

## PROGNOZA ZMIAN STOSUNKÓW WODNYCH W REJONIE PLANOWANEJ EKSPLOATACJI ZŁOŻA SIARKI ZALEGAJĄCEGO POD JEZIOREM OSIECKIM K. TARNOBRZEGA

### PROGNOSIS OF WATER SYSTEM CHANGES IN THE VICINITY OF PLANNED EXPLOITATION OF SULPHUR DEPOSITS SITUATED UNDER THE OSIECKIE LAKE NEAR TARNOBRZEG

ANDRZEJ HAŁADUS<sup>1</sup>, RYSZARD KULMA<sup>1</sup>, ZBIGNIEW PANTULA<sup>2</sup>

**Abstrakt.** Opracowany model hydrogeologiczny i wykonane na nim obliczenia symulacyjne umożliwiły przedstawienie prognozy warunków wodnych w piętrze czwartorzędowym, spowodowanych planowaną eksploatacją części złoża siarki zalegającego pod Jeziorem Osieckim. Wydobywanie prowadzone metodą podziemnego wytapiania stanie się możliwe po zmianie sposobu odwadniania obszaru górniczego. Zakłada on przegrodzenie jeziora groblą ziemną, szczypanie wody z południowej części i utworzenie w niej kilku rzepi. Pompowana z nich woda, z sumaryczną wydajnością około 5000 m<sup>3</sup>/d, zapewni wymagane obniżenie zwierciadła wód gruntowych również w warunkach tworzącej się niecki osiadań. W pozostałej, północnej części jeziora zachowane zostaną dotychczasowe warunki środowiskowe, co jednak będzie wymagać doprowadzenia czystych wód powierzchniowych w ilości około 1400 m<sup>3</sup>/d.

**Słowa kluczowe:** model hydrogeologiczny, odwadnianie złoża, obliczenia prognostyczne.

**Abstract.** The hydrogeological model along with prognostic calculations allowed for presenting the prognosis of water condition changes within the Quaternary multiaquifer formation as a result of planned exploitation of the sulphur deposit situated under the Osieckie Lake. Sulphur extraction with use of underground melting will become possible after changing the way of deposit dewatering. It includes lake partition with the earth weir, water pumping out from the southern part of the lake and the creation of several mining sumps. Their total discharge of ca. 5000 m<sup>3</sup>/d will assure required depression of the groundwater table also under the conditions of land subsidence. In the northern part of the lake, the current environmental conditions will be retained. However, a supply of uncontaminated surface water with the rate of 1400 m<sup>3</sup>/d will be required.

**Key words:** hydrogeological model, sulphur deposit dewatering, prognostic calculations.

## WSTĘP

Wyczerpujące się zasoby złoża siarki Osiek skłaniają do poszukiwania sposobu prowadzenia eksploatacji w trudniej dostępnych fragmentach złoża. Miejscem takim jest część złoża zalegająca w rejonie Jeziora Osieckiego, gdzie obecnie nie można wykonać otworów wydobywczych przystosowanych do podziemnego wytapiania siarki (Burchard i in., 2008). Eksploatacja złoża siarki w tym rejonie wiąże się z rozwiązaniem problemu zmian stosunków wodnych. W okresie wydobywania konieczne będzie bowiem utrzymanie zwierciadła wód podziemnych na obniżonym poziomie, co

w warunkach rozwijającej się niecki osiadań będzie skutkować wzrostem depresji w urządzeniach odwadniających (studniach, rowach, rzepiach) i zwiększoną ich wydajnością.

W przedstawionej prognozie hydrogeologicznej zostały uwzględnione główne założenia prac zmierzających do uporządkowania gospodarki wodnej kopalni, a zwłaszcza dostosowanie systemu odwodnienia pól górniczych do nowych zadań wynikających z planowanego przegrodzenia Jeziora Osieckiego groblą ziemną i osuszenia jego południowej części.

