

ROLA ZBIORNIKA GÓRNEGO ELEKTROWNI WODNEJ ŻARNOWIEC W KSZTAŁTOWANIU WIELKOŚCI I ZASIĘGU ZMIAN STANÓW WÓD PODZIEMNYCH

THE ROLE OF THE UPPER RESERVOIR OF THE ESP ŻARNOWIEC PUMPED-STORAGE POWER PLANT IN THE FORMATION OF SCALE AND EXTENT OF GROUNDWATER LEVEL CHANGES

EWA KROGULEC¹, KATARZYNA SAWICKA¹, ANNA FURMANKOWSKA¹

Abstrakt. Elektrownia Wodna Żarnowiec wykorzystuje Jezioro Żarnowieckie jako zbiornik dolny. Sztuczny zbiornik górny o powierzchni 135 ha, wybudowano w latach 1974–1983. Celem badań było określenie wpływu zmian stanów wód w zbiorniku górnym na stany wód podziemnych użytkowego poziomu wodonośnego. W dobowych i godzinowych obserwacjach zaznacza się wyraźna zależność pomiędzy ilością wody w zbiorniku, a położeniem rzędnej zwierciadła wód podziemnych. Wielkość amplitud stanów wód podziemnych zdecydowanie zmniejsza się wraz z odległością od zbiornika. Wykonywane w interwałach miesięcznych pomiary, na podstawie których wykazano sezonowe zmiany stanów wód podziemnych, nie mogą być podstawą wiarygodnej oceny korelacji statystycznych, a przez to jednoznacznej oceny wielkości i zasięgu wpływu analizowanego obiektu na wody podziemne.

Słowa kluczowe: elektrownia wodna, sieć monitoringowa, obserwacje stanów wód podziemnych.

Abstract. The ESP Żarnowiec Pumped-Storage Power Plant uses the Żarnowieckie Lake as a Bottom Reservoir, while the artificial Upper Reservoir with an area of 135 ha, was built between 1974 to 1983. The aim of the research was to determine the effect of changes in water levels in Upper Reservoir on groundwater levels in the useful aquifer. A clear correlation between amount of water in the reservoir and the groundwater level elevation can be marked in the daily and hourly observations. The range of amplitudes of groundwater level changes strongly decreases with the distance from the reservoir. Measurements carried out at monthly intervals, indicating the seasonal changes in groundwater levels, cannot be the basis for a reliable assessment of statistical correlation and thus a clear evaluation of the scale and extent of impact on groundwater of the analyzed object.

Key words: water-power plant, monitoring net, groundwater level observations.

WSTĘP

Elektrownia Wodna Żarnowiec – PGE Energia Odnawialna SA to elektrownia szczytowo-pompowa wykorzystująca Jezioro Żarnowieckie jako zbiornik dolny. Zbiornik górny (ZG) całkowicie sztuczny, zaprojektowany dla potrzeb elektrociepłowni, o powierzchni 135 ha, wybudowano w latach 1974–1983, a w 2006 roku przeprowadzono prace modernizacyjne polegające na uszczelnieniu powłok asfalto-

betonowych oraz odtworzeniu powłok szczelnych skarp odwodnych. Zakres dobowych zmian stanów wód w zbiorniku wynosi średnio około 5 m, a incydentalnie ponad 18 m.

Celem badań było określenie wpływu zmian napełnienia zbiornika górnego na stany wód podziemnych w czwartorzędowych poziomach wodonośnych na podstawie obserwacji monitoringowych prowadzonych w różnych interwałach

¹ Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, Instytut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; e-mail ewa.krogulec@uw.edu.pl; sawicka@uw.edu.pl; anna.furmankowska@student.uw.edu.pl

czasowych i w różnej odległości od zbiornika. Analizę możliwych skutków zmian stanów wód w zbiorniku górnym podjęto ze względu na zlokalizowane w pobliżu obszary

przyrodnicze prawnie chronione oraz realizowane w niewielkiej odległości od zbiornika prace wiertnicze związane z poszukiwaniem złóż węgłowodorów.

