

Ocena jakości bilansów wód, uzyskiwanych za pomocą dedykowanego oprogramowania KYBL, dla różnych typów układów wodnych kopalń

Evaluation of the quality of water balances, obtained using dedicated KYBL software, for different types of mine water systems

ŚWIATOSŁAW KRZESZOWSKI

DOI 10.36119/15.2021.2.6

Bilansowanie układów wodnych kopalń jest istotnym elementem działań podejmowanych przez służby geologiczne kopalń. Bilanse takie są zazwyczaj bardzo trudne do wykonania metodami bezpośrednich pomiarów przepływów wód dopływających do układów wodnych kopalń. Dlatego często używane są metody pośrednie, obliczeniowe, oparte o modele matematyczno-fizyczne układów wodnych. Obliczenia takie są najczęściej wykonywane przy pomocy oprogramowania komputerowego, z wykorzystaniem wartości pomiarowych parametrów chemicznych i fizycznych typów wód zidentyfikowanych w obszarach wyrobisk kopalni. Jednym z takich programów jest KYBL, który został stworzony jako program dedykowany do bilansowania dowolnych układów wodnych w oparciu o dane opisujące składy wód tych układów. W ciągu ostatnich 15 lat oprogramowanie to zostało użyte do bilansowania wielu układów wodnych, głównie były to układy kopalń odkrywkowych oraz głębinowych. W przedstawionym opracowaniu podjęto próbę oceny jakości bilansów wykonywanych przy użyciu tego oprogramowania w zależności od typów badanych układów wód.

Słowa kluczowe: układy wodne kopalń; bilans wodny, metoda Cholesky'ego, metoda rachunku wyrównawczego, oprogramowanie KYBL

Balancing water systems of mines is an important element of activities undertaken by geological services of mines. Such balances are usually very difficult to carry out by means of direct measurements of water flowing into mine water systems. Therefore, indirect, computational methods based on mathematical and physical models of water systems are often used. Such calculations are most often performed with the help of computer software, using measured values of chemical and physical parameters of water types identified in mine workings areas. One such program is KYBL, which was developed as a dedicated program to balance any water system based on data describing the water compositions of those systems. Over the past 15 years, this software has been used to balance many water systems, mostly open pit and deep mine systems. The presented study attempts to evaluate the quality of balances performed using this software depending on the types of water systems studied.

Keywords: mine water systems, water balance, Cholesky's method, method of results coordination, KYBL software

Wstęp

Dynamiczny rozwój i szerokie rozpowszechnienie obliczeniowych technik wspomaganych komputerowo jest znakiem naszych czasów. W dzisiejszym świecie trudno znaleźć dziedzinę działalności człowieka, w której zastosowanie metod numerycznych nie byłoby uzasadnione i stosowane. Konstruowanie modeli fizycznych i matematycznych dla otaczających nas zjawisk, a także metod i algorytmów obliczeniowych opartych o te modele przestało być domeną badań dostępną tylko dla dużych zespołów badawczych [1].

Bilansowanie układów wodnych jest ważnym zagadnieniem zarówno w inżynierii jak i w ochronie środowiska. Z kolei bilanso-

wanie układów wód występujących w kopalniach lub w ich częściach jest istotnym elementem prac wykonywanych przez służby geologiczne tychże kopalń w tym prac mających na celu, między innymi, ewidencjonowanie typów wód dopływających do wyrobisk kopalni, ocenę wpływu działań wydobywczych kopalni na środowisko, prognozowanie zagrożeń wodnych. Bilanse takie mogą być wykonywane hydrometrycznymi metodami pomiarów przepływów [2,3], jednakże pomiary takie często są obciążone dużym poziomem niepewności wartości pomiarowych, wynikających przede wszystkim z faktu dużego rozproszenia dopływów poszczególnych typów wód w ramach układu. Prowadzi to często do uzyskiwania wyni-

ków bardzo niedokładnych a nierzadko wręcz niemożliwych do zaakceptowania. Weryfikacja takich badań przeprowadzona w praktyce kopalnianej wykazała, że niedokładności pomiarów wykonywanych tymi technikami wynikają z niemożliwości dokładnego dostosowania się w praktyce kopalnianej do warunków wstępnych stosowalności tych metod [3]. Dlatego też bilansowanie układów wód kopalnianych za pomocą pośrednich metod badawczych daje często lepsze wyniki. Metody te są najczęściej metodami obliczeniowymi, opartymi o modele fizyczno-matematyczne układów wodnych, z wykorzystaniem wartości pomiarowych parametrów chemicznych i fizycznych dla tych typów wód, które zostały zidentyfikowane

dr inż. Światosław Krzeszowski, <https://orcid.org/0000-0003-0285-0159> – Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Katedra Inżynierii Wody i Ścieków, Politechnika Śląska, Gliwice; Adres do korespondencji/Corresponding Author: e-mail: swiatoslaw.krzeszowski@polsl.pl

w badanym układzie. Ze względu na złożoność obliczeniową bilanse te są najczęściej uzyskiwane przy użyciu wyspecjalizowanych programów komputerowych.

