

MIKROPLASTIK – NOWE ZAGROŻENIE DLA PŁAZÓW I GADÓW

MICHAŁ SZKUDLAREK
BARTŁOMIEJ NAJBAR

Słowa kluczowe:

mikroplastik, zanieczyszczenia, płazy,
gady, ekotoksykologia, antropopresja

Mikroplastik, czyli drobiny tworzyw sztucznych wielkości od 1 μm do 5 mm, jest wszechobecnym, trwałym i wysoce heterogennym polutantem. W ostatniej dekadzie udokumentowano jego powszechną obecność i bioakumulację we wszystkich głównych typach ekosystemów. Niniejsze opracowanie stanowi syntezę aktualnego stanu wiedzy o obecności i oddziaływaniu mikroplastiku na płazy i gady, konfrontując dane globalne z wynikami badań prowadzonych w Polsce. Analiza obejmuje: źródła i los mikroplastików w środowisku, mechanizmy jego oddziaływania od poziomu molekularnego po ekosystemowy, historię badań oraz lukę badawczą w herpetologii, a także rekomendacje ochroniarskie i metodyczne dla dalszych badań.

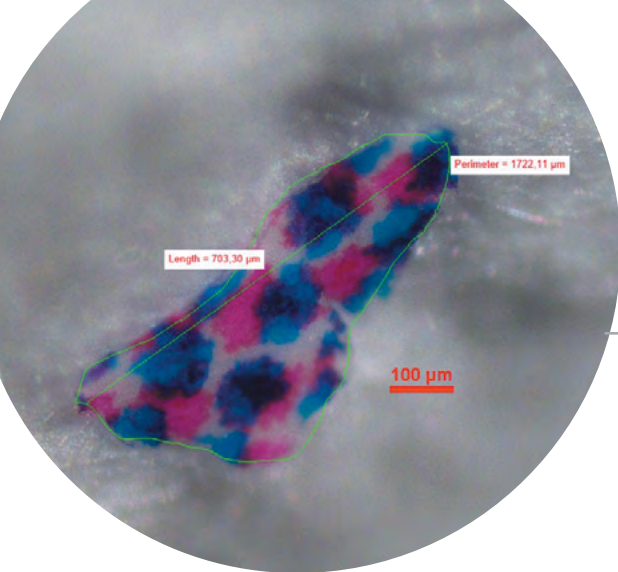
Key words:

microplastic, pollution, amphibians,
reptiles, ecotoxicology, anthropopression

Microplastics, or plastic particles ranging in size from 1 μm to 5 mm, are omnipresent, permanent, and highly heterogeneous pollutants. Their widespread presence and bioaccumulation in all major ecosystems have been documented over the past decade. This study summarizes the current state of knowledge on the presence and impact of microplastics on amphibians and reptiles, compares global data with the results of research conducted in Poland. The analysis includes: the sources and fate of microplastics in the environment, mechanisms of their impact from the molecular to the ecosystem level, research history and research gaps in herpetology, as well as conservation and methodological recommendations for further research.

1 | Silnie zanieczyszczone plastikowymi odpadami siedlisko kilku gatunków płazów w województwie lubuskim
fot. Michał Szkudlarek





2 | Wielokolorowy mikroplastik wyizolowany z kijanki. Fotografę wykonano z zastosowaniem oprogramowania NIS-Elements Basic Research fot. Michał Szkudlarek

Wstęp

Plastikowe odpady to obecnie codzienność w pracy biologa terenowego. Bez trudu zauważamy je w rozmaitych siedliskach zwierząt (ryc. 1), w norach, gniazdach i wszelkich innych miejscach związanych z ich bytowaniem. Powszechnie stwierdzane są także w wypławkach, odchodach i ciałach martwych zwierząt. Jest to zjawisko globalne i nasuwające pytania o wpływ obiektów plastikowych, szczególnie rozdrobnionych (mikroplastików, nanoplastików), na organizmy żywe. Niniejsza praca ma na celu przedstawienie aktualnego stanu wiedzy o mikroplastiku, ze szczególnym uwzględnieniem jego oddziaływania na płazy i gady.

Plastik i mikroplastik – charakterystyka, źródła, los w środowisku

Plastik zwykle tworzą syntetyczne (otrzymane z ropy naftowej lub gazu ziemnego) polimery, jak np. polipropylen, polietylen, polistyren (styropian) czy politereftalan etylenu (PET). Plastik jest wszechobecny m.in. w produktach codziennego użytku i opakowaniach, co wynika z dużych możliwości modyfikacji tego tworzywa, jego trwałości i niskich kosztów produkcji. Trwałość plastiku jest jednocześnie przyczyną omawianego w tym opracowaniu problemu, z jakim zmagają się aktualnie środowiska naturalne. Według raportu OECD (2022)

zaledwie 9% z 353 milionów ton odpadów plastikowych wytworzonych w 2019 roku poddano recyklingowi, podczas gdy ok. 22% wymknęło się systemom gospodarowania i trafiło bezpośrednio do środowiska. Z kolei, według analizy Geyera i innych (2017), aż 79% całego plastiku wyprodukowanego od 1950 roku zalega dziś na składowiskach lub jest rozproszona w glebie czy wodzie. Obecność plastiku w osadach związana jest z pojęciem „technostratygrafii” – wykorzystywaniem antropogenicznych warstw (np. odpady z tworzyw sztucznych w gniazdach ptaków; Hiemstra i in. 2025) do datowania geologicznego (Corcoran i in. 2014). Plastik jako jeden z najczęściej obecnie wytwarzanych materiałów jest uważany za najbardziej charakterystyczny element działalności człowieka w epoce antropocenu (Zalasiewicz i in. 2016). Co więcej, uważa się, że nawet przy natychmiastowym wstrzymaniu produkcji tworzyw syntetycznych, plastik zostanie w przyrodzie na zawsze.

