

## Ocena zasobów oraz weryfikacja granic obszaru ochronnego GZWP nr 133 Młotkowo za pomocą numerycznego modelu przepływu wód podziemnych

Anna Gumuła-Kawęcka<sup>1</sup>, Beata Jaworska-Szulc<sup>1</sup>

**Evaluation of regional resources and verification of protection zones for MGB 133 Młotkowo with numerical modeling of groundwater flow.** Prz. Geol., 63: 732–737.

*Abstract.* Model of the Major Groundwater Basin (MGB) 133 Młotkowo was developed in order to analyze available water resources and verify boundaries of protection zone. MGB 133 Młotkowo is located in southern part of Krajeńskie Lakeland (NW Poland). Dimensions of the basin estimated by Kleczkowski et al. (1990) were uncertain, so area of the model is four times larger than the MGB 133 area. In order to gain the most reliable results detailed identification and verification of model parameters such as hydraulic conductivity of each layer, hydraulic conductivity of sediments in surface water bodies and recharge rate from precipitation was made. Results of the calculations confirm, that the groundwater basin is larger than it was assumed and eventually the disposable resources module is  $8.58 \text{ m}^3/\text{h}/\text{km}^2$ . The recharge zone is located inside the basin area, thus determination of protection zone boundaries of the basin as identical with boundaries of MGB 133 is sufficient.

**Keywords:** groundwater flow model, groundwater resources, MGB protection zone

Zbiornik GZWP nr 133 znajduje się w mezoregionie Pojezierza Krajeńskiego należącym do makroregionu Pojezierze Południowopomorskie (Kondracki, 2000), w obrębie antyklinorium śródpolskiego w segmencie pomorskim (Żeleźniewicz i in., 2011). Na tym obszarze ma miejsce intensywne działanie rolnicze, a wody podziemne stanowią główne źródło zaopatrzenia w wodę mieszkańców miasta Wyrzysk oraz sąsiednich miejscowości. Przeprowadzone badania modelowe rejonu zbiornika GZWP nr 133 miały na celu weryfikację modelu hydrogeologicznego, oszacowanie zasobów wód i ustalenie czasu dopływu wód zasilających zbiornik, a w efekcie wyznaczenie jego strefy ochronnej oraz określenie wskazań eksploatacyjnych dla zachowania jego stanu ilościowego.

### KONCEPCJA MODELU

Przedmiotem badań modelowych jest obszar o powierzchni  $488,5 \text{ km}^2$  (ryc. 1), gdzie GZWP nr 133 zajmuje w przybliżeniu  $120 \text{ km}^2$ . Uwzględnienie w modelu obszaru znacznie wykraczającego poza obszar zbiornika pozwoliło na weryfikację granic GZWP nr 133 i ich skorygowanie. Południową granicę modelu wyznaczono wzdłuż Noteci, północna przebiega w przybliżeniu równoległe do hydroizohips, natomiast granice wschodnią i zachodnią wyznaczono prostopadle do hydroizohips. W schematyzacji warunków występowania wód podziemnych wykorzystano dane z 165 otworów hydrogeologicznych, a także dane z 250 sondowań geoelektrycznych o kroku 200–300 m i głębokości prospekcji 100 m (Odoj i in., 2014). Model koncepcyjny przekształcono w model dyskretny przez podział modelowanego obszaru za pomocą regularnej siatki kwadratowej o boku długości 50 m.