<sup>1</sup> Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

<sup>2</sup> Przedsiębiorstwo Usługowo-Produkcyjne SIGMA BP Sp. z o.o., ul. Sienkiewicza 23, 39-400 Tarnobrzeg

## CHARAKTERYSTYKA HYDROGEOLOGICZNA

W rejonie obszaru górniczego kopalni Osiek występują dwa piętra wodonośne: czwartorzędowe i neogeńskie. Czwartorzędowe piętro wodonośne jest regularnie wykształcone w dolinie Wisły, gdzie występuje ciągła, piaszczysto-żwirowa warstwa o miąższości od 6 do 22 m i dobrych właściwościach filtracyjnych (fig. 1). Współczynnik filtracji kształtuje się najczęściej w granicach 3,4–49,0 m/d (Kowalik i in., 1979). Zwierciadło wody, występujące na głębokości około 1–4 m, ma charakter swobodny. Zasilanie wód podziemnych odbywa się przez infiltrację opadów atmosferycznych oraz częściowo z Wisły (przy wysokich stanach wody). Utwory czwartorzędu położone w dolinie Wisły stanowią niewielki fragment głównego zbiornika wód podziemnych GZWP 425 Dębica–Stalowa Wola–Rzeszów (Kleczkowski red., 1990). Podłoże utworów wodonośnych piętra czwartorzędowego stanowią osady miocenu (iły krakowieckie) o miąższości około 150 m.

Neogeńskie piętro wodonośne występuje w obrębie wapieni litotamniowych i wapieni siarkonośnych, zapadających w kierunku południowo-wschodnim pod ilaste utwory miocenu. Brak bezpośredniej więzi hydraulicznej z piętrzem czwartorzędowym pozwala na pominięcie dolnego poziomu wodonośnego, jako niemającego praktycznego znaczenia dla rozwiązywanych problemów wodnych.

Działalność górnicza Kopalni Siarki Osiek (stan z 2008 r.) odbywa się w warunkach odwadniania terenów poeksploatacyjnych, na których uformowała się niecka osiadań o obniżeniach

dochodzących do 2,6 m. Planowana eksploatacja złoża siarki w rejonie Jeziora Osieckiego spowoduje podobne lub nawet nieco większe osiadanie terenu. Zasięg osiadania może być obserwowany do odległości około 150 m na zewnątrz rejonu eksploatacji, licząc od skrajnych otworów wydobywczych.

Na obszarze występowania złoża można wyróżnić dwa systemy cieków powierzchniowych. Pierwszy z nich, Bez nazwy, wraz z rzapiami kopalnianymi i rowami drenażowymi, wykonanymi w północno-zachodniej części obszaru (w rejonie przylegającym do krawędzi wysoczyzny), służy do ujmowania wód podziemnych gromadzących się w niszach zastoiszkowych oraz wód opadowych i pochodzących ze spływu powierzchniowego. W okresie od stycznia do maja 2008 r. z tego systemu, za pomocą pomp umieszczonych w rzapiach, odprowadzano średnio ok. 2200 m<sup>3</sup>/d wody, w tym z wód podziemnych ok. 1550 m<sup>3</sup>/d i ze spływu powierzchniowego około 650 m<sup>3</sup>/d. System ten wspomagany jest działaniem kilku studni odwadniających, rozmieszczonych po zachodniej stronie Jeziora Osieckiego, pobierających średnio ok. 1270 m<sup>3</sup>/d wody.

Drugi system wód powierzchniowych tworzy ciek od Pliskowoli, uchodzący do Jeziora Osieckiego. W jeziorze następuje retencjonowanie wody, a jej nadmiar przez przepust rurowy odprowadzany jest rowem odpływowym do Wisły w rejonie Lipnika.

