

# ZASTOSOWANIE ZMODYFIKOWANEJ METODY ANALOGII HYDROGEOLOGICZNEJ Z WYKORZYSTANIEM GIS W PROGNOZOWANIU DOPŁYWU WÓD DO PODZIEMNYCH WYROBISK GÓRNICZYCH

## FORECASTING OF GROUNDWATER INFLOW INTO UNDERGROUND MINE WORKINGS WITH IMPLEMENTATION OF MODIFIED HYDROGEOLOGICAL ANALOGY METHOD AND GIS

Maciej Pikula, Magdalena Worsa-Kozak, Krzysztof Chudy, Katarzyna Kaczorek, Artur Szymański – KGHM Cuprum Sp. z o. o. - CBR, Wrocław

*W artykule przedstawiono przykład modyfikacji uproszczonej metody prognozowania dopływu wód do kopalń podziemnych. Podstawą zaproponowanego rozwiązania jest metoda polegająca na określeniu wartości wskaźnika zawodnienia jednostkowego ( $q_A$ ) tj. dopływu, który przypada na jednostkę powierzchni rozciętej wyrobiskami górnictwami (Rogoż, 2012). Proponowana modyfikacja związana jest z analizą zmienności dopływów do wyrobisk górnictw wraz z upływem czasu od momentu wykonania wyrobisk oraz strefowej zmienności charakteru dopływów w obrębie jednej kopalni. W artykule omówiono zagadnienia związane z prowadzeniem obliczeń w oparciu o dwuwymiarowy model wyrobisk górnictw (o uproszczonej geometrii) z wykorzystaniem darmowego oprogramowania geoinformacyjnego.*

*Proces określania i prognozowania dopływu do wyrobisk górnictw zobrazowano za pomocą hipotetycznego modelu wyrobisk górnictw kopalni umiejscowionej na fikcyjnym złożu. Punktem wyjścia do opracowania prezentowanej metody były doświadczenia autorów związane z analizą wyników pomiarów rzeczywistych dopływów oraz obliczeniami prognozowanych dopływów do wyrobisk górnictw jednej z kopalń KGHM Polska Miedź S.A. na obszarze monokliny przedsudeckiej.*

**Słowa kluczowe:** dopływ wód podziemnych do kopalń, prognozowanie dopływu wód do wyrobisk górnictw, metoda analogii hydrogeologicznej, wskaźnik zawodnienia jednostkowego, oprogramowanie geoinformacyjne

*The article presents an example of forecasting the inflow of water to underground mine workings with implementation of modified simplified method of hydrogeological analogy. The basis of the proposed solution is the method based on the determination of the value of the mine-water inflow index ( $q_A$ ), which represents a unit of mining excavations area (Rogoż, 2012). The proposed modification is related to the analysis of the variability of inflow to mining workings with the passage of time from the moment excavations are made and the zonal variability of the nature of tributaries within one mine. The article discusses issues related to calculations based on a two-dimensional model of mining excavations (with simplified geometry) using free geoinformation software.*

*The process of determining and forecasting the inflow to mine workings was depicted by means of a hypothetical model of mining excavations located in a fictional deposit. The starting point for the development of the presented method was the authors experience with the analysis of actual inflows and forecasting the tributaries in one of the KGHM Polska Miedź S.A. mines which is located at the Fore-Sudetic Monocline.*

**Keywords:** groundwater inflows into mines, inflows forecasting, hydrogeological analogy method, minewater inflow index, geoinformation software

### WSTĘP

Projektowanie systemu odwodnienia kopalni powinno się opierać na możliwie dokładnej i wiarygodnej prognozie ilości wody, jaka będzie dopływać do wyrobisk górnictw. Według M. Rogoża (2004) możemy wyróżnić dwie grupy metod prognozowania dopływów wody do kopalń. Pierwsza grupa metod opiera się na deterministycznym podejściu do czynników przyrodniczych i technicznych oraz rządzących nimi praw, które

wpływają na kształtowanie się wielkości dopływów wód do kopalń. Do tej grupy zaliczamy metody bazujące na bilansie hydrogeologicznym oraz metody opierające się na równaniach ruchu cieczy w ośrodkach porowych – w tym metody oparte na numerycznych modelach filtracji wód podziemnych (Bocheńska, 1984). Wspomniana grupa metod wymaga dokładnego rozpoznania warunków hydrogeologicznych w otoczeniu kopalni, co rzutuje na wiarygodność przyjętych warunków brzegowych oraz parametrów równań deterministycznych. Drugą grupę

metod charakteryzuje opisowe (probabilistyczne) podejście do dopływów do wyrobisk górniczych, w relacji z innymi zjawiskami przyrodniczymi i technicznymi. W tym przypadku do zmierzonych wartości dopływów podchodzimy jak do populacji statystycznej, którą w związku z innymi czynnikami możemy analizować jako wielowymiarową. Do tej grupy metod należą metody analogii hydrogeologicznej (Posyłek, 1986, Rogoż, 2004, 2012).

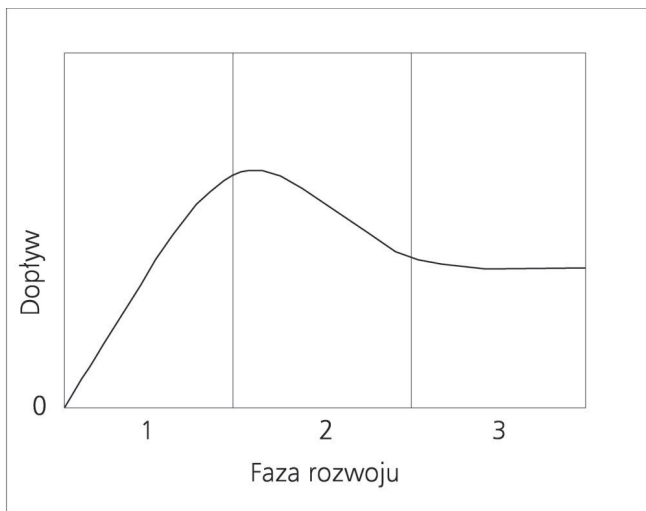
Zaproponowana w artykule metoda zakłada modyfikację jednowymiarowej metody analogii hydrogeologicznej opartej na wskaźniku zawodnienia jednostkowego, poprzez uwzględnienie przestrzennej i czasowej zmienności wielkości dopływów do wyrobisk górniczych.

Przewiduje się zastosowanie przedstawionej metody dla potrzeb prognozowania dopływu do podziemnych wyrobisk górniczych na obszarach o dobrym stopniu rozpoznania warunków hydrogeologicznych w poziomach wodonośnych kształtujących bezpośrednio wielkość dopływu do wyrobisk, gdzie mamy do dyspozycji zmierzone wartości dopływów w wyrobiskach zlokalizowanych w sąsiednich partiach górotworu (Bocheńska, 1976). Przyjęty model zakłada brak odwodnienia wyprzedzającego eksploatację z powierzchni terenu - odwodnienie w całości odbywa się grawitacyjnie, przez wyrobiska górnicze (Chudy, Worsa-Kozak, 2013) i otwory wiercone pod ziemią z poziomu wyrobisk. Założono, że na fikcyjnym złożu przedstawionym w przykładzie, eksploatacja odbywa się od 1980 roku, dysponujemy pomiarami wielkości dopływu z lat 1980-2015, a prognoza jest wykonywana dla stanu na 2040 rok.

