

Ocena jakości wód podziemnych pod kątem zawartości substancji organicznych na ujęciach wody w Środzie Wielkopolskiej

Assessment of groundwater quality in terms of organic matter content at water intakes in Środa Wielkopolska

IZABELA ZIMOCH, ALEKSANDRA GÓRSKA, ŁUKASZ WEBER

DOI 10.36119/15.2024.6.8

Woda podziemna, będąca źródłem zaopatrzenia ludzi w wodę przeznaczoną do spożycia wymaga wieloaspektowej analizy w kontekście oceny i zarządzania jej jakością. Szczególnym wyzwaniem jest monitorowanie i analiza właściwości wód podziemnych ujęć trzeciorzędowych, które charakteryzują się wysoką zawartością substancji organicznych, co przekłada się na intensywną barwę i znaczący potencjał tworzenia produktów ubocznych podczas procesów dezynfekcji.

W ramach niniejszego artykułu zaprezentowano analizę wybranych przypadków oraz wyniki badań jakości wody podziemnej w trzeciorzędowym ujęciu dla miasta Środa Wielkopolska. Kompleks trzeciorzędowych wód podziemnych zalega w warstwach o skomplikowanej budowie geologicznej, charakteryzującej się złożonymi stosunkami hydrogeologicznymi. Kluczowym czynnikiem wpływającym na stan użytkowy wody w średnim ujęciu jest struktura geologiczna terenu. Dominują tu przede wszystkim warstwy węgla brunatnego, bezpośrednio zalegające nad warstwą wodonośną, a także gliny i iły. W przeprowadzonych badaniach szczególną uwagę poświęcono analizie wpływu miąższości tych warstw geologicznych na jakość wody pozyskiwanej z poszczególnych studni. Integralnym elementem badań była ocena wpływu warunków hydrogeologicznych na jakość ujmowanej wody, ze szczególnym uwzględnieniem wydajności ujęć.

Korelację ustalono na podstawie przekrojów geologicznych 17 eksploatowanych studni głębinowych, jak również danych hydraulicznych determinujących warunki operacyjne pracy systemu zaopatrzenia w wodę (SZW) Środy Wielkopolskiej. W analizach korelacji zawartości materii organicznej oprócz typowych wskaźników, takich jak: barwa, ogólny węgiel organiczny (OWO), rozpuszczony węgiel organiczny (RWO), indeks nadmanganianowy, absorpcja UV, przyjęto również biodegradowalny rozpuszczony węgiel organiczny (BRWO). W przeprowadzonych badaniach uwzględniono BRWO, z uwagi na fakt, iż jest on przydatny w ustaleniu ilości związków organicznych, stanowiących potencjalnie źródło węgla i energii, które wspomagają wzrost i rozwój bakterii w sieci wodociągowej. Sprawdzone wzajemne korelacje poszczególnych wskaźników, ustalając jednocześnie przydatność prostych analiz (absorpcja UV czy indeks nadmanganianowy) w ocenie poziomu substancji oznaczanych jako OWO, czy RWO. Słowa kluczowe: wody podziemne, materia organiczna, barwa, uboczne produkty dezynfekcji,

Groundwater, as a source of supply for residents, requires a multifaceted analysis in the context of assessing and managing its quality. A particular challenge is the monitoring and analysis of the properties of tertiary groundwater intakes, which are characterized by high content of organic substances. This translates into intense coloration and a significant potential for forming by-products during disinfection processes.

This article presents a review of the literature, analysis of selected cases, and results of groundwater quality research in a tertiary intake for the city of Środa Wielkopolska. The tertiary groundwater complex is located in layers with a complex geological structure and is characterized by complicated hydrogeological relationships. A key factor influencing the usable state of water in the discussed intake is the geological structure of the area. Predominantly, layers of lignite directly overlying the aquifer, as well as clays and silts, dominate this area. Particular attention was paid to the analysis of the impact of the thickness of these geological layers on the quality of water obtained from individual wells and the hydrogeological conditions of the exploited deep wells, with special consideration of their efficiency.

The correlation was established based on the geological cross-sections of 17 exploited deep wells as well as hydraulic data as part of the water supply system (SZW) of Środa Wielkopolska. For assessing the organic matter

prof. dr hab. inż. Izabela Zimoch <https://orcid.org/0000-0003-3048-4002> – Politechnika Śląska, Katedra Inżynierii Wody i Ścieków, Gliwice, Polska,

mgr inż. Aleksandra Górską, dr inż. Łukasz Weber – Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej, Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o.o., Środa Wielkopolska, Polska

Adres do korespondencji/ Corresponding author: Izabela.Zimoch@polsl.pl

content, in addition to typical indicators such as colour, total organic carbon (TOC), dissolved organic carbon (DOC), permanganate index, and UV absorbance, biodegradable dissolved organic carbon (BDOC) was also used, which is helpful in determining the amount of organic compounds that could potentially be a source of carbon and energy, supporting the growth and development of bacteria in the water supply network. Mutual correlations of various indicators were checked, while also establishing the usefulness of simple analyses (UV absorbance or permanganate index) in assessing the level of substances designated as TOC or DOC.

Keywords: groundwater, organic matter, colour, disinfection by-products

Wstęp

Aby zapewnić dobrą jakość wody do picia, ważne jest odpowiednie zarządzanie zasobami wodnymi, w tym ochrona obszarów, z których pozyskiwana jest woda na cele konsumpcyjne. Obejmuje to ograniczanie potencjalnych źródeł zanieczyszczeń w tych obszarach oraz inwestowanie w nowoczesne technologie oczyszczania wody. W obliczu wyzwań takich jak zmiany klimatyczne, które mogą wpływać na dostępność i jakość wód podziemnych oraz zwiększone zapotrzebowanie na wodę, istotne jest zrównoważone gospodarowanie zasobami wodnymi w strategiach zarządzania.

