

Mikroplastik i mezoplastik w wybranych wodach płynących na obszarze aglomeracji krakowskiej

Microplastic and mesoplastic in selected waters flowing in the Kraków agglomeration

EWA DACEWICZ, TOMASZ BERGEL, EWA ŁOBOS-MOYSA,
KATARZYNA MORACZEWSKA-MAJKUT, WITOLD K. NOCÓN

DOI 10.36119/15.2022.9.5

W pracy dokonano oceny występowania cząstek plastiku w zastoiskach Wisły, przepływającej przez aglomerację krakowską. W pobranych próbkach wód określono obecność plastikowych zanieczyszczeń z uwzględnieniem ich pochodzenia, wielkości, koloru i kształtu. We wszystkich badanych zastoiskach stwierdzono obecność zarówno pierwotnych, jak i wtórnych cząstek tworzyw sztucznych. Na podstawie wielkości drobin plastiku wyróżniono dwie główne jego grupy: mikroplastik i mezoplastik. Ze względu na kolor drobin wyróżniono sześć głównych grup: biały, czarny, czerwony, niebieski, szary i inny. Pod kątem kształtu, cząstki tworzyw sztucznych zakwalifikowano do pięciu grup tj. folia, granulki, płatki, skrawki i włókna.
Słowa kluczowe: mikroplastik, mezoplastik, wody powierzchniowe, zastoisko

In the article, the assessment of the occurrence of plastic particles in the reservoirs of the Vistula River flowing through the Krakow agglomeration was made. In the collected water samples, the presence of plastic particles according to their origin, size, color and shape was determined. The presence of plastic particles in all the tested stagnations was found. Based on the size, two main groups were distinguished, i.e. microplastic and mesoplastic. Due to the color of the particles, six main groups of plastic are distinguished: white, black, red, blue, gray and others. In terms of shape, the plastic particles are classified into five groups, i.e. foil, granules, flakes, scraps and fibers.

Keywords: microplastic, mesoplastic, surface water, stagnation

Wprowadzenie

Tworzywa sztuczne zostały wynalezione w połowie XIX w., ale ich produkcja na masową skalę rozpoczęła się po II wojnie światowej. O fakcie, jak bardzo ta gałąź przemysłu się rozwinęła, świadczy wzrost ilości wytwarzanych plastików z 1,5 do 367,0 mln ton na przestrzeni ostatnich 70-u lat [1]. Zdecydowanym światowym liderem pod względem wytwarzania plastików są Chiny. Z kolei zapotrzebowanie na tworzywa sztuczne w Europie w 2019 r. szacowano na ok. 50,7 mln ton, natomiast w kolejnym roku odnotowano jego spadek o prawie 5% do 48,3 mln ton. Polska na tle Europy pozostaje dużym konsumentem plastików. W 2020 r. przemysł krajowy zużył około 3,7 mln ton tego materiału, wykazując wzrost o ok. 3-4% w porównaniu z rokiem poprzednim [2].

W 2018 r. w Polsce składowano aż 42,3% z 1,9 mln ton odpadów tworzyw sztucznych, co stanowi bardzo duży ich odsetek w porównaniu z 10-ma europejskimi państwami, w których obowiązują ograniczenia lub zupełny zakaz składowania odpadów nadających się do odzysku lub recyklingu [3]. Choć w przeważającej części są to materiały nadające się do recyklingu, nadal większość z nich trafia jako odpady niesegregowane na składowiska lub wprost do środowiska naturalnego. „Tradycyjnymi” dla ludności całego świata miejscami, do których wyrzuca się odpady, niestety pozostają wody płynące. Polska nie stanowi w tym względzie wyjątku – do strumieni i rzek w naszym kraju każdego roku trafiają olbrzymie ilości plastikowych odpadów.

Mikroplastik (MP) stanowią polimerowe drobiny o wielkości poniżej 5 mm,

natomiast mezoplastik (MZP) - o wielkości od 5 do 25 mm. Cząstki tworzyw sztucznych mogą być wytwarzane celowo (tzw. pierwotne) lub powstawać w wyniku fotooksydacyjnego rozkładu ich większych fragmentów (tzw. wtórne). Pierwotny MP stanowią granulki dodawane do produktów higieny osobistej i artykułów gospodarstwa domowego lub włókna wykorzystywane w produkcji przemysłowej syntetycznych tekstyliów [4, 5]. Te ostatnie razem z kulkami polistyrenu w formie spienionej (styropianu) są przykładem pierwotnego MZP.

