

## USTALENIE ZASOBÓW EKSPLOATACYJNYCH WÓD PODZIEMNYCH DLA NOWEGO UJĘCIA WRZOSY III W TORUNIU

### SAFE YIELD DETERMINATION FOR THE NEW WRZOSY III WATER INTAKE IN TORUŃ

BEATA JAWORSKA-SZULC<sup>1</sup>

**Abstrakt.** Ze względu na zagrożenie jakości wód podziemnych w Toruniu planowana jest budowa nowego ujęcia Wrzosa III. Dla nowej lokalizacji ujęcia skonstruowano model matematyczny. Obszar badań ma powierzchnię 15 km<sup>2</sup>. Wody podziemne występują tu w osadach czwartorzędowych. Zasilanie wód podziemnych odbywa się głównie na drodze infiltracji opadów (średni moduł zasilania infiltracyjnego wynosi 109,3 mm/rok). Warstwa wodonośna jest również zasilana poprzez dopływ lateralny spoza obszaru badań, od północy z Wysoczyzny Chełmińskiej, oraz poprzez infiltrację z Łysomickiej Strugi. Wydajność eksploatacyjna została oszacowana na około 270 m<sup>3</sup>/h, przy depresji około 5 m.

**Słowa kluczowe:** zasoby wód podziemnych, modelowanie przepływu wód podziemnych, ujęcie wód podziemnych.

**Abstract.** The Wrzosa III intake is investigated on account of risk of groundwater quality degradation, to change its location. Therefore, a mathematical model was developed for the new location. The research area covers about 15 km<sup>2</sup>. Groundwater occurs in the Quaternary formations and the aquifer is recharged mainly by precipitation (infiltration recharge module is 109 mm/year). The rest of the inflow comes from lateral flows from beyond the study area and also to some extent from a river. The safe yield on the new Wrzosa III intake can be estimated at 270 m<sup>3</sup>/h, with expected drawdowns of about 5 m.

**Key words:** groundwater resources, groundwater flow modelling, groundwater intake.

## WSTĘP

Ujęcie Wrzosa II w Toruniu powstało w 1968 r. Do 1995 r. zasoby wynosiły 270 m<sup>3</sup>/h, przy depresji 2,5 m. W 1995 r. decyzją KDH zatwierdzono zasoby w ilości 320 m<sup>3</sup>/h, przy depresji 3,0–4,5 m. Obecnie ujęcie znajduje się w strefie grożącej obniżeniem jakości wody. W sąsiedztwie znajdują się obiekty stanowiące ogniska zanieczyszczeń wód podziemnych, takie jak: zabudowa mieszkaniowa nie w pełni skanalizowana, droga publiczna o dużym natężeniu ruchu, warsztaty samochodowe i cmentarz. Powoduje to

poważne trudności w zachowaniu warunków sanitarnych strefy ochronnej ujęcia. Dodatkowo ujęcie zagrożone jest migracją zanieczyszczeń z terenu byłej jednostki armii radzieckiej (JAR). W związku z powyższym na północ od ujęcia Wrzosa II na terenie lasów komunalnych zaplanowano budowę ujęcia Wrzosa III. Dla nowej lokalizacji ujęcia skonstruowano model numeryczny i obliczono dopuszczalną wartość eksploatacji.

---

<sup>1</sup> Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, ul. Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk

## CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Obszar badań położony jest w obrębie Kotliny Toruńskiej, będącej mezoregionem Pradoliny Toruńsko-Eberswaldzkiej (Kondracki, 1977). Jest to obszar górnego, erozyjnego tarasu Wisły, którego północną granicę stanowi Wysoczyzna Chełmińska. U podnóża wysoczyzny płynie Łysomicka Struga, zasilana wodami opadowymi oraz wodami podziemnymi wypływającymi spod krawędzi wysoczyzny. Na południu, w odległości 3,5 km od ujęcia, przepływa Wisła. Obszar badań należy do jej prawego dorzecza.