Wody powierzchniowe i podziemne wykazują różną charakterystykę jakościową, co istotnie przekłada się na procesy uzdatniania, a także uwarunkowania dystrybucyjne. Ponadto, w obrębie poszczególnych typów ujęć można wyróżnić odmienne cechy jakościowe. W przypadku wód podziemnych widoczne różnice wiążą się bezpośrednio z wiekiem geologicznym warstwy, z której pobierana jest woda oraz z wydajnością eksploatowanych studni głębinowych. Na terenie Polski najczęściej eksploatowane są ujęcia czwartorzędowe, trzeciorzędowe, a także kredowe i jurajskie. Wody z poszczególnych pięter wodonośnych mają istotne cechy wspólne – w przypadku poziomu trzeciorzędowego jest to zawartość substancji organicznych, która przejawia się podwyższoną barwą. Ponadto ujęcia te charakteryzują się stosunkowo niską zawartością żelaza oraz manganu (niejednokrotnie wskaźnik ten znajduje się poniżej wartości parametrycznych określonych w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, Dz. U. 2017, poz. 2294), a także niską lub średnią twardością. Ponadto w ujęciach tego typu stwierdza się zazwyczaj ponadnormatywną zawartość jonu amonowego oraz niski potencjał redox. Wysokie zawartości węgla organicznego oraz podwyższona barwa wody wynikają z migracji materiału z brunatno-węglowych formacji, które znajdują się bezpośrednio nad warstwą wodonośną lub są z nią prze-warstwione. Węgiel brunatny to skała osadowa pochodzenia organicznego. Powstał wskutek przemian materii organicznej, za-

chodzących pod wpływem czynników biologicznych, geologicznych i geochemicznych. Zawiera od 58 do 78% pierwiastka węgla i stanowi pośrednie ogniwo pomiędzy torfem a węglem kamiennym. Największe złoża węgla brunatnego w Polsce pochodzą z miocenu, czyli sprzed około 20 mln lat. Złoża te powstawały w warunkach niezbyt dużego ciśnienia i nieznacznie podwyższonej temperatury [1].

Obecność substancji organicznych w wodzie jest niepożądana z wielu powodów, między innymi pogarsza jej właściwości organoleptyczne – barwę, smak i zapach. Ponadto związki te zakłócają równowagę biologiczną. Jednak największe problemy wynikają z tego, że naturalne substancje organiczne są prekursorami ubocznych produktów dezynfekcji – trihalometanów (THM). Występowanie substancji organicznych w ujmowanych wodach powoduje wiele problemów podczas jej uzdatniania, dlatego tak ważne jest wyeliminowanie ich z wody w przypadku stosowania dezynfekcji chlorem. Uboczne produkty dezynfekcji wody mają negatywny wpływ na zdrowie człowieka, mogą charakteryzować się właściwościami toksycznymi, mutagennymi oraz kancerogennymi [2,3,4]. Istnieje wiele dróg narażenia konsumenta wody na szkodliwy wpływ ubocznych produktów dezynfekcji na jego zdrowie. W wodzie THM-y jako substancje lotne, w większości ulatniają się z niej do powietrza podczas jej użytkowania. Zatem, człowiek jest narażony na te związki poprzez spożywanie wody do picia, jak również poprzez wdychanie powietrza zawierającego te związki, czy też kontakt przez skórę podczas kąpieli [5].

Materia organiczna w wodzie podziemnej, należy do jednych z istotniejszych substancji wpływających na jakość wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Wody podziemne ujmowane na cele konsumpcyjne mogą być zanieczyszczone substancjami organicznymi zarówno pochodzenia naturalnego, jak i antropogenicznego, a ilość tych substancji zmieniać się może od ilości śladowych do kilkuset mg C/dm³ [6]. Materia organiczna obejmuje różnorodne związki, takie jak resztki roślin, mikroorganizmów, a także produkty ich rozkładu oraz substancje syntetyczne wprowadzone do środowiska w wyniku działalności człowieka. Sub-

stancja ta charakteryzuje się dużą różnorodnością chemiczną, obejmującą zarówno proste związki, jak i złożone polimery. Obecność związków organicznych w wodzie jest zmienna i zależy od wielu czynników, takich jak typ gleby, warunki hydrogeologiczne, rodzaj szaty roślinnej oraz działalność człowieka.

Naturalnie obecne w wodach podziemnych substancje organiczne tworzą kompleksową mieszaninę różnorodnych związków, wśród których dominują związki humusowe, odpowiadające za 60-80% ogólnej zawartości materii organicznej. Z badań wielu ośrodków naukowych wynika, że typowe stężenia substancji organicznych (OWO) w wodach podziemnych mieszczą się w granicach od 0,1 do 2,0 mg C/dm³, z czego aż 99% należy do związków wielkocząsteczkowych [6,7].

Znajomość zależności między wybranymi parametrami jakości wody, a wpływem na ich stężenie zarówno miąższości jak i składu różnych warstw geologicznych, jest kluczowa dla oceny ryzyka związanego z jakością ujmowanych wód podziemnych. Wysoka korelacja między tymi parametrami w określonych warstwach geologicznych sugeruje, że zarządzanie zasobami wodnymi powinno uwzględniać szczegółową analizę geologiczną oraz potencjalne źródła zanieczyszczeń organicznych. Monitoring i ochrona przed zanieczyszczeniami organicznymi, zwłaszcza w rejonach, gdzie woda przepływa przez bogate w materię organiczną warstwy geologiczne, powinny być priorytetem dla zapewnienia bezpieczeństwa i jakości wody do picia. Węgiel brunatny i ilt z węglem są zazwyczaj bogate w materię organiczną, co może przyczynić się do wyższej zawartości organicznych zanieczyszczeń w przepływającej przez nie wodzie. Mają one również tendencję do wyższej sorpcji zanieczyszczeń z powodu swojej struktury porowatej, co może wpływać na jakość wody. Gliny i ility są to warstwy o mniejszej przepuszczalności w porównaniu do piasków czy żwirów, co oznacza, że woda przemieszcza się przez nie wolniej, dzięki czemu zanieczyszczenia w niej zawarte mogą być bardziej skutecznie adsorbowane. To z kolei może przyczynić się do obniżenia stężenia zanieczyszczeń migrujących do warstwy wodonośnej, stanowiącej źródło ujmowanej

wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Ił z gliną to kombinacja dwóch typów materiału, które mogą prowadzić do różnicowalnych właściwości w zakresie przepuszczalności i sorpcji, z potencjalnie wyższą retencją zanieczyszczeń organicznych i nieorganicznych, co również kształtuje jakość wody.

Ocena zawartości materii organicznej w wodzie podziemnej wymaga zastosowania zaawansowanych metod analitycznych, takich jak spektroskopia absorpcyjna UV-Vis, chromatografia cieczowa (HPLC), czy też analiza ogólnego węgla organicznego (OWO). Pomocniczo, do oceny zawartości substancji organicznych w wodzie możliwe jest stosowanie prostych parametrów takich jak absorbancja UV przy długości fali 254 nm, czy indeks nadmanganianowy. Monitorowanie jakości wody pod kątem materii organicznej jest niezbędne do zapewnienia bezpieczeństwa zdrowotnego konsumentów i ochrony ekosystemów wodnych.