Istnieje wiele programów komputerowych, dających możliwość bilansowania układów wodnych. Do najbardziej znanych należą: oprogramowanie M3 (Multivariate Mixing and Mass balance calculation) używające metod obliczeniowych PCA (Principal Component Analyses) [4,5], program NETPAH wykorzystujący modelowanie odwrotne [6] czy też powszechnie uznane w branży oprogramowanie PHREEQC [7], również korzystające przy bilansowaniu układów wodnych z modelowania odwrotnego. Każdy z tych programów posiada swoje zalety a także ograniczenia i niedoskonałości metod obliczeniowych. Oprogramowanie M3 powinno być używane w sytuacjach gdy dwa główne składniki zbioru danych sumują się do ponad 60% zmienności informacji w zbiorze danych [8], natomiast zarówno użycie NETPAH jak i PHREEQC do obliczeń opartych o zbioru danych opisujące złożone układy wód prowadzi do wyników w postaci bardzo dużych zbiorów danych opisujących proporcje mieszania i transferów składników wód, co mocno komplikuje interpretację tych wyników przez służby geologiczne kopalni.

Oprogramowanie KYBL [9] zostało stworzone w celu bilansowania układów wodnych jako odpowiedź na codzienne potrzeby służb geologicznych wynikające z praktyki kopalnianej. Model matematyczno-fizyczny, użyty jako podstawa do stworzenia jego algorytmów, jest wystarczająco prosty, by można było go używać wykorzystując dane zbierane rutynowo przez wspomniane służby. W tym miejscu wypadałoby dodać, że oprogramowanie to można by z łatwością wykorzystywać do bilansowania dowolnych układów wodnych, nie tylko kopalnianych. Jedynym warunkiem jest zebranie zbioru danych zgodnych z modelem użytym do konstrukcji metod obliczeniowych KYBL-a.

Charakterystyka metod obliczeniowych programu KYBL

Metodyka obliczeniowa w programie KYBL-7 opiera się generalnie na bilansach wybranych składników chemicznych strumieni (typów) wód doprowadzających substancje do wód zbiorczych (mieszaniny), dotyczących stanu ustalonego i pomijających reakcje chemiczne. Schemat mieszania przyjęty dla wszystkich metod obliczeniowych zawartych w oprogramowaniu KYBL-7 przedstawiono na rys. 1.

Bilanse układów wodnych, uzyskiwane za pomocą oprogramowania KYBL oparte są o następujący bazowy układ równań:

$$\begin{aligned} q_1 \cdot C_{1,1} + q_2 \cdot C_{1,2} + \dots + q_l \cdot C_{1,l} &= M_1 \\ q_1 \cdot C_{1,1} + q_2 \cdot C_{1,2} + \dots + q_l \cdot C_{1,l} &= M_1 \end{aligned} \quad (1)$$

gdzie:

$C_{i,j}$ – stężenia poszczególnych składników ($i = 1, 2, \dots, l$) w poszczególnych strumieniach dopływowych ($j = 1, 2, \dots, J$); $i=1 \dots l, j=1 \dots J, l \geq J$,

M_i ($i = 1, 2, \dots, l$) – stężenia poszczególnych składników w wodach zbiorczych,

q_j ($j = 1, 2, \dots, J$) – wartości udziałów poszczególnych strumieni w wodach zbiorczych.