LOKALIZACJA OBSZARU BADAŃ, CHARAKTERYSTYKA SIECI MONITORINGOWEJ

Zbiornik górny EW Żarnowiec znajduje się w obrębie wschodniego fragmentu makroregionu Pobrzeża Kaszubskiego, na terenie mezoregionu Wysoczyzny Żarnowieckiej. Jej charakterystyczną cechą jest obecność szeregu głębokich obniżzeń (pradoliny oraz rynien subglacjalnych), między którymi występują, typowe dla tego regionu, tzw. kępy wysoczyznowe. Zbiornik górny jest położony w południowej części Kępy Gniewinowskiej, która jest strukturą o stosunkowo małej powierzchni i stromych zboczach (fig. 1). W odległości około 0,5 km od zbiornika górnego elektrowni, w kierunku północno-wschodnim, znajduje się Główny Zbiornik Wód Podziemnych nr 109 – Dolina Kopalna Żarnowiec. W bezpośrednim sąsiedztwie ZG utworzono przyrodniczy obiekt chroniony – obszar Natura 2000 „Opalińskie

Buczyny” (kod PLH220099) o powierzchni 355,7 ha (fig. 1). W odległości około 330 m na południowy wschód od zbiornika zlokalizowano wiercenie poszukiwawcze złóż węgłowodorów (fig. 1). Sieć monitoringową EW Żarnowiec, założoną w celu monitorowania wód w zbiorniku, stanowi zespół 16 piezometrów zainstalowanych wokół niego. Przewodzone są w nich obserwacje stanów wód podziemnych w czwartorzędowych poziomach wodonośnych (fig. 1). Pomiarzy ciągłe położenia zwierciadła są wykonywane automatycznie co godzinę w zbiorniku oraz w trzech piezometrach z których dwa, na potrzeby artykułu oznaczone symbolami A i B, znajdują się w bezpośrednim sąsiedztwie ZG. Piezometr C jest zlokalizowany w odległości około 600 m od zbiornika (fig. 1). Analizę przeprowadzono na podstawie danych

