

EFEKTY MIESZANIA SIĘ WÓD PODZIEMNYCH I POWIERZCHNIOWYCH W WARUNKACH ZRZUTU WÓD Z ODWODNIENIA WYKOPU – NA PRZYKŁADZIE POTOKU SŁUŻEWIECKIEGO W WARSZAWIE

THE EFFECTS OF MIXING GROUNDWATER AND SURFACE WATER IN THE CONDITIONS OF WATER DISCHARGE FROM THE EXCAVATION DEWATERING – CASE STUDY OF THE POTOK SŁUŻEWIECKI IN WARSAW

KRZYSZTOF JÓZWIAK

Abstrakt. W artykule przedstawiono problem – często występujący w aglomeracjach – zrzutu do cieków powierzchniowych wód podziemnych powstałych na skutek odwodnienia wykopu. W przedmiotowym przypadku Potoku Służewieckiego problemem jest istotna różnica w składzie chemicznym wód powierzchniowych i podziemnych. Wody potoku są wodami bardzo zanieczyszczonymi składającymi się w znaczącym stopniu z wód opadowych wprowadzanych do potoku bezpośrednio z kolektorów kanalizacji deszczowej. Odprowadzane do cieku powierzchniowego wody podziemne są wodami o III klasie jakości (ze względu na wysoką zawartość żelaza i manganu). W celu określenia wielkości zmian składu chemicznego wód potoku po procesie mieszania, wykonano modelowanie geochemiczne. Uzyskane efekty wskazywały bezpośrednio, niezależnie od proporcji mieszania wód podziemnych i powierzchniowych, na obniżenie wartości pH potoku oraz niemal całkowite przejście wszystkich form żelaza w żelazo na trzecim stopniu utlenienia. Implikuje to pojawienie się w potoku wód zabarwionych. Dlatego też, zakładając stosowanie dodatkowych zabiegów napowietrzających, obliczono wymaganą zawartość tlenu potrzebną do całkowitego usunięcia żelaza z wód podziemnych, jeszcze przed zrzutem do wód Potoku Służewieckiego.

Słowa kluczowe: modelowanie geochemiczne, odwodnienie, mieszanie się wód, Potok Służewiecki.

Abstract. The paper presents a typical problem for agglomeration areas, *i.e.* the discharge of dewatering from the excavation pit to the watercourse. In case of the Potok Służewiecki, the most important problem is a significant difference in the chemical composition of surface and groundwater. An important part of the Potok Służewiecki water originates from polluted water discharged from rainwater sewage collectors. Discharged groundwater is mostly categorized as the quality class II, but significant concentrations of Fe and Mn reduce its categorization to quality class III. In order to determine the extent of changes in the chemical composition of the Potok Służewiecki water due to water mixing process, geochemical modelling in various quantitative ratios was carried out. Obtained results show lowering of the pH and almost complete transition of all Fe speciations into the Fe³⁺ form, regardless of the mixing ration of ground and surface water. This implies the appearance of coloured water in the Potok Służewiecki. Therefore, assuming the use of additional aeration measures, the oxygen amount needed for complete removal of iron from groundwater before its discharge to the Potok Służewiecki was calculated. Possible impact of the Potok Służewiecki on the rock matrix before and after mixing with discharge water was also presented in the article.

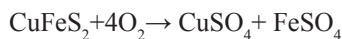
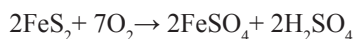
Key words: geochemical modelling, dewatering, water mixing, Potok Służewiecki.

WSTĘP

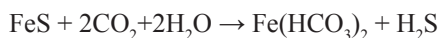
Celem pracy była ocena potencjalnych zmian fizykochemicznych, które mogą zająć w Potoku Służewieckim w efekcie zrzutu wód podziemnych do koryta potoku. Ocenę zmian wykonano za pomocą modelowania geochemicznego w programie PhreeqC.

Problemem pojawiających się w efekcie mieszania są związki żelaza, które, wytrącając się, powodują zmianę barwy oraz pojawienie się osadu. Warto zaznaczyć, że przy odpowiednim zaprojektowaniu procesu mieszania wód podziemnych i powierzchniowych ten problem można niemal w całości wyeliminować.

Związki żelaza występujące w wodach naturalnych mogą pochodzić z gruntu, w którym żelazo jest rozpowszechnione w postaci pirytu (FeS_2) lub chalkopirytu (CuFeS_2), z korozji rurociągów (zbiorników) oraz zanieczyszczeń ściekami przemysłowymi. Przejście żelaza do wód naturalnych z gruntu zachodzi pod wpływem utleniania siarczków w czasie wietrzenia skał:



lub w czasie rozkładu np. pirotynu pod wpływem kwasu węglowego lub innych kwasów organicznych:

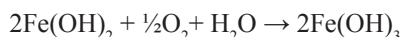


W wodach podziemnych żelazo najczęściej znajduje się w postaci wodorowęglanu żelaza. W wodach powierzchniowych lub bagiennych żelazo może występować również w postaci humusanów lub fosforanów. Poza tym, zależnie od składu wód naturalnych i warunków tlenowych czy bez-tlenowych, żelazo w wodach naturalnych może występować w postaci związków dwu- i trójwartościowych.

Obecność w wodzie jonów żelaza Fe^{+2} stwarza sprzyjające warunki do rozwoju bakterii żelazistych, które mogą doprowadzić do zarastania przewodów wodociągowych. Wody zawierające znaczne ilości związków żelaza w postaci wodorowęglanu żelaza po dłuższym czasie lub napowietrzaniu ulegają zmętnieniu na skutek hydrolizy:



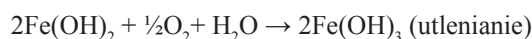
Tworzący się wodorotlenek żelaza łatwo utlenia się tlenem rozpuszczonym do wodorotlenku żelaza, zgodnie z równaniem:



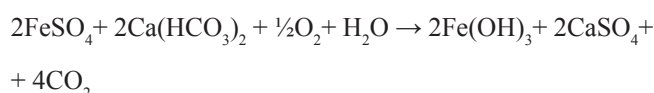
Wodorotlenek żelaza wydziela się wówczas z wody jako trudno rozpuszczalny osad w postaci brunatnych kłaczków. Sumaryczna reakcja hydrolizy wodorowęglanu żelaza i utleniania żelaza z drugiego do trzeciego stopnia utlenienia wyraża się równaniem:



W wodach naturalnych, zawierających siarczan żelaza, hydroliza tego związku przebiega podobnie, z tym że tworzący się kwas siarkowy jest zobojętniany przez zawarte w wodzie wodorowęglany. Przebieg reakcji można napisać następująco:



Sumarycznie:



Związki żelaza $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ i FeSO_4 są nietrwałe i łatwo wydzielają się z wody w postaci osadu wodorotlenku żelaza.

ZLEWNIA POTOKU SŁUŻEWIECKIEGO

Potok Służewiecki, najdłuższy ciek wodny dzielnicy Wilanów, uchodzi do Jeziora Wilanowskiego. Wraz z jego wodami do jeziora wpływają zanieczyszczenia obszarowe i przemysłowe pochodzące ze źródeł zlokalizowanych na terenie zlewni. Potok Służewiecki do dzisiaj pełni funkcję kolektora (w niektórych miejscach odkrytego, w innych – zakrytego) odprowadzającego wodę na terenie dzielnic Ochota, Ursynów, Mokotów, Wilanów. Zgodnie z mapą hydroizohips w rejonie projektowanego zrzutu wód potok ma charakter infiltrujący.