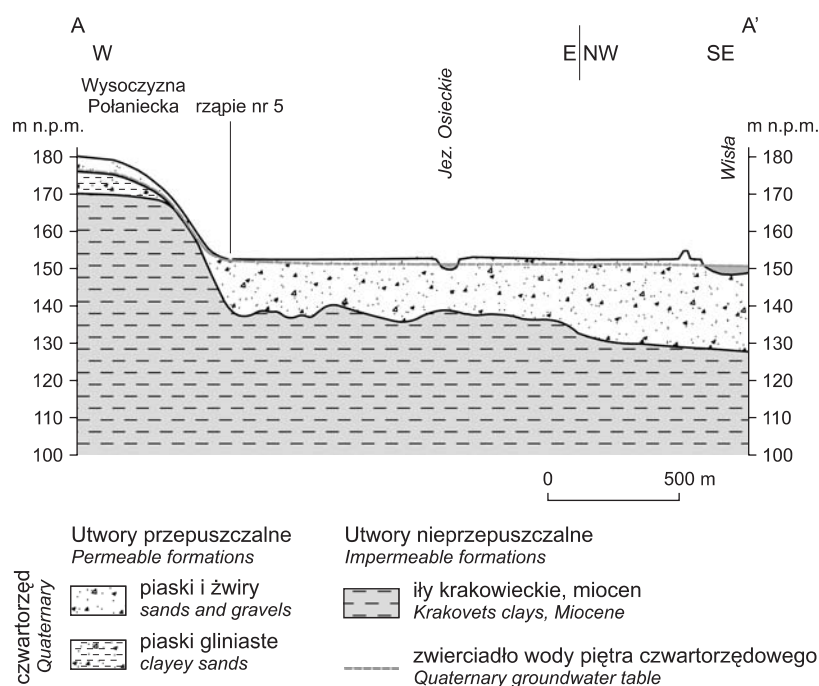


Fig. 1. Schematyczny przekrój hydrogeologiczny przez dolinę Wisły w rejonie złoża siarki Osiek

Schematic hydrogeological cross-section through the Vistula river valley near the Osiek sulphur ore region

## PROGNOZOWANE ZMIANY STOSUNKÓW WODNYCH

### UWAGI O MODELU HYDROGEOLOGICZNYM

W granicach jednowarstwowego modelu numerycznego terenów występowania złoża siarki Osiek znalazło się około 4,7 km<sup>2</sup> obszaru, który podzielono na ponad dwa tysiące bloków obliczeniowych. Siatkę podziału utworzyły bloki prostokątne o wymiarach 50×25 m (w centralnej części obszaru) i bloki kwadratowe o boku 50 m (w części peryferyjnej). Do obliczeń wykorzystano program Processing Modflow Pro v. 7.0 (Chiang, Kinzelbach, 2001).

Zewnętrzny kontur modelu miał w większości charakter sztuczny, ale poprzez tzw. odsunięte granice odwzorowano jego połączenie z naturalnymi czynnikami warunkującymi formowanie przestrzeni filtracyjnej. Naturalną granicą modelu był tylko fragment koryta Wisły, ograniczający model od strony południowej. Warunki wewnętrzne wynikały głównie z zasilania przez opady atmosferyczne oraz odbiór wody przez studnie odwadniające, rzępa kopalniane wraz z rowami i odcinki cieków powierzchniowych.

Weryfikacja modelu hydrogeologicznego obejmującego fragment obszaru złoża siarki w rejonie Jeziora Osieckiego

przeprowadzona została w odniesieniu do istniejących punktów reperowych (otworów obserwacyjnych). Odtworzony na modelu układ zwierciadła wód podziemnych piętra czwartorzędowego, według stanu z 12 maja 2008 r., wykazuje bardzo dużą zbieżność z pomiarami wykonanymi w piezometrach. Różnice pomiędzy rzędnymi zwierciadła wody pomierzonymi w otworach i obliczonymi na modelu wahały się od -0,14 do 0,10 m, natomiast błąd średni bezwzględny wynosił 0,07. Odchylenie standardowe różnic przyjęło wartość 0,09 m.

### OBLICZENIA PROGNOSTYCZNE

Model hydrogeologiczny obszaru występowania złoża siarki w rejonie Jeziora Osieckiego wykorzystano do obliczeń symulacyjnych. Początkowo był to etap weryfikacji modelu, polegający na rekonstrukcji aktualnego (z maja 2008 r.) położenia zwierciadła wody w warunkach odbioru wód podziemnych i powierzchniowych przez istniejący system odwadniania terenu kopalni. Na etapie obejmującym obliczenia prognostyczne uwzględniono docelową nieckę osiadań.

