

Mikroplastiki – koń trojański ekosystemów wodnych?

Microplastics – Trojan Horse in aquatic ecosystems?

TADEUSZ FLEITUCH

*Instytut Ochrony Przyrody
Polska Akademia Nauk
31–120 Kraków, al. A. Mickiewicza 33
e-mail: fleituch@iop.krakow.pl*

Słowa kluczowe: odpady, tworzywa sztuczne, polimery, wody morskie i śródlądowe, ekotoksykologia, filtratory, zanieczyszczenia, jakość wody.

Mimo niewątpliwych korzyści płynących ze stosowania tworzyw sztucznych, coraz większy niepokój wywołuje gromadzenie się w środowisku wodnym niewielkich (nieprzekraczających 5 mm) drobin plastików, nazywanych w skrócie mikroplastikami. Dotychczasowe badania dotyczą przede wszystkim mórz i oceanów. Rzeki i jeziora są znacznie słabiej poznane, choć panuje przekonanie, że mikroplastiki są wnoszone do mórz głównie przez rzeki. Konieczne są dalsze, szeroko zakrojone badania dotyczące ilości mikroplastików i ich dróg krążenia w przyrodzie, źródeł pochodzenia, zanieczyszczeń adsorbowanych na powierzchni oraz wywieranych efektów biologicznych. Z dotychczasowych, nielicznych prac wynika, że mikroplastiki przenikają do ciał zwierząt wodnych. Przyszłe badania powinny więc być prowadzone przez specjalistów z różnych dziedzin: chemików, hydrologów, ekotoksykologów we współpracy z zarządcami wód oraz służbami prowadzącymi monitoring stanu chemicznego i ekologicznego wód.

Wprowadzenie

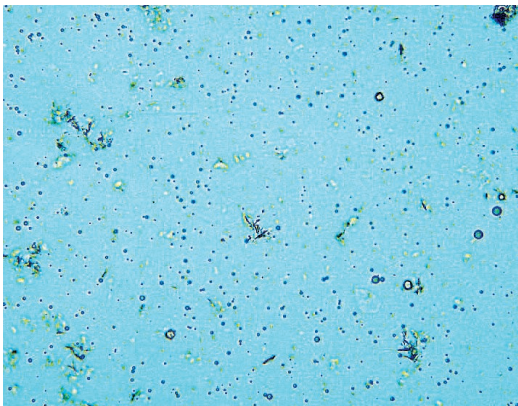
Często w środowisku wodnym obserwujemy odpady z tworzyw sztucznych (polimerów). Nikogo już nie dziwią kolorowe hałdy śmieci na plaży, pływające butelki (ryc. 1) czy worki foliowe fruujące na wietrze wzdłuż brzegów rzek po przejściu powodzi. Nie jest to jednak tylko kwestia estetyczna, którą można łatwo rozwiązać usunięciem śmieci. Problem jest dużo poważniejszy. Ostatnio wiele obaw o zanieczyszczenie środowiska wodnego wzbudza ją mikrodrobiny tworzyw sztucznych (tzw. mikroplastiki – MP). Są to drobne elementy polimerów sztucznych o średnicy od 20 μm do

5 mm (Thompson i in. 2004), w większości nieodróżnialne dla ludzkiego oka (ryc. 2). MP stanowią prawdopodobnie najliczniejszą grupę odpadów tworzyw sztucznych we współczesnych środowiskach wodnych (Law, Thompson 2014), a ich ilości będą wzrastać wraz ze wzrostem światowej produkcji tworzyw. W ciągu ostatnich 10 lat (2004–2014) produkcja tworzyw na świecie wzrosła z 225 do 311 mln ton rocznie, a w Europie utrzymuje się na stałym poziomie – około 60 mln ton rocznie (Raport PlasticsEurope 2015). Opakowania stanowiły około 40% całkowitej produkcji tworzyw sztucznych w Europie w 2014 roku. Polska zajmuje piąte miejsce w Europie w wykorzystaniu two-



Ryc. 1. Sterta pływających tworzyw sztucznych w rzece Prądnik na terenie użytku ekologicznego koło Krakowa (27.08.2015 r., fot. T. Fleituch)

Fig. 1. Pile of floating plastics in the Prądnik river in the ecologically protected area near Cracow (27 August, 2015; photo by T. Fleituch)



Ryc. 2. Mikroplastiki zawarte w kremach kosmetycznych służące do peelingu (pow. $\times 100$; fot. T. Fleituch)

Fig. 2. Microplastics contained in face peeling creams (100 \times magnification; photo by T. Fleituch)

Tab. 1. Zestawienie najczęstszych odpadów codziennego użytku według szacunkowego czasu degradacji w środowisku (wg różnych źródeł np.: www.unep.org, <http://web.de/magazine/wissen/gefaehrlich-plastik-meer-17642738>)

Table 1. The list of most common daily waste according to the estimated time of degradation in the environment (according to different sources of information)