W latach 70. XX w. rozpoczęto intensywną urbanizację zlewni oraz rozbudowę infrastruktury komunikacyjnej, co jednocześnie spowodowało ograniczenie terenów naturalnej retencji. Efektem tego jest wzrost zagrożenia powodzią na terenach przyległych do potoku. Wybudowano nowe obiekty retencyjne, jak zbiorniki podziemne na terenie lotniska Okęcie oraz odtworzono dawne stawy, jak np. Stawy Beręsewicz i Wyścigi. W 2014 r. rozpoczęto prace nad odbudową Zbiornika Służewieckiego. Powierzchnia zlewni Potoku Służewieckiego, do ujścia do Jeziora Wilanowskiego, wynosi 55,2 km². Do potoku są odprowadzane wody z silnie zabudowanej Ochoty oraz zurbanizowanej części Włoch. W późniejszym odcinku do Potoku Służewieckiego skierowany jest wylot z odwodnienia Lotniska Chopina. W dalszym biegu na cieku zlokalizowano dużą liczbę wylotów kolektorów kanalizacji deszczowej, które odprowadzają wodę m.in. z terenów Służewca, osiedli mieszkaniowych Ursynowa, w części zachodniej i północnej, terenów Wyścigów Konnych na Służewcu, osiedla Służew nad Dolinką, częściowo Miasteczka Wilanów.

Zlewnia Potoku Służewieckiego jest zlewnią miejską, charakterystyczne jest formowanie się w jej obrębie gwałtownych wezbrań w trakcie opadów. W wyniku braku możliwości

retencjonowania wód opadowych na terenach nieprzepuszczalnych następuje szybki i całkowity odpływ wód do cieku.

Zgodnie z opracowaniem ekofizjograficznym (Teisseyre-Sierpińska i in., 2006) Potok Służewiecki stanowi obecnie odbiornik ścieków deszczowych.

PRZEPLYWY W POTOKU SŁUŻEWIECKIM

Przepływy o prawdopodobieństwie przekroczenia 50, 10, 2 i 1% obliczono w zlewni Potoku Służewieckiego dla wybranych przekrojów wodowskazowych. Jeden z takich przekrojów został zlokalizowany za połączeniem z Rowem Wolica. Wartości przepływów obliczono, wykorzystując model

SWMM (Storm Water Management Model) – model wykorzystywany do symulacji odpływu wód w zlewniach miejskich w reakcji na pojedyncze lub ciągle zdarzenia opadowe (Barszcz i in., 2016). W przekroju zlokalizowanym (fig. 1) na skrzyżowaniu al. Wilanowskiej i ul. Przyczółkowskiej uzyskano wartość przepływu 8,027–18,640 m³/s (tab. 1).

Największe zagrożenie powodziowe występuje na odcinku Potoku Służewieckiego od km 3+875 do 0+000. Przepustowość koryta potoku na tym odcinku kształtuje się na poziomie przepływu maksymalnego o prawdopodobieństwie 50% (Barszcz i in., 2016).

Jako wielkość przepływu wód w Potoku Służewieckim przyjęto do obliczeń w wykonywanym modelu geochemicznym wartość 10% (wariant I) i 25% (wariant II) opadu

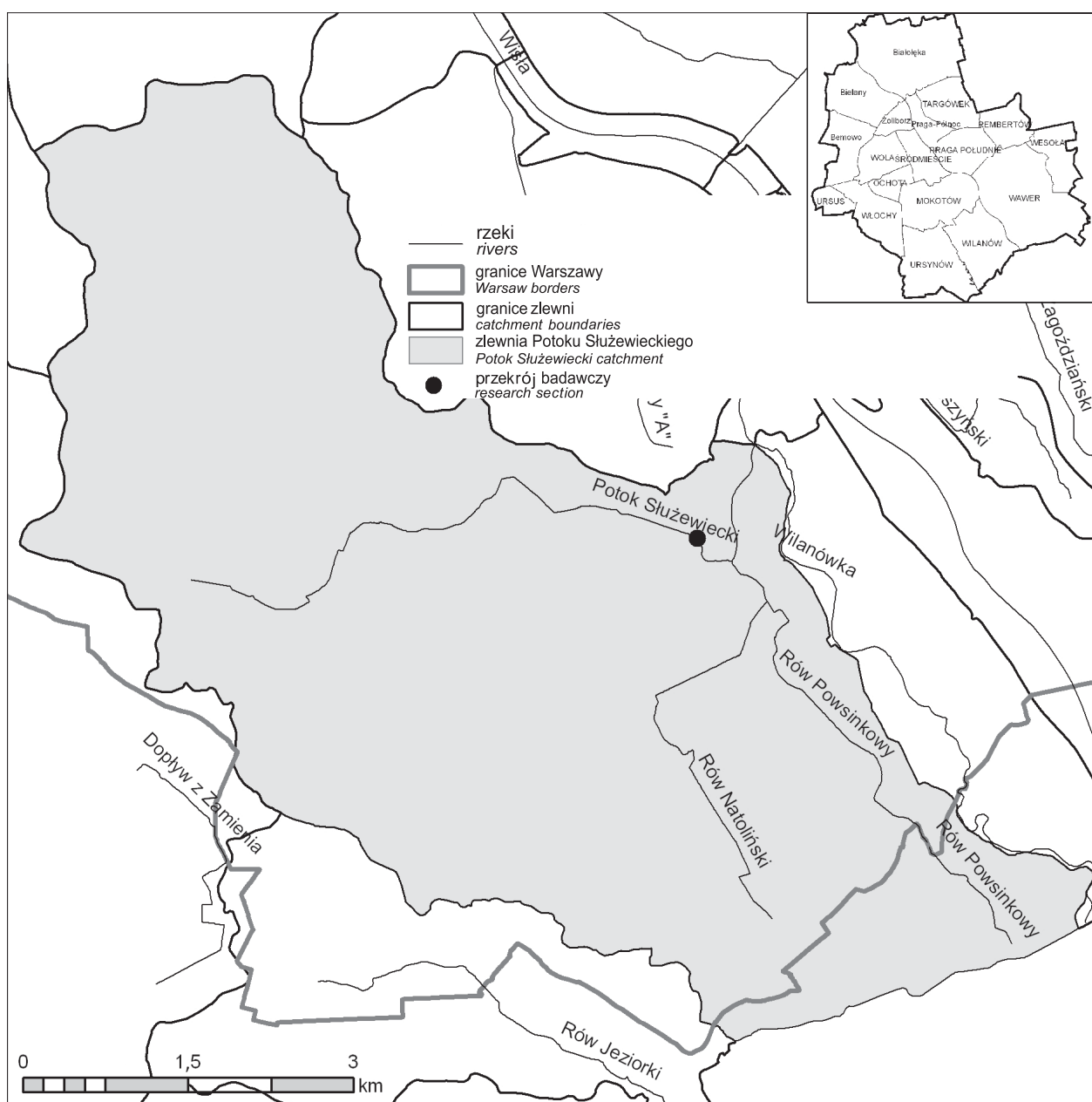


Fig. 1. Lokalizacja zlewni Potoku Służewieckiego

Location of Potok Służewiecki catchment

o $P = 50\%$ ($c = 2$). Odpowiednio w modelu przyjęto przepływ wód w potoku w wariancie I – $0,80 \text{ m}^3/\text{s}$ i w wariancie II – $2,00 \text{ m}^3/\text{s}$.

