

WYKORZYSTANIE MODUŁU STRUMIENIA W OCENIE WZAJEMNEGO ODDZIAŁYWANIA WÓD PODZIEMNYCH I POWIERZCHNIOWYCH

USE OF STREAM PACKAGE TO SIMULATE STREAM-AQUIFER INTERACTION

JACEK SZCZEPIŃSKI¹

Abstrakt. Proces wzajemnego oddziaływania wód podziemnych i powierzchniowych może być realizowany w programie MODFLOW między innymi poprzez wykorzystanie modułu obliczeniowego *Stream*, przedstawiającego warunek brzegowy III rodzaju. Jego zastosowanie umożliwia w każdym z bloków reprezentujących ciek na modelu obliczenie: przepływu strumienia wód powierzchniowych, wielkości przeciekania pomiędzy ciekami a warstwą wodonośną oraz poziomu zwierciadła wody w cieku. Ponadto daje możliwość „osuszenia” cieku oraz uwzględnienia dodatkowego dopływu lub odpływu wód powierzchniowych z cieku. Opcji tych nie zawiera moduł *River* stosowany powszechnie w modelach matematycznych. Wykorzystanie modułu *Stream* jest szczególnie przydatne w warunkach silnej antropopresji, na przykład w rejonach będących pod wpływem odwodnień górniczych oraz zrzutu wód kopalnianych. Na takich obszarach niektóre odcinki cieków wysychają, a zrzuty wód z odwadniania zwiększają przepływ wód powierzchniowych. Do otrzymania wiarygodnego rozwiązania przy zastosowaniu modułu *Stream* niezbędne jest jednak pozyskanie dodatkowych informacji o parametrach koryta rzecznego, takich jak: szerokość, współczynnik szorstkości, nachylenie koryta i głębokość wody w cieku, a także dane o położeniu zwierciadła wód podziemnych w pierwszym poziomie wodonośnym, zasadniczym z punktu widzenia zasilania cieków powierzchniowych. Moduł *Stream* został przetestowany w badaniach modelowych, realizowanych w związku z projektowanym odwodnieniem jednej z odkrywek węgla brunatnego.

Słowa kluczowe: MODFLOW, odwodnienie górnicze, modelowanie matematyczne, wody powierzchniowe, wody podziemne.

Abstract. In MODFLOW, to simulate interaction between surface streams and groundwater, the Stream Package can be used, representing the mixed boundary condition. In each reach representing the surface stream: streamflow, leakage between stream and aquifer as well as stream stage can be computed. Additionally, the package permits rivers to go dry during a given period of simulation as well as to simulate subtraction or additional inflow to surface water, what is not included in the River Package. The Stream Package is particularly useful in areas under the influence of mine drainage and mine water discharge. In these areas some parts of rivers are drying up, but discharged mine water increases the streamflow. However, to get a feasible solution it is necessary to acquire additional data: stream parameters (width of stream, roughness coefficient, slope of stream channel), stream stage and the groundwater level in the upper aquifer, the essential for the stream-aquifer relations. Stream Package has been tested in the modelling studies carried out in connection with the proposed lignite open pit dewatering.

Key words: MODFLOW, mine dewatering, mathematical model, surface water, groundwater.

WSTĘP

Dotychczasowa praktyka modelowania przepływu wód podziemnych w Polsce przy użyciu programu MODFLOW koncentruje się głównie na kwestiach rozwiązania zagad-

nień dynamiki wód podziemnych, natomiast mniejszą uwagę poświęca się przepływowi wód powierzchniowych. Do symulacji cieków jest wykorzystywany przede wszy-

¹ Poltegor-projekt Sp. z o.o., ul. Wyścigowa 56f, 53-012 Wrocław; e-mail: j.szczepinski@poltegor.pl

stkim moduł obliczeniowy *River* (RIV) zawarty w oryginalnej wersji programu MODFLOW (McDonald, Harbaugh, 1988), który umożliwia obliczenie wielkości przeciekania pomiędzy ciekim a warstwą wodonośną. Podstawowym mankamentem tego modułu jest fakt, że symuluje on jedynie efekt oddziaływania ciekia na poziom wodonośny, obliczając wielkość zasilania lub drenażu warstwy wodonośnej. Moduł ten nie oblicza zmian wielkości przepływu wód powierzchniowych oraz nie pozwala na doprowadzenie do całkowitej utraty wody w ciekim podczas symulacji. Zadanie to może być zrealizowane poprzez zastosowanie modułu *Stream* (STR) nazywanego dawniej modułem przepływu strumienia (*Stream-flow-Routing Package*), który podobnie jak moduł *River*, reprezentuje warunek brzegowy III rodzaju.

