

## Analiza wpływu oddziaływania zanieczyszczeń bytowo-komunalnych ze źródeł rozproszonych na jakość wód podziemnych na przykładzie prac zespołu interwencyjnego państwowej służby hydrogeologicznej

Anna Kuczyńska<sup>1</sup>, Rafał Janica<sup>1</sup>

**Analysis of the influence of sewage from diffuse sources on the groundwater quality, exemplified by research results of the Polish Hydrogeological Survey intervention team.** Prz. Geol., 65: 1312–1318.

*Abstract.* On-site wastewater treatment plants are designed to provide individual treatment of household wastewater to standards similar to those provided by municipal waste water treatment plants. In areas lacking sewage systems, they are an ecological alternative to septic tanks, but their correct functioning is determined by several factors, in particular sufficient infiltration parameters of soils and appropriate distance to the groundwater table. Failure to meet the above requirements may lead to disturbances in their functioning resulting in overflowing and, ultimately, pollution of surrounding soil and aquatic environment. This article shows a case study of groundwater pollution from sewage in a commune where over 400 on-site sewage treatment facilities were installed, funded from the EU programmes. During research conducted by the intervention team of the Polish Hydrogeological Survey it was found that the area of investment is characterized by low filtration parameters, and depth to the water table in many cases is limited and does not provide adequate filtration. Impact of the investment on the groundwater quality was demonstrated by analytical studies investigating the presence of microbial agents and pharmaceuticals.

**Keywords:** groundwater, groundwater pollution, on-site wastewater treatment facilities

W 2016 r. do zespołu interwencyjnego (ZI) państwowej służby hydrogeologicznej wpłynęło zgłoszenie od osoby prywatnej skarżącej się na zawilgocenia ścian piwnic domu na jej posesji w wyniku posadowienia na sąsiedniej działce przydomowej oczyszczalni ścieków ze studnią chłonną. Zgodnie z procedurami, ZI wykonał wizję terenową, podczas której ustalono, że przedmiotowa oczyszczalnia najprawdopodobniej nie ma wpływu na położenie zwierciadła wody w bezpośrednim sąsiedztwie domu zgłaszającego interwencję, natomiast ze względu na słabe parametry infiltracyjne gruntu, w którym posadowiona była oczyszczalnia, mogło dochodzić do wybijania ścieków ze studni chłonnej i spływu powierzchniowego w kierunku rzecznej posesji. Przeprowadzona wizja terenowa wykazała, że analizowany przypadek nie był odosobniony. W toku dalszych prac stwierdzono, że w rejonie przeprowadzanej interwencji, w ramach realizacji programu unijnego posadowiono prawie 430 podobnych instalacji, w większości na obszarze wysoczyzny zbudowanym głównie z lessów. Przewidując skutki, jakie dla środowiska gruntowo-wodnego może powodować taka kumulacja potencjalnych ognisk zanieczyszczeń w niekorzystnych warunkach infiltracyjnych, zespół interwencyjny rozpoczął badania ewentualnego wpływu realizacji projektu na jakość wód podziemnych na terenie gminy. Przeprowadzone badania miały na celu ustalenie czy i w jakim stopniu płytkie wody gruntowe występujące na terenie gminy są zanieczyszczone; czy przydomowe oczyszczalnie przyczyniają się do ewentualnego zanieczyszczenia wód gruntowych; oraz czy parametry filtracyjne lessów umożliwiają infiltrację ze studzien chłonnych. Ze względów formalno-prawnych lokalizacja interwencji nie może być ujawniona.

### METODYKA BADAŃ

W celu rozwiązania powyższego problemu zaprojektowano następujące etapy badań:

– prace kameralne, ustalające warunki budowy geologicznej oraz warunki hydrogeologiczne obszaru badań, a także ustalenie potencjalnego zasięgu oddziaływania zidentyfikowanej presji;

– prace terenowe z zakresu wykonania badań geofizycznych w celu ustalenia warunków infiltracyjnych na analizowanym obszarze oraz badania analityczne w zakresie analizy fizyczno-chemicznej i mikrobiologicznej próbek wody w celu ustalenia oddziaływania źródeł zanieczyszczeń na jakość wód podziemnych.

Prace w terenie poprzedziła wizja terenowa, podczas której wybrano i scharakteryzowano obszary do badań geofizycznych oraz miejsca poboru próbek wody (współrzędne, opis, dokumentacja fotograficzna, położenie zwierciadła wody, wywiad środowiskowy). Do analizy geofizycznej wytypowano 4 obszary. Do poboru próbek wody zakwalifikowano łącznie 9 punktów, w tym 3 źródła, 5 studni kopanych oraz 1 obszar w lokalnym obniżeniu terenu, w którym było konieczne wykonanie sondowania badawczego.

### Badania geofizyczne

Badania geofizyczne wykonano dwiema metodami. Ocenę przepuszczalności warstwy przypowierzchniowej, do głębokości maksymalnej ok. 5 m, wykonano przy pomocy badań konduktometrycznych (CGM), które wykonano za pomocą czteropozomowego konduktometru

<sup>1</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; akuc@pgi.gov.pl.

DUALEM-42S, z zastosowaniem automatycznego wyzwalania pomiaru co 1 s, co przełożyło się na krok pomiarowy, wynoszący ok. 1,5 m w zależności od szybkości marszu operatora. Przebieg każdego z profili CGM w terenie wyznaczono za pomocą pomiarów satelitarnych zestawem GPS wbudowanym w aparaturę, z dokładnością do 2 m.

Do określenia wglębnych warunków hydrogeologicznych wykorzystano metodę tomografii elektrooporowej ERT, która pozwoliła na identyfikację występowania skał przepuszczalnych i izolujących do głębokości ok. 30–50 m. Badania wykonano za pomocą wielokanałowej aparatury Terramet LS, a zastosowany krok pomiarowy wynosił 5 m. Badania wykonano układem gradientowym. Łącznie na analizowanym obszarze wykonano 69 profili konduktometrycznych (16 759 m.b.) oraz 18 profilowań metodą tomografii elektrooporowej (11 590 m.b.). Przebieg każdego z profili ERT w terenie wyznaczono za pomocą różnicowych pomiarów satelitarnych metodą GNSS-RTN.

