

PROGNOZA PRZEBIEGU ZATAPIANIA LIKWIDOWANEJ KOPALNI W PÓŁNOCNO-WSCHODNIEJ CZĘŚCI GZW

12.1 WSTĘP

Artykuł dotyczy metodyki określenia pojemności wodnej górotworu, decydującej o tempie zatapiania likwidowanego zakładu górniczego. Problematykę tą przedstawiono na konkretnym przykładzie. Scharakteryzowana metodyka pokazuje elementy konieczne do określenia w przypadku prognozowania czasu potrzebnego do odtworzenia quasi naturalnych warunków gruntowo-wodnych.

W wielu z likwidowanych kopalń, ze względu na nadal funkcjonujące sąsiednie zakłady górnicze, oraz specyfikę górotworu rozciętego wyrobiskami, nadal prowadzi się drenaż górotworu, utrzymując bezpieczny poziom wód w górotworze. Przedstawiony przykład ukazuje czynniki konieczne do określenia i prześledzenia w przypadku kiedy nie będzie konieczności utrzymywania drenażu górniczego.

12.2 CHARAKTERYSTYKA WARUNKÓW NATURALNYCH W REJONIE LIKWIDOWANEJ KOPALNI I OBSZARÓW SĄSIEDNICH

12.2.1 Lokalizacja likwidowanej kopalni i warunki środowiskowe

Obszar górniczy zlokalizowany jest w północno-wschodniej części GZW, w obrębie miasta Dąbrowa Górnicza. Ze względu na długi czas prowadzenia eksploatacji górniczej w rejonie, na powierzchni terenu zaznaczyły się jej silne wpływy. Ponadto w warstwach czwartorzędowych prowadzono eksploatację piasków. Z tego względu w rejonie obserwuje się znaczą zmianę warunków gruntowo-wodnych w stosunku do warunków naturalnych. Początek górnictwa w analizowanym rejonie datuje się na 1814 rok, kiedy to powstała pierwsza kopalnia węgla kamiennego eksploatująca metodą odkrywkową. W 1884 r. zaczęto eksploatację nowej, większej kopalni, w której prowadzono eksploatację metodą głębinową. Następnie w 1914 roku udostępniono dalszą część złoża węgla kamiennego nowym zakładem górniczym. W 1938 roku połączono obydwie kopalnie w jeden zakład górniczy KWK „K-J”, który prowadził eksploatację aż do czasu wyczerpania zasobów w 2014 roku. Ze względu na wyczerpanie zasobów węgla w 2015 roku postanowiono o likwidacji zakładu. W tym czasie większa część

sąsiadujących złóż została wyeksploatowana.

12.2.2 Warunki geologiczne

W OG likwidowanej kopalni „K-J” udokumentowano obecność utworów nadkładu czwartorzędu i triasu oraz karbonu produktywnego.

Utwory czwartorzędowe, reprezentowane przez holocenijskie piaski, gliny i namuły rzeczne oraz plejstoceńskie mułki, gliny zwałowe, żwiry i piaski, występują niemal na całej powierzchni OG, osiągając maksymalną miąższość około 50 m.

Utwory triasu, reprezentowane przez osady wapienia muszlowego, wykształcone w postaci dolomitów diploporowych i wapieni gogolińskich oraz pstrego piaskowca, wykształcone jako wapienie jamiste, margle i dolomity (stratygraficznie należące do retu – górny pstry piaskowiec) a także piaski, słabo zwięzłe piaskowce oraz ily (zaliczone pod względem stratygraficznym do środkowego i dolnego pstrego piaskowca). Utwory te występują w południowej i zachodniej części OG kopalni K-J. Łączna miąższość utworów triasu waha się od 35 do 170 m [5].

Utwory karbonu produktywnego reprezentowane są przez warstwy orzeskie, rudzkie, siodłowe, oraz porębskie, jakłowieckie i gruszowskie. Warstwy orzeskie, występują w południowej i środkowej części OG, wykształcone są w facji ilasto-piaszczystej z pokładami węgla (pokłady węgla 337-358). Miąższość warstw orzeskich wynosi około 470 m [5].

Warstwy rudzkie w analizowanym rejonie osiągają miąższość od 100 do 150 m. Górna część, obejmująca warstwy górno rudzkie, wykształcona jest głównie w facji ilastej. Dolna część tego kompleksu obejmuje warstwy dolnorudzkie wykształcone głównie w facji piaszczystej. W obydwu częściach występują pokłady węgla [5].

Warstwy siodłowe wykształcone są w postaci gruboławicowych piaskowców i iłowców, wśród których zalega pokład 510. Charakterystyczne jest, że miąższość serii piaskowca nad pokładem 510 waha się od 30 do 50 m. Warstwy siodłowe charakteryzują się bardzo dużą zmiennością miąższości od kilku do 45 m. Warstwy te występują na całym OG likwidowanej kopalni za wyjątkiem części północnej [5].

Poniżej udokumentowano utwory serii paralicznej (warstwy porębskie, jakłowieckie i gruszowskie) o łącznej grubości około 450 m., rozpoznane otworami wiertniczymi oraz wyrobiskami górniczymi, charakteryzują się przewagą facji iłowcowych i mułowcowych nad piaskowcami [5].

12.2.3 Warunki hydrogeologiczne

Na obszarze likwidowanej kopalni wydzielono trzy zasadnicze piętra wodonośne związane z przepuszczalnymi utworami czwartorzędu, triasu oraz karbonu. Piętra czwartorzędowe i triasowe występują w nadkładzie złoża, natomiast piętro karbońskie związane jest z utworami serii złożowej.

Czwartorzędowe piętro wodonośne związane jest z wodoprzepuszczalnymi

osadami rzecznyymi i fluwioglacjalnymi. W południowej części obszaru górniczego dominują piaski różnej granulacji i żwiry, przewarstwione łałami zastoiskowymi, genetycznie związane z doliną kopalną Białej Przemszy. Fragment tego obszaru zajmujący południowo-wschodnią część OG, objęty jest Głównego Zbiornika Wód Podziemnych (GZWP) w utworach czwartorzędowych Q/5-Biskupi Bór. W granicach OG, występuje w podłożu od jednej do dwóch warstw osadów zastoiskowych, które rozdzielają piętro wodonośne na 2-3 warstwy wodonośne. Miąższość czwartorzędu osiąga tu 40-50 m. Dalej w kierunku północnym, gdzie miąższość osadów czwartorzędowych maleje, występuje jedna do dwóch warstw wodonośnych przewarstwionych pakietem nieprzepuszczalnych glin. Ponieważ osady nieprzepuszczalne charakteryzują się nieciągłym rozprzestrzenieniem, możliwa jest łączność hydrauliczna pomiędzy poszczególnymi warstwami wodonośnymi. Na przeważającej części OG, górna warstwa wodonośna jest odsłonięta i charakteryzuje się swobodnym zwierciadłem wody. W niższych warstwach wodonośnych, zwierciadło wody może lokalnie być pod niewielkim napięciem. Z danych archiwalnych wiadomo, że współczynnik filtracji piasków czwartorzędowych wynosi od $1,87 \cdot 10^{-4}$ do $3,4 \cdot 10^{-4}$ m/s [5].

