

Porównanie wskaźników stabilności na podstawie badania wody z rzeki

Comparison of water stability indices based on the study of surface water from the river

Alicja Knap-Bałdyga, Małgorzata Perchuc^{*)}

Słowa kluczowe: woda powierzchniowa, stabilność, korozyjność, nasycenie CaCO_3 , wskaźniki stabilności, indeks nasycenia, indeks stabilności, indeks Langeliera, indeks Ryznara, indeks tworzenia osadu Puckoriusa, indeks Larsona-Skolda.

Streszczenie

W artykule przedstawiono problematykę występowania rozbieżności wskazań indeksów, określających skłonności wody do wykazywania właściwości korozyjnych, bądź do wytrącania osadu węglanu wapnia, wyznaczonych na podstawie wyników przeprowadzonych badań wody powierzchniowej. Publikacja zawiera omówienie wyników badań nad stabilnością chemiczną surowej wody z rzeki, opis metod zastosowanych do wyznaczenia indeksów stabilności wody i zasad interpretacji wartości obliczonych wskaźników, a także porównanie ich wskazania.

Keywords: surface water, water stability, corrosive tendencies of water, calcium carbonate saturation, water stability indices, Langelier Saturation Index, Ryznar Stability Index, Puckorius Scaling Index, Larson Ratio, corrosion prediction.

Abstract

The problem of discrepancy in the indications of indices determining the scale forming or corrosive tendencies of water were presented, based on the results of conducted research of surface water. The article presents the results of research on the chemical stability of raw river water and contains description of methods used to determine various water stability indices, as well as, interpretations of their calculated values and comparison of their indications.

Wstęp

Stabilność chemiczna jest istotną właściwością wody, bowiem stanowi ona o jej zdolności do zachowywania niezmiennych wskaźników jakościowych. Woda niestabilna pod względem chemicznym może wykazywać tendencję do wytrącania osadu węglanu wapnia lub mieć właściwości korozyjne, co wiąże się z szeregiem problemów podczas jej magazynowania i dystrybucji, jako że woda korozyjna może powodować niszczenie materiałów, z którymi wchodzi w kontakt, jednocześnie ulegając zanieczyszczeniu produktami korozji, natomiast woda wytrącająca osady węglanu wapnia może być przyczyną pogorszenia warunków hydraulicznych przepływu wody na skutek odkładania się osadów, zmniejszenia przepustowości przewodów oraz zwiększenia ich chropowatości, co w skrajnych przypadkach może powodować występowanie niedrożności w przewodach systemu dystrybucji wody i prowadzić do korozji podosadowej. [1,4]

Na brak stabilności chemicznej wody ma wpływ wiele wskaźników jakościowych wody. Wśród czynników warunkujących stabilność wody pod względem chemicznym należy wymienić: temperaturę, pH, przewodność elektrolityczną, twardość, zasadowość, stężenie jonów chlorkowych, siarczanowych i azotanowych oraz zawartość wolnego dwutlenku węgla i stężenie tlenu rozpuszczonego, przy czym za jedną z głównych przyczyn braku stabilności chemicznej wody uznaje się brak równowagi węglanowo-wapniowej.

Wody podziemne oraz wody infiltracyjne, charakteryzujące się obecnością siarkowodoru, podwyższoną zawartością związków żelaza i manganu, oraz brakiem równowagi węglanowo-wapniowej,

często są więc wodami wymagającymi ustabilizowania, natomiast wody powierzchniowe, choć zwykle znajdują się w stanie równowagi węglanowo-wapniowej i nie zawierają wolnego dwutlenku węgla, mogą wykazywać właściwości agresywne, spowodowane małą twardością węglanową, nadmierną zawartością jonów wodorowych lub wysokim poziomem mineralizacji. Korozyjne właściwości takich wód mogą ulec intensyfikacji, w wyniku niektórych procesów uzdatniania, np. procesu koagulacji, podczas którego następuje wzrost zawartości wolnego dwutlenku węgla i spadek pH, a także zmniejszenie zasadowości wody. [4,6]