## PODSTAWY TEORETYCZNE METODY WYJŚCIOWEJ

### *Kształtowanie się dopływów do wyrobisk w związku z rozwojem kopalni*

Dopływy wód do kopalń są kształtowane przez wody pochodzące z zasobów dynamicznych i statycznych. Dopływ jest zmienny w czasie i zmianie ulegają również wzajemne proporcje ilości wód z zasobów dynamicznych i statycznych, które kształtują sumaryczny dopływ do wyrobisk. Uproszczony schemat czasowego kształtowania się wielkości dopływu dla nowo budowanych kopalń przedstawił M. Rogoż, według



Rys. 1 Typowa krzywa rozwoju dopływów wody do kopalni (wg Rogoża, 2004)  
Fig. 1 Typical curve of the development of water inflows into the mine (according to Rogoż, 2004)

którego zazwyczaj wyznaczane są trzy fazy rozwoju dopływów (rys. 1, Rogoż, 2004). W fazie pierwszej następuje szybkie szczyptywanie zasobów statycznych wody w bezpośrednim sąsiedztwie wyrobisk i powstanie wokół nich stromego leja depresji o niewielkim zasięgu. W tej fazie dopływy szybko się zwiększają. W drugiej fazie następuje powolne zmniejszanie się dopływów, lej depresji zwiększa swój zasięg i ulega spłaszczeniu. Wraz z upływem czasu wzrasta udział w dopływie wód stanowiących zasoby dynamiczne, kosztem zasobów statycznych. W trzeciej fazie następuje stabilizacja dopływów, czasami z niewielką tendencją wzrostową.

Autor powyższego schematu przyjął założenie, że w trzeciej fazie kopalnia osiągnęła już docelowe wydobycie, w związku z czym przyrost powierzchni wyrobisk górniczych jest w przybliżeniu stały.

### *Metoda analogii hydrogeologicznej na podstawie wskaźnika zawodnienia jednostkowego*

Metoda opiera się na wyznaczeniu wskaźnika zawodnienia jednostkowego  $q_A$ , który określa dopływ do kopalni analogu  $Q_1$  przypadający na jednostkę powierzchni rozciętej wyrobiskami górniczymi  $A_1$ :

$$q_A = Q_1 / A_1 \quad [L^3/T * L^2] \quad (1)$$

Dopływ do projektowanej kopalni obliczamy ze wzoru (Rogoż, 2004):

$$Q = q_A * A \quad [L^3/T] \quad (2)$$

gdzie:

$Q$  – prognozowany dopływ do projektowanej kopalni

$A_1$  – powierzchnia wyrobisk w kopalni analogu

$A$  – przewidywana powierzchnia wyrobisk górniczych w kopalni projektowanej.

Przyjęcie powyższego założenia prowadzi do wniosku, że dopływ do kopalni wzrasta wprost proporcjonalnie do przyrostu powierzchni wyrobisk.

## ZMODYFIKOWANA METODA ANALOGII HYDROGEOLOGICZNEJ NA PODSTAWIE WSKAŹNIKA ZAWODNIENIA JEDNOSTKOWEGO

W niniejszym artykule zaproponowano nieco inne podejście do kwestii zmienności wielkości dopływów wraz z upływem czasu niż wynikające z prawidłowości opisanej przez M. Rogoża. Oparto się na założeniu, że powierzchnia wyrobisk górniczych stale powiększa się w czasie, a dynamika rozwoju powierzchni wyrobisk jest zmienna w wymiarze czasowym. Stałe powiększanie się obszaru zajmowanego przez wyrobiska górnicze sprawia, że wraz z eksploatacją prowadzoną na „nowych” obszarach, następuje ciągły dopływ wód pochodzących z zasobów statycznych, które dopływają z nowo wykonanych wyrobisk. W związku z tym, że „życie” kopalni może trwać kilkadziesiąt lat, obszary o dopływach charakterystycznych dla 1 i 2 fazy będą z czasem zajmowały coraz mniejszą procentowo powierzchnię w odniesieniu do powierzchni pozostałej części kopalni z dopływem typowym dla fazy 3. Autorzy artykułu stoją na stanowisku, że prawidłowość zmian dopływów w czasie, którą obrazuje krzywa na rysunku 1 ma miejsce, ale schematu nie należy odnosić do obszaru całej kopalni, a odrębnie analizować równoległe powierzchnie wyrobisk (ściślej: powierzchnie przypisane do wyznaczonych przedziałów wiekowych).

Dodatkowo, na zmiany wielkości dopływu do wyrobisk górniczych w czasie, wpływają rozmaite czynniki związane

z lokalną zmiennością parametrów hydrogeologicznych skał przylegających do złoża, czy ze sposobem i tempem eksploatacji – przez co natężenie dopływu w czasie może odbiegać od przebiegu typowej krzywej przedstawionej na rysunku 1. Zmienność powyższych czynników może również istotnie wpływać na przestrzenne zróżnicowanie wielkości dopływów na terenie kopalni (Bocheńska, Kalisz, 1997). W zaproponowanym rozwiązaniu zakłada się przeprowadzenie schematyzacji warunków hydrogeologicznych, tak aby w jej rezultacie uzyskać podział złoża na obszary różniące się w sposób wyraźny wartością wskaźnika zawodnienia jednostkowego, będącego miarą wielkości dopływu do wyrobisk górniczych w odniesieniu do jednostki powierzchni. Proponowane rozwiązanie zakłada również uwzględnienie czasowej zmienności dopływów w procesie prognozowania wielkości dopływu do projektowanych wyrobisk górniczych, przez wyznaczenie w granicach stref dodatkowych mniejszych jednostek – obszarów reprezentujących okresy czasu o odmiennych wielkościach wskaźnika zawodnienia jednostkowego.

Określanie dopływów do wyrobisk górniczych powinno być procesem wieloetapowym, zawierającym pozyskanie wiarygodnych danych „wejściowych”, ich analizę, schematyzację warunków hydrogeologicznych, następnie ekstrapolację wyznaczonych stref na obszar przeznaczony do eksploatacji i późniejszą weryfikację prognozowanych wielkości w oparciu o pomiar dopływów rzeczywistych (Chudy, 2004, Worsa-Kozak i in., 2016).

W proponowanej metodzie wyróżniono następujące etapy:

Etap 1. Rozpoznanie warunków hydrogeologicznych złoża, dokonanie wstępnej rejonizacji pod względem zawodnienia złoża i wstępna ocena spodziewanego dopływu do wyrobisk górniczych

Etap 2. Projekt sieci pomiarowej dopływu wód podziemnych do wyrobisk.

Etap 3. Wyznaczanie wielkości dopływów dla powierzchni „sztucznych zlewni” na terenie kopalni i przypisanie do nich wskaźników zawodnienia jednostkowego oraz analiza zmienności natężenia dopływów w czasie.