W analizie zagadnienia jakim jest obecność związków organicznych w wodzie należy zwrócić również uwagę na aspekty technologiczne. Materia organiczna, w tym substancje humusowe, często tworzą kompleksy z takimi pierwiastkami jak np. mangan lub żelazo, co istotnie utrudnia proces ich usuwania. Uzdatanianie wód podziemnych zawierających nadmierne ilości żelaza i manganu jest procesem dość dobrze poznany i szeroko opisywanym w literaturze. W praktyce okazuje się jednak, że każda woda podziemna wymaga indywidualnego podejścia [8]. Wody podziemne zawierające kompleksy organiczne nawet pod wpływem napowietrzania i dalej przetrzymania wody w komorze reakcji przed filtracją, nie są podatne na szybkie wytrącanie związków żelaza (III). Zamiast tego formują się koloidalne i rozpuszczone związki żelazoorganiczne, które nadają wodzie charakterystyczny barwny odcień. Do usunięcia takich związków nie wystarczy klasyczna filtracja [10 – 19]. Spośród najczęściej stosowanych metod usuwania tych związków z wody wymienić należy:

- utlenianie (np. z wykorzystaniem ozonu),
- koagulację (zazwyczaj w oparciu o koagulanty glinowe),
- adsorpcję na węglu aktywnym (granulowanym lub pylistym),
- filtrację membranową (nanofiltrację lub odwróconą osmozę),
- metody hybrydowe (łączenie kilku technik – jak np. koagulacja i filtracja membranowa w oparciu o membrany ultrafiltracyjne lub ozonowanie i węgle aktywne).

Każda z wymienionych metod wykazuje określone korzyści eksploatacyjne i techno-

logiczne, a także wiąże się z istotnymi ograniczeniami.

Celem artykułu jest wykazanie korelacji pomiędzy jakością wody ujmowanej z trzeciorzędowych utworów wodonośnych w średnim systemie zaopatrzenia w wodę, a strukturą geologiczną ujęcia oraz danymi operacyjnymi eksploatacji poszczególnych studni.

Przedmiot badań

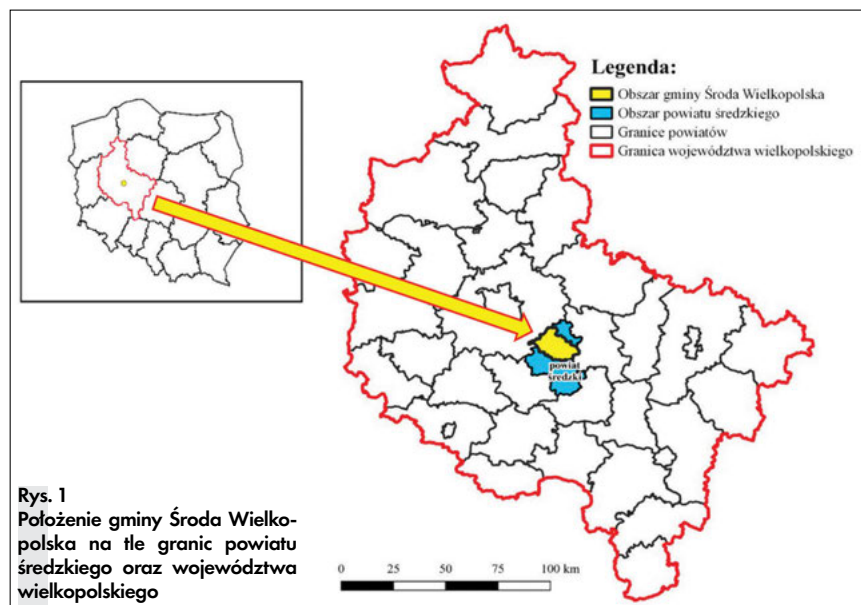
Gmina Środa Wielkopolska znajduje się w centralnej części województwa wielkopolskiego, zajmując 0,69% jego powierzchni. Jest to największa gmina w powiecie średzkim, o charakterze miejsko-wiejskim (rys. 1). Ma powierzchnię 207,1 km². Środa Wielkopolska jest głównym ośrodkiem administracyjnym zarówno gminy, jak i powiatu. Przez gminę przepływa rzeka, Moskawa, oraz jej dopływ Struga Średzka, które wpływają na kształt południowo-zachodnich Bagien Średzkich, będących obszarem chronionego krajobrazu.

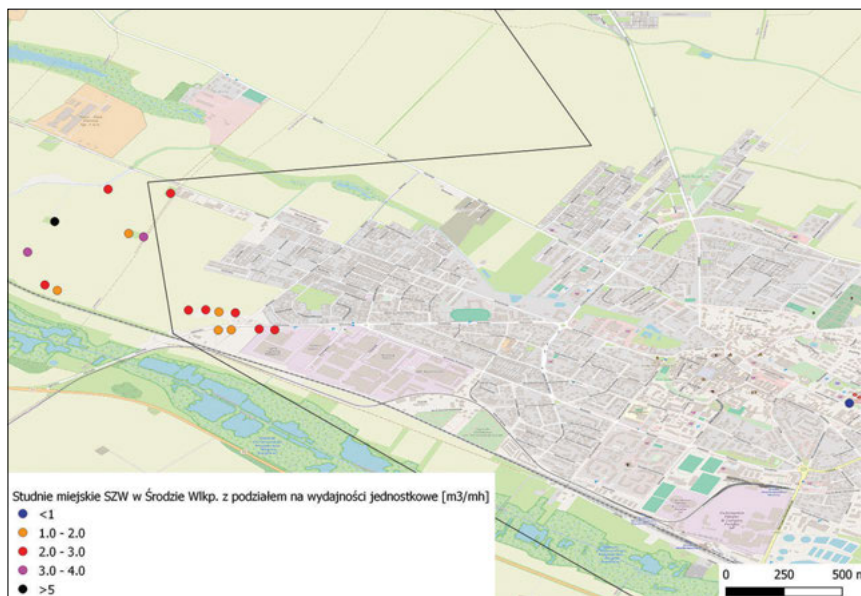
Kluczową rolę w zaopatrywaniu w wodę około 30 tysięcy mieszkańców miasta i gminy odgrywa Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej, Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o.o. w Środzie Wielkopolskiej. System zaopatrzenia w wodę (SZW) w Środzie Wielkopolskiej, funkcjonuje w oparciu o sześć obszarów zasilania, integralnie powiązanych z dwiema głównymi oraz pięcioma lokalnymi stacjami uzdatniania wody. Rocznie system ten dostarcza blisko 2 miliony metrów sześciennych wody. Woda czerpana jest z poziomu wodonośnego trzeciorzędowego, z głębokości około 150 metrów. Proces uzdatniania wody obejmuje napowietrzenie, przetrzymanie w zbiorniku kontaktowym (aeratorze), filtra-

cję oraz dezynfekcję za pomocą podchlorynu sodu. Uzdataniona woda jest gromadzona w zbiornikach czystej wody, skąd pompowana jest do sieci wodociągowej.