Mikroplastik (MP) to cząstki wielkości od 1 µm do 5 mm, zróżnicowane pod względem rozmiaru, kształtu (np. włókna, granulki, płatki, fragmenty, pianki), koloru (ryc. 2) oraz składu chemicznego, tj. rodzaju budującego je polimeru. Często zawierają dodatki – barwniki, stabilizatory UV czy środki zmniejszające palność (Zhang i Xu 2020). Mikroplastiki są wytwarzane docelowo w swoim rozmiarze (tzw. mikroplastik pierwotny), np. jako przemysłowe granulaty czy mikrogranulki kosmetyczne (GESAMP 2015), bądź pochodzą z rozpadu większych przedmiotów plastikowych przy udziale czynników mechanicznych, chemicznych, biologicznych, promieniowania UV (tzw. mikroplastik wtórny; ryc. 3).

W skali geograficznej największym dostawcą środowiskowego mikroplastiku są rzeki uchodzące z gęsto zaludnionych zlewni w Azji, dokąd MP dostaje się wraz z różnymi rodzajami ścieków i spływem powierzchniowym. Po wpłynięciu do morza część cząstek kumuluje się w wirach wody, ale za ostateczne miejsce akumulacji uważa się osady głębinowe. Prowadzone na ten temat badania wykazały, że w osadach głębokomorskich stężenia włókien MP są aż do czterech rzędów wielkości wyższe niż w wodzie przy powierzchni (Woodall i in. 2014), a w wodach przydennych najgłębszych rowów oceanicznych notowano od kilku do kilkunastu cząstek tego rodzaju zanieczyszczeń na litr, czyli wartości przewyższające wody otwartego oceanu o kilkaset procent (Peng i in. 2018).

3 | Plastikowa butelka pozostawiona w środowisku ulega fotooksydacji i ścieraniu, stanowiąc źródło mikroplastiku wtórnego fot. Michał Szkudlarek



W środowisku naturalnym mikroplastik podlega dalszym przemianom – cząstki zmieniają barwę, pękają, łuszczą się, a ich powierzchnia ulega kolonizacji przez bakterie, grzyby i glony tworzące tzw. plastisferę (Amaral-Zettler i in. 2020). Sam plastik jest relatywnie obojętny chemicznie, jednak jego powierzchnia adsorbuje związki hydrofobowe z otoczenia – w tym pestycydy, metale ciężkie czy ksenoestrogeny – które mogą następnie być uwalniane w organizmach (O'Donovan i in. 2018), prowadząc do tzw. efektu konia trojańskiego. W ten sposób mikroplastik może pełnić funkcję nośnika zanieczyszczeń chemicznych, zwiększając ich biodostępność. Po wnikięciu do organizmu uwolnione z jego powierzchni substancje mogą działać toksycznie – wywoływać stres oksydacyjny, zaburzenia hormonalne czy uszkodzenia DNA – a przez to istotnie potęgować skutki ekspozycji na mikroplastik nawet wtedy, gdy same cząstki plastiku nie wykazują silnej reaktywności chemicznej.



4 | Plastikowe odpady (zakrętki, folie, zabawki, przedmioty codziennego użytku) – typowe zanieczyszczenia na nadmorskiej plaży
fot. Michał Szkudlarek

Badania nad mikroplastikiem rozpoczęły się od plaż (ryc. 4) i wód oceanów (ryc. 5), a pierwsze publikacje pojawiły się już w latach 70. XX wieku (Carpenter i in. 1972). Były one kontynuowane w tym kontekście (Fleituch 2016), być może po części za sprawą dużego znaczenia gospodarczego organizmów morskich, które jako potencjalne źródło mikroplastiku w diecie człowieka mogą negatywnie wpływać na zdrowie ludzi. Problem globalnego zanieczyszczenia oceanów został nagłośniony (np. Wielka Pacyficzna Plama Śmieci), jednak względnie późno, bo w 2013 roku, zaczęto badać pod tym samym kątem także śródlądowe wody słodkie (Eriksen i in. 2013), glebę, a w ostatnich latach również powietrze (O'Brien i in. 2023). Wyniki wskazują, że wody słodkie mogą być nawet bardziej zanieczyszczone mikroplastikiem niż wody słone (de Souza Machado i in. 2018).

Obecność mikroplastiku stwierdzono również w ludzkim organizmie – w kale, krwi, a nawet łożysku (Schwabl i in. 2019; Ragusa i in. 2020; Luo i in. 2024), co budzi poważne obawy zdrowotne. Spożywamy mikroplastik z wodą, rybami, owocami morza, a także wdychamy cząstki unoszące się w powietrzu. Co ciekawe, badania porównawcze dowodzą, że woda z kranu jest na ogół mniej zanieczyszczona mikroplastikiem niż woda butelkowana – przegląd

21 prac wykazał wyższe stężenia MP w wodzie butelkowanej (Gambino i in. 2022), a pomiary odnotowały średnio 325 cząsteczek/L w wodzie butelkowanej wobec 5,5 cząsteczek/L w kranowej (Mason i in. 2018; Kosuth i in. 2018). Szczególny niepokój rodzi nanoplastik o cząsteczkach mniejszych niż 1 µm, który może przenikać przez błony komórkowe i gromadzić się w tkankach (Leslie i in. 2022). Jednakże brak możliwości eksperymentalnego odwzorowania u człowieka chronicznej ekspozycji na mikroplastik utrudnia jednoznaczną ocenę ryzyka zdrowotnego.

