

Artykuł pochodzi z archiwalnych zasobów firmy EKO-KONSULT sp. z o.o. 80-557 Gdańsk,
ul. Narwicka 6.

Wszystkie prawa zastrzeżone.

Korzystanie za zgodą firmy EKO-KONSULT biuro@ekokonsult.pl



Kwartalnik „Problemy Ocen Środowiskowych” wydawany cyklicznie w latach 1998 – 2012, przez EKO-KONSULT był jedynym wydawnictwem w Polsce, poświęconym wyłącznie ocenom środowiskowym planowanych inwestycji oraz strategicznym ocenom oddziaływania na środowisko. Dla praktyków OOS, ale również dla osób początkujących może nadal stanowić wartościowe źródło wiedzy np. w zakresie prezentowanych case study i przeglądu stosowanych metodyk - w tym kontekście znaczna część artykułów zachowuje sporo aktualności.

Marek Nawalany
Jakub Łoch
Grzegorz Sinicyn

Modelowanie matematyczne w ocenach oddziaływania na środowisko wód podziemnych - przykład systemu niestacjonarnego

Coraz częściej modele numeryczne wykorzystywane są w Ocenach Oddziaływania na Środowisko jako narzędzia wspomaganie komputerowego. W przypadku środowiska wód podziemnych stosuje się modele matematyczne filtracji wód podziemnych pozwalające

oszacować historyczne lub przyszłe zachowanie się wysokości zwierciadła wód podziemnych.

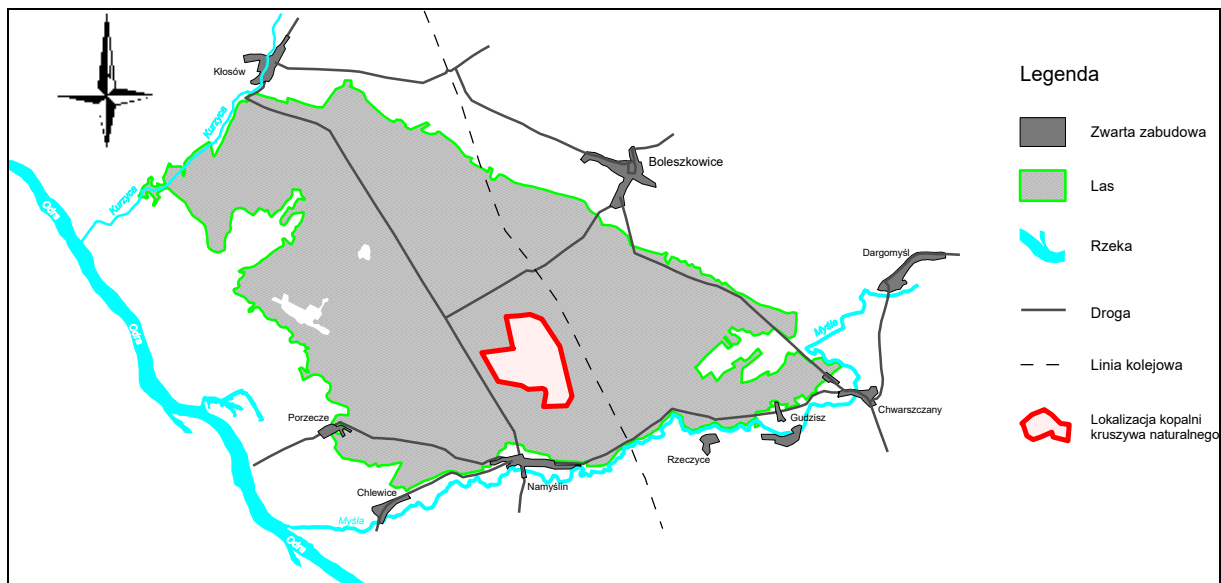
Niniejszy artykuł opisuje przykład wykorzystania modelowania matematycznego filtracji wód podziemnych przy ocenie oddziaływania kopalni kruszywa naturalnego na środowisko wód podziemnych, tj. w sytuacji gdy geometria obszaru filtracji zmienia się w czasie.