Przedmiotem przeprowadzonych badań jest ujęcie miejskie w skład, którego wchodzi dwie stacje uzdatniania wody. Główna stacja zlokalizowana przy ulicy Kórnickiej w Środzie Wielkopolskiej zasilana jest z 16 studni, natomiast druga zlokalizowana przy ulicy Szarytek zasilana jest z jednej studni.

Ujęcie wody przy ul. Kórnickiej zajmuje północno-wschodnie peryferie Środy Wielkopolskiej (rys. 2), nie tworząc bariery, lecz system rozproszonych studni ograniczonych drogą kolejową Poznań-Środa Wielkopolska i drogą asfaltową Środa Wielkopolska-Marcelin. Teren ujęcia wody zajmuje powierzchnię zbliżoną kształtem do czworokąta o długości 1,3 km i szerokości 0,9 km. Studnie o głębokości od 147 do 159 m ujmują mioceniński poziom wodonośny głównie stalowymi filtrami siatkowymi o długości 27 – 32 m. Poziom mioceniński jest poziomem naporowym o zróżnicowanej granulacji osadów wodonośnych, na ogół o bardzo drobnym ziarnie. Dlatego pierwotne wydajności jednostkowe są niskie i wahają się od 1,13 – 5,39 m³/h/1ms, a współczynnik filtracji kształtuje się na poziomie 0,0619-0,2257 m/h. Wydajności studni podczas eksploatacji wahają się najczęściej od 13 do 35 m³/h, przy depresjach studziennych wynoszących od 4 do 20 m. Pobór wody odbywa się za pomocą podwodnych agregatów pompowych umiejscowionych na głębokości od 36 do 50 m. W zespołach studni składających się z otworów podstawowego i awaryjnego, eksploatacja odbywa się naprzemiennie w cyklu dobowym. Średnia wydajność ujęcia w ostatnich latach wynosiła 157 – 179 m³/h. W warunkach eksploatacji





Rys. 2. Rozmieszczenie studni głębinowych miejskiego ujęcia w Środzie Wielkopolskiej

ujęcia miejskiego utworzył się lej depresyjny, którego centrum w rejonie stacji uzdatniania zamyka powierzchnię depresyjną. Aktualna depresja rejonowa wynosi 16 – 18 m.

Ujęcie wody przy ulicy Szarytek (rys. 2) składa się z dwóch studni, przy czym eksploatowana jest tylko jedna, a druga przeznaczana jest do likwidacji. Eksploatowana studnia obecnie pracuje z niewielką wydajnością jednostkową 0,94-1,07 m³/h/1 ms co odpowiada 31-35% pierwotnej wydajności jednostkowej.

Na rysunku 2 przedstawiono lokalizację studni zasilających ujęcie miejskie z podziałem na wydajności jednostkowe.

Istotnym elementem będącym przedmiotem badań jest struktura geologiczna charakterystyczna dla eksploatowanych studni głębinowych SZW w Środzie Wielkopolskiej, jak również dane techniczne studni. Elementy będące przedmiotem badań zostały zestawione w tabeli nr 1.

Metodyka badawcza

Do badań wykorzystano próbki wody surowej pobranej z 17 studni zlokalizowanych na terenie zaopatrzenia w wodę mieszkańców miasta Środa Wielkopolska. Badania prowadzono w okresie 11 miesięcy od czerwca 2023 roku do kwietnia 2024 roku. Celem realizacji założonego planu badawczego wykonano badania parametrów jakości wody (rys. 3 i 4) charakteryzujące zawartość substancji organicznych w ujętej wodzie. Analizy wykonane zostały z zastosowaniem standardowych metod analitycznych (tabela 2).

Analizy przeprowadzono w oparciu o uzyskane wyniki pomiarów charakteryzujące zawartość substancji organicznych.

Parametry te badano w miesiącach: czerwiec 2023, listopad 2023, styczeń 2024, luty 2024 oraz kwiecień 2024. W sumie przeprowadzono badania laboratoryjne dla 105 próbek, a uzyskany zbiór zmiennych poddano analizie statystycznej (rys. 3 oraz 4).

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że:

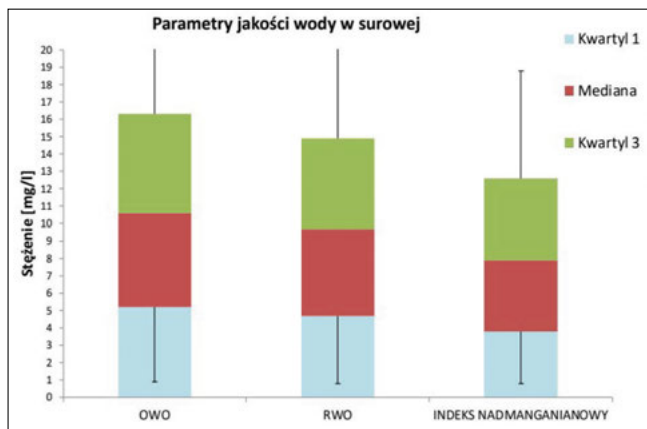
- studnie głębinowe eksploatowane w ujęciu dla miasta Środa Wielkopolska wykazują podwyższony poziom barwy sięgający do 70 mgPt/l
- średni poziom ogólnego węgla organicznego przekracza 5,0 mg/l osiągając najwyższą wartości w studni 7B (6,9 mg C/l),
- rozpuszczony węgiel organiczny mieści się w granicach 4,1 – 6,2 mg/l, co stanowi od 79% do 94% OWO,
- indeks nadmanganianowy zmieniał się w zakresie od 6,0 do 6,2 mg/l,

Tabela. 1. Charakterystyka techniczna oraz miąższość poszczególnych warstw geologicznych dla poszczególnych studni trzeciorzędowych SZW w Środzie Wielkopolskiej