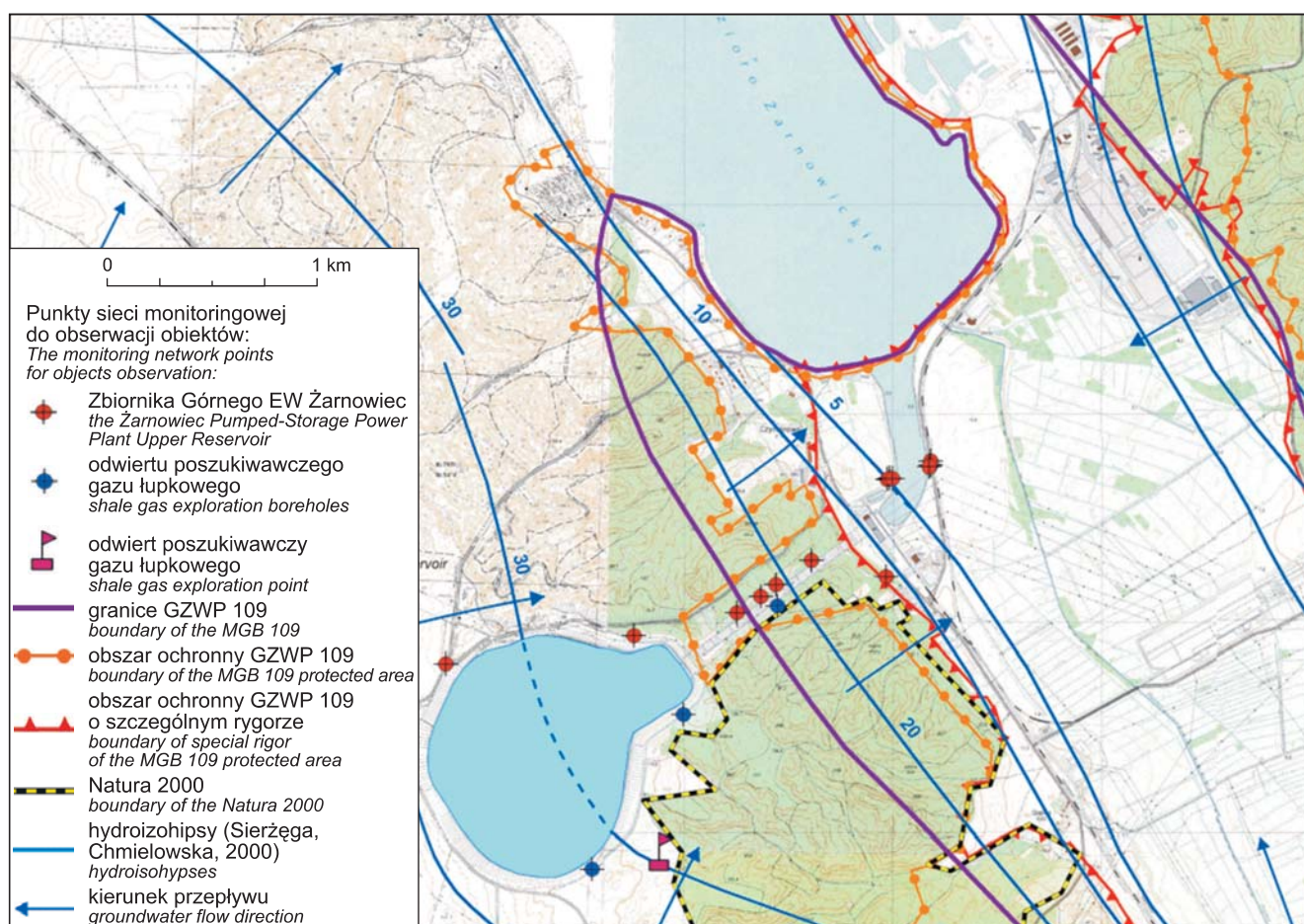


Fig. 1. Lokalizacja sieci monitoringowej w rejonie zbiornika górnego Elektrowni Wodnej Żarnowiec

Location of the monitoring network in the region of the Żarnowiec Pumped-Storage Power Plant upper reservoir

z lat 2007–2012. W pozostałych otworach obserwacyjnych, położonych w różnych odległościach od zbiornika, obserwacje stanów wód podziemnych są prowadzone ręcznie w inter-

wałach miesięcznych. Głównym zadaniem sieci obserwacyjnej jest kontrola występowania przecieków ze zbiornika (rozszczelnienie dna i skarp zbiornika) (Kiliński i in., 2000, 2004).

CHARAKTERYSTYKA WARUNKÓW HYDROGEOLOGICZNYCH REJONU ZBIORNIKA GÓRNEGO

Czwartorzędowe piętro wodonośne w rejonie Wysoczyzny Żarnowieckiej tworzą najczęściej dwie warstwy wodonośne. Warstwa płytsza, zbudowana z międzymorenowych piasków wodnolodowcowych, występuje na głębokości około 40–100 m. W rejonie kęp wysoczyznowych, w tym Kępy Gniewinowskiej, stropowe partie tej warstwy uważane są za bezwodne. Warstwa głębsza mająca zasięg lokalny, występuje w obniżeniach podłoża czwartorzędowego, najczęściej na głębokości 100–110 m (Sierzęga, Chmielowska, 2000).

W rejonie zbiornika górnego udokumentowano jeden ciągły, użytkowy poziom wodonośny. W stropowej jego części zainstalowano piezometry sieci monitoringowej. W obrębie miększej warstwy osadów piaszczystych występują przewarstwienia piasków gliniastych oraz lokalnie mułki. Strop warstwy wodonośnej występuje tu na głębokości około 50 m. Zwierciadło wód ma charakter napięty, stabilizuje się na rzędnej około 40 m n.p.m., lokalnie może występować zwierciadło swobodne. Obszar Wysoczyzny Żarnowiec-

kiej jest obszarem alimentacji. Wody podziemne odpływają w kierunku północnym, a bazami drenażu są rynna Jeziora Żarnowieckiego, pradolina Płutnicy i obszar nizin nadmorskich z brzegiem morza.