Badany obszar charakteryzuje się skomplikowaną budową geologiczną o stosunkowo zróżnicowanym profilu osadów neogenu i plejstocenu, leżących na podłożu paleogeńskim (Uniejowska & Włodek, 1978). Osady neogenu są re-

prezentowane głównie przez piaszczyste, mułowcowe i ilowe formacje miocenu. Piaszki facji burowęglowej stanowią użytkowy poziom wodonośny, który jest ujmowany na badanym obszarze w części północnej (rejon Łobrzyńca) oraz południowej (rejon Białośliwia i Osieka n. Notecią) (Stryczyński, 2000; Waluszko & Pasierowska, 2000). Głównym poziomem zbiornikowym na obszarze modelu jest czwartorzędowy poziom wodonośny, którego kolektorem są plejstocenijskie osady wodnolodowcowe. Oba poziomy wodonośne lokalnie pozostają w kontakcie hydraulicznym, jednak w większej części modelowanego terenu rozdziela je glina zwałowa o zmiennej miąższości. Czwartorzędowy poziom wodonośny stanowi złożony system hydrostrukturalny i hydrodynamiczny zbudowany z zawodnionych, nieciągłych warstw piaszczystych i piaszczysto-żwirowych zróżnicowanych pod względem miąższości. Prawie na całym obszarze, z wyjątkiem wcięć erozyjnych w okolicy rzek, jest on przykryty warstwą osadów słabo przepuszczalnych, którą stanowią głównie gliniaste osady morenowe, ale także mułki i piaszki zastoiskowe. W pasie moren czołowych graniczących z doliną Noteci stwierdzono również obecność kier neogeńskich o znacznej miąższości (30–90 m). Plejstocenijskie osady występujące na badanym obszarze pochodzą ze zlodowaceń południowo-, środkowo- i północnopolskich oraz z interglacjału wielkiego, a w północnej części badanego obszaru możliwe jest również występowanie osadów interglacjału eemskiego (Uniejowska & Włodek, 1978; Kasprzak & Kozarski, 1985; Haising & Wilanowski, 2007; Chmał, 2009).

Przez obszar zbiornika przepływa rzeka Łobrzyńca, która drenuje czwartorzędowy poziom wodonośny. Na modelowanym obszarze występują także jeziora, w większości położone wyżej niż zwierciadło wód podziemnych. W dolinie Noteci stwierdza się liczne kanały, dreny i podmokłości, a także stawy drenujące.

Na podstawie przedstawionego powyżej rozpoznania warunków hydrogeologicznych w modelu zadano pięć

<sup>1</sup> Katedra Geotechniki, Geologii i Budownictwa Morskiego, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Politechnika Gdańska, ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk; a.kawecka@o2.pl, bejaw@pg.gda.pl.



**Ryc. 1.** Obszar modelu. Linia ciągła – kształt zbiornika wg Kleczkowskiego (1990), linia przerywana – obliczony obszar zbiornika (podkład: mapa topograficzna 1 : 50 000, PUWG „1992”)

**Fig. 1.** Area of model. Continuous line – shape of the MGB 133 by Kleczkowski (1990), dashed line – computed area of the basin 133 (background: 1 : 50 000 scale Topographic Map, National Coordinate System 1992 of Poland)

warstw obliczeniowych (ryc. 2). W kolejności od powierzchni terenu są to: 1 – warstwa słabo przepuszczalna (lokalnie nieciągła), 2 – warstwa przepuszczalna – czwartorzędowy poziom wodonośny, 3 – warstwa słabo przepuszczalna (gliny zwałowe, lokalnie nieciągłe), 4 – warstwa przepuszczalna – neogeński poziom wodonośny, 5 – warstwa słabo przepuszczalna (iły neogeńskie) – spąg.

Wartości współczynnika filtracji pionowej dla warstw słabo przepuszczalnych przyjęto na podstawie literatury (Marciniak i in., 1999) w przedziale 0,0004–0,005 m/h. W przypadku współczynnika filtracji poziomej dla czwartorzędowego poziomu wodonośnego wynosi on 0,03–3,26 m/h (średnio 0,79 m/h), natomiast w poziomie neogeńskim – 0,01–0,63 m/h (średnio 0,29 m/h).