Ze względu na zaznaczające się pod wpływem dokonanej eksploatacji zalewiska, prowadzono obserwację zwierciadła wód podziemnych w piezometrach i studniach kopalnych, przy czym część z nich w trakcie rozwoju zasięgu dokonanej eksploatacji znalazła się w zasięgu zalewisk. W oparciu o prowadzone obserwacje zwierciadła wody, można odzwierciedlić ogólne ukształtowanie powierzchni piezometrycznej czwartorzędowego piętra wodonośnego. Charakterystycznym elementem poziomu czwartorzędowego jest rozległy lej depresji, wytworzony wokół działającej piaskowni. W centralnej części kopalni piasku zwierciadło wody obniżono do rzędnej +221- +222 m n.p.m. Depresja ta sięga na odległość od 250 do 850 m od krawędzi odkrywki i w jej zasięgu znajduje się ponad 60% powierzchni obszaru górniczego likwidowanej kopalni [5].

Poza lejem depresji zwierciadło wód gruntowych występuje na głębokości od 0,4 m do kilku metrów i stabilizuje się na rzędnych od 260-268 m n.p.m. Wartości najwyższe występują w północno-wschodniej i w części wschodniej dokumentowanego obszaru. Stąd poziom wód łagodnie obniża się w kierunku osi doliny rzeki Bobrek oraz wzdłuż doliny zgodnie z kierunkiem przepływu wód w korycie od rzędnej +259 m w części północno-wschodniej do +254 m w części południowo-zachodniej, gdzie łączy się z rozległym lejem depresji wywołanym drenażem kopalni piasku. Sama rzeka nie stanowi elementu drenażu wód gruntowych. Poza terenem objętym drenującym oddziaływaniem piaskowni, zwierciadło wód gruntowych występuje na ogół płytko. Przeważnie na głębokości mniejszej niż 3 m ppt a w dolinach i depresjach morfologicznych na głębokościach mniejszych niż 0,5 m, odsłaniając się lokalnie na powierzchni terenu i tworząc zalewiska [5].

Poziomy wodonośne triasu są bardzo słabo rozpoznane, a ze względu na

występowanie triasu w formie płytów i bloków poobcinanych uskokami, nie są ciągłe. Najprawdopodobniej, analogicznie jak i na obszarach górniczych sąsiednich kopalń gdzie występują warstwy triasowe, występują trzy poziomy wodonośne: w wapieniach i dolomitach wapienia muszlowego, w utworach wapienno-dolomitycznych retu oraz w piaskach i żwirach środkowego i dolnego pstrego piaskowca, przy czym poziom I-szy i II-gi są przypuszczalnie ze sobą połączone. Poziomy wodonośne triasu zasilane są wodami opadowymi lub powierzchniowymi na wychodniach lub poprzez cienki i przepuszczalny nadkład czwartorzędowy. Zwierciadło wody o charakterze swobodnym, w zależności od morfologii terenu, występuje na głębokości od 4 do 23 m. Izolację poziomu stanowi prawdopodobnie warstwa ilów lub łupków ilastych [5].

Dolny poziom wodonośny triasu, w którym warstwę wodonośną stanowią piaski i słabo związane piaskowce nie jest zasobny w wodę ze względu na zmienną miąższość piasku oraz występujące liczne przerosty ilaste. W związku z izolacją od poziomu w wapieniu muszlowym i recie, poziom ten jest ewentualnie zasilany jedynie na wychodniach. Warstwy wodonośne pstrego piaskowca zalegają bezpośrednio na utworach karbońskich i mają wpływ na ich zawodnienie [5].

W utworach karbońskich warstwę wodonośną stanowią piaskowce zalegające wśród łupków i pokładów węgla. Jest to poziom wód podziemnych o typie szczelinowo-porowym. Piaskowce prowadzą wodę głównie z zasobów dynamicznych, zasoby statyczne, bowiem zostały w znacznym stopniu szcerpane w trakcie eksploatacji złoża. Pewne ilości zasobów statycznych mogą znajdować się w głębszych partiach karbonu, gdzie nie prowadzono dotychczas robót górniczych. Z dotychczasowych obserwacji wynika, że piaskowce karbońskie na większych głębokościach są słabo przepuszczalne. Do wzrostu przepuszczalności dochodzi najczęściej w rejonach występowanie spękań i szczelin poeksploatacyjnych, co ułatwia gromadzenie i migrację wód. W tej sytuacji zasadniczy wpływ na zawodnienie kopalni ma zasilanie karbonu ze strony zawodnionych warstw nadkładu, to jest triasu i czwartorzędu. Przepuszczalność wodonośnych warstw karbońskich jest znana i została określona na podstawie badań hydrogeologicznych [5].

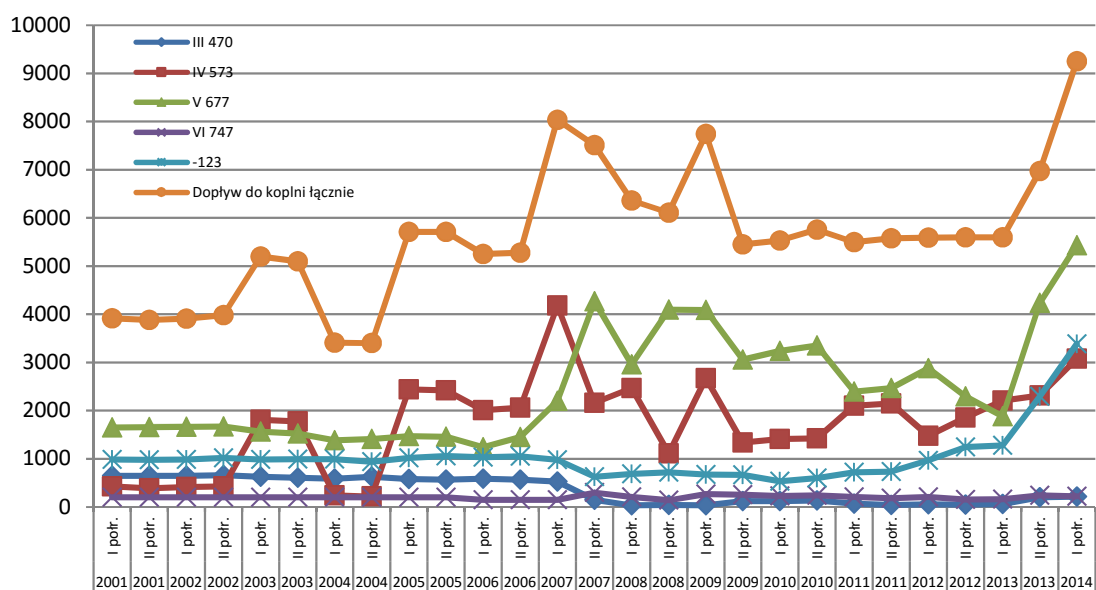
12.2.4 Natężenie dopływów do kopalni w ostatnim okresie jej funkcjonowania

W wyniku długotrwałej eksploatacji górniczej (ponad 150 letniej) nastąpiło częściowe szcerpanie zasobów statycznych karbońskiego piętra wodonośnego. Dopływy wód, w ostatnim czasie, pochodzą głównie z dopływu dynamicznego i w mniejszym stopniu z zasobów statycznych. Mają one charakter drobnych wycieków ze stropu wyrobisk górniczych w partiach eksploatowanych oraz wypływów ze zrobów, zza tam izolacyjnych.