CHARAKTERYSTYKA MODUŁU *STREAM*

Moduł *Stream* został szczegółowo przedstawiony w opracowaniu Prudica (1989). Jest on modyfikacją modułu *River* opisanego wcześniej przez McDonalda i Harbaugh (1988). Jego zastosowanie umożliwia w każdym z bloków reprezentujących ciek na modelu obliczenie przepływu strumienia wód powierzchniowych, wielkości przeciekania pomiędzy ciekim a warstwą wodonośną oraz poziomu zwierciadła wody w ciekim. Ponadto daje możliwość uwzględnienia dodatkowego dopływu lub odpływu wód powierzchniowych do ciekia. Odcinek ciekia, na który oddziałuje wyłącznie warstwa wodonośna, jest nazywany segmentem.

Przepływ strumienia w ciekim jest obliczany poprzez spreycyzowanie przepływu w pierwszym bloku reprezentującym ciek na modelu, a następnie obliczenie przepływu we wszystkich blokach znajdujących się w dół strumienia. Wielkość przepływu w każdym z kolejnych bloków jest równa dopływowi strumienia z bloku „powyżej”, pomniejszonemu lub powiększonemu o wielkość przeciekania między ciekim i warstwą wodonośną w bloku obliczeniowym. W przypadku, gdy dopływ do głównego segmentu ciekia jest formowany przez dopływy z dwóch segmentów zasilających, przepływ wód w tym segmencie jest obliczany jako suma przepływów w ostatnich blokach segmentów zasilających. W sytuacji, gdy z głównego segmentu formowany jest segment odpływu strumienia, przepływ określony dla pierwszego bloku segmentu odpływu jest odejmowany od przepływu w głównym segmencie. Jeżeli przeciekanie z ciekia do warstwy wodonośnej przekracza dopływ strumienia do bloku obliczeniowego, blok ulega osuszeniu. Wówczas wszystkie kolejne bloki „poniżej” w ciekim będą pozbawione wody tak długo, aż zwierciadło wód podziemnych nie znajdzie się ponownie powyżej stropu warstwy słabo przepuszczalnej w ciekim. Następuje wówczas dopływ do „wyschniętego” bloku i wznowienie w nim przepływu strumienia.

Wielkość przeciekania pomiędzy ciekim i warstwą wodonośną jest obliczana na podstawie prawa Darcy’ego:

$$Q = CSTR (H_s - H_a)$$

Wykorzystanie modułu *Stream* jest szczególnie przydatne w warunkach silnej antropopresji, na przykład w rejonach będących pod wpływem odwodnień górniczych oraz zrzutu wód kopalnianych. Na takich obszarach niektóre odcinki cieków wysychają, a zrzuty wód do cieków i kanałów wpływają na zmiany przepływu wód powierzchniowych. Celem przedstawionych w niniejszym artykule badań modelowych było przetestowanie możliwości wykorzystania modułu *Stream* w modelowaniu wpływu odwadniania kopalni na ciek. Są to badania testowe, a wyniki uzyskane w niniejszym opracowaniu nie mogą służyć do oceny wpływu odwadniania odkrywki „Piaski” na środowisko.

gdzie:

H_s – ciśnienie w ciekim, [L];

H_a – ciśnienie w warstwie wodonośnej, [L];

$CSTR$ – przewodność pionowa warstwy słabo przepuszczalnej w ciekim, [L²/T].

Obliczona przez program MODFLOW wielkość przeciekania jest dodawana do równań różnic skończonych na początku każdej z iteracji, w taki sam sposób, w jaki odbywa się to w module *River* (McDonald, Harbaugh, 1988). Szczegółowy opis tego modułu został przedstawiony również w opracowaniach Kulmy i Zdechlika (2009) oraz Dąbrowskiego i in. (2011).

Poziom zwierciadła wody w ciekim jest obliczany w każdym z bloków obliczeniowych przy wykorzystaniu formuły Manninga w formie przedstawionej przez Ozbilgina i Dickermana (1984):

$$Q = C/n (AR^{2/3} S^{1/2})$$

gdzie:

Q – przepływ strumienia, [L³/T];

n – współczynnik szorstkości Manninga, [-];

A – powierzchnia przekroju strumienia, [L²];

R – promień hydrauliczny, [L];

S – spadek hydrauliczny strumienia, [L/L];

C – stała, [L^{1/3}/T], wynosząca 1,486 w przypadku jednostki ft³/s lub 1,0 w przypadku m³/s.

Głębokość ciekia jest obliczana na podstawie równania wyprowadzonego przez Ozbilgina i Dickermana (1984):

$$d = \left[\frac{Qn}{wS^{1/2}} \right]^{3/5}$$

gdzie:

d – głębokość wody w ciekim, [L];

w – szerokość koryta ciekia, [L];

n – współczynnik szorstkości Manninga, [-];

S – spadek hydrauliczny strumienia, [L/L].