Z uwzględnieniem wysokości opadu z wielolecia, która na tym obszarze wynosi 567 mm/rok, na podstawie wytycznych Pazdro i Kozerskiego (1990), dotyczących klas przepuszczalności, przyjęto wstępne wartości współczynnika infiltracji, biorąc pod uwagę przepuszczalność skał oraz zagospodarowanie terenu. Wartości te zweryfikowano w czasie badań modelowych, przy czym kierowano się kryterium najmniejszego średniego błędu absolutnego modelu. Ostatecznie otrzymano wartości w przedziale od  $5 \cdot 10^{-6}$  do  $2 \cdot 10^{-5}$  m/h.

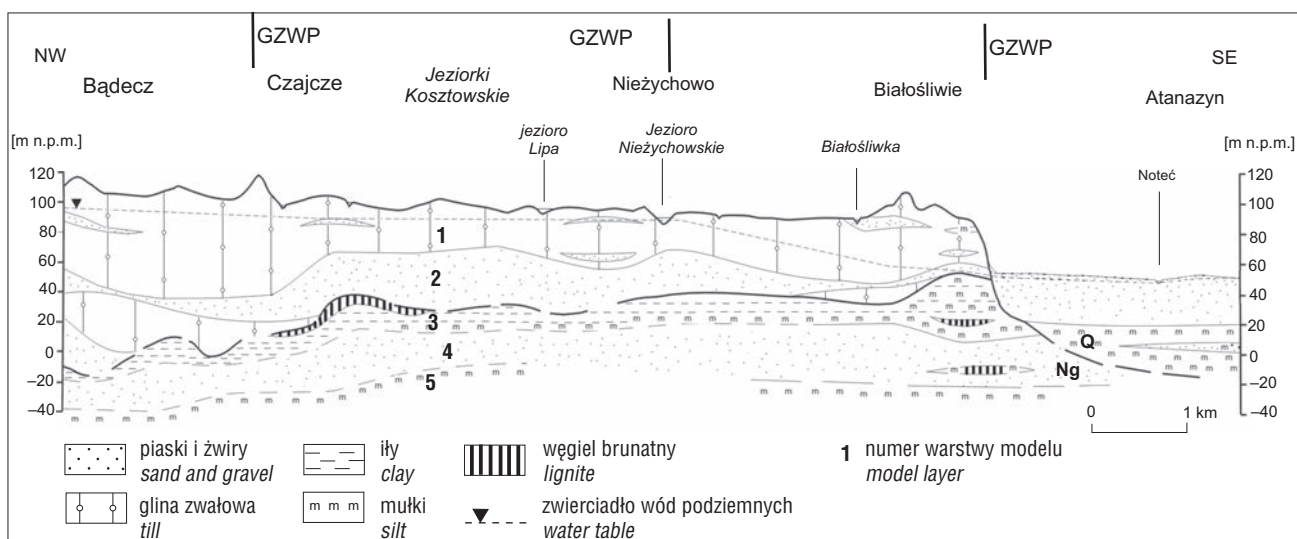
W obu poziomach wodonośnych na granicach modelu przyjęto warunki brzegowe II i III rodzaju. Wschodnią i za-

chodnią granicę poprowadzono prostopadle do hydroizohips i zdefiniowano ją warunkiem II rodzaju, typu  $Q = 0$ . Na północy, gdzie dochodzi do zasilania obu poziomów wodonośnych, na granicach przyjęto warunek III rodzaju, który umożliwił uzyskanie wartości przepływu w zależności od obliczonych wartości ciśnień (McDonald & Harbaugh, 1988). Warunek ten założono również na południowej granicy warstwy neogeńskiej, gdzie dochodzi do odpływu wód w kierunku doliny Noteci.

Na obszarze badań występują liczne ciek i jeziora. W modelu zdefiniowano je warunkami wewnętrznymi III rodzaju, które pozwoliły obliczyć przepływ wody między zbiornikiem wodnym/ciekiem a warstwą wodonośną, z uwzględnieniem wpływu zwierciadła wody wód powierzchniowych na poziom wód podziemnych (McDonald & Harbaugh, 1988). Warunek ten przyjęto również na południowej granicy czwartorzędowego poziomu wodonośnego, którą wyznaczono wzdłuż Noteci.