Dopływ w latach 1984-2008 został scharakteryzowany w dokumentacji hydrogeologicznej kopalni [5]. W analizowanym okresie dopływ wody do kopalni

ulegał niewielkim wahaniom. Począwszy od 1984 do 1990 roku całkowity dopływ do kopalni stabilizował się na poziomie 4,5-4,7 m³/min, w tym dopływy do historycznych dwóch rejonów kopalni („A” i „B”), stabilizowały się na poziomie odpowiednio 2,7 i 2 m³/min. Między 1990 i 1994 rokiem zanotowano wyraźny spadek dopływów zarówno do całej kopalni (do około 2,7 m³/min), jak i do poszczególnych rejonów. Od 1994 roku zaobserwowano niewielki wzrost całkowitych dopływów do kopalni oraz dopływów do rejonu „A”. Dopływy do rejonu „B” były ustabilizowane, a w ostatnim okresie wykazały nieznaczny spadek. Równocześnie od 1994 roku wzrastał udział dopływów pochodzących z Rejonu „A” w całkowitych dopływach do kopalni. W 1994 roku wynosił on 53%, w latach 2001-2002 wynosił około 75%, a w ostatnich latach wzrósł nawet do blisko 90%. Wzrost ten związany był zarówno z dalszym zmniejszeniem dopływu z rejonu „B” jak i zwiększeniem dopływu do rejonu „A” [5].

Kopalnia „K-J” należy do kopalni o niezbyt dużych dopływach naturalnych. Dopływy wody wynosiły w 2008 roku średnio 6,237 m³/min. Na rys. 12.1 zestawiono półroczne wartości dopływów naturalnych opracowując wykres zmienności dopływów do kopalni w latach 2001-2014. Jedynie w 2014 roku zaobserwowano znaczący wzrost dopływu wód do rejonu „B” o 3,0 m³/min, związany z udostępnieniem części pokładu 510.



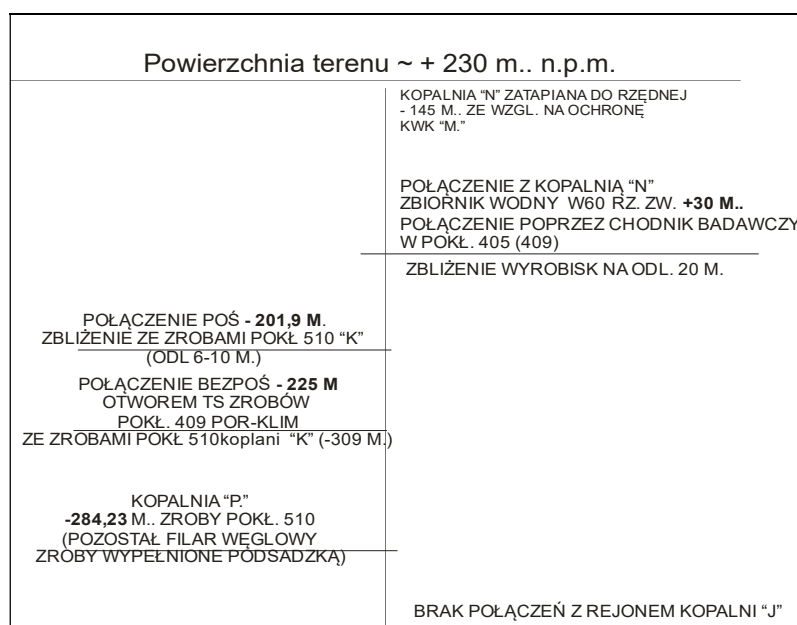
Rys. 12.1 Zmiany wielkości dopływów do kopalni „K-J” w latach 2001-2014
 (zestawienie własne na podstawie danych kopalni)

12.2.5 Analiza połączeń hydrogeologicznych i hydraulicznych między KWK „K-J” i sąsiadującymi zlikwidowanymi kopalniami

Obszar górniczy KWK „K-J” graniczy z trzema zlikwidowanymi kopalniami: od zachodu ze zlikwidowaną kopalnią „P”, od południowo-zachodu ze zlikwidowaną kopalnią „N” oraz od południa ze zlikwidowaną kopalnią „J”. Obecnie wchodzi one w strukturę Centralnego Zakładu Odwadniania Kopalń i nazywane są rejonami

odwadniania. Analiza połączeń hydraulicznych pozwala na wydzielenie interwałów głębokościowych do których możliwe jest prowadzenie bezpiecznego, ze względu na sąsiednie kopalnie, zatapiań górotworu.

Ocena wzajemnych kontaktów hydraulicznych pomiędzy kopalniami przeprowadzona została w dokumentacji hydrogeologicznej [5] w oparciu o charakter połączeń. Między kopalniami brak jest połączeń bezpośrednich otwartymi wyrobiskami górniczymi (rys. 12.2). Występują jednak połączenia poprzez podsadzone zroby czy pozostawione płoty węglowe lub filary o szerokości poniżej 20 m (rys. 12.2). Są to więc na ogół połączenia filtracyjne. Przepustowość tych połączeń ograniczona jest oporami przepływu wody przez zroby wypełnione podsadzką piaszczystą czy spękane filary węglowe. Przy ocenie filtracji przez takie filary ze względów bezpieczeństwa przyjmuje się stosunkowo wysokie współczynniki filtracji rzędu $2 \cdot 10^{-4}$ m/s dla podsadzki piaszczystej oraz $5 \cdot 10^{-6}$ m/s dla węgla [5].



Rys. 12.2 Zbiornice zestawienie istniejących połączeń hydraulicznych likwidowanej KWK „K-J”
Oprac. na podstawie dokumentacji hydrogeologicznej kopalni K-J.

Zlikwidowana KWK „N” jest w dalszym ciągu odwadniana ze względu na konieczność ochrony czynnej KWK „M”. Dopuszczalny poziom odwadniania Rejonu „N” ustalony został na rzędnej -145 m n.p.m. W północno-wschodniej części obszaru zlikwidowanej kopalni „N” istnieje zbliżenie wyrobisk chodnikowych w pokładzie 405 tej kopalni (rys. 12.2). Chodnik badawczy w pokładzie 405, zbliża się do chodnika mającego połączenie ze zbiornikiem wodnym W-60 (1983) o rzędnej zwierciadła wody +30 m n.p.m. w obszarze kopalni „N”. Ze zbiornika tego istnieje przelew w ilości $1,2 \text{ m}^3/\text{min}$ [5].

Najmniejsza odległość między wyrobiskami obu kopalni w pokładzie 405 wynosi 20 m, a wzdłuż chodnika w pokładzie 405 na odcinku około 160 m,

szerokość calizny węglowej oddzielającej wyrobiska obu kopalń waha się od 20 do około 40 m. W rejonie tym nie stwierdzono wypływów wody w chodniku w pokładzie 405, co świadczy o szczelności calizny węglowej i braku filtracji wody ze zbiornika [5].