### Badania laboratoryjne

W celu stwierdzenia ewentualnego zanieczyszczenia wód podziemnych, przeprowadzono badania jakości wód w zakresie właściwości fizyczno-chemicznych oraz mikrobiologicznych w wybranych lokalizacjach. Dodatkowo, pobrane próbki wody poddano również analizie na obecność wybranych grup substancji czynnych farmaceutyków. Farmaceutyki ze względu na ich syntetyczny charakter mogą występować w środowisku wodnym jedynie na skutek zanieczyszczenia ze źródeł antropogenicznych. Są tym samym znakomitym markerem tych zanieczyszczeń w środowisku wód podziemnych, zakładając, że są regularnie stosowane w gospodarstwach domowych. Biorąc pod uwagę charakter zagospodarowania terenu, autorzy uznali, że stwierdzenie obecności farmaceutyków w pobranych próbkach wody będzie potwierdzeniem stawianej tezy o zanieczyszczeniu wód ściekami bytowo-komunalnymi.

Badane wskaźniki:

– **fizyczno-chemiczne:** pH, PEW, zasadowość ogólna, HCO<sub>3</sub>, barwa, TOC, F, Cl, Br, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, P, PO<sub>4</sub>, HPO<sub>4</sub>, SO<sub>4</sub>, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, Cr, Li, Be, Al, V, Co, Ni, Cu, As, Se, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Tl, Pb, U, B, Ba, SiO<sub>2</sub>, Sr, Ti i Zn;

– **mikrobiologiczne:** liczba bakterii grupy coli; liczba enterokoków kałowych oraz liczba *Escherichia coli*;

– **substancje czynne farmaceutyków:** estron, estriol, 17alfa-etynyloestradiol, 17beta-estradiol, testosteron, nadolol, metoprolol, pindolol, propranolol, terbutalina, salbutamol, diklofenak, ibuprofen, ketoprofen, naproksen, paracetamol, flurbiprofen, doksepina, imipramina, klomipramina, karbamazepina, sulfadiazyna, sulfadimetoksyna, sulfachloropirydazyna, sulfamerazyna, sulfametazyna, sulfametoksazol, sulfapirydyna, sulfatiazol, enrofloksacyna, trimetoprim.

Próbki wody pobierano za pomocą pompki akumulatorowej typu gigant, teflonowych próbników jednorazowych z zaworem dolnym oraz bezpośrednio naczyniem PE (ze źródła). W celu poboru próbki wody z obszaru depresji wykonano sondowanie badawcze do głębokości ok. 2,0 m zestawem do wierceń ręcznych ze świdrem okienkowym o średnicy 66 mm. Na czas poboru próbki otwór zafiltrowano tymczasowo filtrem PE o średnicy 32 mm ze szczelinami 0,2 mm. Próbkę pobrano przewodem teflonowym

o średnicy 10 mm z zaworem kulowym zwrotnym ze stali nierdzewnej.

Pomiary terenowe (przewodnictwo, pH, temperatura) wykonano przy użyciu mierników SLANDI skalibrowanych bezpośrednio przed pomiarami.

Próbki wody na zawartość anionów i kationów pobierano do pojemników plastikowych o pojemności od 30 do 200 ml, dostarczonych przez Centralne Laboratorium Chemiczne PIG-PIB, w którym wykonano analizy laboratoryjne. Próbki wody na zawartość składników mikrobiologicznych analizowano w Wojewódzkiej Stacji Sanitarno-Epidemiologicznej. Do tego celu próbki wody pobrano do odpowiednich sterylnych szklanych butelek o pojemności 500 ml. Próbki wody na zawartość farmaceutyków pobierano do trzech szklanych butelek ze szkła aptecznego o pojemności 1 litra. Analizy chemiczne wykonano na Wydziale Chemii Uniwersytetu Gdańskiego w Pracowni Analityki i Monitoringu Środowiska przy pomocy metod chromatografii gazowej i cieczowej, zgodnie z udokumentowanymi metodami badawczymi (Caban i in., 2012, 2015; Borecka i in., 2015). Butelki z próbkami wody transportowano do laboratoriów w pojemnikach termicznych wyposażonych we wkłady chłodzące. Próbki na badania mikrobiologiczne dostarczano do laboratorium tego samego dnia, a na pozostałe wskaźniki – w ciągu 24 godzin od poboru próbki wody.