Mikroplastik trafia do organizmów różnymi drogami – połykany przypadkowo (Bergmann i in. 2015), mylony przez zwierzęta z pokarmem, wchłaniany wraz z wodą czy osadem dennym (Szkudlarek i in. 2024a). Po dostaniu się do organizmu może wywoływać reakcje na poziomie molekularnym, obejmujące m.in. uszkodzenia DNA oraz stres oksydacyjny (Park i Do 2025). Na poziomie osobniczym obecność mikroplastiku skutkuje uszkodzeniami tkanek, śmiertelnością, złudnym uczuciem sytości, dysbiozą mikrobiomu jelitowego (Wang i in. 2025; Xiao i in. 2025), zaburzeniami wzrostu (Gazzola i in. 2025; Martin i in. 2025), zachowania (Bacchetta i in. 2021) i funkcjonowania układu odpornościowego (Park i in. 2024). Wreszcie, na poziomie ekosystemowym dochodzi do zaburzeń w całych sieciach troficznych oraz transferu mikroplastiku wzdłuż łańcucha pokarmowego.

Większość dostępnych badań dokumentuje głównie obecność cząstek plastiku, rzadziej ich faktyczny wpływ biolo-

5 | „Plastikowa codzienność” podczas nurkowania w wodach mórz i oceanów
fot. Bartłomiej Najbar



giczny na zwierzęta, szczególnie w przypadku płazów i gadów (Araújo i in. 2021; Altunışık i in. 2024a; Altunışık 2025).

Zanieczyszczenie mikroplastikiem jest lepiej poznane u płazów niż u gadów. Obie gromady badane są jednak od niedawna, a większość prac dotyczy obecności oraz charakterystyki tych polutantów i stopnia zanieczyszczenia osobników/gatunków w zależności od różnych parametrów (Rahman i in. 2024). Badania płazów pod tym względem są szczególnie istotne, gdyż ich larwy bytujące w środowisku wodnym

często żerują niewybiórczo – a po metamorfozie mogą stanowić istotny nośnik mikroplastików w piramidzie troficznej (Araújo i Malafaia 2021) oraz w ich transferze ze środowiska wodnego do lądowego (Ruthsatz i in. 2023). Co więcej, plaży są globalnie najbardziej zagrożoną wyginieciem gromadą kręgowców, a zanieczyszczenie plastikiem ich środowiska życia może nasilać działanie innych stresorów, takich jak patogeny, podwyższona temperatura czy inne polutanty (np. Morais i in. 2024). W dalszej części artykułu przeanalizowany zostanie aktualny stan wiedzy o re-

lacjach między płazami i gadami a mikroplastikiem, z uwzględnieniem aspektów metodycznych i ochroniarskich.

Mikroplastik a płazy

W ekotoksykologicznych badaniach u płazów, prowadzonych w terenie lub w warunkach eksperymentalnych, głównym obiektem są kijanki utrzymywane w akwariach z różnym stopniem stężenia mikroplastiku. Ograniczeniem badań terenowych jest ich opisowość i brak dokładnych informacji o tym, jak obecny w organizmie MP wpływa na biologię obiektów badawczych. Jednocześnie dostarczają one jednak cennych informacji o profilu zanieczyszczenia mikroplastikiem płazów i ich siedlisk, które mogą być wykorzystane do eksperymentów ekspozycyjnych. Badania eksperymentalne, choć pozwalają otrzymać precyzyjne dane o zmianach fizjologii, behawioru i morfologii, są często redukcjonistyczne i nie odzwierciedlają obecnego w środowisku naturalnym zróżnicowania mikroplastiku pod względem jego ilości, kształtów, kolorów, rozmiarów i składu chemicznego. Podobnie jak w przypadku badań nad związkami zaburzającymi układ hormonalny (Frątczak i in. 2025) ograniczają się one niekiedy do gatunków modelowych, toteż pomijają ogromne zróżnicowanie wśród płazów. Ponadto, zanieczyszczenie płazów mikroplastikiem wchodzi w interakcje ze współtowarzyszącymi stresorami, takimi jak temperatura i patogeny. Przykładowo wykazano, że jednoczesna ekspozycja kijanek oraz pasożytniczych przywr z rodziny Echinostomatidae na poliestrowe włókna MP obniża skutecz-

ność infekcji pasożyta (Buss i in. 2021). Pobieranie MP przez kijanki zwiększa podatność na infekcje grzybicze i wirusowe – u kijanek pętówki babienicy *Alytes obstetricans* pobierany mikroplastik zwiększał ich podatność na zakażenie ze strony *Batrachochytrium dendrobatidis* – grzyba wywołującego chytridiomykozę (Bosch i in. 2021), a u kijanek żaby szponiastej *Xenopus laevis* narażał na infekcję ze strony ranawirusów (Cai i in. 2024).