Odpady Waste	Szacunkowy czas degradacji Estimated time of degradation
ogryzek jabłka	3 miesiące
karton Tetra-Pack	3 miesiące–1 rok
tektura falista	2 miesiące
koszula bawełniana	2–5 miesięcy
skarpety wełniane	1–5 lat
sklejka drewniana	1–3 lat
filtry od papierosów	1–5 lat
reklamówka plastikowa	10–20 lat
kubek styropianowy	50 lat
boja ze styropianu	50 lat
puszka metalowa po konserwie	50 lat
puszka aluminiowa po napojach	200 lat
pampersy	450 lat
butelka plastikowa PET	450–1000 lat
sieci rybackie i żyłka wędkarska	600 lat
butelka szklana	1 000 000 lat

rzyw sztucznych i jednocześnie ma niechlubny, jeden z najwyższych w Unii Europejskiej, wskaźników składowania niezagospodarowanych odpadów plastikowych (53%). Pozostała część zagospodarowana jest w recyklingu (26%) i w procesie odzyskania energii (21%). Na wysoki wskaźnik składowania odpadów plastikowych w Polsce mają wpływ: zbyt późno wprowadzona i źle funkcjonująca selektywna zbiórka odpadów oraz brak dostatecznie rozwiniętych technologii zagospodarowania tworzyw (spalanie i recykling). Należy wspomnieć, że obecnie tylko w ośmiu wysoko uprzemysłowionych krajach EU istnieje zakaz składowania odpadów z tworzyw sztucznych. Zakaz ten przyniósł pozytywny efekt w postaci wysokiego poziomu recyklingu tworzyw (do 40% zagospodarowania, w Niemczech, Austrii, Belgii, Holandii, Szwajcarii, Szwecji i Norwegii).

Całkowity czas rozkładu sztucznych tworzyw jest na ogół bardzo długi, liczony nawet w setkach lat. Rozkład przebiega różnie i zależy od składu chemicznego polimerów oraz dodatków stosowanych w ich produkcji. Szacunkowy czas degradacji różnych produktów odpadowych w środowisku naturalnym podano w tabeli 1.

Duże fragmenty tworzyw, dostając się do wody, ulegają degradacji, najczęściej mechanicznej, pozornie znikają, zamieniając się

w bardzo małe drobiny. Z punktu widzenia przyrodniczego, MP stanowią ogromne zagrożenie dla środowiska wodnego, gdyż ich niewielkie rozmiary czynią je dostępnymi dla wielu organizmów (np. zooplanktonu, małży, larw owadów wodnych, ryb, ptaków, ssaków wodnych). Wchłanianie MP może spowodować uszkodzenia fizyczne i działać toksycznie na organizmy wodne.

MP w morzach

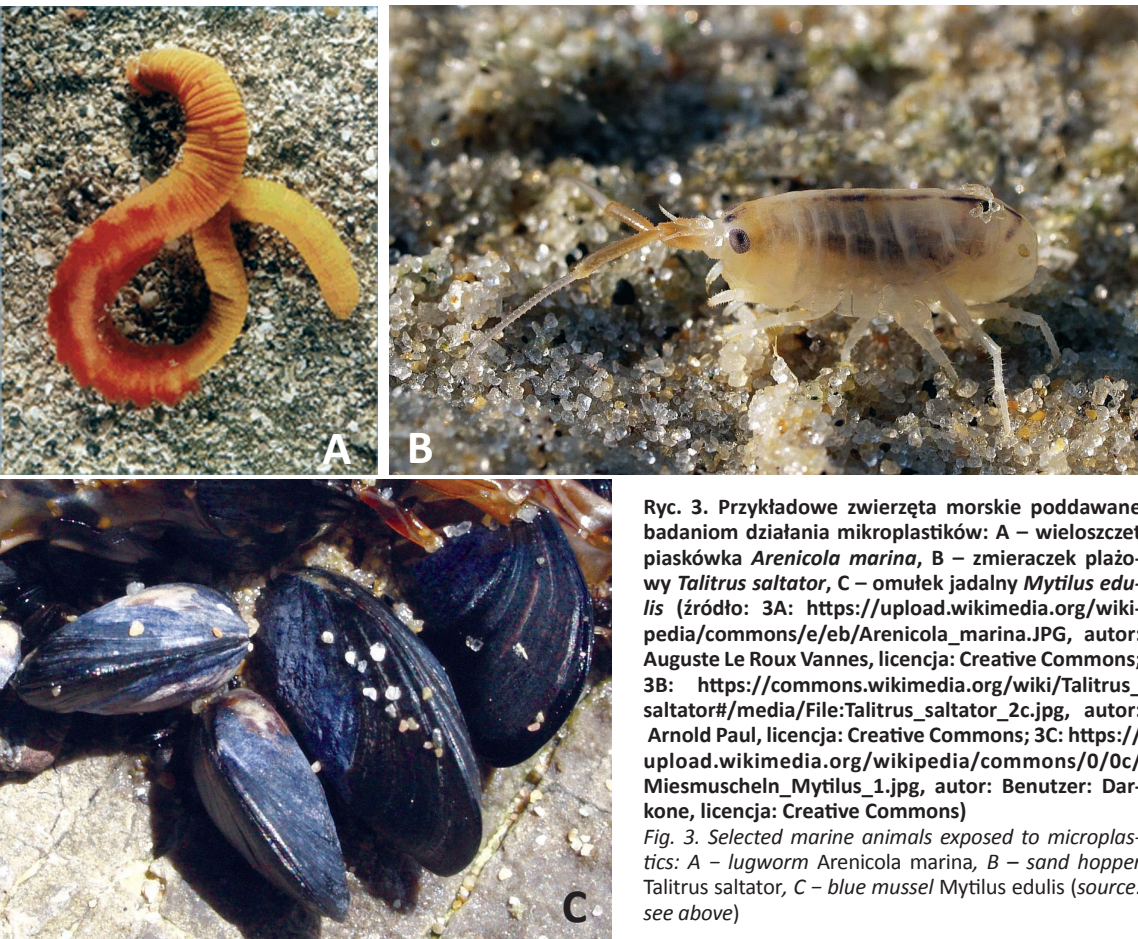
Dotychczasowe wysiłki naukowców koncentrowały się na badaniu MP w morzach i oceanach. Silne prądy morskie oraz lekkość i ruchliwość MP sprzyjają ich rozprzestrzenianiu w wodach morskich na całej kuli ziemskiej (symulacja rozprzestrzeniania MP – <http://adrift.org.au>), włączając regiony polarne, obszary wokół wysp oceanicznych i głębiny morskie (Wagner i in. 2014). Ze względu na specyficzne warunki hydrologiczne, odpady tworzyw sztucznych (tzw. plamy śmieci) gromadzą się w wirach oceanicznych (ang. *gyres*), a ilość MP w tych miejscach często przekracza ilość zooplanktonu (od 1000 do 100 000 drobin w m³). Zanieczyszczenia mórz przez MP w Europie wykazano dla Bałtyku, Morza Północnego i Śródziemnego (Wagner i in. 2014). Większość badań prowadzono w warstwie powierzchniowej (neustal) i w strefie głębszej toni wodnej (pelagial). MP badano też w osadach na dnie na pełnym morzu oraz wzdłuż linii brzegowych dna okalającego sześć kontynentów. Przeciętne stężenia MP wahają się na tych obszarach od 1 do 100 drobin w kilogramie osadów. Z kolei belgijskie badania donoszą o ilościach dochodzących nawet do 400 drobin w kilogramie osadów z rejonów portowych (Claessens i in. 2011). Jeszcze wyższe ilości MP oszacowali badacze holenderscy w osadach w Morzu Wattowym (770 drobin w kilogramie suchej masy) oraz w delcie Renu (3300).