Współczynnik szorstkości może być oszacowany z rzeczywistego pomiaru głębokości i przepływu cieką. W przypadku braku danych polowych wartości można oszacować z tabel (White, 1979; Książński i in., 2002). Jeżeli początkowy przepływ w cieką nie został sprecyzowany na modelu, poziom zwierciadła wody w cieką jest przyjmowany na poziomie stropu warstwy słabo przepuszczalnej cieką. Obliczona przez program MODFLOW wartość przeciekania pomiędzy warstwą wodonośną a cieką jest w każdej następnej iteracji dodawana lub odejmowana od przepływu strumienia, co umożliwia obliczenie poziomu zwierciadła wody w cieką.

Moduł *Stream* ma pewne ograniczenia, które mogą wpływać na rozwiązanie zadania (Prudic, 1989); są to: brak funkcji czasu dla określenia przepływu w pierwszym bloku segmentu cieką, obliczanie wysokości zwierciadła wody w cieką przy założeniu prostokątnego koryta, stałej w czasie przewodności pionowej warstwy półprzepuszczalnej w cieką,

przyjęcie założenia o natychmiastowym przeciekaniu strumienia wód powierzchniowych z cieką do warstwy wodonośnej (co może nie być prawdziwe w wypadku strefy nienasyconej o dużej miąższości). Niektóre z tych ograniczeń zostały zniesione w kolejnych, nowszych wersjach modułu *Stream* nazywanych modułem przepływu strumienia (*Streamflow Routing Package*). Możliwość obliczenia przewodności koryta cieków, zdefiniowania wielkości dopływu przypowierzchniowego, parowania i zasilania cieką przez opady atmosferyczne, oddziaływania cieków na poziom zwierciadła wody w zbiornikach powierzchniowych oraz symulowania transportu substancji rozpuszczonych między cieką i warstwą wodonośną zostały uwzględnione w module SFR1 (Prudic i in., 2004), zaś występowanie strefy nienasyconej pod korytem cieką, w kolejnej modyfikacji – w module SRF2 (Niswonger, Prudic, 2006).

WYKORZYSTANIE MODUŁU *STREAM*

Działanie modułu *Stream* zostało przetestowane na modelu matematycznym zbudowanym dla rejonu projektowanej odkrywki węgla brunatnego „Piaski”. Złoże „Piaski” leży w północnej części Niziny Wielkopolskiej na obszarze wysoczyzny plejstoceniowej, którą tworzy morena denną zbudowaną z osadów lodowcowych i wodnolodowcowych zlodowaceń środkowopolskich. Jest to teren równinny o małą zróżnicowaną morfologią, w przewadze płaski, położony na rzędnych 89–108 m n.p.m. Na zachód i południe od złoża przepływa rzeka Czarna Struga, a na wschód rzeka Powa (fig. 1). Powierzchnię złoża rozcinają doliny Strugi Grabienickiej i Strugi Zarzewskiej, wypełnione osadami holocenu. Aluwia tych cieków leżą bezpośrednio na glinach zwałowych i charakteryzują się bardzo małą miąższością (Wojciechowska, 2008). Wszystkie cieką płyną na północ, ku Pradolinie Warszawsko-Berlińskiej, przez którą przepływa rzeka Warta. Średnia wieloletnia suma opadów rocznych wynosi około 550 mm, a średnia wartość jednostkowego odpływu podziemnego około 1,5 l/s/km². Współczynniki filtracji pierwszego poziomu wodonośnego (czwartorzędowego) z reguły nie przekraczają 5 m/d. Poziom ten jest zasilany bezpośrednio przez opady atmosferyczne. Wszystkie poziomy wodonośne kontaktują się bezpośrednio w rejonie Pradoliny Warszawsko-Berlińskiej, w dolinie kopalnej Czarnej Strugi oraz dolinie Powy. Powierzchnia piezometryczna występuje na rzędnych od 110–120 m n.p.m. na obszarze zasilania na południe od złoża „Piaski” (wysoczyzna morenowa) do 75–80 m n.p.m. na obszarze Pradoliny Warszawsko-Berlińskiej. Na przepływ wód w pierwszym poziomie wodonośnym ma wpływ drenujący charakter przepływających rzek i cieków.

Obszar badań modelowych o powierzchni 447 km² objęto dyskretyzacją w regularnej siatce kwadratowej o boku 100 m. Na modelu uwzględniono trzy warstwy wodonośne: warstwę porową czwartorzędową, w którego skład wchodzi poziom gruntowy wraz z poziomami związanymi z osadami

