

**Tomasz BAUS<sup>1</sup>, Anna MICHALSKA<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Główny Instytut Górnictwa, Śląskie Środowiskowe Studium Doktoranckie  
pl. Gwarków 1, 40-166 Katowice  
e-mail: t.baus@gazeta.pl

<sup>2</sup> Główny Instytut Górnictwa, Zakład Monitoringu Środowiska  
pl. Gwarków 1, 40-166 Katowice

## Obecność farmaceutyków w środowisku wodnym na przykładzie antybiotyków i ich wpływ na ekosystemy

### Presence of Pharmaceuticals in the Aquatic Environment on the Example of Antibiotics and their Impact on Ecosystems

The use of excessive amounts of personal protective equipment and pharmaceuticals in medicine, veterinary and animal husbandry contributes to environmental pollution. The pollution of the aquatic environment with these compounds has become a global problem. The action of chemical substances on animals and plants is not neutral. In addition, the literature informs that at the present time wastewater treatment plants are not able to clean wastewater from pharmaceuticals and personal care products, which causes the discussed compounds to enter the aquatic environment. In the case of hardly decomposing compounds, their accumulation occurs in aquatic ecosystems. These substances are also taken up by plants and can be accumulated by them. Biologically active compounds negatively affect the growth and development of plants, their fresh mass, reduce the rate of plant growth, affect the activity of plant enzymes and cause eutrophication of water reservoirs through changes in plant development. Pharmaceuticals have multi-directional effects on living organisms. On microorganisms by creating drug resistance, on fish through changes in secondary sexual characteristics, they have a calming and relaxing effect on their muscles. They cause changes in the behavior of some fish species. In addition, they cause the production of microbial strains that are resistant to their action, and this is a problem when combating diseases with a microbiological basis. Some wastewater produced by the pharmaceutical industry is characterized by an increased content of nitrogen compounds. With the simultaneous content of pharmaceutical substances in them, they can negatively affect the nitrification processes. Pharmaceuticals get into groundwater and end up in tap water. Literature states that drug-active substances, drugs can be found even in drinking water. The study of this type of xenobiotics is difficult, among others due to the variability of concentrations depending on the season or even the time of day. At the same time, monitoring of the environment leads to the detection of not only therapeutic substances, their concentrations, but it can be used to study negative impact on vegetation with simultaneous control of vegetables and fruits introduced for sale and effective removal of compounds from sewage, water and land.

**Keywords:** water environment, pharmaceuticals, PPCPs, antibiotics, xenobiotics

## Wprowadzenie

Wraz z coraz większym wzrostem stosowania przez człowieka leków problem ich oznaczenia oraz poziom ich stężeń w środowisku staje się z roku na rok

większy. W literaturze jest sporo opracowań dotyczących leków i ich metabolitów, które można spotkać w środowisku wodnym na różnych poziomach stężeń. Należy jednak mieć świadomość, że środowisko wodne to nie tylko strumienie, rzeki, jeziora, stawy, morza czy oceany, ale to także wody podziemne oraz osady dennie, które absorbują wiele substancji aktywnych.

Jak podaje Główny Urząd Statystyczny (GUS), ilość zastosowanych leków, w tym antybiotyków oraz suplementów diety w Polsce w 2009 roku jest porównywalna do ilości leków w latach 2007-2008. W odniesieniu do krajów Unii Europejskiej (UE) stosowanie leków w Polsce jest w tym okresie na wysokim poziomie, uwzględniając w nim wiek oraz stan zdrowia respondentów. Polska jest drugą gospodarką UE pod względem spożywania leków. Leki oraz suplementy diety stosowane są od urodzenia aż do śmierci [1]. Z badań GUS wynika, iż najwięcej farmaceutyków stosują osoby powyżej 70 roku życia (97%), kolejna grupa to badani w wieku 60-69 lat (90%), następnie osoby z przedziału 45-59 lat (81%) oraz niemowlęta i dzieci w przedziale wiekowym 0-6 (73-77%). Wśród badanych 40% stosuje substancje chemiczne zwalczające ból głowy, 25% osób stosuje leki na układ sercowo-naczyniowy, choroby stawów, choroby bakteryjne, co 10 osoba stosuje leki na alergię, a 6,5% osób zażywa leki regulujące poziom cukru we krwi [2]. Przemysł chemiczny, którego częścią jest przemysł farmaceutyczny, od kilkadziesiąt lat jest jedną z najszybciej i najlepiej rozwijających się gałęzi gospodarki, co niestety ma negatywny wpływ na wszystkie organizmy żywe.