Wprowadzenie

Typowe pytania stawiane podczas wykonywania oceny dotyczyły wpływu jaki na ekosystem leśny wywierać może obniżanie się zwierciadła pierwszego horyzontu wodonośnego w wyniku eksploatacji złoża. Istotne było ilościowe oszacowanie zmian wysokości zwierciadła wody oraz szybkość tych zmian w czasie, gdyż roślinność leśna reaguje nie tylko na brak wody, ale także na długotrwałość jej deficytu. Model filtracji wód podziemnych w rejonie odkrywki musiał więc nie tylko wyznaczyć chwilowe zmiany zwierciadła w warstwie wodonośnej wynikające z ubytku żwiru w wyrobisku lecz także pozwalać na szacowanie czasu powrotu systemu do stanu równowagi po zaprzestaniu eksploatacji. Konsekwentnie, model filtracji wykorzystany w ocenie został dostosowany do warunków niestacjonarnych tj. rozwiązywał zagadnienie przyływu wód podziemnych w obszarze o zmiennej geometrii. Zmiana geometrii dyktowana była sposobem eksploatacji złoża wynikającym z przyjętej technologii.

Przeprowadzona analiza dotyczyła zmienności w czasie i przestrzeni wysokości zwierciadła wód podziemnych pierwszego horyzontu wodonośnego w obrębie i bezpośrednim sąsiedztwie złoża kruszywa naturalnego. Rozważany obszar rozciąga się pomiędzy rzeką Odrą a jej dopływem rz. Myślą, wysoczyzną na północnym wschodzie a umowną granicą na północnym zachodzie rozciągającą się w kierunku SW-NE (Rys. 1).

Złoże kruszywa naturalnego (żwiru) zalega w poziomie gruntowym czwartorzędowego piętra wodonośnego. Spąg warstwy wodonośnej tworzą mułki i gliny, które ze względu na bardzo niski współczynnik filtracji (rzędu 0,01 m/d) uznano w trakcie analizy za nieprzepuszczalne [1]. Zasilanie warstwy wodonośnej stanowi infiltracja z opadów atmosferycznych. Obydwie rzeki - Odra i Myśla drenują rozważaną warstwę wodonośną. Powierzchnia rozpatrywanego złoża kruszywa wynosi około 1 850 tys. m², jego rozciągłość w kierunku W-E wynosi około 1 700 m, a w kierunku S-N około 1 900 m. Złoże zalega na głębokości 6 m poniżej poziomu terenu, a jego przeciętna miąższość równa jest około 7 m. Plany eksploatacji żwiru przewidywały wydobycie całego złoża w ciągu 19-u lat, przy czym eksploatacja żwiru odbywać się miała za pomocą koparek pływających. Proces wydobycia kruszywa podzielony został na etapy. Odpowiednio, w miarę postępu robót wydobywczych, część warstwy wodonośnej wyeksploatowana w poprzednim roku miała być zasypywana piaskiem pochodzącym z nadkładu złoża żwirowego aktualnie eksploatowanego [2].



Rys. 1. Mapa poglądowa rejonu kopalni kruszywa naturalnego

Wydobywanie kruszywa naturalnego powoduje obniżanie zwierciadła wody w odkrywce, które wymusi napływ wody podziemnej z kontaktującej się z odkrywką warstwy wodonośnej i odpowiednie obniżenie stanu zwierciadła w tej warstwie. Obniżenie zwierciadła w pierwszej warstwie wodonośnej może mieć z kolei negatywny wpływ na szatę roślinną (lasy i poszycie leśne) w rejonie odkrywki. Po zakończeniu eksploatacji złoża zwierciadło pierwszego horyzontu wodonośnego, zacznie się odbudowywać. Czas oraz poziom odbudowującego się zwierciadła są istotnymi charakterystykami ilościowymi oddziaływania odkrywki na wody podziemne. Przeprowadzona analiza służyła ilościowej ocenie wielkości obniżenia stanu zwierciadła wody pierwszego horyzontu wodonośnego w trakcie i po zakończeniu eksploatacji złoża. Podstawowym celem było sformułowanie odpowiedzi na następujące pytania:

- Jak zmieniać się będzie w czasie zwierciadło wód podziemnych pierwszego horyzontu podczas eksploatacji złoża?
- Jak zmieniać się będzie w czasie zwierciadło wód podziemnych pierwszego horyzontu po zakończeniu eksploatacji?
- Jak zmieniać się będzie w czasie zwierciadło wody w odkrywce?