## WYNIKI BADAŃ

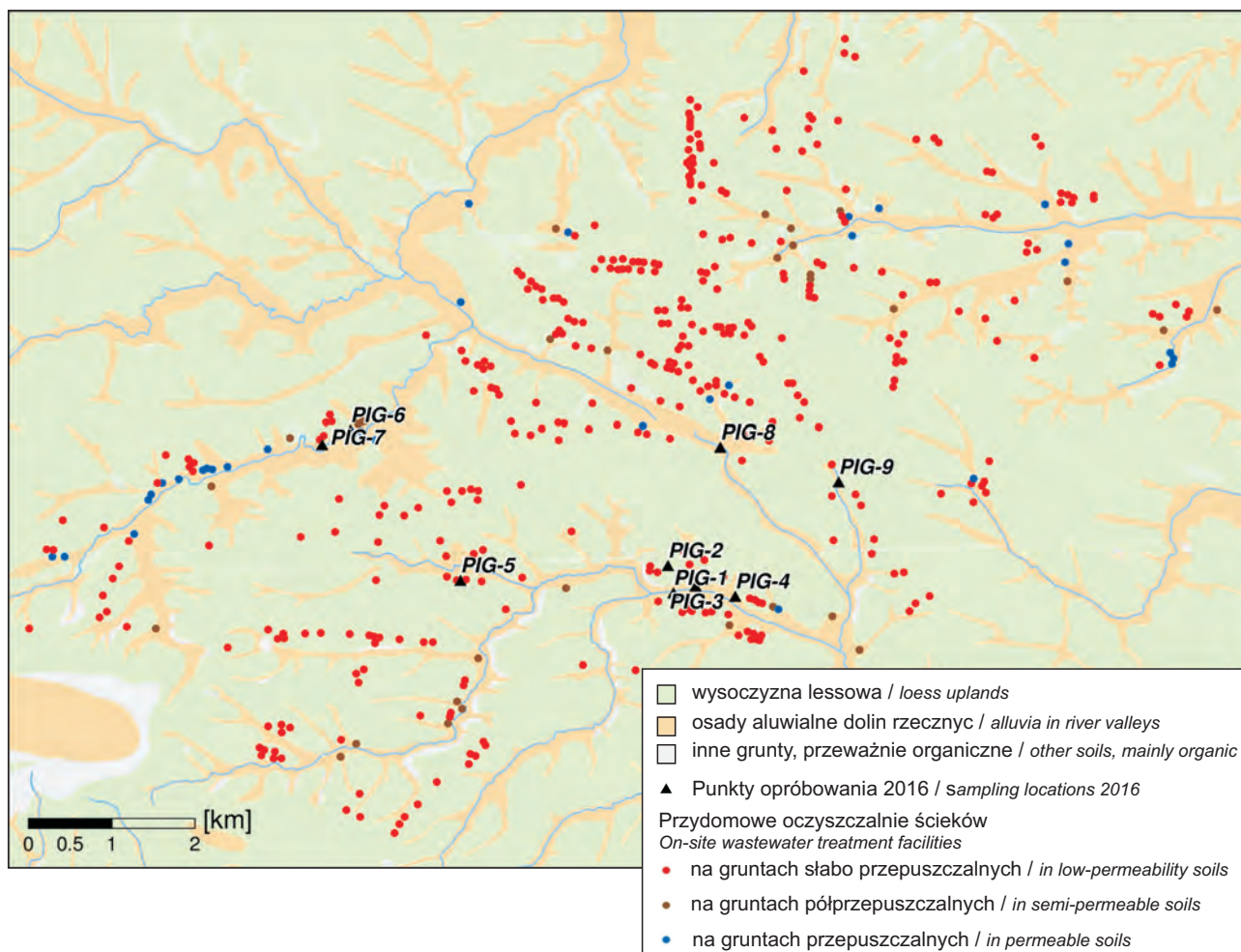
### Charakterystyka obszaru badań

Powierzchnia gminy wynosi ok. 80 km<sup>2</sup>, a oczyszczalnie są zlokalizowane na całym jej obszarze. Analiza przestrzenna ich lokalizacji, przeprowadzona na podkładzie Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski w skali 1 : 50 000, wykazała, że ok. 85% z nich znajduje się na obszarze wysoczyzny lessowej (ryc. 1). Pozostałe posadowiono na obszarze zajmowanym przez aluwia cieków powierzchniowych odwadniających ten obszar.

Pod względem hydrogeologicznym obszar ma stosunkowo prostą budowę. Pod nakładem lessów, o miąższości dochodzącej do 30 m, występują nawodnione piaskowce triasowe oraz jurajskie skały węglanowe. W dolinach cieków głęboko rozcinających wysoczyznę znajdują się niezbyt rozległe obszary występowania aluwialnego poziomu czwartorzędowego (o podrzędnym znaczeniu użytkowym).

Na znacznych obszarach gminy nie występują poziomy wodonośne o znaczeniu użytkowym, należy jednak zaznaczyć, że znajdują się tam studnie gospodarskie (kopane), ujmujące płytkie wody gruntowe (infiltracyjne). W dolinach można zaobserwować źródła, które najprawdopodobniej są zasilane zarówno przez płytkie wody infiltracyjne, jak i ascenzyjnie przez wody wglębne (mogą o tym świadczyć stwierdzone podczas badań terenowych różnice w temperaturze wód oraz ich mineralizacji).

Jakość wody na analizowanym obszarze nie jest rozpoznana. W gminie nie są zlokalizowane żadne punkty monitoringu krajowego, umożliwiające ocenę jakości wód podziemnych. Według ostatnich dostępnych danych z 2015 r. (Palak-Mazur i in., 2016), stan chemiczny jednolitej części wód podziemnych, w której znajduje się obszar badań, jest dobry. Obszaru tego nie wskazano również jako zagrożonego nieosiągnięciem celów środowiskowych w aktualizacji Planów Gospodarowania Wodami na lata 2016–2021 (Rozporządzenie, 2016).



**Ryc. 1.** Lokalizacja przydomowych oczyszczalni ścieków na tle zgeneralizowanej budowy geologicznej rejonu badań  
**Fig. 1.** Locations of on-site wastewater treatment facilities against a generalised geologic map of the research area

### Wyniki badań geofizycznych

Analityczną część wyników badań geofizycznych przedstawiono na przekrojach elektrooporowych dla metody ERT (ryc. 2) oraz mapach rozkładu oporności dla 5 poziomów głębokościowych dla metody GCM (ryc. 3). Oporności te uzyskano na drodze inwersji danych pomiarowych, a skala głębokościowa odpowiada rzeczywistej głębokości w ośrodku gruntowym (położenie granic i anomalii jest związane z rozdzielczością pionową metody). Na podstawie uzyskanych rozkładów oporności dokonano interpretacji geologicznej budowy wgłębszej.

Można stwierdzić, że w warstwie przypowierzchniowej występują utwory półprzepuszczalne (gliny piaszczyste i lessy), poniżej utwory słabo przepuszczalne (iły lub lessy o zwiększonej zawartości frakcji ilowej), w spągowej części średniooporowe mułowce lub wysokooporowe piaszkowce. Na podstawie tych badań omówiono warunki hydrogeologiczne w każdym z punktów poboru.