#### IDENTYFIKACJA I WERYFIKACJA MODELU

Wysokości zwierciadła wód podziemnych identyfikowano na podstawie pomiarów dla warunków aktualnych przy wartości eksploatacji  $260 \text{ m}^3/\text{h}$  (w granicach zbiornika  $88 \text{ m}^3/\text{h}$ ). Równolegle przeprowadzono identyfikację modelu na podstawie danych archiwalnych z czasu wyko-



Ryc. 2. Schematyczny przekrój hydrogeologiczny (opracowano na podstawie Odoj i in., 2014)  
 Fig. 2. Hydrogeological cross-section (based on Odoj et al., 2014)

Tab. 1. Wartości błędów kalibracji

Table 1. Calibration errors

	Błąd średni Mean error [m]	Błąd średni absolutny Mean absolute error [m]	Błąd średni kwadratowy Root mean square [m]
Warunki naturalne Natural state	-0,44	1,29	1,69
Warunki aktualne Current state	-0,15	1,22	1,60

kania studzien. Średnie wartości błędów kalibracji przedstawiono w tabeli 1. W procesie identyfikacji kalibrowano głównie wartości współczynnika filtracji, a także współczynniki filtracji osadów dennych rzek i jezior oraz zasilania z infiltracji opadu.

Weryfikację oparto na wynikach próbnych pompowań w 24 studniach większych ujęć znajdujących się na obszarze badań. W procesie weryfikacji sprawdzono, czy depresje obliczone przez model dla wydajności z próbnych pompowań pokrywają się z depresjami obserwowanymi. Na tym etapie kalibrowano również wartości współczynnika filtracji w warstwie wodonośnej, w efekcie obliczone w modelu wielkości depresji różniły się od zaobserwowanych w przedziale 0–27 cm (średnio 11 cm).

