

Migracja plastikowych odpadów pod satelitarnym nadzorem

# Co mówią dryfujące butelki

Każdego roku ziemską hydrosferę zalewają miliony ton plastikowych śmieci. Naukowcy opracowali metodę śledzenia butelek PET z wykorzystaniem satelitów, by sprawdzić, jak przemierzają one najpierw rzeki, a potem wody oceaniczne.

## Paweł Ziemiński

**P**roblem jest bez wątpienia poważny. Według szacunków w roku 2010 do oceanów trafiło między 5 a 13 milionów ton plastikowych odpadów. Sześć lat później do ekosystemów wodnych dostało się już od 18 do 23 milionów ton plastiku. W ramach akcji Międzynarodowego Sprzątania Wybrzeża w 2019 r.

działający w skali globalnej ochotnicy zebrali na plażach i wzdłuż szlaków wodnych ponad 1,8 miliona plastikowych butelek po napojach. Nazywa się je butelkami typu PET, gdyż wykonane są z politereftalanu etylenu.

Zanieczyszczenie plastikiem jest zagrożeniem dla zdrowia ludzi oraz bezpieczeństwa naturalnych ekosystemów

na całym świecie. To właśnie ten materiał stanowi 85% śmieci obecnych w morzach i oceanach. Liczby przedstawione przez Program Środowiskowy ONZ (UN Environment Programme) pokazują, że do 2040 r. ludzie będą dorzucać do światowego oceanu nawet 37 milionów ton plastikowych odpadów rocznie. Zanieczyszczenie wód morskich zostało też określone jako poważne wyzwanie dla



Wyposażona w elektronikę umożliwiającą śledzenie butelka dr Jenny Jambeck znaleziona przez rybaka w Baton Rouge

Źródło: University of Georgia



Dryfująca butelka badawcza z widoczną anteną

ludzkości w diagnozie UN IPBES (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services) z roku 2019.

### • Rozpoznać butelkowy szlak

Wcześniejsze badania naukowe dowiodły, że nawet do 80% plastikowych odpadów, jakie dostają się do oceanów, trafia tam przez rzeki. – *To pokazuje, że mamy do czynienia z prawdziwie globalnym problemem. Kawalek plastiku wrzucony do rzeki lub oceanu może wkrótce pojawić się po drugiej stronie świata* – mówi dr Emily Duncan z Uniwersytetu w Exeter (Wielka Brytania). Na drugim miejscu w rankingu rzek, które dorzucają tego plastiku najwięcej, znajduje się azjatycka rzeka Ganges. I to właśnie ona została wybrana przez naukowców do ewaluacji pionierskiej metody śledzenia plastikowych butelek. W badaniu wzięli udział przedstawiciele University of Exeter, Zoological Society of London, University of Plymouth, University of Georgia (USA) oraz uniwersytetu w Dhace (Bangladesz). Badanie było częścią programu Sea to Source: Ganges Expedition realizowanego w 2019 r. pod auspicjami National Geographic Society.

W ramach eksperymentu naukowcy wypuścili do wody ponad dwadzieścia wypakowanych aparaturą elektroniczną pojemników. Symulowały one zachowanie w wodzie typowej 500-mililitrowej butelki PET, wciąż częściowo wypełnionej cieczą. Ładunek w takiej butelce musiał być odpowiednio rozmieszczony, by zapewnić stabilność. Jednocześnie uwięzione wewnątrz powietrze dawało pojemnikowi odpowiednią wyporność i zapewniało, że umieszczona w nim antena będzie skierowana w górę, a nie w stronę dna rzeki.

Znakomitą większość tak przygotowanych butelek wypuszczono do Gan-

gesu, a trzy z nich trafiły już bezpośrednio do Zatoki Bengalskiej. Każda z tych skromnych jednostek pływających miała na pokładzie elektronikę niezbędną dla przeprowadzenia badania. Przede wszystkim był to odbiornik GNSS, który umożliwiał określanie dokładnej pozycji butelki. Dane o pozycji konkretnego plastikowego pojemnika były przesyłane do prowadzącego obserwacje zespołu naukowego. Transmisja danych geolokalizacyjnych mogła się odbywać dwójako: w terenach zurbanizowanych – za pośrednictwem sieci GSM, a na otwartym morzu – poprzez telekomunikację satelitarną.