Na obszarze badań rozpoznano głównie utwory czwartorzędowe (fig. 1). Zalegają one na osadach neogenu, z których rozpoznano tylko górne partie pliocenu w postaci iłłów pstrych o miąższości około 2 m. Miąższość czwartorzęd jest zróżnicowana, od 6 do 46 m. Są to głównie utwory piaszczyste oraz żwirowe pochodzenia fluwioglacjalnego, piaski akumulacji rzecznej i eolicznej. Lokalnie piaski podścielone są gliną zwałową lub rozdzielone są wkładkami iłłów

lub mułków (Płutniak, 1994). W osadach czwartorzędowych stwierdzono występowanie piaszczystej, pogrzebanej doliny. Przebiega ona od ujęcia Wrzosa II w kierunku północnym i kontynuuje się na północny zachód, co zostało potwierdzone badaniami geoelektrycznymi (Iciek, 2008).

W obrębie osadów czwartorzędowych występuje jedna warstwa wodonośna, lokalnie rozdzielona wkładkami iłłów lub mułków. Jej miąższość jest bardzo zróżnicowana i wynosi od 36–40 m w osi doliny, do około 6 m poza jej granicami. Swobodne zwierciadło wody układa się na rzędnych od 65 do 70 m. Współczynnik filtracji wynosi od 2 do 2,5 m/h. Warstwa wodonośna zasilana jest wodami dopływającymi z wysoczyzny oraz w wyniku infiltracji opadów. Infiltracji sprzyja brak izolacji warstwy wodonośnej i dobra przepuszczalność utworów powierzchniowych. Wody płyną z północy na południe, czyli z Wysoczyzny Chełmińskiej w kierunku Wisły.