Najniższe połączenie hydrauliczne z kopalnią „P” ma miejsce na rzędnej 284,23 m, gdzie występuje połączenie o charakterze filtracyjnym między wyrobiskami byłej KWK „P” i likwidowanej KWK „K” (rys. 12.2). Odległość między krawędziami eksploatacji w rejonie wynosi około 135 m w rzucie poziomym i około 30 m w rzucie pionowym. Ze względu na dużą odległość między krawędziami eksploatacji obu kopalń, podsadzenie zrobów po obu stronach filara granicznego oraz podsadzenie upadowej badawczej, dopuszczalne spiętrzenie wody w Rejonie „P”, ze względu na bezpieczeństwo funkcjonowania KWK „K” oceniono na rzędną -190 m. przyjmując niewielką filtrację wody przez podsadzkę piaszczystą wypełniającą upadową badawczą [5].

Połączenie hydrauliczne na rzędnej -225 m p.p.m kopalni „P” jest połączeniem poprzez otwór wiertniczy wykonany z górnej warstwy pokładu 510, w rejonie „A” kopalni „K”, w górę do chodnika w pokładzie 409 KWK „P”. Otwór o średnicy 93 mm i długości 83 m nie został zlikwidowany. Rzędna wylotu otworu w KWK „P” wynosi -225 m p.p.m. Zroby kopalni „K” wraz z wyrobiskami chodnikowymi w pokładzie 510 w miejscu usytuowania otworu zostały podsadzone łącznie z najwyższą warstwą pokładu. Zatem otwór w swej dolnej części dochodzi do podsadzki. Nachylenie pokładu 510 w tym rejonie wynosi około 9°. Należy zatem oczekiwać, że podsadzka jest tu szczelna, bez pozostawienia pustek pod stropem. Pionowa odległość między zrobami zawałowymi kopalni „P” w pokładzie 409 a podsadzonymi zrobami kopalni „K-J” w pokładzie 510 wynosi ponad 80 m.

Połączenie hydrauliczne o rzędnej -195,1 m p.p.m. występuje w północnej części byłej KWK „P”, gdzie przekop na poziomie 500 o rzędnej -220,4 m, znajduje się w odległości pionowej 23 m pod zrobami KWK „K-J” w pokładzie 510 występującymi na rzędnej -195,1 m. p.p.m. Z uwagi na podsadzanie wyrobisk piaskiem z dodatkiem pyłów elektrownianych, nie przewidywano możliwości wystąpienia przepływu wody między tymi kopalniami. Zakładano możliwy niewielki przepływ wody w tym rejonie poprzez spękane piaskowce występujące w stropie pokładu 510 w przypadku przekroczenia rzędnej piętrzenia -80 m [5].

Kolejne połączenie występuje na rzędnej -201,9 m p.p.m. w pokładzie 510, o grubości 10,1÷12,6 m, które ma charakter pośredni. Pokład 510 zapada tu pod kątem około 7° w kierunku północnym a zroby obu kopalń oddzielone są wąskim filarem granicznym i zbliżają się do siebie na odległość 6-10 m. Po wschodniej stronie granicy eksploatację pokładu prowadziła kopalnia „K” w latach 1958-63. Pokład został wybrany na trzy warstwy o łącznej grubości około 8,0 m, z podsadzką hydrauliczną. Od strony kopalni „P” pokład wybrano w latach 1979-93 na dwie, a fragmentarycznie na trzy warstwy o łącznej grubości 5-8 m, z podsadzką hydrauliczną. Na odcinku filara granicznego o długości około 190 m, usytuowanego między rzędnymi -201,9 m na

północy i -182,7 m na południu, łączna długość pośredniego kontaktu zrobów przez filar o szerokości mniejszej od 20 m wynosi około 150 m [5].

12.3 CHARAKTERYSTYKA POJEMNOŚCI WODNEJ LIKWIDOWANEJ KOPALNI

Obliczenia pojemności wodnej zrobów poeksploatacyjnych oraz górotworu w rejonie likwidowanej kopalni prowadzono w oparciu o dane uzyskane z map pokładowych, poziomowych, przekrojów i profili otworów wiertniczych wykonanych dla analizowanego rejonu.

Pojemność wodną górotworu określa objętość pustych przestrzeni w skałach wodochłonnych budujących górotwór, które podległy procesowi drenażu górniczego oraz pojemność wodna pustek poeksploatacyjnych. Dla kopalni K-J obliczono pojemność wodną pustek poeksploatacyjnych osobno dla zrobów oraz osobno dla górotworu, a także ze względu na system wybierania złoża, określono oddzielnie pojemność wodną zrobów zawałowych i zrobów podsadzkowych.

Wielkość współczynnika pojemności wodnej zrobów zawałowych jest wynikiem działania wielu czynników, w większości od siebie niezależnych, przy czym tylko niektóre można określić ilościowo, większą część natomiast trzeba traktować jako niezależne zmienne losowe.

Współczynnik pojemności wodnej zrobów zawałowych można określić z zależności:

$$c = \frac{V_z}{V_p} \quad (12.1)$$

gdzie:

c – współczynnik pojemności wodnej zrobów,

V_z – pojemność wodna zrobów zawałowych,

V_p – objętości wybranego pokładu.

Pojemność wodną zrobów zawałowych wyraża wzór:

$$V_z = c * V_p = \frac{cAm_i}{\cos \alpha} \quad (12.2)$$

gdzie:

A – powierzchnia bezodpływowej części wybranego pola w rzucie poziomym,

m_i – wyeksploatowana grubość pokładu,

α – kąt nachylenia pokładu.

Występujące we wzorze (12.2) wielkości, z wyjątkiem współczynnika pojemności c , zostały odczytane z mapy górniczej. Wielkość współczynnika c zależy od szeregu czynników składających się na lokalne warunki geologiczno-górnicze. Można przyjąć (Rogoż 1974), że w zrobach zawałowych suma objętości niecki osiadania V_n i pustych przestrzeni w górotworze V_{zo} powstałych wskutek eksploatacji jest równa objętości wybranego pokładu V_p :

$$V_{zo} = V_p - V_n \quad (12.3)$$

Zależność między objętością niecki osiadania a objętością wybranego pokładu

według teorii T. Kochmańskiego wynosi:

$$dV_n = adV_p \quad (12.4)$$

czyli:

$$V_{zo} = V_p(1 - a) \quad (12.5)$$

przy założeniu, że wszystkie pustki w odprężonym górotworze powstałe wskutek eksploatacji mają wymiary nadkapilarne można wyprowadzić wzór przybliżony na współczynnik pojemności wodnej:

$$c = 1 - a \quad (12.6)$$

gdzie:

a – współczynnik osiadania górotworu, dla eksploatacji z zawałem stropu przyjmuje się od 0,6-0,8 [6].

Doświadczenia w prowadzeniu procesu zatapiania zrobów kopalń GZW wskazują, że wartości współczynnika pojemności wodnej zrobów zawałowych oscylują w dolnych granicach możliwego przedziału wartości ($c \sim 0,2$) a nawet nieco poniżej tych wartości ($c \sim 0,15$) [4]. Z tego względu obliczono pojemność wodną zrobów zawałowych wariantowo dla współczynnika o wartości 0,2 i 0,15 (tab. 12.1).