Analizy pokazały, że butelki przemierzające wody Gangesu często podróżowały etapami, co i raz utykając po drodze na pewien czas. Te, które woda wyrzuciła na brzeg, mogły zostać później splukane do morza po nadejściu monsunowych opadów deszczu. Próbniki wypuszczone bezpośrednio do Zatoki Bengalskiej bez większego problemu pokonywały znacznie większe odległości. Zachowanie butelek w wodach otwartego oceanu pokazało pewien trend, zgodnie z którym w pierwszym etapie „pełnomorskiej podróży” butelki dosyć długo trzymały się wybrzeża – np. płynąc wzdłuż wschodnich krańców Indii, by dopiero potem znacząco oddalić się od brzegu.

Ogółem średnia prędkość butelki w rzece utrzymywała się na poziomie 1 km/dzień. W Zatoce Bengalskiej średnia prędkość wynosiła już 6 km/dzień. Najszybsza butelka pokonała natomiast aż 2845 km w okresie 94 dni!

W walkę z zalewem plastikowych śmieci i śledzenie ich migracji wzdłuż szlaków wodnych poważnie zaangażował się także bank Morgan Stanley. Współpracująca z nim dr Jenna Jambeck z University of Georgia prowadziła w 2021 r. badania dotyczące wędrów-

ki plastikowych butelek z nurtem rzeki Missisipi. Jedna z wyposażonych w odbiornik GPS butelek PET została przez Jambeck wpuszczona do rzeki w pobliżu St. Louis i przez 32 dni regularnie informowała badaczkę drogą radiową o swoim aktualnym położeniu. Po przebyciu około 48 km w dół rzeki pakiet na jakiś czas utknął, by potem wyruszyć w dalszy rejs. Wkrótce w dryfującej butelce wyczerpała się bateria i paczka na 11 dni „zniknęła z radaru” dr Jambeck. Po tym okresie do naukowczynie odezwał się rybak, który odnalazł zaginiony pakunek w zachodniej części miasta Baton Rouge. Do tego czasu butelka przemierzyła 1418 km. Prawdopodobnie część tego dystansu pokonała podczipwszy się do płynącej w dół rzeki barki.

### • Badania na otwartym oceanie

Podobne badania, ale na nieco inną skalę, ruszyły w 2022 r. 26 czerwca, w przededniu wydarzenia United Nations Ocean Conference, z lizbońskiej plaży Praia de Carcavelos naukowcy wpuścili bezpośrednio do Oceanu Atlantyckiego kolejną partię znaczników. Tym razem w przedsięwzięcie zaangażowali się badacze z University of Plymouth, University of Exeter, Zoological Society of London oraz aktywiści działający w ramach inicjatywy #OneLess, OneOcean.

Spreparowane plastikowe butelki – zawierające elektronikę umożliwiającą ich śledzenie – zostały w tym przypadku zaprojektowane przez specjalistów z organizacji Arribada zajmujących się technologiami na rzecz ochrony przyrody. Na każde urządzenie składa się miniaturowy odbiornik GNSS, nadajnik do komunikacji satelitarnej oraz baterie. Rozmiary i wagę wykorzystanych instrumentów, baterii, śrub czy kabli zmniejszono na tyle, by bez trudu zmieściły się w plastikowym pojemniku, a cały zestaw mógł wiernie naśladować ruchy typowej butelki PET.

Łączność zapewnia zestawom cienka 18-centymetrowa antena działająca skutecznie nawet w trudnych warunkach meteorologicznych. Urządzenia biorące udział w eksperymencie zostały również przystosowane do radzenia sobie ze wzburzonymi masami wodnymi na Atlantyku i przygotowane do samoczynnego odtwarzania właściwej pozycji w przypadku, gdy duża fala je przewróci czy też zostaną skotłowane przez prądy oceaniczne.