Etap 4. Weryfikacja zasięgów wyznaczonych wstępnie stref na terenie objętym robotami górniczymi (w nawiązaniu do budowy geologicznej i przestrzennej zmienności wskaźników zawodnienia jednostkowego i dynamiki zmian wartości wskaźników w czasie). Wyznaczenie przedziałów czasowych od momentu wykonania wyrobisk, dla których natężenie dopływu w obrębie poszczególnych stref jest na podobnym poziomie. Zdefiniowanie wartości wskaźników w granicach poszczególnych stref dla obszarów odpowiadających zasięgowi wyrobisk zakwalifikowanych do tych przedziałów czasowych.

Etap 5. Prognozy wielkości dopływu do projektowanych wyrobisk górniczych w oparciu o zdefiniowane wartości wskaźników zawodnienia jednostkowego.

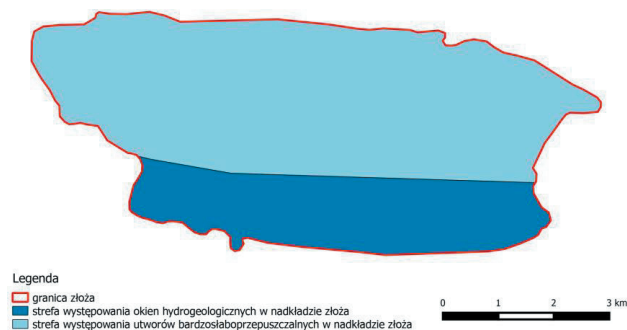
Etap 6. Weryfikacja obliczonych wartości dopływu i aktualizacja obliczonych wartości wskaźników zawodnienia jednostkowego.

## PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA PROPONOWANEJ METODY PROGNOZOWANIA DOPIŁYWU DO WYROBISK

W przedstawionym przykładzie analizy i obliczenia były wykonywane w oprogramowaniu QGIS w plikach \*.shp oraz

\*.sqlite. Wszelkie zmierzone lub obliczone parametry zostały przypisane do poszczególnych obiektów w postaci atrybutów. Obliczenia były wykonywane za pomocą wbudowanych narzędzi programu: „kalkulator pól” oraz „podstawowe statystyki” zgrupowanego w „narzędziach analizy” w zakładce „wektor” (Iwańczak, 2016).

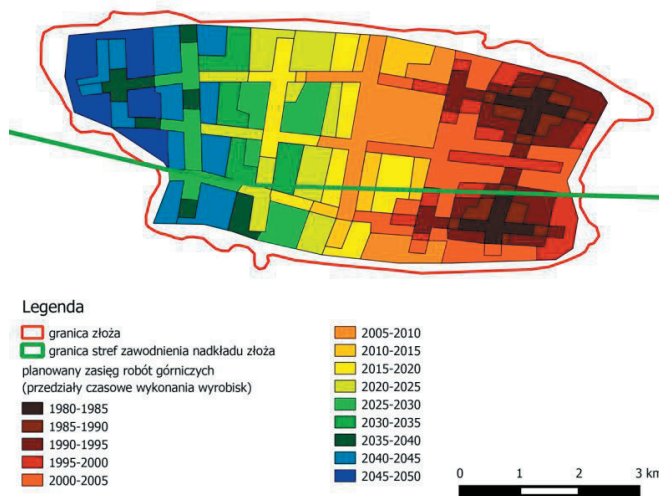
**Etap 1** - rozpoznanie warunków hydrogeologicznych złoża i wyznaczenie wstępnego przebiegu stref w granicach złoża, gdzie spodziewamy się wystąpienia zwiększonych dopływów do wyrobisk oraz stref o niższych spodziewanych dopływach (rys. 2). Na przedstawionym przykładzie południowa część złoża występuje w strefie, w której spodziewane są większe dopływy, co wynika z udokumentowania w tym rejonie okien hydrogeologicznych, łączących poziomy wodonośne bezpośrednio przylegające do złoża z wyżej ległymi poziomami wodonośnymi. Północna część złoża to strefa występowania utworów bardzo słabo przepuszczalnych bezpośrednio ponad złożem, izolujących „poziomy przyłożowe” od wód poziomów wodonośnych występujących wyżej w nadkładzie złoża.



Rys. 2. Granice złoża kopaliny z wstępną rejonizacją warunków hydrogeologicznych

Fig. 2. The boundaries of the mineral deposit with preliminary regionalization of hydrogeological conditions

Podany przykład zakłada, że eksploatacja jest prowadzona w złożu od 1980 roku. Uproszczony plan zasięgu wykonanych i projektowanych wyrobisk górniczych w złożu przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Zgeneralizowany plan eksploatacji złoża

Fig. 3. Generalized plan of deposit exploitation

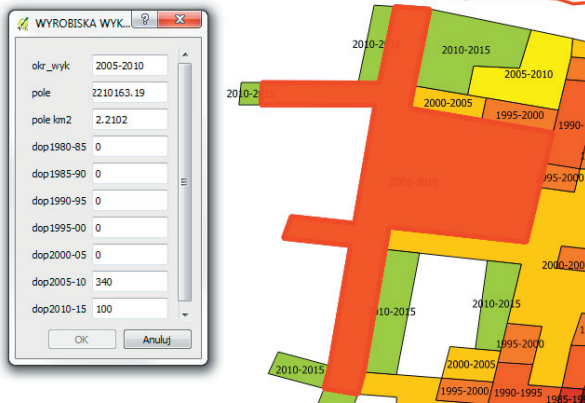
**Etap 2.** W tym etapie projektujemy rozmieszczenie punktów sieci pomiarowej dopływu wód podziemnych do wyrobisk. Lokalizacja punktów pomiarowych powinna umożliwić selektywną ocenę wielkości dopływu z poszczególnych stref kopalni



charakteryzujących się odmiennymi warunkami hydrogeologicznymi oraz wyrobisk górniczych zgrupowanych w obszary o podobnym wieku. Lokalizacja punktów powinna opierać się na wynikach kartowania hydrogeologicznego wyrobisk.

**Etap 3.** Zmierzone wielkości dopływów zostają przypisane do wydzielonych powierzchni zajmowanych przez wyrobiska, z których te wody dopływają. Ocena dopływu z poszczególnych obszarów powinna być połączona z analizą wyników kartowania hydrogeologicznego w kopalni, co ma szczególne znaczenie w sytuacjach, kiedy przypisanie wielkości dopływu do danej powierzchni stwarza problemy interpretacyjne. Wartości dopływu wprowadzamy do tabeli atrybutów i za pomocą formuły wpisanej do kalkulatora pól obliczamy wartości wskaźników zawodnienia jednostkowego dla poszczególnych tak wyznaczonych pól.

Zgodnie z podanym wcześniej założeniem, jako kopalnię-analog traktujemy obszar kopalni objęty eksploatacją do momentu, w którym prowadzimy obliczenia prognostyczne (w podanym przykładzie 2015 rok). Zmierzone w kolejnych latach wartości dopływów wprowadzane są do pliku \*.shp w postaci atrybutów zebranych w tabeli atrybutów i przypisanych do obiektów tj. powierzchni, z których dany zmierzony dopływ pochodzi. W wyniku przeprowadzonej analizy wykonanej w oprogramowaniu GIS otrzymujemy przestrzenny obraz wielkości dopływów dla poszczególnych powierzchni wyrobisk czynnej kopalni (rys. 4).