Problem braku stabilności wody może więc występować już w przypadku wody surowej lub być skutkiem ubocznym prowadzenia niektórych procesów uzdatniania wody. Z tego względu istotną kwestią jest określenie stabilności chemicznej wody, co z uwagi na dużą ilość istniejących wskaźników, służących do oceny stabilności wody, różniących się pomiędzy sobą nie tylko sposobem określania ich wartości, formułą stosowaną do ich obliczenia, zakresem wartości jakie mogą przyjmować oraz sposobem ich interpretacji, ale również swymi wskazaniami, jest zagadnieniem złożonym. [2]

Przedmiot i metody badań

Celem prezentowanych badań było określenie poziomu stabilności chemicznej surowej wody powierzchniowej, pochodzącej z rzeki, przy wykorzystaniu różnych wskaźników stabilności oraz porównanie ich wskazań i przedstawienie problemu występowania rozbieżności w ocenach stabilności badanej wody, w zależności od stosowanego wskaźnika.

^{*)} Alicja Knap-Bałdyga, mgr inż., Małgorzata Perchuc, dr inż., Politechnika Warszawska. Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska.

Badania nad określeniem stabilności chemicznej przeprowadzono dla wody ujmowanej spod dna Wisły, w okresie od lutego do kwietnia 2022 r. W odstępach tygodniowych, pobrane do badań próbki wody przewożono do laboratorium, gdzie przeprowadzono analizę jakości fizyko-chemicznej wody. Dla siedmiokrotnie pobranych próbek wody wykonano badania analityczne w zakresie wskaźników wpływających na stabilność chemiczną wody oraz świadczących o ogólnym zanieczyszczeniu wody. Wykonano oznaczenia tj.: temperatura, pH, przewodność elektrolityczna, sucha pozostałość, twardość ogólna i twardość wapniowa, zasadowość wobec metyloranżu, zawartość wolnego CO₂, stężenie chlorków, siarczanów i azotanów, stężenie tlenu rozpuszczonego, utlenialność (ChZT wobec KMnO₄). Analizy wody wykonano zgodnie z obowiązującymi Polskimi Normami. [8] [9] [10]

Na podstawie otrzymanych wyników obliczono wartości wybranych wskaźników stabilności wody: indeksu Langeliera (LSI), indeksu Ryznara (RSI), indeksu tworzenia osadu Puckoriusa (PSI) oraz indeksu Larsona-Skolda (LR), wykorzystując do tego celu zależności (1), (2), (3), (4), (5), (6):

$$GSD = \frac{Hp}{f} \quad (1)$$

$$RSI = 2pH_n - pH \quad [-] \quad (2)$$

$$PSI = 2(pH_{eq}) - pH_n \quad (3)$$

$$LR = \frac{[Cl^-] + [SO_4^{2-}]}{[HCO_3^-]} \quad (4)$$

$$pH_n = (9,3 + A + B) - (C + D) \quad [-] \quad (5)$$

$$pH_{eq} = 1,4651 \cdot \log [\text{zasadowość}] + 4,54 \quad (6)$$

w których:

pH – rzeczywista wartość odczynu zmierzona dla badanej wody,
pH_n – odczyn wody w stanie równowagi węglanowej, określane na podstawie wyników analizy wody zgodnie ze wzorem (5),
pH_{eq} – równowagowy odczyn wody po uwzględnieniu pojemności buforowej, określony wzorem (6),
[Cl⁻], [SO₄²⁻], [HCO₃³⁻] – stężenia chlorków, siarczanów i wodorowęglanów wyrażone w [mval/l]