Farmaceutyk, lek, lekarstwo to produkt wyprodukowany przez przemysł farmaceutyczny [3]. Są to grupy bioaktywnych związków chemicznych stosowanych w lecznictwie weterynaryjnym, gospodarstwach hodowlanych oraz w medycynie [4]. Aktualnie na naszym kontynencie stosowanych jest ponad 4000 związków chemicznych aktywnych w lekach, a aplikowanych ludziom i zwierzętom. Wśród nich należy wyszczególnić niesteroidowe leki przeciwzapalne (NLPZ), antybiotyki, środki hormonalne, leki regulujące przemiany lipidowe, leki przeciwpadaczkowe oraz  $\beta$ -blokery [5]. Leki po podaniu dożylnym lub pozanaczyniowym do organizmu przechodzą biotransformację, w trakcie której zachodzą zmiany w budowie chemicznej oraz strukturalnej cząstki - najczęściej zachodzi ona w wątrobie, a także w krwi, płucach czy przewodzie pokarmowym. Procesy te mają za zadanie przekształcić związek z formy wolno wydalanej, niepolarniej i liofilowej w formę hydrofilową i polarną. Leki nie ulegają w 100% biotransformacji i są wydalane z organizmu poprzez mocz, kał, pot czy z innymi płynami ustrojowymi w postaci macierzystej lub też związków metabolizowanych wewnątrzustrojowo [6, 7].

Analizując literaturę przedmiotu, można stwierdzić, iż pozostałości po stosowanych lekach są obecne w środowisku wodnym, jednak nowe technologie ich oznaczeń pozwalają na dokładniejsze oznaczenie tych związków, a także na oznaczanie coraz niższych ich stężeń. Do dodatkowych utrudnień w analizie tych związków należy różnorodność oraz złożoność matrycy, jaką stanowią wody powierzchniowe. Pochopne dawkowanie antybiotyków w leczeniu powoduje ich wzrost w każdym kolejnym stopniu łańcucha pokarmowego, dlatego należy monitorować stężenia ksenobiotyków w wodach oraz gruntach.

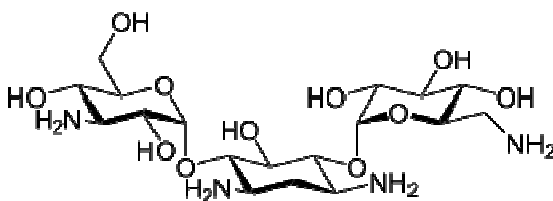
## 1. Antybiotyki i szlak metaboliczny

Odkrycie antybiotyków to jedno z kluczowych osiągnięć w dziejach ludzkości, jednak coraz częstsze stosowanie ich w medycynie, weterynarii, rolnictwie czy hodowli prowadzi do powstania lekoopornych bakterii [8]. Antybiotyki wraz ze środkami dezynfekującymi, odkażającymi, sulfonamidami, pochodnymi nitrofuranu i chinolonu, lekami przeciwgruźliczymi, przeciwtrądzikowymi, lekami przeciw-wirusowymi, przeciwgrzybicznymi, przeciwpierwotniakowymi czy przeciwbaczo-ymi są zaliczane do grupy leków działających na drobnoustroje chorobotwórcze. Są lekami bardzo często podawanymi ludziom i zwierzętom [9, 10].

Pierwsze antybiotyki definiowane były jako produkowane naturalnie substancje mające zdolności do zabijania drobnoustrojów lub hamowania wzrostu bakterii. Obecnie stosuje się definicję, że są to związki chemiczne wytwarzane naturalnie przez drobnoustroje, ich półsyntetyczne pochodne lub syntetyczne analogi antybiotyków naturalnych, wszystkie działają bakteriobójczo lub bakteriostatycznie. Wraz z rozwojem nauki wspomniane antybiotyki nie tylko stosuje się do zwalczania bakterii, związki te były stosowane przez hodowców jako antybiotykowe stymulatory wzrostu (ASW) przez dodawanie ich do pasz. W 1997 r. Komisja Europejska opublikowała raport dotyczący zagrożeń związanych z antybiotykami paszowymi. Były to głównie: szybsze rozprzestrzenianie się opornych bakterii u zwierząt, przenoszenie opornych bakterii patogennych na ludzi poprzez kontakt ze zwierzętami bądź produktami zwierzęcymi i wzrost liczby infekcji wywołanych przez te bakterie, a także potencjalne trudności w leczeniu ludzi i zwierząt - wysoka oporność wśród bakterii izolowanych od zwierząt (*Salmonella*, *Campylobacter*, *Enterococcus*, *E. coli*). W związku z narastającą lekoopornością 1 stycznia 1999 r. wycofano z użycia bakcytracynę cynku, spiromycynę, wirginiamicynę i fosforan tyrozyny [11], a 1 stycznia 2006 r. wszedł całkowity zakaz stosowania ASW w żywieniu zwierząt. Ponadto od 2004 r. w Polsce co roku opracowywany jest Krajowy Plan Urzędowej Kontroli Pasz, mający na celu m.in. wykrywanie substancji przeciwbakteryjnych w paszach i wodzie. Wraz z wprowadzeniem przez Unię Europejską zakazu powyższych praktyk hodowcy i lekarze weterynarii zwiększają ich użycie w lecznictwie [12].