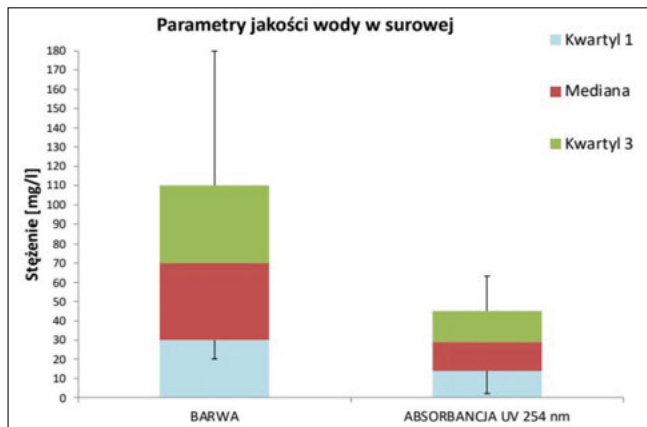
Nr studni	Charakterystyka techniczna							Miąższość warstw geologicznych					
	Rok budowy	Poziom zwierciadła statycznego	Poziom zwierciadła dynamicznego	Wydajność	Depresja całkowita	Wydajność jednostkowa	Czas przesączania	Węgiel brunatny	Węgiel brunatny nad filtrem	Gliny	Iły	Il z gliną	Il z węglem
	rok	[m]	[m]	[m ³ /d]	[m]	[m ³ /hm]	lata	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
7 B	2004	25,58	43,72	480	14,60	1,37	834	14	14	26	52	78	66
1 E	1989	28,36	39,45	600	9,26	2,70	929	7,5	1,5	24	52,5	76,5	60
S2C	1989	29,33	41,48	600	7,49	3,34	348	6,5	1,5	31,1	33	64,1	39,5
12 B	1987	28,55	35,58	480	6,92	2,89	1050	17	1	27	54	81	71
S1 C	1989	27,3	39,35	600	9,29	2,69	725	7	1	38,5	48,5	87	55,5
12 C	1989	28,71	40,54	480	10,70	1,87	997	5	2	27,5	55,5	83	60,5
10 D	1989	26,19	40,22	480	8,16	2,45	787	9	1	27	47,5	74,5	56,5
7 C	1989	26,58	41,8	480	10,99	1,82	797	9	4	24	48,5	72,5	56,5
9AW	1989	20,55	37,17	600	9,51	2,63	668	10	3	16,4	41	57,4	51
S2B	1986	29,05	36,98	600	14,79	1,69	437	5	2	49,3	40	89,3	45
1 D	1986	28,14	40,15	600	8,62	2,90	894	5	1	30,6	51	81,6	56
9 B	1983	18,63	20,86	480	17,70	1,13	1200	12	2	13	61,5	74,5	73,5
9 D	1984	21,13	29,47	600	6,61	3,78	1446	10,5	8	24	57	81	67,5
10 C	1987	26,58	39,51	480	6,92	2,89	1201	8	4	24,5	58	82,5	66
11 B	1992	25,23	40,5	600	12,32	2,03	924	15	6	28	54	82	69
13 AW	1989	27,4	30,39	600	4,64	5,39	744	2,5	2,5	25,6	45,5	71,1	48
Szarytek 2	1990	23,55	38,7	340	15,00	0,94	800	10	5	28,4	47	75,4	57

Tabela. 2. Metody analityczne

Parametr	Metodyka badawcza	Sprzęt
Barwa rzeczywista	PN-EN ISO 7887:2012+Ap1:2015-06.	Spektrometr Cary 50 Producent: Varian
Odczyn	PN-EN ISO 10523:2012 – Jakość wody – – Oznaczenie pH	Pehametr inoLab 730 Producent WTW Pomiarowy i Analityczny Sprzęt Techniczny
OWO BRWO RWO	PN-EN 1484:1999 Analiza wody – – Wytyczne oznaczania ogólnego węgla organicznego (OWO) i rozpuszczonego węgla organicznego (RWO)	Analizator węgla organicznego TOC-L Producent: SHIMADZU
Indeks nadmanganianowy	PN-EN ISO 8467:2001 Jakość wody – Oznaczenie indeksu nadmanganianowego	Biureta cyfrowa Digital III Producent: Merck
Absorbancja UV w 254 nm	PB/PCH-14 wyd. 4 z dnia 01.10.2018 Procedura własna oznaczania absorbancji UV w wodzie.	Spektrometr Cary 50 Producent: Varian



Rys. 3
Charakterystyczne parametry jakości wody surowej



Rys. 4
Charakterystyczne parametry jakości wody surowej

- absorbancja UV w 254 nm, przyjmowała wartości z przedziału 12 – 18 l/m,
- w ujmowanej wodzie nie stwierdzono obecności biodegradowalnego węgla organicznego.

Profile geologiczne każdej studni posłużyły do ustalenia miąższości poszczególnych warstw budujących utwory trzeciorzędowe, tj: całkowitej warstwy węgla brunatnego, warstwy węgla brunatnego zalegającej nad filtrem poszczególnych studni, warstwy gliny, iłów oraz sum ich miąższości. W badaniach wykorzystano wytyczne hydrogeologiczne do prowadzenia optymalnej eksploatacji miejskiego ujęcia w Środzie Wielkopolskiej dotyczące charakterystycznych parametrów technicznych studni tj. wydajności studni jak również depresji opracowanych na podstawie prowadzonych nadzorów geologicznych nad eksploatacją ujęcia (tabela 1).

Uzyskany zbiór zmiennych poddano badaniom korelacji z wykorzystaniem programu Statistica, a zależności między badanymi zmiennymi wyrażono liczbowo współczynnikiem korelacji Pearsona oznaczonego symbolem r_{xy} . Odchylenie skrajnie ujemne oznacza, że im wyższa jest wartość jednej zmiennej, tym niższa dla drugiej, z kolei skrajnie dodatni wynik oznacza, że obie wartości będą rosły lub malały synchronicznie. Należy zwrócić uwagę, że współczynnik korelacji Pearsona wyliczamy, gdy obie zmienne są mierzalne i mają rozkład zbliżony do normalnego oraz zależność je reprezentująca jest prostoliniowa.