### Wyniki badań fizyczno-chemicznych

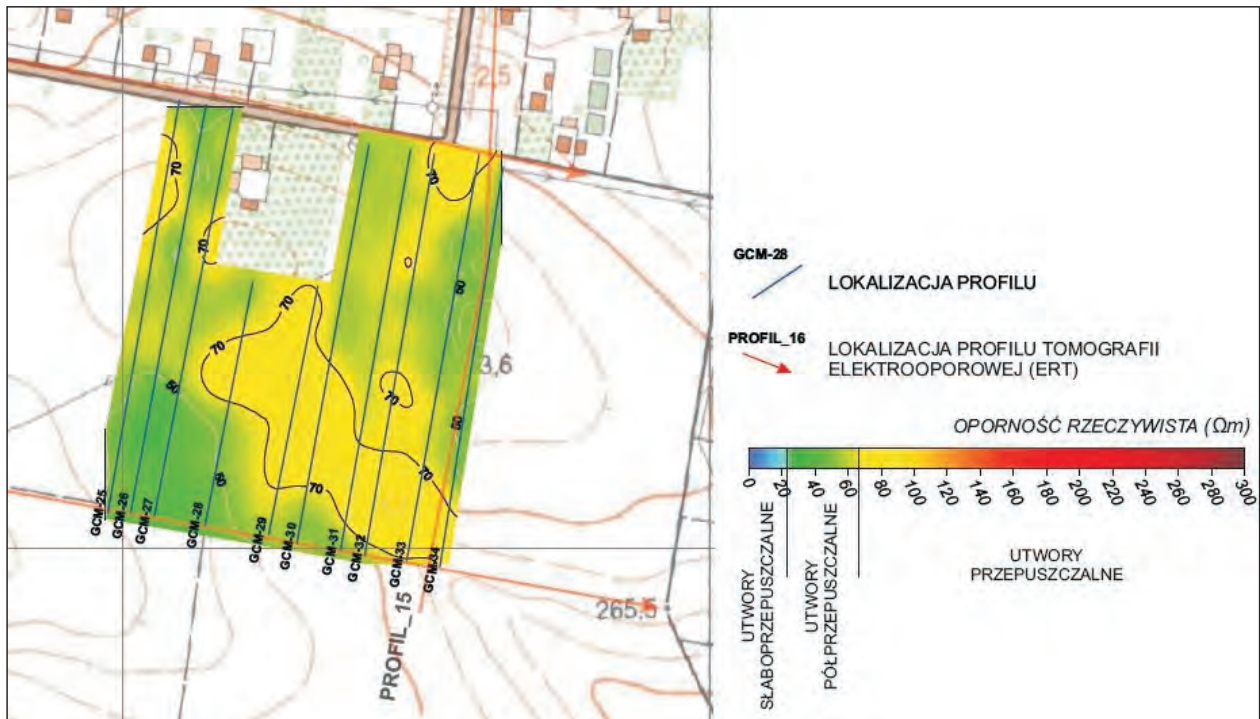
Kontrolę jakości danych fizyczno-chemicznych wykonano na podstawie analizy bilansu jonowego. Otrzymane błędy analizy dla 8 próbek wahały się od 0,1 do 2,3%. Ze względu na wysoką barwę i dużą ilość zawiesiny, badaniom fizykochemicznym nie poddano próbki wody z sondowania badawczego.

Według klasyfikacji Szczukariewa–Prikłońskiego, większość próbek wody zaklasyfikowano do wód trójskładnikowych, w których dominującymi makroskładnikami były jony  $\text{HCO}_3^-$ , Ca i Mg. Jedynie w punkcie poboru PIG-9 stwierdzono wodę dwuskładnikową typu C–Ca, a w punkcie PIG-5 typ chemiczny wody określono jako  $\text{HCO}_3^-$ –Cl–Ca–Mg.

Analiza właściwości fizyczno-chemicznych wg Rozporządzenia Ministra Środowiska (Rozporządzenie, 2015) wykazała, że jakość wód w punktach poboru kształtuje się w granicach stężeń od III do V klasy jakości, wskazując na to, że wody te są pod wpływem oddziaływania antropogenicznego. Wskaźniki, które najczęściej determinowały jakość wód w punktach na poziomie powyższych klas to: azotany, uran, potas, nikiel, arsen oraz chlor. Maksymalne stężenia tych wskaźników stwierdzono na poziomie  $62 \text{ mg NO}_3/\text{dm}^3$ ,  $0,056 \text{ mg U}/\text{dm}^3$ ,  $67,65 \text{ mg K}/\text{dm}^3$ ,  $0,035 \text{ mg Ni}/\text{dm}^3$ ,  $0,03 \text{ mg As}/\text{dm}^3$  i  $377 \text{ mg Cl}/\text{dm}^3$ . W przypadku niektórych wskaźników stwierdzono również podwyższone stężenia o charakterze geogenicznym (wapń, magnez, wodorowęglany i żelazo).

### Wyniki badań mikrobiologicznych

Badania mikrobiologiczne obejmowały trzy składniki: bakterie grupy coli, enterokoki kałowe oraz bakterie *Escherichia coli*. Bakterie grupy coli mogą świadczyć o zanieczyszczeniu odchodami ludzkimi, ale nie są jednoznacznym wskaźnikiem zanieczyszczeń bytowych, gdyż



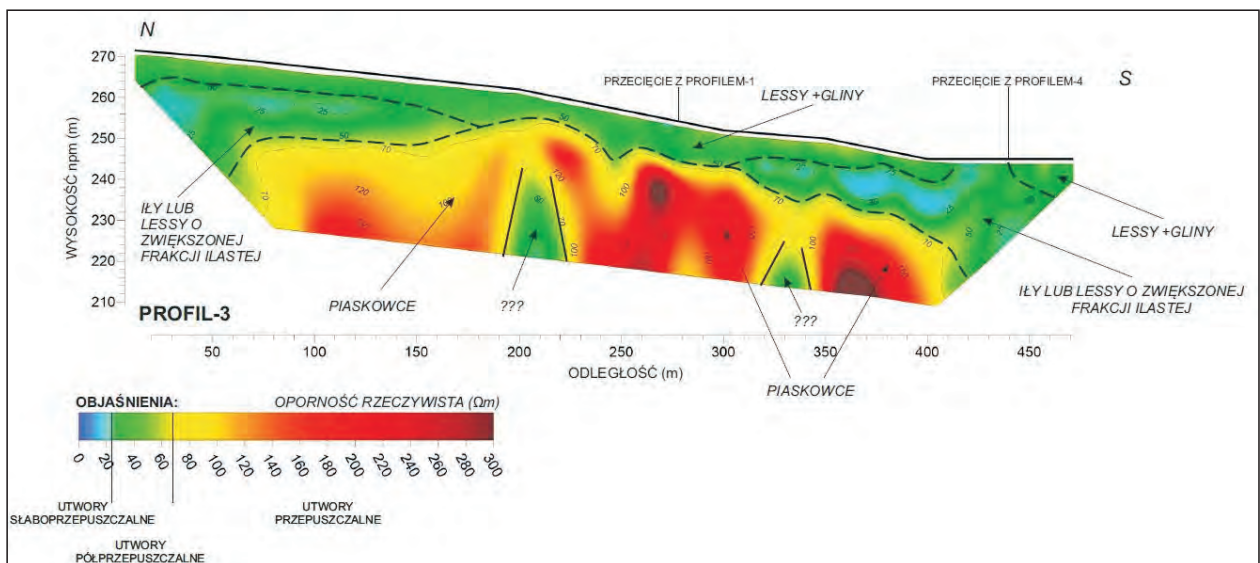
Ryc. 2. Przykładowy profil tomografii elektrooporowej dokumentujący budowę wgłębną w rejonie badań  
 Fig. 2. Sample of an electro-resistivity tomography profile documenting deep geology of the study area