Ze względu na budowę chemiczną antybiotyki dzieli się na następujące grupy: antybiotyki aminoglikozydowe, antybiotyki  $\beta$ -laktamowe, antybiotyki peptydowe, fusypany, chloramfenikole, cyklotiolidyny, antybiotyki grupy MLS oraz tetracyklin [6]. Aminoglikozydy, np. kanamycyna (rys. 1), posiadają właściwości przeciwbakteryjne wynikające ze struktury chemicznej, posiadają duży dodatni ładunek, który łatwo wiąże się z ujemnie naładowanymi ścianami komórek bakteryjnych oraz innymi ujemnie naładowanymi cząsteczkami anionowymi. Najczęściej występującą opornością w tej grupie jest enzymatyczna modyfikacja antybiotyku przez trzy acetylotransferazy, cztery adenylotransferazy i pięć fosfotransferaz. Ich geny znajdują się w plazmidach, co umożliwia nabywanie oporności na aminoglikozydy przez drobnoustroje. Istnieją przypadki, że geny te występują także na transpozonach i intergronach, co dodatkowo sprzyja przenoszeniu się genów oporności między

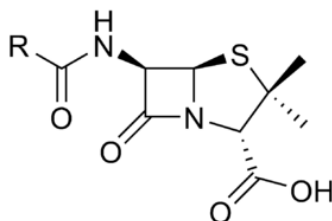
bakteriami. W niektórych przypadkach tej grupy antybiotyków występuje oporność krzyżowa bakterii [13].



Rys. 1. Kanamycyna (Aminoglikozydowe) [6]

Fig. 1. Kanamycin (Aminoglycosid) [6]

Antybiotyki  $\beta$ -laktamowe (np. ansamyzyna, penicylina (rys. 2)) to kolejna grupa antybiotyków, działających zarówno na bakterie Gram-dodatnie, jak i Gram-ujemne, są również aktywne wobec prątków kwasoodpornych. Antybiotyki  $\beta$ -laktamowe charakteryzują się pierścieniem  $\beta$ -laktamowym w budowie swojej cząsteczki; jego otwarcie prowadzi do zaniku działania antybakteryjnego tych związków. Substancje z tej grupy hamują syntezę ściany komórkowej bakterii, których głównym budulcem jest muramina [14, 15].



Rys. 2. Penicylina [6]

Fig. 2. Penicillin [6]

Antybiotyki peptydowe, do których zalicza się proste peptydy liniowe, peptydy cykliczne, glikopeptydy oraz lipopeptydy, ze względu na obecność w swojej budowie aminokwasu są uważane za leki, które będą stosowane w przyszłości. Leki te działają bakteriobójczo na bakterie G-ujemne i G-dodatnie, działają antywirusowo, neutralizują toksyny [16].

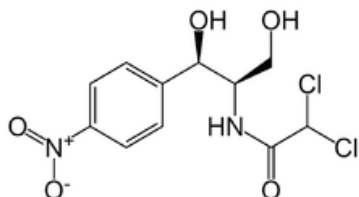
Fusydany (kwas fusydowy) działają hamująco na syntezę białka bakterii. Przy stosowaniu tej grupy w leczeniu zalecane jest leczenie skojarzone z kloksacyną lub wankomycyną [17].

Chloramfenikole (rys. 3) to grupa antybiotyków i ich pochodnych, które blokują biosyntezę białka w rybosomach. Leki działają na bakterie G-ujemne i G-dodatnie, chlamydie, mikoplazmy i riketsje.

Cyklotalidyny działają poprzez hamowanie aktywności fazy DNA - enzymu niezbędnego do zachowania konformacji łańcuchów DNA [18].