Tabela 12.1 Pojemność wodna zrobów zawałowych KWK „K-J” (obliczenia własne)

Głębokość m n.p.m.	Objętość wyekspl. pokładów tys. m ³	Współcz. Pojemności wodnej zrobów		Pojemność wodna zrobów	
		c		dla c = 0.2	dla c = 0.15
	-	-	tys. m ³	tys. m ³	
+ 180	15539,019	0,2	0,15	3107,804	2330,853
do -123	6588,544			1317,709	988,2816
do -200	21663,005			4332,601	3 49,451
do -300	15027,046			3005,409	2254,057
do -400	11364,661			2272,932	1704,699

12.3.1 Pojemność wodna zrobów podsadzkowych

Współczynnik pojemności wodnej zrobów wypełnionych podsadzką hydrauliczną wyraża wzór:

$$c = \mu \frac{m}{m_o} \quad (12.7)$$

gdzie:

μ – współczynnik odsączalności materiału użytego do podsadzki w zrobach ściśniętego pod wpływem ciśnienia warstw nadległych,

m – grubość materiału podsadzkowego,

m_o – pierwotna grubość wybranego pokładu.

Pojemność zrobów wypełnionych podsadzką można określić metodami laboratoryjnymi, określając odsączalność materiału użytego do podsadzki o różnej granulacji i poddanego zagęszczeniu przez ściskanie pod prasą. Odsączalność materiału użytego do podsadzki najczęściej określa się metodą drenażu kapilarnego.

Uzyskane na podstawie badań przeprowadzonych w GIG równanie regresji ma postać:

$$c = 1,673 d_e^{0,716} e^{-0,329U} * e^{-0,0147p} \quad (12.8)$$

gdzie:

p – ciśnienie górotworu [MN/m²],

d_e – średnica miarodajna materiału użytego do podsadzki,

U – wskaźnik równomierności uziarnienia.

Współczynnik pojemności wodnej zrobów wypełnionych podsadzką suchą może się wahać w szerokich granicach i zależy od użytego do podsadzki materiału i sposobu jego ułożenia. Wielkość współczynnika pojemności wodnej zrobów wypełnionych podsadzką suchą oblicza się znając porowatość nasypową użytego materiału i jego ściśliwość. Chcąc uzyskać precyzyjne wyniki, należałoby do obliczania pojemności wodnej zrobów według wzoru (12.3) przyjąć grubość pokładu m_o pomniejszoną o średnią wysokość pustki pozostawionej między podsadzką a stropem wyrobiska. Wielkości tej nie da się ustalić generalnie, lecz można ją oceniać w odniesieniu do konkretnych zrobów.

Równanie regresji dla średniej wartości ściśliwości skał wykorzystywanych do podsadzki ma postać [11]:

$$S = 19 p^{0,2} \quad (12.9)$$

gdzie:

S – ściśliwość podsadzki %,

p – ciśnienie nadległego górotworu MN/m².

Stąd współczynnik pojemności wodnej zrobów wypełnionych podsadzką można określić za pomocą wzoru [11]:

$$c = \frac{n - S}{100} \quad (12.10)$$

gdzie:

n – porowatość nasypowa użytego materiału podsadzki [%],

Dla zrobów kopalni „K-J”, wobec braku informacji odnośnie rodzaju podsadzki oraz materiału użytego do podsadzki przyjęto, że zroby podsadzki zostały wypełnione podsadzką hydrauliczną z wykorzystaniem piasków podsadzkiowych.

Tabela 12.2 Pojemność wodna zrobów podsadzkiowych w OG KWK „K-J”

Poziom eksploatacyjny	Głębokość poziomu	Rzędna	Ciśnienie górotworu	Ściśliwość podsadzki	Współcz. pojemności wodnej zrobów	Objętość wyeksp. pokładów	Pojemność wodna zrobów podsadzki.
	m ppt	m n.p.m.	MN/m ²	-	-	tys. m ³	tys. m ³
II	403	-123	8.06	0.297116	0.288417	15161.17	4372.74
III	470	-200	9.40	0.297026	0.297426	4491.93	1336.02
IV	573	-300	11.46	0.296905	0.30945	37668.89	11656.64
V	677	-400	13.54	0.296801	0.319946	35244.63	11276.38
VI	747	-470	14.94	0.296737	0.326305	27349.87	8924.40

Źródło: Obliczenia własne.

Dla tego materiału przyjęto wartość porowatości w stanie nasypowym równą

30% (wg. PN-B-03020:1986). Ciśnienie nadległego górotworu przyjęto jako iloczyn głębokości zrobów (interwału głębokości) oraz średniej gęstości objętościowej górotworu (skał) równą 20 kN/m^3 [6, 9]. Obliczenia wartości ciśnienia panującego na poszczególnych poziomach eksploatacyjnych oraz współczynniki pojemności wodnej zrobów i pojemność wodną zrobów przedstawiono w tabeli 12.2.

12.3.2 Pojemność wodna górotworu (piaskowców)

W obliczeniach pojemności wodnej skał wodochłonnych uwzględniono jedynie jako potencjalny kolektor wodny warstwy piaskowców. Określono powierzchnię występowania warstw piaskowców w przyjętych przedziałach głębokościowych (poziomach eksploatacyjnych) na podstawie przekrojów hydrogeologicznych A-A'; B-B' oraz C-C' oraz mapy powierzchni stropu karbonu w OG kopalni „K-J” [5]. Podstawowym problemem w oszacowaniu pojemności wodnej kolektorów wodnych takich jak piaskowce jest określenie ich wodochłonności. Przyjmując, że przestrzeń porowa charakteryzująca wodochłonność piaskowców wynika z porowatości efektywnej uzyskane dla typowych wartości porowatości efektywnej piaskowców karbońskich wartości mieszczą się w bardzo szerokim przedziale od 0,5 do 28%. Z uwagi na stosunkowo niewielki okres zatapiania niektórych części kopalń w GZW brak precyzyjnych danych co do porowatości efektywnej piaskowców w funkcji głębokości. Pewne wskazówki co do wartości porowatości efektywnej piaskowców wynikają z tempa zatapiania kopalń sąsiednich. Informacje uzyskane z CZOK SRK oraz doświadczenia w określaniu porowatości efektywnej skał zatapianych kopalń pozwalają zawęzić zakres porowatości efektywnej do przedziału pomiędzy 1,5 a 5%. Z tego względu obliczono pojemność wodną skał dla skrajnych przyjętych wartości porowatości efektywnej. Wyniki pojemności wodnej skał zestawiono w tabeli 12.3.