Istnieje wiele obserwacji terenowych świadczących o szkodliwym działaniu tworzyw sztucznych na florę i faunę (Wright i in. 2013). MP są pochłaniane przez wiele organizmów, takich

jak: bezkręgowce, żółwie, ryby, ptaki i morskie ssaki. Dotychczas prowadzono badania laboratoryjne polegające na analizie tempa filtracji MP z wody u przedstawicieli różnych taksonów bezkręgowców morskich, takich jak: widłonóg *Calanus helgolandicus*, pierścienica – piaskówka *Arenicola marina*, małż – omulek jadalny *Mytilus edulis*, obunóg – zmierzczek plażowy *Talitrus saltator* (przegląd szczegółowej literatury w Wagner i in. 2014, ryc. 3). Omulek jest jednym z bezkręgowców, u którego badano przenikanie MP z przewodu pokarmowego do tkanek. W zooplanktonie morskim zaobserwowano spadek tempa filtrowania glonów, wzrost śmiertelności i spadek płodności widłonogów w obecności MP. U wieloszczeta piaskówki pod wpływem MP pobranych w pokarmie dochodzi do spadku masy ciała i akumulacji w ciele pochodzących z MP polichlorowanych bifenyli (PCB) (Besseling i in. 2013). U omulka, w odpowiedzi na stan zapalny wywołany przez MP, wystąpił spadek tempa filtrowania wody i zmiany histologiczne. MP w połączeniu z pirenem podawane rybom morskim (babka piaskowa *Pomatoschistus microps*) (Oliveira i in. 2013) miały wpływ na biodostępność i biotransformację pirenu oraz obniżały efektywność oddychania. Inne badania wykazały istnienie transferu MP w morskich sieciach pokarmowych, na przykład z mezo- do makrozooplanktonu (Setälä i in. 2014) lub z małży do krabów morskich (Farrell, Nelson 2013). Wiedza na temat wpływu MP na zwierzęta jest jednak ograniczona.

MP w wodach śródlądowych

Mimo wielu doniesień naukowych na temat odpadów MP w środowisku morskim, niewiele uwagi poświęcono temu problemowi w wodach słodkich. W Ameryce Północnej w wodach powierzchniowych w pobliżu miast położonych nad Wielkimi Jeziorami wykryto MP unoszone w stężeniu 43 000 drobin na km² (Eriksen i in. 2013). Inne prace wskazują na depozycję MP w osadach dennych wynoszącą do 34 drobin na m² (jezioro Huron, Kanada), co wiąże



Ryc. 3. Przykładowe zwierzęta morskie poddawane badaniom działania mikroplastików: A – wieloszczet piaskówka *Arenicola marina*, B – zmierzaczek plażowy *Talitrus saltator*, C – omulek jadalny *Mytilus edulis* (źródło: 3A: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/eb/Arenicola_marina.JPG, autor: Auguste Le Roux Vannes, licencja: Creative Commons; 3B: https://commons.wikimedia.org/wiki/Talitrus_saltator#/media/File:Talitrus_saltator_2c.jpg, autor: Arnold Paul, licencja: Creative Commons; 3C: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0c/MiesmuschelN_Mytilus_1.jpg, autor: Benutzer: Darkone, licencja: Creative Commons)

Fig. 3. Selected marine animals exposed to microplastics: A – lugworm *Arenicola marina*, B – sand hopper *Talitrus saltator*, C – blue mussel *Mytilus edulis* (source: see above)

się z wpływem fabryki tworzyw sztucznych na tym terenie. W Europie, w osadach przybrzeżnych z północnej i południowej części jeziora Garda (Włochy) stężenie MP było jeszcze wyższe i wynosiło od 100 do 1100 drobin na m². Większość badań potwierdza osadzanie się na dnie głównie polimerów o niskiej gęstości, takich jak: polistyren (PS), polietylen (PE) i polipropylen (PP), co zapewne jest związane z bujnym rozwojem błon biologicznych na ich powierzchni.