mogą występować również w wodach bogatych w substancje organiczne. Ważnym wskaźnikiem zanieczyszczenia ściekami komunalnymi są bakterie *Escherichia coli*, które są bakteriami kałowymi i których żywotność w wodzie nie jest długa. Ich obecność w wodzie jest zatem świadectwem świeżego zanieczyszczenia odchodami. Enterokoki kałowe (paciorkowce) przeżywiają w wodzie dłużej, a ich obecność świadczy o dawnym, bądź trwającym zanieczyszczeniu kałem ludzkim.

Spośród wszystkich 9 próbek, jedynie w jednej próbce nie stwierdzono żadnych z badanych wskaźników mikrobiologicznych. Bakterie grupy coli odnotowano w 8 na 9 badanych próbek, bakterie *Escherichia coli* – w 6, a enterokoki kałowe – w 4 próbkach.

### Wyniki badań na obecność farmaceutyków

Badania na zawartość farmaceutyków wykazały obecność tych związków w 6 z 9 próbek. Wśród analitów, które wykryto było 9 substancji czynnych, w tym leki przeciwbólowe / przeciwzapalne – naproksen, flubriprofen; leki antydepresyjne – doksepina i imipramina; lek przeciwepileptyczny – karbamezapina; oraz leki o działaniu przeciwbakteryjnym – sulfadiazyna, sulfadimetoksyna, sulfametazyna oraz sulfametoksazol. Stężenia analitów wahały się od wartości poniżej granicy oznaczalności do 252 ng/dm<sup>3</sup>. Maksymalne wykryte stężenie dotyczyło leku przeciwepileptycznego – karbamezapiny. Ze względu na cel analizy, którym było stwierdzenie obecności ścieków bytowo-go-



Ryc. 3. Przepuszczalność strefy przypowierzchniowej w rejonie punktów opróbowania (głęb. 4,0 m) w obrazie badań konduktometrycznych (GCM)

Fig. 3. Permeability of the upper soil layer (up to 4 m depth) in the area of sampling based on conductivity measurements

spodarczych w wodach podziemnych, wysokość stężeń badanych analitów nie miała znaczenia. Nie ma obecnie żadnych norm jakości, określających dopuszczalne stężenia tych substancji w wodach podziemnych, a ich obecność w jakimkolwiek stężeniu traktowana jest jako marker oddziaływania presji antropogenicznej. W analizie wyników uwzględniono więc wyniki oznaczeń poniżej granicy oznaczalności metody (<MQL). Informują one o wykryciu badanej substancji, lecz jej stężenie jest tak niskie, że nie można go stwierdzić na oczekiwanym poziomie wiarygodności pomiaru. Wśród wszystkich pozytywnych wyników, oznaczenia na poziomie <MQL stanowiły 20% i dotyczyły doksepiny i imipraminy. Wartości MQL dla obydwu analitów wynoszą 5 ng/dm<sup>3</sup>. Granice oznaczalności dla pozostałych parametrów zaprezentowano w tabeli 1.

### INTERPRETACJA WYNIKÓW W PUNKTACH POBORU PRÓBEK WODY

Interpretację wyników przeprowadzonych badań geofizycznych i analitycznych omówiono równocześnie dla każdej z 9 lokalizacji poboru próbek celem identyfikacji zależności między obszarem zasilania wody i jej jakością w punktach poboru próbek.

#### Punkt poboru PIG-1 (źródło)

W rejonie poboru próbki pod cienką warstwą lessów o miąższości ok. 5 m występują utwory wodonośne. Są to najprawdopodobniej nawodnione triasowe piaskowce i ich zwierzeliny. Jest bardzo prawdopodobne, że opróbowane źródło jest zasilane również ascensyjnie z tej warstwy wodonośnej. Stropowa partia lessów wykazuje duże wartości oporności rzeczywistej (30–70 Ωm), co wskazuje na znaczne zwietrzienie, a co za tym idzie dobrą przepuszczalność. Można więc założyć, że wody infiltracyjne również biorą udział w zasilaniu źródła.

Analiza wskaźników fizyczno-chemicznych przeprowadzona na podstawie wytycznych Rozporządzenia Ministra Środowiska (DzU 2016 nr 0, poz. 85) wykazała, że jakość wody w tym punkcie klasyfikuje się na poziomie III klasy jakości. Wskaźniki, które przyczyniły się do klasyfikacji jakości wody w tej klasie to HCO<sub>3</sub>, Ca, Fe, Mn oraz As, a ich stężenia wynosiły odpowiednio 473 mg HCO<sub>3</sub>/dm<sup>3</sup>, 138,6 mg Ca/dm<sup>3</sup>, 3,25 mg Fe/dm<sup>3</sup>, 0,71 mg Mn/dm<sup>3</sup> oraz 0,03 mg As/dm<sup>3</sup>. Badania mikrobiologiczne wykazały obecność bakterii grupy coli oraz enterokoków kałowych w próbce. Bakterii *Escherichia coli* nie wykryto. Dodatkowo, w próbce wykryto sulfadimetoksynę, która jest antybiotykiem, stosowanym zarówno w medycynie, jak i weterynarii. Powyższe świadczy o zanieczyszczeniu wody podziemnej ściekami komunalnymi w punkcie poboru PIG-1.

#### Punkt poboru PIG-2 (studnia kopana)

Opróbowana studnia ujmuje wody występujące w zawnodnionych piaskowcach triasowych i ich zwierzelinach. Znajdują się one pod warstwą lessów ok. 15-metrowej miąższości, zwierzelnych w stropie. Studnia ta jest zasilana głównie przez wody dopływające z wysoczyzny, oraz w niewielkim zakresie przez infiltrację wód opadowych.