**Tabela 1**

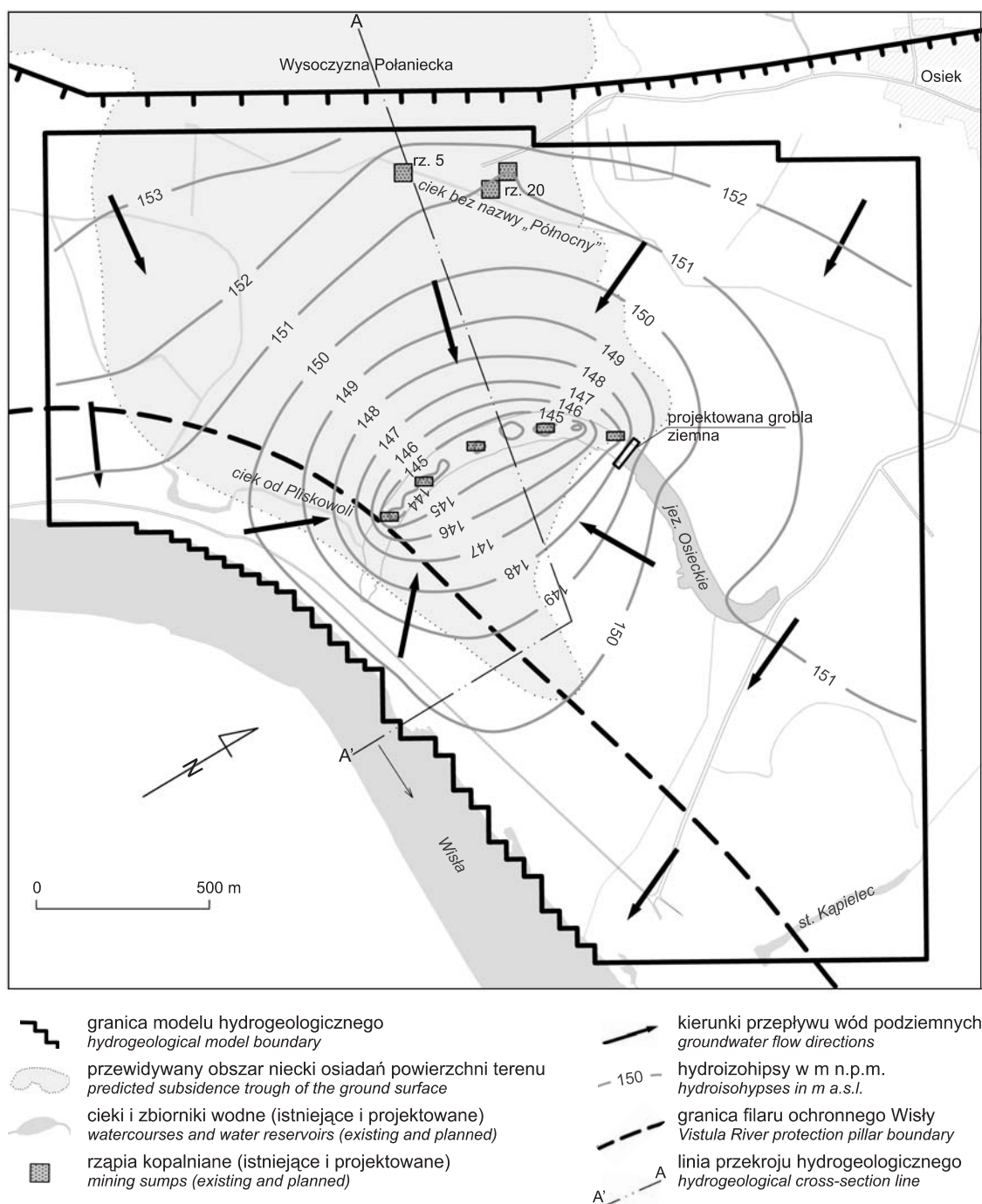
### Bilans wodny czwartorzędowej warstwy wodonośnej w rejonie Jeziora Osieckiego, na podstawie badań modelowych

Water balance of the Quaternary aquifer in the Osieckie Lake region, based on modelling studies

Składnik bilansu wodnego	Nateżenie przepływu [m <sup>3</sup> /d]	
	etap weryfikacji modelu (maj 2008 r.)	etap prognozy
Efektywna infiltracja opadów atmosferycznych	<b>1192 / 0</b>	<b>1192 / 0</b>
Dopływ / odpływ przez zewnętrzne granice modelu, w tym:	<b>2008 / -127</b>	<b>03264 / -466</b>
– od strony północno-zachodniej	1941 / 0	2045 / 0
– od strony południowo-zachodniej	67 / 0	110 / 0
– od strony południowej (od Wisły)	0 / -1168	955 / -460
– od strony północno-wschodniej	0 / -102	154 / -6
Zasilanie / drenaż wewnątrz obszaru filtracji, w tym:	<b>1080 / -3009</b>	<b>1924 / -5915</b>
– ciek od Pliskowoli	341 / -5	350 / -1
– „północny” system drenażu pól kopalnianych (cieki, rowy, rzępa)	83 / -1631	188 / -868
– studnie odwadniające	0 / -1272	20 / 0
– ciek „północny” (część wschodnia)	0 / -82	0 / 13
– Jezioro Osieckie	611 / -12	–
część północna		1220 / 0
część południowa		0 / -5026
– rów odprowadzający wody z jeziora	44 / -1	165 / 0
– staw Kapielec	1 / -6	1 / -7
Suma składników bilansu wodnego	<b>4280 / -427</b>	<b>96380 / -6381</b>