### PROGNOZY MODELOWE

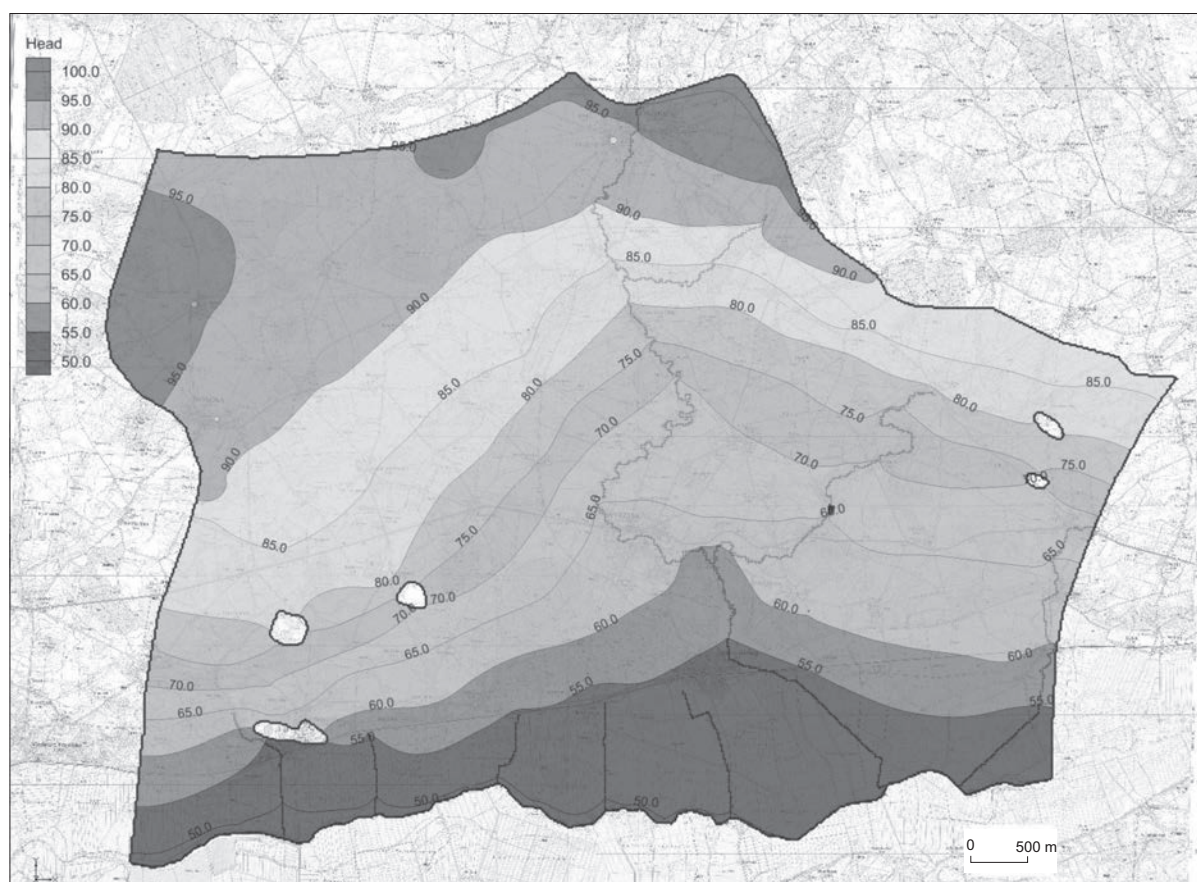
W rezultacie badań modelowych ustalono warunki przepływu wód podziemnych na analizowanym obszarze (ryc. 3). W tabeli 2 przedstawiono bilans przepływu dla warunków naturalnych oraz stanu aktualnego (z eksploatacją). Czwartorzędowy poziom wodonośny jest zasilany głównie przez infiltrację opadów (64%), a także przez ascensję z poziomu neogeńskiego (24%). W równym stopniu zachodzi descensja do dolnego poziomu, która stanowi 24% odpływu z poziomu górnego. Ascensja z poziomu dolnego występuje głównie w miejscach, gdzie zanika słabo przepuszczalna warstwa trzecia (glina zwałowa) i czwartorzędowy poziom wodonośny jest w kontakcie hydraulicznym z poziomem neogeńskim. W północnej części obszaru badań poziom czwartorzędowy zasila descensyj-

nie poziom neogeński, a na południu – w dolinie Noteci – dochodzi do ascensji z utworów negenu do czwartorzędowego poziomu wodonośnego. Czwartorzędowy poziom wodonośny jest w niewielkim stopniu zasilany przez dopływy boczne (8%) oraz infiltrację z wód powierzchniowych (4%). Podane w tabeli 2 wartości infiltracji wód powierzchniowych odzwierciedlają zarówno bezpośrednie zasilanie poziomu wodonośnego, jak również przesiąkanie wód jeziornych przez wyżej leżącą, słabo przepuszczalną warstwę. Poza Jezioro Liszkowskim i stawami w dolinie Noteci, które mają bezpośredni kontakt hydrauliczny z poziomem wodonośnym i pełnią rolę drenującą, wszystkie jeziora mają charakter zasilający, co wynika z ich położenia na wysoczyźnie morenowej, ponad poziomem zwierciadła wód podziemnych. Drenaż czwartorzędowej warstwy wodonośnej przez wody powierzchniowe odpowiada za odprowadzenie większości wód z modelu (76%). Dolina Noteci pełni tu znaczącą rolę – odpowiada za niemal 40% całości drenażu czwartorzędowego poziomu wodonośnego. Dopływ boczny z północy i odpływ boczny ku południowi dla poziomu neogeńskiego równoważą się i stanowią w przybliżeniu 23% całości zasilania/drenażu w warstwie.