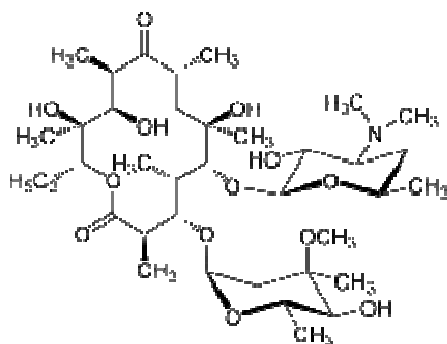
Antybiotyki grupy MLS - makrolidy - linkozamidy - streptograminy - posiadają wspólny mechanizm działania. Makrolidy działają aktywnie na bakterie atropowe,

a także na bakterie G-dodatnie, rzadziej na G-ujemne. Są dobrym zamiennikiem penicyliny, zwłaszcza dla osób uczulonych na ten lek. Posiadają właściwości przeciwzapalne i immunomodulujące, przez co mogą być wykorzystywane w wielu przewlekłych stanach zapalnych schorzeń dróg oddechowych. Przykładem antybiotyków makrolidowych jest erytromycyna (rys. 4). Linkozaminy działają aktywnie na bakterie G-dodatnie beztlenowe ziarniaki nieprzetrwalnikujące oraz niektóre pierwotniaki. Występująca oporność na te antybiotyki jest podobna do oporności na makrolidy. Streptograminy działają bakteriostatycznie oraz bakteriobójczo [19, 20].



Rys. 3. Chloramfenikol [6]

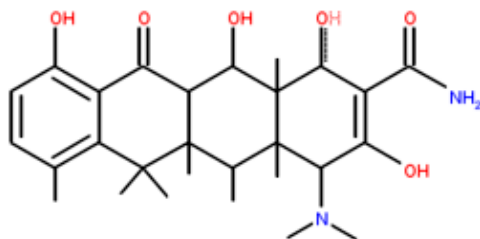
Fig. 3. Chloramphenico [6]



Rys. 4. Erytromycyna (makrolidy) [6]

Fig. 4. Erythromycin (macrolide) [6]

Tetracykliny (rys. 5) to antybiotyki o szerokim spektrum działania, są aktywne wobec bakterii G-dodatnich, G-ujemnych oraz wobec niektórych bakterii beztlenowych; działają również bakteriostatycznie na bakterie oraz pierwotniaki. Oporność na tę grupę antybiotyków w ostatnich 20 latach bardzo wzrosła, stąd też antybiotyki te są stosowane coraz rzadziej [19].

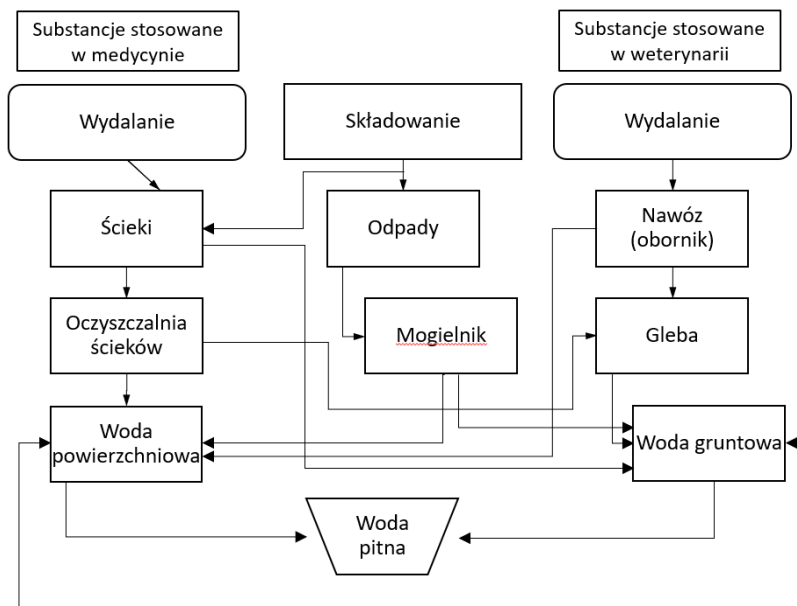


Rys. 5. Tetracykliny [6]

Fig. 5. Tetracyclin [6]

## 2. Wydalanie do środowiska oraz zanieczyszczenie metabolitami

Powszechny dostęp do leków bez recepty nie tylko w aptekach, nagminne ich stosowanie, pochopne ordynowanie leków na receptę w medycynie oraz weterynarii prowadzi do coraz wyższych stężeń substancji w środowisku [7]. Substancje zawarte w lekach lub suplementach diety (rys. 6) przedostają się do ścieków komunalnych z zakładów opieki zdrowotnej, gabinetów weterynaryjnych, miejsc pochówku, pochodzą z rolnictwa, hodowli zwierząt czy wysypisk śmieci. Ścieki komunalne nie tylko zawierają leki oraz ich metabolity, dostarczone z moczem czy kałem, ale także leki, środki odkażające czy kosmetyki wyrzucone do zlewu, ubikacji w domu bądź w szpitalu. Z uwagi na ten proceder substancje biologicznie czynne przepływają ze ściekami przez oczyszczalnię w formie niezmienionej. Oczyszczalnie nie są przystosowane do oczyszczania ścieków z tych zanieczyszczeń. Niewłaściwa utylizacja leków niepotrzebnych bądź przeterminowanych powoduje, że na wysypiskach odpadów legalnych lub dzikich znajdują się farmaceutyki, które następnie trafiają do środowiska [21].