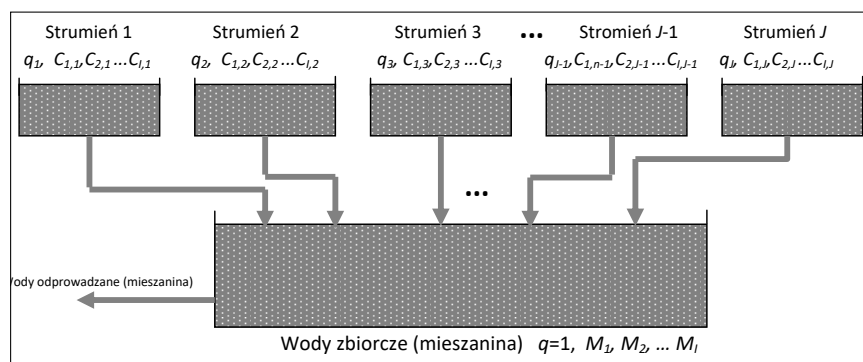
Przyjęcie powyższego układu równań do obliczeń wymagałoby jednak założenia, że wartości pomiarowe $C_{i,j}$ opisujące składy wód są wartościami dokładnymi. Założenie takie jest oczywiście nieuprawnione. Wartości te są, z reguły, wartościami oznaczanymi za pomocą pomiarów i jako takie obciążone są niepewnościami (błędami) wynikającymi z przyjętych metod pomiarowych. Dlatego bezpośrednie obliczenie udziałów wód w oparciu o powyższy układ równań generuje w efekcie rozwiązanie q_j obciążone błędami. Rozwiązania takie bywają czasem nieakceptowane – przykładowo obliczony udział jakiegoś typu wody w wodach zbiorczych jest udziałem ujemnym. Dodatkowo, z reguły,

liczba składników, których wartości opisują typy wód jest większa niż liczba typów wód co prowadzi do tego, że liczba równań opisujących skład typów wód jest większa niż liczba niewiadomych w układzie czyli udziałów typów wód dopływowych w wodach zbiorczych. W efekcie otrzymujemy układ równań, nie tylko obciążony niepewnościami lecz dosyć często będący układem sprzecznym, niemożliwym do rozwiązania. Wszystkie te problemy zostały wzięte pod uwagę przy konstruowaniu obu metod obliczeniowych użytych w oprogramowaniu, to jest: Metody Cholesky'ego, oznaczanej skrótowo jako MCH oraz Metody Rachunku Wyrównawczego, oznaczanej skrótowo jak MRW. Dokładny opis obu tych metod [9] jest jednak zbyt długi by go przytaczać w tym miejscu.

Metoda Cholesky'ego (MCH) jest metodą czysto stochastyczną. W efekcie jej zastosowania badana jest seria wielu zestawów danych, w których wartości stężeń składników $C_{i,j}$ uzyskane z pomiarów są zmieniane w sposób losowy w zadanych przedziałach zmian, zazwyczaj w zakresie wyznaczanym przez niepewności pomiarowe przyjętych metod pomiaru. Tak zmodyfikowany zestaw danych stanowi macierz współczynników a także wektor wyrazów wolnych układu równań liniowych (1). Ten układ równań rozwiązywany jest następnie za pomocą jednej z metod rozwiązywania takich układów równań – tzw. metody Cholesky'ego [11]. W efekcie uzyskiwany jest zestaw wartości udziałów poszczególnych składników w mieszaniu q_j będący jednym z możliwych bilansów badanego układu wodnego. Jeżeli uzyskany bilans jest akceptowalny formalnie, to tak obliczony zestaw udziałów typów wód jest zapamiętywany w zbiorze poprawnych wyników częściowych. Wynik końcowy w tej metodzie jest obliczany jako średnia arytmetyczna wszystkich poprawnych formalnie wyników częściowych a miarą jego jakości jest wartość odchylenia standardowego.

Jak wynika z powyższego opisu metody MCH uzyskane bilanse nie są w pełni zgodne gdyż, w zasadzie zawsze, udziały nie sumują się dokładnie do 1 (100%). Dlatego metoda ta jest stosowana jako metoda pomocnicza, zazwyczaj do obliczania tzw. punktu startowego dla drugiej z metod obliczeniowych zastosowanej w oprogramowaniu KYBL – Metody Rachunku Wyrównawczego (MRW).

Druga z metod obliczeniowych oprogramowania KYBL jest metodą znacznie doskonalszą od metody MCH. Jest to metoda oparta na technikach rachunku wyrównawczego [10] skąd wzięto jej nazwę a także jej skrót (MRW). W odróżnieniu od metody MCH metoda MRW daje w pełni zgodne bilanse dla badanych układów wodnych. Podstawowym mechanizmem tej metody jest mechanizm



Rys. 1.

