniża się zwierciadło wód podziemnych w poziomie górnym w wyniku intensywnego drenażu jezior. Na większości obszaru to górny poziom zasila poziom dolny. Descenzja do dolnego poziomu stanowi 15% odpływu z poziomu górnego. Drenaż wód powierzchniowych ma zasadniczy udział w odpływie i wynosi blisko 79%. Odpływ boczny to zaledwie 6%. W celu oszacowania zasobów odnawialnych zbiornika Biskupiec wyodrębniono go z obszaru modelu (tab. 2). Struktura bilansu wskazuje, że większy udział ma tutaj odpływ boczny. Jest to głównie odpływ w kierunku baz drenażu, jakimi są jeziora Dadaj, Tejstymy, Gieladzkie i Lampackie, znajdujące się poza obszarem zbiornika (fig. 2). Z kolei duży udział infiltracji wód powierzch-

niowych w zasilaniu wynika z tego, że w centrum zbiornika znajdują się niewielkie ciekły i jeziora, w których poziom wód jest nieco wyższy niż w pierwszym poziomie wodonośnym (fig. 1); sprzyja to infiltracji w głąb systemu wodonośnego. Wartości infiltracji wód powierzchniowych podane w tabeli 2, dotyczą bezpośredniego zasilania w poziomie wodonośnym oraz zasilania pośredniego przez nadległy, słabo przepuszczalny poziom.

Zasilanie z infiltracji opadów wynosi na obszarze badań modelowych 99,1 mm/rok, co stanowi 16% opadu (średni opad z wielolecia wynosi 619 mm/rok). Podobne wartości uzyskano na obszarze wyodrębnionego zbiornika 208 (obszar 296 km²) – zasilanie infiltracyjne 101,5 mm/rok, co stanowi 16,4% opadu. Zasoby odnawialne oszacowano jako sumę infiltracji efektywnej opadu oraz infiltracji wód powierzchniowych. Moduł zasobów odnawialnych wynosi zatem 15 m³/h/km². Ze względu na znaczny udział infiltracji wód powierzchniowych w zasobach odnawialnych, jedynie 50% z nich wydzielono jako zasoby dyspozycyjne. Oszac-

Tabela 2

Bilans przepływu wód na obszarze modelu i zbiornika GZWP 208

Groundwater budget of MGWB 208 and of the model area

Składnik bilansu	Warunki naturalne [m ³ /h]	Stan aktualny [m ³ /h]	Wyodrębniony obszar GZWP 208 [m ³ /h]	Zasoby odnawialne [m ³ /h]	Zasoby dyspozycyjne [m ³ /h]		
Górny poziom wodonośny							
Infiltracja efektywna opadów	8540	8540	3430	4440	2220		
Infiltracja jezior	319	330	130				
Infiltracja cieków	1150	1205	880				
Dopływ boczny	912	903	0				
Ascenzja z poziomu dolnego	1350	1340	240				
Razem dopływ	12 271	12 318	4680				
Odpływ boczny	754	751	2189				
Drenaż jezior	6531	6488	920				
Drenaż cieków	3121	3087	650				
Eksploatacja	0	127	111				
Descenzja do poziomu dolnego	1865	1865	810				
Razem odpływ	12 271	12 318	4680				
Dolny poziom wodonośny							
Dopływ boczny	158	158	95				
Descenzja z poziomu górnego	1865	1865	773				
Razem dopływ	2023	2023	868				
Odpływ boczny	673	672	647				
Eksploatacja	0	11	0				
Ascenzja do poziomu górnego	1350	1340	221				
Razem odpływ	2023	2023	868				