Prowadzenie wydobycia siarki na złożu Osiek będzie możliwe, jeżeli zwierciadło wód podziemnych w rejonie planowanej eksploatacji zostanie obniżone do poziomu około 0,5 m p.p.t. Przewidywana strefa odwodnienia powinna obejmować powierzchnię co najmniej kilku hektarów, aby

umożliwić pracę kilkunastu otworów eksploatacyjnych rozmieszczonych w siatce trójkątów równobocznych o boku 45 m. Dla spełnienia tych warunków zrealizowano wariant obliczeń uwzględniający wykonanie grobli ziemnej rozdzielającej Jezioro Osieckie na dwie odrębne części i całkowite



**Fig. 2. Prognozowane położenie zwierciadła wody w piętrze czwartorzędowym na obszarze planowanej eksploatacji złoża pod dnem Jeziora Osieckiego**

Predicted hydraulic head countour lines within the Quaternary multiaquifer formation near the planned exploitation of sulphur deposit under the Osieckie Lake

osuszenie części południowej. Oznacza to, że zwierciadło wód podziemnych w rejonie jeziora zostanie obniżone poniżej poziomu jego dna, tj. do rzędnej 143–146 m n.p.m. Utrzymanie tego poziomu wymagać będzie wykonania kilku rzepi rozmieszczonych w najgłębszych partiach jeziora.

Północna część Jeziora Osieckiego będzie w dalszym ciągu zasilana wodami prowadzonymi przez przełożony (bądź poprowadzony rurociągiem) ciek od Pliskowoli. Lustro wody w tej części jeziora powinno być utrzymane na obecnym poziomie około 151,6 m n.p.m., co zapewni ciągłą wymianę wody w jeziorze i warunki do utrzymania życia biologicznego.

Obliczenia na modelu numerycznym, wykonane dla przyjętego sposobu udostępnienia terenów złożowych i prowadzenia na nich prac odwodnieniowych, wskazują na wymagane wydajności urządzeń odwadniających (pomp) i skuteczność projektowanych systemów odbioru wody.

Całkowita ilość wód podziemnych uwzględniona w bilansie modelowanej czwartorzędowej warstwy wodonośnej wynosi około 4280 m<sup>3</sup>/d (maj 2008 r.) i wzrasta do blisko 6380 m<sup>3</sup>/d w okresie objętym prognozą, przewidującą całkowite osuszenie południowej części Jeziora Osieckiego (tab. 1).

W zasilaniu czwartorzędowego poziomu wodonośnego główną rolę odgrywają dopływy wód przez zewnętrzne granice modelu. Aktualnie wynoszą one około 2010 m<sup>3</sup>/d (46,9% sumy bilansowej) i praktycznie w całości napływają od stro-

ny wysoczyzny, tj. z kierunku północno-zachodniego. W prognozowanym stanie hydrodynamicznym pojawiają się znaczące dopływy z kierunku południowego, tj. z Wisły, wynoszące 960 m<sup>3</sup>/d. Łącznie zasilać będą warstwę wodonośną z natężeniem około 3260 m<sup>3</sup>/d (51,1% sumy bilansowej). Znaczącymi elementami bilansu wodnego są: efektywna infiltracja opadów atmosferycznych i zasilanie z Jeziora Osieckiego. W stosunku do sumy bilansowej wynoszą one odpowiednio 27,9 i 14,3% (na etapie weryfikacji modelu) i 18,7 oraz 19,1% (na etapie prognozy).

Po stronie rozchodów w zestawieniu bilansowym (maj 2008 r.) występują: system poziomego drenażu pól kopalnianych odbierający około 1630 m<sup>3</sup>/d (38,1% sumy bilansowej), studnie odwadniające osiągające wydajność 1270 m<sup>3</sup>/d (29,7%) i odpływ wody do Wisły z natężeniem około 1170 m<sup>3</sup>/d (27,3%). W warunkach prognozy z rzepi kopalnianych rozmieszczonych na dnie jeziora należy odprowadzać łącznie około 5030 m<sup>3</sup>/d (78,8%) wód podziemnych oraz z rzepi w północnej części obszaru około 870 m<sup>3</sup>/d (13,6%).