Schemat mieszania dla J typów wód (strumieni) o znanym składzie ($C_{i,j}$) i nieznanym udziale (q_j) w wodach zbiorczych (mieszaniu). Skład wód zbiorczych ($q=1, M_i$) jest także znany. Niewiadomymi, obliczanymi za pomocą KYBL-a, są wartości udziałów (q_j) poszczególnych typów wód w wodach zbiorczych

obliczania takich korekt dla zestawu danych opisujących układ, których zastosowanie prowadzi do prawidłowego formalnie bilansu końcowego. Należy zaznaczyć, że korekty te są korektami minimalnymi z punktu widzenia kryterium najmniejszych kwadratów. Jakość wyniku końcowego czyli bilansu badanego układu wód jest oceniana w oparciu o analizę wielkości korekt. Jeżeli wszystkie korekty mieszczą się w granicach błędów pomiarowych dla metod użytych do pomiarów, to uzyskany bilans jest uważany za bilans dobry jakościowo. Niestety, metoda ta jest oparta o nieliniową postać układu równań opisują-

cych układów wód, dlatego do obliczeń potrzebne są także wartości startowe dla niewiadomych układów, czyli dla udziałów wód składających się w wodach zbiorczych. Można oczywiście przyjąć na startie jakiejkolwiek wartości tych udziałów, byle były one poprawne formalnie. Jednakże należy wziąć pod uwagę fakt, że jakość uzyskiwanego wyniku końcowego dla metody MRW zależy od przyjętego punktu startowego. Wynik jest tym lepszy, im bardziej przyjęte na startie udziały wód dopływowych są zbliżone do wartości końcowych tych udziałów w bilansie finalnym. Dlatego do uzyskiwania dobrych punktów startowych dla metody

MRW stosowana jest, opisana powyżej metoda MCH. Ten tryb obliczania wyniku końcowego powoduje, że w efekcie, w znaczącym stopniu eliminowane są wady obu stosowanych metod obliczeniowych.

Proces obliczeniowy przeprowadzany za pomocą obu metod używanych przez KYBL (MCH+MRW) łatwiej będzie przedstawić za pomocą tabeli (tab. 1) zawierającej zarówno dane wejściowe jak i wyniki wszystkich etapów obliczeń. Tabela ta zawiera dane wejściowe oraz wyniki obliczeń (bilans) dla rzeczywistego układu wodnego kopalni głębinowej węgla kamiennego. Jako TW1, TW2

Tab. 1. Dane wejściowe, wyniki pośrednie oraz wynik końcowy obliczeń (bilans) wykonanych za pomocą oprogramowania KYBL dla jednego z rzeczywistych układów wodnych kopalni głębinowej węgla kamiennego (objaśnienia w tekście).

Dane wejściowe

Typy wód →	TW1	TW2	TW3	Mieszana
Mineralizacja (mg/dm ³)	23900,0000	59900,0000	52612,0000	53480,0000
Ca (mg/dm ³)	524,0000	1534,0000	1183,0000	1089,0000
Mg (mg/dm ³)	360,0000	1100,0000	910,0000	890,0000
Fe (mg/dm ³)	32,0000	3,1000	0,2200	7,9200
Na (mg/dm ³)	8418,0000	22870,0000	12070,0000	18150,0000
K (mg/dm ³)	101,0000	203,0000	190,0000	176,0000
Cl (mg/dm ³)	12900,0000	33800,0000	26244,0000	27600,0000
HCO ₃ (mg/dm ³)	216,0000	184,0000	251,0000	186,0000
Punkt startowy →	19,69%	54,14%	25,48%	
±	2,44%	7,76%	7,97%	

Niepewności pomiarów (dopuszczalny błąd metody pomiaru)

Typy wód →	TW1	TW2	TW3	Mieszana
Mineralizacja (mg/dm ³)	1195,0000	2995,0000	2630,6000	2674,0000
Ca (mg/dm ³)	26,2000	76,7000	59,1500	54,4500
Mg (mg/dm ³)	18,0000	55,0000	45,5000	44,5000
Fe (mg/dm ³)	1,6000	0,1550	0,0110	0,3960
Na (mg/dm ³)	420,9000	1143,5000	603,5000	907,5000
K (mg/dm ³)	5,0500	10,1500	9,5000	8,8000
Cl (mg/dm ³)	645,0000	1690,0000	1312,2000	1380,0000
HCO ₃ (mg/dm ³)	10,8000	9,2000	12,5500	9,3000

Obliczone korekty

Typy wód →	TW1	TW2	TW3	Mieszana
Mineralizacja (mg/dm ³)	62,19	1065,10	389,70	-1563,08
Ca (mg/dm ³)	-4,55	-106,25	-29,97	98,58
Mg (mg/dm ³)	-0,46	-11,83	-3,84	14,25
Fe (mg/dm ³)	-0,56	-0,01	0,00	0,17
Na (mg/dm ³)	15,87	319,08	42,26	-370,32
K (mg/dm ³)	-0,18	-1,98	-0,82	2,74
Cl (mg/dm ³)	-11,14	-208,80	-59,54	256,08
HCO ₃ (mg/dm ³)	-5,13	-3,72	-6,93	14,80
Udziały →	0,146 %	-3,519 %	2,681 %	