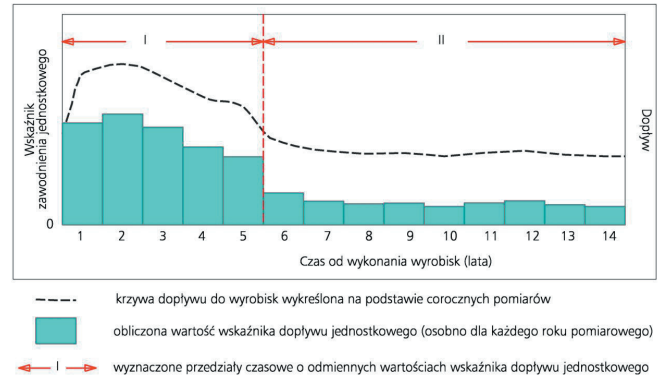
Rys. 4. Podgląd atrybutów obiektu – wyznaczonej powierzchni wyrobisk z przypisanymi wartościami dopływów w kolejnych latach (stan na 2015 rok)

Fig. 4. Preview of object attributes - designated area of excavations with assigned inflow values in subsequent years (as of 2015)

Dopływy wykazują wyraźne zróżnicowanie przestrzenne, korelujące się z położeniem w obrębie wcześniej wstępnie zdefiniowanych stref zawodnienia złoża, co uwidacznia się już przy analizie wyników pojedynczej serii pomiarowej (rys. 6).

Analizujemy zmiany natężenia dopływów w równowiekowych obszarach wyrobisk w obrębie danej strefy w całym okresie prowadzenia pomiarów. Jeżeli zostanie stwierdzona prawidłowość zmian natężenia przepływu w czasie, to na tej podstawie wyznaczamy przedziały czasowe, w obrębie których dopływ do równowiekowych (licząc od momentu wykonania) wyrobisk, wyrażony w postaci wskaźnika zawodnienia jednostkowego, reprezentuje zbliżone wartości (rys. 5).

W prezentowanym przykładzie wielkość dopływu do wyrobisk ulega wyraźnemu zmniejszeniu i stabilizacji po około 5 latach od momentu ich wykonania, co jest interpretowane

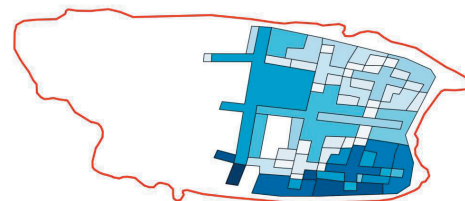


Rys. 5. Przykład analizy zmienności dopływów do równowiekowych wyrobisk położonych w obrębie wyznaczonej strefy w czasie. Na podstawie analizy wyznaczono dwa przedziały czasowe: <5 lat i >5 lat, dla których wskaźniki zawodnienia jednostkowego przyjmują wyraźnie odmienne wartości

Fig. 5. An example of analysis of the inflows variability to the equal-aged excavations located within the designated time zone. On the basis of the analysis, two time intervals with completely different values of inflows were defined : <5 years and >5 years

jako zanikanie po 5 latach dopływu pochodzącego z zasobów statycznych i dominującej roli zasobów dynamicznych w kształtowaniu wielkości dopływu w późniejszym czasie. W związku z powyższym poddajemy osobnej analizie dopływy z wielolecia pochodzące z wyrobisk o wieku poniżej 5 lat, a osobno powierzchnie wyrobisk starszych.

Wielkość przyjętych przedziałów czasowych powinna być dostosowana do tempa zmian wielkości dopływu w czasie. W przedstawionym przykładzie, dla uproszczenia, przyjęto przedział 5-letni, zgodny również z 5-letnim interwałem czasowym przyjętym dla zobrazowania postępu eksploatacji w czasie.

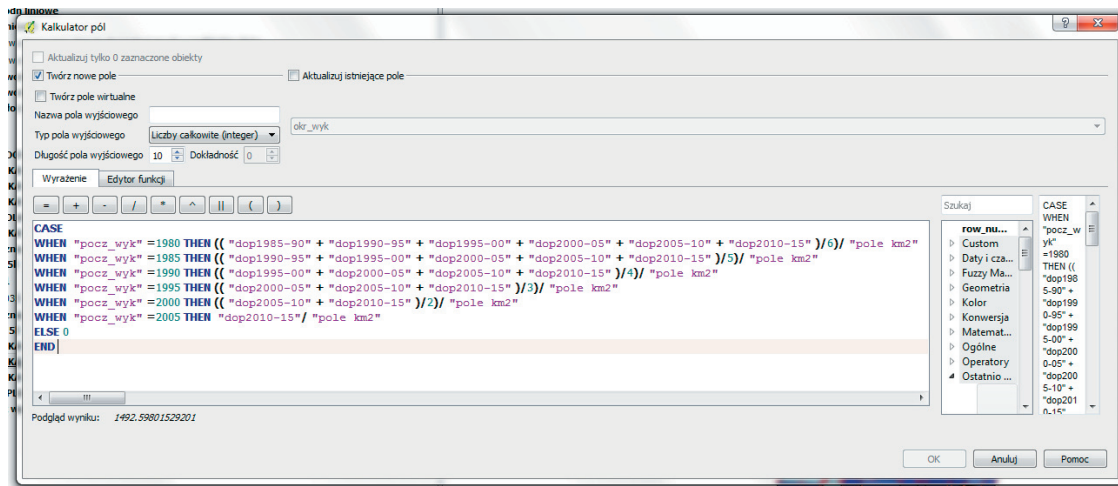


Rys. 6 Wielkość dopływu do różnowiekowych wyrobisk – wartość uzyskana z jednorazowej sesji pomiarowej (rok 2015)

Fig. 6. The inflows rate noticed in different-aged mine workings - the value obtained during a one-off measurement session (2015)

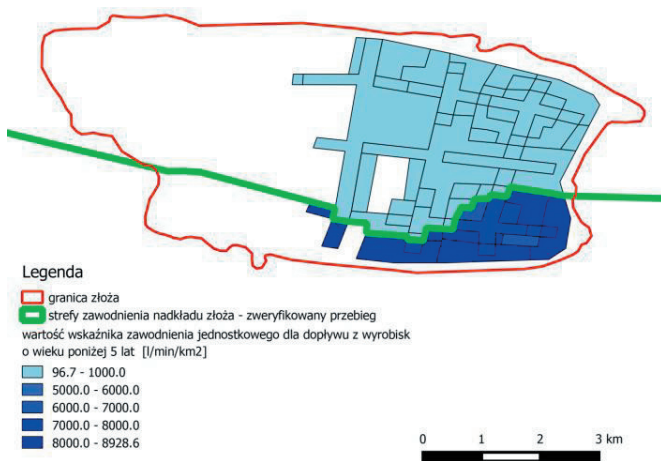
Analizujemy wielkości dopływów do wyrobisk z wielolecia i obliczamy wartości wskaźnika zawodnienia jednostkowego dla wyrobisk starszych niż 5 lat i młodszych niż 5 lat w oparciu o wartości średnie z przyjętych przedziałów czasowych. Wybór poszczególnych wartości dopływu warunkujemy atrybutem - datą wykonania wyrobisk, za pomocą formuły w narzędziu „kalkulator pól” (rys. 7, wzór nr 1)

**Etap 4.** W oparciu o analizę przestrzennej zmienności wskaźnika zawodnienia jednostkowego uściślamy przebieg granicy pomiędzy wstępnie wyznaczonymi strefami charakteryzującymi się odmiennymi warunkami hydrogeologicznymi kształtującymi dopływ do wyrobisk (rys. 8 i 9).