Spore ilości MP wykrywane są również w wodach płynących. W sestonie unoszonym w kalifornijskich rzekach znaleziono od 30 do 109 drobin w m³, a w nurcie rzeki w Los Angeles do 12 000 drobin w m³, co powoduje, że dobo-

wy ładunek niesiony do Oceanu Spokojnego wynosi 1 mld drobin. Choć danych jest niewiele, to należy przypuszczać, że również inne rzeki mogą transportować ogromne ilości MP. Według ostatnich badań, znacznie zanieczyszczony MP jest Dunaj – jedna z największych rzek europejskich uchodząca do Morza Czarnego. Koncentrację MP w tej rzece mierząno za pomocą sieci dryfujących (frakcja wielkości oka 0,5–5 mm) (Lechner i in. 2014) i stwierdzono 50–900 drobin w 1000 m³. Oszacowano, że maksymalny ładunek MP wnoszony przez Dunaj może osiągać ok. 1500 ton odpadów plastikowych rocznie. Wielkość ta przewyższa obciążenie tworzywami sztucznymi stwierdzone w całym Północnoatlantyckim wirze (Law i in.

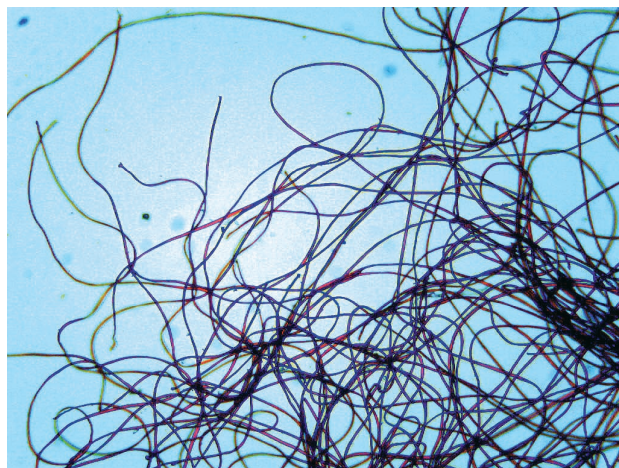
2010). Najnowsze dane dostarczają dowodów na to, że duże rzeki transportują znaczne ilości MP i tym samym przyczyniają się istotnie do zanieczyszczenia wód morskich. Kolejne dane dotyczące obecności MP w osadach rzecznych podał ostatnio Niemiecki Federalny Instytut Hydrologii Uniwersytetu Goethego, po przeprowadzeniu badań pilotażowych w Łabie, Mozeli, Nekarze i Renie. Badania potwierdziły obecność MP w osadach wszystkich rzek w stężeniach od 34 do 64 drobin MP na kg suchej masy, przy czym najbardziej obciążone tworzywami były osady Renu. Fragmenty tworzyw sztucznych w postaci włókien (pochodzące ze ścieków pralniczych) stanowiły 40% ogólnej ilości MP (Wagner i in. 2014).

Można więc przypuszczać, że podobnie jak w przypadku osadów morskich i ujść rzek, osady rzek i jezior mogą stanowić rezerwuary dla MP, jednak problem ten wymaga dalszych badań.

Źródła MP

Źródła MP w morzach nie są obecnie wystarczająco poznane. Orientacyjne szacunki zakładają, że 70–80% odpadów MP w wodzie morskiej pochodzi ze źródeł śródlądowych, trafiając do oceanów niesionych wraz z rzekami (GESAMP 2010). Największe ilości odpadów plastikowych produkują kraje azjatyckie (Parker 2015). Potencjalne źródła MP to zanieczyszczone ścieki z oczyszczalni, śmieci z plaży, odpady z rybołówstwa, transport ładunków morskich i odpady portowe (GESAMP 2010). Chociaż brak szczegółowych danych na temat wielkości ładunku odpadów z fabryk tworzyw sztucznych, to podejrzewa się, że przemysł ten jest dodatkowym źródłem MP. Główne źródło MP, jak wskazuje większość badań wód morskich, stanowią jednak wody śródlądowe.

Mimo takich podejrzeń, źródła lądowe MP nie zostały jednak dokładnie ustalone. Główne źródło MP w rzekach i jeziorach, podobnie jak w morzach, stanowić może odpływ z oczyszczalni ścieków i z obszarów miejskich, rolniczych, turystycznych i przemysłowych, a także dopływ odpadów związanych z transportem



Ryc. 4. Włókna z dzianiny poliestrowej typu polar, produkowane z odpadów plastikowych, m.in. z butelek typu PET (pow. $\times 100$; fot. T. Fleituch)

Fig. 4. Fibres of knitted polyester fleece, made from plastic waste, e.g. from recycled PET bottles (100 \times magnification; photo by T. Fleituch)

lądowym i żegluga wodną. Innym potencjalnym źródłem jest szlam z osadów ściekowych, który zawiera zwykle więcej MP niż osady rzek (Leslie i in. 2012). MP z osadów ściekowych, które są składowane na lądzie i wykorzystywane jako nawóz w rolnictwie, mogą trafiać wraz ze splywem powierzchniowym do rzek i jezior, a ostatecznie do mórz.

Powszechnie znanym, istotnym problemem dla oczyszczalni są ścieki zawierające włókna z tworzyw sztucznych, pochodzące z pranych syntetycznych ubrań (ryc. 4) oraz odpady sanitarne i kosmetyczne (Fendall, Sewell 2009). Możliwość usuwania mikrowłókien ze ścieków w konwencjonalnych oczyszczalniach są ograniczone (Cole i in. 2011), dlatego konieczne jest jak najszybsze przeprowadzenie oceny skali tego zjawiska.