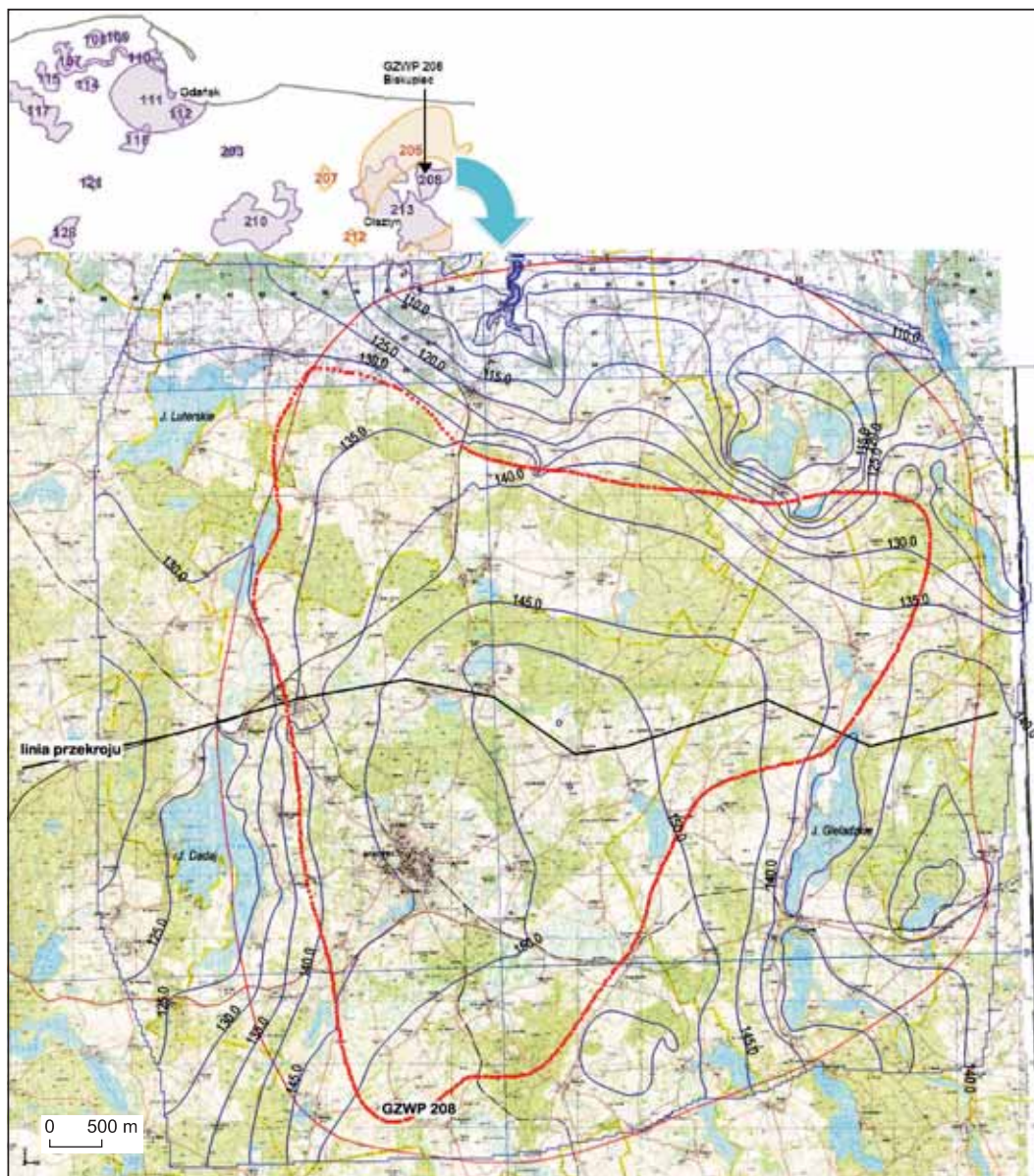


Fig. 2. Lokalizacja GZWP Biskupiec oraz mapa hydroizohips górnego poziomu czwartorzędowego przy aktualnej eksploatacji

MGWB Biskupiec location and upper Quaternary aquifer hydraulic head distribution with current exploitation

wany w ten sposób moduł zasobów dyspozycyjnych wynosi $7,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{km}^2$. Wartości te można odnieść do szacowanych wcześniej zasobów dyspozycyjnych zbiornika Biskupiec (Kleczkowski, 1990): $75\,000 \text{ m}^3/\text{d}$, czyli $11,16 \text{ m}^3/\text{h}/\text{km}^2$ (obszar 280 km^2). Natomiast wg *Mapy Hydrogeologicznej Polski 1:50 000* (Bielecka, Wojciechowska, 2004; Sokołowski, 2002; Wojciechowska, 2004) moduł zasobów odnawialnych w jednostkach pokrywających się ze zbiornikiem GZWP 208 wynosi średnio $7,3 \text{ m}^3/\text{h}/\text{km}^2$, a moduł zasobów dyspozycyjnych $4,6 \text{ m}^3/\text{h}/\text{km}^2$.

W obrębie wyznaczonych granic zbiornika GZWP 208 znajduje się 15 czynnych ujęć wód podziemnych, zatwierdzone zasoby eksploatacyjne wynoszą $1152,6 \text{ m}^3/\text{h}$, aktualny pobór wynosi $111 \text{ m}^3/\text{h}$, czyli niespełna 10% zatwier-

dzonych zasobów. Zasoby eksploatacyjne stanowią zaledwie 26% zasobów odnawialnych i 52% zasobów dyspozycyjnych.

Symulacja wykonana dla warunków aktualnych wykazała, że w wyniku eksploatacji zwiększa się infiltracja wód powierzchniowych, a zmniejsza ich drenaż. Pozostałe elementy bilansu zmieniają się nieznacznie (tab. 2). Przeprowadzono również symulację jednoczesnego poboru wody na wszystkich ujęciach w granicach zbiornika Biskupiec, w wysokości ich zasobów eksploatacyjnych. Na ujęciu Biskupiec wydatek ten zwiększono z 300 do $420 \text{ m}^3/\text{h}$, aby sprawdzić, czy możliwa jest praca ujęcia z wydajnością powyżej $10 \text{ tys. m}^3/\text{dobę}$, zgodnie z kryteriami wyznaczania GZWP (Herbich i in., 2009). Na całym obszarze zbiornika zachowane

zostają depresje eksploatacyjne, jedynie na ujęciu Biskupiec nieznacznie je przekroczyły i wynoszą tu około 7 m. Nie powinno to jednak wpłynąć na prawidłową pracę tego ujęcia.