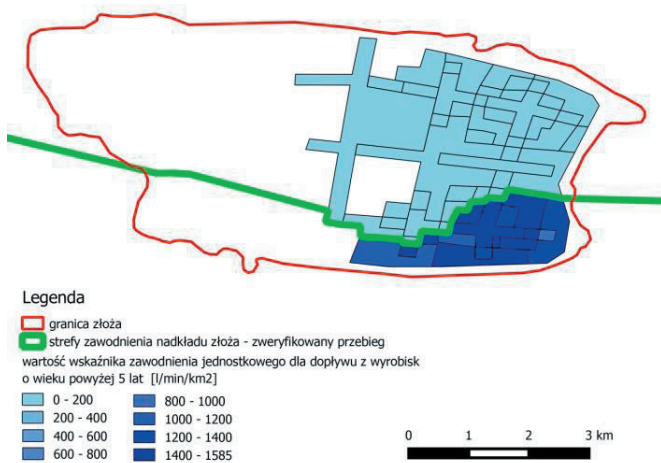
Rys. 7. Przykład obliczenia wartości wskaźnika zawadnienia jednostkowego w oparciu o średnie wartości dopływów do wyrobisk o wieku powyżej 5 lat – przez utworzenie nowego atrybutu z zastosowania formuły w narzędziu „kalkulator pól”

Fig. 7. An example of calculation of the mine-water inflow index based on average values of inflows to more than 5 years old excavations - by creating a new attribute from the application of the formula in the „field calculator” tool



Rys. 8. Zobrazowanie zmienności wskaźnika zawadnienia jednostkowego dla wielkości dopływów zmierzonych w wyrobiskach o wieku poniżej 5 lat

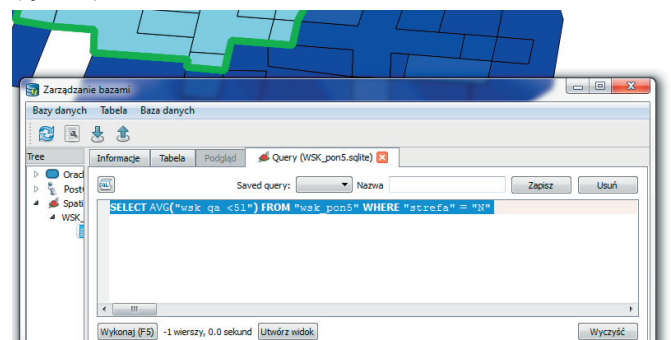
Fig. 8. Spatial distribution of the mine-water inflow index for inflows measured in excavations less than 5 years old



Rys. 9. Zobrazowanie zmienności wskaźnika zawadnienia jednostkowego dla wielkości dopływów zmierzonych w wyrobiskach o wieku powyżej 5 lat (wartości uśrednione z wieloletnia)

Fig. 9. Spatial distribution of the mine-water inflow index for inflows measured in excavations of more than 5 years old age (average values from a number of years)

Po wyznaczeniu granic poszczególnych stref, przystępujemy do określenia uśrednionych wartości wskaźników zawadnienia jednostkowego charakteryzujących dopływ w tych strefach dla wyznaczonych przedziałów czasowych. W tym celu plik shp zapisujemy w formacie bazy danych (\*.sqlite), następnie za pomocą edytora SQL obliczamy wartość średnią z użyciem operatorów: SLECT AVG, FROM, WHERE i „=” (rys. 10).



Rys. 10. Obliczanie średniej wartości wskaźnika zawadnienia jednostkowego wyrobisk o wieku poniżej 5 lat w zdefiniowanej strefie za pomocą zapytania SQL

Fig. 10. Calculation of the average value of the mine-water inflow index for excavations of an age under 5 years old in a defined zone by means of an SQL query

Wartości wskaźników zawadnienia jednostkowego w granicach wyznaczonych stref można również uzyskać poprzez podzielenie sumy uśrednionych wartości dopływów z danej strefy przez powierzchnię tej strefy, z zachowaniem ustalonego wcześniej podziału na dopływy z wyrobisk o wieku <5lat i >5lat. W wyniku przeprowadzonych obliczeń uzyskujemy cztery wartości wskaźników zawadnienia jednostkowego obliczonych według wzoru 1 (tab. 1).

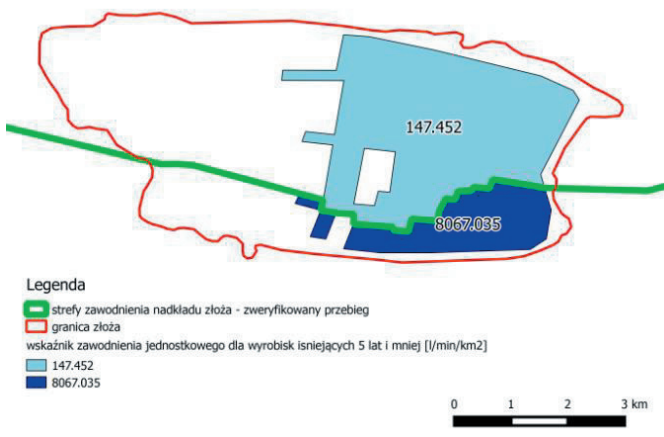
Wyniki obliczeń wskaźników zawadnienia jednostkowego na tle połączonych obszarów (dla których wykonano obliczenia dopływów z wybranych przedziałów czasowych) w granicach poszczególnych stref przedstawiają rysunki 11 oraz 12.

Jeżeli w międzyczasie zwiększy się stopień rozpoznania warunków hydrogeologicznych na obszarze przeznaczonym do eksploatacji, tam również dokonujemy weryfikacji i korekty przebiegu poszczególnych stref.

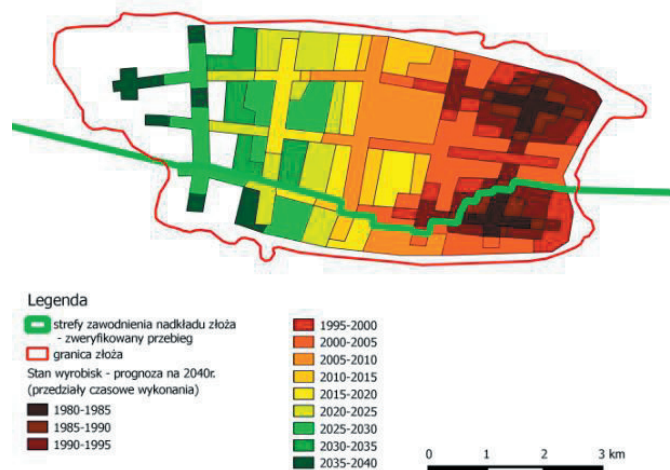
**Etap 5.** Prognoza wielkości dopływów do wyrobisk dla stanu robót górniczych zaplanowanych na rok 2040. Dokonu-