MP a zwierzęta słodkowodne

Badania słodkowodnego kielbka *Gobio gobio* (ryc. 5) złowionego w 11 francuskich zanieczyszczonych rzekach wykazały obecność MP w przewodach pokarmowych u 12% osobników (Sanchez i in. 2014). Badania te miały



Ryc. 5. Kiełb pospolity *Gobio gobio* – gatunek rzeczny, w ciele którego wykryto mikroplastiki (fot. M. Nowak)
Fig. 5. Common gudgeon *Gobio gobio*, a river fish with microplastics found in its body (photo by M. Nowak)

jednak charakter wstępny i nieznane są tempo spożycia i wpływ MP na organizmy ryb. Badaniami laboratoryjnymi pod kątem kumulacji MP objęto z kolei zooplanktonową rozwielitkę *Daphnia magna* – gatunek często wykorzystywany w biotestach (ryc. 6). Rozwielitki karmiono MP o różnej średnicy drobin (0,02 i 1 mm) i wykazano, że MP przenikały z przewodów pokarmowych do ciała i były magazynowane w kroplach tłuszczu (Rosenkranz i in. 2009). Wyniki te wskazują, że MP mogą przenikać z przewodów pokarmowych w głąb ciała do tkanek, powodując dysfunkcje tkanek i narządów. Badano ponadto jeszcze wpływ MP u przedstawicieli innych grup bezkręgowców: pierścienic (*Lumbriculus variegatus*), kiełży (*Gammarus pulex*), małżoraczków (*Notodromas mona-*



Ryc. 6. Rozwielitka *Daphnia magna* – słodkowodny skorupiak filtrujący z wody mikroplastiki (fot. A. Pocięcha)

Fig. 6. Aquatic flea *Daphnia magna* – a freshwater crustacean, filtering particles of microplastics (photo by A. Pocięcha)

cha) i ślimaków (*Potamopyrgus antipodarum*) (Imhof i in. 2013). Te słodkowodne gatunki pobierały MP do przewodu pokarmowego, lecz rola MP jako nośników (tzw. wektorów) substancji toksycznych nie została dotąd poznana.

MP nośnikiem zanieczyszczeń

MP łatwo chłoną zanieczyszczenia pochodzące z wody, czemu sprzyja wysoki stosunek ich powierzchni do objętości oraz skład chemiczny. Szczególnie łatwo łączą się z metalami ciężkimi wykazującymi zdolność do akumulacji w drobinach polietylenu oraz ze związkami toksycznymi jak poli(tereftalan butylen) (PBT, tworzywo termoplastyczne) (Ashton i in. 2010). Niedawno opublikowano wiele prac na temat interakcji między MP i substancjami PBT (np. polichlorowane bifenyle – PCB i azotox – DDT) oraz przeprowadzono kilka badań z użyciem wielopierścieniowych węglodorów aromatycznych (WWA) (Wagner i in. 2014, literatura tamże). Nadal jednak brakuje informacji na temat wpływu innych potencjalnych zanieczyszczeń w polimerach, jakimi mogą być leki i ich pochodne, wykazujące podobne działanie do hormonów (np. EDC). W wielu tworzywach wykryto niebezpieczne i słabo biodegradowalne substancje, jak: nonylofenol (stosowany jako przeciwutleniacz,

dodatek do olejów, dodatek do detergentów do prania i mycia naczyń, emulgator i środek zwiększający rozpuszczalność) oraz bisfenol A (stosowany m.in. w opakowaniach, Hirai i in. 2011). Obecnie prowadzi się wiele badań dotyczących adsorpcji–desorpcji różnych związków chemicznych. Choć relacje te są bardzo złożone, można przypuszczać, że MP mogą odgrywać rolę wektora (tj. nośnika) zanieczyszczeń ze środowiska wodnego do fauny i flory. Eksperymentalne badania wykazały przyswajanie związków toksycznych u ryb narażonych na zanieczyszczenia zawarte w MP, powodujące m.in. takie niepożądane objawy jak: nadmierne wyczerpanie glikogenu i zmiany histopatologiczne (Rochman i in. 2013).

MP nośnikami patogenów

Oprócz wielu toksycznych substancji zawartych w MP pochłanianych przez rośliny i zwierzęta, istnieje jeszcze inny powód do niepokoju – niebezpieczeństwo zakażenia mikroorganizmami rozwijającymi się na błonie biologicznej (tzw. biofilm) utworzonej na powierzchni MP. Dotychczas przeprowadzono tylko nieliczne badania w ekosystemach wodnych na ten temat, jednak jest to problem pozostający w centrum zainteresowania mikrobiologów środowiska. Wstępnie opisano zróżnicowany zespół drobnoustrojów (tzw. plastisfera), odkryty na powierzchni MP w północnym Atlantyku (Zettler i in. 2013). W plastisferze znaleziono kilka grup bakterii rozkładających węglowodory, które mogą prowadzić do rozkładu odpadów plastikowych oraz, ku zaskoczeniu badaczy, zidentyfikowano też w MP oportunistyczne przecinkowce z rodzaju *Vibrio* (wiele gatunków jest odpowiedzialnych za zakażenia pokarmowe). Tworzywa sztuczne nieoczekiwanie mogą okazać się w środowisku morskim nośnikami ludzkich patogenów, wpływających na pogorszenie się stanu sanitarnego wód. Przecinkowce cholery notowano już kilkakrotnie w wodach Bałtyku, ale autorzy badań wiązali ich obecność tylko z podwyższoną temperaturą wody (gorące lata) i globalnym ociepleniem (Andersson, Ekdahl

2006; Vezzulli i in. 2013; Le Roux i in. 2015). Obecność MP w wodach oznacza więc nie tylko problem śmieci, ale i zagrożenie ekspansją groźnych patogenów drogą wodną na cały świat (Harrison 2012; Zettler i in. 2013). Ostatnie badania miejskiego odcinka rzeki Chicago wykazały, że bakterie śluzowodne wykazują wyższą liczebność i respirację na podłożu z tworzywa sztucznego (ryc. 7), niż na innych podłożach, takich jak: liście, aluminium, płytki ceramiczne (Hoellein i in. 2014). Problem ten wymaga wyjaśnienia i prowadzenia stałego monitoringu ekologicznego wód, zarówno morskich, jak i śródlądowych.