W modelowanym obszarze zasilanie pochodzące z infiltracji opadu jest równe 98,3 mm/rok, co stanowi 17,3% średniego opadu z wielolecia, natomiast na obszarze zbiornika – 75,12 mm/rok, czyli 13% opadu. Oszacowany na tej podstawie moduł zasobów odnawialnych wynosi dla obszaru modelu 11,22 m<sup>3</sup>/h/km<sup>2</sup>, a dla zbiornika – 8,58 m<sup>3</sup>/h/km<sup>2</sup>. Zasilanie jest nieco większe na obszarze modelu niż w obrębie zbiornika, ponieważ obszar badań modelowych obej-

**Tab. 2.** Bilans przepływu wód na obszarze modelu  
**Table 2.** Groundwater budget of the model area

Składnik bilansu Budget element	Warunki naturalne Natural state [m <sup>3</sup> /h]	Warunki aktualne Current state [m <sup>3</sup> /h]
Czwartorzędowy poziom wodonośny/ <i>Quaternary aquifer</i>		
Infiltracja efektywna opadów/ <i>Recharge from precipitation</i>	5482,3	5482,3
Infiltracja jezior/ <i>Recharge from lakes</i>	317,7	340,3
Infiltracja cieków/ <i>Recharge from rivers</i>	5,2	14,9
Dopływ boczny z północy/ <i>Recharge from the north</i>	667,7	694,8
Ascenzja z poziomu neogeńskiego/ <i>Ascension from the Neogenic aquifer</i>	2085,3	2079,9
Razem dopływ/ <i>Total recharge</i>	8558,2	8612,2
Drenaż jezior/ <i>Discharge into lakes</i>	232,7	229,1
Drenaż cieków/ <i>Discharge into rivers</i>	6252,1	6075,4
Eksploatacja/ <i>Exploitation</i>	0,00	263,9
Descenzja do poziomu neogeńskiego/ <i>Descension to the Neogenic aquifer</i>	2073,1	2043,8
Razem odpływ/ <i>Total discharge</i>	8557,9	8612,2
Neogeński poziom wodonośny/ <i>Neogenic aquifer</i>		
Dopływ boczny z wysoczyzny (z północy)/ <i>Recharge from the upland (from the north)</i>	646,7	650,7
Descenzja z poziomu czwartorzędowego/ <i>Descension from the Quaternary aquifer</i>	2073,1	2043,8
Razem dopływ/ <i>Total recharge</i>	2719,8	2694,5
Odpływ boczny w kierunku doliny Noteci (na południe)/ <i>Discharge to the Noteć valley (to the south)</i>	635,7	612,0
Eksploatacja/ <i>Exploitation</i>	0,0	3,9
Ascenzja do poziomu czwartorzędowego/ <i>Ascension to the Quaternary aquifer</i>	2085,3	2079,9
Razem odpływ/ <i>Total discharge</i>	2721,0	2695,8



**Ryc. 3.** Mapa hydroizohips czwartorzędowego poziomu wodonośnego przy aktualnej eksploatacji (podkład: mapa topograficzna 1 : 50 000, PUWG „1992”)

**Fig. 3.** Quaternary aquifer hydraulic head distribution with current exploitation (background: 1 : 50 000 scale Topographic Map, National Coordinate System 1992 of Poland)

muje również dolinę Noteci, gdzie warstwy wodonośnej nie przykrywają osady słabo przepuszczalne.

W obrębie GZWP nr 133 funkcjonuje 16 ujęć czwartorzędowego poziomu wodonośnego. Przeprowadzono symulację jednoczesnego poboru wody na wszystkich ujęciach na tym obszarze w wysokości aktualnego poboru, łącznie 264 m<sup>3</sup>/h. Bilans wodny w warunkach eksploatacji różni się nieznacznie od bilansu w warunkach naturalnych. W wyniku eksploatacji zwiększa się infiltracja z wód powierzchniowych, a zmniejsza ich drenaż.