dolin kopalnych, warstwę porową paleogeńsko-neogeńską i warstwę szczelinową kredy oraz dwie warstwy słabo przepuszczalne reprezentowane przez gliny i ły. Warstwy I i II były symulowane jako swobodno-aporowe, zaś pozostałe jakoaporowe. Model krążenia wód podziemnych realizowany przez program MODFLOW-Surfact (HydroGeoLogic, Inc, 1998) został oparty na sztucznych granicach zlokalizowanych poza potencjalnym wpływem oddziaływania odkrywki „Piaski”, z uwzględnieniem gwarancji zachowania naturalnych warunków hydrodynamicznych dla pierwszego poziomu wodonośnego – czwartorzędowego. Wzdłuż granic zewnętrznych na zachodzie, południu i wschodzie przyjęto warunek brzegowy I rodzaju $H = \text{const}$. Na północy, wzdłuż rzeki Warty – warunek brzegowy III rodzaju $Q = f(H)$ realizowany przez moduł obliczeniowy *River*. Pozostałe cieką znajdujące się na obszarze badań – Czarna Struga, Powa, Struga Zarzevska, Struga Grabienicka – symulowano w I warstwie warunkiem brzegowym III rodzaju – *Stream*. Początkowy poziom zwierciadła wody w ciekách przyjęto z mapy topograficznej 1:25 000. W pierwszym etapie wykonano model przepływu wód podziemnych w warunkach naturalnych, tj. przed uruchomieniem systemu odwadniania. W okresie tym przyjęto stacjonarny model filtracji. W drugim etapie, przy założeniu niestacjonarnych warunków filtracji, wykonano obliczenia prognostyczne dla 8-letniego okresu odwadniania północnej części złoża, tzw. Pola Rzgów przy obniżeniu zwierciadła wód podziemnych od 30 do 45 m. Założono, że woda z odwadniania odkrywki będzie odprowadzana Strugą Grabienicką do Warty. W budowie modelu wykorzystano jednoczesne obserwacje wykonane w 450 studniach gospodarskich ujmujących pierwszy poziom wodonośny, pomiary szerokości koryt cieków oraz głębokości cieków (Gałdecka, 2009) – niezbędne do zastosowania modułu *Stream*.