Ryc. 7. Duży płat folii z tworzywa sztucznego, porośniętej błoną biologiczną, znaleziony w rzece Wildze w centrum Krakowa (27.08.2015 r., fot. T. Fleituch)
Fig. 7. Large piece of plastic film overgrown by biological microfilm, found in the Wilga river in the centre of Cracow (27 August, 2015; photo by T. Fleituch)

MP – europejskie przepisy ochrony wód

Zagadnienia zagospodarowywania sztucznych polimerów i ochrony środowiska są uwzględnione w przepisach dotyczących prowadzenia polityki wodnej. Europejska dyrektywa ramowa w sprawie strategii morskiej (Dyrektywa 2008/56/WE) odnosi się do kwestii odpadów morskich, w tym tworzyw sztucznych. W tym przypadku MP są uwzględnione we wskaźniku opisowym nr 10 decyzji Komisji UE (2010/477 /UE), który definiuje dobry stan środowiska wody morskiej (Galgani i in. 2013). Ramowa Dyrektywa Wodna (2000/60/WE), dotycząca europejskich wód śródlądowych, nie odnosi się bezpośrednio do odpadów z tworzyw sztucznych. Państwa członkowskie UE mają jednak obowiązek monitorowania potencjalnej presji czynników antropogenicznych. W przypadku MP mamy więc do czynienia z substancjami, które mogą działać jako wektory dla szerokiego zakresu zanieczyszczeń w wodach słodkich. Okazało się, że MP mogą zawierać wymieniane przez RWD substancje niebezpieczne (tzw. substancje priorytetowe), jak: ftalan di(2-etyloheksylu) (DEHP), nonylofenol, oktylofenol i wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) (D.P EU 2013/39/UE, Dz.U. UE: L 226/1), których zrzut do środowiska naturalnego należy kontrolować i zdecydowanie ograniczać. Kilka innych dyrektyw europejskich odnosi się do potencjalnych źródeł MP w ekosystemach słodkowodnych: Dyrektywa w Sprawie Odpadów Opakowań (2004/12/WE), odpadów (2008/98/WE), składowisk odpadów (1999/31/WE), miejskich ścieków (91/271/EWG), osadów z oczyszczalni ścieków (86/278/EWG) i zanieczyszczeń produkowanych przez statki (2005/35/WE). Ponadto unijne prawodawstwo dotyczące związków chemicznych (REACH, 1907/2006/WE) reguluje sprawy polimerów plastikowych i dopuszczalnych ilości dodatków używanych do ich syntezy. W wydanej ostatnio *Zielonej Księdze w sprawie europejskiej strategii dotyczącej odpadów z tworzyw sztucznych w środowisku*, Komisja Europejska omawia problem plastików w ra-

mach szerszego przeglądu ustawodawstwa odpadów (European Commission 2013). Księga ta jednak skupia się głównie na problemie źródeł powstawania odpadów m.in. plastikowych, a w mniejszym stopniu na wpływie MP na organizmy wodne i człowieka.

Perspektywy

Rosnąca produkcja, długi czas rozkładu, właściwości fizykochemiczne oraz produkty odpadowe tworzyw sztucznych, notowane od roku 2000, doprowadziły do nadmiernego nagromadzenia się MP w wodach morskich i śródlądowych. Dotychczasowy stan badań źródeł MP i wiedza o ich wpływie na organizmy żywe jest niewystarczająca. Istniejące dane wskazują jednak na wiele zagrożeń, jakie niesie produkcja tworzyw z ropy naftowej.

Zintegrowanie działań w walce z zagrożeniami środowiskowymi pomoże w przyszłości wyeliminować współczesne problemy wywołane niekontrolowanym rozprzestrzenianiem się odpadów z tworzyw sztucznych. Do najważniejszych zadań należy:

- usprawnienie zbiórki, przechowywania i zagospodarowania odpadów polimerów z wykorzystaniem najnowszych technologii,
- zakaz składowania tworzyw sztucznych na wysypiskach, monitoring MP w rzekach i odpływach z oczyszczalni ścieków, standaryzacja metod pomiaru wielkości MP,
- zmniejszenie produkcji tworzyw sztucznych z węglowodorów ze źródeł nieodnawialnych na rzecz rozwijania produkcji biopolimerów (pochodzenia organicznego), o stosunkowo szybkim czasie rozkładu przez mikroorganizmy (do 6 miesięcy),
- kontynuacja badań naukowych nad wpływem MP i substancji chemicznych z nimi związanych na poszczególne organizmy wodne i całe łańcuchy pokarmowe (w tym człowieka), zwłaszcza w wodach śródlądowych, które stanowią główne źródło zanieczyszczenia tworzywami morskimi i oceanów.

Ostatnio pojawiła się nadzieja, że nowo wyizolowana bakteria *Ideonella sakaiensis* 201-F6 (Yoshida i in. 2016), która produkuje enzymy rozkładające plastiki PET (również poniżej 30°C), wraz z innymi mikroorganizmami o takim działaniu (np. grzyby Nimchua i in. 2008) pozwolą opracować w przyszłości skuteczną metodę biotechnologiczną utylizacji plastikowych odpadów.