Około 0,5 km w kierunku NE od zbiornika górnego znajduje się Główny Zbiornik Wód Podziemnych nr 109 – Dolina Kopalna Żarnowiec. Powierzchnia GZWP 109 wynosi 15 km², a obszar spływu o areale około 110 km² (Kiliński i inni, 2004) obejmuje prawie w całości zlewnię rzeki Piaśnicy, w obrębie której położony jest także ZG Elektrowni. Na obszarze GZWP 109 występują dwie czwartorzędowe warstwy wodonośne. Płytsza o miąższości dochodzącej do 45 m, występuje od powierzchni terenu i jest związana z osadami piaszczysto-żwirowymi, wypełniającymi południową część rynny Jeziora Żarnowieckiego. Warstwa głębsza, położona na głębokości 50–70 m jest związana z kopalną rynną erozyjną, której zasięg w znacznej części pokrywa się ze współczesną formą morfologiczną.

ANALIZA DANYCH MONITORINGOWYCH

Zmiany położenia zwierciadła wód w ZG są uzależnione od pracy EW Żarnowiec. Napełnienie i spust zbiornika następują raz na dobę, co powoduje około pięciometrowe amplitudy zmian. Na wartości średniej wieloletniej oraz średniej amplitudy położenia zwierciadła w zbiorniku, mają wpływ wyniki pomiarów z 2007 i 2009 r, kiedy zanotowano minimalny stan wód (zbiornik całkowicie opróżniony). W celu wskazania wpływu na wartości statystyczne wzięto pod uwagę wszystkie obserwacje stanów zarejestrowanych zarówno przy całkowitym jak i opróżnionym zbiorniku, czyli sytuacji rzeczywiście notowanych. Analiza danych monitoringowych na tle rozpoznanych warunków hydrogeologicznych umożliwiła ocenę dynamiki zmian stanów wód podziemnych głównego użytkowego poziomu wodonośnego.

Oceny współdziałania zbiornika górnego EW Żarnowiec dokonano, analizując położenia zwierciadła wód podziemnych w 3 piezometrach zlokalizowanych w różnych odległościach od zbiornika. Godzinowe dane pomiarowe uproszczono do średnich dobowych. Wyniki przeprowadzonej analizy jednoznacznie wskazują, że środowisko wód podziemnych głównego poziomu wodonośnego charakteryzuje się niewielką dynamiką zmian stanów wód podziemnych. Średnia wieloletnia amplituda stanów wód podziemnych wynosi od 0,67 m do 3,96 m w okresie letnim i od

0,45 m do 2,67 m w okresie zimowym (tab. 1). Wartości mediany we wszystkich punktach pomiarowych są zbliżone do średniej wieloletniej, co świadczy o dużej stabilności stanów w badanych poziomach wodonośnych. Pomiarów stanów wód w piezometrach zlokalizowanych w sąsiedztwie ZG osiągają wartości minimalne w okresie zimowym (styczeń, luty, marzec), zaś maksymalne w okresie letnim. Najwyższe położenie zwierciadła jest notowane w czerwcu i utrzymuje się na zbliżonym poziomie aż do listopada. W piezometrach usytuowanych w dalszej odległości, ze względu na luki pomiarowe nie wyznaczono linii trendu.

Zakres zmian stanów zwierciadła wód podziemnych zmniejsza się wraz z odległością od zbiornika. W jego bezpośrednim sąsiedztwie wynosi ponad 3 m, a w odległości około 600 m nieco ponad 0,6 m przy ponad 28 metrowej zmianie stanów wód powierzchniowych w zbiorniku.