Korekty jako % danych wejściowych

TW1	TW2	TW3	Miesz.
0,26%	1,78%	0,74%	2,92%
0,87%	6,93%	2,53%	9,05%
0,13%	1,08%	0,42%	1,60%
1,76%	0,48%	0,01%	2,15%
0,19%	1,40%	0,35%	2,04%
0,18%	0,97%	0,43%	1,55%
0,09%	0,62%	0,23%	0,93%
2,38%	2,02%	2,76%	7,96%

Średnio: 1,78%
Korekta maksymalna: 9,05%

Wyniki końcowe po zastosowaniu korekt

Typy wód →	TW1	TW2	TW3	Mieszana
Obliczone udziały wód →	19,546 %	57,656 %	22,798 %	
Mineralizacja (mg/dm ³)	23962,1906	60965,0980	53001,6996	51916,9190
Ca (mg/dm ³)	519,4529	1427,7519	1153,0297	1187,5821
Mg (mg/dm ³)	359,5355	1088,1668	906,1650	904,2538
Fe (mg/dm ³)	31,4356	3,0852	0,2200	8,0907
Na (mg/dm ³)	8433,8739	23189,0847	12112,2580	17779,6849
K (mg/dm ³)	100,8205	201,0218	189,1792	178,7363
Cl (mg/dm ³)	12888,8587	33591,2028	26184,4596	27856,0752
HCO ₃ (mg/dm ³)	210,8681	180,2760	244,0703	200,7996

oraz TW3 oznaczono trzy występujące w układzie typy wód dopływowych. Mieszanka to wody zbiorcze odprowadzane z układu, będące mieszaniną wymienionych wyżej wód dopływowych. W sekcji tabeli oznaczonej nagłówkiem „Dane wejściowe” zawarto wartości stężeń C_{ij} oraz M_i poszczególnych składników w wodach dopływowych (TW1, TW2, TW3) oraz w wodach zbiorczych będących mieszaniną wód dopływowych. W sekcji tabeli oznaczonej nagłówkiem „Niepewności pomiarowe” zawarto granice możliwych odchyłań dla wartości stężeń opisujących układ wodny. W przypadku przedstawionych danych są one równe dopuszczalnemu błędowi metody pomiarowej jak zapisano w karcie pomiarów wykonanych przez certyfikowane laboratorium. Z wykorzystaniem tych danych, przy użyciu metody MCH obliczono tzw. punkt startowy dla metody MRW. Są to wartości udziałów poszczególnych typów wód w wodach zbiorczych. Nietrudno zauważyć, że uzyskany metodą MCH bilans układu nie jest w pełni zgodny, gdyż suma udziałów typów wód dopływowych w wodach zbiorczych wynosi 0,9931 (procentowo 99,31%). Wartości punktu startowego przedstawiono na szarym tle na dole sekcji tabeli oznaczonej nagłówkiem „Dane wejściowe”. Następnym etapem obliczeniowym było wyliczenie minimalnych korekt dla wartości stężeń, których zastosowanie (dodanie do wartości danych wejściowych) daje w efekcie zestaw danych i wyników obliczeń opisujących w pełni zbilansowany układ wodny. Końcowy wynik obliczeń zawierający bilans badanego układu wodnego przedstawiono w sekcji tabeli oznaczonej nagłówkiem „Wyniki końcowe po zastosowaniu korekt”. Poszukiwany bilans układu wodnego przedstawiono tam na szarym tle. Bilans ten jest bilansem w pełni zgodnym gdyż suma udziałów poszczególnych wód dopływowych w wodach zbiorczych sumuje się do 1 (procentowo do 100%). Jego jakość można ocenić analizując sekcję tabeli oznaczonej nagłówkiem „Korekty jako % wartości początkowej”.

W przypadku, gdy uzyskanie dobrego jakościowo bilansu dla danego układu wodnego jest, przy użyciu opisanych powyżej metod (MCH i MRW) niemożliwe, oprogramowanie KYBL daje możliwość przeprowadzenia obliczeń z uwzględnieniem hipotetycznego, dodatkowego, nieznanego co do składu i udziału strumienia (typu) wody, który zakłóca prosty bilans układu. Ten dodatkowy, niezewidencjonowany typ wód nie powinien być uznawany za strumień wód sensu stricto, lecz raczej jako efekt wszystkich zakłóceń prostego bilansu w tym procesach fizycznych i chemicznych wpływających na wody dopływowe oraz wody zbiorcze układu.