Rys. 6. Leki w środowisku [22]

Fig. 6. Drugs in the environment [22]

Rolnictwo oraz gospodarstwa hodowlane stanowią ogromne źródło zanieczyszczeń środowiska w leki. Stwierdza się stosowanie antybiotyków, leków przeciw pasożytniczych, hormonów, leków przeciwbólowych w hodowli zwierząt. Organizmy te metabolizują leki podobnie jak organizm człowieka, a odchody zwierząt, jako gnojowica czy obornik, trafiają jako tzw. „naturalny nawóz” na pola uprawne

czy pastwiska, a następnie bezpośrednio do wód powierzchniowych, podziemnych czy do gleby. Biotransformacja większości leków stosowanych w leczeniu w organizmie żywym następuje w wątrobie. Przemiany te polegają na przemianach metabolicznych za pośrednictwem enzymów błonowych oraz cytoplazmowych - związanych z siatką endoplazmatyczną. Ze względu na specyfikę lek wykorzystuje jeden lub kilka układów enzymatycznych; różnice w metabolizmie danego leku mogą stanowić o jego toksyczności. Doustne leki posiadają formę lipofilną, nierozpuszczalną w wodzie i zachodzące procesy metaboliczne pierwszej oraz drugiej fazy przekształcają dany związek w formę hydrofilową [23]. Podczas reakcji pierwszej fazy następuje przyłączenie grupy polarnej w mechanizmie utleniania, redukcji czy hydrolizy. Czynniki występujące w tej fazie mogą również zwiększać toksyczność substancji czynnej, w wyniku spowodowania jej konwersji do nietoksycznych metabolitów, a nawet do związków bardziej toksycznych niż sam lek [24]. Substancja po przejściu pierwszej fazy w większości przypadków nie wykazuje się właściwościami hydrofilnymi, co prowadzi do przemiany fazy drugiej. Pod wpływem działania kolejnych enzymów następuje zmniejszenie efektywności farmakologicznej lub jego metabolitu, zwiększenie jego klirensu. Czynniki, które mogą wpływać na przebieg powyższych procesów, są: dieta, wiek pacjenta, uwarunkowania genetyczne, choroby wątroby czy stosowanie innych leków. Należy pamiętać, że leki w środowisku nie tylko można spotkać w wodzie, są spotykane w glebach, a także trzeba zwrócić uwagę na osady dennie - niejednokrotnie są one używane jako nawóz. W osadach tych również należy spodziewać się obecności farmaceutyków, co podyktowane jest ich obecnością w wodach [23].

Na podstawie szeregu badań można zauważyć, iż farmaceutyki posiadające odczyn kwaśny w okresie zimowym ulegają akumulacji w wodach jezior w północnej Europie, co jest ściśle związane z obniżeniem temperatury wody oraz czasem ekspozycji na słońce i długością dnia [18]. W Polsce prowadzono badania wód powierzchniowych i zostały określone jakościowo oraz ilościowo substancje aktywne chemicznie występujące w rzekach: Warta (Poznań, Łęczycza, Koziegłowy, Bolechowie), Odra (Kędzierzyn Koźle), Wisła (Kraków), w Kanale Gliwickim (Gliwice) oraz w Gdańsku. Oznaczenia te przeprowadzono za pomocą wysokosprawnej chromatografii cieczowej oraz chromatografii gazowej z detektorem mas. W badanych próbkach wód rzecznych oznaczono estrogeny (tab. 1).

Tabela 1. Zawartość estrogenów w badanych wodach powierzchniowych [25]

Table 1. The content of estrogen in the surface waters studied [25]

Lokalizacja	Zawartość estrogenu, ng/dm <sup>3</sup>		
	estron	estradiol	etinylestradiol
Odra	1,3	Gom	Gom
Wisła	Gom	1,3	Gom
Kanał Gliwicki	1,1	Gom	Gom