Porównując zanieczyszczenie mikroplastikiem u kijanek i dorosłych żab pobranych z tych samych stanowisk Tatlı i inni (2025) wykazali zaskakująco powszechniejszą obecność MP u osobników dorosłych (1,3 vs 44%). Niemniej jednak, większość badań płazów pod kątem ich zanieczyszczenia mikroplastikiem skupia się na kijankach (Araújo i in. 2021), które mogą doświadczać silniejszej ekspozycji na MP w środowisku wodnym oraz przez niewybiórcze żerowanie. Kolenda i inni (2020) wykryli mikroplastik u 26% przeanalizowanych osobników należących do wszystkich pięciu przebadanych gatunków płazów bezgonowych, pobranych w woj. dolnośląskim. Z kolei w próbach zebranych w woj. lubuskim Szkudlarek i inni (2023) stwierdzili MP aż u 73% larw należących do każdego z 10 analizowanych gatunków, obejmujących również traszki. Wykazano przy tym dodatnią korelację między stopniem zurbanizowania stanowisk poboru prób a ilością i zróżnicowaniem kształtów MP obecnego w larwach. Co więcej, najmniej zanieczyszczone MP okazały się larwy traszek, a najbardziej kijanki ropuch, co najpewniej wynika z drapieżnictwa tych

pierwszych oraz wszystkożerności i relatywnej tolerancji wobec zanieczyszczeń tych drugich.

Pobieranie mikroplastiku przez kijanki zależy m.in. od dostępności pokarmu (Hu i in. 2016). Jak sugerują wyniki Balestrieri i innych (2022), kijanki mogą wykazywać preferencje względem poszczególnych kolorów i kształtów MP, połykając je celowo. Słabo poznana, a bardzo istotną z punktu widzenia ekotoksykologii, kwestią jest przeciętny czas wędrówki MP w przewodzie pokarmowym do momentu wydalenia. Wyniki badań przeprowadzonych na skorupiakach wskazują, że mniejsze drobin zatrzymywane są dłużej (Yu i in. 2021). Sama wielkość drobin MP (Hampton i in. 2022) i rodzaj tworzącego je polimeru wpływa na biologiczne skutki ich obecności (Xiao i in. 2025), a negatywne efekty neurochemiczne (np. zmiana poziomu dopaminy) utrzymują się w kijankach nawet po zaprzestaniu ekspozycji na mikroplastik (Brito i in. 2025). Co ciekawe, kijanki dzięki plastyczności fenotypowej potrafią w pewnym stopniu kompensować niektóre ze skutków obecności mikroplastików. I tak, Ruthsatz i inni (2022) eksperymentalnie wykazali, że larwy żaby szponiastej poddane ekspozycji na MP miały większą długość oraz masę jelit niż osobniki z grupy kontrolnej (utrzymywane w czystej wodzie), przy czym kijanki z obu grup posiadały podobną masę ciała i kondycję. Wskazuje to na skuteczną kompensację niedoboru składników odżywczych poprzez wypełnienie przewodu pokarmowego mikroplastikami.

Mikroplastik wykrywa się także w przewodzie pokarmowym (Tatlı i Altunışık 2025), skórze oraz innych częściach ciała dorosłych żab (Burger i in. 2024). Podobnie jak w przypadku MP wyizolowanego z larw płazów (Szkudlarek i in. 2024b) i traszek (Dursun i in. 2024) dominują cząstki w kształcie włókien. Altunışık i inni (2024b), badając MP w przewodach pokarmowych traszek *Neurergus strauchii* i salamander *Lyciasalamandra atifi* pobranych w różnych latach, wykazali, że większa była różnorodność polimerów i ilość samych mikroplastików w próbkach salamander pobranych najpóźniej. Poziom zanieczyszczenia MP tych wodnych i lądowych przedstawicieli endemicznych dla Turcji oraz chronionych płazów był jednak porównywalny. Podobnie, Altunışık (2025) dla trzech gatunków z rodzaju *Ommatotriton* nie stwierdził międzygatunkowych różnic pod kątem obecności, liczebności czy wielkości mikroplastików wyizolowanych z ich przewodów pokarmowych. Inne tureckie badanie dowiodło obecności MP w przewodach pokarmowych także najstarszych z analizowanych okazów żaby śmieszki *Pelophylax ridibundus*, pobranych w 1984 roku (Dursun i in. 2023).

Dochodzi do transferu MP między organizmami na różnych poziomach troficznych. Manríquez-Guzmán i inni (2023) wykazali eksperymentalnie możliwość zachodzenia transferu troficznego mikroplastiku między wioślarkami (Cladocera) a ambystomą meksykańską *Ambystoma mexicanum*. Araújo i Malafaia (2021) z kolei, stosując trzypoziomowy układ troficzny obejmujący kijanki, ryby i myszy, za-

obserwowali zmiany behawioru u myszy wskutek spożycia ryb, które upolowały kijanki zanieczyszczone mikroplastikiem. Wskazuje to na możliwość udziału larw płazów w troficznym transferze MP ze środowiska wodnego do lądowego. Podejmuje się próby modelowania dynamiki populacji żab uwzględniające transfer mikroplastiku i spowodowaną nim śmiertelność zależną od dostępności zasobów i zagęszczenia populacji (Park i in. 2025).