Przeprowadzono także symulację poboru wód dla maksymalnych wielkości eksploatacji zatwierdzonych przez organy administracji geologicznej w pozwoleniach wodnoprawnych dla poszczególnych ujęć. W tych warunkach regionalny lej depresji w obu poziomach wodonośnych kształtuje się w zakresie 1–2 m we wschodniej części zbiornika i ok. 5 m w części zachodniej, lokalnie w Falmierowie depresja osiąga 17 m, a na ujęciu Wysoka (poza zasięgiem zbiornika) – 27 m. Na ujęciu w Wyrzysku wydatek dodatkowo zwiększono do 420 m<sup>3</sup>/h w celu sprawdzenia, czy możliwa jest praca ujęcia z wydajnością powyżej 10 tys. m<sup>3</sup>/dobę. Regionalny lej depresji powiększył się bardzo nieznacznie, natomiast na ujęciu w Wyrzysku depresje sięgają 8 m, co nie przeszkadza jednak w pracy ujęcia.

Obliczenie czasu dopływu wody do warstwy wodonośnej jest podstawą określenia wielkości i granic obszaru ochronnego zbiornika. W tym celu wykonano symulację czasu dopływu wody do zbiornika (ryc. 4). Symulację wykonano w warunkach aktualnego poboru w wysokości

264 m<sup>3</sup>/h, z czego w obrębie zbiornika – 88 m<sup>3</sup>/h. Dla całego obszaru modelu obliczono czas pionowej migracji wody i zanieczyszczeń konserwatywnych z powierzchni terenu do poziomu wodonośnego, korzystając z następującej zależności (Witczak & Żurek, 1994):

$$t_a = \sum_{i=1}^n \frac{m_i \cdot \omega_0}{I}$$

gdzie:

$t_a$  – czas przesączania przez strefę aeracji [lata],  
 $m_i$  – miąższość i-tej warstwy strefy aeracji [m],  
 $\omega_0$  – przeciętna wilgotność objętościowa strefy aeracji [–],  
 $I$  – infiltracja efektywna poniżej gleby [m/rok],  
 $n$  – liczba warstw.

Czas migracji wody przez strefę aeracji na większości obszaru GZWP nr 133 wynosi powyżej 50 lat. Jedynie w południowo-wschodniej części zbiornika w dolinie rzeki Orlej znajduje się fragment warstwy piaszczystej o słabszej izolacji (5–15 lat).

Na podstawie obliczonego czasu migracji wody przez strefę aeracji i wynikającego z symulacji czasu przesiąkania przez słabo przepuszczalny nadkład zbiornika można stwierdzić, że GZWP nr 133 jest izolowany od powierzchni i przepływ pionowy jest tam dłuższy niż 25 lat. W związku z powyższym wystarczy, że strefa ochronna GZWP nr 133 Młotkowo zostanie ograniczona do granic zbiornika.



Ryc. 4. Mapa izochron przepływu wód do GZWP 133 (podkład: mapa topograficzna 1 : 50 000, PUWG „1992”)

Fig. 4. Isochrones of MBWB 133 recharge (background: 1 : 50 000 scale Topographic Map, National Coordinate System 1992 of Poland)

## PODSUMOWANIE

Infiltracja efektywna opadu na obszarze GZWP nr 133 Młotkowo wynosi  $9,49 \text{ m}^3/\text{h}/\text{km}^2$ . Czwartorzędowy poziom wodonośny jest drenowany głównie przez wody powierzchniowe, które odpowiadają za ponad 75% drenażu. Zbiornik GZWP nr 133 znajduje się na obszarze wysoczyzny morenowej, ale silnie wpływa na niego drenaż w dolinie Noteci. Czwartorzędowy poziom wodonośny ma również dobry kontakt hydrauliczny z neogeńskim poziomem wodonośnym w obrębie zbiornika, na co wskazuje stosunkowo duża wymiana wód pomiędzy nimi. Eksploatacja na tym obszarze wynosi aktualnie ok.  $88 \text{ m}^3/\text{h}$  i nie ma znaczącego wpływu na dynamikę wód podziemnych.