Przy założonej wielkości zrzutu wód podziemnych do Potoku Służewieckiego, wynoszącej $0,011 \text{ m}^3/\text{s}$, w wariancie I następuje mieszanie się wód z odwodnienia z wodami potoku w stosunku 1:72, w wariancie II – w stosunku 1:180.

CHEMIZM WÓD PODZIEMNYCH

Obszar badań PLGW200065 znajduje się w obrębie Jednolitej Części Wód Podziemnych (JCWPd). Stan JCWPd został oceniano jako dobry (PIG-PIB, 2017). W tabeli 2 przedstawiono jakość wód podziemnych na podstawie danych archiwalnych z sąsiednich otworów z banku HYDRO (Bank HYDRO, 2017). W sąsiadujących otworach do wskaźników pozwalających na zakwalifikowanie wód do klasy II zaliczamy: Fe, Cl, Mn, SO_4 , NH_4 ; do klasy III – Fe i Mn.

Wyniki analiz fizyczno-chemicznych z otworów porównano z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 21 grudnia 2015 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu jednolitych części wód podziemnych (RMŚ, 2015). Porównanie wskazuje, że wody podziemne w tym rejonie charakteryzują się stanem dobrym. Przekroczenia Wskaźniki geogeniczne zostają przekroczone jedynie w przypadku żelaza i manganu. Wśród typowych wskaźników presji antropogenicznej podwyższone stężenia wykazują jony siarczanowe, chlorkowe i amonowe. Maksymalne stężenie wynosi: dla żelaza – $5,3 \text{ mg/l}$; manganu – $0,70 \text{ mg/l}$; chlorków – $104,00 \text{ mg/l}$; azotynów – $0,028 \text{ mg/l}$; azotanów – $8,00 \text{ mg/l}$; amoniaku – $0,79 \text{ mg/l}$.

CHEMIZM WÓD POWIERZCHNIOWYCH

Obszar badań znajduje się w obrębie Jednolitej Części Wód Powierzchniowych (JCWP) Wilanówka (RW20002625929), która ze względu na status została zakwalifikowana do wód silnie zmienionych.

W celu rozpoznania problemu stężeń żelaza w wodach powierzchniowych wykorzystano Atlas geochemiczny (Tomassi-Morawiec, 2016), w którym, zgodnie z przedstawionymi danymi, zawartość żelaza w wodach powierzchniowych Potoku Służewieckiego wyniosła $0,04\text{--}0,28 \text{ mg/dm}^3$.

W latach 2011–2016 Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska (WIOŚ, 2017) w Warszawie w obrębie JCWP Wilanówka wykonał opróbowanie wód w punkcie pomiarowo-kontrolnym PL01S0701_1127 (Wilanówka – Warszawa, ul. Tuzinowa). Rzeka została zakwalifikowana do typu abiotycznego 26. Ogólnie ciek uzyskał potencjał ekologiczny – zły, w tym dla parametrów fizykochemicznych poniżej potencjału dobrego.

W celu określenia faktycznych stężeń żelaza, w grudniu 2017 r. pobrano kilka próbek wód z Potoku Służewieckiego, na odcinku pomiędzy ujściem do Jeziora Wilanowskiego a rowem Wolica.

Próbkę bezpośrednio po pomiarze przefiltrowano przez standardowy filtr membranowy o średnicy porów $0,45 \text{ mm}$ w systemie on-line bez możliwości kontaktu z powietrzem atmosferycznym. Bezpośrednio w terenie oznaczano niektóre składniki roztworu wodnego. W tym celu wykorzystywano spektrofotometr LF-205 oraz zastosowano procedury opracowane przez firmę SLANDI do tego urządzenia. W badanej próbce wód powierzchniowych stwierdzono następujące wartości wskaźników fizyczno-chemicznych: odczyn pH – $7,87$; potencjał redoks Eh – 489 mV ; przewodność elektrolityczna właściwa – 955 mikroS/cm ; temp. – $6,5^\circ\text{C}$; glin Al^{3+} – $0,19 \text{ mg/l}$; azotany NO_3^- – $0,52 \text{ mgN-NO}_3/\text{l}$; azotyny NO_2^- – $0,42 \text{ mgN-NO}_2/\text{l}$; fosforany PO_4^{3-} – $0,21 \text{ mgPO}_4/\text{l}$; krzemiany SiO_3^{2-} – $0,11 \text{ mg/l}$; żelazo suma $\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+}$ – $1,12 \text{ mg/l}$; mangan Mn^{+2} – $0,19 \text{ mg/l}$.

Wartości te zostały wykorzystane do tworzenia modelu geochemicznego mieszania się wód podziemnych z powierzchniowymi w potoku.

MODEL GEOCHEMICZNY MIESZANIA WÓD

Jako parametry fizykochemiczne wód powierzchniowych do modelu przyjęto, oznaczone w grudniu 2017 r., parametry na odcinku ujściowym Potoku Służewieckiego.

Jako skład chemiczny wód podziemnych bezpośrednio z obszaru opracowania, przyjęto uśredniony skład fizyczno-chemiczny wód podziemnych na podstawie materiałów archiwalnych (tab. 2).

Do modelowania geochemicznego wykorzystano program PHREEQCI wersję 3.1.7.9213. Do obliczeń użyto zmodyfikowaną przez autora bazę danych wateq4f.dat.

Tabela 1

Charakterystyka opadów obliczeniowych i wielkości odpływu (wg Barszcz i in., 2016)

The characteristics of calculated precipitation and outflow rates (after Barszcz *et al.*, 2016)

Nazwa ciek	Kilometraż [km]	Prawdopodobieństwo [%]	Czas trwania opadu [min]	Wysokość opadu [mm]	Przepływ SWMM [m^3/s]	Objętość wezbrania w tys. [m^3]
Potok Służewiecki	0+726	50	260	27,5	8,027	317,0
		10	260	46,3	13,275	575,8
		2	240	59,3	18,025	797,9
		1	240	64,4	18,640	851,7

W celu dokonania oceny stanu równowagi faz mineralnych i gazowych w roztworze wodnym, obliczono wartości wskaźnika nasycenia (SI) względem określonej fazy mineralnej.

$$SI = IAP/KT$$

gdzie:

IAP – iloczyn aktywności form obliczony z wartości aktywności substancji w roztworze;

KT – stała szybkości reakcji w temperaturze T (pomiaru) (rozumiana jako iloczyn aktywności produktów w warunkach równowagi).

W pracy przyjęto standardowe pojęcie granic wskaźnika nasycenia. Granice stanu równowagi ($SI = 0$) wynoszą $\pm 5\%$ $\log k$ danej reakcji. Wartości dodatnie, większe od wartości $+5\% \log k$, świadczą o potencjalnych możliwościach do wytrącania (ewentualnie neutralnym zachowaniu minerału względem wód podziemnych). Wartości ujemne, mniejsze od $-5\% \log k$, świadczą o warunkach, w których może zachodzić rozpuszczanie minerału.

WYNIKI MODELOWANIA DLA WARIANTU I

W tabeli 3 pokazano porównanie rozkładu wybranych specjacji zawartych w wodach powierzchniowych i podziemnych. W efekcie mieszania się potoku z wodami z odwodnienia, pH wód potoku nieznacznie spada, z 7,87 do 7,763.