Gom - granica oznaczenia metody

Estron został oznaczony w wodach Odry oraz Kanału Gliwickiego w stężeniu ponad  $1 \text{ ng/dm}^3$ . W próbce wody pobranej z Wisły oznaczono estradiol na poziomie  $1,3 \text{ ng/dm}^3$ . W pozostałych przypadkach ilości badanych substancji są oznaczalne poniżej granicy oznaczania metody. Granice oznaczenia zastosowanej procedury mieściły się w zakresie  $0,5\div 1,0 \text{ ng/dm}^3$ . Oznaczany poziom estrogenów był niski, jednak jego ilość może być wystarczająca do zakłócenia naturalnej równowagi biologicznej organizmów wodnych. Niskie wartości tych związków w wodach rzecznych są spowodowane gromadzeniem się tych związków w osadach dennych. Za taką sytuację odpowiedzialne są specyficzne warunki miejscowo-lokalizacyjne, hydrofobowa natura tych związków oraz możliwości wiązania się z sedymentującymi cząstkami nieorganicznymi, a także solami. Oczyszczalnie ścieków ze względu na charakter, w jaki zostały zaprojektowane, nie mają możliwości oczyszczania ścieków ze związków polarnych. Substancje aktywne mogą ulegać rozkładowi na drodze tradycyjnego oczyszczania do dwutlenku węgla i wody. Adsorpcja substancji czynnych w osadach dennych jest uzależniona od oddziaływań elektrostatycznych leków z cząsteczkami stałymi oraz od charakteru fizykochemicznego danego związku. Leki o charakterze liofilowym są lepiej adsorbowane w osadach dennych od leków hydrofilowych, również leki o charakterze kwaśnym są słabo adsorbowane w osadach dennych. Kwas acetylosalicylowy, diklofenak, triclosan, ketoprofen, naproksen, kwas klofibrowy, bezafibrat i gemfibrozil są przedstawicielami substancji czynnych o charakterze kwaśnym, które w środowisku krążą w fazie wodnej. Wśród leków dobrze adsorbowanych przez osady denne wymienia się antybiotyki (fluorochinolony, makrolity, tetracykliny), sulfonamidy oraz hormony [25, 26]. Leki oraz ich pozostałości dostają się ze ściekami do oczyszczalni, lecz ze względu na brak selektywnego procesu oczyszczania omawianych grup w różnych formach i stężeniach związku farmakologicznie czynne „opuszczają” oczyszczalnię. Leki oraz ich metabolity podczas kontaktu ze środowiskiem poddawane są procesom biodegradacji oraz fotolizy; ze względu na charakterystyczny okres połowicznego rozpadu danego związku, porę roku i szerokość geograficzną odmienny jest efekt eliminacji danego związku z wody [22].

## Wnioski

Polska należy do państw Europy najmniej zasobnych w wodę [27], przez co wiele wodociągów jest zaopatrywanych z wód powierzchniowych. Zdarza się, że produkty przemysłu farmaceutycznego można spotkać nawet w wodzie pitnej, ponieważ procesy ich utylizacji i oczyszczania ścieków stają się coraz większym problemem. Po wydaleniu z organizmu substancji macierzystej lub jej metabolitu mogą one być poddane dalszym przemianom zarówno w wodach, glebie czy osadach, jak i w oczyszczalni ścieków czy zakładach uzdatniania wody. Leki były, są i będą projektowane z myślą o zwalczaniu konkretnych organizmów czy jednostek chorobowych, ale te same leki oddziałują na organizmy w środowisku (glony, rośliny wodne, ryby czy bezkręgowce), które to w bezpośredni lub pośredni sposób



wpływają na człowieka czy inne organizmy - żywiące się nimi. Farmaceutyki w środowisku zawsze występują jako mieszaniny związków, ich synergia może być bardziej toksyczna dla organizmów niż pojedynczy związek. Trzeba podkreślić, iż oprócz wód powierzchniowych czy podziemnych należy badać osad denny, który stosowany jest jako nawóz czy podłoże dla świata roślin podwodnych.

Farmaceutyki to różnorodna grupa związków chemicznych, które swoim działaniem wpływają na organizmy żywe. Są one stosowane nie tylko w medycynie. Produkowane są dla potrzeb weterynarii, w tym również dla potrzeb chowu zwierząt. Jak podaje literatura, problem z niewłaściwą utylizacją leków, a także z nieodpowiednim przystosowaniem oczyszczalni ścieków do ich oczyszczania stanowi z roku na rok coraz większy problemem. Fakt ten się pogłębia z uwagi na możliwość zakupu coraz większej ilości leków bez recept. Głównymi dostawcami substancji leczniczych oraz produktów ich transformacji jest przemysł farmaceutyczny, zakłady opieki zdrowotnej i weterynaryjnej oraz gospodarstwa domowe czy hodowlane. Badania próbek środowiskowych pokazują obecność substancji i ich metabolitów z grupy NLPZ,  $\beta$ -laktamowych czy hormonów. Powodem takiego stanu rzeczy jest bardzo niski poziom substancji chemicznych w ściekach i złożona ich budowa. Warunki pogodowe, jak również sama konfiguracja oczyszczalni ścieków mają wpływ na ich eliminację. Następnie dostają się do świata wodnego, gdzie powodują zmiany w środowiskach bakterii, a to wpływa na funkcjonowanie całego ekosystemu. Substancje lecznicze trafiają do nich z rzek i cieków przepływających przez miasta. Literatura przedmiotu dysponuje bardzo ograniczoną ilością danych na ten temat, a dane, które są dostępne, pochodzą z badań wrywkowych.