Tab. 1. Dane wejściowe i wynik obliczeń wartości wskaźnika zawadnienia jednostkowego w oparciu o uśrednione wielkości dopływu z okresu 1980-2015 do poszczególnych stref i powierzchnie tych stref  
 Tab. 1. Input data and the result of calculations of the mine-water inflow index based on the average inflows from the period 1980-2015 to individual zones and based on the surface of these zones

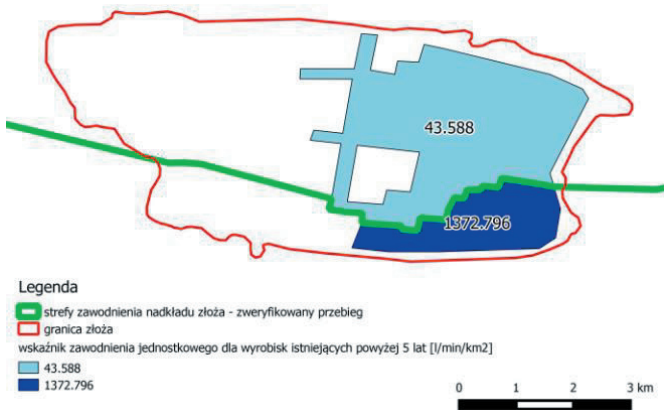
Powierzchnia wyrobisk $A_1$ [km <sup>2</sup> ]		Uśredniony dopływ wód podziemnych do wyrobisk $Q_1$ [l/min]		Wskaźnik zawadnienia jednostkowego (wzór 1) $q_A$ [l/min/km <sup>2</sup> ]	
wiek wyrobisk		wiek wyrobisk		wiek wyrobisk	
<5 lat	>5 lat	<5 lat	>5 lat	<5 lat	>5 lat
Strefa okien hydrogeologicznych					
3,07	2,87	24 790,00	3 947,20	8 067,03	1 372,80
strefa występowania utworów bardzo słabo przepuszczalnych w nadkładzie złoża					
10,18	9,20	1 501,500	401,20	147,45	43,59



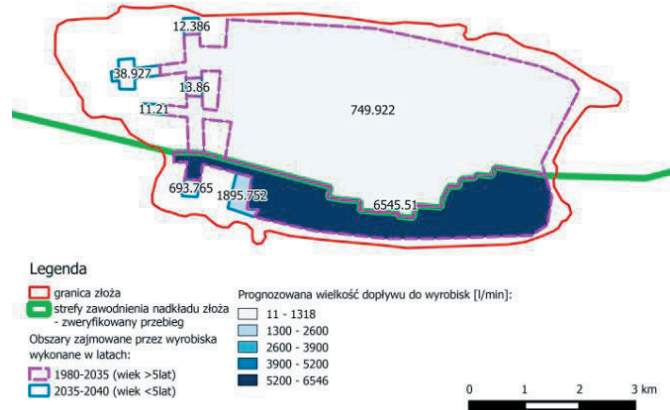
Rys. 11. Wyznaczone wartości wskaźników zawadnienia jednostkowego dla wyznaczonych stref – dla dopływu do wyrobisk w pierwszych 5 latach od ich wykonania  
 Fig. 11. Determined mine-water inflow indexes for designated zones - for inflow to excavations in the first 5 years from their realization



Rys. 13. Prognozowany zasięg wyrobisk górniczych – stan na 2040 rok  
 Fig. 13. Prognosed development of mine workings - as of 2040



Rys. 12. Wyznaczone wartości wskaźników zawadnienia jednostkowego dla poszczególnych stref – dla dopływu do wyrobisk po upływie ponad 5 lat od ich wykonania  
 Fig. 12. Determined values of mine-water inflow index for designated zones - for inflow to excavations after more than 5 years from their realization



Rys. 14. Prognozowany dopływ do poszczególnych stref w 2040 roku z podziałem na obszary różnowiekowe, obliczony na podstawie wskaźnika zawadnienia jednostkowego  
 Fig. 14. Prognosed inflow into different-aged zones in 2040. Calculated on the basis of the mine-water inflow index

jemy podziału projektowanego zasięgu wyrobisk górniczych na dwie strefy oraz (w granicach tych stref) na obszary zajmowane przez wyrobiska o wieku poniżej 5 lat oraz wyrobiska starsze niż 5 lat (rys. 13 i 14). W oparciu o wzór 2 wyznaczamy wielkości dopływu w poszczególnych obszarach.

Obliczenia sumarycznych wartości dopływu do poszczególnych stref oraz całego analizowanego obszaru możemy przeprowadzić w programie QGIS za pomocą narzędzia „pod-

stawowe statystyki” zgrupowanego w „narzędziach analizy” w zakładce „wektor”, po uprzednim wybraniu obiektów do zsumowania.

W systemie odwodnienia hipotetycznej kopalni wody dopływające do wyrobisk są ujmowane i przepompowywane systemem rurociągów do kolejnych pośrednich pompowni i następnie do pompowni głównych, skąd są wypompowywane na powierzchnię. Przy zastosowaniu proponowanej metody możliwe jest określenie

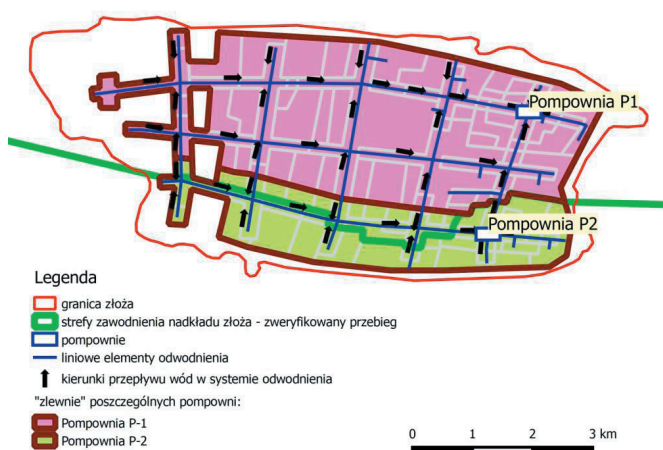


Tab. 2. Dane wejściowe i wynik obliczeń wielkości dopływów do wyrobisk górniczych w złożu dla zakładanego stanu na 2040 r.  
 Tab. 2. Input data and the result of calculations of inflow volumes to mine excavations in the deposit for the assumed state for 2040