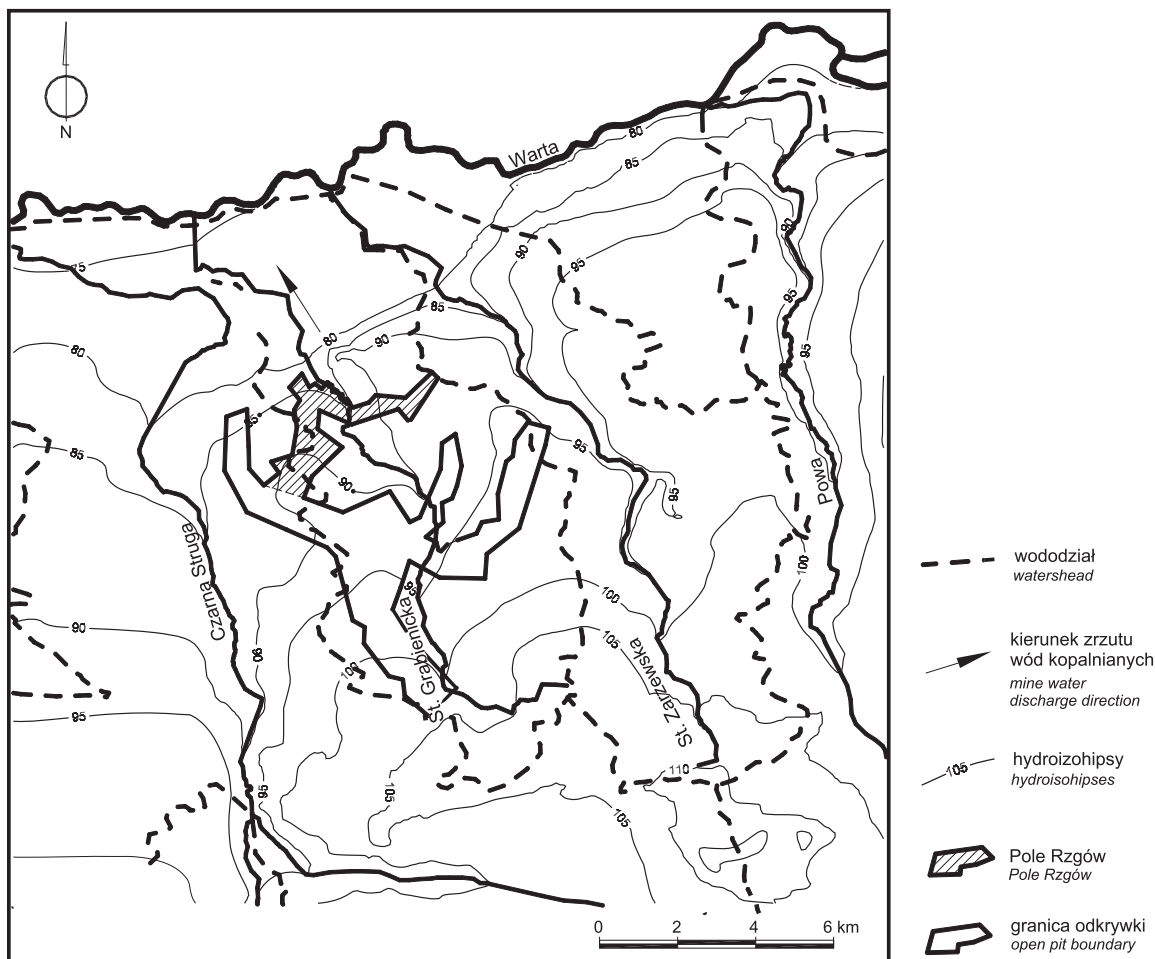


Fig. 1. Hydroizohipsy pierwszego poziomu wodonośnego

Hydroisohipses of upper aquifer

REZULTATY OBLICZEŃ

Obliczenia przepływu wód powierzchniowych przedstawiono dla ciekę Struga Grabienicka, którego zlewnia obejmuje złożę „Piaski”. Dla średnich parametrów ciekę: szerokość koryta – 4 m, przewodność warstwy słabo przepuszczalnej – $0,03 \text{ m}^2/\text{d}$, współczynnik szorstkości – 0,01 i spadek hydrauliczny koryta – 0,0016, przepływ wód powierzchniowych w symulowanych warunkach hydrogeologicznych osiągnął ponad $6000 \text{ m}^3/\text{d}$ (fig. 2). Wyniki modelu wykazują, że przepływ wód powierzchniowych rozpoczął się w 3 km biegu koryta ciekę, podobnie jak wskazywały wyniki kartowania hydrologicznego (Gałdecka, 2009). Wykorzystanie modułu *Stream* pozwala na symulację rzeczywistego współdziałania między wodami powierzchniowymi i podziemnymi. Nie dopuszcza – tak jak w przypadku zastosowania modułu *River* – do symulacji ciekę, którego koryto jest w rzeczywistości pozbawione wody.

Kolejnym etapem badań modelowych była analiza zmian przepływu w Strudze Grabienickiej i położenia zwierciadła wód powierzchniowych w warunkach odwadniania odkrywki. Przeanalizowano dwa warianty zarządzania wodami kopalnianymi: pierwszy zakładał, że do Strugi Grabienickiej nie będą odprowadzane wody z odwadniania, drugi symulował zrzut wód kopalnianych do tego ciekę w wysokości $30,5 \text{ m}^3/\text{min}$ i ich odpływ w kierunku na północ, do Warty (fig. 1).

Z analizy wynika, że w obu tych wariantach w odległości około 7 km na południe od Pola Rzgów Struga Grabienicka zmieni swój charakter z ciekę drenującego na ciekę infiltrujący i będzie zasilać warstwę wodonośną. W odległości około 3 km od południowej krawędzi odkrywki przepływ wody w ciekę ustanie (fig. 3).

Na północ od Pola Rzgów w zależności od przyjętego wariantu możliwe będą dwa rozwiązania. W pierwszym

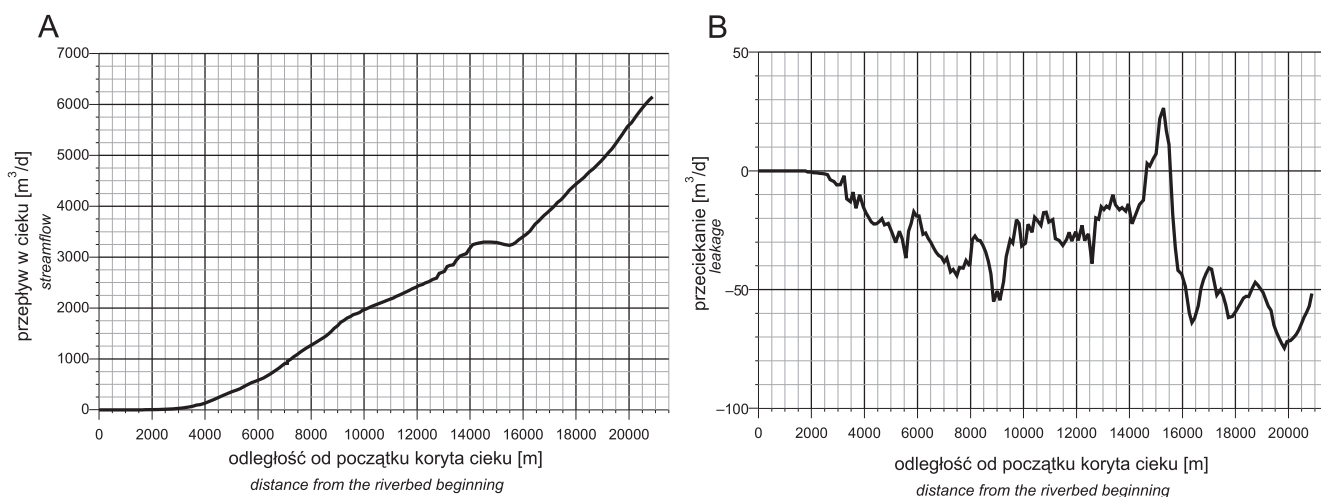


Fig. 2. Przepływ wód powierzchniowych (A) oraz przeciekanie między ciekim i warstwą wodonośną (B) w warunkach naturalnych