## Literatura

- [1] Główny Urząd Statystyczny, Stan zdrowia ludności Polski w 2009 r., [http://www.stat.gov.pl/cps/rde/xber/gus/PUBL\\_ZO\\_stan\\_zdrowia\\_2009.pdf](http://www.stat.gov.pl/cps/rde/xber/gus/PUBL_ZO_stan_zdrowia_2009.pdf)
- [2] Główny Urząd Statystyczny, Stan zdrowia ludności Polski w 2014 r., <https://stat.gov.pl/download/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5513/6/6/1/publikacja.zip>
- [3] Słownik Języka Polskiego, WN PWN, Warszawa 2010.
- [4] Ellis J.B., Pharmaceutical and personal care products (PPCPs) in urban receiving waters, *Environ. Pollut.* 2006, 144, 184-189.
- [5] Kowalski B., Oznaczanie wybranych leków z różnych grup terapeutycznych w wodach powierzchniowych z zastosowaniem technik chromatograficznych (rozprawa doktorska), Politechnika Śląska, Wydział Chemiczny Katedra Chemii Analitycznej, Gliwice 2011.
- [6] Janiec W., *Kompendium farmakologii*, Wyd. Lekarskie, Warszawa 2005.
- [7] Janiec W., Krupińska J., *Farmakodynamika*, Podręcznik dla studentów farmacji, Warszawa 1999.
- [8] Martinez J.L., Environmental pollution by antibiotics and antibiotic resistance determinants, *Environ. Pollut.* 2009, 157, 2893-2902.
- [9] Szymonik A., Lach J., Obecność farmaceutyków w wodach powierzchniowych i przeznaczonych do spożycia, *Proceedings of ECOpole 2013*, 7(2), 735-743.
- [10] Szymonik A., Lach J., Zagrożenie środowiska wodnego obecnością środków farmaceutycznych, *Inż. Ochr. Środ.* 2012, 15(5), 249-263.
- [11] Rozporządzenie Rady Wspólnoty Europejskiej 2821/98 z dn. 17.12.1998.

- [12] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady Wspólnoty Europejskiej 1831/2003 z dn. 22.09.2003.
- [13] Konopska B., Warwas M., Molekularne aspekty nefrotoksyczności antybiotyków aminoglikozydowych, *Postępy Hig. Med. Dośw.* 2007, 61, 511-518.
- [14] Rzewska M., Antybiotykooporność Gram-ujemnych pałeczek wytwarzających  $\beta$ -laktamaz, *Życie Weterynaryjne* 2009, 84(3).
- [15] Kostowski W., Herman Z.S. (red.), *Farmakologia, Podstawy farmakoterapii*, PZWL, Warszawa 2004.
- [16] Rakowska-Chmielniak M.A., Zastosowanie nowych antybiotyków w leczeniu zakażeń wywołanych przez wielolekooporne szczepy ziarniaków Gram-dodatnich, *Farmacja Współczesna* 2010, 3, 73-81.
- [17] Chen Ch.-M., Hang M., Chen H.-F., Ke S.-Ch., Li Ch.-R., Wang J.-H., Wu L.-W., Fusidic acid resistance among clinical isolates of methicillin - resistant *Staphylococcus aureus* in a Taiwanese hospital, *BMC Microbiology* 2011, 11, 98.
- [18] Deneshvar A., Sranfelt J., Kronberg L., Winter accumulation of acidic pharmaceuticals in a Swedish river, *Environ Sci. Pollut. Res.* 2010, 17, 908-916.
- [19] Markiewicz Z., Kwiatkowski Z.A., *Bakterie, antybiotyki, lekooporność*, WN PWN, Warszawa 2012.
- [20] Fernandez M., Conde S., de la Torre J., Molina-Santiago C., Ramos J.-L., Duque E., Mechanisms of resistance to chloramphenicol in *Pseudomonas pantiola* KT 2440, *Antimicrob. Agents Chemother.* 2012, 56(2), 1001.
- [21] Huang J.-J., Hu H.-Y., Lu S.-Q., Li Y., Tang F., Lu Y., Wei B., Monitoring and evaluation of antibiotic - resistant bacteria at a municipal wastewater treatment plant in China, *Environ. International* 2012, 42, 31-36.
- [22] Sosnowska K., Styszko-Grochowiak K., Gołaś J., *Leki w środowisku - źródła, przemiany, zagrożenia*, IV Krakowska Konferencja Młodych Uczonych, Grupa Naukowa Pro Futuro, 23-25.09.2009.
- [23] Park B.K., Primonhamed M., Kitteringham N.R., The role of cytochrome P450 enzymes in hepatic and extrahepatic human drug toxicity, *Pharmacol. Ther.* 1995, 68, 385-424.
- [24] Walgren J.L., Mitchel M.D., Thompson D.C., Role of metabolism in drug - induced idiosyncratic hepatotoxicity, *Crit. Rev. Toxicol.* 2005, 35, 325-361.
- [25] Dudziak M., Luks-Betlej K., Ocena obecności estrogenów - steroidowych hormonów płciowych w wybranych wodach rzecznych w Polsce, *Ochrona Środowiska* 2004, 26, 21-24.
- [26] Nikolaon A., Meric S., Fatta D., Occurrence patterns of pharmaceuticals in water and wastewater environments, *Anal. Bioanal. Chem.* 2007, 387, 1225-1234.
- [27] Kuczyński W., Żuchowicz W., Ocena aktualnej sytuacji w zaopatrzeniu w wodę w Polsce na tle sytuacji na świecie, *Rocznik Ochrony Środowiska* 2010, 12, 419-465.