Poza analitycznym wyznaczeniem wskaźników stabilności wody, w oparciu o wyniki analiz fizyko-chemicznych badanej wody, badania obejmowały również wykorzystanie metody laboratoryjnej określania stabilności wody, polegającej na godzinnym wytrząsaniu 400 ml badanej wody z 10 gramami CaCO₃, a następnie na odstawieniu jej do 30 minutowej sedymentacji i sklarowaniu poprzez dekantację i filtrację na papierowych sączkach o porowatości 0,45 μm. W wodzie po nasyceniu węglanem wapnia mierzono pH oraz oznaczano zasadowość wobec metyloranżu w celu wyznaczenia wartości indeksu stabilności (IS), zgodnie z zależnością (7):

$$IS = \frac{pH}{pH_s} = \frac{Z}{Z_s} \quad [-] \quad (7)$$

gdzie:

pH – odczyn wody zmierzony przed jej wytrząsaniem z CaCO₃, [-]
pH_s – odczyn wody w stanie nasycenia węglanem wapnia, [-]
Z – zasadowość ogólna wody przed jej wytrząsaniem z CaCO₃, [mval/l]
Z_s – zasadowość ogólna wody po jej wytrząsaniu z CaCO₃, [mval/l]

Na podstawie otrzymanych wartości wskaźników oceniono tendencje badanej wody do wytrącania lub rozpuszczania osadów, zgodnie z podawanymi w literaturze zasadami interpretacji wartości liczbowych poszczególnych wskaźników. [2,3,4,5]

Za próbki stabilne chemicznie uznawano takie, dla których wyznaczone wartości indeksu stabilności wynosiły IS = 1,00÷1,1, w przypadku przekroczenia tej wartości, wodę uznawano za zdolną

do wytrącania osadu węglanu wapnia, natomiast dla IS < 1,0 wodę klasyfikowano jako wodę o właściwościach korozyjnych. [2,4]:

Interpretację wartości indeksu Larsona-Skolda (LR) przyjęto zgodnie z podawaną w literaturze charakterystyką [2,5]:

- LR < 0,2 – woda nie wykazuje właściwości korozyjnych,
- 0,2 < LR < 0,4 – woda wykazuje słabe właściwości korozyjne,
- 0,4 < LR < 0,5 – woda wykazuje lekkie właściwości korozyjne,
- 0,5 < LR < 1 – woda wykazuje średnie właściwości korozyjne,
- LR > 1 – woda wykazuje silne właściwości korozyjne.

Klasyfikację poziomu stabilności wody, w zależności od wartości indeksu Langeliera (LSI), indeksu Ryznara (RSI) oraz indeksu tworzenia osadu Puckoriusa (PSI) przedstawiono w tab. 1.

Tabela 1. Klasyfikacja wody w zależności od wartości indeksów Langeliera, Ryznara i Puckoriusa [3]

Table 1. Classification of water on the basis of values of the Langelier, Ryznar and Puckorius indices [3]

LSI	RSI/PSI	Właściwości wody
3,0	3,0	Woda wykazuje wyjątkowo silną tendencję do wytrącania osadów CaCO ₃
2,0	4,0	Woda wykazuje bardzo silną tendencję do wytrącania osadów CaCO ₃
1,0	5,0	Woda wykazuje silną tendencję do wytrącania osadów CaCO ₃
0,5	5,5	Woda wykazuje umiarkowaną tendencję do wytrącania osadów CaCO ₃
0,2	5,8	Woda wykazuje słabą tendencję do wytrącania osadów CaCO ₃
0,0	6,0	Woda nie wykazuje tendencji do rozpuszczania lub wytrącania osadów CaCO ₃
-0,2	6,5	Woda wykazuje bardzo słabą tendencję do rozpuszczania osadów CaCO ₃
-0,5	7,0	Woda wykazuje słabą tendencję do rozpuszczania osadów CaCO ₃
-1,0	8,0	Woda wykazuje umiarkowaną tendencję do rozpuszczania osadów CaCO ₃
-2,0	9,0	Woda wykazuje silną tendencję do rozpuszczania osadów CaCO ₃
-3,0	10,0	Woda wykazuje bardzo silną tendencję do rozpuszczania osadów CaCO ₃