Streamflow (A) and leakage between stream and aquifer (B) in natural condition

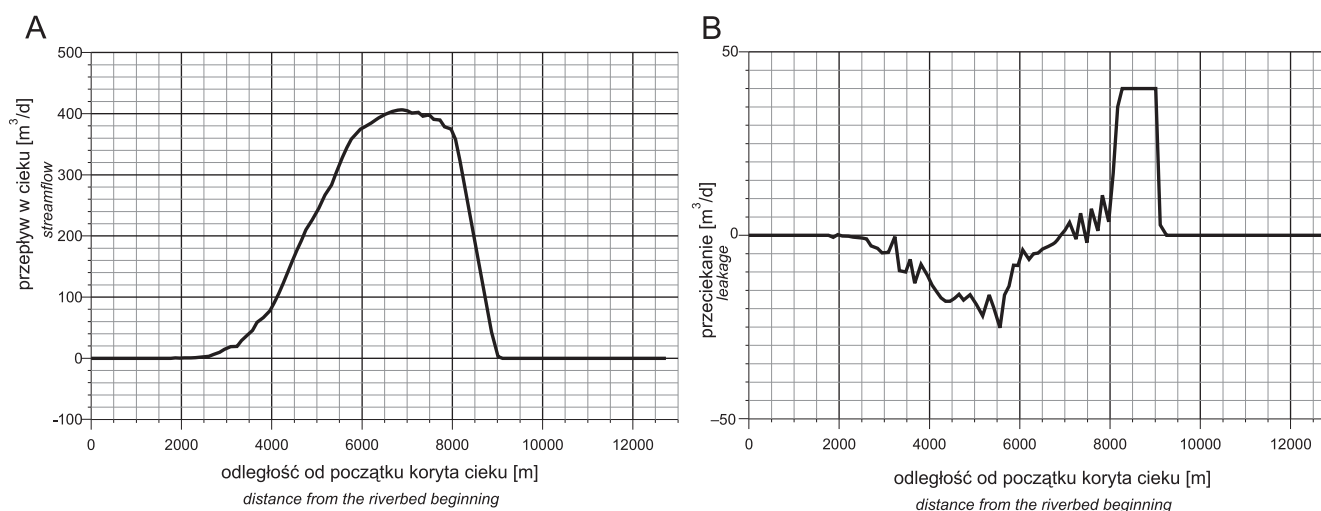


Fig. 3. Przepływ wód powierzchniowych (A) oraz przeciekanie między ciekim i warstwą wodonośną (B) w warunkach odwadniania na południe od Pola Rzgów

Streamflow (A) and leakage between stream and aquifer (B) in dewatering conditions, south from Pole Rzgów

wariacie, przy braku zrzutu wód z odwadniania do ciek, jego koryto będzie pozbawione wody do granicy zasięgu leja depresji wywołanego odwadnianiem odkrywki, tj. około 4,5 km. Gdy zwierciadło wód podziemnych znajdzie się powyżej dna koryta, rozpocznie się proces jego zasilania wodami podziemnymi i powróci w nim przepływ (fig. 4).

W przypadku zasilania ciek w wodami z odwadniania odkrywki w ilości 30,5 m³/min najwyższy przepływ w cieku będzie miał miejsce w pierwszym bloku obliczeniowym.

W kolejnych blokach, w „dół” strumienia, przepływ będzie malał z powodu zasilania warstwy wodonośnej wodami powierzchniowymi (fig. 5). Zasilanie wód podziemnych wpłynie na wycofanie się leja depresji, który w tym przypadku zmniejszy się do 3,2 km. Jednocześnie przy zakładanych parametrach koryta: szerokość dna 6 m, spadek hydrauliczny 0,016–0,0078 i współczynnik szorstkości 0,01, poziom zwierciadła wody w cieku wzrośnie średnio o około 10 cm, w stosunku do warunków naturalnych.