Większa część obszaru GZWP nr 133 Młotkowo jest izolowana od powierzchni terenu warstwą osadów słabo przepuszczalnych o znacznej miąższości. Czas dopływu wód z powierzchni terenu do zbiornika znacząco przekracza 25 lat, więc nie zachodzi potrzeba wyznaczenia dodatkowych stref ochronnych poza obszarem GZWP nr 133.

## LITERATURA

CHMAL R. 2009 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1 : 50 000, ark. Wysoka 276. Państw. Inst. Geol., Warszawa.  
 HERBICH P., KAZIMIERSKI B., NOWICKI K., PRAŻAK J. & SKRZYPCZYK L. 2008 – Metodyka wyznaczania obszarów ochronnych Głównych Zbiorników Wód Podziemnych dla potrzeb planowania i gospodarowania wodami w obszarach dorzeczy. Państw. Inst. Geol., Warszawa, s. 59.

HAISING J. & WILANOWSKI S. 2007 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1 : 50 000, ark. Łobżenica. Państw. Inst. Geol., Warszawa.  
 KASPRZAK L. & KOZARSKI S. 1985 – Litostratygraficzne podstawy subfazy chodzieskiej ostatniego zlodowacenia w północnej Wielkopolsce. Spraw. Pozn. Tow. Przyj. Nauk za rok 1983, Wydz. Mat.-Przyr., 101.  
 KLECZKOWSKI A.S. 1990 – Mapa Obszarów Głównych Zbiorników Wód Podziemnych (GZWP) w Polsce wymagających szczególnej ochrony 1 : 500 000. Wyd. AGH, Kraków.  
 KONDRACKI J. 2000 – Geografia regionalna Polski. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.  
 MARCINIAK M., PRZYBYŁEK J., HERZIG J. & SZCZEPAŃSKA J. 1999 – Badania współczynnika filtracji utworów półprzepuszczalnych. Gosp. Sur. Miner., 15 (3): 91–106.  
 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.  
 ODOJ M., NARWOJSZ A., NARWOJSZ M., MAREK K. & RABEK W. 2014 – Program prac na przeprowadzenie badań w celu sporządzenia dokumentacji hydrogeologicznej określającej warunki hydrogeologiczne w związku z ustanawianiem obszarów ochronnych Głównego Zbiornika Wód Podziemnych nr 133 – zbiornik międzymorenowy Młotkowo.  
 PAZDRO Z. & KOZERSKI B. 1990 – Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geol., Warszawa: 485–499.  
 STRYCYŃSKI A. 2000 – Mapa Hydrogeologiczna Polski 1 : 50 000, ark. Szamocin (315). Państw. Inst. Geol., MS, Warszawa.  
 UNIEJOWSKA M. & WŁODEK M. 1978 – Mapa Geologiczna Polski 1 : 200 000, ark. Nakło, cz. A i B. Wyd. Geol., Warszawa.  
 WALUSZKO W. & PASIEROWSKA B. 2000 – Mapa Hydrogeologiczna Polski 1 : 50 000, ark. Wyrzysk (316). Państw. Inst. Geol., MS, Warszawa.  
 WITCZAK A. & ŻUREK A. 1994 – Wykorzystanie map glebowo-rolniczych w ocenie ochronnej roli gleb dla wód podziemnych. [W:] Kleczkowski A.S. (red.), Metodyczne podstawy ochrony wód podziemnych. AGH, Kraków: 155–180.  
 ŻELEŻNIEWICZ A., ALEKSANDROWSKI P., BUŁA Z., KARNOWSKI P.H., KONON A., OSZCZYPKO N., ŚLĄCZKA A., ŻABA J. & ŻYTKO K. 2011 – Regionalizacja tektoniczna Polski. Komitet Nauk Geologicznych PAN, Wrocław.