Żelazo

W wyniku mieszania się wód z odwodnienia z wodami Potoku Służewieckiego w stosunku 1:72, przy założeniu stężeń żelaza w wodach powierzchniowych – 1,12 mg/l i wodach podziemnych – 1,57 mg/l, zaobserwowano praktycznie niemierzalny wzrost stężenia sumarycznego. W efekcie uzyskano stężenie żelaza (suma Fe^{+2} i Fe^{+3}) wynoszące – 1,12699 mg/l w wodach powierzchniowych. Jest to o 0,00699 mg/l więcej niż pierwotnie występowało w wodach powierzchniowych.

Uzyskano inny rozkład głównych form żelaza. W wodach powierzchniowych występuje następujący rozkład specjacji i stężeń żelaza: Fe^{+2} – 0,4585 mg/l i Fe^{+3} – 0,66235 mg/l, w wodach podziemnych zaś: Fe^{+2} – 0,90919 mg/l i Fe^{+3} – 0,66235 mg/l.

W efekcie zmieszania się wód uzyskano następującą zawartość poszczególnych specjacji: Fe^{+2} – $5,5 \cdot 10^{-11}$ mg/l i Fe^{+3} – 1,12699 mg/l. W praktyce więc niemal całe żelazo w wodach powierzchniowych po zmieszaniu przechodzi w formę trójwartościową.

Mangan

W wyniku mieszania się wód z odwodnienia z wodami Potoku Służewieckiego w stosunku 1:72, przy założeniu stężeń manganu w wodach powierzchniowych 0,19 mg/l i wodach podziemnych 0,46 mg/l, zaobserwowano praktycznie niemierzalny wzrost stężenia sumarycznego. W efekcie koń-

cowym uzyskano stężenie manganu (sumy Mn^{+2} i Mn^{+3}) wynoszące 0,19686 mg/l w wodach powierzchniowych. Jest to o 0,00686 mg/l więcej niż pierwotnie występowało w wodach powierzchniowych.

Uzyskano inny rozkład głównych form manganu. W wodach powierzchniowych występuje następujący rozkład specjacji i stężeń manganu: Mn^{+2} – 0,1900 mg/l i Mn^{+3} – $3,14 \cdot 10^{-24}$ mg/l, w wodach podziemnych zaś: Mn^{+2} – 0,46 mg/l i Mn^{+3} – $1,3 \cdot 10^{-26}$ mg/l.

W efekcie zmieszania się wód uzyskano następującą zawartość poszczególnych specjacji: Mn^{+2} – 0,19602 mg/l; Mn^{+3} – $9,1 \cdot 10^{-14}$ mg/l; Mn^{+6} – $1,9 \cdot 10^{-7}$ mg/l i Mn^{+7} – 0,00083 mg/l. W praktyce więc cały mangan w wodach powierzchniowych przejdzie w formę dwu- i siedmiowartościową.

W tabeli 4 pokazano wartości wskaźnika SI dla wybranych, najistotniejszych z punktu widzenia geochemii środowiska faz mineralnych i gazowych tworzących środowisko czwartorzędowe.

Dla danego wariantu mieszania się wód wody Potoku Służewieckiego charakteryzują się w stosunku do minerałów krzemianowych i glinokrzemianowych (adular, albit,

Tabela 2

Parametry wód podziemnych i powierzchniowych przyjęte do modelowania geochemicznego

Parameters of groundwater and surface water assumed for geochemical modelling

Parametr	Wody powierzchniowe	Wody podziemne
Temperatura [°C]	6,5	10,0
pH	7,87	7,68
Ca	83,7	143,5
Mg	12	15
Na	38,7	28,2
K	7,9	0,5
NH ₄	0,206	0,29
HCO ₃	236	430,26
SO ₄	56,7	90
Cl	73,2	76,65
NO ₂	0,52	3,82
NO ₃	0,42	0,012
P	0,21	0,25
Si	0,11	11,1
Fe	1,12	1,57
Mn	0,19	0,46
Cu	0,005	0,001
Pb	0,00012	0,002
Zn	0,019	0,18
Cd	0,000025	0,0078
Al	0,19	0,0143
O	6,7	8,9
Ni	0,0016	0,0025
As	0,001	0,0005
B	0,066	0,11
B	0,057	0,076

Tabela 3

Zawartość przykładowych specjacji w wodach (wariant I)

Content of sample specs in waters (Variant I)

Specjacja	Zawartość danej specjacji [mol/l]:		
	wody powierzchniowe	wody podziemne	woda po zmieszaniu
Suma Al	7,046E-06	5,304E-07	6,956E-06
Al(OH) ₄ ⁻	6,97E-06	5,21E-07	6,85E-06
Al(OH) ₃	5,22E-08	5,87E-09	6,56E-08
Al(OH) ₂ ⁺	2,48E-08	3,18E-09	3,97E-08
AlOH ⁺	3,47E-10	5,01E-11	7,08E-10
Al ³⁺	2,47E-12	4,58E-13	6,43E-12
AlSO ₄ ⁺	1,02E-12	2,48E-13	2,68E-12
Al(SO ₃) ₂ ⁻	9,97E-15	3,41E-15	2,63E-14
AlHSO ₄ ⁺²	1,47E-21	5,93E-22	4,94E-21
Suma Fe(2)	8,210E-06	1,628E-05	9,811E-16
Fe ⁺²	5,82E-06	1,01E-05	7,08E-16
FeHCO ₃ ⁺	1,46E-06	4,23E-06	1,78E-16
FeCO ₃	6,86E-07	1,40E-06	6,54E-17
FeSO ₄	1,67E-07	4,03E-07	2,04E-17
FeHPO ₄	4,26E-08	6,53E-08	5,09E-18
FeOH ⁺	2,36E-08	3,38E-08	2,25E-18
FeCl ⁺	1,13E-08	1,93E-08	1,38E-18
FeH ₂ PO ₄ ⁺	1,43E-09	3,40E-09	2,20E-19
Fe(OH) ₂	2,43E-12	3,10E-12	1,82E-22
FeHSO ₄ ⁺	1,62E-14	6,14E-14	2,54E-24
Fe(OH) ₃ ⁻	6,08E-15	5,31E-15	3,56E-25
Suma Fe(3)	1,186E-05	1,186E-05	2,018E-05
Fe(OH) ₃	9,07E-06	8,54E-06	1,47E-05
Fe(OH) ₂ ²⁺	2,48E-06	3,10E-06	5,12E-06
Fe(OH) ₄ ⁻	3,06E-07	2,22E-07	3,88E-07
FeOH ⁺²	2,86E-10	5,03E-10	7,54E-10
FeSO ₄ ⁺	3,41E-15	1,06E-14	1,15E-14
Fe ⁺³	2,84E-15	6,51E-15	9,56E-15
FeHPO ₄ ⁺	5,41E-16	1,19E-15	1,79E-15
FeH ₂ PO ₄ ⁺²	3,33E-16	1,03E-15	1,41E-15
FeCl ⁺²	5,75E-17	1,45E-16	1,94E-16
Fe(SO ₃) ₂ ⁻	2,33E-17	1,02E-16	7,96E-17
Fe ₂ (OH) ₂ ⁺⁴	1,12E-17	3,44E-17	7,77E-17
FeCl ₂ ⁺	6,72E-19	1,46E-18	2,26E-18
Fe ₃ (OH) ₄ ⁺⁵	7,90E-20	2,46E-19	1,13E-18
FeHSO ₄ ⁺²	1,77E-22	8,82E-22	7,70E-22
FeCl ₃	1,13E-22	2,47E-22	3,82E-22
Suma Mn(2)	3,46E-06	8,38E-06	3,51E-06
Mn ⁺²	2,10E-06	4,47E-06	2,25E-06
MnCO ₃	8,20E-07	2,05E-06	6,87E-07
MnHCO ₃ ⁺	4,68E-07	1,66E-06	5,02E-07
MnSO ₄	5,92E-08	1,76E-07	6,37E-08
MnCl ⁺	1,21E-08	2,51E-08	1,29E-08
MnOH ⁺	6,06E-10	1,09E-09	5,08E-10
MnCl ₂	8,91E-12	1,87E-11	9,53E-12
Mn(NO ₃) ₂	6,72E-15	6,86E-13	3,74E-14
MnCl ₃ ⁻	5,06E-15	1,11E-14	5,42E-15
Mn(OH) ₃ ⁻	1,02E-17	5,58E-18	5,22E-18
Suma Mn(3)	5,48E-29	2,20E-28	1,63E-18
Mn ⁺³	5,48E-29	2,20E-28	1,63E-18
Suma Mn(6)	0,00	0,00	3,36E-12
MnO ₄ ⁻²			3,36E-12
Suma Mn(7)	0,00	0,00	1,49E-08
MnO ₄ ⁻			1,49E-08