Próbkę pobrano ze studni kopanej o głębokości 21,7 m. Poziom zwierciadła wody stwierdzono na głębokości 20,3 m p.p.t. Analiza wskaźników fizyczno-chemicznych

**Tab. 1.** Granice oznaczalności analizowanych substancji czynnych farmaceutyków

**Table 1.** Limits of quantification for analysed active substances of pharmaceuticals

Lp. No.	Nazwa związku Pharmaceutical	Granica wykrywalności metody Method detection limit MDL [ng/dm <sup>3</sup> ]	Granica oznaczalności metody Method quantification limit MQL [ng/dm <sup>3</sup> ]
1	estron	1,0	5
2	estriol	1,0	5
3	17alfa-etynioestradiol	5,0	10
4	17beta-estradiol	1,0	5
5	testosteron	10,0	30
6	pindolol	5,0	10
7	metoprolol	0,3	1
8	nadolol	0,3	1
9	propranolol	1,0	5
10	terbutalina	1,0	5
11	salbutamol	1,0	5
12	diklofenak	1,0	5
13	ibuprofen	1,0	5
14	ketoprofen	1,0	5
15	naproksen	1,0	5
16	paracetamol	1,0	5
17	flurbiprofen	1,0	5
18	doksepina	1,0	5
19	imipramina	1,0	5
20	klomipramina	5,0	10
21	karbamazepina	0,3	1
22	sulfadiazyna	0,3	1
23	sulfadimetoksyna	0,3	1
24	sulfachloropirydazyna	0,3	1
25	sulfamerazyna	0,3	1
26	sulfametazyna	0,3	1
27	sulfametoksazol	0,3	1
28	sulfapirydyna	0,3	1
29	sulfatiazol	0,3	1
30	enrofloksacyna	1,0	5
31	trimetoprim	0,3	1

wykazała podwyższone stężenia azotanów i uranu na poziomie odpowiednio 41,5 mg NO<sub>3</sub>/dm<sup>3</sup> i 0,01 mg U/dm<sup>3</sup>. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska (Rozporządzenie, 2015) próbkę wody z tego punktu należy zaklasyfikować do III klasy jakości. Badania mikrobiologiczne wykazały obecność bakterii grupy coli oraz enterokoków kałowych w próbce. Bakterii *Escherichia coli* nie wykryto, podobnie jak żadnych substancji czynnych farmaceutyków. Obecność enterokoków kałowych świadczy o zanieczyszczeniu wody podziemnej ściekami komunalnymi w punkcie poboru PIG-2.

#### Punkt poboru PIG-3 (studnia kopana)

Punkt znajduje się w rejonie skłonu wysoczyzny, nie można wykluczyć, że w obrębie koluwiów, co powoduje, że w zasilaniu tego źródła większą rolę pełnią wody infiltrujące.

Próbkę pobrano ze studni kręgowej, w której bije źródło. Poziom zwierciadła wody stwierdzono na głębokości 0,28 m p.p.t. Analiza wskaźników fizyczno-chemicznych wykazała podwyższone stężenia wodorowęglanów na poziomie 365 mg  $\text{HCO}_3/\text{dm}^3$ , azotanów – 68 mg  $\text{NO}_3/\text{dm}^3$ , potasu na – 21,8 mg  $\text{K}/\text{dm}^3$ , uranu – 0,0092 mg  $\text{U}/\text{dm}^3$  oraz podwyższone w stosunku do tła hydrogeochemicznego stężenie jonu amonowego na poziomie 0,8 mg  $\text{NH}_4/\text{dm}^3$ . Ze względu na wysokie stężenie potasu, próbkę wody zaklasyfikowano do V klasy jakości. Wszystkie wymienione wyżej jony są uważane za wskaźniki zanieczyszczeń bytowo-komunalnych. Badania mikrobiologiczne wykazały obecność w próbce zarówno bakterii grupy coli, enterokoków kałowych, jak i *Escherichia coli*, co świadczy o obecności świeżego i trwałego zanieczyszczenia kałem ludzkim. Na obecność świeżego zanieczyszczenia bytowo-komunalnego wskazują również podwyższone stężenia  $\text{NH}_4$  i  $\text{NO}_3$ . W próbce dodatkowo wykryto sulfametazynę stosowaną jako antybiotyk ludzki i weterynaryjny (w hodowli pogłowa). Powyższe świadczy o zanieczyszczeniu wody podziemnej ściekami komunalnymi w punkcie poboru PIG-3.

#### Punkt poboru PIG-4 (ujęte źródło)

Punkt zlokalizowany u podnóża wysoczyzny. Próbkę pobrano z cembrowiny ujmującej wywierzyisko. Analiza wskaźników fizyczno-chemicznych wykazała podwyższone stężenia azotanów, wapnia i uranu na poziomie odpowiednio 31,7 mg  $\text{NO}_3/\text{dm}^3$ , 103,9 mg  $\text{Ca}/\text{dm}^3$  oraz 0,019 mg  $\text{U}/\text{dm}^3$ . Próbkę wody zaklasyfikowano do III klasy jakości. Badania mikrobiologiczne wykazały obecność w próbce zarówno bakterii grupy coli, enterokoków kałowych jak i *Escherichia coli*. W próbce dodatkowo wykryto flubriprofen, stosowany jako lek o działaniu przeciżapalnym, przeciwbólowym i przeciwgorączkowym. Powyższe świadczy o zanieczyszczeniu wody podziemnej ściekami komunalnymi w punkcie poboru PIG-4.

#### Punkt poboru PIG-5 (studnia kopana)

Studnia ujmuje wody występujące w triasowych piaskowcach i ich zwietrzelinach, znajdujących się pod pakietem lessów o miąższości ok. 10–15 m. Jest zasilana głównie wodami dopływającymi z kierunku kulminacji wysoczyzny, która jest zbudowana z lessów zwietrzałych (przepuszczalnych) w stropowym przelocie – do ok. 3–4 m p.p.t. Próbkę wody pobrano ze studni kopanej o głębokości 10,3 m. Jest ona zlokalizowana na wysokiej skarpie (różnica poziomów wynosi ok. 10 m) o dużym nachyleniu w stosunku do rzeki oddalonej o ok. 50 m, a głębokość do zwierciadła wody – 6,55 m. Analiza wskaźników fizyczno-chemicznych wykazała podwyższone stężenia wodorowęglanów na poziomie 443 mg  $\text{HCO}_3/\text{dm}^3$ , azotanów – 38,1 mg  $\text{NO}_3/\text{dm}^3$ , wapnia – 163,3 mg  $\text{Ca}/\text{dm}^3$ , niklu – 0,035 mg  $\text{Ni}/\text{dm}^3$  oraz uranu – 0,01 mg  $\text{U}/\text{dm}^3$ . Próbkę wody zaklasyfikowano do IV klasy jakości. Badania mikrobiologiczne wykazały obecność w próbce zarówno bakterii grupy coli, enterokoków kałowych, jak i *Escherichia coli*. Dodatkowo w próbce wykryto naproksen (lek o działaniu przeciżapalnym, przeciwbólowym i przeciwgorączkowym), sulfametoksazol (antybiotyk) oraz śladowe ilości doksepiny i imipraminy (leki antydepresyjne). Powyższe

świadczy o zanieczyszczeniu wody podziemnej ściekami komunalnymi w punkcie poboru PIG-5.