Warunki atmosferyczne (tj. temperatura, promieniowanie UV) oraz procesy degradacji mogą powodować zmiany w strukturze tworzyw sztucznych, a w konsekwencji ich rozdrobnienie. Procesy starzenia się i niszczenia plastiku w środowisku naturalnym są powolne i praktycznie

dr inż. Ewa Dacewicz <https://orcid.org/0000-0003-2167-8091>, dr hab. inż. Tomasz Bergel, prof. URK <https://orcid.org/0000-0003-0475-112X> – Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej, Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie; dr hab. inż. Ewa Łobos-Moysa, prof. PŚ <https://orcid.org/0000-0001-8180-7903>; dr inż. Katarzyna Moraczewska-Majkut <https://orcid.org/0000-0002-3888-6199>; dr inż. Witold K. Nocón <https://orcid.org/0000-0002-4404-8108> – Katedra Inżynierii Wody i Ścieków, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Politechnika Śląska w Gliwicach.
Adres do korespondencji/ Corresponding author: ewa.wasik@urk.edu.pl

nie prowadzą do całkowitego rozkładu plastikowych drobin. Jednym z głównych czynników odpowiedzialnych za wyflukowanie cząstek tworzyw sztucznych do ekosystemów wodnych są opady atmosferyczne. W przypadku tworzyw sztucznych o niskiej gęstości objętościowej tj. styropian istotna jest prędkość i kierunek wiatru.

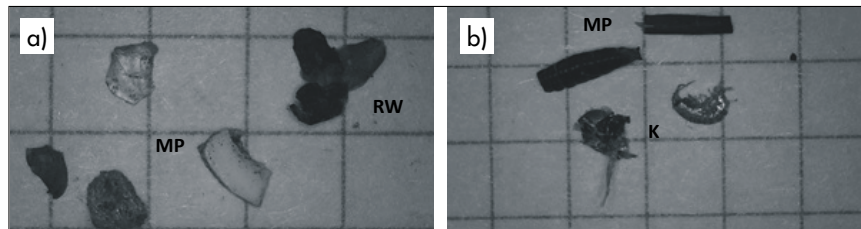
Drugim źródłem już rozdrobnionego plastiku są oczyszczalnie ścieków, które pomimo, że mogą usuwać MP o wielkości < 0,5 mm z wydajnością przekraczającą 98%, wprowadzają do środowiska około 3 ton tego zanieczyszczenia w ciągu roku [6]. W ściekach surowych dominuje MP w formie włókien (52,5 szt.·dm⁻³) przy całkowitej zawartości MP 57,6 szt.·dm⁻³ [8]. W odpływach z oczyszczalni stwierdza się całkowitą zawartość MP w zależności od liczby etapów oczyszczania, tj. od 0 do 91 szt.·dm⁻³ [7, 8]. Oceniając efekt pracy oczyszczalni ścieków, oprócz ilościowego określenia plastikowych cząstek w ściekach oczyszczonych należy brać pod uwagę również ich wielkość i formę. W odpływie z oczyszczalni wśród drobin plastiku o rozmiarze > 0,5 mm dominuje polietylen PE (ok. 59%) i polipropylen PP (ok. 16%), a wśród MP o wielkości < 0,5 mm polietylen PE (ok. 40%), polichlorek winylu PCV (ok. 16%), poliamid PA i polistyren PS (8%) [9].

Jak podaje literatura, wszystkie żółwie morskie, 50% gatunków ssaków morskich oraz 20% gatunków ptaków morskich, miały styczność z tworzywami sztucznymi [10]. W rezultacie połknięty wraz z pokarmem MP osadza się w tkankach tych organizmów [11]. Obecność MP stwierdzono we wszystkich organizmach morskich, tj. wykryto go w przewodzie pokarmowym ryb, delfinów przybrzeżnych i ptaków morskich oraz w tkankach miękkich małży [12]. W przypadku ryb, plastikowe cząstki były obecne w 49% próbek i najczęściej je zlokalizowano w przewodzie pokarmowym i skrzelach [12, 13]. Pod względem rodzaju dominowały włókna (54%) i fragmenty (45%). Mikrogranulki stanowiły zaledwie 1% i znajdowały się tylko w przewodzie pokarmowym. Również inne zanieczyszczenia, w tym toksyczne, zaadsorbowane na powierzchni polimerowej mikrocząstki mogą akumulować się w małżach lub być spożywane przez ryby i ptactwo wodne [14, 15]. Wiele organizmów wykazuje zdolność do wydalania drobin MP, co z jednej strony zmniejsza wpływ na ich zdrowie, lecz z drugiej strony nie rozwiązuje światowego problemu zanieczyszczenia drobinami tworzyw sztucznych.