Tabela 12.3 Pojemność wodna górotworu w OG KWK „K-J”

Rzędna m n.p.m.	Obj. skał wodochłonnych	Porowatość efektywna	Pojemność wodna	Porowatość efektywna	Pojemność wodna
	m^3	n_e	m^3	n_e	m^3
+180	36758200	0.05	7572581	0.015	2271774
do poz. 0	97524640	0.05	30244150	0.015	9073245
do poz. -123	400483750	0.05	11939861	0.015	3581958
do poz. -200	238797225	0.05	20024187	0.015	6007256
do poz. -300	604883000	0.05	4876232	0.015	1462870
do poz. -400	151451625	0.05	1837910	0.015	551373
suma	1529898440	-	76494922	-	22948477

Źródło: Obliczenia własne na podstawie materiałów Kopalni K-J

Uzyskane wyniki wykazują znaczną rozpiętość możliwej pojemności wodnej uzależnionej od porowatości efektywnej kolektora wodnego (piaskowców). Z uwagi na możliwość zweryfikowania przyjętych założeń dopiero w oparciu o obserwacje tempa podnoszenia się zwierciadła wody w górotworze w trakcie zatapiania kopalni, do dalszych rozważań przyjęto wariant z mniejszą wartością porowatości

efektywnej – wskazujący mniejszą pojemność wodną górotworu (tab. 12.4).

Tabela 12.4 Pojemność wodna górotworu w KWK „K-J”

Rzędna m p.p.t.	Całkowita pojemność wodna wszystkich zrobów tys. m ³		Całkowita pojemność wodna górotworu m ³	
	c = 0.15	c = 0.2	dla c = 0.15	dla c = 0.2
+180	1904989,3	2312718,7	3763713,8	4171443,2
do -123	1301742,8	1580357,8	10374987,8	10653602,8
do -200	1385112,7	1714539,9	4967071,1	5296498,3
do -300	6710370,4	7793520,6	12717626,6	13800776,9
do -400	5627391,6	6378743,9	7641634,2	8392986,5
Suma	16929606,8	19779881,0	39465033,6	42315307,8

Źródło: Obliczenia własne na podstawie materiałów Kopalni K-J

Wyniki obliczeń wskazują, że całkowita pojemność wodna górotworu karbońskiego w obszarze KWK „K-J” w zależności od przyjętej wartości współczynnika pojemności wodnej zrobów zawałowych wynoszą od ok. 39,5 mln m³ do 42,3 mln m³ (tab. 12.4).

12.4 PROGNOZA CZASU ZATAPIANIA LIKWIDOWANEJ KOPALNI

Ze względu na skomplikowaną geometrię wyrobisk górniczych, nieregularne rozmieszczenie wyrobisk w profilu pionowym oraz zróżnicowane natężenie dopływów będące funkcją głębokości zwierciadła wody, obliczenia czasu zatapiania prowadzi się dla określonych przedziałów głębokościowych. Procedura obliczania jest następująca:

- wyznacza się poziomy ograniczające interwały obliczeniowe, poczynając od poziomu rzępa głównego odwadniania,
- na podstawie pojemności wyrobisk w poszczególnych interwałach głębokościowych oblicza się średnie wartości dopływów wody do poszczególnych interwałów, jako średnie arytmetyczne dopływów odpowiadających położeniom zwierciadła wody na poziomach ograniczających dany interwał z góry i z dołu,
- oblicza się czas zatapiania wyrobisk w przyjętych interwałach, poczynając od najniższego i sumując narastająco.

Czas zatapiania wyrobisk górniczych w obrębie danego poziomu t_n jest ilorazem ich pojemności wodnej V_n przez natężenie dopływu Q_{nsr} (metoda uproszczona) [11]:

$$t_n = \frac{V_n}{Q_{nsr}}$$

$$Q_{nsr} = \frac{Q_n + Q_{n+1}}{2}$$

Czas zatapiania t_n danego poziomu można również obliczyć na podstawie

wzoru analitycznego (bilansowego) [2]:

$$t_n = \frac{V_n}{h_n \cdot (q_1 + q_2 + \dots + q_n + q_f)} \cdot \ln \left(\frac{(q_1 + q_2 + \dots + q_n) \cdot H + Q_{n+1} - (q_1 + q_2 + \dots + q_n + q_f) \cdot h_{n-1}}{(q_1 + q_2 + \dots + q_n + q_f) \cdot H + Q_{n+1} - (q_1 + q_2 + \dots + q_n + q_f) \cdot h_n} \right)$$

gdzie:

V_n – pojemność wodna zrobów lub zrobów i kompleksu skał na danym poziomie eksploatacyjnym, m^3 ,

Q_n – dopływ wody na dany poziom w czynnej kopalni, m^3/min ,

h_n – wysokość poziomu eksploatacyjnego, m ,

q_n – wydatek jednostkowy dopływu na danym poziomie, m^2/min ,

$$q_n = \frac{Q_n}{S_n}$$

q_f - wydatek jednostkowy w strefie filtracji na granicy obszaru zatapianego, m^2/min ,

S_n – depresja zwierciadła piezometrycznego na danym poziomie, m ,

H – napór hydrostatyczny karbońskich poziomów wodonośnych, m .

W obliczeniach czasu zatapiania t_n według powyższego wzoru analitycznego uwzględnia się płynną zmienność dopływu w poszczególnych interwałach czasowych, wyznaczonych przedziałem wzrostu zwierciadła wody h ($Q \neq \text{const}$ i $Q_f \neq \text{const}$).

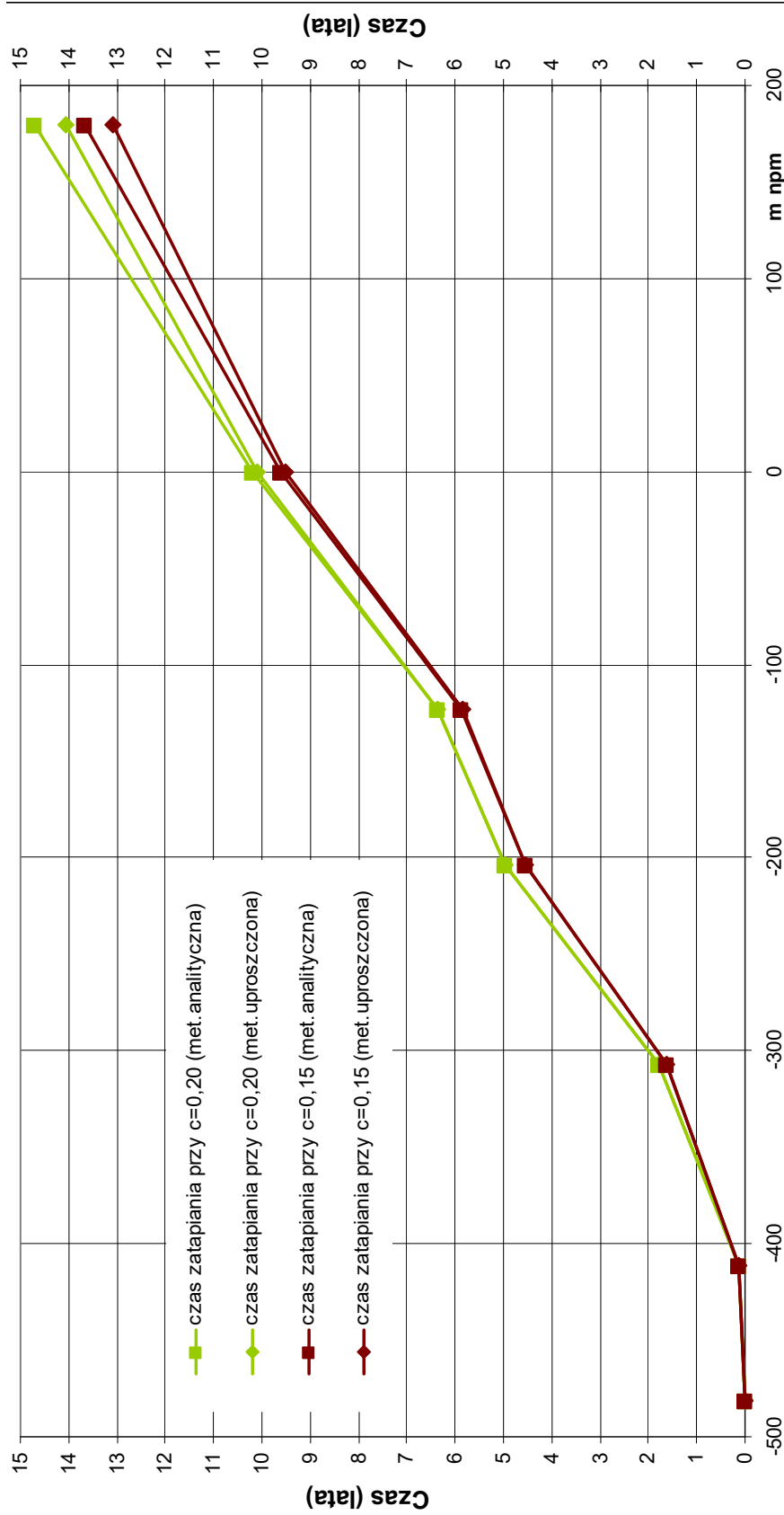
Dopływ wody do zatapianych wyrobisk będzie systematycznie malał w miarę podnoszenia się zwierciadła wody. Obliczenia czasu zatapiania dla 4 wariantów pojemności zrobów i górotworu przedstawiono w tabeli 12.5 i na rys. 12.2.