Mikroplastik a gady

Badań eksperymentalnych dotyczących zanieczyszczenia MP u gadów jest zdecydowanie mniej. Analizuje się dietę pod kątem obecności MP w przewodzie pokarmowym (np. de Oliveira Cabral i in. 2025), określa się stopień bioakumulacji MP u osobników pochodzących z kolekcji muzealnych. Altunışık i inni (2024a) stwierdzili powszechne (94%) zanieczyszczenie MP przewodów pokarmowych jaszczurki węzookiej *Ophisops elegans*, przy czym osobniki w populacji żyjące bliżej zabudowań były silniej zanieczyszczone. W okazach muzealnych tego pospolitego w Anatolii gatunku jaszczurki wykryto MP nawet w próbkach pochodzących z 1986 roku (Dursun i in. 2025a). Podobnie obecność tych polutantów wykazano w przewodach pokarmowych muzealnych okazów z 1986 roku zaskrońców zwyczajnych *Natrix natrix* i zaskrońców rybołówów *Natrix tessellata* pochodzących z Turcji (Gül i in. 2022). We wspomnianych badaniach, jak i tych dotyczących amfisybeny (Dursun i in. 2025b), najczęściej identyfikowanym typem polimeru był politere-

ftalan etylenu (PET), a wśród kształtów mikroplastików dominowało włókno. We wszystkich przytoczonych analizach (z wyjątkiem tych dla zaskrońca rybołowa) przeważał niebieski kolor MP. Biorąc pod uwagę charakterystykę mikroplastików stwierdzanych w żabach zielonych (najczęściej występowało niebieskie włókno PET; Tatlı i Altunışık 2025), jest wysoce prawdopodobne, że przynajmniej część wykrywanych w zaskrońcach MP jest pobierana pośrednio – wraz z upolowanymi żabami, stanowiącymi istotny element diety (Najbar i Borczyk 2012). Co więcej, wyniki badań przeprowadzonych na rybach wskazują, że **mikroplastiki w formie włókien pozostają w organizmie zwykle dłużej niż te o innych kształtach** (Xiong i in. 2019). Wydłużony czas zatrzymania może współodpowiadać za przewagę liczebną tego typu cząstek w próbkach pochodzących od dzikich kręgowców oraz implikować potencjalnie poważniejsze konsekwencje zdrowotne w porównaniu z innymi typami morfologicznymi mikroplastiku.

Podsumowanie

Mikroplastik jest obecnie trwałym elementem krajobrazu ekologicznego i geochemicznego, a jego właściwości (rozproszenie, zróżnicowanie kształtów i polimerów, zdolność do tworzenia plastisfery oraz adsorpcji zanieczyszczeń) czynią go szczególnie istotnym stresorem wobec płazów i gadów. Płazy z racji wodno-lądowego cyklu życia i niewybórczego żerowania larw stanowią zarówno swoisty bioindykator, jak i ogniwo transferu MP z ekosystemów wodnych do lądowych lub odwrotnie.

Dane dla gadów w tym zakresie są znacznie uboższe, lecz dostępne analizy (w tym wykorzystujące okazy muzealne) potwierdzają historyczną i współczesną obecność mikroplastiku w przewodach pokarmowych kilku taksonów, wskazując na lukę badawczą dotyczącą tej gromady.

Rysuje się pula priorytetów badawczych: (1) standaryzacja metodyki poboru, ekstrakcji i weryfikacji cząsteczek mikroplastiku, (2) uwzględnienie nanoplastiku, (3) analiza interakcji z innymi stresorami – patogenami, temperaturą, deficytem pokarmu, zanieczyszczeniami chemicznymi, (4) rozszerzenie zakresu taksonomicznego i ontogenetycznego (gady o podziemnym trybie życia, stadia lądowe płazów), (5) zastosowanie okazów muzealnych do rekonstrukcji historycznego zanieczyszczenia mikroplastikiem, (6) poznanie czasu przebywania MP w organizmie, w zależności od wielkości, kształtu oraz polimeru, (7) badania funkcjonalne m.in. wpływu na mikrobiom i odpowiedź immunologiczną, oraz (8) modelowanie transferu troficznego z uwzględnieniem różnych strategii pokarmowych.

Implikacje ochroniarskie obejmują zarówno działania u „źródeł” (redukcja emisji pierwotnego i wtórnego mikroplastiku poprzez usprawnienie gospodarki odpadami i ograniczenie niekontrolowanych wycieków), jak i siedliskowe (ograniczanie zanieczyszczeniami ze spływu powierzchniowego i ścieków, utrzymanie stref buforowych). Integracja MP jako wskaźnika presji w narzędziach monitoringu populacji płazów może pomóc przyszłemu rozpo-

znaniu kumulatywnych efektów stresorów, a wykorzystanie płazów jako „gatunków strażniczych” sprzyja wczesnemu wykrywaniu rosnącego zanieczyszczenia MP. Dla gadów wskazane jest ustanowienie podstawowego protokołu badań, który umożliwi porównywalność danych i późniejsze oszacowanie istniejącego ryzyka.

Podsumowując, mikroplastik należy traktować jako komponent zintegrowany z istniejącą mozaiką presji (zmiany klimatyczne, fragmentacja siedlisk, patogeny). Skuteczna ocena ryzyka i formułowanie priorytetów ochrony w tym zakresie wymagają badań łączących skalę mechaniczną (reakcje fizjologiczne) ze skalą populacyjną i ekosystemową (retencja, transfer). Tylko interdyscyplinarne podejście – łączące ekologię terenową i toksykologię – umożliwi przejście od inwentaryzacji mikroplastiku do kompleksowej oceny znaczenia tego polutanta dla stanu herpetofauny.