W celu weryfikacji granic obszaru ochronnego zbiornika wykonano symulację czasu dopływu wody do zbiornika w warunkach aktualnego poboru. Mapa izochron przepływu wód potwierdziła, że to zbiornik Biskupiec jest obszarem zasilania terenów przyległych. Jedynie lokalnie na południu

oraz w rejonie Jeziora Zynadzkiego w niewielkim stopniu jest on zasilany przez dopływ zewnętrzny. Jednak zgodnie z rozpoznaniem hydrogeologicznym (Odoj i in., 2009), w tych miejscach górny poziom wodonośny jest izolowany od powierzchni terenu. Przepływ pionowy wynosi tam powyżej 25 lat. W związku z powyższym nie zachodzi potrzeba wyznaczania obszarów ochronnych poza zbiornikiem.

PODSUMOWANIE

Zasoby odnawialne określono jako sumę infiltracji efektywnej opadów oraz infiltracji wód powierzchniowych. Na obszarze GZWP 208 znajduje się wiele małych jezior i cieków, położonych powyżej zwierciadła wód pierwszego poziomu czwartorzędowego; zasilają one wody podziemne zazwyczaj pośrednio przez warstwy słabo przepuszczalne. Moduł zasobów odnawialnych wynosi $15 \text{ m}^3/\text{h}/\text{km}^2$, z tego połowę wydzielono jako zasoby dyspozycyjne – $7,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{km}^2$. Zastwierdzone zasoby eksploatacyjne czynnych ujęć znajdujących

się w obrębie zbiornika GZWP 208 wynoszą $1152,6 \text{ m}^3/\text{h}$, aktualny pobór wynosi $111 \text{ m}^3/\text{h}$, czyli niespełna 10% zastwierdzonych zasobów. Zasoby eksploatacyjne stanowią zaledwie 26% zasobów odnawialnych i 52% zasobów dyspozycyjnych.

Ze względu na to, że zbiornik GZWP 208 stanowi obszar zasilania dla obszarów sąsiednich i wody podziemne odpływają ze zbiornika we wszystkich kierunkach, nie ma potrzeby wyznaczania obszarów ochronnych poza zbiornikiem.

LITERATURA

- BIELECKA H., WOJCIECHOWSKA R., 2004 — Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Biskupiec (139). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- HERBICH P., KAPUŚCIŃSKI J., NOWICKI K., PRAŻAK J., SKRZYPCZYK L., 2009 — Metodyka wyznaczania obszarów ochronnych głównych zbiorników wód podziemnych dla potrzeb planowania i gospodarowania wodami w obszarach dorzeczy. Min. Środ., Warszawa.
- KLECZKOWSKI A.S., 1990 — Mapa obszarów głównych zbiorników wód podziemnych (GZWP) w Polsce wymagających szczególnej ochrony 1:500 000. Wyd. AGH, Kraków.
- MARCINIAK M., PRZYBYŁEK J., HERZIG J., SZCZEPAŃSKA J., 1999 — Badania współczynnika filtracji utworów półprzepuszczalnych. 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.
- MORAWSKI W., 2005 — Warmińska prowincja paleogeograficzna plejstocenu (północno-wschodnia Polska). *Prz. Geol.*, **53**, 6.
- ODOJ M., NARWOJSZ A., ORŁOWSKI R., 2009 — Program prac na przeprowadzenie badań w celu opracowania dokumentacji hydrogeologicznej określającej warunki hydrogeologiczne w związku z ustanawianiem obszarów ochronnych GZWP nr 208 Biskupiec. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- SOKOŁOWSKI A., 2002 — Mapa Hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Dźwierzuty (177). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- WOJCIECHOWSKA R., 2004 — Mapa Hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Bredynki (140). Państw. Inst. Geol., Warszawa.

SUMMARY

In order to evaluate groundwater resources and to verify boundaries and protection zones, a mathematical model of the Major Groundwater Basin (MGWB) 208 Biskupiec was developed. The calculation results confirmed that the MGWB Biskupiec is the recharge area for neighbouring terrains. The Biskupiec basin is not recharged laterally, so there is no need to assign the protection zones beyond its borders. Renewable resources were estimated as the sum of the effective infiltration and infiltration of surface water. In the area of

MGWB 208, there are many small lakes and streams located above the first Quaternary aquifer; they usually supply groundwater indirectly through semipermeable layers. The renewable resources module is $15 \text{ m}^3/\text{h}/\text{km}^2$, half of this was estimated as disposable resources of $7.5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{km}^2$. Admissible volume of extracted groundwater within the basin area is $1152.6 \text{ m}^3/\text{h}$, and it constitutes only 26% of renewable resources and 52% of disposable resources. The current output is merely $111 \text{ m}^3/\text{h}$.