Dolną i górną wartość obliczonego w ten sposób czasu zatapiania należy interpretować jako możliwy najkrótszy i możliwy najdłuższy czas zatapiania. Różnica pomiędzy wartościami uzyskanymi według metody uproszczonej i metody analitycznej jest niewielka, potwierdzająca wiarygodność obliczeń. Czas zatopienia kopalni do rzędnej +180 m npm ocenia się na około 14,1 (wg met. uproszczonej) 14,7 lat (wg met. analitycznej). W przedstawionej prognozie przyjęto obecny stan zawodnienia górotworu z uwzględnieniem zatopienia zrobów na poziomie VI.

Wiarygodność prognozy czasu zatapiania (podobnie jak dopływu wody do zatapianej kopalni) jest uwarunkowana przede wszystkim dokładnością wyznaczenia takich parametrów jak: pojemność wodna zrobów i wodochłonność górotworu. Wartości uzyskane z obliczeń wymagają weryfikacji na podstawie wyników uzyskanych z początkowego okresu zatapiania kopalni i dopiero na tej podstawie mogą zostać uściślone.

Tabela 12.5 Wyniki obliczeń zatapiaania kopalni „K-J”

Lp	Parametry poziomów		Pojemność wodna zrobów i górotworu						Dopływy wody do czynnej kopalni			Dopływ do zatapiaanej kopalni			Czas zatapiaania - metoda uproszczona						Czas zatapiaania - metoda analityczna					
	Poziomy	Rzędna	Wyso-kość poziomu	Pojemność całkowita zrobów c=0,15	Pojemność całkowita zrobów c=0,20	Pojemność górotworu	Pojemność całkowita c=0,15	Pojemność całkowita c=0,20	Dopływ na poziom	Depresja	Ślup wody	Dopływ jedno-stkowy	Qz	Czas zatapiaania (zrob) c=0,15	Czas zatapiaania (zrob) c=0,20	Czas zatapiaania (całość) c=0,15	Czas zatapiaania (całość) c=0,20	Czas zatapiaania (zrob) c=0,15	Czas zatapiaania (zrob) c=0,20	Czas zatapiaania (całość) c=0,15	Czas zatapiaania (całość) c=0,20	Czas zatapiaania (zrob) c=0,15	Czas zatapiaania (zrob) c=0,20	Czas zatapiaania (całość) c=0,15	Czas zatapiaania (całość) c=0,20	
		m npm	Vz	Vz	Vg	V	V	Q	S	h	q	Qz	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	
		220	m³	m³	m³	m³	m³	m³/min	m	m	m²/min	m³/min	dobry	dobry	dobry	dobry	dobry	dobry	dobry	dobry	dobry	dobry	dobry	dobry	dobry	
1		180	1 904 889,3	2 312 718,7	1 858 724,5	3 763 713,8	4 171 443,2		0	661	0,011165	4,025	657,3	798,0	1 298,7	1 439,4	753,1	914,3	1 487,9	1 649,0	753,1	914,3	1 487,9	1 649,0		
2		0	1 301 742,8	1 580 357,8	9 073 245,0	10 374 987,8	10 653 602,8	3,383	180	481	0,011165	6,775	167,4	203,2	1 334,2	1 370,0	171,2	207,8	1 364,2	1 400,8	171,2	207,8	1 364,2	1 400,8		
3	II	-123	1 385 112,7	1 714 539,9	3 581 958,4	4 967 071,1	5 296 498,3	0,214	384	277	0,000557	7,882	133,1	164,7	477,2	508,8	133,2	164,9	477,8	509,5	133,2	164,9	477,8	509,5		
4	III	470	6 710 370,4	7 793 520,6	6 007 256,3	12 717 626,6	13 800 776,9	3,081	487	174	0,006326	8,778	566,2	657,6	1 073,1	1 164,5	567,0	658,6	1 074,7	1 166,2	567,0	658,6	1 074,7	1 166,2		
5	IV	573	5 600 891,6	6 352 243,9	1 462 869,6	7 063 761,2	7 815 113,5	2,352	591	70	0,00398	9,227	432,0	490,0	544,9	602,9	432,1	490,1	545,0	603,0	432,1	490,1	545,0	603,0		
6	V	677	26 500,0	26 500,0	551 373,0	577 873,0	577 873,0	0,220	661	0	0,000333	9,250	2,0	2,0	43,4	43,4	2,0	2,0	43,4	43,4	2,0	2,0	43,4	43,4		
7	VI	747	16 929 606,8	19 779 881,0	22 535 426,7	39 465 033,6	42 315 307,8	9,250					1 958,0	2 315,6	4 771,4	5 129,0	2 058,6	2 437,6	4 992,9	5 371,9	2 058,6	2 437,6	4 992,9	5 371,9		
8	suma												5,36	6,34	13,07	14,05	5,64	6,68	13,68	14,72	5,64	6,68	13,68	14,72		
9		180											1,80	2,19	3,66	3,94	2,06	2,50	4,08	4,52	2,06	2,50	4,08	4,52		
10		0											0,46	0,56	0,66	0,75	0,47	0,57	0,74	0,84	0,47	0,57	0,74	0,84		
11	II	-123											0,36	0,45	0,56	0,63	0,37	0,45	0,56	0,63	0,37	0,45	0,56	0,63		
12	III	470											1,55	1,80	2,94	3,19	1,55	1,80	2,94	3,20	1,55	1,80	2,94	3,20		
13	IV	573											1,18	1,34	1,49	1,65	1,18	1,34	1,49	1,65	1,18	1,34	1,49	1,65		
14	V	677											0,01	0,01	0,12	0,12	0,01	0,01	0,12	0,12	0,01	0,01	0,12	0,12		
15	VI	747											0,01	0,01	0,12	0,12	0,01	0,01	0,12	0,12	0,01	0,01	0,12	0,12		
16	suma												5,36	6,34	13,07	14,05	5,64	6,68	13,68	14,72	5,64	6,68	13,68	14,72		



Rys. 12.2 Prognoza czasu zatapiania KWK „K-J”

Źródło: Opracowanie własne.