Michał Szkudlarek

michal.szkudlarek@usz.edu.pl

Katedra Ekologii i Antropologii

Instytut Biologii Uniwersytetu Szczecińskiego

ul. Wąska 13, 71-415 Szczecin

Bartłomiej Najbar

b.najbar@wnb.uz.zgora.pl

Katedra Zoologii, Instytut Nauk Biologicznych,

Uniwersytet Zielonogórski

ul. Prof. Z. Szafrana 1, 65-516 Zielona Góra

LITERATURA

- Altunışık A. 2025. Same Genus, Same Burden: Microplastic Pollution in Banded Newts. *Environmental Research* 283: 122196.
- Altunışık A., Tatlı H., Yıldız M., Aydogdu M. 2024b. Spatiotemporal variation in the ingestion of microplastics in aquatic and terrestrial salamanders endemic to Türkiye. *Ecological Indicators* 167: 112669. doi: 10.1016/j.ecolind.2024.112669.
- Altunışık A., Yıldız M., Tatlı H. 2024a. Microplastic accumulation in a lizard species: Observations from the terrestrial environments. *Environmental Pollution* 359: 124754.
- Amaral-Zettler L.A., Zettler E.R., Mincer T.J. 2020. Ecology of the plastisphere. *Nature Reviews Microbiology* 18: 139–151. doi: 10.1038/s41579-019-0308-0
- Araújo A., Lopes Rocha T., Silva D.M. Malafaia G. 2021. Micro(nano)plastics as an emerging risk factor to the health of amphibian: A scientometric and systematic review. *Chemosphere* 283: 131090. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.131090
- Araújo A., Malafaia G. 2021. Microplastic ingestion induces behavioral disorders in mice: A preliminary study on the trophic transfer effects via tadpoles and fish. *Journal of Hazardous Materials* 401: 123263. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.123263
- Bacchetta R., Winkler A., Santo N., Tremolada P. 2021. The Toxicity of Polyester Fibers in *Xenopus laevis*. *Water* 13: 3446.
- Balestrieri A., Winkler A., Scribano G., Gazzola A., Lastrico G., Grioni A., Pellitteri-Rosa D., Tremolada P. 2022. Differential effects of microplastic exposure on anuran tadpoles: A still underrated threat to amphibian conservation? *Environmental Pollution* 303: 119137.
- Bergmann M., Gutow L., Klages M. (red.). 2015. *Marine Anthropogenic Litter*. Springer Cham, Heidelberg–New York–Dordrecht–London. doi: 10.1007/978-3-319-16510-3
- Bosch J., Thumsová B., López-Rojo N., Pérez J., Alonso A., Fisher M., Boyero L. 2021. Microplastics increase susceptibility of amphibian larvae to the chytrid fungus *Batrachochytrium dendrobatidis*. *Scientific Reports* 11: 22438.
- Brito R., Ferreira R., Soares W., Guimarães A., Rodrigues A., Luz T., Gomes A., Matos L., Malafaia G. 2025. Persistent Effects of Naturally Aged Polyethylene Terephthalate Microplastics on *Physalaemus cuvieri* Tadpoles: The Toxic Legacy Beyond Exposure. *Water, Air & Soil Pollution* 236: 122. doi: 10.1007/s11270-025-07758-w.
- Burger M., Bouwman H., du Preez L.H., Landman W. 2024. Larger Common River Frogs (*Amietia delalandii*) have Fewer and Shorter Tissue Microplastic Fibres than Smaller Frogs. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 112(2): 29. doi: 10.1007/s00128-024-03852-7.
- Buss N., Sander B., Hua J. 2021. Effects of Polyester Microplastic Fiber Contamination on Amphibian-Trematode Interactions. *Environmental Toxicology and Chemistry* 41(4): 869–879.
- Cai B., De Jesus Andino F., McGrath J.L., Romanick S.S., Robert J. 2024. Ingestion of polyethylene terephthalate microplastic water contaminants by *Xenopus laevis* tadpoles negatively affects their resistance to ranavirus infection and antiviral immunity. *Environmental Pollution* 356: 124340. doi: 10.1016/j.envpol.2024.124340.
- Carpenter E., Anderson S.J., Miklas H.P., Peck B.B., Harvey G.R. 1972. Polystyrene spherules in coastal waters. *Science* 178(4062): 749–750. doi: 10.1126/science.178.4062.749.
- Corcoran P., Moore C., Jazvac K. 2014. An anthropogenic marker horizon in the future rock record. *GSA Today* 24: 4–8.
- de Oliveira Cabral S., dos Santos R., Queiros A., Lima J., Calabuig C. 2025. Dietary composition of *Oxyrhopus trigeminus* in the Brazilian semiarid: new records, a literature review, and an incidental case of plastic ingestion. *Neotropical Biology and Conservation* 20(2): 149–164.
- de Souza Machado A.A., Kloas W., Zarfl C., Hempel S., Rillig M.C. 2018. Microplastics as an emerging threat to terrestrial ecosystems. *Global Change Biology* 24(4): 1405–1416. doi: 10.1111/gcb.14020.