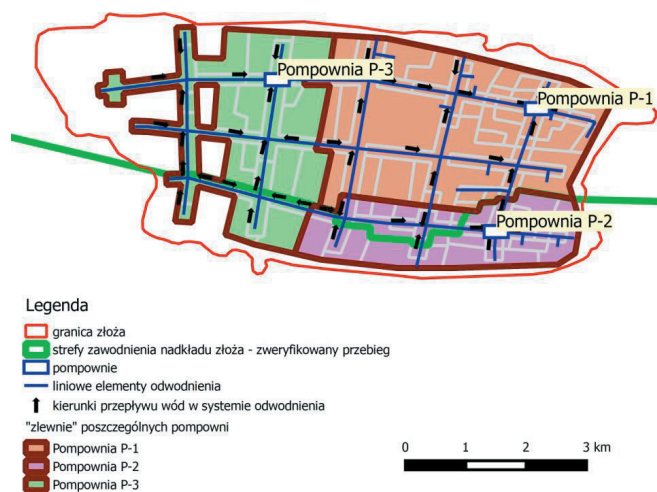
Wyznaczone strefy w granicach wyrobisk	Wyznaczone obszary wyrobisk o określonym wieku wiek wyrobisk [lata] (przedział czasowy)	Powierzchnia projektowanych wyrobisk A [km <sup>2</sup> ]	Wskaźnik zawodnienia jednostkowego q <sub>A</sub> [l/min/km <sup>2</sup> ]	Obliczony dopływ wód podziemnych do wyrobisk reprezentujących przyjęte przedziały czasowe w granicach stref Q (wzór 1) [l/min]	Sumaryczny dopływ do stref [l/min]
strefa występowania okien hydrogeologicznych	<5 (2035-2040 r.)	0,32	8 067,03	2 589,52	9 135,03
	>5 (1980-2035 r.)	4,77	1 372,80	6 545,51	
strefa występowania utworów bardzo słabo przepuszczalnych w nadkładzie złoża	<5 (2035-2040 r.)	0,52	147,45	76,38	826,30
	>5 (1980-2035 r.)	17,20	43,59	749,92	
<b>Łączny dopływ do kopalni [l/min]:</b>					<b>9 961,33</b>

obszarów, z których woda dopływa do poszczególnych pośrednich i końcowych pompowni - tzw. „sztuczne zlewnie” danych pompowni. Zdefiniowanie wielkości wskaźnika dopływu jednostkowego daje możliwość wykonywania symulacji wielkości dopływu do poszczególnych elementów odwodnienia i rozpatrywania wielkości dopływu do pompowni dla wielu wariantów konfiguracji systemu odwodnienia (ujmowania wód dopływających z różnych obszarów). Na rysunkach 15 i 16 zilustrowano dwa warianty budowy sieci odwodnienia, oparte na prognozie zasięgu wyrobisk górniczych dla stanu na 2040 r.

W celu określenia prognozowanego dopływu do szczególnych pompowni z ich „zlewni” dzielimy obszary wyznaczone na rysunku 14 tj. „przycinamy” w pliku projektu programu QGIS te obszary w postaci obiektów (poligonów) do przebiegu kolejnych obiektów powierzchniowych - „zlewni” (rys. 15 i 16). Następnie za pomocą kalkulatora pól mnożymy wcześniej zdefiniowane wskaźniki zawodnienia jednostkowego przez nowo wyznaczone powierzchnie (wzór nr 2). Tak określone dopływy w obrębie poszczególnych obszarów możemy dowolnie sumować ze sobą - poprzez



Rys. 15. Prognozowanie dopływu do poszczególnych pompowni głównych dla stanu na 2040 rok – wariant z 2 pompowniami głównymi  
 Fig. 15. Forecasting of inflow to individual main pumping stations for the state of 2040 – variant with 2 main pumping stations



Rys. 16. Prognozowanie dopływu do poszczególnych pompowni głównych dla stanu na 2040 rok – wariant z 3 pompowniami głównymi  
 Fig. 16. Forecasting of inflow to individual main pumping stations for the state of 2040 – variant with 3 main pumping stations

Tab. 3. Dane wejściowe i wynik obliczeń wielkości dopływów do wyrobisk górniczych w złożu dla zakładanego stanu na 2040 r. - obliczenie wartości dopływów do pompowni dla 2 wariantów budowy systemu odwodnienia  
 Tab. 3. The input data and the calculations results of inflows into mine workings in 2040 - calculation of inflow values to the pumping station for 2 variants of the drainage system construction

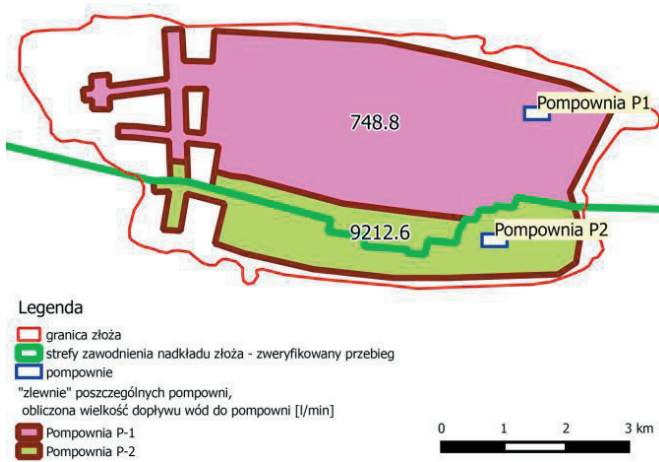
Obszar z którego dopływa woda do pompowni	Powierzchnia projektowanych wyrobisk [km <sup>2</sup> ]				Wskaźnik zawodnienia jednostkowego [l/min/km <sup>2</sup> ]				Prognozowany dopływ (w oparciu o wzór 2) [l/min]				
	A <sub>N&gt;5L</sub>	A <sub>N&lt;5L</sub>	A <sub>S&gt;5L</sub>	A <sub>S&lt;5L</sub>	q <sub>N&gt;5L</sub>	q <sub>N&lt;5L</sub>	q <sub>S&gt;5L</sub>	q <sub>S&lt;5L</sub>	Q <sub>N&gt;5L</sub>	Q <sub>N&lt;5L</sub>	Q <sub>S&gt;5L</sub>	Q <sub>S&lt;5L</sub>	ΣQ
„zlewnia” Pompowni P-1	15,4	0,5	-		43,6	147,5	1 372,8	8 067,0	672,4	76,4	-	-	748,8
„zlewnia” Pompowni P-2	1,8	-	4,8	0,3					77,6	-	6 545,5	2 589,5	
<b>Łącznie „zlewnie” Pompowni P1 i P2</b>												<b>9 961,4</b>	
„zlewnia” Pompowni P-1	10,6	-	-	-	43,6	147,5	1 372,8	8 067,0	460,0	-	-	-	460,0
„zlewnia” Pompowni P-2	1,1		3,6	-					48,1	-	4 990,1	5 038,2	
„zlewnia” Pompowni P-3	5,6	0,5	1,1	0,3					241,8	76,4	1 555,4	2 589,5	
<b>Łącznie „zlewnie” Pompowni P1, P2 i P3</b>												<b>9 961,3</b>	

zaznaczenie i następnie użycie narzędzia „podstawowe statystyki” w grupie „narzędzia analizy” w zakładce „wektor”. W wyniku zastosowania powyższego narzędzia otrzymamy wielkości dopływu wód do poszczególnych pompowni.

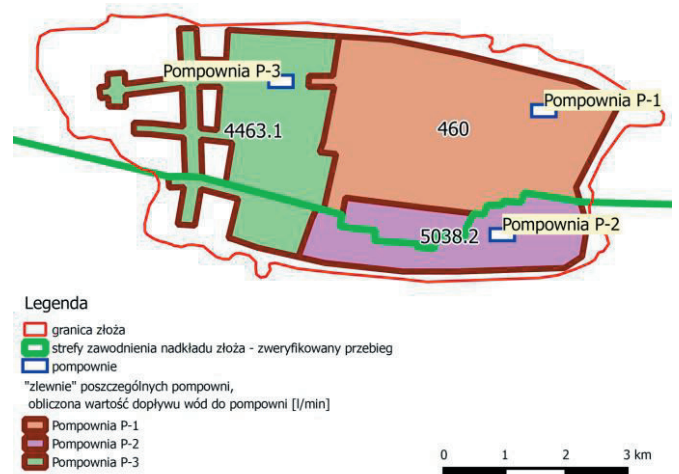
Rysunki 17 i 18 ilustrują prognozowane wielkość dopływu do poszczególnych pompowni.