12.4.1 Likwidacja kopalni

„K-J” nie będzie wymagać dalszego utrzymywania odwadniania nieczynnych wyrobisk zarówno w aspekcie bezpieczeństwa dla sąsiednich zakładów górniczych jak też z uwagi na ochronę powierzchni terenu przed zalewiskami i podtopieniami. Uzasadnione jest zatem docelowe wyłączenie i likwidacja systemu odwadniania na wszystkich poziomach a tym samym całkowite zatopienie kopalni.

12.5 WNIOSKI

Przedstawiona analiza czasu zatapiania przewidzianej do likwidacji kopalni „K-J” wskazuje czasokres po jakim możliwe jest zaznaczenie się wpływu likwidacji zakładu górniczego na powierzchnię.

Wyniki obliczeń wskazują, że całkowita pojemność wodna górotworu karbońskiego w obszarze KWK „K-J” w zależności od przyjętej wartości współczynnika pojemności wodnej zrobów zawałowych wynoszą od ok. 39,5 mln m³ do 42,3 mln m³ (tab. 12.5).

Określony czas zatopienia kopalni „K-J” do rzędnej +180 m n.p.m. na podstawie określonej pojemności wodnej zrobów eksploatacyjnych oraz górotworu ocenia się na 14,1 lat według metody uproszczonej do 14,7 lat według metody analitycznej. Po tym czasie najprawdopodobniej nastąpi odtworzenie quasi naturalnych warunków gruntowo-wodnych. Uwzględniając wpływ dokonanej eksploatacji (osiadania), warunki przepływu wód w górotworze (połączenia hydrauliczne) może to skutkować powstaniem nowych terenów zalewiskowych. Obszary takie można zidentyfikować po weryfikacji warunków wodnych w utworach czawarorzędowych oraz warunków hydrograficznych. Pozwoli to w przyszłości na właściwe planowanie przestrzenne w analizowanym obszarze.

LITERATURA

- [1] F.G. Bell. “Land development. State of the art. in the location of old mine shafts”. *Bull. of Int. Ass. of Eng. Geology*, 1988, 37, pp. 91-98.
- [2] E. Cempiel. *Metoda wyznaczania natężenia dopływu wody oraz czasu zatapiania likwidowanej kopalni*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej s. Górnictwo z. 241. Gliwice 1999.
- [3] M. Chudek. 2002, *Geomechanika z podstawami ochrony środowiska górniczego i powierzchni terenu*. Wydawnictwo Pol. Śl. Gliwice.
- [4] A. Frolik. *Ocena szczelności przeciwwodnych filarów bezpieczeństwa*. Prace Naukowe Głównego Instytutu Górnictwa, seria: Konferencje, nr 24, Katowice 1998.
- [5] J. Jędrzejewski. *Dokumentacja hydrogeologiczna określająca warunki hydrogeologiczne w związku z projektowaniem odwodnienia do wydobywania kopaliny ze złoża węgla kamiennego „K-J”*. Przedsiębiorstwo Handlowo-Usługowe „GEO-EKO-WIERT”. Katowice, marzec 2009. (nie publikowane)
- [6] A. Kidybiński. *Podstawy geotechniki kopalnianej*. Wyd. Śląskie. Katowice 1982.
- [7] S. Knothe. *Prognozowanie wpływów eksploatacji górniczej*. Wydawnictwo

- "Śląsk". Katowice 1984.
- [8] Nie publikowane materiały KWK „K-J”
- [9] Z. Pazdro, A. Kozerski. *Hydrogeologia ogólna*. Wyd. Geologiczne, Warszawa 1990.
- [10] Protokół Nr 16/2014, z posiedzenia połączonych Zespołów ds. Zwalczania Zagrożeń Wodnych oraz Bezpieczeństwa Powszechnego z dnia 3.06.2014 r.
- [11] M. Rogoż. *Hydrogeologia kopalniana z podstawami hydrogeologii ogólnej*. Wyd. Głównego Instytutu Górnictwa. Katowice 2004.
- [12] R. Ścigała. *Komputerowe wspomaganie prognozowania deformacji górotworu i powierzchni wywołanych podziemną eksploatacją górniczą*. Wyd. Pol. Śl. Gliwice 2008.
- [13] P. Strzałkowski. *Zarys ochrony terenów górniczych*. Wyd. Pol. Śl. Gliwice 2010.
- [14] J. Sztelak. *Hydrogeologia górnicza, zagrożenia wodne w kopalniach podziemnych i sposoby ich zwalczania*. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 1998.

PROGNOZA PRZEBIEGU ZATAPIANIA LIKWIDOWANEJ KOPALNI W PÓŁNOCNO-WSCHODNIEJ CZĘŚCI GZW

Streszczenie: W artykule przedstawiono charakterystykę warunków naturalnych, górniczych w rejonie jednej z likwidowanych kopalń w północno-wschodniej części GZW. Czynniki naturalne oraz historyczne (dokonana eksploatacja) decydują o procesie odtwarzania warunków quasi naturalnych w rejonie. Prognoza tempa zatapiania górotworu-odtworzenia warunków quasi naturalnych ma znaczenie dla określenia działań zaradczych oraz określenia możliwości zagospodarowania powierzchni terenu. Tym samym jest jednym z kluczowych elementów w procesie planowania przestrzennego w rejonie likwidowanych zakładów górniczych.

Słowa kluczowe: wpływ eksploatacji górniczej, zatapianie górotworu, pojemność wodna górotworu, N-E część GZW

FORECAST OF COURSE OF FLOODING LIQUIDATED COAL MINE IN NORTH-EASTERN PART OF UPPER SILESIA COAL BASIN

Abstract: The paper presents characteristic of natural, mining conditions in the area of one of closed mines in the north-eastern part of the Upper Silesian Coal Basin. The natural and historical conditions (exploitation made) decide about the process of reconstruction of quasi-natural conditions in the area. Forecast of flooding rate of the formation-reconstruction of quasi-natural conditions is important to determine remedial actions and possibilities of the land surface management. Thus, it is one of the key elements in the process of the spatial planning in the area of closed mines.

Key words: the impact of mining, flooding of the formation, Water capacity of the formation, N-E part of the Upper Silesian Coal Basin

dr inż. Tadeusz Mzyk
Politechnika Śląska,
Wydział Górnictwa i Geologii
Instytut Geologii Stosowanej
ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice
e-mail: tadeusz.mzyk@polsl.pl

Data przesłania artykułu do Redakcji: 06.2016
Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 09.2016