<sup>1</sup> Central Mining Institute, PhD Studies in the Central Mining Institute  
pl. Gwarków 1, 40-166 Katowice, Poland  
e-mail: t.baus@gazeta.pl

<sup>2</sup> Central Mining Institute, Department of Environmental Monitoring  
pl. Gwarków 1, 40-166 Katowice, Poland

## Streszczenie

Stosowanie nadmiernej ilości środków ochrony osobistej oraz farmaceutyków w medycynie, weterynarii, hodowli zwierząt przyczynia się do zanieczyszczenia środowiska naturalnego, a zanieczyszczenie środowiska wodnego wymienionymi związkami stało się problemem globalnym. Działanie substancji chemicznych na zwierzęta i rośliny nie jest obojętne. Dodat-

kowo w literaturze przedmiotu można znaleźć informuje, iż obecnie oczyszczalnie ścieków nie są w stanie oczyszczać ścieków z farmaceutyków oraz produktów do pielęgnacji ciała, co powoduje, że omawiane związki przedostają się do środowiska wodnego. W przypadku trudno rozkładających się związków następuje ich akumulacja w ekosystemach wodnych. Substancje te także są pobierane przez rośliny i mogą być przez nie akumulowane. Związki biologicznie czynne wpływają negatywnie na wzrost i rozwój roślin, na świeżość ich masę, obniżają tempo wzrostu roślin, wpływają na aktywność enzymów roślinnych i powodują eutrofizację zbiorników wodnych poprzez zmiany w rozwoju roślin. Farmaceutyki wpływają wielokierunkowo na organizmy żywe, a mianowicie na mikroorganizmy poprzez kreowanie lekooporności, na ryby poprzez zmiany drugorzędnych cech płciowych, działają uspokajająco i rozluźniająco na ich mięśnie. Powodują również zmiany w zachowaniu niektórych gatunków ryb. Ponadto, powodują wytwarzanie się szczepów drobnoustrojów opornych na ich działanie, a to stanowi problem podczas zwalczania chorób o podłożu mikrobiologicznym. Niektóre ścieki produkowane przez przemysł farmaceutyczny charakteryzują się podwyższoną zawartością związków azotu. Przy jednoczesnej zawartości w nich substancji farmaceutycznych mogą negatywnie wpływać na procesy nityfikacji. Farmaceutyki przedostają się do wód podziemnych i trafiają do wody wodociągowej. Literatura podaje, że substancje aktywne leków, narkotyków spotkać można nawet w wodzie pitnej. Badanie tego typu ksenobiotyków jest utrudnione, między innymi ze względu na zmienność stężeń uzależnionych od pory roku, a nawet od pory dnia. Jednocześnie monitoring środowiska prowadzi do wykrycia nie tylko substancji leczniczych, ich stężeń, ale może być wykorzystywany do badania negatywnego wpływu na roślinność przy jednoczesnej kontroli wprowadzonych do sprzedaży warzyw czy owoców oraz w skutecznym usuwaniu związków ze ścieków, wód i gruntów.

**Słowa kluczowe:** środowisko wodne, farmaceutyki, PPCPs, antybiotyki, ksenobiotyki