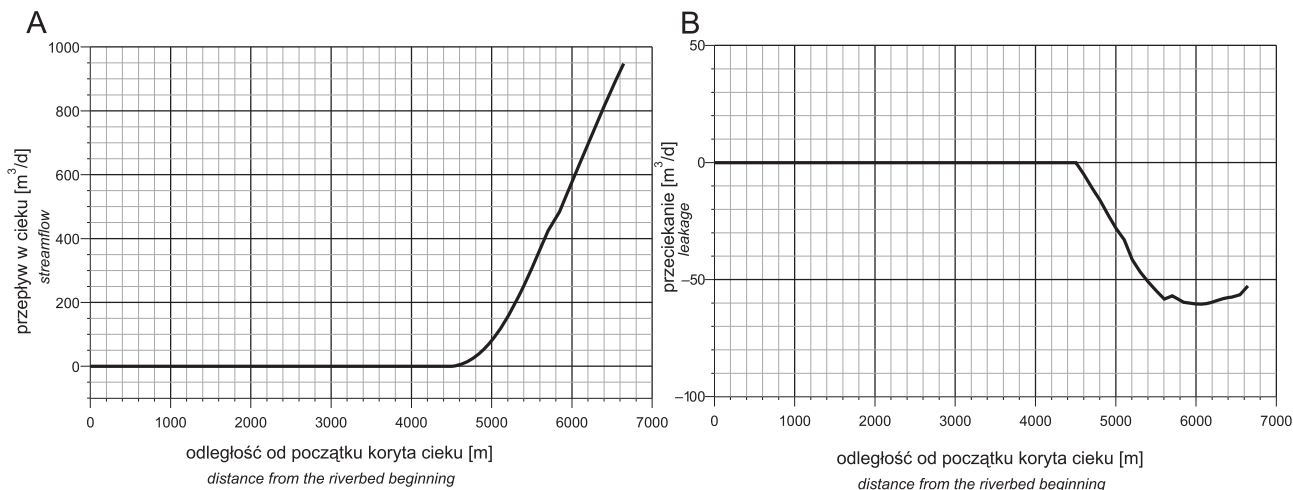


Fig. 4. Przepływ wód powierzchniowych (A) oraz przeciekanie między ciekim i warstwą wodonosną (B) w warunkach odwadniania, na północ od Pola Rzgów

Streamflow (A) and leakage between stream and aquifer (B) in dewatering conditions, north from Pole Rzgów

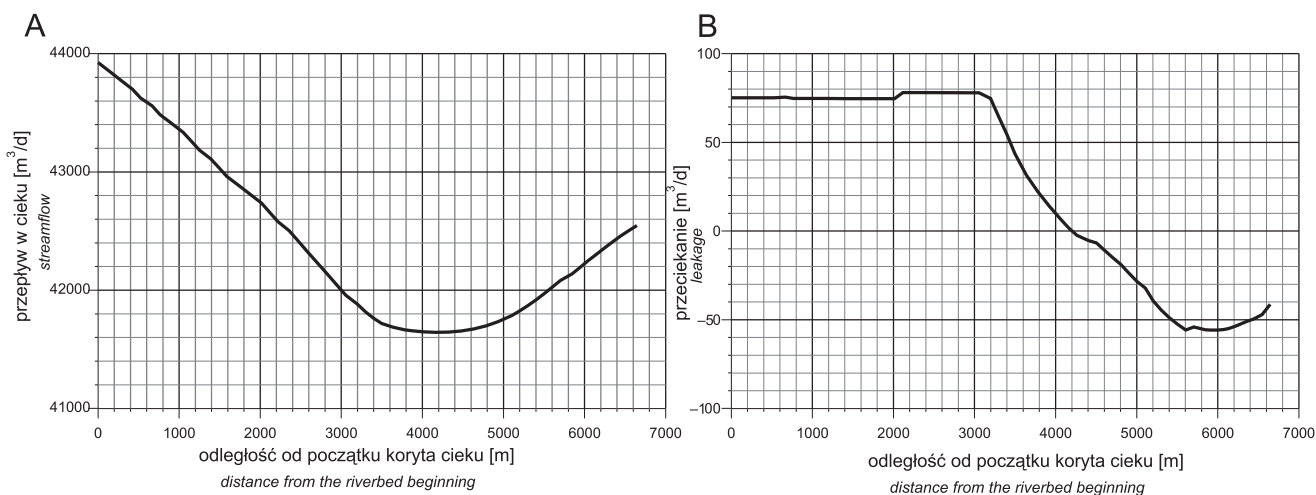


Fig. 5. Przepływ wód powierzchniowych (A) oraz przeciekanie między ciekim i warstwą wodonosną (B) w warunkach odwadniania i zrzutu wód kopalnianych $30,5 m^3/min$, na północ od Pola Rzgów

Streamflow (A) and leakage between stream and aquifer (B), in dewatering conditions and with mine water discharge $30.5 m^3/min$, north from the Pole Rzgów

PODSUMOWANIE

Wpływ odwadniania kopalń na cieki powierzchniowe skutkuje zmniejszeniem w nich przepływu, a nawet pozabawieniem wody. Z drugiej strony zrzut wód kopalnianych pochodzących z odwadniania zwiększa przepływ w ciekach i może przyczynić się do ograniczenia leja depresji. W programie MODFLOW do oceny wzajemnego oddziaływania odwadniania na środowisko wodne może być wykorzystany moduł *Stream*. Ma on znacznie większe możliwości od stosowanego powszechnie w modelowaniu modułu *River*. Umożliwia obliczenie przepływu wód powierzchniowych oraz poziomu zwierciadła wody w cie-

kach. Pozwala na oszacowanie odcinków cieków narażonych na całkowitą utratę wody, co ma duże znaczenie w obliczeniach prowadzonych dla obszarów odwodnień górniczych. W celu otrzymania wiarygodnego rozwiązania przy zastosowaniu modułu *Stream* niezbędne jest jednak pozyskanie dodatkowych informacji o parametrach koryta rzeczno-ego, takich jak: szerokość, współczynnik szorstkości, nachylenie koryta i głębokość wody w cieku, a także dane o położeniu zwierciadła wód podziemnych w pierwszym poziomie wodonosnym, zasadniczym z punktu widzenia zasilania cieków powierzchniowych.