Odpowiedź na ostatnie pytanie miała znaczenie operacyjne gdyż pozwalała oszacować czas niezbędny do utworzenia się w odkrywce warstwy wody umożliwiającej wprowadzenie koparki pływającej.

Model matematyczny warstwy wodonośnej

Wysokość naporu hydraulicznego w warstwie wodonośnej złoża była modelowana za pomocą modelu numerycznego MODFLOW [3], [4]. Rozwiązane zostało zagadnienie filtracji nieustalonej w pojedynczej niejednorodnej warstwie wodonośnej:

- wymieniającej wodę z rz. Odrą i rz. Myśłą;

- zasilanej przez infiltrację z opadów atmosferycznych;
- zasilającej odkrywkę powstającą podczas eksploatacji kruszywa;
- izolowanej od strony spągu.

Warstwa wodonośna została pokryta siatką prostokątną o zmiennym kroku przestrzennym. Zmienną w czasie wysokość zwierciadła wód podziemnych pierwszego horyzontu aproksymowano w 8 170 węzłach dyskretyzacji wykorzystując metodę różnic skończonych (w przestrzeni) oraz metodę Cranka-Nicholsona (w czasie). Rzeki Odra i Myśla stanowią naturalne warunki brzegowe, dla których przyjęto stan wód identyczny ze średnimi poziomami wody w korytach rzek, tj. wzdłuż rzek przyjęto tzw. warunek brzegowy pierwszego rodzaju. Pozostałe dwie granice zostały uznane za granice nieprzepuszczalne, tj. wzdłuż tych granic przyjęto tzw. warunek brzegowy drugiego rodzaju. Dla brzegu związanego z wysoczyzną założenie o nieprzepuszczalności brzegu wynikało z przebiegu wododziału pierwszego horyzontu wodonośnego [1]. Przyjęcie brzegu nieprzepuszczalnego dla umownej północno-zachodniej granicy obszaru wynikało z założenia, iż (w przybliżeniu) brzeg ten przecina linie hydroizohips pod kątem prostym oraz, że znajduje się on dostatecznie daleko od złoża i w związku z czym ewentualna deformacja zwierciadła w tym rejonie wskutek eksploatacji żwiru może być uznana za niewielką (i w związku z tym pominięta). Rozkład przestrzenny współczynnika filtracji oraz wielkości infiltracji wyznaczono na podstawie danych pomiarowych [1] w procesie identyfikacji (tarowania) parametrów modelu. Jako kryterium procesu identyfikacji parametrów modelu przyjęto minimalizację różnic pomiędzy modelowanymi i pomierzonymi wysokościami hydraulicznymi pierwszego horyzontu wodonośnego.

Proces eksploatacji złoża reprezentowany był w modelu przez poruszające się w przestrzeni zagłębienie o głębokości zmiennej w czasie. Przyjęto, że zagłębienie odpowiadające jednemu etapowi wydobywczemu kruszywa wypełnione będzie częściowo wodą, a częściowo żwirem. Przyjęto ponadto, że miąższość warstwy żwiru w odkrywce zmniejszać się będzie liniowo w czasie, w miarę postępu wydobycia kruszywa. Odpowiednio grubość warstwy wody w odkrywce będzie wypadkową procesu obniżania się zwierciadła wskutek eksploatacji żwiru oraz napływu wody podziemnej z sąsiadującej z odkrywką warstwy wodonośnej. Objętość dopływającej do odkrywki wody podziemnej wyliczona była w każdym kroku czasowym jako rezultat rozwiązania zagadnienia filtracji w warstwie wodonośnej dla aktualnego położenia zwierciadła w odkrywce.