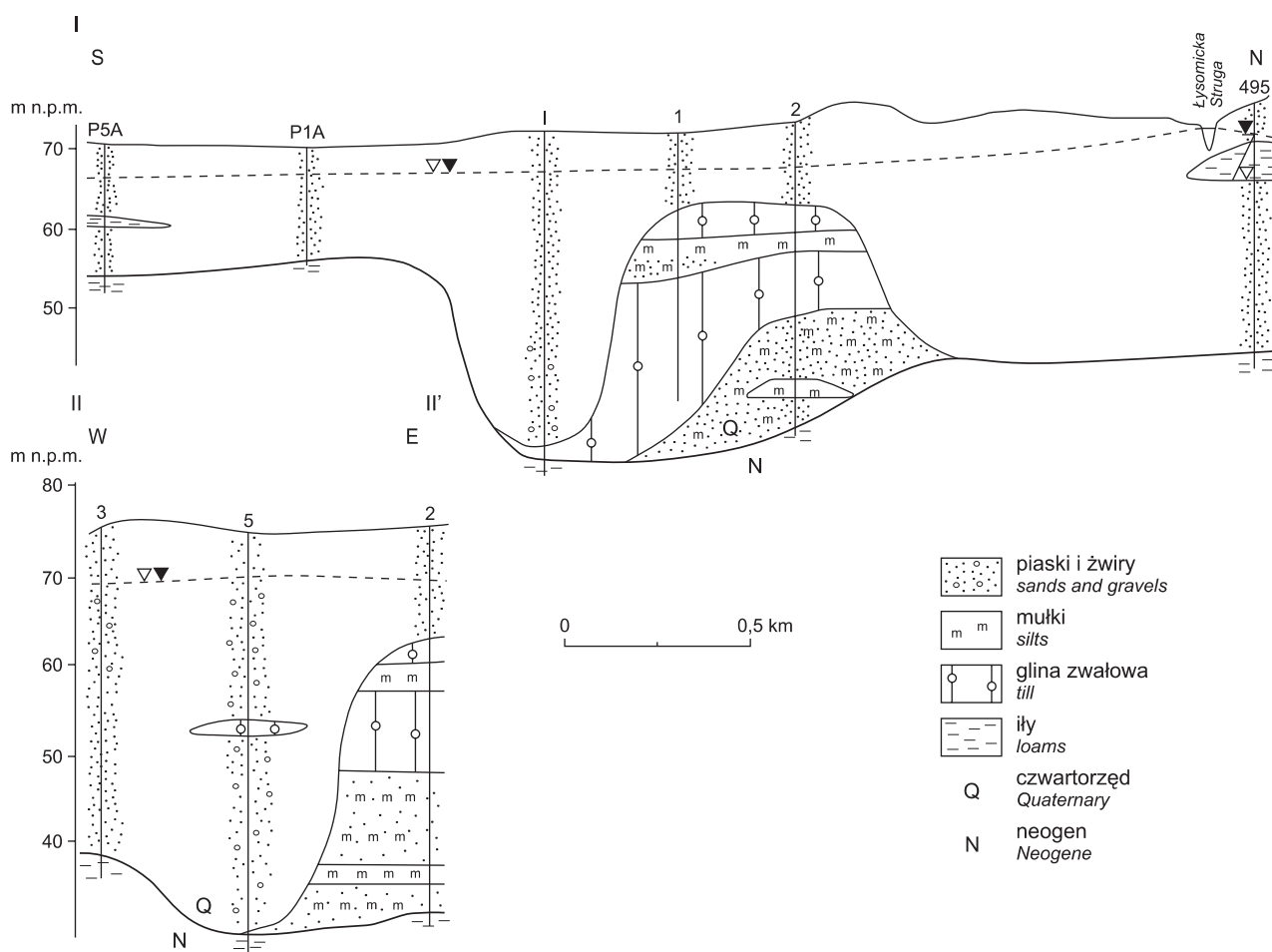


Fig. 1. Schematyczne przekroje hydrogeologiczne (wg Płutniak, 1994); lokalizacja na fig. 2

Schematic hydrogeological cross-sections (after Płutniak, 1994); location is shown in Fig. 2

## MODEL PRZEPLYWU WÓD PODZIEMNYCH

Do badań modelowych wydzielono przybliżony obszar zasilania i oddziaływania ujęcia o powierzchni 15 km<sup>2</sup> (fig. 2). Zasięg obszaru badań jest ograniczony ze względu na słabe rozpoznanie hydrogeologiczne terenów przyległych. Północną granicę modelu oparto w przybliżeniu na krawędzi wysoczyzny – jest to strefa dopływu wód spoza obszaru badań. Zadano tu warunek III rodzaju typu *General Head* (McDonald, Harbaugh, 1988). Na wschodzie, północnym zachodzie i południowym zachodzie granice biegną prostopadle do hydroizohips i zostały odwzorowane warunkiem II rodzaju ( $Q = 0$ ). Południową i zachodnią granicę oparto w przybliżeniu na hydroizohipsach 66 i 67 m n.p.m.; zadano tu warunek III rodzaju typu *General Head*. Przez te granice wody podziemne odpływają z obszaru badań w kierunku południowym i zachodnim. W modelu uwzględniono ciek Łysomska Struga (Papowska Struga), który na analizowanym odcinku ma charakter infiltrujący. Odwzorowano go warunkiem wewnętrznym III rodzaju typu *River*. Studnie eksploatacyjne odwzorowano warunkiem brzegowym wewnętrznym II rodzaju typu  $Q = \text{const}$  (*Well*). Do modelowania

numerycznego wykorzystano program ModFlow (McDonald, Harbaugh, 1988). Zastosowano wersję ModFlow 2000, pakiet do schematyzacji warunków hydrogeologicznych LPF (*Layer Property Flow*), a do aproksymacji pochodnych w metodzie różnic skończonych metodą PCG2 (*Preconditioned Conjugate-Gradient*).