PIŚMIENICTWO

- Andersson Y., Ekdahl K., 2006. Wound infections due to *Vibrio cholerae* in Sweden after swimming in the Baltic Sea, summer 2006. *Eurosurveillance Weekly Release* 11 (31), Article 2, 3 August 2006.
- Ashton K., Holmes L., Turner A. 2010. Association of metals with plastic production pellets in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin* 60 (11): 2050–2055.
- Besseling E., Wegner A., Foekema E.M., van den Heuvel-Greve M.J., Koelmans A.A. 2013. Effects of microplastic on fitness and PCB bioaccumulation by the lugworm *Arenicola marina* (L.). *Environmental Science & Technology* 47 (1): 593–600.
- Claessens M., De Meester S., Van Landuyt L., De Clerck K., Janssen C. 2011. Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast. *Marine Pollution Bulletin* 62 (10): 2199–2204.
- Cole M., Lindeque P., Halsband C., Galloway T.S. 2011. Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Marine Pollution Bulletin* 62 (12): 2588–2597.
- Dyrektywa 2004/12/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 11 lutego 2004 roku zmieniająca Dyrektywę 94/62/WE w sprawie opakowań i odpadów opakowaniowych [<http://ec.europa.eu/enlargement/ccvista/pl/32004l0012-pl.doc>], dostęp: 15.12.2015 r.
- Dyrektywa 2008/56/WE. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/56/WE z dnia 17 czerwca 2008 roku ustanawiająca ramy działań Wspólnoty w dziedzinie polityki środowiska morskiego (dyrektywa ramowa w sprawie strategii morskiej) (Dz.U. L 164 z 25.6.2008 r.) [<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=URISERV%3A128164>], dostęp: 15.12.2015 r.
- Dyrektywa Rady nr 86/278/EWG w sprawie ochrony środowiska, w szczególności gleby, w przypadku wykorzystania osadów ściekowych w rolnictwie [<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:31986L0278&from=PL>], dostęp: 15.12.2016 r.
- Dyrektywa Rady 91/271/EWG z dnia 21 maja 1991 roku dotycząca oczyszczania ścieków komunalnych [<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/HTML/?uri=CELEX:31991L0271&from=PL>], dostęp: 15.12.2016 r.
- Dyrektywa Rady 1999/31/WE z dnia 26 kwietnia 1999 roku w sprawie składowania odpadów [<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=URISERV:l21208>], dostęp: 15.12.2015 r.
- Dyrektywa 2005/35/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 7 września 2005 roku w sprawie zanieczyszczenia pochodzącego ze statków oraz wprowadzenia sankcji w przypadku naruszenia prawa [<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/HTML/?uri=URISERV:l24123&from=PL>], dostęp: 15.12.2015 r.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 roku w sprawie odpadów oraz uchylająca niektóre dyrektywy [<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098&from=PL>], dostęp: 15.12.2015 r.
- Rozporządzenie (WE) Nr 1907/2006. Rozporządzenie (WE) Nr 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 grudnia 2006 roku w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów (REACH), utworzenia Europejskiej Agencji Chemikaliów, zmieniające dyrektywę 1999/45/WE oraz uchylające rozporządzenie Rady (EWG) nr 793/93 i rozporządzenie Komisji (WE) nr 1488/94, jak również dyrektywę Rady 76/769/EWG i dyrektywy Komisji 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/WE i 2000/21/WE [<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R0317&from=PL>], dostęp: 15.12.2015 r.
- Eriksen M., Mason S., Wilson S., Box C., Zellers A., Edwards W., Farley H., Amato S. 2013. Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes. *Marine Pollution Bulletin* (S 1–2) 77: 177–182.
- European Commission 2013. Green Paper on a European Strategy on Plastic Waste in the Environment. European Commission, Brussels.
- Farrell P., Nelson K. 2013. Trophic level transfer of microplastic: *Mytilus edulis* (L.) to *Carcinus maenas* (L.). *Environmental Pollution* 177: 1–3.