W ciągu ostatnich piętnastu lat KYBL został użyty wielokrotnie do bilansowania układów wodnych zarówno polskich jak i czeskich kopalni. Bilansowano różne typy takich układów wodnych zarówno dla kopalni odkrywkowych [9,12,13] jak dla kopalni głębinowych, a także układ wodny utrzymanego sztucznie leja depresyjnego szybu kopalni głębinowej. Jakości otrzymanych bilansów różniły się, czasami znacznie, w zależności od typów badanych układów. Celem niniejszego opracowania jest próba analizy przyczyn tych różnic jakościowych.

Ocena jakości bilansów układów wodnych kopalni odkrywkowych

Wieloletnie badania układów wodnych kopalni za pomocą oprogramowania KYBL pozwoliły na zidentyfikowanie dwóch głównych typów układów wodnych poddanych badaniom. Pierwszym z nich był typ układów charakterystyczny dla kopalni odkrywkowych węgla brunatnego, charakteryzujący się z reguły dużą, a w niektórych przypadkach bardzo dużą powierzchnią zlewni. Układy takie nieomal zawsze posiadają wody zbiorcze w postaci zbiornika wód stojących. Identyfikacja typów wód występujących w obszarze wyrobiska jest przeprowadzana na drodze rozpoznania hydrogeologicznego wód występujących w górotworze i badań fizykochemicznych tych wód.

Bilansowanie układów wodnych kopalni odkrywkowych za pomocą oprogramowania KYBL przeprowadzono dla dwóch kopalni znajdujących się w Zagłębiu Sokolowskim. Były to kopalnie odkrywkowe węgla brunatnego Jiří [9] oraz Družba [12,13] znajdujące się w północno-zachodniej części Republiki Czech na zachód od miasta Karlovy Vary, znanego na całym świecie uzdrowiska, założonego w 1338 r. przez króla Karola IV. W uzdrowisku tym znajduje się kilkadziesiąt źródeł wód mineralnych stanowiących kluczowy zasób dla działalności gospodarczej tego miasta. Przeprowadzone za pomocą KYBL-a bilanse były częścią szerokich badań, które miały na celu ocenę wpływu prowadzonej i planowanej eksploatacji węgla brunatnego w wymienionych kopalniach na zlewnię wód podziemnych w rejonie Karlovy Vary.

Przeprowadzono badania dla sześciu podstawowych oraz sześciu alternatywnych wariantów mieszania się wód w przypadku KWB Jiří [9] oraz trzech takich wariantów w przypadku KWB Družba. We wszystkich przypadkach uzyskanie bezpośredniego

bilansu układów wodnych kopalni okazało się niemożliwe lub uzyskane bilanse były bardzo złej jakości. Wynikało to z faktu, że obliczone metodą MRW korekty kilkakrotnie przekraczały niepewności pomiarów dla przyjętych metod pomiarowych. We wszystkich przypadkach konieczne okazało się przeprowadzenie obliczeń z uwzględnieniem hipotetycznego, dodatkowego, nieznanego co do składu i udziału strumienia (typu) wody, który mógłby zakłócać prosty bilans układu. Dla wszystkich badanych wariantów mieszania z uwzględnieniem strumienia zakłócającego bilans uzyskano bilanse dobrej jakości, jednak analiza składu strumienia dodatkowego w zasadzie wykluczała założenie, że jest to niezewidencjonowany typ wód, który mógłby, dopływając do wód zbiorczych, zaburzać prosty bilans układu. Skład hipotetycznego „strumienia wód” zakłócającego prosty bilans, dla jednego z badanych wariantów układów wodnych KWB Jiří, przedstawiono w tabeli 2.

W wszystkich przypadkach analiza składu „nieznanego strumienia dodatkowego” z wykorzystaniem programu do obliczeń chemiczno-termodynamicznych PHREEQC dowiodła, że zakłócenia bilansów układów wodnych KWB Jiří oraz KWB Družba wynikały z procesów geochemicznych. „Strumień” ten reprezentowałby nie tylko nadmiar niektórych, lecz także niedobory innych substancji w wodach zbiorczych kopalni. Niezgodności w bilansie wodnym zbiornika, powodowane byłyby, według tej hipotezy, zachodzącymi jednocześnie, równocześnie w czasie, procesami zarówno ewaporacji jak i tworzenia się minerałów wtórnych na całym terenie zlewni tych kopalni.