Dla każdego punktu, w którym wykonywano pomiary automatycznie, obliczono wartości charakterystyczne amplitud dobowych zwierciadła wód (tab. 2). W bezpośrednim sąsiedztwie zbiornika średnie wieloletnie amplitudy dobowe zwierciadła wód podziemnych wynoszą od 0,48 do 0,82 m. Znacznie mniejsze wartości, bo wynoszące 0,07 m zanotowano w piezometrze zlokalizowanym w odległości około 600 m od zbiornika, przy ponad 5 m dobowej amplitudzie

Tabela 1

Wartości charakterystyczne położenia zwierciadła wody
Characteristic values of the groundwater table elevation

Charakterystyka statystyczna	Punkt pomiarowy			
	Zbiornik górny	Piezometr A	Piezometr B	Piezometr C
	Rok			
Średnia wieloletnia (SW)	122,34	43,34	25,76	20,55
Maksimum	126,20	45,32	26,88	20,90
Minimum	97,73	42,18	22,92	20,23
Amplituda	28,47	3,14	3,96	0,67
Mediana	122,91	43,34	25,48	20,51
Odchylenie standardowe	3,04	0,38	0,60	0,15
	Sezon XI-IV			
Średnia wieloletnia (SW)	122,04	43,26	26,38	20,72
Maksimum	126,20	45,20	26,85	20,84
Minimum	97,73	42,53	25,77	20,38
Amplituda	28,47	2,67	1,08	0,45
Mediana	122,69	43,24	26,40	20,73
Odchylenie hstandardowe	3,55	0,39	0,15	0,07
	Sezon V-X			
Średnia wieloletnia (SW)	122,57	43,40	25,69	20,53
Maksimum	126,14	45,32	26,88	20,90
Minimum	110,13	42,18	22,92	20,23
Amplituda	16,01	3,14	3,96	0,67
Mediana	123,04	43,41	25,41	20,50
Odchylenie Standardowe	2,56	0,36	0,59	0,14

wahań stanów wód w zbiorniku. Największe dobowe amplitudy w warstwie wodonośnej osiągnęły wartość 2,37 m przy ponad 18 m zmianie stanów wód w zbiorniku. Zasięg oddziaływania zmian stanów zbiornika jest ograniczony, bo w odległości około 600 m od obiektu, maksymalne zmiany dobowe wynosiły jedynie 0,21 m. W ciągu doby wahania stanów wód podziemnych są niewielkie i mieszczą się w zakresie od 0,040 do 0,059 m. Dobowe zmiany zwierciadła są

dość ustabilizowane. Świadczy o tym wieloletnia średnia dobowa wielkość mediany, która jest zbliżona do wartości wieloletniej średniej dobowej (tab. 2).

W celu określenia zależności pomiędzy stopniem napełnienia zbiornika, a zmianą położenia zwierciadła wód podziemnych, wykonano analizę statystyczną amplitud dobowych. Na podstawie danych z piezometrów, w których automatycznie monitorowano stany wód (od 404 do 1348

Tabela 2

Wartości charakterystyczne średnich amplitud dobowych położenia zwierciadła wody
Characteristic values of the mean daily amplitudes of the groundwater table elevation

Charakterystyka statystyczna [m]	Punkt pomiarowy			
	Zbiornik Górny	Piezometr A	Piezometr B	Piezometr C
Średnia wieloletnia amplituda dobową	5,03	0,82	0,48	0,07
Maksimum	18,84	2,37	1,62	0,21
Minimum	0,00	0,00	0,00	0,00
Mediana	4,50	0,81	0,43	0,06
Odchylenie standardowe	3,14	0,45	0,29	0,04

Tabela 3

Wyniki korelacji położenia zwierciadła wód podziemnych w piezometrach w zależności od stopnia napełnienia zbiornika górnego
Correlation results of the groundwater table elevation in the piezometers, depending on the ratio of upper reservoir filling