Oceny stabilności wody dokonano również poprzez wyznaczenie wskaźników ryzyka wystąpienia korozji wżerowej dla materiałów żelaznych ocynkowanych (wskaźnik S1), ryzyka wystąpienia korozji selektywnej dla materiałów żelaznych ocynkowanych (wskaźnik S2) oraz ryzyka wystąpienia korozji wżerowej dla materiałów z miedź i stopów miedzi (wskaźnik S), zgodnie z obowiązującą normą PN-EN 12502, dotyczącą ochrony materiałów przed korozją i zawierającą wytyczne do oceny ryzyka wystąpienia korozji w systemach rozprzadzania i magazynowania wody. [11]

Wskaźniki ryzyka wystąpienia korozji wyznaczono korzystając z zależności (8), (9), (10):

$$S_1 = \frac{c(Cl^-) + c(NO_3^-) + 2c(SO_4^{2-})}{c(HCO_3^-)} \quad (8)$$

$$S_2 = \frac{c(Cl^-) + 2c(SO_4^{2-})}{c(NO_3^-)} \quad (9)$$

$$S = \frac{c(HCO_3^-)}{c(SO_4^{2-})} \quad (10)$$

gdzie wszystkie stężenia wyrażone są w [mmol/l].

Omówienie wyników badań

Wykonano 7 serii badawczych, w których zbadano stabilność chemiczną prób wody ujmowanych w tygodniowych odstępach czasu. W kolejnych seriach badań przeprowadzono analizy jakości fizyko-chemicznej poszczególnych prób wody oraz określono ich stabilność chemiczną, przy wykorzystaniu zarówno metod analitycznych, jak i metody doświadczalnej wyznaczania stabilności wody.

Ocena stabilności chemicznej wody

Wartości obliczonych wskaźników stabilności wody oraz wskaźników oceny ryzyka wystąpienia korozji dla poszczególnych materiałów instalacyjnych, wraz z wykorzystanymi w obliczeniach wskaźnikami jakości badanej wody, przedstawiono w tab. 2 i 3, natomiast w tab. 4 pokazano klasyfikację wody wg odpowiednich dla każdego wskaźnika ocen jego wartości.

Badaną wodę oceniano jako korozyjną, gdy w każdej serii badawczej, co najmniej 50% analizowanych wskaźników mieściło się w takich kryteriach.

Jak wynika z tab. 2 i tab. 4, na korozyjne właściwości badanej wody wskazywały głównie indeksy Ryznara, Puckoriusa oraz Larsona-Skolda, natomiast wartości indeksu Langeliera przeważnie wskazywały na wodę o tendencji do wytrącania osadu CaCO_3 . Jednocześnie, wartości indeksu stabilności IS wyznaczonego na podstawie stosunku odczynów, w przeważającej części przypadków oceniały badaną wodę jako stabilną pod względem chemicznym, podobnie jak wartości tego indeksu wyznaczone w oparciu o stosunek zasadowości, choć te ulegały większym wahaniom pomiędzy wskazaniami na wodę stabilną chemicznie, a wodę o tendencji do wytrącania osadu węglanu wapnia.

Występowały więc rozbieżności we wskazaniach poszczególnych indeksów stabilności, zalecanych przez różnych autorów, które

można zaobserwować na przykładzie wyników II serii badawczej, (tab. 2, tab. 4), dla której:

- $\text{LSI} > 0$ co wskazuje na brak właściwości korozyjnych i zdolność wody do wytrącania osadu węglanu wapnia,
- $\text{RSI} > 7,0$ co wskazuje na wyraźne właściwości korozyjne wody,
- $\text{PSI} \approx 8,0$ co wskazuje na umiarkowaną tendencję wody do rozpuszczania osadów węglanu wapnia, a więc woda wykazuje umiarkowane właściwości korozyjne,
- $\text{LR} > 0,2$ co wskazuje na silne właściwości korozyjne wody,
- IS wyznaczony w oparciu o pH badanej wody wskazuje na wodę stabilną pod względem chemicznym, natomiast wartość tego indeksu wyznaczona na podstawie wyników zasadowości wody wskazuje na wodę o tendencji do wytrącania osadu węglanu wapnia.