**Etap 6** - weryfikacja uzyskiwanych wyników powinna się odbywać w oparciu o wyniki kartowania hydrogeologicznego w kopalni i pomiary wydajności systemu odwodnienia.

Dla wiarygodnej weryfikacji kluczowe znaczenie ma selektywne ujęcie dopływów reprezentatywnych dla wcześniej wyznaczonych stref. Należy jednak zaznaczyć, że zasięgi poszczególnych stref w rzeczywistości mogą mieć inny zasięg, niż te zakładane na etapie prognoz, co wynika ze zmian w planach eksploatacji i co wpływa na rzeczywiste wartości dopływów.



Rys. 17. Prognozowane wartości dopływów do pompowni głównych w 2040 roku – wariant z 2 pompowniami  
 Fig. 17. Prognosed inflows to main pumping stations in 2040 - variant with 2 pumping stations



Rys. 18. Prognozowane wartości dopływów do pompowni głównych w 2040 roku – wariant z 3 pompowniami  
 Fig. 18. Prognosed inflows to main pumping stations in 2040 - variant with 3 pumping stations



## PODSUMOWANIE

Przedstawiona zmodyfikowana metoda analogii hydrogeologicznej w zaprezentowanej wersji może stanowić wygodne narzędzie do prognozowania dopływów do wyrobisk górniczych. Posługiwanie się zróżnicowanymi przestrzennie i czasowo wartościami wskaźników zawodnienia jednostkowego daje możliwość dokonywania wielowariantowych prognoz wielkości dopływów, które możemy określać dla wybranych obszarów kopalni, również dla wielu wariantów tempa eksploatacji.

Metoda może znajdować zastosowanie w prognozowaniu dopływu również jako metoda weryfikująca lub uzupełniająca dla innych metod (np. metody określania dopływu na podstawie modelowania numerycznego filtracji wód podziemnych). Biorąc pod uwagę, że zakres i tempo prowadzenia prac wydobywczych jest podyktowany między innymi zapotrzebowaniem na określoną ilość kopaliny w danym czasie – które może ulegać zmianom – faktyczny zakres prac eksploatacyjnych może również odbiegać od długoterminowych założeń. W związku z powyższym, opisany sposób prognozowania dopływu wód podziemnych może być przydatny jako narzędzie do stosunko-

wo szybkiego, bieżącego prognozowania dopływu do wyrobisk oraz w przypadku dokonywania korekt we wcześniejszych długoterminowych założeniach dotyczących zakresu zagospodarowania złoża (będących pochodną wielkości wydobycia).

Zastosowanie proponowanej metody jest również przewidziane jako narzędzie w procesie przebudowy systemu odwodnienia i prognozowania dopływu do poszczególnych elementów systemu odwodnienia.

Niewątpliwą przewagą tej metody nad prognozowaniem dopływów w oparciu o modelowanie numeryczne filtracji wód podziemnych jest krótszy proces budowy modelu (tworzymy jedynie model dwuwymiarowy ograniczony do granic złoża). W przypadku budowy numerycznego modelowania filtracji wód podziemnych niekiedy jest konieczne skonstruowanie wielowarstwowego trójwymiarowego modelu o skomplikowanej budowie (Gurwin i in., 2014, Staško i in., 2012).

Istotnym elementem wpływającym na wiarygodność uzyskiwanych wyników jest stopień rozpoznania warunków hydrogeologicznych, gęstość rozmieszczenia punktów sieci pomiarowej oraz częstotliwość wykonywania pomiarów, a także ograniczona dostępność najstarszych partii wyrobisk.

## Literatura

- [1] Bocheńska T., 1976 – *Przegląd metod prognozowania dopływów wód podziemnych pod kątem ich przydatności w warunkach kopalń LGOM*. Cuprum Czasopismo Naukowo-Techniczne Górnictwa Rud 1976/2
- [2] Bocheńska T., 1984 – *Prognoza dopływu wód podziemnych do kopalni głębinowych metodą modelowania numerycznego*. Materiały sympozjum nt. „Metody badania wód podziemnych, ich użytkowanie i ochrona”, Tuczno, s. 173-180
- [3] Bocheńska T., Kalisz M., 1997 – *Wybrane problemy hydrogeologii górniczej Lubińsko-Głogowskiego Obszaru Miedzionośnego (LGOM)*. WPH tom VII 1997, 421 – 425
- [4] Chudy K., 2004 – *Zastosowanie systemów GIS do gromadzenia i unifikacji danych w obszarach działalności górniczej*. Modelowanie Przepływu Wód Podziemnych, Vol. 1, Nr 1, 2004
- [5] Chudy K., Worsa-Kozak M., 2013 – *Zmiana warunków hydrogeologicznych w rejonach dawnej eksploatacji górniczej na przykładzie Masywu Szklar* [W:] Zagodźon Paweł P., Madziar M. (red.): *Dzieje górnictwa – element europejskiego dziedzictwa kultury*. Tom 5. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław
- [6] Gurwin J., Wcisło M., Staško S. 2014 – *Dokładność odwzorowania wielowarstwowych systemów hydrogeologicznych na szczegółowych modelach numerycznych – analiza dla obszaru LGOM*. [W:] Krawiec A., Jamorska I. (red.), *Modele matematyczne w hydrogeologii*. Wyd. Nauk. UMK, Toruń: 45–50
- [7] Iwańczak B., 2016 – *QGIS 2.14.3 Tworzenie i analiza map*. Wydanie II. Helion 2016
- [8] Posyłek E., 1986 – *Prognozowanie ilości i jakości wód kopalnianych w aspekcie ochrony środowiska*. Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Górnictwo z 149
- [9] Rogoż M., 2004 – *Hydrogeologia kopalniana z podstawami hydrogeologii ogólnej*. Główny Instytut Górnictwa, Katowice
- [10] Rogoż M., 2012 – *Metody obliczeniowe w hydrogeologii*. „Śląsk” Sp. z o.o. Wydawnictwo Naukowe, Katowice, 2012
- [11] Staško S., Gurwin J., Wcisło M., Modelska M., Kryza K., Kryza J., Olichwer T., Buczyński S., Tarka R., Wąsik M., Becker R. 2012 – *Model koncepcyjny systemu hydrogeologicznego obszaru oddziaływania Lubińsko-Głogowskiego Obszaru Miedzionośnego (LGOM)*. Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego 451: 203–210, 2012
- [12] Worsa-Kozak M., Cygan S., Świtoń J.M., Czop M., 2016 – *Możliwości w zakresie agregacji danych oraz tworzenia modeli konceptualnych z wykorzystaniem programu Hydro GeoAnalyst*. Modelowanie Przepływu Wód Podziemnych, Vol. 7, Nr 1, 2016