Charakterystyka statystyczna	Piezometr A	Piezometr B	Piezometr C
Liczba obserwacji (liczba dób)	1192	308	404
Typ rozkładu	normalny	normalny	normalny
Równanie linii regresji	$y = 0,1348x + 0,1694$	$y = 0,0932x + 0,0699$	$y = 0,1116x + 0,0208$
Współczynnik determinacji	0,83	0,84	0,74
Współczynnik korelacji liniowej Pearsona	0,91	0,91	0,86
Siła korelacji	bardzo silna	bardzo silna	silna
Istotność statystyczna (test t-Studenta)	tak	tak	tak

obserwacji w 3 piezometrach) obliczono współczynnik determinacji i korelacji liniowej Pearsona. Za pomocą testu t-Studenta, dla n-2 stopni swobody, wyznaczono siłę korelacji między amplitudami w monitorowanych piezometrach, a amplitudami w zbiorniku (tab. 3).

Między napełnieniem zbiornika a rzędną zwierciadła wód podziemnych w piezometrach usytuowanych w bezpośrednim sąsiedztwie zbiornika występuje bardzo silna, istotna statystycznie korelacja. Wielkość zmiany położenia zwierciadła w tych piezometrach zależy w ponad 80% od stopnia napełnienia zbiornika (fig.2). Silną zależność stwierdzono w piezometrze oddalonym o około 600 m od zbiornika, gdzie wielkość zmiany położenia zwierciadła wód zależy w ponad 70% od stopnia napełnienia zbiornika (fig.2). Na podstawie analizy statystycznej wykazano przydatność obserwacji automatycznych do szczegółowego określenia wielkości i trendu zmian oraz oceny zasięgu oddziaływania obiektu, który wpływa na warunki hydrodynamiczne. Przykładowo zakres wieloletnich dobowych amplitud dla piezometru zlokalizowanego w bezpośrednim sąsiedztwie ZG wynosi 0,82 m, maksymalna amplituda dobowo 2,37 m, a średnia wieloletnia

3,14 m, przy maksymalnej dobowej zmianie stanów zbiornika wynoszącej ponad 18 m, a przeciętnych zmianach dobowych wynoszących około 5 m (tab. 1, 2).

Dla dobowych zmian stanów wód wyznaczono najlepiej dopasowane linie trendu w postaci linii regresji o równaniu $y = ax + b$. Na podstawie wartości współczynnika kierunkowego linii regresji określono kierunek oraz moc trendu w zadanym obszarze danych i stwierdzono, że dla ZG nie zachodzą żadne zmiany. Położenie zwierciadła wód wynika z samej pracy zbiornika. Natomiast dla monitorowanych automatycznie piezometrów nie zachodzą żadne długoterminowe zmiany.

W przypadku powtarzalności stanów wód podziemnych w konkretnych okresach w roku (na podstawie obserwacji cyklicznych prowadzonych w interwałach miesięcznych) najlepsze dopasowanie uzyskuje się za pomocą linii trendu o typie wielomianu 3. stopnia (fig. 3). Na podstawie analizy danych miesięcznych określono linie trendu wskazujące na sezonowość wahań stanów wód podziemnych, choć uzyskano różne wartości współczynnika korelacji dopasowania linii trendu dla danych w monitorowanych piezometrach.

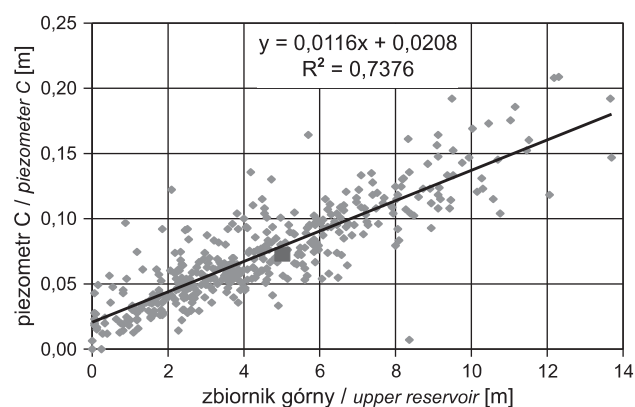
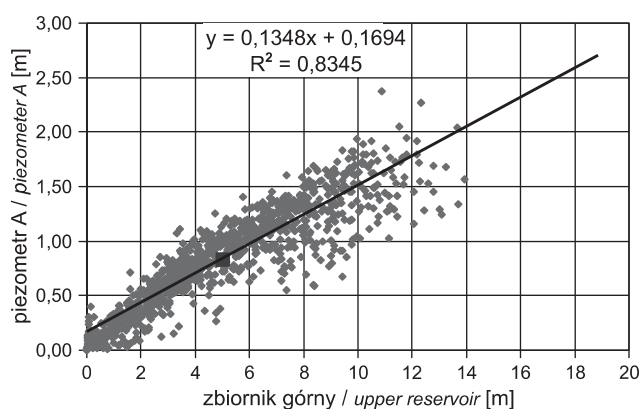