Problematyka zanieczyszczenia mikro-

i mezoplastikiem wód powierzchniowych w publikacjach krajowych jest rzadko podejmowana. Dotyczy ona głównie obszaru Aglomeracji Górnośląskiej [16-18] oraz powiatu krakowskiego [19]. Od właściwości drobin tworzyw sztucznych zależy sposób, w jaki zostają one rozmieszczane w ekosystemach wodnych [20]. Zmienne fizyczne, takie jak pływy oraz prędkość wody, są zaangażowane w dyspersję i transport MP [21-23]. Plastikowe drobin w wodach powierzchniowych transportowane są jako zawiesina, ale również są one zatrzymywane w strefie przybrzeżnej rzek przez roślinność oraz naturalne ukształtowanie linii brzegowej. Cząsteczki tworzyw sztucznych osiadają na roślinności wodnej lub obok fragmentów gałęzi i liści gromadzą się w zastojach (ryc. 1), które są potencjalnym miejscem żerowania ryb i ptaków [24]. Podczas badań osadów Bałtyku stwierdzono zawartość MP w ilości od 55 do 9226 szt.·kg⁻¹ [25]. W badanych osadach czterech głównych mórz Chin, mikroplastik występował w największych ilościach, tj. od 750 do 14 000 szt.·kg⁻¹ w Morzu Południowocchińskim [12].

Z powyższych powodów bardzo ważne wydaje się być poznanie zanieczyszczenia wód cząstkami tworzyw sztucznych zarówno pod względem jakościowym, jak i ilościowym. W pracy dokonano identyfikacji drobin tworzyw sztucznych w wodach powierzchniowych Wisły na obszarze Krakowa i powyżej niego. Badaniom poddano mikro- oraz mezoplastik zanieczyszczający wybrane zastojiska rzeki.



Ryc. 1. Wyodrębnione z Wisły cząstki plastiku (MP) na tle: a) roślinności wodnej (RW) b) obumarłych kielży (K); kratka 2,5x2,5 mm.

Fig. 1. Plastic particles isolated from the Vistula River (MP) compared to: a) aquatic vegetation (RW) b) dead gussets (K); 2.5x2.5 mm grid.

Część doświadczalna

Obiekt badań

Rejon badań został zlokalizowany na obszarze narażonym na zanieczyszczenia antropogeniczne tj. ścieki oczyszczone oraz spływy miejskie, pochodzące z pobliskich osiedli mieszkaniowych, parkingów i miejsc rekreacji. Do badań wytypowano trzy zastojiska Wisły. Pierwsze z nich znajdowało się powyżej Krakowa na terenie

mało zaludnionego Bielańsko-Tynieckiego Parku Krajobrazowego w pobliżu parkingu przy klasztorze Kamedułów (50°01'10" N 19°48'07" E). Kolejne zastojisko zlokalizowane było przed stopniem wodnym Dąbie w Krakowie (50°03'13" N 19°58'37" E), a trzecie usytuowane było poniżej obszaru poddanego silnej antropopresji na przystani Yacht Klubu Polskiego Kraków w Dzielnicy Nowa-Huta (50°03'03,70" N 020°03'28,50" E).

Materiały i metodyka badań

Główną przeszkodą w identyfikacji drobin plastiku jest ich separacja. Zwykle wykorzystuje się różne procesy separacji, takie jak separacja gęstościowa czy separacja w masie. Nuelle i in. [26] opracowali procedurę oczyszczania próbki z materii organicznej za pomocą nadtlenu wodoru (H₂O₂) bez naruszania struktury polimerowej plastiku. Identyfikację mikroplastików można przeprowadzić poprzez analizę ich właściwości chemicznych w wyniku pomiaru absorbancji, jak i przepuszczalności MP za pomocą spektroskopii FT-IR [27-29].

W analizowanym przypadku, w okresie 07-10.2021 do badań sześciokrotnie pobrano po 10 litrów wody. Na miejscu w wyznaczonych punktach przepuszczano pobraną objętość wody przez siatkę planktonową o wielkości oczek 250 µm. Próbki zawierające plastikowe cząstki transportowano do laboratorium w szczelnie zamkniętych szklanych pojemnikach. Każdą próbkę poddawano obróbce wstępnej, tj. stosowano metodę różnicy gęstości z użyciem 10% roztworu NaCl, a następn-

nie próbki mieszano w celu rozdzielania cząstek plastiku. Po 24 godzinach filtrowano ciecz nadosadową i w ten sposób wydzielono cząstki plastiku. W celu wyeliminowania zanieczyszczeń organicznych użyto silnego utleniacza chemicznego, którym był 30% roztwór H₂O₂. Następnie tak przygotowane próbki poddano procesowi wstępnego sortowania pod mikroskopem sekcyjnym przy powiększeniu 10x. Do analizy mikroskopowej wykorzystano

mikroskop preparacyjny Bresser Science MPO 401.

W próbkach wody pobranych z zastoisk Wisły, określono pochodzenie cząstek plastiku (pierwotne, wtórne), jego wielkość w oparciu o największą średnicę (MP: < 5 mm, MZP: 5-50 mm), kolor (biały, czarny, czerwony, niebieski, szary oraz inny – różowy, zielony, żółty) i kształt drobin (folia, granulki, płatki, skrawki, włókna). Wszystkie odzyskane z wody drobinoplastiku zliczono według ww. grup, a oszacowaną liczbę cząstek wyrażono jako średnią jego zawartość w przeliczeniu na m^3 zanieczyszczonej wody.