Należy również zauważyć, że wartości różnych wskaźników stabilności, obliczonych dla tej samej próby wody, wskazywały nie tylko na różne właściwości wody, ale również na różną intensywność agresywności analizowanej wody, wahającą się od słabych do silnych właściwości korozyjnych.

Jak wynika z tab. 3 oceny wskaźników ryzyka wystąpienia korozji S1, S2 oraz S nie ulegały zmianom na przestrzeni przeprowadzonych serii badawczych i konsekwentnie wskazywały na średnie ryzyko wystąpienia korozji wżerowej dla materiałów żelaznych ocynkowanych, bardzo małe ryzyko wystąpienia korozji selektywnej dla materiałów żelaznych ocynkowanych oraz bardzo małe ryzyko wystąpienia korozji wżerowej dla materiałów z miedź i stopów miedzi.

Podsumowanie

Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że proponowane, przez cytowanych autorów, wskaźniki do oceny stabilności wody nie dają możliwości jednoznacznej oceny właściwości korozyjnych wody bądź jej tendencji do wytrącania osadu węglanu

Tabela 2. Wyniki obliczeń wskaźników stabilności.

Table 2. Values of water stability indices.

Parametr	Jednostka	Seria I	Seria II	Seria III	Seria IV	Seria V	Seria VI	Seria VII
Temperatura	°C	11,8	11,4	11,8	11,8	11,5	9,8	11,8
pH		7,7	7,81	7,45	7,8	7,71	7,84	7,77
Sucha pozostałość	mg/l	370,2	383,4	339,9	344,3	354,8	396	465,9
Twardość ogólna	mval/l	4,65	4,6	4,3	4,5	5	5,1	4,7
Twardość wapniowa	mval/l	3,9	3,4	3,2	3	3,05	3,4	3,3
Zawartość wapnia	mg/l	78	68	64	60	61	68	66
Zasadowość ogólna	mval/l	3,6	3,3	3,1	3,25	3,5	3,55	3,3
	mg CaCO_3 /l	180	165	155	162,5	175	177,5	165
Chlorki	mval/l	3,8	3,10	2,3	2,75	3,5	3,7	4,9
Siarczany	mval/l	0,50	0,53	0,63	0,56	0,55	0,60	0,63
Ocena stabilności wody								
Wartość A	-	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
Wartość B	-	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
Wartość C	-	1,9	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
Wartość D	-	2,3	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,2
$\text{pH}_n = (9,3+A+B)-(C+D)$		7,5	7,7	7,7	7,7	7,7	7,6	7,8
$\text{pH}_{\text{eq}} = 1,4651 \cdot \log [\text{Zasadowość}] + 4,54$		7,84	7,79	7,75	7,78	7,83	7,84	7,79
Obliczenie wskaźników stabilności na podstawie wyników analizy wody								
Indeks Langeliera $\text{LSI} = \text{pH} - \text{pH}_n$		0,2	0,11	-0,25	0,1	0,01	0,24	-0,03
Indeks Ryznara $\text{RSI} = 2\text{pH}_n - \text{pH}$		7,3	7,59	7,95	7,6	7,69	7,36	7,83
Indeks Puckoriusa $\text{PSI} = 2\text{pH}_{\text{eq}} - \text{pH}_n$		8,19	7,88	7,80	7,86	7,95	8,07	7,78
Indeks Larsona-Skolda $\text{LR} = ([\text{Cl}^-] + [\text{SO}_4^{2-}]) / [\text{HCO}_3^-]$		1,19	1,10	0,94	1,02	1,16	1,21	1,67
Doświadczalne wyznaczenie wartości indeksu stabilności IS								
pH_s		7,3	7,31	7,69	7,26	7,61	7,39	7,32
Zasadowość ogólna Z_s	mval/l	3,4	2,9	2,9	2,8	3,25	3,1	3,1
$\text{IS} = \text{pH} / \text{pH}_s$		1,05	1,07	0,97	1,07	1,01	1,06	1,06
$\text{IS} = Z / Z_s$		1,06	1,14	1,07	1,16	1,08	1,15	1,06

Tabela 3. Wyniki obliczeń wskaźników ryzyka wystąpienia korozji S1, S2 i S.