anortyt, kwarc, krzemionka amorficzna) stałą i niezmienną zdolnością do ich rozpuszczania.

W przypadku głównych minerałów ilastych (jarosyt, kaolinit) wody potoku przed i po zmieszaniu charakteryzują się, analogicznie jak wody podziemne, stałą tendencją do potencjalnego wytrącania się ww. faz mineralnych (tab. 3). Jedynie w przypadku illitu, po procesie mieszania wód minerał ten przesuwa się wyraźnie ku wytrącaniu.

W przypadku substancji organicznej, po zmieszaniu się wód, zaobserwowano skokową zmianę wartości wskaźnika SI z $-51,33$ do $-92,56$. Jest to równoważne z możliwością wzmocnienia procesów mineralizacji rozpuszczonej substancji organicznej, a więc usuwania jej z nagromadzonych osadów dennych.

Dla form chlorkowych, siarczkowych i fosforanowych poszczególnych pierwiastków (np. NaCl, $MnCl_2 \cdot 4H_2O$, FeS, FeS_2 , MnS, $MnHPO_4$) zarejestrowano brak istotnego zróżnicowania w przebiegu procesów geochemicznych. Jedynie formy siarczkowe będą silniej ulegały potencjalnemu rozpuszczaniu ze względu na przebieg procesów redoks w płynących wodach w warunkach utleniających.

Fazy mineralne z grup tlenowych i wodorotlenowych (np. manganit, gibbsyt, goethyt czy formy żelaza) wykazują w całym środowisku wód Potoku Służewieckiego oraz w wodach podziemnych wartości $SI > 0$, a więc sprzyjające wytrącaniu się ich z wód. W efekcie mieszania wód z odwodnienia z wodami potoku nieznacznie wzrasta zdolność do wytrącania się minerałów.

Fazy mineralne siarczanowe (np. aragonit) w środowiskach pierwotnych (wody Potoku Służewieckiego i wody podziemne) oraz po procesie mieszania cechują się zdolnością do rozpuszczania w płynących wodach. Proces mieszania wód nieznacznie osłabia zdolności wód potoku do rozpuszczania tych faz mineralnych. Skutkować to może słabszym ługowaniem siarczanów z osadów do wód.

Minerały węglanowe (np. kalcyt, dolomit, syderyt) w wodach podziemnych będą podlegały wytrącaniu. Wody Potoku Służewieckiego znajdują się w stanie równowagi dynamicznej z tą grupą minerałów. Po procesie mieszania potoku i wód z odwodnienia zdolność wód potoku do wytrącania się z nich tej grupy minerałów nieco spada. Wobec tego należy liczyć się z nieznacznym wzrostem zawartości węglanów, wapnia i magnezu w wodach potoku. Będą to jednak ilości nieznacznie tylko większe niż obliczone wcześniej stężenia żelaza i manganu. W praktyce stężenia tych pierwiastków (przeliczone na jony wodorowęglanowe, wapniowe i magnezowe) nie wzrosną więcej niż o $0,1-0,2$ mg/l.

WYNIKI MODELOWANIA DLA WARIANTU II

W tabeli 5 pokazano porównanie rozkładu wybranych specjacji zawartych w wodach powierzchniowych i podziemnych. W efekcie mieszania się wód potoku z wodami z odwodnienia, pH wód potoku nieznacznie spada, z $7,87$ do $7,765$.

Żelazo

W efekcie mieszania się wód z odwodnienia z wodami Potoku Służewieckiego w stosunku 1:180, przy założeniu stężeń żelaza w wodach powierzchniowych $1,12$ mg/l i wodach podziemnych $1,57$ mg/l zaobserwowano praktycznie niemierzalny wzrost stężenia sumarycznego. W efekcie końcowym uzyskano stężenie żelaza (suma Fe^{+2} i Fe^{+3}) wynoszące $1,12308$ mg/l w wodach powierzchniowych. Jest to o $0,00308$ mg/l więcej niż pierwotnie występowało w wodach powierzchniowych.

Uzyskano inny rozkład głównych form żelaza. W wodach powierzchniowych występuje następujący rozkład specjacji i stężeń żelaza: $Fe^{+2} - 0,4585$ mg/l i $Fe^{+3} - 0,66235$ mg/l, w wodach podziemnych zaś: $Fe^{+2} - 0,90919$ mg/l i $Fe^{+3} - 0,66235$ mg/l.

W efekcie mieszania się wód uzyskano następującą zawartość poszczególnych specjacji: $Fe^{+2} - 5,4 \cdot 10^{-11}$ mg/l i $Fe^{+3} - 1,12308$ mg/l. W praktyce więc niemal całe żelazo w wodach powierzchniowych po zmieszaniu przechodzi w formę trójwartościową.

Mangan

W efekcie mieszania się wód z odwodnienia z wodami Potoku Służewieckiego w stosunku 1:180, przy założeniu stężeń manganu w wodach powierzchniowych $0,19$ mg/l i wodach podziemnych $0,46$ mg/l zaobserwowano praktycznie niemierzalny wzrost stężenia sumarycznego. W efekcie końcowym uzyskano stężenie manganu (sumy Mn^{+2} i Mn^{+3}) wynoszące $0,19473$ mg/l w wodach powierzchniowych. Jest to o $0,00473$ mg/l więcej niż pierwotnie występowało w wodach powierzchniowych.

Uzyskano następujący rozkład głównych form manganu. W wodach powierzchniowych występuje następujący rozkład specjacji i stężeń manganu: $Mn^{+2} - 0,1900$ mg/l i $Mn^{+3} - 3,14 \cdot 10^{-24}$ mg/l, w wodach podziemnych natomiast: $Mn^{+2} - 0,46$ mg/l i $Mn^{+3} - 1,3 \cdot 10^{-26}$ mg/l.