Fig. 2 Korelacja dobowych zmian położenia zwierciadła wody podziemnej w piezometrach A i C w zależności od stanów wód w zbiorniku górnym wraz ze średnią dobową amplitudą

Correlation of daily changes of the groundwater table elevation in the piezometers A and C, depending on water levels in the upper reservoir with the average daily amplitude

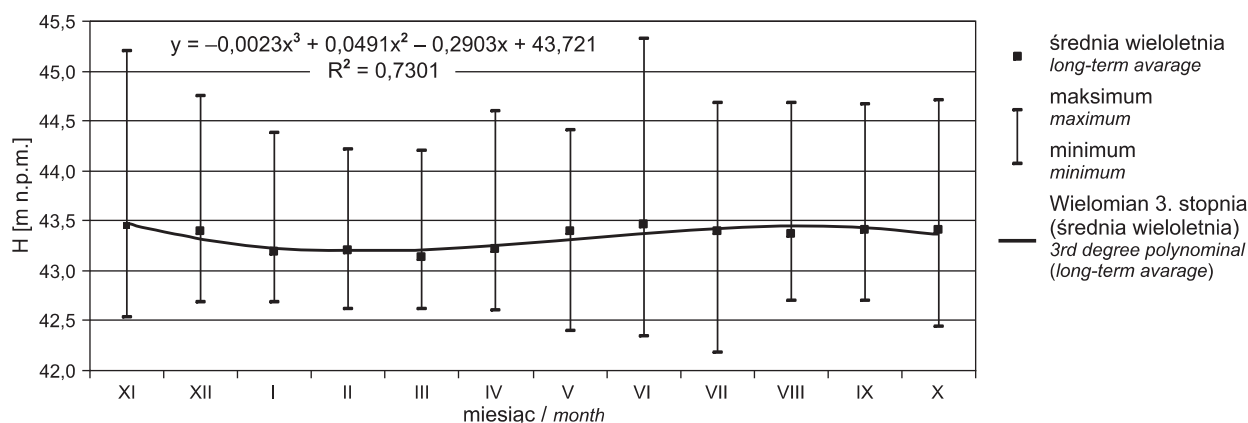


Fig. 3 Zmiany położenia zwierciadła wody podziemnej w piezometrze A na podstawie obserwacji miesięcznych

Changes in the groundwater table elevation in the piezometer A based on monthly observations

PODSUMOWANIE

Analiza danych monitoringowych uzyskanych na podstawie pomiarów automatycznych, przy zastosowaniu narzędzi statystycznych, stała się podstawą do określenia zasięgu zmian stanów wód podziemnych wywołanych zmianami napełnienia zbiornika górnego EC Żarnowiec. Na podstawie analizy pomiarów automatycznych wykonywanych w krótkich interwałach czasowych, stwierdzono brak określonej tendencji zmian, a jedynie bezpośredni wpływ napełnienia zbiornika na stany wód podziemnych. Na podstawie dobowych i godzinowych obserwacji, przy niewielkich amplitudach dobowych stanów wód podziemnych, stwierdzono zależność pomiędzy ilością wody w zbiorniku, a położeniem rzędnej zwierciadła wód podziemnych. Im dalej od zbiornika tym wielkość amplitud zdecydowanie zmniejsza się. W odległości ponad 600 m nadal stwierdzono zależność zmian stanów wód podziemnych od stopnia napełnienia zbiornika, ale zakres zmian dobowych stanów wód podziemnych w piezometrze jest niewielki. Wyniki obserwacji realizowanych w interwałach miesięcznych (pomiarów ręcznych) wskazują na zmiany sezonowe stanów wód podziemnych. Obserwacje cykliczne, w których stwierdzono typową sezonową zmienność stanów wód podziemnych, nie mogą być podstawą