Pojedyncza butelka odczytuje swoją lokalizację GNSS co kilka godzin, a następnie przesyła tę informację do satelitów. W efekcie naukowcy kilka razy



Zdjęcie: Sara Hylton/National Geographic Society

Dr Emily Duncan wypuszcza pakiet badawczy do Gangesu

dziennie uzyskują zaktualizowane pozycje swoich trackerów. Dzięki temu badaniu specjaliści zdobędą wiedzę o tym, jak plastikowe butelki przemierzają wody oceanu i jakie w związku z tym stanowią zagrożenie dla życia przyrodniczego w tych wodach. Dziś bowiem dosyć dobrze już wiadomo, gdzie plastikowe odpady kończą swoje oceaniczne wojaże – np. w Wielkiej Pacyficznej Plamie Śmieci (jest to olbrzymie skupisko śmieci, złożone w przeważającej mierze z odpadów z tworzyw sztucznych, uformowane przez prądy oceaniczne i unoszące się w północnej części Oceanu Spokojnego) lub też głęboko na morskim dnie. Istnieje natomiast znacząca potrzeba zgromadzenia szerszych informacji o tym, jak śmieci poprzez oceany migrują i które docie-

rają do takiego czy innego miejsca swojego ostatecznego spoczynku.

Badanie lizbońskie następuje po dwóch tego typu próbach podjętych w 2021 r. W ich ramach trackery dwukrotnie wypuszczano z terenów Wielkiej Brytanii – najpierw podczas szczytu G7 w Kornwalii, a potem przy okazji konferencji klimatycznej pod egidą ONZ, wydarzenia COP26 w Glasgow.

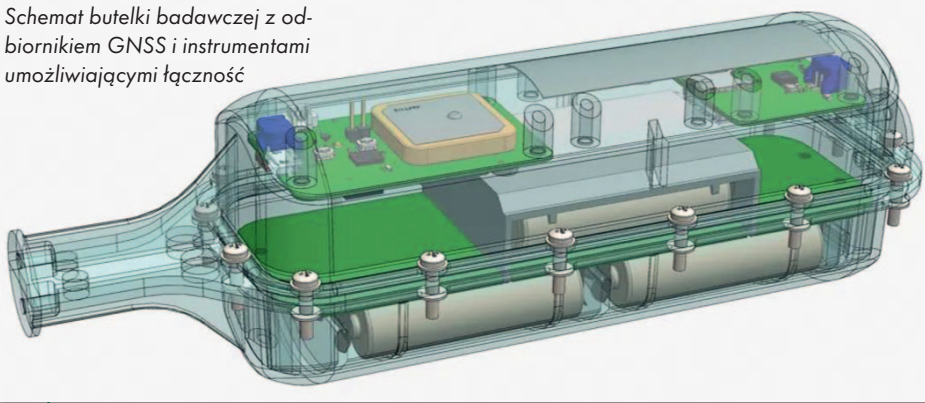
### ● Niezbędne wsparcie teledetekcyjne

Obok technologii GNSS w sprzątaniu plastikowych śmieci z powierzchni naszej planety bez wątpienia istotną rolę odgrywać będzie teledetekcja zarówno z poziomu satelitarnego, jak i lotniczego. We wrześniu 2022 r. podczas zorganizowanego w Warszawie Kongresu Międzynarodowej Federacji Geodetów (FIG)

mówiła o tym prof. Gordana Jakovljevic z Uniwersytetu w Banja Luce [patrz GEO-DETA 10/2022 – red.].

Pochodząca z Bośni i Hercegowiny badaczka jest współautorką opublikowanego w tym samym miesiącu artykułu naukowego pt. „Mapping Plastic Based on Multispectral UAV Images”. Jej zdaniem na wysokorozdzielczych obrazowaniach satelitarnych można póki co odnaleźć znacznie większe plamy plastikowych odpadów. W swojej publikacji przytacza zwińczone sukcesem przykłady zastosowania danych satelitarnych do wykrywania śmieci z tworzyw sztucznych. Srikanta Sannigrahi z University College Dublin wykorzystał w tym celu publicznie dostępne dane z europejskich satelitów Sentinel-2, działających w ramach systemu Copernicus. Zasilając tymi danymi zaawansowane algorytmy uczenia maszynowego, stworzył narzędzie zdolne do wykrywania pływającego plastiku z dokładnością na poziomie 80-90%. Sama Jakovljevic opracowała z zespołem algorytm do wykrywania plastiku unoszącego się w wodach słodkich. Działanie algorytmu oparte zostało na sztucznych sieciach neuronowych i multispektralnych obrazach o wysokiej rozdzielczości pochodzących z satelity WorldView-2. Natomiast Takashi Aoyama z Fukui University of Technology skorzystał z wysokorozdzielczych danych