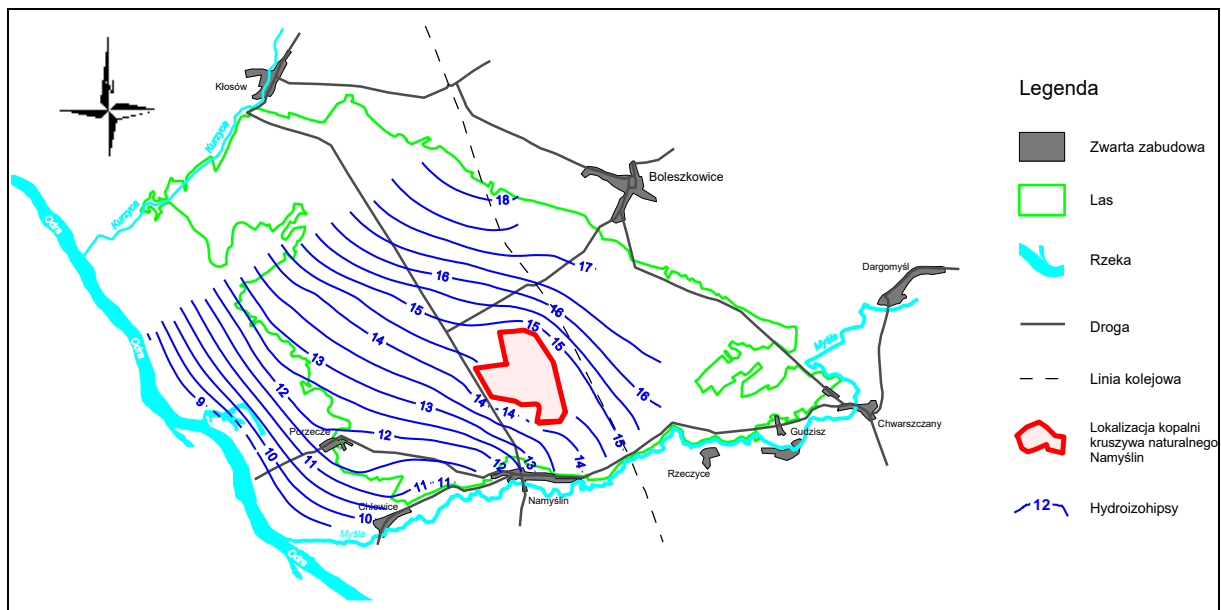
Ze względu na istotną złożoność obliczeń numerycznych i przetwarzania danych zrezygnowano z dzielenia całego okresu eksploatacji na 38 okresów półrocznych i zdecydowano się prowadzić obliczenia i analizę dla następujących warunków eksploatacji złoża:

- A. dla 1 okresu odpowiadającego 19-letniej eksploatacji prowadzonej jednoetapowo jednocześnie na całym obszarze złoża;
- B. dla 2 okresów eksploatacji odpowiadających dwóm etapom eksploatacji złoża (odpowiednio 10-letni i 9-letni);
- C. dla 4 okresów eksploatacji odpowiadających czterem etapom eksploatacji złoża (trzy etapy 5-letnie oraz jeden 4-letni).

Tego rodzaju podejście miało za zadanie oszacowanie wielkości obniżenia wysokości zwierciadła wody w warstwie wodonośnej na skutek przewidywanej eksploatacji złoża.