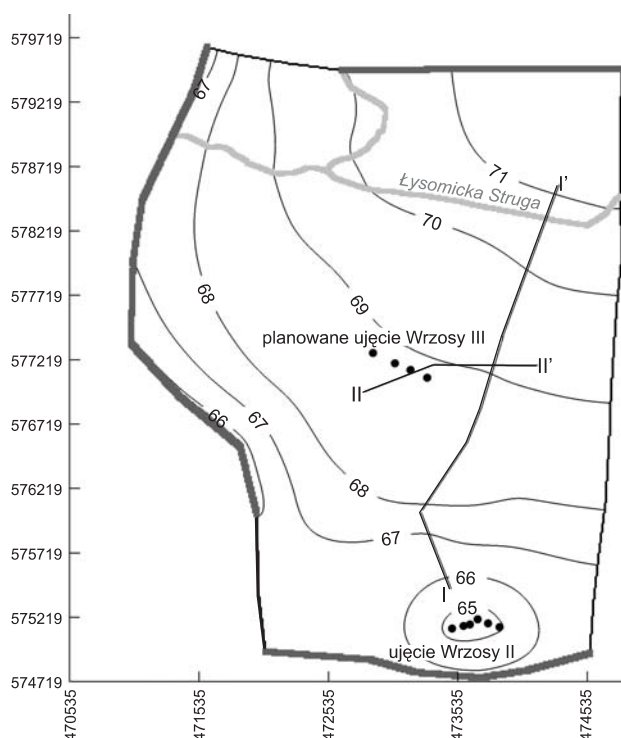
Schematyzacji warunków występowania wód podziemnych dokonano na podstawie danych z 38 otworów hydrogeologicznych. Uwzględniono również wyniki badań geofizycznych (Iciek, 2008), dzięki którym został rozpoznany przebieg struktury rynnowej w kierunku północno-zachodnim. W modelu zadano czwartorzędową warstwę wodonośną oraz podścielającą ją serię słabo przepuszczalną. Model koncepcyjny skonstruowano w skali 1:10 000. Wielkość oczek siatki na modelu wynosi 10 m. W warstwie wodonośnej jest 149 859 bloków obliczeniowych i tyle samo w warstwie słabo przepuszczalnej podścielającej poziom wodonośny. Ze względu na brak wystarczających danych z okresu przed eksploatacją ujęcia Wrzosa II identyfikację modelu oparto na pomiarach zwierciadła wody wykonanych w marcu 2008 r., dla średniej wydajności ujęcia 170 m<sup>3</sup>/h. W procesie identyfikacji modelu kalibrowano głównie wartości współczynnika filtracji, którego średnia wartość po kalibracji wynosi 1,25 m/h, przed kalibracją wynosiła 1,1 m/h. Innym parametrem, którego wartość ustalono w procesie identyfikacji modelu, był współczynnik filtracji osadów dennych cieków, ostatecznie zawiera się on w przedziale 0,01–0,03 m/h. Rozbieżności pomiędzy zwierciadłem pomierzonym i obliczonym wynoszą przeważnie 0–0,5 m, w okolicy ujęcia Wrzosa II i Wrzosa III błędy są bliskie zeru. Średnie wartości błędów kalibracji przedstawiono w tabeli 1. Najbardziej miarodajna jest wartość błędu średniego absolutnego, wynosi ona zaledwie 0,35 m, co potwierdza prawidłową identyfikację modelu.

Na podstawie danych archiwalnych z próbnym pompowaniem zweryfikowano pracę studzien w ujęciu Wrzosa II oraz w nowej lokalizacji ujęcia Wrzosa III. Obliczone na modelu wielkości depresji w studniach są zbliżone do zaobserwowanych. Różnice wynoszą od 0 do 0,3 m. Jedynie na modelu dla ujęcia Wrzosa III uzyskano większą o 0,7 m depresję niż w pomiarach terenowych. Jednak próbne pompowanie z bardzo wysokim wydatkiem 336 m<sup>3</sup>/h prowadzono zaledwie przez tydzień i wyniki obserwacji mogły nie osiągnąć jeszcze ustalonego poziomu. Można zatem uznać, że model został pozytywnie zweryfikowany.

Tabela 1

Wartości błędów kalibracji modelu  
Calibration errors

	Błąd [m]		
	średni	średni absolutny	średni kwadratowy
Warunki eksploatacji ujęcia Wrzosa II z wydajnością średnią 170 m <sup>3</sup> /h – marzec 2008	-0,22	0,35	0,50



- 66 — hydroizohipsy [m n.p.m.]  
hydraulic head distribution [m a.s.l.]
- I—I' linia przekroju  
cross-section line
- warunek brzegowy  $Q = 0$   
constant flow  $F = 0$
- studnie  
wells
- warunek brzegowy III rodzaju  
general head boundary

Fig. 2. Mapa hydroizohips (2008 r.)

Hydraulic head distribution (year 2008)

## ANALIZA WYNIKÓW OBLICZEŃ

Bilans przepływu wód uzyskany z obliczeń modelowych przedstawiono w tabeli 2. W warunkach naturalnych czwartorzędowa warstwa wodonośna zasilana jest w ponad 75% przez infiltrację efektywną opadów. Około 10,5% pochodzi z dopływu lateralnego z północy. Zasilanie infiltracyjne Łysomickiej Strugi stanowi 14% dopływu. Średni moduł zasilania infiltracyjnego określono na 12,65 m<sup>3</sup>/h·km<sup>2</sup>, tj. 109,3 mm/rok.