Do analizy wariancji danych źródłowych, mającej na celu porównanie różnic w ilości drobin plastiku (zgodnie z przyjętymi kryteriami: pochodzenie, wielkość, kolor, kształt) pomiędzy poszczególnymi zastoiskami, wykorzystano test wielokrotnego porównania Tukeya. Różnica średnich dla danej pary grup została uznana jako istotna dla wartości prawdopodobieństwa testowego $p < 0,05$.

Wszystkie analizy statystyczne wykonano w programie Statistica 13.

Analiza liczby cząstek plastiku ze względu na ich pochodzenie, wielkość, kolor i kształt

Pomiędzy stanowiskami usytuowanymi wzdłuż Wisły zaobserwowano wyraźne różnice zarówno w liczbie cząstek plastiku, jak i w ich wielkości, kolorze oraz kształcie. Całkowita liczba drobin w próbkach wody pobranych poniżej obszaru poddanego silnej antropopresji była 2,5-krotnie wyższa niż w miejscu usytuowanym powyżej zurbanizowanego obszaru Krakowa. W zastoisku Wisły zlokalizowanym na zurbanizowanym terenie Krakowa, stwierdzono plastikowe cząstki pochodzenia pierwotnego, które najliczniej występowały w postaci granulek oraz sporadycznie w formie włókien. Na rycinie 2 zilustrowano przykłady pierwotnego plastiku (granulki styropianu) i wtórnego (skrawki). Jak podają Cedro i Cleary [30] w próbkach wody studzkiej w Irlandii styro-

pian był również dominującą formą MP pierwotnego.

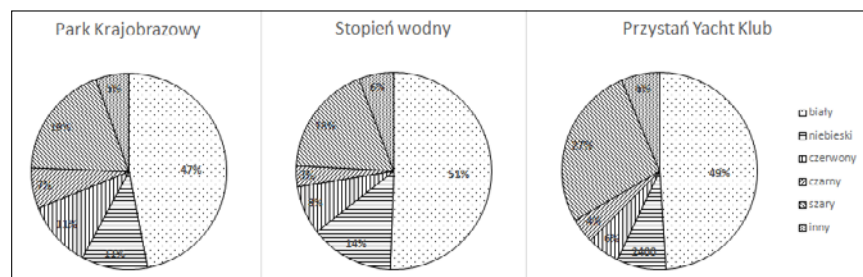
Większość drobin tworzy sztucznych odseparowanych z Wisły została uznana za plastik wtórny powstały w wyniku defragmentacji większych elementów polimerowych. Na rycinie 2a-b przedstawiono przykłady cząstek plastiku wtórnego tj. skrawki i folia. Istniała istotna różnica między pochodzeniem cząstek znalezionych w zastoiskach. Porównywalną ilość plastiku pierwotnego (w postaci granulek styropianu) i wtórnego znaleziono przy stopniu wodnym Dąbie. Świadczy o tym przeprowadzony test Tukeya, w którym prawdopodobieństwo wynosiło odpowiednio $p = 0,83$ i $p = 0,21$. W pozostałych dwóch zastoiskach liczba MP oraz MZP pochodzenia wtórnego była kilka razy wyższa niż liczba drobin pochodzenia pierwotnego.

Biorąc pod uwagę wielkość cząstek plastiku, w analizowanych zastoiskach Wisły wyróżniono dwie główne grupy polimerów - mikroplastik (MP) i mezoplastik (MZP). Lokalizacja zastoisk istotnie wpłynęła na wielkość zidentyfikowanych cząstek. Pod względem ilości plastiku zastoisko usytuowane na Przystani Yacht Klubu różniło się istotnie od zastoisk na terenie Parku Krajobrazowego i przy stopniu wodnym Dąbie. Na rycinie 2 przedstawiono wyodrębnione w zastoiskach Wisły przykłady MP i MZP. Najliczniejsze okazały się drobinoplastiku o wymiarach mniejszych niż 5 mm (ok. 84%). Fragmenty tworzy sztucznych o wielkości cząstek 5-50 mm (MZP) obserwowano rzadziej. Wyjątek stanowiły granulki styropianu,