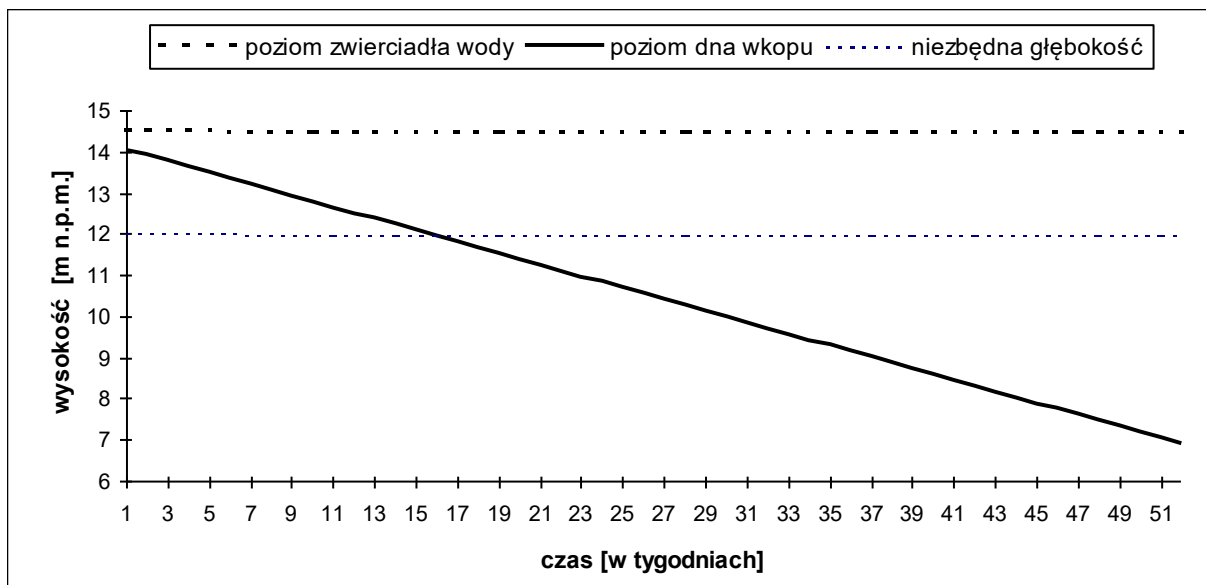
Wyniki symulacji

Dla przyjętych wariantów modelowania rozwoju odkrywki przeprowadzonych zostało szereg symulacji numerycznych aproksymujących zachowanie się zwierciadła wód podziemnych w trakcie i po zakończeniu eksploatacji złoża. Na podstawie uzyskanych wyników dla poszczególnych etapów (przykładowy wynik modelowania - Rys. 2) wyznaczone zostały przebiegi zachowania się poziomu zwierciadła wody w odkrywce oraz wysokości zwierciadła wód podziemnych w punktach kontrolnych zlokalizowanych wokół odkrywki.



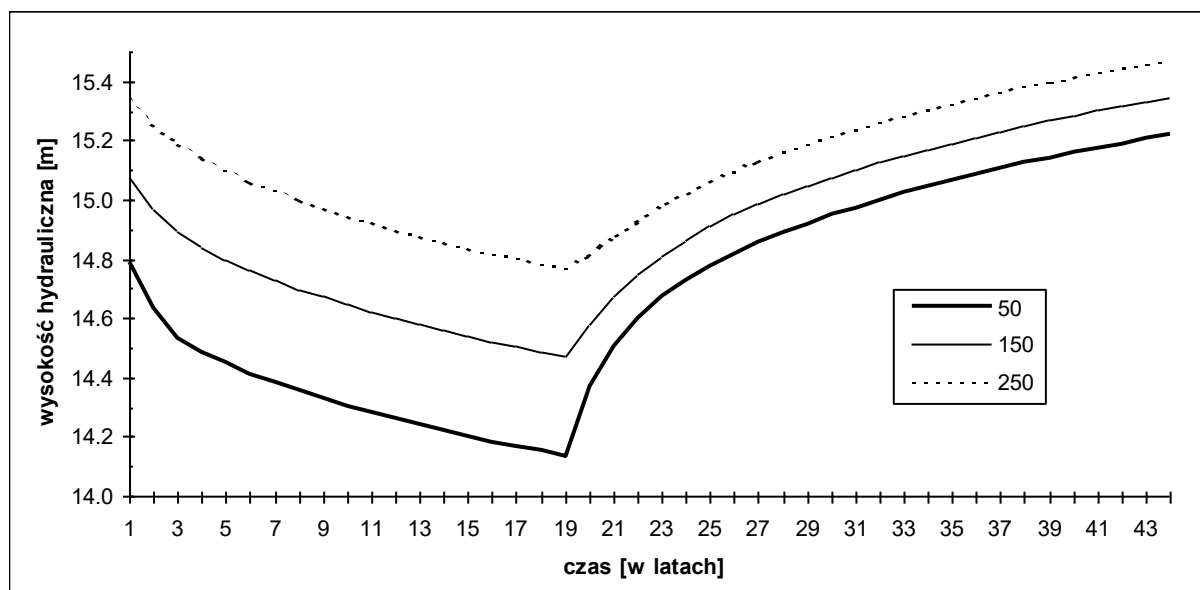
Rys. 2. Mapa hydroizohips - przykładowy wynik modelowania