Tabela 4. Wskaźnik Pearsona charakteryzujący wpływ miąższości na poszczególne parametry jakości wody

Parametry jakości wody/jednostki	Wartość współczynnika korelacji Pearsona					
	Miąższość poszczególnych warstw geologicznych					
	Węgiel brunatny	Węgiel brunatny nad filtrem	Gliny	Iły	Ił z gliną	Ił z węglem
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
barwa [mg/l Pt]	0,265	0,065	-0,319	0,360	0,008	0,384
OWO [mg/l]	0,047	0,210	-0,305	0,271	-0,057	0,293
RWO [mg/l]	0,049	0,201	-0,033	0,235	0,177	0,200
Indeks nadmanganianowy [mg/l]	0,131	0,252	0,033	0,180	0,191	0,161
Absorbancja UV w 254 nm [1/m]	0,069	0,094	-0,192	0,216	0,004	0,220

Przy interpretacji współczynnika Pearsona należy pamiętać, że wartość współczynnika bliska zeru nie zawsze oznacza brak zależności, a jedynie brak zależności liniowej. W analizie statystycznej wykorzystuje się różne skale zmienności współczynnika Pearsona. W przeprowadzonych analizach korelacji wykorzystano skalę wg Starzyńskiej [20]:

- $r_{xy} \leq 0,2$ niewyraźna,
- $0,2 < r_{xy} \leq 0,4$ wyraźna, ale niska
- $0,4 < r_{xy} \leq 0,7$ umiarkowana,
- $0,7 < r_{xy} \leq 0,9$ znacząca,
- $r_{xy} > 0,9$ bardzo silna.

Proces badawczy realizowano w trzech etapach:

I ETAP obejmował badanie korelacji zachodzących pomiędzy parametrami jakości wody: barwą, OWO, RWO, absorban-

cją UV w 254 nm, indeksem nadmanganianowym, a miąższością warstwy: węgla brunatnego, węgla brunatnego nad filtrem, gliny, iłów, iłu z gliną i iłu z węglem.

II ETAP obejmował badanie korelacji zachodzących pomiędzy parametrami jakości wody: barwą, OWO, RWO, absorbancją UV w 254 nm, indeksem nadmanganianowym, a danymi technicznymi studni tj: wydajnością nominalną oraz jednostkową, depresją poszczególnych studni oraz czasem przesączania.

III ETAP obejmował badanie korelacji zachodzących pomiędzy poszczególnymi parametrami jakości wody, a mianowicie:

- barwą i OWO,
- barwą i RWO,
- barwą i absorbancją UV w 254 nm,
- barwą i indeksem nadmanganianowym,
- OWO i RWO,
- absorbancją i OWO,
- absorbancją i RWO.

Wyniki badań i dyskusja

I ETAP

Wartości wskaźników korelacji Pearsona charakteryzujących wpływ miąższości wybranych warstw geologicznych na po-

szczególne parametry jakości ujmowanej wody przedstawia tabela 4.

Wpływ warstw geologicznych na parametry organiczne:

Badane warstwy geologiczne, takie jak: węgiel brunatny, gliny, iły, ił z gliną, ił z węglem, mają różny wpływ na jakość ujmowanej wody. Ujemne korelacje dla glin z parametrami takimi jak barwa i OWO mogą sugerować, że te warstwy skutecznie adsorbują i usuwają związki organiczne z wody. Taka informacja jest istotna w kontekście oceny możliwości naturalnego oczyszczania wód podziemnych. Dodatnie korelacje między iłami oraz iłem z węglem, a barwą i zawartością OWO wskazują na wyraźnie niską korelację. Zależność ta przekłada się na przeciętny efekt oddziaływania budowy geologicznej na jakość ujmowanej wody – te warstwy mogą przyczyniać się do zwiększenia

obciążenia wody organicznymi zanieczyszczeniami.

II ETAP

Wartości wskaźników korelacji Pearsona charakteryzujących wpływ parametrów technicznych eksploatowanych studni na poszczególne parametry jakości ujmowanej wody przedstawia tabela 5. Ponadto, rezultaty przeprowadzonych badań przedstawiono także na wykresach (rys. 5-10) prezentujących zależności barwy oraz OWO oraz parametrów technicznych studni: wydajność jednostkowa, wydajność nominalna, depresja, czas przesączania.

Tabela 5. Wskaźnik Pearsona charakteryzujący wpływ parametrów technicznych studni na jakość ujmowanej wody

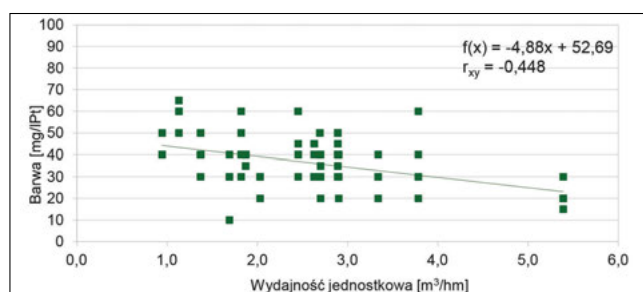
Parametry jakości wody/jednostki	Wartość współczynnika korelacji Pearsona			
	Parametry techniczne studni			
	Aktualna wydajność jednostkowa [m ³ /hm]	Wydajność nominalna [m ³ /h]	Depresja [m]	Czas przesączania [lata]
Barwa [mg/l Pt]	-0,448	-0,478	0,303	0,300
OWO [mg/l]	-0,145	-0,276	0,162	0,099
RWO [mg/l]	-0,187	-0,203	0,164	0,099
Indeks nadmanganianowy [mg/l]	-0,333	-0,518	0,162	0,101
Absorbancja UV w 254 nm [1/m]	-0,358	-0,579	0,044	0,103

Korelacja barwy z aktualną wydajnością jednostkową (-0,448) i wydajnością nominalną (-0,478) sugeruje, że im wyższa wydajność studni tym niższy poziom barwy ujmowanej wody. To może wskazywać, że efektywniejsze studnie skuteczniej eliminują czynniki wpływające na barwę wody. Dodatnia, wyraźna, ale niska korelacja barwy z depresją (0,303) i czasem przesączania (0,300) wskazuje, że większe obniżenie poziomu wody oraz dłuższy czas przesączania mogą nieco zwiększać barwę wody, co może być związane z dłuższym kontaktem wody z podłożem geologicznym.