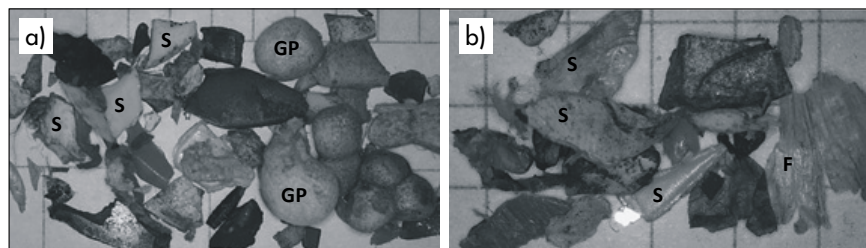
które najliczniej reprezentowały MZP. Jak podaje Mani i in. [31], w Tamizie prawie 60% wszystkich cząstek MP stanowiły cząstki o wielkości w zakresie 0,3-1,0 mm. Schmidt i in. [32] również wykazali, że w rzekach cząsteczki mikroplastiku o wielkości < 5 mm były liczniejsze niż cząstki mezoplastiku o rozmiarach powyżej 5 mm. Ravit i in. [33] stwierdzili natomiast, że w trzech rzekach przepływających przez najgęściej zaludnione obszary miejskie i podmiejskie New Jersey, mikroplastik o rozmiarach 1-4,5 mm stanowił aż 71% zidentyfikowanego plastiku.

Na podstawie koloru drobin plastiku wyróżniono sześć grup tj. biały, niebieski, czerwony, szary, czarny oraz inny, do którego zaliczono różowy, zielony i żółty. Jak wynika z ryciny 3 cząstki białe stanowiły ok. 50% wszystkich drobin plastiku. Dalu i in. [34] w badaniach nad wpływem urbanizacji na ilość MP w podzwrotnikowym systemie rzeczonym zaobserwowali, że wśród odzyskanych cząstek również dominowały mikrogranulki w kolorze białym.

Stwierdzono, że lokalizacja zastoisk wpłynęła na strukturę koloru odseparowanych cząstek plastiku w poszczególnych próbkach wody. We wszystkich zastoiskach dominującymi kolorami cząstek plastiku były biały, szary i niebieski. W zastoisku zlokalizowanym na terenie Parku Krajobrazowego zaobserwowano mniej cząstek białych (47%), a więcej czerwonych (11%) w porównaniu do pozostałych zastoisk. Test Tukeya potwierdził istotną różnicę w liczbie cząstek w tych kolorach ($p < 0,01$).



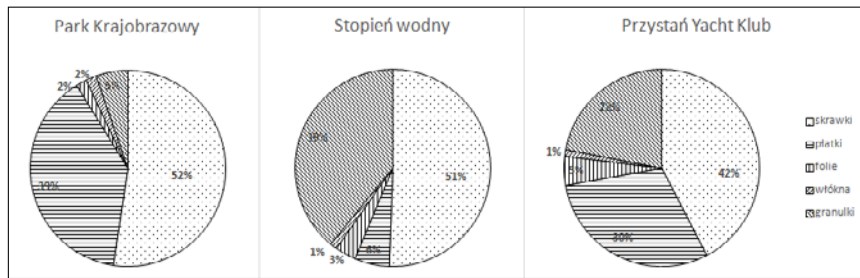
Ryc. 3. Procentowa zawartość cząstek plastiku w różnym kolorze, (% szt./ m^3 wody).
Fig. 3. Percentage amount of microplastic particles by color, (% pcs/ m^3 of water).



Ryc. 2. Przykłady plastiku pierwotnego tj. granulki styropianu (GP) i wtórnego skrawki (S), folia (F); kratka 2,5x2,5 mm.
Fig. 2. Examples of primary plastic, polystyrene granules (GP) and secondary scraps (S), foil (F); 2.5x2.5 mm grid.

Ze względu na kształt cząstek plastiku wyróżniono pięć głównych jego grup tj. skrawki, płatki, folia, granulki, włókna (ryc. 4). W żadnym z zastoisk nie stwierdzono obecności pianek.

Kształt mikrocząstek znalezionych w zastoiskach znacznie się różnił. Test Tukeya ($p < 0,02$) potwierdził istotną różnicę pomiędzy punktami, z których zostały odzyskane plastikowe drobinoplastiku. W zastoiskach znajdujących się przy



Ryc. 4. Procentowa zawartość cząstek plastiku o różnym kształcie, (% szt./m³ wody).
Fig. 4. Percentage amount of microplastic particles by shape, (% pcs/m³ of water).

Parku Krajobrazowym i stopniu wodnym skrawki stanowiły 50% wszystkich plastikowych drobin. Te dwa miejsca różniły się znacznie procentową zawartością płatków i granulek. Na terenie Bielańsko-Tynieckiego Parku i w pobliżu stopnia wodnego Dąbie liczba cząstek plastiku o tych kształtach stanowiła odpowiednio 39 i 5% oraz 6 i 39% wszystkich drobin. Biorąc pod uwagę również kolor można zasugerować, że w zastoisku, które znajdowało się przy parkingu w pobliżu miejsc rekreacji Parku Krajobrazowego, wśród odzyskanych drobin plastiku dominowały elementy plastiku z PP/PE czyli fragmenty opakowań i nakrętek napojów. W przypadku stopnia wodnego Dąbie dominowały białe skrawki, a także białe i szare granulki styropianu.