Table 3. Values of corrosion risk indicators S1, S2 and S.

Parametr	Jednostka	Seria I	Seria II	Seria III	Seria IV	Seria V	Seria VI	Seria VII
Zasadowość ogólna	mmol/l	1,80	1,65	1,55	1,63	1,75	1,78	1,65
Siarczany	mmol/l	0,25	0,27	0,31	0,28	0,28	0,30	0,31
Chlorki	mmol/l	3,80	3,10	2,3	2,75	3,5	3,7	4,9
Azotany	mmol/l	0,016	0,022	0,016	0,016	0,032	0,048	0,032
Ocena ryzyka wystąpienia korozji								
Ryzyko wystąpienia korozji wżerowej dla materiałów żelaznych ocynkowanych	$S_1 = ([Cl^-] + [NO_3^-] + 2[SO_4^{2-}]) / [HCO_3^-]$	2,40	2,21	1,90	2,05	2,33	2,45	3,37
Ryzyko wystąpienia korozji selektywnej dla materiałów żelaznych ocynkowanych	$S_2 = ([Cl^-] + 2[SO_4^{2-}]) / [NO_3^-]$	266,6	168,1	179,6	201,4	125,6	88,95	171,32
Ryzyko wystąpienia korozji wżerowej dla materiałów z miedź i stopów miedzi	$S = [HCO_3^-] / [SO_4^{2-}]$	7,20	6,21	4,96	5,78	6,34	5,88	5,28

Tabela 4. Ocena właściwości korozyjnych wód na podstawie wskaźników stabilności Langeliera LSI, Ryznara RSI, Puckoriusa PSI, Larsona-Skolda LR oraz indeksu stabilności IS.

Table 4. Evaluation of corrosive tendencies of water on the basis of the following stability indices: Langelier LSI, Ryznar RSI, Puckorius PSI, Larson-Skold LR and water stability index IS.

Nr serii badawczej	Interpretacja wartości wskaźnika stabilności					
	LSI	RSI	PSI	LR	IS = pH/pH _s	IS = Z/Z _s
Seria I	Woda ma zdolność do wytrącania osadu CaCO ₃	Woda ma wyraźne właściwości korozyjne	Woda ma umiarkowane właściwości korozyjne	Woda ma silne właściwości korozyjne	Woda stabilna chemicznie	Woda stabilna chemicznie
Seria II	Woda ma zdolność do wytrącania osadu CaCO ₃	Woda ma silne właściwości korozyjne	Woda ma umiarkowane właściwości korozyjne	Woda ma silne właściwości korozyjne	Woda stabilna chemicznie	Woda ma zdolność do wytrącania osadu CaCO ₃
Seria III	Woda ma właściwości korozyjne	Woda ma silne właściwości korozyjne	Woda ma umiarkowane właściwości korozyjne	Woda ma umiarkowane właściwości korozyjne	Woda ma właściwości korozyjne	Woda stabilna chemicznie
Seria IV	Woda ma zdolność do wytrącania osadu CaCO ₃	Woda ma silne właściwości korozyjne	Woda ma umiarkowane właściwości korozyjne	Woda ma silne właściwości korozyjne	Woda stabilna chemicznie	Woda ma zdolność do wytrącania osadu CaCO ₃
Seria V	Woda stabilna chemicznie	Woda ma silne właściwości korozyjne	Woda ma umiarkowane właściwości korozyjne	Woda ma silne właściwości korozyjne	Woda stabilna chemicznie	Woda stabilna chemicznie
Seria VI	Woda ma zdolność do wytrącania osadu CaCO ₃	Woda ma wyraźne właściwości korozyjne	Woda ma umiarkowane właściwości korozyjne	Woda ma silne właściwości korozyjne	Woda stabilna chemicznie	Woda ma zdolność do wytrącania osadu CaCO ₃
Seria VII	Woda stabilna chemicznie	Woda ma silne właściwości korozyjne	Woda ma umiarkowane właściwości korozyjne	Woda ma silne właściwości korozyjne	Woda stabilna chemicznie	Woda stabilna chemicznie