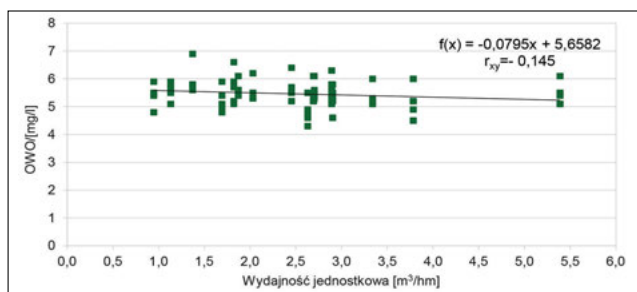
Korelacje dla OWO, RWO i indeksu nadmanganianowego

Wszystkie te parametry wykazują ujemną korelację z aktualną wydajnością jednostkową i wydajnością nominalną, choć różnice są stosunkowo niewielkie, szczególnie dla OWO i RWO. Te parametry jakości wody są mniej wrażliwe na zmiany wydajności studni w porównaniu z barwą. Dodatnie korelacje tych OWO, RWO i indeksu nadmanganianowego z depresją i czasem przesączania są również słabe, co wskazuje, że parametry techniczne studni mają ograniczony wpływ na poziomy tych substancji w ujmowanej wodzie.

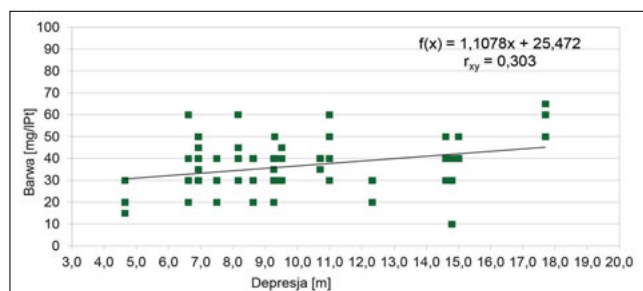
Absorbancja UV: Umiarkowana korelacja z wydajnością nominalną (-0,579) i aktualną wydajnością jednostkową (-0,358) wskazuje, że wyższa wydajność studni zdecydowanie wiąże się z niższymi wartościami absorbancji UV, sugerując efektywniejsze usuwanie substancji organicznych i innych związków wpływających na absorbancję UV. Niewyraźna dodatnia korelacja z depresją (0,044) i czasem przesączania (0,103) pokazuje, że te parametry



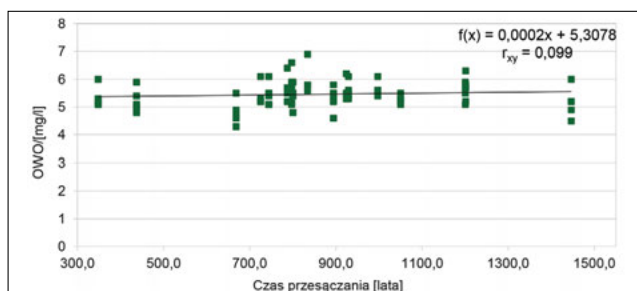
Rys. 5. Zależność barwy i wydajności jednostkowej studni



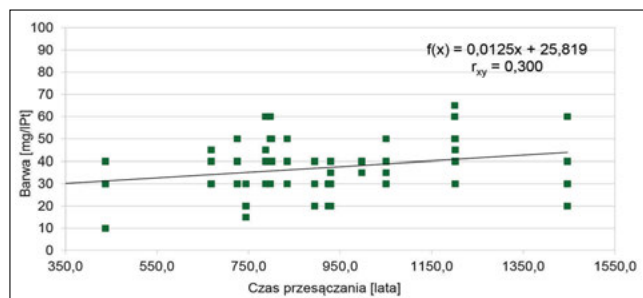
Rys. 8. Zależność OWO i wydajności jednostkowej studni



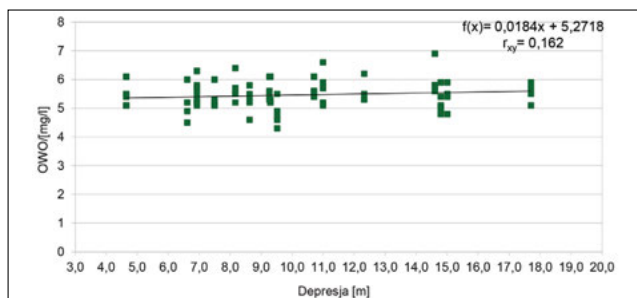
Rys. 6. Zależność barwy i depresji



Rys. 9. Zależność OWO i czasu przesączania



Rys. 7. Zależność barwy i czasu przesączania



Rys. 10. Zależność OWO i depresji

mają znikomy wpływ na absorbancję UV, co może sugerować, że inne czynniki, takie jak charakterystyka wód gruntowych lub rodzaj filtracji, odgrywają większą rolę.

III ETAP

W kolejnym etapie prowadzonych badań przeanalizowano zależności między poszczególnymi parametrami jakości wody, charakteryzującymi zawartość związków organicznych w ujmowanej wodzie z poziomu trzeciorzędowego. Wskaźnik korelacji Pearsona charakteryzujący wzajemne korelacje poszczególnych parametrów charakteryzujących materię organiczną przedstawia tabela 6.

Tabela 6. Wskaźniki Pearsona charakteryzujące wzajemne korelacje poszczególnych parametrów jakości wody

Parametry jakości wody/jednostki	Wartość współczynnika korelacji Pearsona
Barwa [mg/l Pt] /OWO [mg/l]	0,071
Barwa [mg/l Pt] /RWO [mg/l]	-0,003
Barwa [mg/l Pt] /Absorbancja UV w 254 nm [1/m]	0,235
Barwa/Indeks nadmanganianowy [mg/l]	0,281
OWO [mg/l] / RWO [mg/l]	0,828
Absorbancja UV w 254 nm [1/m] /OWO [mg/l]	0,475
Absorbancja UV w 254 nm [1/m] /RWO [mg/l]	0,345

Niewyraźna zależność korelacyjna między barwą a OWO (0,071) oraz RWO (-0,003) może wskazywać na różne mechanizmy wpływające na te parametry, co sugeruje, że barwa próbki może nie być dobrym wskaźnikiem do oceny organicznych zanieczyszczeń w ujmowanej wodzie w średzkiem SZW. Natomiast, wyraźna, ale niska korelacja między barwą a absorbancją UV (0,235) oraz indeksem nadmanganianowym (0,281) wskazuje, że barwa próbki nie jest silnie zależna z poziomami absorbancji UV ani z indeksem nadmanganianowym. Może to sugerować, że barwa jest wynikiem innych czynników niż te, które wpływają na absorbancję UV lub na parametry chemiczne mierzone przez RWO.

Znacząca korelacja pomiędzy parametrem OWO i RWO sugeruje, że oba parametry są dobrą miarą obecności zanieczyszczeń organicznych, a RWO w badanych próbkach stanowił od 79% do 94% w całym OWO.