W porównaniu z pozostałymi dwoma zastoiskami, na przystani Yacht Klubu dominowały 3 typy drobin: skrawki, płatki oraz granulki. Stanowiły one odpowiednio 42, 30 i 22% wszystkich cząstek plastiku. Fragmenty tworzyw sztucznych, do których zaliczają się skrawki i płatki, powstające w wyniku rozdrobnienia lub ścierania i starzenia się większych elementów, stanowiły 72% odzyskanych drobin. Może to świadczyć o tym, że w miejscu usytuowanym poniżej obszaru zurbanizowanego jednym z głównych źanieczyszczeń były rozdrobione opakowania z PP. Wśród odzyskanych cząstek plastiku duży udział miały także granulki w kolorze szarym, czyli elementy zużytego styropianu.

Podczas 4 miesięcy badań liczba odzyskanych z Wisły drobin plastiku w przeliczeniu na 1 m³ wody wynosiła w Bielańsko-Tynieckim Parku Krajobrazowym 10934 sztuki, przy stopniu wodnym Dąbie 5800 sztuk, natomiast na przystani Yacht Klubu 29533 sztuki. W całym okresie badawczym udział fragmentów we wszystkich odzyskanych z Wisły cząsteczkach plastiku wynosił 73%. Mniejszą ilość stanowiły granulki (22%) oraz folia (3%). Najmniejszym typem cząstek okazały się być włókna (2%).

Jak wykazali Ravit i in. [33], w rzekach przepływających przez tereny silnie zurba-

nizowane, mikroplastik najczęściej występował w postaci fragmentów oraz kawałków styropianu, a ilość folii i włókien była najmniejsza. Nocoń wraz ze współautorami [16] zaobserwowali, że na obszarach silnie zurbanizowanych Górnego Śląska składnikami mikroplastików były przede wszystkim fragmenty folii, natomiast rzadziej występowały granulki, włókna i drobiny o nieregularnym kształcie. Mani i in. [31] w swoich badaniach wyodrębnili przede wszystkim nieprzezroczyste fragmenty i sferule (ok. 83%), które w większości składały się z usieciowanego polistyrenu. Przezroczyste kuleczki i włókna stanowiły odpowiednio 13,5 oraz 2,5%.

Jeszcze do niedawna jako najbardziej powszechne w próbkach wody słodkiej identyfikowano mikrokulki z PE występujące np. w peelingu do twarzy. Te sferule stanowiły 60% mikrodrobin plastiku znajdujących się w rzekach Ren oraz Ottawa [35]. Od kilku lat wzbogacanie kosmetyków w mikroperłki z tworzyw sztucznych jest zakazane w całej Unii Europejskiej.

Obecnie głównym źródłem granulek w wodach powierzchniowych wydaje się być styropian, wykorzystywany nie tylko jako materiał izolacyjny, lecz również w postaci pojemników na żywność i kubków na napoje, przeznaczonych do spożycia na miejscu lub na wynos. Według Mani i in. [31] dominującym rodzajem odzyskanego tworzywa sztucznego był właśnie polistyren (29,7%), a drugim w kolejności okazał się polipropylen (16,9%). Według Dey i in. [36] mikroplastiki na bazie polistyrenu i polietylenu, które głównie pochodzą z odzieży i sprzętu gospodarstwa domowego, są powszechnie spotykane w środowisku.

Podsumowanie

Badania mikro- i mezoplastiku w trzech wybranych zastoiskach Wisły zlokalizowanych na obszarze Krakowa i powyżej niego, potwierdziły wpływ urbanizacji obszaru, zarówno na ilość jak i strukturę drobin plastiku odseparowanych z próbek wody. Całkowita liczba

drobin w próbkach wody pobranych poniżej obszaru poddanego silnej antropopresji była 2,5-krotnie wyższa niż w miejscu usytuowanym powyżej zurbanizowanego obszaru Krakowa. Większość drobin tworzyw sztucznych odseparowanych z Wisły została uznana za plastik wtórny powstały w wyniku defragmentacji większych elementów polimerowych. Liczba drobin mikro- i mezoplastiku pochodzenia wtórnego była kilka razy wyższa niż liczba drobin pochodzenia pierwotnego. Najliczniejsze okazały się cząstki plastiku o wymiarach mniejszych niż 5 mm (ok. 84%). Z kolei mezoplastik w przeważającej ilości reprezentowany był przez granulki styropianu, wykorzystywanego nie tylko jako materiał izolacyjny w budownictwie, lecz także w produkcji pojemników na żywność i kubków na napoje. Stwierdzono, że lokalizacja zastoisk wpłynęła również na strukturę koloru odseparowanych cząstek plastiku. W zastoisku znajdującym się przy parkingu powyżej Krakowa, wśród odzyskanych drobin plastiku dominowały elementy plastiku z PP/PE, czyli fragmenty opakowań i nakrętek napojów. Z kolei na terenie Krakowa dominowały białe i szare granulki styropianu. Fragmenty tworzyw sztucznych odseparowane w zastoisku poniżej obszaru zurbanizowanego, do których zalicza się skrawki i płatki, powstające w wyniku rozdrobnienia lub ścierania i starzenia się większych elementów, stanowiły aż 72% odzyskanych drobin plastiku.