Ocena jakości bilansów układów wodnych kopalni głębinowych

Drugim głównym typem układów wodnych badanych za pomocą oprogramowania KYBL, były układy wodne kopalni głębinowych węgla kamiennego. Układy takie charakteryzują się relatywnie niedużą, w stosunku do układów kopalni odkrywkowych, powierzchnią spływu wód, obejmującą zazwyczaj pojedyncze pokłady kopalni. Istotną różnicą w stosunku do układów wodnych kopalni odkrywkowych jest także brak zbiornika retencyjnego, gdyż wody zbiorcze takich układów są w sposób ciągły odprowadzane na powierzchnię. Przedstawione w niniejszym opracowaniu dane jakości bilansów dotyczą dziesięciu układów znajdujących się

Tab. 2. Skład hipotetycznego, dodatkowego, nieznanego co do składu i udziału strumienia (typu) wody dla jednego z badanych wariantów układów wodnych KWB Jiří.

Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Mineralizacja	Fe ^{2+/3+}	NH ₄ ⁺
16415,84	1062,53	8846,01	3868,33	3675,51	73075,29	3431,03	110688,31	79,98	8,33

w obrębie dwóch kopalń głębinowych węgla kamiennego z terenu Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Wyniki tych badań nie zostały dotychczas opublikowane.

W pierwszej z kopalń głębinowych, na użytek tej pracy nazwanej kopalnią A, bilansowano cztery układy wód dla czterech poziomów wydobywczych tej kopalni. Dane opisujące jakość tych bilansów przedstawiono w tabeli 3.

W drugiej z kopalń głębinowych, na użytek tej pracy nazwanej kopalnią B, bilansowano cztery układy wód dla trzech poziomów wydobywczych tej kopalni dla danych pochodzących z dwóch kolejnych sesji pomiarowych. Dane opisujące jakość tych bilansów przedstawiono w tabeli 4. Przedstawione wcześniej w tabeli 1 dane pomiarowe, wyniki obliczeń pośrednich oraz wyniki końcowe opisują proces obliczeniowy dla jednego z badanych układów wodnych tej kopalni, mianowicie układu wodnego z poziomu 565 dla sesji pomiarowej A.

Ocena jakości bilansów wykonanych metodą MRW oprogramowania KYBL jest oparta o analizę liczebności oraz wartości znaczących korekt danych pomiarowych opisujących składy chemiczne wód układów. Za korekty znaczące uznawane są korekty, które przekraczają dopuszczalne niepewności użytych metod pomiarowych. W powyższych tabelach liczby takich korekt umieszczono w kolumnach z nagłówkiem „Liczba znaczących korekt”. W przypadku pomiarów składu chemicznego wód wszystkich przedstawionych powyżej układów, niepewność pomiarów wynosiła 10% ich zmierzonej wartości. Jeżeli korekty znaczące dla badanego układu wodnego nie występują, jakość bilansu należy uznać za dobrą. W pozostałych przypadkach ocena jakości bilansu zależy od liczebności korekt znaczących oraz ich wartości.

Dla czterech z dziesięciu badanych układów jakość uzyskanych bilansów należy określić jako dobrą. Są to wszystkie układy, dla których w metodzie MRW nie wyznaczono znaczących korekt wartości pomiarowych opisujących składy wód doptywowych oraz wód zbiorczych. Innymi słowy są to te układy, dla których w kolumnie „Liczba znaczących korekt” występuje wartość zerowa. Dla dwóch następnych układów należałoby także przyjąć, że jakość bilansów jest dobra, gdyż w każdym z nich wystąpiła jedynie pojedyncza korekta nieznacznie przekraczająca dopuszczalną niepewność metody pomiarowej. Są to: układ kopalni A dla poziomu 400 oraz układ kopalni B dla poziomu 400 dane z sesji B. Jakość bilansów dla poziomu 565 kopalni A oraz dla poziomu 565 kopalni B dla danych z sesji B należałoby uznać za mierną. Pozostałe dwa bilanse mają jakość bardzo złą. W przypadku bilansu dla pozio-

Tab. 3. Dane opisujące jakość bilansów układów wodnych kopalni głębinowej A (objaśnienia w tekście)

Układ wodny	Średnia wartość korekt	Korekta maksymalna	Liczba korekt znaczących
Poziom 400	1,75%	11,34%	1
Poziom 565	1,73%	26,18%	2
Poziom 630	9,25%	67,36%	12
Poziom 850	0,48%	2,59%	0

Tab. 4. Dane opisujące jakość bilansów układów wodnych kopalni głębinowej B (objaśnienia w tekście)

Układ wodny	Sesja pomiarowa A		
	Średnia wartość korekt	Korekta maksymalna	Liczba korekt znaczących
Poziom 400	1,62%	8,16%	0
Poziom 565	1,78%	9,05%	0
Poziom 700	7,66%	44,07%	4
Układ wodny	Sesja pomiarowa B		
	Średnia wartość korekt	Korekta maksymalna	Liczba korekt znaczących
Poziom 400	2,28%	13,67%	1
Poziom 565	2,90%	23,54%	2
Poziom 700	2,59%	8,93%	0

mu 630 kopalni A przyczyną jego złej jakości było prawdopodobnie niedotrzymanie reżimu badań, gdyż z kart pomiarów wynikało, że pobór próbki wody zbiorczej dokonany został w innym terminie (różnica kilku dni) niż pobór próbek wód doptywowych. Dla bilansu poziomu 700 kopalni B dla danych z sesji B nie udało się ustalić przyczyn, które spowodowały tak złą jego jakość.