W wyniku mieszania się wód uzyskano następującą zawartość poszczególnych specjacji: $Mn^{+2} - 0,19390$ mg/l; $Mn^{+3} - 9,0 \cdot 10^{-14}$ mg/l; $Mn^{+6} - 1,9 \cdot 10^{-7}$ mg/l i $Mn^{+7} - 0,00083$ mg/l. W praktyce więc cały mangan w wodach powierzchniowych przechodzi w formę dwu- i siedmiowartościową.

Ze względu na praktyczny brak zmian w rozkładzie wartości SI (zmiany rzędu $0,01$) należy przyjąć, że potencjalne procesy rozpuszczania/wytrącania minerałów w wariantie II są w praktyce analogiczne do wariantu I.

ZASIĘG ZAMIERZONEGO KORZYSTANIA Z WÓD

Za zasięg zamierzonego korzystania z wód uznano pełne wymieszanie się wód z odwodnienia z wodą w Potoku Służewieckim, przy założeniu maksymalnego przepływu w cieku. Obliczenia wykonano na podstawie wzoru Ruffella (Skowysz, 2011):

$$Z = 0,229 \cdot H^{1,167} (B : H)^2$$

gdzie:

Z – zasięg zamierzonego korzystania z wód [m]

H – średnia głębokość cieku w przekroju wprowadzania wód [m]

B – średnia szerokość cieku w przekroju wprowadzania wód [m]

Potok Służewiecki w rejonie al. Wilanowskiej ma wymiary $B = 3,5$ m; $H = 1,5$ m. Zasięg zamierzonego korzystania z wód wynosi 5,38 m.

DZIAŁANIA OGRANICZAJĄCE NEGATYWNE ODDZIAŁYWANIA PLANOWANEGO MIESZANIA WÓD PODZIEMNYCH I POWIERZCHNIOWYCH

Analizując wyniki modelu geochemicznego mieszania się wód, przewiduje się maksymalny wzrost stężeń żelaza o 0,00699 mg/l oraz manganu o 0,00686 mg/l. W związku z tym nie ma potrzeby realizacji żadnych działań ograniczających negatywny wpływ procesu zrzucania wód z odwodnienia do Potoku Służewieckiego.

Tabela 4

Wartości wskaźnika SI dla głównych faz mineralnych i gazowych wód

SI indicator values for the main mineral and gaseous phases of waters

Faza	Wody powierzchniowe	Wody podziemne	Woda po zmieszaniu	Wzór	5% log k danej reakcji
Adular	-4,09	-0,71	-2,98	KAlSi ₃ O ₈	-1,03
Albit	-5,97	-1,49	-4,86	NaAlSi ₃ O ₈	-0,90
Anortyt	-4,48	-2,65	-3,74	CaAl ₂ Si ₂ O ₈	-0,99
Kwarc	-1,47	0,48		SiO ₂	-0,20
SiO ₂ (a)	-2,86	-0,89	-2,49	SiO ₂	-0,14
Illit	-1,69	1,71	-0,27	K _{0,6} Mg _{0,25} Al _{2,3} Si _{3,5} O ₁₀ (OH) ₂	-2,01
Jarosyt	0,90	0,06	1,86	(K _{0,77} Na _{0,03} H _{0,2})Fe ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆	-0,49
Kaolinit	2,70	4,33	3,64	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	0,37
CH ₂ O	-51,33	-50,17	-92,56	CH ₂ O	0,00
Halit	-7,08	-7,23	-7,09	NaCl	0,08
Fes(ppt)	-63,33	-62,02	-155,91	FeS	-0,20
Mnhpo ₄	1,53	1,81	1,56	MnHPO ₄	-0,65
Mn ₃ (po ₄) ₂	-14,03	-13,52	-14,17	Mn ₃ (PO ₄) ₂	-1,19
Manganit	-3,57	-3,84	6,58	MnOOH	1,27
Maghemit	11,06	10,53	11,47	Fe ₂ O ₃	0,32
Al(oh) ₃ (a)	-0,42	-1,53	-0,33	Al(OH) ₃	0,41
Birnesyt	-9,96	-10,42	10,52	MnO ₂	2,18
Braunit	-10,11	-10,01	10,19	Mn ₂ O ₃	-0,03
Diaspor	3,58	2,47	3,68	AlOOH	0,34
Fe(oh) _{2,7} Cl _{0,3}	8,58	8,38	8,82	Fe(OH) _{2,7} Cl _{0,3}	-0,15
Fe(oh) ₃ (a)	3,83	3,56	4,04	Fe(OH) ₃	0,24
Fe ₃ (oh) ₈	7,56	6,86	-2,16	Fe ₃ (OH) ₈	1,01
Gibbsyt	2,44	1,31	2,54	Al(OH) ₃	0,41
Getyt	9,02	8,89	9,23	FeOOH	-0,05
Anhydryt	-2,01	-1,68	-2,00	CaSO ₄	-0,22
Baryt	0,25	0,39	0,25	BaSO ₄	-0,50
Mnso ₄	-12,73	-12,14	-12,70	MnSO ₄	0,11
Magnezyt	-0,91	-0,70	-1,02	MgCO ₃	-0,40
Aragonit	0,22	0,53	0,12	CaCO ₃	-0,42
Kalcyt	0,38	0,68	0,28	CaCO ₃	-0,42
Dolomit	-0,03	0,51	-0,23	CaMg(CO ₃) ₂	-0,85
Syderyt	0,23	0,56	-9,79	FeCO ₃	-0,52
Co ₂ (g)	-2,63	-2,18	-2,53	CO ₂	-0,07
H ₂ S(g)	-69,58	-68,13	-152,04	H ₂ S	-0,05

wartości pogrubione – możliwość wytrącania danej fazy w danych środowisku; kursywa – warunki stanu równowagi; zwykły tekst – możliwość rozpuszczania danej fazy mineralnej przez wody w danym środowisku / bold values – the possibility of precipitation of a given phase in a given environment; italic – conditions of balance; plain text – the possibility of dissolving; a given mineral phase through water in a given environment

Tabela 5

Zawartość przykładowych specjacji w wodach (wariant II)

Content of sample species in waters (variant II)