LITERATURA

- DĄBROWSKI S., KAPUŚCIŃSKI J., NOWICKI K., PRZYBYŁEK J., SZCZEPAŃSKI A., 2011 — Metodyka modelowania matematycznego w badaniach i obliczeniach hydrogeologicznych. Bogucki Wyd. Nauk., Poznań.
- GALDECKA M., 2009 — Dynamika wód podziemnych na międzyrzeczu Warta–Powa–Czarna Struga ze szczególnym uwzględnieniem pierwszego poziomu wodonośnego. [Pr. magister.]. UAM, Instytut Geologii, Poznań.
- HydroGeoLogic, Inc., 1998 — MODFLOW-SURFACT v. 3.0, A Comprehensive MODFLOW-Based Flow and Transport Simulator. Code Documentation Report. HydroGeoLogic, Reston VA.
- KSIAŻYŃSKI K., JEŻ P., GRĘPŁOWSKA Z., 2002 — Tablice do obliczeń hydraulicznych. Wyd. PK, Kraków.
- KULMA R., ZDECHLIK R., 2009 — Modelowanie procesów filtracji. Uczelniane Wyd. Nauk.-Dydakt. AGH, Kraków.
- MCDONALD M.G., HARBAUGH A.W., 1988 — A modular three-dimensional finite difference ground-water flow model. USGS Techniques of Water-Resources Investigations Book 6. Chapter A1.
- NISWONGER R.G., PRUDIC D.E., 2006 — Documentation of the Streamflow-Routing (SFR2) Package to Include Unsaturated Flow Benath Streams – a modification to SRF1. USGS, Techniq. Meth.: 6-A13.
- OZBILGIN M.M., DICKERMAN D.C., 1984 — A modification of the finite difference model for simulation of two dimensional ground-water flow to include surface-ground water relationships. USGS Water-Resources Investigations Report: 83-4251.
- PRUDIC D.E., 1989 — Documentation of a computer program to simulate stream-aquifer relations using a modular, finite-difference, ground-water flow model. USGS, Open-File Report: 88-729.
- PRUDIC D.E., KONIKOW L.F., BANTA E.R., 2004 — A new Streamflow-Routing (SFR1) Package to Simulate Stream-Aquifer Interaction with Modflow 2000. USGS, Open-File Report: 2004-1042.
- WOJCIECHOWSKA R., 2008 — Objasnienia do Mapy hydrogeologicznej. Pierwszy poziom wodonośny. Występowanie i hydrodynamika, ark. Rychwał. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- WHITE F.M. (red.), 1979 — Fluid mechanics. New York, McGraw-Hill.

SUMMARY

In some areas, particularly being under mine dewatering, streams become dry due to lowering of groundwater table. On the other hand, mine water pumped out from the mine additionally discharges rivers or streams increasing streamflow. This phenomena can be represented in MODFLOW by the Stream Package, which simulates interaction between surface streams and groundwater.

In this paper the Stream Package has been tested in the modelling studies carried out in connection with the proposed lignite open pit dewatering. A three-dimensional, five-layered local model with uniform size of cells 100 m has been developed, which covers the area of 447 km². It was assumed there are three aquifers representing: the first water-bearing aquifer (Quaternary), the Paleogene-Neogene aquifer and the Cretaceous aquifer. The external boundaries are represented by specified head boundaries and a head dependent flow boundary (River Package). The numerical model has been developed for premining conditions (in steady state simulation) and for mining conditions representing

8-years period of the open pit dewatering (in transient simulation). The mine dewatering system is represented by the Time Variant Constant Head Package and all streams and rivers located inside the model area are represented by the Stream Package.

The results of the modelling study reveal that the Stream Package is particularly useful in areas under the influence of mine drainage and mine water discharge. In addition to calculating the streamflow, flow between stream as well as aquifer and the stream stage, it permits rivers to go dry during a given period of simulation as well as to simulate subtraction or additional inflow to surface water, what is not included in the River Package.

However, to get a feasible solution it is necessary to acquire additional data: stream parameters (width of stream, roughness coefficient, slope of stream channel), stream stage and the groundwater level in the upper aquifer, the essential for the stream-aquifer relations.