LITERATURA

- [1] <https://plasticseurope.org>, dostęp 08.04.2022
- [2] <https://inwestycje.pl/gospodarka/popyt-na-tworzywa-sztuczne-w-polsce-wzroslo-o-3-4-r-r-w-2020/>, dostęp 08.04.2022
- [3] www.plasticseurope.org, dostęp 20.03.2021
- [4] Mintenig S.M., Int-Veen I., Löder M. G., Primpke S., Gerdtis G. (2017). Identification of microplastic in effluents of waste water treatment plants using focal plane array-based micro-Fourier-transform infrared imaging. *Water Research*, 108, s. 365-372. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.11.015>
- [5] <https://www.plasticseurope.org/en/resources/publications/4312-plastics-facts-2020>, dostęp 20.03.2022.
- [6] Simon M., van Alst N., Vollertsen, J. (2018). Quantification of microplastic mass and removal rates at wastewater treatment plants applying Focal Plane Array (FPA)-based Fourier Transform Infrared (FT-IR) imaging. *Water Research*, 142, s. 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.05.019>
- [7] Lares M., Neibi M.C., Sillanpa W., Sillanpa M. (2018). Occurrence, identification and removal of microplastic particles and fibers in conventional activated sludge process and advanced MBR technology. *Water Research*, 133, s. 236-246. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.01.049>
- [8] Wolff S., Kerpen J., Prediger J., Barkmann L., Müller L. (2019). Determination of the micro-