Prognozowane zwierciadło wód podziemnych w centrum drenażu układać się będzie na rzędnej 143,0 m n.p.m. (fig. 2), a na brzegach obszaru osiągnie maksymalnie 153,7 m n.p.m. Nastąpi zanik wody na ujściowym odcinku cieku od Pliskowoli i północno-wschodnim fragmencie cieku Bez nazwy.

## PODSUMOWANIE

Przewidywane udostępnianie części złoża zalegającego pod Jeziorem Osieckim i w jego najbliższym otoczeniu będzie wymagać budowy nowego systemu odwadniania terenów górniczych. Jego zadaniem będzie obniżenie i utrzymanie zwierciadła wód podziemnych na głębokości co najmniej 0,5 m. Wymaga to przegrodzenia jeziora groblą ziemną, szczerpania wody z jego części południowej i włączenia do eksploatacji nowego systemu odwadniania. Odwadnianie pro-

wadzone będzie z wykorzystaniem kilku rzepi kopalnianych, wykonanych na dnie osuszonego jeziora, w jego najgłębszych partiach. Natężenie odbieranych wód powinno wynosić ponad 5000 m<sup>3</sup>/d.

Zapewnienie naturalnych warunków środowiskowych w części Jeziora Osieckiego położonej po północnej stronie grobli ziemnej wymagać będzie doprowadzenia czystych wód z wydajnością około 1400 m<sup>3</sup>/d.

## LITERATURA

- BURCHARDT., KIREJCZYK J., PANTULA Z., TABOR M., 2008 – Koncepcja eksploatacji złoża siarki „Osiek” w rejonie Jeziora Osieckiego (etap I). Analiza geologiczno-górnictwowych warunków eksploatacji złoża siarki w rejonie Jeziora Osieckiego wraz z prognozą osiadania powierzchni. Arch. Przeds. Usługowo-Produkcyjnego SIGMA B.P. Sp. z o.o., Tarnobrzeg.
- CHIANG W.-H., KINZELBACH W., 2001 – Processing Modflow, A Simulation System for Modeling Groundwater Flow and Pollution. Version 7.0. Hamburg-Zurich.
- KLECZKOWSKI A.S. (red.), 1990 – Mapa obszarów Głównych Zbiorników Wód Podziemnych (GZWP) w Polsce wymagających szczególnej ochrony, 1:500 000. AGH, Kraków.
- KOWALIK J., PISKORZ S., ŚMIECH S., PISKORZ A., 1979 – Dokumentacja geologiczna w kat.C<sub>1</sub> złoża siarki rodzimej Osiek. Arch. Przeds. Geol., Kielce.



## SUMMARY

Because the Osiek sulphur mine resources are becoming exhausted, the reach part of the sulphur deposit started to be mined in the region of Osieckie Lake at the depth of about 200 m below the ground surface. The conditions for extracting sulphur from this part of the deposit is both dewatering of the area occupied by the lake and drilling of a network of producing wells. There are two aquifers in the Osiek mining area: Quaternary and Neogene, separated by the 200-m thick Cracovian clays. The Quaternary aquifer consists of a constant sandy-gravel layer. The Neogene aquifer occurs in lithothamnium and postsulphur limestones. The study area is drained by rivers, ditches and mining sumps. To predict the changes in water relations, a one-layer numerical model of hydrogeological conditions in the region of the Osiek sulphur deposit was developed for the area of 4.7 km<sup>2</sup>. To create

the model, verify it and visualize the results, Processing Modflow Pro Software v. 7.0 was used. The main effect of sulphur exploitation is visible as a terrain subsidence. Thus, a map of final ground subsidence was required for the proper prediction. Sulphur extraction with the use of wells will become possible after lowering the groundwater table level to a depth of 0.5 m below the area surface. The model simulated conditions in which the lake will be partitioned by an earth dike into 2 separate parts. A dewatering system, comprising several mining sumps, will fully drain the southern part of the area. To keep the lowered groundwater table under the lake bottom and in its environment, water pumping from mining sumps will be required. To retain the current environmental conditions in the northern part of the lake, a fresh water supply with the rate of 1400 m<sup>3</sup>/d will be necessary.