Symulacje przepływu wód podziemnych w warunkach wzbudzonych eksploatacją wykonano dla pięciu wariantów: 150, 200, 250, 270 i 320 m<sup>3</sup>/h. Obliczenia wykazały, że w warunkach poboru wody zwiększa się infiltracja Łysomickiej Strugi, co może okresowo prowadzić do zaniku przepływu. Eksploatacja wymusza również większy dopływ lateralny z wysoczyzny i jednocześnie zmniejsza się odpływ na południe i zachód. Zmiany są szczególnie widoczne w przypadku symulacji wykonanej dla maksymalnej wielkości eksploatacji. Wówczas odpływ lateralny zmniejsza się o blisko 84%. Ze względu na dużą zmienność stanów i przepływów w cieku Łysomicka Struga przeprowadzono dodatkowe symulacje dla warunków, w których nie występuje przepływ

w rzece i tym samym nie dochodzi do zasilania wód podziemnych. Obliczenia wykonano dla dwóch wariantów: 270 i 320 m<sup>3</sup>/h (tab. 2 kursywa), gdyż w tych warunkach stwierdzono największą infiltrację cieku. Brak infiltracji spowodował wymuszenie większego dopływu wody z wysoczyzny i zmniejszenie odpływu w kierunku zachodnim i południowym. Na ujęciu Wrzosa III powiększył się nieco zasięg leja depresji, a jego głębokość zwiększyła się o około 0,5 m.

W kolejnym etapie wyznaczono obszar zasobowy ujęcia, który jest wypadkową obszaru spływu wody do ujęcia i obszaru wpływu ujęcia (Dąbrowski i in., 2004). Obszar spływu wody do ujęcia ograniczono izochroną dopływu wody t = 25 lat. Obszar wpływu ujęcia wykreślono na podstawie zasięgu odchylenia hydroizohips podczas eksploatacji od stanu naturalnego. Przyjęto tolerancję 1 m, jako dopuszczalną ze względu na naturalne wahania zwierciadła wody. Obszar zasobowy wyznacza prawie cała strefa 25-letniego dopływu wody (fig. 3). Powierzchnia obszaru spływu wynosi od 4 do 11 km<sup>2</sup>, a depresja od 2,5 m przy wydatku 150 m<sup>3</sup>/h do 6,5–7,0 m przy wydatku 320 m<sup>3</sup>/h (tab. 3).

Tabela 2

Bilans przepływu wód podziemnych [m<sup>3</sup>/h], ujęcie Wrzosa III  
Groundwater budget [m<sup>3</sup>/h], Wrzosa III intake

	Bez eksploatacji	Eksploatacja [m <sup>3</sup> /h]				
		150	200	250	270	320
Infiltracja efektywna opadów	189,82	189,82	189,82	189,82	189,82 <i>189,82*</i>	189,82 <i>189,82</i>
Dopływ z północy – z wysoczyzny	26,4	64,15	77,44	91,17	96,85 <i>121,43</i>	127,24 <i>159,63</i>
Infiltracja Łysomickiej Strugi	35,49	40,87	41,86	42,55	42,74 <i>0</i>	42,93 <i>0</i>
Razem dopływ	251,71	294,84	309,12	323,54	329,41 <i>311,25</i>	359,99 <i>349,45</i>
Odpływ na południe i zachód	251,71	144,96	109,22	73,63	59,49 <i>41,33</i>	40,07 <i>29,52</i>
Drenaż Łysomickiej Strugi	0	0	0	0	0	0
Eksploatacja	0	150	200	250	270 <i>270</i>	320 <i>320</i>
Razem odpływ	251,71	294,96	309,22	323,63	329,49 <i>311,33</i>	360,07 <i>349,52</i>
Różnica dopływ i odpływ	0	0,12	0,1	0,09	0,08 <i>0,08</i>	0,08 <i>0,07</i>
Błąd bilansu	0	0,04	0,03	0,03	0,02 <i>0,02</i>	0,02 <i>0,02</i>

\* warianty obliczeń przy braku infiltracji Łysomickiej Strugi (kursywa).