- Dursun C., Candan K., Karaoğlu K., Ilgaz Ç., Kumlutaş Y., Yildirim E., Gül S. 2025a. Microplastic accumulation in snake-eyed lizard (*Ophisops elegans* Menetries, 1832) after long-term monitoring: habitats matter, not years. *Environmental Sciences Europe* 37: 8. doi: 10.1186/s12302-024-01042-0.
- Dursun C., Demirci N., Candan K., Yıldırım C., Kumlutaş Y., Ilgaz Ç., Gül S. 2025b. Microplastic Contamination of the Turkish Worm Lizard (*Blanus strauchi* Bedriaga, 1884) in Muğla Province (Türkiye). *Biology* 14(4): 441. doi: 10.3390/biology14040441
- Dursun C., Karaoğlu K., Avci A., Gül S., Özdemir N., Üzümlü N., Olgun K. 2024. The presence of microplastics in Baran's newt (*Neurergus barani* Öz, 1994) and the spotted newt (*Neurergus strauchii* Steindachner, 1887). *Environmental Science and Pollution Research* 31: 55974–55983. doi: 10.1007/s11356-024-34927-x.
- Dursun C., Karaoğlu K., Özdemir N., Candan K., Kumlutaş Y., Ilgaz Ç., Gül S. 2023. Spatiotemporal distribution of microplastics in true frogs (Ranidae: *Pelophylax*) populations from Türkiye. *Environmental Research* 236: 116774.
- 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* 77(1–2): 177–182. doi: 10.1016/j.marpolbul.2013.10.007.
- Fleituch T. 2016. Mikroplastik – koń trojański ekosystemów wodnych? Chrońmy Przyrodę Ojczystą 72(1): 3–13.
- Frątczak M., Kaczmarek M., Szkudelska K., Tryjanowski P. 2025. Assessing species bias in amphibian research on endocrine disruptors: beyond *Xenopus laevis*. *Frontiers in Environmental Science* 13: 1556788. doi: 10.3389/fenvs.2025.1556788.
- Gambino I., Bagordo F., Grassi T., Panico A., De Donno A. 2022. Occurrence of Microplastics in Tap and Bottled Water: Current Knowledge. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19: 5283.
- Gazzola A., Balestrieri A., Russo L.F., Gnocchi G., Pellitteri-Rosa D., Tremolada P. 2025. Effects of microplastics on growth and development of *Rana latastei* tadpoles: A mesocosm study. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 300: 118475.
- GESAMP. 2015. Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment. *Reports and Studies GESAMP* 90: 96.
- Geyer R., Jambeck J.R., Law K.L. 2017. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances* 3(7): e1700782.
- Gül S., Karaoğlu K., Özçifçi Z., Candan K., Ilgaz Ç., Kumlutaş Y. 2022. Occurrence of microplastics in herpetological museum collection: grass snake (*Natrix natrix* [Linnaeus, 1758]) and dice snake (*Natrix tessellata* [Laurenti, 1769]) as model organisms. *Water Air and Soil Pollution* 233(5): 160.
- Hampton L., Brander S., Coffin S., Cole M., Hermbessiere L., Koelmans A., Rochman C. 2022. Characterizing microplastic hazards: Which concentration metrics and particle characteristics are most informative for understanding toxicity in aquatic organisms? *Microplastics and Nanoplastics* 2: 20.
- Hiemstra A.F., Gravendeel B., Schilthuisen M. 2025. Birds documenting the Anthropocene: Stratigraphy of plastic in urban bird nests. *Ecology* 106(2): e70010.
- Hu L., Su L., Xue Y., Mu J., Zhu J., Xu J., Shi H. 2016. Uptake, accumulation and elimination of polystyrene microspheres in tadpoles of *Xenopus tropicalis*. *Chemosphere* 164: 611–617. doi: 10.1016/j.chemosphere.2016.09.002
- Kolenda K., Kolenda N., Pstrowska K. 2020. Microplastic ingestion by tadpoles of pond-breeding amphibians – first results from Central Europe (SW Poland). *Environmental Science and Pollution Research* 27: 3380–33384. doi: 10.1007/s11356-020-09648-6.
- Kosuth M., Mason S.A., Wattenberg E.V. 2018. Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt. *PLoS ONE* 13(4): e0194970.
- Leslie H.A., van Velzen M.J.M., Brandsma S.H., Vethaak A.D., Garcia-Vallejo J.J., Lamoree M.H. 2022. Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environment International* 163:107199.
- Luo Y., Xu X., Yin Q., Liu S., Xing M., Jin X., Shu L., Jiang Z., Yimin C., Da O., Luo Y., Zhang H. 2024. Mapping micro(nano)plastics in various organ systems: Their emerging links to human diseases? *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 183: 118114.
- Manríquez-Guzmán D., Chaparro-Herrera D., Ramírez-García P. 2023. Microplastics are transferred in a trophic web between zooplankton and the amphibian Axolotl (*Ambystoma mexicanum*): Effects on their feeding behavior. *Food Webs* 37: e00316.