Schemat butelki badawczej z odbiornikiem GNSS i instrumentami umożliwiającymi łączność



Zdjęcie: Alastair Davies/Arrabida Initiative

z WorldView-3 i zaangażował algorytm Spectral Angle Mapper do wyszukiwania zanieczyszczeń pływających w Morzu Japońskim. Generalny wniosek jest taki, że satelitarne technologie teledetekcyjne mają potencjał, by w istotny sposób wspomagać identyfikację odpadów z tworzyw sztucznych w środowisku wodnym, o ile mamy do czynienia z wysoką rozdzielczością przestrzenną, znaczącą rozdzielczością spektralną i wysoką rozdzielczością czasową (dużą częstotliwością akwizycji) zobrazowań pozyskiwanych z orbity.

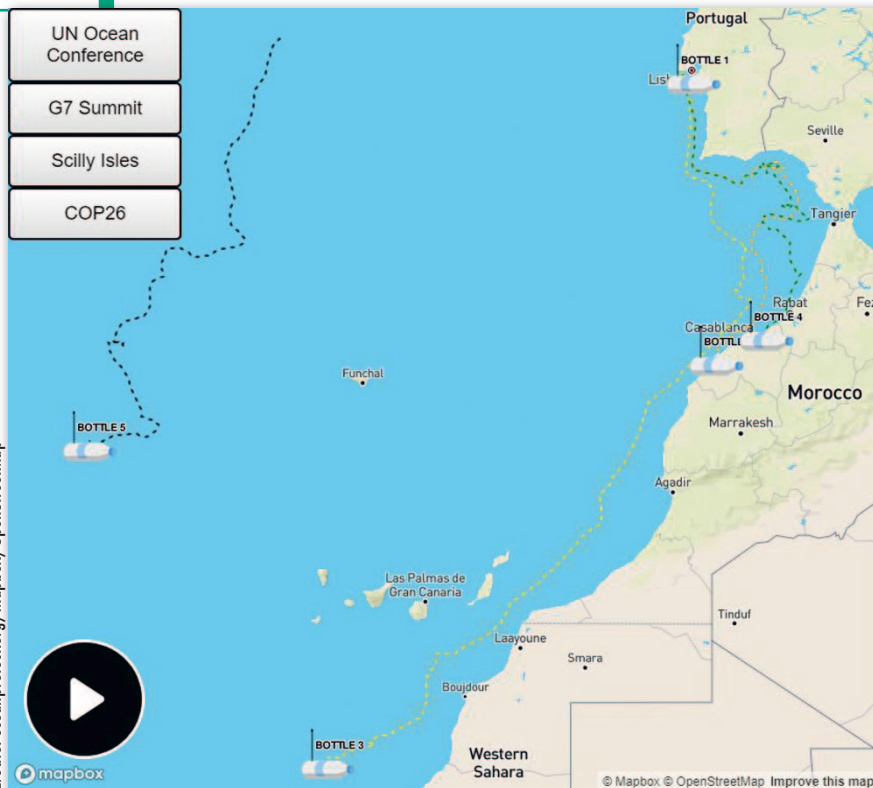
Do celów detekcji małych, pojedynczych obiektów niezbędne jest zbieranie danych z pułapu lotniczego z wykorzystaniem sensorów na pokładach bezzałogowych statków powietrznych. Omawiane podczas warszawskiej konferencji badania prowadzone przez Goranę Jakovljevic wraz z zespołem ekspertów z FIG oraz członkami FIG Young Surveyors Network ukierunkowane były na opracowanie metodyki wykrywania plastiku na danych teledetekcyjnych. Pokazały one, że użycie dronów do analizy sygnałów spektralnych pływającego i zanurzonego plastiku jest możliwe. W ramach naukowych prób do rejestrowania obrazów o ultrawysokiej rozdzielczości wykorzystano latający bezzałogowiec wyposażony w kamerę multispektralną pracującą w zakresie od 450 do 840 nm.

Dla naukowców jasne jest, że analizowanie ogromnych zbiorów zobrazowań dostarczanych przez drony będzie efektywne tylko wówczas, jeśli zaprzęgniemy się do tego algorytmu sztucznej inteligencji. Ściśle rzecz biorąc, zadanie to mają wykonywać konwolucyjne sieci neuronowe. Przeprowadzone testy dowiodły, że odpowiednio wyuczone sieci mogą nie tylko wykryć plastik w rzece, ale także rozpoznawać typy odpadów, takie jak np. liny, opakowania po produktach spożywczych czy butelki. Jest to zatem jeszcze jedna metoda monitorowania ruchu butelek wykonanych z politereftalanu etyleny w wodach płynących.