Tabela 3

**Powierzchnia obszaru 25-letniego splywu wody do ujęcia oraz depresje na ujęciu Wrzosa III dla różnych wariantów eksploatacji**

3–25-year area of groundwater flow to the well and depressions on Wrzosa III intake for different variants of exploitation

Eksploatacja [m <sup>3</sup> /h]	150	200	250	270	320
Powierzchnia obszaru 25-letniego dopływu wody do ujęcia [km <sup>2</sup> ]	4,0	5,5	7,5	8,5 9,8*	10,0 11,0
Depresja na ujęciu [m]	2,5	3,5	4,5	5,0 5,5	6,0–6,5 6,5–7,0

\* warianty obliczeń przy braku infiltracji Łysomickiej Strugi (kursywa)

Wyniki obliczeń wskazują, że maksymalna wartość eksploatacji w ujęciu Wrzosa III nie powinna przekroczyć 320 m<sup>3</sup>/h, przy depresji 6–7 m. Większa wydajność wydaje się raczej niedopuszczalna ze względu na niewielką odnawialność z infiltracji opadów na obszarze badań, która wynosi 190 m<sup>3</sup>/h. Przy uwzględnieniu dodatkowo dopływu lateralnego z wysoczyzny średnia wydajność eksploatacyjna może być oszacowana na około 270 m<sup>3</sup>/h, przy spodziewanej depresji około 5 m. Dodatkowe obliczenia wykonane dla wydajności 270 m<sup>3</sup>/h wskazują, że depresja może wynosić do 5,5 m przy braku infiltracji ciekłu Łysomicka Struga.

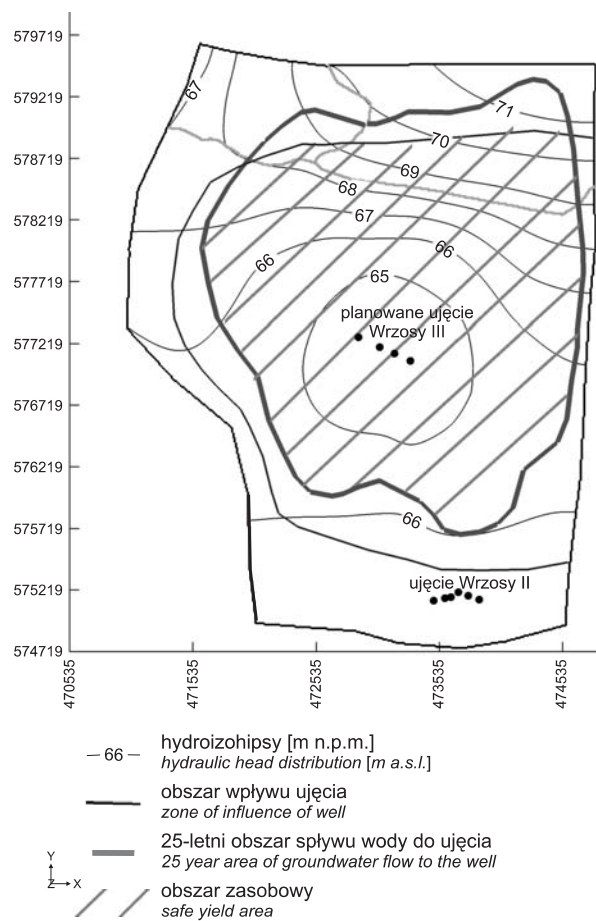


Fig. 3. Mapa hydroizohips – eksploatacja ujęcia Wrzosa III 270 m<sup>3</sup>/h

Hydraulic head distribution – wells discharge in Wrzosa III intake 270 m<sup>3</sup>/h

## PODSUMOWANIE

Na obszarze planowanego ujęcia Wrzosa III warunki hydrogeologiczne są korzystne. W warunkach naturalnych czwartorzędowa warstwa wodonośna zasilana jest w ponad 75% przez infiltrację efektywną opadów. Około 10,5% pochodzi z dopływu lateralnego z północy, a zasilanie infiltracyjne Łysomickiej Strugi stanowi 14% dopływu. Średni moduł zasilania infiltracyjnego określono w wyniku modelowania na 12,65 m<sup>3</sup>/h km<sup>2</sup>, tj. 109,3 mm/rok.