wiarygodnej oceny korelacji statystycznych, a przez to jednoznacznej oceny zakresu i zasięgu wpływu analizowanego obiektu na wody podziemne.

Stwierdzony sezonowy charakter wahań stanów wód podziemnych z niewielką amplitudą zmian dobowych i miesięcznych, nie wpływa na naturalny charakter zmian stanów wód podziemnych w obszarach objętych ochroną przyrodniczą, zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie zbiornika. Identyfikacja zmian stanów w cyklu dobowym i rocznym w warstwie wodonośnej nie uległa zmianie w trakcie i po zakończeniu głębokiego wiercenia poszukiwawczego złóż węglowodorów realizowanych w roku 2012 (okres około 2 miesiące) zlokalizowanego w sąsiedztwie zbiornika górnego Elektrowni.

Wyniki przeprowadzonej analizy potwierdzają zasadność projektowania systemu monitoringu wód podziemnych dedykowanemu określonym celom, w tym przypadku wpływowi zbiornika górnego Elektrowni, zarówno w zakresie częstotliwości pomiarów jak i lokalizacji punktów obserwacyjnych.

LITERATURA

- KLIŃSKI Z., CIEKLIŃSKA B., MARSZAŁEK R., 2000 — Dokumentacja geologiczna z wykonania otworów obserwacyjnych przeznaczonych do monitoringu wód podziemnych w rejonie Zbiornika Górnego Elektrowni szczytowo – pompowej w Żarnowcu. Zakład usług hydrogeologicznych Zygmunt Kliński, Gdańsk. Arch. Elektr. Wod. Żarnowiec – PGE Energia Odnawialna SA, Czymanowo.
- KLIŃSKI Z., CIEKLIŃSKA B., MARSZAŁEK R., 2004 — Dokumentacja geologiczna z wykonania otworów obserwacyjnych przeznaczonych do monitoringu wód podziemnych w rejonie Zbiornika Górnego Elektrowni Wodnej „Żarnowiec” część II, Zakład usług hydrogeologicznych Zygmunt Kliński, Gdańsk. Arch. Elektr. Wod. Żarnowiec – PGE Energia Odnawialna SA, Czymanowo.
- ORŁOWSKI R., 1996 — Dokumentacja hydrogeologiczna GZWP nr 109 – Dolina kopalna Żarnowiec. PH Sp. z o.o., Gdańsk. Arch. Elektr. Wod. Żarnowiec – PGE Energia Odnawialna SA, Czymanowo.
- SIERŻĘGA P., CHMIEŁOWSKA U., 2000 — Mapa Hydrogeologiczna Polski 1:50 00, ark. Sławoszyno (z Objasneniami). Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.

SUMMARY

The aim of the research was to determine the effect of scale and extend of changes in water levels in Upper Reservoir on groundwater levels. Statistical analysis of monitoring data indicates that the groundwater environment in the region of the Upper Reservoir is characterized by a small dynamic of changes. In the daily observations there is a clear correlation between the amplitudes of water levels in the reservoir, which are around 5 m, and changes in the elevation

of groundwater level amounting to 0.82 m in the immediate vicinity of the reservoir and 0.07 m in the piezometer located approximately 600 m from the reservoir. Analysis of groundwater levels based on the regular manual measurements, indicates the typical seasonal variations. Regular observations cannot be the basis for a reliable assessment of statistical correlation and thus a clear evaluation of the scale and extent of impact on groundwater of the analyzed object.