Wnioski

Jakość bilansów, uzyskiwanych za pomocą oprogramowania KYBL, w istotny sposób zależy od tego jakiego typu układ jest badany. Podsumowując opisane w niniejszym opracowaniu analizy jakości tych bilansów, dla dwóch głównych typów układów wodnych kopalni, należałoby stwierdzić, że:

- W przypadku kopalń odkrywkowych bilansowanie układów wodnych, za pomocą oprogramowania KYBL, często daje bilanse niezadowolające wskazując jednocześnie na obecność hipotetycznego, dodatkowego, nieznanego co do składu i udziału strumienia (typu) wody lub procesów fizycznych oraz chemicznych, zakłócających bilans.
- W przypadku kopalń głębinowych zastosowanie oprogramowania KYBL prowadzi do bilansów o dobrej jakości.
- Algorytmy oprogramowania KYBL potrzebują, jako danych wejściowych, wartości pomiarowych z pomiarów, które zazwyczaj są wykonywane przez służby kopalniane rutynowo, bez konieczności wykonywania dodatkowych badań i pomiarów a co za tym idzie bez dodatkowych kosztów.
- Oprogramowanie KYBL umożliwia bilansowanie dowolnych układów wód, które są opisywane wartościami pomiarowymi ich składu chemicznego. Można je stosować nie tylko w przypadku układów wodnych kopalni.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Babul K., (2020) Numeryczna analiza warunków pracy rurociągu przesyłowego w stanie nieustalonym INSTAL, nr 11/2020, 30-35, DOI: 10.36119/15.2020.11.4.
- [2] Brassington, R. (1999). Field Hydrogeology. Chichester: Wiley.
- [3] Wolkensdorfer, Ch. (2008). Water Management at Abandoned Flooded Underground Mines. Berlin: Springer.
- [4] Laaksoharju, M., Sk rman, Ch., Sk rman, E. (1999). Multivariate Mixing and Mass Balance (M3) Calculations, a new tool for decoding hydrogeochemical information. Applied Geochemistry 14 (7), 861-872.
- [5] Laaksoharju, M., Gascoyne, M., Gurban, I. (2008). Understanding Groundwater Chemistry Using Mixing Models, Applied Geochemistry 23, 1921-1940.
- [6] Plummer, LN., Prestemon, EC., Parkhurst, DL. (1994). An Interactive Code (NETPAH) for Modeling NET Geochemical Reactions along a Flow Path Version 2.0. US Geochemical Survey Water-Resources Investigations Report. 94-4169, 130
- [7] Parkhurst, DL., Appelo, CAJ. (2013). Description of Input and Examples for PHREEQC Version 3-A Computer Program for Speciation, Batch-Reaction, One-Dimensional Transport, and Inverse Geochemical Calculations. US Geological Survey Techniques and Methods 6(A43), 1-497.
- [8] Gomez, J., Auque L., Gimeno M. (2008) Sensitivity and Uncertainty Analysis of Mixing and Mass Balance Calculations With Standard PCA-based Geochemical Codes. Applied Geochemistry 23, 1941-1956.
- [9] Krzeszowski, Ś. (2012). Zastosowanie Metod Rachunku Macierzowego do Bilansowania Układów Wód Kopalnianych. Gliwice. Monography, Silesian University of Technology.
- [10] Adamczewski, Z. (2007). Rachunek Wyrównawczy w 15 wykładach, Warsaw: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- [11] Gille, JC., Clique, M. (1986), Rachunek Macierzowy i Wprowadzenie do Analizy Funkcjonalnej. Gliwice: Script of Silesian University of Technology, edition II.
- [12] Rapantova, N., Wolkensdorfer, Ch., Krzeszowski, S., Grmela A. (2013). Methodology of Quantitative Assessment of Mine Water Inflows, Reliable Mine Water Technology . IMWA 2013, Golden CO., 181-188.
- [13] Rapantova, N., Wolkensdorfer, Ch., Krzeszowski, S., Grmela A. (2012). Quantitative Assessment of Mine Water Sources Based on the General Mixing Equation and Multivariate Statistics. Mine Water and the Environment 31(4), 256-265.