W podsumowaniu tekstu naukowego wieńczącego przywoływane badanie eksperci piszą: „Nasze wyniki wskazują, że dane multispektralne mogą być skutecznie wykorzystywane do wykrywania i oznaczania ilościowego pływających tworzyw sztucznych”. Ponadto, co wydaje się intuicyjnie dość oczywiste, pokazano zależność między rozdzielczością przestrzenną obrazu a możliwym do wykrycia rozmiarem kawałków plastiku.

## • Aby chronić zasoby wodne

Dotychczas istniały już pewne zasoby naukowej wiedzy o tym, jak plastiko-



Trasy pokonane na Atlantyku do początku października 2022 r. przez butelki wypuszczone na przełomie czerwca i lipca 2022 r.

we odpady poruszają się i gdzie zbierają w oceanie. Słabiej natomiast rozpoznane pozostawały szlaki, którymi plastik trafia do oceanów, oraz same trasy rzecznych wędrowek tego typu śmieci. Bo przecież znaczny procent butelek trafiających do rzek prędzej czy później kończy w oceanie. Co gorsza, rzeki zbierają odpady właściwie wzdłuż całego swojego biegu – często z wielu miast. – *Rzeki stanowią jednokierunkowy pas transmisyjny materiału. Łączą morze z ludźmi, którzy mogą mieszkać tysiące mil w głąb lądu. A ich działania mogą mieć wpływ na gromadzenie się plastiku w oceanach* – ostrzega Richard Thompson z University of Plymouth.

Dane zbierane przy użyciu trackerów GNSS można wykorzystać do budowy globalnych modeli przemieszczania się plastiku – w rzekach, morzach i oceanach. Pozwoli to m.in. na stwierdzenie, jakie czynniki i w jaki sposób rzutują na unoszenie się śmieci w wodach światowego oceanu. Zgromadzona wiedza pozwoli wytypować ludzkie osady zagrożone tego rodzaju zanieczyszczeniem wody oraz ocenić niebezpieczeństwo, jakie plastik niesie dla przyrody. Na podstawie poczynionych analiz eksperci będą mogli podjąć środki zaradcze.

Kampanie takie jak „Sea to Source: Ganges Expedition” powinny stanowić ważny sygnał alarmowy dla polityków i decydentów, jednocześnie dając im informacje o tym, gdzie i kiedy skutecznie odławiać śmieci. Na tym gruncie war-

to też próbować zmieniać świadomość społeczeństwa i kształtować pozytywne wzorce w zakresie gospodarowania odpadami. Szansa na śledzenie w internetowej aplikacji losów pojedynczego kawałka plastiku działa na wyobraźnię, co może być wykorzystywane choćby do ekologicznej edukacji dzieci. Najlepiej však walczyć z problemem u źródła, doprowadzając do tego, żeby szkodliwe odpady w ogóle nie trafiały do rzek.

Warto dodać, że technologia wykorzystana na rzecz śledzenia butelek z użyciem satelitarnej konstelacji GNSS została stworzona w duchu open source. To oznacza, że inni zainteresowani tematem naukowcy mogą dowolnie adaptować to rozwiązanie na potrzeby swoich badań. Być może z czasem dalszy rozwój technologiczny i miniaturyzacja elektroniki pozwolą na podobnej zasadzie śledzić wędrowkę paczek po chipsach czy foliowych reklamówkach.

W ostatecznym rozrachunku widać, że efektywne wykorzystanie technologii satelitarnych w zakresie GNSS, telekomunikacji i obserwacji Ziemi może istotnie wspomóc realizację celu czternastego z oenietowskiej Agendy na rzecz zrównoważonego rozwoju 2030. Jego treść brzmi: „Chronić oceany, morza i zasoby morskie oraz wykorzystywać je w sposób zrównoważony”.

**Paweł Ziemiński**

dziennikarz, ekspert ds. tematyki kosmicznej, pracuje na rzecz podmiotów związanych z satelitarną obserwacją Ziemi