#### Punkt poboru PIG-6 (studnia kopana)

Na kierunku dopływu wód studni do głębokości ponad 30 m nie stwierdzono występowania poziomu wodonośnego. Sama studnia ujmuje najprawdopodobniej aluwia o ograniczonym rozprzestrzenieniu. Próbkę wody pobrano ze studni kopanej o głębokości 5,1 m w odległości do rzeki ok. 50 m. Zwierciadło wody stwierdzono na głębokości 3,55 m. Analiza wskaźników fizyczno-chemicznych wykazała podwyższone stężenia azotanów na poziomie 33,7 mg  $\text{NO}_3/\text{dm}^3$ , wodorowęglanów – 462 mg  $\text{HCO}_3/\text{dm}^3$ , wapnia – 156,2 mg  $\text{Ca}/\text{dm}^3$ , potasu – 12,9 mg  $\text{K}/\text{dm}^3$  oraz uranu 0,025 mg  $\text{U}/\text{dm}^3$ . Próbkę wody zaklasyfikowano do III klasy jakości. Badania mikrobiologiczne oraz badania na zawartość substancji czynnych farmaceutyków nie wykazały obecności żadnych mikroorganizmów ani substancji farmaceutycznych. Powyższe nie świadczy jednoznacznie o zanieczyszczeniu wody podziemnej ściekami komunalnymi w punkcie poboru PIG-6, ale ze względu na stężenia azotanów i potasu nie można tego wykluczyć.

#### Punkt poboru PIG-7 (studnia kopana)

Stwierdzona sytuacja jest podobna do tej z punktu PIG-6. Studnia ta również ujmuje piaszczyste aluwia. Próbkę wody pobrano ze studni kopanej o głębokości 2,5 m w odległości do rzeki ok. 5 m. Zwierciadło wody w studni na głębokości 0,55 m. Analiza wskaźników fizyczno-chemicznych wykazała wysokie stężenia wodorowęglanów na poziomie 468 mg  $\text{HCO}_3/\text{dm}^3$ , azotanów – 43,9 mg  $\text{NO}_3/\text{dm}^3$ , wapnia – 121 mg  $\text{Ca}/\text{dm}^3$ , niklu – 0,015 mg  $\text{Ni}/\text{dm}^3$ , uranu – 0,0535 mg  $\text{U}/\text{dm}^3$  oraz bardzo wysokie stężenia potasu na poziomie 67,7 mg  $\text{K}/\text{dm}^3$ . Ze względu na wysokie stężenie potasu, próbkę wody zaklasyfikowano do V klasy jakości. Badania mikrobiologiczne wykazały obecność bakterii grupy coli. W próbce nie stwierdzono obecności żadnych substancji farmaceutycznych. Powyższe nie świadczy jednoznacznie o zanieczyszczeniu wody podziemnej ściekami komunalnymi w punkcie poboru PIG-7, ale ze względu na stężenia azotanów i potasu oraz obecność metali nie można tego wykluczyć.

#### Punkt poboru PIG-8 (sondowanie badawcze)

Próbkę pobrano z przewarstwienia piaszczystego o niewielkiej miąższości znajdującego się na głębokości ok. 1,0 m, pod utworami deluwialnymi z dużą domieszką substancji organicznej, w lokalnym obniżeniu terenu. W podłożu występują lessy i iły leżące na mułowcach, w których najprawdopodobniej występują jedynie wkładki wodonośnych piaskowców. Ujęte wody pochodzą bezpośrednio z infiltracji i zasilają niewielkie cieki mające początek w tej okolicy. Analizy wskaźników fizyczno-chemicznych nie przeprowadzono dla tej próbki ze względu na dużą zawartość zawiesiny w próbce i braku możliwości jej odpowiedniego przefiltrowania w terenie. Badania mikrobiologiczne wykazały obecność bakterii grupy coli. W próbce stwierdzono również obecność naproksenu (leku o działaniu przeciżapalnym i przeciwbólowym). Powyższe świadczy o zanieczyszczeniu wody podziemnej ściekami komunalnymi w punkcie poboru PIG-8.

### Punkt poboru PIG-9 (źródło)

Opróbowane źródło daje początek niewielkiemu ciekowi. Jest ono zasilane wodami, które infiltrują na obszarze wysoczyzny zbudowanej z lessów, które w stropowych partiach są zwietrzałe i dzięki temu mogą przewodzić wody gruntowe.

Miejsce poboru próbki leży w niedalekiej odległości od drogi krajowej. Analiza wskaźników fizyczno-chemicznych wykazała wysoką przewodność elektrolityczną (2038  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) i wysokie stężenia chlorków (377 mg Cl/dm<sup>3</sup>). Stężenie wodorowęglanów wynosiło 482 mg HCO<sub>3</sub>/dm<sup>3</sup>, wapnia – 276,5 mg Ca/dm<sup>3</sup>, magnezu – 64,3 mg Mg/dm<sup>3</sup>, niklu – 0,025 mg Ni/dm<sup>3</sup>, a uranu – 0,0564 mg U/dm<sup>3</sup>. Próbkę wody zaklasyfikowano do IV klasy jakości. Badania mikrobiologiczne wykazały obecność w próbce zarówno bakterii grupy coli, enterokoków kałowych, jak i *Escherichia coli*. W próbce dodatkowo wykryto karbamezapinę (lek psychotropowy) i sulfadiazynę (antybiotyk). Powyższe świadczą o zanieczyszczeniu wody podziemnej ściekami komunalnymi w punkcie poboru PIG-9.

### PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić powszechne zanieczyszczenie wód podziemnych ściekami bytowo-komunalnymi w badanym rejonie. Badania laboratoryjne wykazały obecność zarówno zanieczyszczeń mikrobiologicznych, jak i farmaceutyków w łącznej liczbie 7 z 9 pobranych próbek wody. Jest bardzo prawdopodobne, że stwierdzone zanieczyszczenie wód podziemnych wynika ze stosowanego powszechnie sposobu oczyszczania i zagospodarowania ścieków bytowych za pomocą przydomowych oczyszczalni ścieków.

Prace przeprowadzone podczas tej interwencji wykazały, że budowa geologiczna obszaru inwestycji i występujące tu warunki hydrogeologiczne nie pozwalały na przeprowadzenie inwestycji na taką skalę, co doprowadziło do zanieczyszczenia wód podziemnych w poziomie wód gruntowych. Mimo tego, że na badanym obszarze poziom wód gruntowych z formalnego punktu widzenia nie spełnia warunków poziomu użytkowego, do którego stosuje się przepisy prawa warunkujące zasady posadowienia przydomowych oczyszczalni ścieków, to stanowi on istotne źródło zaopatrzenia w wodę lokalnej ludności. Na podstawie przeprowadzonego wywiadu wiadomo, że wszystkie opróbowane studnie kopane i ujęte źródła stanowiły źródło zaopatrzenia w wodę dla lokalnej ludności lub trzody chlewnej.

Aby korzystanie z tego typu instalacji było bezpieczne dla środowiska i ludzi, miejsce wprowadzania oczyszczonych ścieków do ziemi powinno być oddzielone warstwą gruntu o miąższości co najmniej 1,5 m od najwyższego faktycznie użytkowanego, a nie użytkowego poziomu wodonośnego wód podziemnych, jak stanowią obowiązujące przepisy prawa (Rozporządzenie, 2014). Grunty, do których następuje rozsączkowanie, powinny charakteryzować się odpowiednią przepuszczalnością, aby nie dochodziło do wybijania nieczystości na skutek przepełnienia studni chłonnych czy systemów rozsączkujących. Oczywiście ważne jest też, aby bezwzględnie zachowany był reżim techniczny korzystania z tego typu urządzeń (stosowanie odpowiednich biopreparatów, czyszczenie,

przeeglądy itp.). Wykonywanie takich instalacji bez merytorycznej oceny rzeczywistych warunków posadowienia może prowadzić do nieprawidłowego działania oraz narażenia ich użytkowników oraz sąsiadów na biologiczne i chemiczne zanieczyszczenie okolicznych wód podziemnych i powierzchniowych, związane z przedostawaniem się do nich nieoczyszczonych ścieków bytowych, w tym fekaliów. Zasadnym wydaje się wprowadzenie przepisów uniemożliwiających nadmierną koncentrację tego typu instalacji i objęcie ich eksploatacji kontrolą, jak również zintegrowanie działań administracyjnych, mające na celu zapewnienie bezpieczeństwa sanitarnego.

Należy również podkreślić, że sytuacje takie są szczególnie niebezpieczne w rejonach o niedostatecznie rozwiniętej infrastrukturze wodociągowej oraz tam, gdzie społeczeństwo, kierując się względami ekonomicznymi, wybiera studnie kopane, ujmujące najpłytszy poziom wód podziemnych, jako źródło swego zaopatrzenia wody pitnej. Koncentracja na niewielkiej przestrzeni ponad 400 przydomowych oczyszczalni ścieków w niekorzystnych dla tego rodzaju instalacji warunkach to przepis na katastrofę ekologiczną, której skutki trudno będzie usunąć.

Interwencja opisana w niniejszym artykule będzie kontynuowana. W drugim etapie badań zostaną opróbowane wybrane studnie głębinowe, czerpiące wody z warstw znajdujących się poniżej pokrywy lessowej. Autorzy przewidują wykonanie badań na zawartość farmaceutyków oraz izotopowych badań wieku wody. Pozwoli to na ocenę ryzyka i ewentualnej perspektywy czasowej zanieczyszczenia warstw wodonośnych, będących głównym rezerwuarem wód pitnych dla mieszkańców.

Prace zrealizowano w ramach przedsięwzięcia „Zadania państwowej służby hydrogeologicznej w latach 2015–2017”, finansowanego ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Autorzy pracy pragną podziękować Recenzentom za wnikliwą i konstruktywną recenzję.

### LITERATURA

- BORECKA M., SIEDLEWICZ G., HALIŃSKI Ł., SIKORA K., PAZDRO K., STEPNOWSKI P., BIAŁK-BIELIŃSKA A. 2015 – Contamination of the southern Baltic Sea waters by the residues of selected pharmaceuticals: Method development and field studies. Mar. Pollut. Bull., 94: 62–71.
- CABAN M., MIGOWSKA N., STEPNOWSKI P., KWIATKOWSKI M., KUMIRSKA J. 2012 – Matrix effects and recovery calculations in analyses of pharmaceuticals based on the determination of  $\beta$ -blockers and  $\beta$ -agonists in environmental samples. J. Chromatogr. A, 1258: 117–127.
- CABAN M., LIS E., KUMIRSKA J., STEPNOWSKI P. 2015 – Determination of pharmaceutical residues in drinking water in Poland using a new SPE-GC-MS (SIM) method based on Speedisk extraction disks and DIMETRIS derivatization. Sci. Total Environ., 538: 402–411.
- PALAK-MAZUR D., KOSTKA A., KUCZYŃSKA A., ŚCIBIOR K. 2016 – Interpretacja wyników monitoringu operacyjnego, ocena stanu chemicznego oraz przygotowanie opracowania o stanie chemicznym jednolitych części wód podziemnych zagrożonych nieosiągnięciem dobrego stanu według danych z 2015 r. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 16 grudnia 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. Dz.U. z 2014 r. nr 0 poz. 1800.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 21 grudnia 2015 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu jednolitych części wód podziemnych. Dz.U. z 2016 r. nr 0 poz. 85.
- ROZPORZĄDZENIE Rady Ministrów z dnia 28 listopada 2016 r. w sprawie Planu gospodarowania wodami na obszarze dorzecza Wisły. Dz.U. z 2016 r. nr 0 poz. 1911.