Przebieg zwierciadła wody we wkopie udostępniającym policzony w podobszarach odpowiadających jednorocznym etapom eksploatacji złoża wskazuje, że koparka pływająca, dla której niezbędna głębokość pracy wynosi 2,5 m, będzie mogła być zainstalowana w okresie znacznie krótszym niż pół roku (Rys. 3). Czas ten w praktyce będzie równy czasowi wydobywania całego nadkładu oraz objętości żwiru równej iloczynowi powierzchni manewrowej i głębokości manewrowej pływającej koparki.



Rys. 3. Zmiana położenia zwierciadła wody oraz dna wkopu udostępniającego

Maksymalny w czasie spadek zwierciadła w wodach podziemnych pierwszej warstwy wodonośnej wywołany eksploatacją złoża wyznaczony za pomocą modelu numerycznego wyniósł $\Delta H_A = 0,66$ m (gdzie A - oznacza eksploatację modelowaną jednoetapowo). Został on obliczony dla punktu kontrolnego odległego od krawędzi złoża o 50 m zlokalizowanego w kierunku południowo-zachodnim, w przypadku symulowania wpływu eksploatacji jednoetapowej (Rys. 4).



Rys. 4. Krzywe zmian zwierciadła wód podziemnych - eksploatacja na całym obszarze

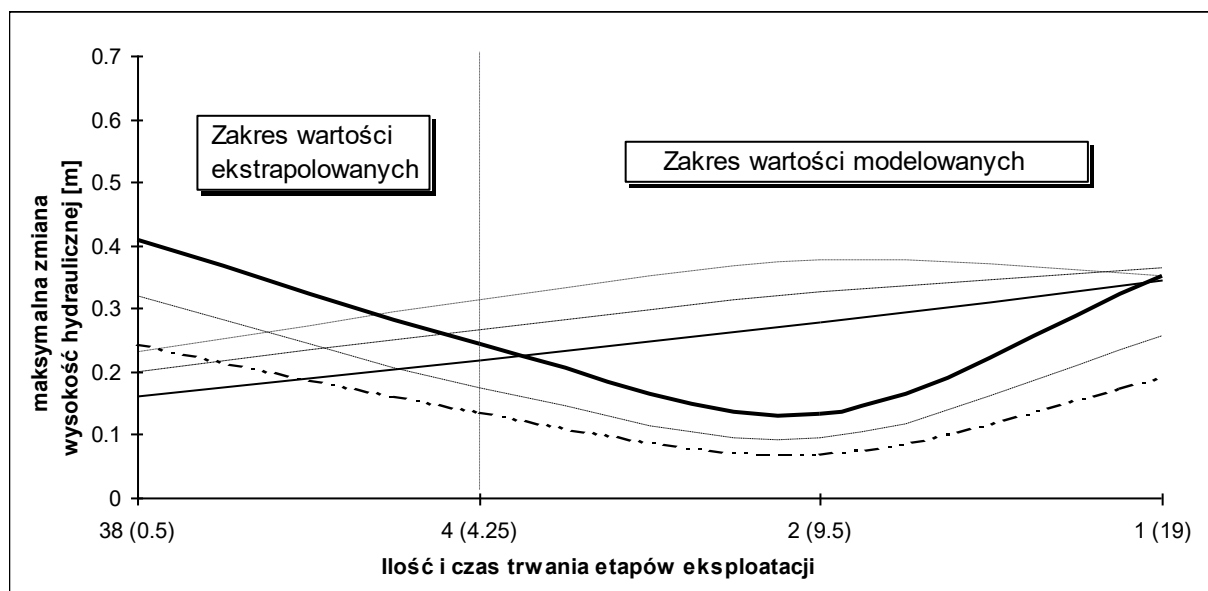
Maksymalny spadek zwierciadła w wodach podziemnych pierwszej warstwy wodonośnej wywołany eksploatacją złoża $\Delta H_A = 0,66$ m jest większy niż w przypadku eksploatacji złoża w dwóch lub czterech etapach dla których maksymalne obniżenia zwierciadła wynosiły odpowiednio, $\Delta H_B = 0,56$ m oraz $\Delta H_C = 0,60$ m. Nieliniowe zachowanie się maksymalnego spadku zwierciadła ΔH pierwszej warstwy wodonośnej w zależności od długości okresu eksploatacyjnego wskazuje na zależności depresji od sposobu przemieszczania się wykopu w czasie oraz od powierzchni podobszaru eksploatowanego w pojedynczym etapie. Na podstawie symulacji można było stwierdzić, że eksploatacja w etapach półrocznych będzie przebiegała podobnie do eksploatacji w etapach pięcioletnich. Przemieszczanie się odkrywki w czasie jest w tym wypadku zbliżone do przemieszczania się odkrywki podczas planowanej eksploatacji. Ekstrapolując wyniki można było wnioskować, że eksploatacja złoża w podobszarach odpowiadających 38 półrocznym etapom spowoduje depresję wód podziemnych rzędu $\Delta H = 0,66$ m (Rys. 5 i Rys. 6).