Umiarkowana korelacja pomiędzy absorbancją UV a OWO (0,475) oraz wyraźna, ale niska pomiędzy absorbancją UV a RWO (0,345), wskazują, iż pomiar absor-

bancji UV może być dobrym wskaźnikiem dla szacowania poziomów zanieczyszczeń organicznych w ujęciach wody dla mieszkańców Środy Wielkopolskiej. Absorbancja UV prawdopodobnie odzwierciedla obecność określonych związków organicznych lub innych substancji wpływających na parametry OWO i RWO.

Pomiar absorbancji UV jest stosunkowo łatwy i tańszy niż pomiar OWO. Wykorzystanie korelacji pomiędzy UV i OWO pozwala w praktykach wodociągowych kontroli jakości ujmowanej wody na efektywne i ekonomiczne szacowanie poziomu OWO z wykorzystaniem parametru zastępczego jakim jest absorbancja UV. Pomiar absorbancji UV w 254 nm jest szczególnie przydatny w kontroli jakości wody oraz w monitoringu środowiskowym.

Wnioski

- Poznanie mechanizmu wpływu warstw geologicznych na jakość wód podziemnych jest kluczowe dla projektowania skutecznych systemów wodociągowych. Informacje te mogą pomóc w lokalizacji nowych ujęć wody, gdzie mniejsze wpływy warstw bogatych w materię organiczną mogą zmniejszać koszty jej uzdatniania.
- Uzyskane wyniki badań w średzkiem SZW sugerują potrzebę bardziej zróżnicowanego podejścia do monitorowania jakości wód podziemnych w zależności od charakterystyki geologicznej danego obszaru.
- Uzyskane wyniki wskazują na konieczność przeprowadzenia dalszych badań, które pozwoliłyby zrozumieć mechanizmy sorpcji i filtracji w różnych warstwach geologicznych. Może to obejmować szczegółowe badania laboratoryjne materiałów geologicznych pod kątem ich zdolności do adsorpcji i retencji związków organicznych i nieorganicznych.
- Zasadne jest także rozwijanie matematycznych modeli predykcji zmiany w jakości wody na podstawie znanych parametrów geologicznych i hydrologicznych. Modele te mogą znacząco przyczynić się do głębszego zrozumienia zależności między budową geologiczną a jakością wód podziemnych, co jest kluczowe dla hydrologii oraz inżynierii środowiska.
- Wydajność studni ma istotny wpływ na jakość ujmowanej wody, szczególnie na poziomy barwy i absorbancji UV, co podkreśla znaczenie odpowiedniego doboru i utrzymania wydajności studni dla zapewnienia dobrej jakości wody zasilającej SZW.

LITERATURA

- [1] www.pgi.gov.pl
- [2] KENNETH P.: Carcinogens in Drinking Water: The Epidemiologic Evidence, Reviews on Environmental Health, 2010, Vol. 25, No. 1, 9–16.
- [3] MCGREGOR D.B.: Genotoxic Chemicals in the Human Environment: Their Identification and Interaction, Methods for Assessing the Effects of Mixtures of Chemicals, 1987, 523–542.
- [4] ZBIĘĆ E., DOJLIDO J.R.: Uboczne produkty dezynfekcji wody. Ochrona Środowiska 1999, nr 3, s. 37–44.
- [5] Zimoch, I., Górka A., "Systemowe podejście do bezpieczeństwa wody w MPECWiK w Środzie Wielkopolskiej z uwzględnieniem generowania ubocznych produktów dezynfekcji wody." Instal 10 (2023) DOI 10.36119/15.2023.10.5.
- [6] Krupińska, I., Swiderska-Bróz, M. Wpływ substancji organicznych na usuwanie związków żelaza z wody w procesach utleniania i sedymentacji. Ochrona Środowiska, 2008, 30(1) 3-7
- [7] OLAŃCZUK-NEYMAN K.: Mikroorganizmy w kształtowaniu jakości i uzdatnianiu wód podziemnych. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2001
- [8] MONTGOMERY J.M.: Water treatment principles and desing. Awiley-Interscience Publication, New York 1985
- [9] Sawiniak, W., et al. "Efekty modernizacji technologii i urządzeń uzdatniania wody podziemnej SUW Leśna w Zabrze." Instal 2 (2014): 59-61.
- [10] Krupińska, I. Potassium permanganate as an oxidizing and flocculating agent in groundwater treatment. Civil and Environmental Engineering Reports, 2011, 6, 75-88
- [11] Krupińska, I. Problemy związane z występowaniem substancji humusowych w wodach podziemnych. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Zielonogórskiego seria Inżynieria Środowiska, 2012, 148(28) 55-67
- [12] Krupińska, I. Przydatność koagulacji w oczyszczaniu wody podziemnej. Annual Set the Environmental Protection, 2012, 491-501
- [13] Krupińska, I., Kowalczyk, W., Szczepaniak, G. Wpływ wartości współczynnika współwystępowania substancji organicznych i żelaza ogólnego w wodzie podziemnej na skuteczność jej oczyszczania. Ochrona Środowiska, 2013, 35(3) 27-34
- [14] Krupińska, I. Effect of the type of aluminium coagulant on effectiveness at removing pollutants from groundwater in the process of coagulation. 22–23 May 2014. Vilnius, Lithuania Selected Papers. Article number: enviro. 2014.082 (Conference proceed – ings; 9)
- [15] Krupińska, I. Wpływ temperatury i pH na skuteczność usuwania zanieczyszczeń wody podziemnej w procesie koagulacji. Ochrona Środowiska, 2015, 37(3) 35-42
- [16] Lytle, D.A., Magnuson, M., Snoeyink, V.L. Effect of oxidants on the properties of Fe (III) particles and suspensions formed from the oxidation of Fe (II). Journal Ameri – can Water Works Association, 2004, 96(8) 112–124.
- [17] Stępiński, L., Kępa, U., Stańczyk-Mazanek, E. The research on the possibility of ultra – sound field application in iron removal of water. Desalination, 2008, 223, 180–186
- [18] Duan, J., Wang, J., Graham, N., Wilson, F. Coagulation of humic acid by aluminium sulphate in saline water conditions. Desalination, 2002 a, 150, 1-14
- [19] Melia, C., Becker, W., Au, K. Removal of humic substances by coagulation. Wat. Sci. Tech. 1999, 40(9), 47-54
- [20] Starzyńska W. Podstawy statystyki, Wydawnictwo Difin, Warszawa (red.) (2009),