wapnia, a niekiedy są sprzeczne. Natomiast równoległe wyznaczenie i porównanie kilku wskaźników określających stabilność chemiczną wody pozwoliło na uzyskanie pełniejszego obrazu właściwości wody. Wynika to z faktu, że wyznaczone indeksy uwzględniają w swych wartościach różne czynniki wpływające na korozyjne właściwości wody i w pewnym względzie mogą stanowić weryfikację wzajemnych wskazań.

Przeprowadzona analiza pozwala więc na sformułowanie wniosków, potwierdzających obserwacje Wolskiej i Mołczana [7], że dotąd nie wypracowano wystarczająco precyzyjnego wskaźnika, umożliwiającego dokonanie wiarygodnej i jednoznacznej oceny stabilności wody, natomiast zastosowanie wielu wskaźników stabilności i podanie ich wskazań krytycznej analizie umożliwia otrzymanie bardziej miarodajnego obrazu zachowania wody niż w przypadku zastosowania tylko jednego wskaźnika, a co za tym idzie zwiększa dokładność i wiarygodność oceny stabilności chemicznej badanej wody.

Wskaźniki oceny ryzyka wystąpienia korozji S1, S2 i S, choć w przeprowadzonych badaniach charakteryzowały się większą pewnością wskazań od wskaźników stabilności wody, to odnoszą się wyłącznie do konkretnych rodzajów korozji w odniesieniu do poszczególnych materiałów i choć w tym względzie zapewniają istotne informacje dotyczące korozyjności wody i jej wpływu na różne materiały instalacyjne, to nie dają możliwości kompleksowej oceny stabilności wody. ■

LITERATURA

- [1] Awatif S. Alsqqar, Basim H. Khudair, Sura Kareem Ali, *Evaluating Water Stability Indices from Water Treatment Plants in Baghdad City*, Journal of Water Resource and Protection, 2014/6, 1344-1351.
- [2] Knap-Bałdyga A., Perchuc M., *Analiza metod wyznaczania wskaźników stabilności wody*, Gaz, woda i technika sanitarna, 3/2022, str. 19-26
- [3] Ozair, Ghazi, *An Overview of Calcium Carbonate Saturation Indices as a Criterion to Protect Desalinated Water Transmission Lines from Deterioration*, Nature Environment and Pollution Technology An International Quarterly Scientific Journal, 2012, Vol. 11, No. 2, p. 203-212.
- [4] Perchuc M., Apolinarowski M., Wąsowski J., *Procesy jednostkowe w technologii wody*, Warszawa, 2008.
- [5] Siwiec, Tadeusz, Michel M., Reczek L., *Wpływ napowietrzania na zmianę agresywności korozyjnej wody podziemnej w stosunku do stali i betonu*, Acta Scientiarum Polonorum, 2016, 15 (1), str. 95-105.
- [6] Świdarska-Bróz M., Kowal A., *Oczyszczanie wody. Podstawy teoretyczne i technologiczne, procesy i urządzenia*, Warszawa, 2009.
- [7] Wolska M., Mołczan M., *Ocena stabilności wody wprowadzanej do sieci wodociągowej*, Ochrona środowiska, 2015, Vol. 37, str. 51-56
- [8] Norma Europejska PN-EN 15975-2:2013-12 *Bezpieczeństwo zaopatrzenia w wodę do spożycia*
- [9] Norma Międzynarodowa PN-EN ISO 14189:2016-10 *Jakość wody*
- [10] Norma Międzynarodowa PN-EN ISO 17994:2014-04 *Jakość wody*
- [11] PN-EN 12502 – 3. *Ochrona materiałów przed korozją. Wytyczne do oceny ryzyka wystąpienia korozji w systemach rozprowadzania i magazynowania wody.*