W warunkach eksploatacji zwiększa się infiltracja Łysomickiej Strugi, co może okresowo prowadzić do zaniku przepływu. Pobór wody wymusza również większy dopływ lateralny z wysoczyzny i jednocześnie zmniejsza się odpływ na

południe i zachód. Całkowity brak infiltracji ze Strugi spowoduje wymuszenie większego dopływu wód z wysoczyzny i zmniejszenie odpływu w kierunku zachodnim i południowym, wpłynie również na pogłębienie się lejów depresji o ok. 0,5 m. Powierzchnia obszaru splywu (t = 25 lat) dla pięciu wariantów eksploatacji: 150, 200, 250, 270, 320 m<sup>3</sup>/h wynosi od 4 do 11 km<sup>2</sup>. Depresja wynosi od 2,5 m przy wydatku 150 m<sup>3</sup>/h do 6,5–7,0 m przy wydatku 320 m<sup>3</sup>/h.

Wyniki obliczeń wskazują, że maksymalna wartość eksploatacji w ujęciu Wrzosa III nie powinna przekroczyć 320 m<sup>3</sup>/h, przy depresji 6–7 m. Wydajność eksploatacyjną oszacowano na około 270 m<sup>3</sup>/h, przy depresji około 5 m.

## LITERATURA

- DĄBROWSKI S., GÓRSKI J., KAPUŚCIŃSKI J., PRZYBYŁEK J., SZCZEPAŃSKI A., 2004 – Metodyka określania zasobów eksploatacyjnych ujęć zwykłych wód podziemnych. Poradnik metodyczny. Ministerstwo Środowiska, Warszawa.
- ICIEK A., 2008 – Wyniki reinterpretacji badań geoelektrycznych, rejon ujęcia wód podziemnych Toruń Wrzosey. Arch. Przeds. Geol. POLGEOL Warszawa, Zakład w Gdańsku.
- KONDRACKI J., 1977 – Regiony fizycznogeograficzne Polski. PWN, Warszawa.
- 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.
- PŁUTNIAK B., 1994 – Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów eksploatacyjnych wód podziemnych rejonu na północ od ujęcia „Wrzosey II” w Toruniu. Arch. Przeds. Geol. POLGEOL Warszawa, Zakład w Gdańsku.

## SUMMARY

The groundwater intake Wrzosey II was built in 1968. Until 1995, the safe yield was 270 m<sup>3</sup>/h, with the drawdown of 2.5m. In 1995, the safe yield increased to 320 m<sup>3</sup>/h, with the drawdown of 3–4.5 m. The Wrzosey III intake is investigated on account of risk of groundwater quality degradation, to change its location. In the present location, there is a hazard of groundwater pollution. Unsewered houses, a heavy traffic street, garages and a graveyard are situated near the intake. Therefore, a mathematical model was developed for the new location. The MODFLOW program was used to build a 3D steady state model on the basis of data from 38 boreholes. The research area covers about 15 km<sup>2</sup> and was digitalized as a square network with 10 m long sides. Groundwater occurs in the Quaternary formations and the aquifer is recharged in over 75% by precipitation (infiltration recharge module is

109 mm/year). About 10.5% of the inflow comes from lateral flows from beyond the research area. River infiltration constitutes 14% of the inflow. The groundwater abstraction constrains larger lateral flows from beyond the research area as well as increased infiltration from the Łysomicka Struga River. At the same time, the lateral outflow decreased. Simulations conducted under conditions lacking of river infiltration showed that drawdowns on the Wrzosey III intake deepened by about 0.5 m. A 25-year area of groundwater flow to the well for different variants of extraction rates (150, 200, 250, 270, 320 m<sup>3</sup>/h) covers from 4 to 11 km<sup>2</sup>. Drawdowns on the Wrzosey III intake vary from 2.5 m (with extraction rate of 150 m<sup>3</sup>/h) to 6.5 – 7 m (with extraction rate of 320 m<sup>3</sup>/h). The safe yield on the new Wrzosey III intake can be estimated at 270 m<sup>3</sup>/h, with expected drawdowns of about 5 m.