Specjacja	Zawartość danej specjacji [mol/l]:		
	wody powierzchniowe	wody podziemne	woda po zmieszaniu
Suma: Al	7,046e-06	5,304e-07	7,010e-06
Al(OH) ₄ ⁻	6,97E-06	5,21E-07	6,90E-06
Al(OH) ₃	5,22E-08	5,87E-09	6,58E-08
Al(OH) ₂ ⁺	2,48E-08	3,18E-09	3,97E-08
AlOH ⁺²	3,47E-10	5,01E-11	7,07E-10
Al ⁺³	2,47E-12	4,58E-13	6,39E-12
AlSO ₄ ⁺	1,02E-12	2,48E-13	2,66E-12
Al(SO ₄) ₂ ⁻	9,97E-15	3,41E-15	2,60E-14
AlHSO ₄ ⁺²	1,47E-21	5,93E-22	4,87E-21
Suma Fe(2)	8,210e-06	1,628e-05	9,683e-16
Fe ⁺²	5,82E-06	1,01E-05	7,00E-16
FeHCO ₃ ⁺	1,46E-06	4,23E-06	1,75E-16
FeCO ₃	6,86E-07	1,40E-06	6,46E-17
FeSO ₄	1,67E-07	4,03E-07	2,01E-17
FeHPO ₄	4,26E-08	6,53E-08	5,04E-18
FeOH ⁺	2,36E-08	3,38E-08	2,23E-18
FeCl ⁺	1,13E-08	1,93E-08	1,36E-18
FeH ₂ PO ₄ ⁺	1,43E-09	3,40E-09	2,16E-19
Fe(OH) ₂	2,43E-12	3,10E-12	1,80E-22
FeHSO ₄ ⁺	1,62E-14	6,14E-14	2,49E-24
Fe(OH) ₃ ⁻	6,08E-15	5,31E-15	3,55E-25
Suma Fe(3)	1,186e-05	1,186e-05	2,011e-05
Fe(OH) ₃	9,07E-06	8,54E-06	1,46E-05
Fe(OH) ₂ ⁺	2,48E-06	3,10E-06	5,08E-06
Fe(OH) ₄ ⁻	3,06E-07	2,22E-07	3,88E-07
FeOH ⁺²	2,86E-10	5,03E-10	7,46E-10
FeSO ₄ ⁺	3,41E-15	1,06E-14	1,14E-14
Fe ⁺³	2,84E-15	6,51E-15	9,43E-15
FeHPO ₄ ⁺	5,41E-16	1,19E-15	1,77E-15
FeH ₂ PO ₄ ⁺²	3,33E-16	1,03E-15	1,39E-15
FeCl ⁺²	5,75E-17	1,45E-16	1,91E-16
Fe(SO ₄) ₂ ⁻	2,33E-17	1,02E-16	7,79E-17
Fe ₂ (OH) ₄ ⁺⁴	1,12E-17	3,44E-17	7,61E-17
FeCl ⁺	6,72E-19	1,46E-18	2,23E-18
Fe ₃ (OH) ₄ ⁺⁵	7,90E-20	2,46E-19	1,10E-18
FeHSO ₄ ⁺²	1,77E-22	8,82E-22	7,53E-22
FeCl ₃	1,13E-22	2,47E-22	3,77E-22
Suma Mn(2)	3,46E-06	8,38E-06	3,472e-06
Mn ⁺²	2,10E-06	4,47E-06	2,22E-06
MnCO ₃	8,20E-07	2,05E-06	6,79E-07
MnHCO ₃ ⁺	4,68E-07	1,66E-06	4,94E-07
MnSO ₄	5,92E-08	1,76E-07	6,28E-08
MnCl ⁺	1,21E-08	2,51E-08	1,28E-08
MnOH ⁺	6,06E-10	1,09E-09	5,04E-10
MnCl ₂	8,91E-12	1,87E-11	9,43E-12
Mn(NO ₃) ₂	6,72E-15	6,86E-13	3,55E-14
MnCl ₃ ⁻	5,06E-15	1,11E-14	5,36E-15
Mn(OH) ₃ ⁻	1,02E-17	5,58E-18	5,25E-18
Suma Mn(3)	5,48E-29	2,20E-28	1,606e-18
Mn ⁺³	5,48E-29	2,20E-28	1,606e-18
Suma Mn(6)	0,00	0,00	3,372e-12
MnO ₄ ⁻²	-	-	3,372e-12
Suma Mn(7)	0,00	0,00	1,487e-08
MnO ₄ ⁻	-	-	1,487e-08

Zgodnie z zapisami zawartymi w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dn. 18 listopada 2014 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (RMŚ, 2014) najwyższa dopuszczalna zawartość żelaza ogólnego wynosi 10 mg/l. Wartości dla manganu nie ustalono.

Dodatkowe zalecenia monitoringowe:

- co 72 h przy użyciu spektrofotometru lub innych alternatywnych metod monitorować zawartość: $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$; $\text{Mn}^{2+}/\text{Mn}^{7+}$; wartości przewodności elektrolitycznej właściwej, pH oraz temperatury wody; próbki do badań należy pobierać z rurociągu odprowadzającego wody z odwodnienia oraz koryta cieku powyżej i poniżej punktu wprowadzania wód z odwodnienia;
- w zależności od zawartości żelaza może być wskazane prowadzenie napowietrzania wód przed procesem wprowadzenia wód z odwodnienia do cieku.

Napowietrzanie jest procesem mającym na celu wprowadzanie do wody tlenu oraz usunięcie rozpuszczonych w wodzie podziemnej gazów, głównie agresywnego CO_2 oraz siarkowodoru (H_2S), w mniejszym stopniu azotu amonowego.

Najbardziej doraźnym systemem jest napowietrzanie metodą „rura w rurę”. Metoda polega na wprowadzeniu rurociągu z powietrzem bezpośrednio do kolektora doprowadzającego wodę surową. Do zdecydowanych wad takiego rozwiązania można zaliczyć:

- minimalną powierzchnią kontaktu na linii woda–powietrze, w efekcie czego uzyskuje się niski stopień wysycenia wody tlenem;
- brak odgazowania wody;
- bardzo niski czas kontaktu wody z powietrzem, który jest w zasadzie równy czasowi przepływu wody przez odcinek od miejsca wprowadzenia powietrza do punktu zrzutu wód.

Do zalet systemu można zaliczyć minimalne koszty oraz niewielkie rozmiary instalacji.

Jeżeli istnieje konieczność eksploatacji tego typu systemu dla wody o wyższej zawartości żelaza i manganu można poprawić jego efektywność poprzez:

- wtłoczenie powietrza do rurociągu z wodą surową możliwie jak najbliżej punktu poboru wód, co może spowodować, że będzie dochodziło do wytrącania żelaza w tym rurociągu, a to oczywiście wymóg jego częstszego czyszczenia, ale drugiej strony – wydłuży czas kontaktu wody i powietrza;
- montaż za punktem wprowadzenia powietrza, mieszacza statycznego, lub kryzy dławiącej, w efekcie czego uzyskuje się lepsze wymieszanie tych dwóch mediów i wyższą powierzchnię wymiany gazowej.

Z teoretycznego punktu widzenia, zgodnie z ogólnymi wymaganiami (Świdarska-Bróz, Kowal, 2007) ilość powietrza powinna zostać uzależniona od ilości żelaza w wodzie surowej. I tak, przy stężeniach:

- $< 5,0$ mg Fe/l, należy doprowadzić 2% powietrza w stosunku do ilości wody;

- 5–8 mg Fe/l – 3% powietrza w stosunku do ilości wody surowej;
- $> 8,0$ mg Fe/l – 5% powietrza w stosunku do ilości wody surowej.

PODSUMOWANIE

W ciekach powierzchniowych na terenach aglomeracji miejskich najczęściej występującym problemem są związki powstające w wyniku interakcji pomiędzy zrzucanymi wodami podziemnymi a powierzchniowymi. Skutkiem mieszania się wód jest zazwyczaj wytrącanie się związków żelaza i manganu w korycie cieku. Bardzo często nie ma to żadnego wpływu na zmianę parametrów fizykochemicznych i biotycznych wód powierzchniowych, poza jednym – barwą wody. Zazwyczaj w tego typu sytuacjach, przy znaczącej różnicy stężeń żelaza i manganu pomiędzy dwoma typami wód, wynikiem mieszania się jest zmiana barwy wody w korycie – od żółtej do czerwono-brunatnej, połączona z wytrąceniem związków żelaza w postaci osadu.