Należy zwrócić uwagę na fakt, iż maksymalna wartość prognozowanej depresji jest mniejsza od naturalnej zmienności zwierciadła wód podziemnych wynoszącej w tym rejonie pomiędzy 1 m a 2 m.

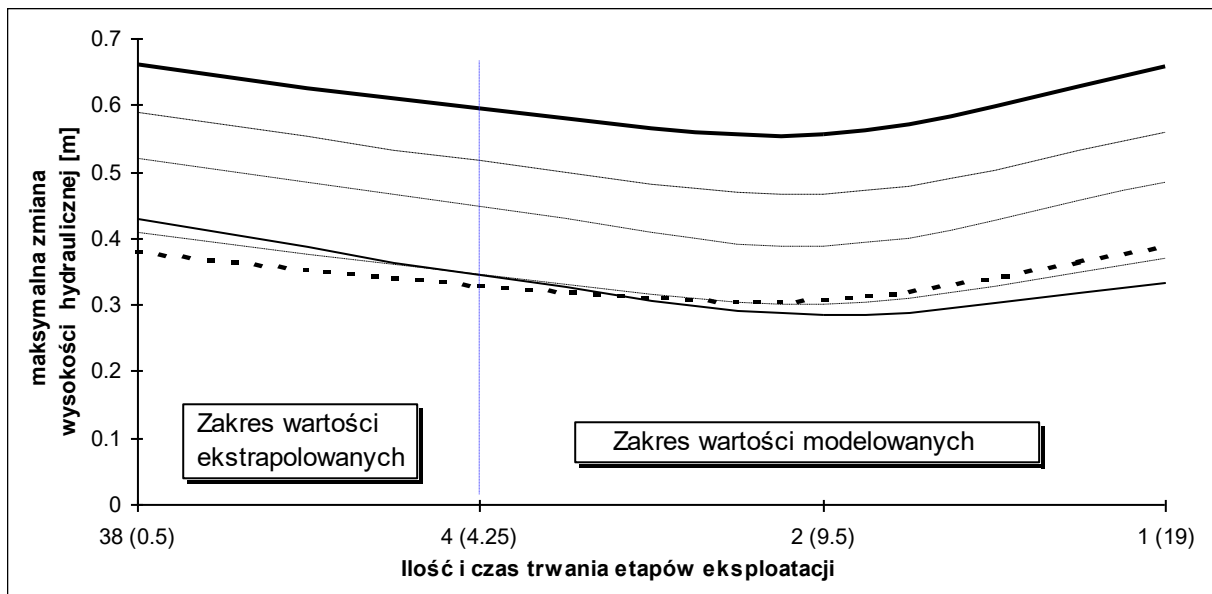
Obliczenia numeryczne wskazują, że ze względu na niewielką wartość zasilania infiltracyjnego proces odtwarzania zwierciadła w warstwie wodonośnej po zakończeniu eksploatacji złoża jest powolny. Można przyjąć, że powrót do stanu ustalonego nastąpi po około 3 - 5 latach z wyjątkiem procesu odtwarzania zwierciadła od strony wysoczyzny, który będzie trwał około 20 lat. Ze względu na zmianę struktury ośrodka gruntowego (pogorszenie warunków filtracji) oraz pozostawienie niewielkiego zbiornika wodnego po zakończeniu eksploatacji, ustabilizowana wysokość zwierciadła wód podziemnych wokół odkrywki będzie różna dla różnych podobszarów w rejonie odkrywki. Po ustabilizowaniu się poziomu wód podziemnych wysokość zwierciadła będzie:

- obniżona o $\Delta H_{\infty} = 0,6$ m dla terenów od strony rz. Odry, oraz
- podwyższona o $\Delta H_{\infty} = 0,4$ m od strony wysoczyzny.

Wartość trwałego obniżenia/podwyższenia zwierciadła wód podziemnych wyznaczona przez model jest więc mniejsza od jego naturalnej zmienności.



Rys. 5. Maksymalne zmiany wysokości hydraulicznej (punkty kontrolne NW-SE)



Rys. 6. Maksymalne zmiany wysokości hydraulicznej (punkty kontrolne SW-NE)

Podsumowanie

Zastosowanie numerycznego modelu przepływu wód podziemnych w obszarze filtracji zmiennym w czasie pozwoliło stworzyć ilościowe przesłanki dla wnioskowania o ekologicznych skutkach eksploatacji żwiru w rejonie odkrywki. Oszacowane zmiany mieściły się w naturalnej zmienności wahań zwierciadła wód podziemnych jednak w odróżnieniu od wahań naturalnych miały charakter trwały. Po wykonaniu obliczeń wnioskowanie o skutkach zmian w reżimie hydrologicznym warstwy wodonośnej znalazło się w rękach ekologów, którzy nie kwestionując obliczeń modelowych, wyrazili obawy co do możliwości niekorzystnego złożenia się efektów naturalnych (susza) i antropogenicznych (eksploatacja złoża). Efekt ten autorzy obserwowali przy okazji wykonywania innych ocen oddziaływania na środowisko wykorzystujących niestacjonarne modele matematyczne filtracji. Istotnie, korzystając z podobnego, choć znacznie bardziej skomplikowanego, modelu filtracji w rejonie odkrywek węgla brunatnego stwierdzono, iż nałożenie się odwadniania odkrywki ze zjawiskiem suszy hydrologicznej ma charakter nieliniowy i może prowadzić do znacznych zaburzeń w naturalnym obiegu wody w rejonie odkrywek.

Prof. dr hab. inż. Marek Nawalany,
dr inż. Jakub Łoch,
dr inż. Grzegorz Sinicyn,
 Instytut Systemów Inżynierii Środowiska,
 Politechnika Warszawska

Bibliografia:

1. Chrząstek J., Kasprzak W., Krzyślów A., Krzyślów T., *Dokumentacja hydrogeologiczna złoża kruszywa naturalnego Namyslin - Pole I*, ARTES, Wrocław, luty 1996r.
2. Tarasiewicz Z., *Koncepcja udostępniania i eksploatacji złoża kruszywa naturalnego Namyslin*, lipiec 1995r.
3. McDonald M.G., Harbaugh A.W., *A Modular Three-Dimensional Finite-Difference Ground-Water Flow Model*, Techniques of Water Resources Investigation of the United States Geological Survey, 1988
4. W.C.Hiang, W.Kinzelbach, *Processing Modflow. v3.0*, Hamburg, 1993r