- Fendall L.S., Sewell M.A. 2009. Contributing to marine pollution by washing your face: microplastics in facial cleansers. *Marine Pollution Bulletin* 58 (8): 1225–1228.
- Galgani F., Hanke G., Werner S., De Vrees L. 2013. Marine litter within the European Marine Strategy Framework Directive. *ICES Journal of Marine Science* 70 (6): 1055–1064.
- GESAMP (2010, IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection) Bowmer T., Kershaw P. (red.) 2010. Proceedings of the GESAMP International Workshop on microplastic particles as a vector in transporting persistent, bioaccumulating and toxic substances in the oceans. *GESAMP Reports & Studies* 82.
- Harrison J.P. 2012. The Spectroscopic Detection and Bacterial Colonisation of Synthetic Microplastics in Coastal Marine Sediments. University of Sheffield, Sheffield (PhD thesis).
- Hirai H., Takada H., Ogata Y., Yamashita R., Mizukawa K., Saha M., Kwan C., Moore C., Gray H., Laursen D., Zettler E.R., Farrington J.W., Reddy C.M., Peacock E.E., Ward M.W. 2011. Organic micropollutants in marine plastics debris from the open ocean and remote and urban beaches. *Marine Pollution Bulletin* 62 (8):1683–1692.
- Hoellein T.J., McCormick A., Kelly J.J. 2014. Riverine microplastic: abundance and bacterial community colonization. Abstract. W: Joint Aquatic Sciences Meeting. Portland, OR, USA.
- Imhof H.K., Ivleva N.P., Schmid J., Niessner R., Laforch C. 2013. Contamination of beach sediments of a subalpine lake with microplastic particles. *Current Biology* 23 (19): R867–R868.
- Law K.L., Morét-Ferguson S., Maximenko N., Proskurrowski G., Peacock E., Hafner J., Reddy C.M. 2010. Plastic accumulation in the North Atlantic subtropical gyre. *Science* 329 (5996): 1185–1188.
- Law K.L., Thompson R.C. 2014. Microplastics in the seas. *Science* 345 (6193): 144–145.
- Le Roux F., Wegner K.M., Baker-Austin C., Vezzulli L., Osorio C.R., Amaro C., Ritchie J.M., Defoirdt T., Destoumieux-Garzon D., Blokesch M., Mazel D., Jacq A., Cava F., Gram L., Wendling C.C., Strauch E., Kirschner A., Huehn S. 2015. The emergence of *Vibrio* pathogens in Europe: ecology, evolution, and pathogenesis (Paris, 11–12th March 2015). *Frontiers in Microbiology* 6: 830. doi: 10.3389/fmicb.2015.00830.
- Lechner A., Keckeis H., Lumesberger-Loisl F., Zens B., Krusch R., Tritthart M., Glas M., Schludermann E. 2014. The Danube so colourful: a potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe's second largest river. *Environmental Pollution* 188: 177–181.
- Leslie H.A., Moester M., de Kreuk M., Vethaak A.D. 2012. Verkennde studie naar lozing van microplastics door rwzi's. (Pilot study on emissions of microplastics from wastewater treatment plants). *H2O* 14/15: 45–47.
- Nimchua T., Eveleigh D.E., Sangwatanaroj U., Punnapayak H. 2008. Screening of tropical fungi producing polyethylene terephthalate-hydrolyzing enzyme for fabric modification. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology* 35 (8): 843–850.
- Oliveira M., Ribeiro A., Hylland K., Guilhermino L. 2013. Single and combined effects of microplastics and pyrene on juveniles (0+ group) of the common goby *Pomatoschistus microps* (Teleostei, Gobiidae). *Ecological Indicators* 34: 641–647.
- Parker L. 2015. Eight million tons of plastic dumped in ocean every year. *National Geographic*, 13.02.2015 r. [<http://news.nationalgeographic.com/news/2015/02/150212-ocean-debris-plastic-garbage-patches-science/>]; dostęp: 15.12.2015 r.
- Ramowa Dyrektywa Wodna (RDW) 2000. Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 roku ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej (Dz.U.UE L z dnia 22.12.2000 r.)
- Rochman C.M., Hoh E., Kurobe T., Teh S.J. 2013. Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. *Scientific Reports* 3: 3263.
- Rosenkranz P., Chaudhry Q., Stone V., Fernandes T.F. 2009. A comparison of nanoparticle and fine particle uptake by *Daphnia magna*. *Environmental Toxicology and Chemistry* 28 (10): 2142–2149.
- Sanchez W., Bender C., Porcher J.M. 2014. Wild gudgeons (*Gobio gobio*) from French rivers are contaminated by microplastics: preliminary study and first evidence. *Environmental Resources* 128: 98–100.
- Setälä O., Fleming-Lehtinen V., Lehtiniemi M. 2014. Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web. *Environmental Pollution* 185: 77–83.

- Raport PlasticsEurope 2015. Tworzywa sztuczne – Materiał XXI wieku. PlasticsEurope – Stowarzyszenie Producentów Tworzyw Sztucznych [http://www.plasticseurope.org/documents/document/20151123112635-fakty_o_tworzywach_2015_pl.pdf]; dostęp: 15.12.2015 r.
- Thompson R.C., Olsen Y., Mitchell R.P., Davis A., Rowland S.J., John A.W., McGonigle D., Russell A.E. 2004. Lost at sea: where is all the plastic? *Science* 304 (5672): 838–838.
- Vezzulli L., Colwell R.R., Pruzzo C. 2013. Ocean warming and spread of pathogenic vibrios in the aquatic environment. *Microbial Ecology* 65: 817–825.
- Yoshida S., Hiraga K., Takehana T., Taniguchi I., Yamaji H., Maeda Y., Toyohara K., Miyamoto K., Kimura Y., Oda K. 2016. A bacterium that degrades and assimilates poly(ethylene terephthalate). *Science* 351: 1196–1199.
- Wagner M., Scherer C., Alvarez-Muñoz D., Brennholt N., Bourrain X., Buchinger S., Fries E., Grosbois C., Klasmeier J., Marti T., Rodriguez-Mozaz S., Urbatzka R., Vethaak A.D., Winther-Nielsen M., Reifferscheid G. 2014. Microplastics in freshwater ecosystems: what we know and what we need to know. *Environmental Sciences Europe* 26: 16.
- Wright S.L., Thompson R.C., Galloway T.S. 2013. The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review. *Environmental Pollution* 178: 483–492.
- Zettler E.R., Mincer T.J., Amaral-Zettler L.A. 2013. Life in the “plastisphere”: microbial communities on plastic marine debris. *Environmental Science and Technology* 47 (13): 7137–7146.
- <http://adrift.org.au> – ARC Centre of Excellence Climate system Science. Computing spread of marine plastics; dostęp: 15.12.2015 r.

SUMMARY

Chrońmy Przyrodę Ojczystą 72 (1): 3–13, 2016

Fleituch T. Microplastics – Trojan Horse in aquatic ecosystems?

It is evident that plastics bring many societal benefits but the increased use of synthetic materials is of emerging concern. Huge accumulation of microplastics (below 5 mm) in aquatic environment is a threat to marine life. Data from freshwater ecosystems is scarce. So far, only few studies provide evidence for the presence of microplastic litter in rivers and lakes. Microplastics are ingested by aquatic species, but data on litter uptake by freshwater organisms is very limited. The majority of marine plastics are considered to originate from land-based sources, including surface waters. To assess the environmental risk associated with plastics, comprehensive data on their abundance, fate, sources, and biological effects in freshwater ecosystems are needed. Extensive collaboration between environmental scientists representing diverse disciplines (chemistry, hydrology, ecotoxicology) and environmental agencies (water management, chemical and ecological monitoring) is essential for future investigations.