W przedstawionym przykładzie, przy mieszanii się wód w założonej proporcji, obserwuje się praktycznie niemierzalne zmiany stężeń żelaza i manganu. W efekcie mieszania się wód z odwodnienia z wodami Potoku Służewieckiego w stosunku 1:72, uzyskujemy podwyższenie stężeń żelaza o 0,00699 mg/l. Analogiczna sytuacja zachodzi dla manganu. Po procesie mieszania uzyskujemy wzrost stężenia związków manganu o 0,00686 mg/l. Co istotniejsze, w przypadku obydwu pierwiastków uzyskujemy inny rozkład specjacji. W efekcie zmieszania się wód dominującą pozycję uzyskuje forma żelaza trójwartościowego (Fe^{3+}) – ponad 99% Fe. W przypadku manganu, niemal cały mangan będzie migrował w formie dwuwartościowej (Mn^{2+}).

Przedstawiony przykład odnosi się do typowego problemu na obszarze aglomeracji – ile wody i o jakim chemizmie można zrzucić do wód powierzchniowych, nie powodując tam niekorzystnych zmian fizykochemicznych oraz nie zmieniając „efektu wizualnego” wód (zmiana barwy i wytrącanie osadów). Odprowadzane wody podziemne są zazwyczaj wyższej jakości niż wody powierzchniowe. Wobec tego tylko zabarwienie wód, poprzez wytrącające się związki żelaza i manganu, wywołują często niepokój o stan środowiska wśród lokalnej ludności i organizacji ekologicznych. Przedstawiony przykład jest jedną z możliwych dróg rozwiązania problemu. Na drodze modelowania geochemicznego można określić, jakie zmiany zajdą w wodach powierzchniowych w trakcie zrzucania do nich określonych ilości wód z odwodnienia. Pozwala to sterować w procesie inwestycyjnym procesami obniżania zwierciadła wód podziemnych tak, aby utrzymać określone parametry fizykochemiczne wód powierzchniowych. Należy zwrócić uwagę, że taki model geochemiczny jest stosunkowo prosty do wykonania a jednocześnie odpowiada na wiele trudnych pytań – w tym także, jakie związki chemiczne powstaną w procesie mieszania i w jakich stężeniach. Wydaje się więc, że zastosowanie takiego rozwiązania, zwłaszcza przy skomplikowanych procesach odwodnieniowych, powinna być łatwa w zastosowaniu.

LITERATURA

- BANK HYDRO, 2017 – Internet: <http://spdpsh.pgi.gov.pl/PSHv7/> (dostęp: 15.12.2017).
- BARSZCZ M., BARTOSIK Z., RUKŚĆ S., BATORY J., 2016 – Obliczenie przepływów maksymalnych i ich redukcji w zlewni zurbanizowanej. *JCEEA*, **33**, 63: 7–20.
- PIG-PIB, 2017 – Raport o stanie jednolitych części wód podziemnych w dorzeczach – stan na rok 2016. Tom 1 – opracowanie tekstowe. Internet: http://mjwp.gios.gov.pl/g2/orygina-1/2017_12/12138c6054d8996f6d7179ec212f329b.pdf (dostęp: 14.09.2018).
- RMŚ, 2014 – Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dn. 18 listopada 2014 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (DzU poz. 1800).
- RMŚ, 2015 – Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 21 grudnia 2015 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu jednolitych części wód podziemnych (DzU poz. 85).
- SKOWYSZ A., 2011 – O wykorzystaniu wzorów empirycznych do obliczania długości drogi pełnego wymieszania ścieków zrzucanych do rzek i kanałów. *Prz. Nauk. - Inż. Kształ. Środ.*, **53**: 237–246.
- ŚWIDERSKA-BRÓŹ M., KOWAL A.L., 2007 – *Oczyszczanie wody*. PWN, Warszawa.
- TEISSEYRE-SIERPIŃSKA i in., 2006 – *Opracowanie ekofizjograficzne do studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego m.st. Warszawy*. Wydział Polityki Przestrzennej Biura Architektury i Planowania Przestrzennego. Arch. Urz. m.st. Warszawy.
- TOMASSI-MORAWIEC H. (red.), BOJAKOWSKA I., DUSZA-DOBEK A., PASIECZNA A., 2016 – *Atlas geochemiczny Warszawy i okolic*. Wydaw. PIG-PIB, Warszawa.
- WOJEWÓDZKI INSPEKTORAT OCHRONY ŚRODOWISKA (WIOŚ), 2017 – *Monitoring rzek w latach 2011–2016*. Internet: <https://www.wios.warszawa.pl/> (dostęp: 15.12.2017).

SUMMARY

The aim of the work was to assess the potential of physicochemical changes that may occur in surface waters as a result of groundwater discharge into the Potok Służewiecki.

A typical problem for agglomeration areas is the groundwater discharge from dewatering of the excavation site to surface waters and interactions between different waters. The problems arise from water mixing and are mainly due to iron and manganese compounds which, precipitating, cause a change in colour, redox value of surface water, and appearance of a precipitate. However, it should be noted that with proper design of the mixing process for groundwater and surface water, these problems can be almost entirely eliminated.

The Potok Służewiecki still functions as a collector in the districts of Ochota, Ursynów, Mokotów and Wilanów, from which it drains water.

For calculations in the geochemical model, the water flow rates in the Potok Służewiecki were assumed to be 0.80 m³/s (Variant I) and 2.00 m³/s (Variant II). With the assumed volume of groundwater discharge to the Potok Służewiecki of 0.011 m³/s, the mixing of dewatering with the Potok Służewiecki will occur at a ratio of 1:72 to 1: 180.

As surface waters – input to the model, the parameters marked in December 2017 were assumed in the mouth section of the Potok Służewiecki. Both the chemical composition of groundwater and its average composition (based on archival materials) were adopted directly from the study area.

The PHREEQCI version 3.1.7 program was used for geochemical modelling. The database was modified by the author (wateq4f.dat) and used for the calculations.

In the presented example, practically immeasurable changes in iron and manganese concentrations are observed when the water mixes in the assumed proportion. As a result of the mixing of waters from dewatering at a ratio of 1:72, we finally

obtain a total iron concentration higher by 0.00699 mg/l than the original level in surface waters. An analogous situation occurs for manganese. After the mixing process, we get an increase in the concentration of manganese compounds by 0.00686 mg/l compared to the original level in surface waters.

What is more important in the case of both elements, we obtain a different distribution of speciation. As regards iron in surface waters: Fe²⁺ – is 0.4585 mg/l, Fe³⁺ – is 0.66235 mg/l; in groundwater: Fe²⁺ – is 0.90919 mg/l, Fe³⁺ – is 0.66235 mg/l. As a result of water mixing, we get practically almost all iron in surface waters in a trivalent form.

In the case of manganese in surface waters: Mn²⁺ – is 0,1900 mg/l and Mn³⁺ – is 3,14 · 10⁻²⁴ mg/l and in groundwater: Mn²⁺ – is 0.46 mg/l and Mn³⁺ – is 1.3 · 10⁻²⁶ mg/l. As a result of water mixing, we get practically almost all manganese in surface waters in di- and heptavalent forms.

The presented example refers to a typical problem in the agglomeration area: how much water and with what chemical characteristics can be dumped to surface waters neither causing adverse physico-chemical changes nor changing the “visual effect” of waters (change in colour and precipitation).

The example is one of the possible ways of solving the problem. By means of geochemical modelling, it is possible to determine the changes that will occur in surface water while discharging specific amounts of dewatering. This allows the process of groundwater table lowering to be controlled in the investment process to maintain certain physicochemical parameters of surface waters.

It should be noted that such a geochemical model is relatively simple to perform and it answers many difficult questions – including what chemical compounds will be created in the mixing process and at what concentrations.