- plastics emission in the effluent of a municipal waste water treatment plant using Raman microspectroscopy, *Water Research*, X2, s. 100014. <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2018.100014>
- [9] Mintenig S.M., Kooi M., Erich M.W., Primpke S., Redondo-Hasselerharm P.E., Dekker S. C., Koelmans A.A., van Wezel, A.P. (2020). A systems approach to understand microplastic occurrence and variability in Dutch riverine surface waters. *Water Research*, 176, s. 115723. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115723>
- [10] Zhao S., Zhu L., Li, D. (2016). Microscopic anthropogenic litter in terrestrial birds from Shanghai, China: Not only plastics but also natural fibers, *Science of the Total Environment*, 550, s. 1110-1115. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.112>
- [11] Grossman, E. (2015). How plastics from your clothes can end up in your fish. *TIME: Journal*. <https://time.com/3669084/plastics-pollution-fish/>
- [12] Jiang, Y., Yang, F., Kazmi, S. S. U. H., Zhao, Y., Chen, M., & Wang, J. (2022). A review of microplastic pollution in seawater, sediments and organisms of the Chinese coastal and marginal seas. *Chemosphere*, 286, s. 131677. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131677>
- [13] Barboza, L. G. A., Lopes, C., Oliveira, P., Bessa, F., Otero, V., Henriques, B., Raimundo J., Caetano M., Vale C., Guilhermino, L. (2020). Microplastics in wild fish from North East Atlantic Ocean and its potential for causing neurotoxic effects, lipid oxidative damage, and human health risks associated with ingestion exposure. *Science of the Total Environment*, 717, s. 134625. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134625>
- [14] Bajt O. (2021). From plastics to microplastics and organisms. *FEBS Open Bio* published by John Wiley & Sons, 11(4), s. 954-966. DOI: 10.1002/2211-5463.13120
- [15] Paluselli A., Fauvelle V., Galgani F., Sempere R. (2019) Phthalate release from plastic fragments and degradation in seawater. *Environmental Science Technology*, 53, s.166-175. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b05083>
- [16] Wiśniowska E., Moraczewska-Majkut K., Nocoń W. (2018). Efficiency of Microplastics Removal in Selected Wastewater Treatment Plants—Preliminary Studies. *Desalination and Water Treatment*, 134, s. 316-323. <https://doi.org/10.5004/dwt.2018.23418>
- [17] Moraczewska-Majkut K., Nocoń W., Zygufa M., Wiśniowska E. (2020). Quantitative analysis of microplastics in wastewater during selected treatment processes. *Desalination and Water Treatment*, 199, s. 352-361. doi: 10.5004/dwt.2020.26019
- [18] Nocoń W., Moraczewska-Majkut K., Wiśniowska E. (2020). Microplastics upstream and downstream dam-reservoirs. *Desalination and Water Treatment*, 199, s. 263-272.
- [19] Dacewicz E., Bergel T., Łobos-Moysa E., Moraczewska-Majkut K., Nocoń W. (2022). Microplastic and mesoplastic in stagnation of the Vistula water in highly urbanized areas of the Krakow poviat-preliminary research. *Acta Scientiarum Polonorum. Formatio Circumiecus*, 20(3-4), s. 5-17. <http://dx.doi.org/10.15576/ASP.FC/2021.20.3/4.5>
- [20] Cable R.N., Beletsky D., Beletsky R., Wigginton K., Locke B.W., Duhaime, M.B. (2017). Distribution and modeled transport of plastic pollution in the Great Lakes, the world's largest freshwater resource. *Frontiers in Environmental Science*, 5, 45. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2017.00045>
- [21] Free C.M., Jensen O.P., Mason S.A., Eriksen M., Williamson N.J., Boldgiv B. (2014). High-levels of microplastic pollution in a large, remote, mountain lake. *Marine Pollution Bulletin*, 85(1), 156-163. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.06.001>
- [22] Nel, H.A., Dalu, T., Wasserman, R.J., Hean, J.W. (2019). Colour and size influences plastic microbead underestimation, regardless of sediment grain size. *Science Total Environment*, 655, s. 567-570. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.261>
- [23] Mbedzi R., Dalu T., Wasserman R.J., Murungweni F., Cuthbert R.N. (2020). Functional response quantifies microplastic uptake by a widespread African fish species. *Science of the Total Environment*, 700, s. 134522.
- [24] Tibbetts J., Krause S., Lynch I., Sambrook Smith G.H. (2018). Abundance, distribution, and drivers of microplastic contamination in urban river environments. *Water*, 10(11), 1597, s. 1-14. doi:10.3390/w10111597
- [25] Esiukova E. (2017). Plastic pollution on the Baltic beaches of Kaliningrad region, Russia, *Marine Pollution Bulletin*, 114, s. 1072-1080. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.10.001>
- [26] Nuelle M. T., Dekiff J. H., Remy D., Fries E. (2014). A new analytical approach for monitoring microplastics in marine sediments. *Environmental Pollution*, 184, s. 161-169. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2013.07.027>
- [27] Anderson P.J. et al, 2017, Microplastics contamination in Lake Winnipeg, Canada, *Environmental Pollution*, 225, s. 223-372. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2017.02.072>
- [28] Talvite J. et al 2017, Solutions to microplastics pollution: Removal of plastics from wastewater effluent with advanced wastewater treatment technology, *Water Research*, 123, s. 401-407. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2017.07.005>
- [29] Yuvedha S., Yoganandhan U., Nampoothiri N.V.N. (2019). Quantitative analysis of microplastics in wastewater from treatment plant by visual identification and FT-IR imaging using H₂O₂ and FeSO₄: A case study. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (t. 561, nr 1, s. 012026). IOP Publishing. doi:10.1088/1757-899X/561/1/012026
- [30] Cedro A., Cleary J. (2015). Microplastics in Irish freshwaters: a preliminary study. In: *Proceedings of the 14th International Conference on Environmental Science and Technology*, Rhodes, Greece, 3, 1666-1669.
- [31] Schmitt, R.J., Bizzi, S., Castelletti, A. (2016). Tracking multiple sediment cascades at the river network scale identifies controls and emerging patterns of sediment connectivity. *Water Resources Research*, 52(5), s. 3941-3965. doi:10.1002/2015WR018097
- [32] Ravit B., Cooper K., Moreno G., Buckley B., Yang I., Deshpande A., Hsieh A. (2017). Microplastics in urban New Jersey freshwaters: distribution, chemical identification, and biological affect. *AIMS Environ. Sci.*, 4, s. 809-826. DOI: 10.3934/envirosci.2017.6.80
- [33] Mani T., Hauk A., Walter U., Burkhardt-Holm P. (2015). Microplastics profile along the Rhine River. *Scientific Reports*, 5(1), s. 1-7. DOI: 10.1038/srep17988
- [34] Dalu T., Banda T., Mutshekwa T., Munyai L.F., Cuthbert R.N. (2021). Effects of urbanisation and a wastewater treatment plant on microplastic densities along a subtropical river system. *Environ. Sci. and Pollution Res.*, s. 1-10. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13185-1>
- [35] Schmidt, C., Kumar, R., Yang, S., Büttner, O. (2020). Microplastic particle emission from wastewater treatment plant effluents into river networks in Germany: loads, spatial patterns of concentrations and potential toxicity. *Science Total Environment*, 737, s. 139544. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139544>
- [36] Dey T.K., Uddin M., Jamal M. (2021). Detection and removal of microplastics in wastewater: evolution and impact. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(14), s. 16925-16947. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12943-5>