Martin C., Ruthsatz K., Gomez-Mestre I., Burraco P. 2025. Growth but Not Corticosterone, Oxidative Stress, or Telomere Length Is Negatively Affected by Microplastic Exposure in a Filter-Feeding Amphibian. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology*. doi: 10.1002/jez.70005.

Mason S.A., Welch V.G., Neratko J. 2018. Synthetic Polymer Contamination in Bottled Water. *Frontiers in Chemistry* 6: 407.

Morais F., Pires V., Almeida M., Martins M.A., Oliveira M., Lopes I. 2024. Influence of polystyrene nanoplastics on the toxicity of haloperidol to amphibians: An in vivo and in vitro approach. *Science of the Total Environment* 951: 175375. doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.175375.

Najbar B., Borczyk B. 2012. Zaskroniec zwyczajny. *Biologia i ochrona. Zielona Góra: Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego*.

O'Brien S., Rauert C., Ribeiro F., Okoffo E.D., Burrows S.D., O'Brien J.W., Wang X., Wright S.L., Thomas K.V. 2023. There's something in the air: A review of sources, prevalence and behaviour of microplastics in the atmosphere. *Science of the Total Environment* 874: 162193.

O'Donovan S., Mestre M.C., Abel S., Fonseca T.G., Carteny C.C., Cormier B., Keiter S.H., Bebianno M.J. 2018. Ecotoxicological effects of chemical contaminants adsorbed to microplastics in the clam *Scrobicularia plana*. *Frontiers in Marine Science* 5: 143.

OECD. 2022. Global Plastics Outlook: Economic Drivers, Environmental Impacts and Policy Options, OECD Publishing, Paris. doi: 10.1787/de747aef-en.

Park J.K., Lee J.E., Do Y. 2025. Impacts and transport of microplastics: Population dynamics in frogs and the transfer between aquatic and terrestrial ecosystems. *Journal of Hazardous Materials* 492: 138212. doi: 10.1016/j.jhazmat.2025.138212.

Park J.-K., Lee J.-E., Do Y. 2024. Life on both environment in semi-aquatic frogs: Impact of aquatic microplastic (MP) from MP enrichment to growth, immune function and physiological stress. *Chemosphere* 366: 143547.

Park J.-K., Do Y. 2025. Microplastic pollution and amphibian health: Complex physiological effects of different microplastic types on juvenile *Glandirana rugosa*. *Aquatic Toxicology* 286: 107464.

Peng X., Chen M., Chen S., Dasgupta S., Xu H., Ta K., Du M., Li J., Guo Z., Bai S. 2018. Microplastics contaminate the deepest part of the world's ocean. *Geochemical Perspectives Letters* 9: 1–5.

Ragusa A., Svelato A., Santacroce C., Catalano P., Notarstefano V., Carnevali O., Papa F., Rongioletti M.C.A., Baiocco F., Draghi S., D'Amore E., Rinaldo D., Matta M., Giorgini E. 2020. Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. *Environmental International*. 146: 106274. doi: 10.1016/j.envint.2020.106274.

Rahman Md., Kim E.-S., Sung, H.-C. 2024. Microplastics as an emerging threat to amphibians: Current status and future perspectives. *Heliyon* e28220. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e28220.

Ruthsatz K., Domscheit M., Engelkes K., Vences M. 2022. Microplastics ingestion induces plasticity in digestive morphology in larvae of *Xenopus laevis*. *Comparative biochemistry and physiology. Part A, Molecular & Integrative Physiology* 269: 111210.

Ruthsatz K., Schwarz A., Gomez-Mestre I., Meyer R., Domscheit M., Bartels F., Schaeffer S.M., Engelkes K. 2023. Life in plastic, it's not fantastic: Sublethal effects of polyethylene microplastics ingestion throughout amphibian metamorphosis. *Science of the Total Environment* 885: 163779.

Schwabl P., Köppel S., Königshofer P., Bucsics T., Trauner M., Reiberger T., Liebmann B. 2019. Detection of Various Microplastics in Human Stool: A Prospective Case Series. *Annals of Internal Medicine* 171(7): 453–457.

Szkudlarek M., Najbar B., Jankowiak Ł. 2023. Microplastics pollution in larvae of toads, frogs, and newts in anthropopressure gradient. *Ecological Indicators* 155: 110971.

Szkudlarek M., Najbar B., Jankowiak Ł. 2024a. Similarity of Microplastic Characteristics between Amphibian Larvae and Their Aquatic Environment. *Animals* 14: 717.

Szkudlarek M., Najbar B., Jankowiak Ł. 2024b. Variation in microplastic characteristics among amphibian larvae: a comparative study across different species and the influence of human activity. *Scientific Reports* 14: 13574. doi: 10.1038/s41598-024-61432-5

Tatlı H., Altunışık A. 2025. Microplastic footprints in marsh frogs (*Pelophylax ridibundus*) from two Turkish lakes. *Environmental Sciences Europe* 37: 88. doi: 10.1186/s12302-025-01134-5.

Tatlı H., Gedik K., Altunışık A. 2025. Distribution of microplastics in tadpoles, adults, and habitats of three water frogs of *Pelophylax* spp. *Environmental Sciences Europe* 37: 27. doi: 10.1186/s12302-025-01065-1.

Wang Z., Xie J., Wang G., Yang H., Li Z., Zhang K., Shu R., Xie W., Tian J., Li H., Gong W., Xia Y. 2025. Enhanced gut damage and microbial imbalance in bullfrog tadpoles (*Lithobates catesbeiana*) exposed to polystyrene microplastics under high-temperature conditions. *Environmental Pollution* 375: 126339.

Woodall L.C., Sanchez-Vidal A., Canals M., Paterson G.L., Coppock R., Sleight V., Calafat A., Rogers A.D., Narayanaswamy B.E., Thompson R.C. 2014. The deep sea is a major sink for microplastic debris. *Royal Society Open Science* 1(4): 140317.

Xiao S., Chen H., Gao X., He X., Jin R., Wei Y., Li S., Xie L., Zhang Y. 2025. Effects of Exposure to Different Types of Microplastics on the Growth and Development of *Rana zhenhaiensis* Tadpoles. *Toxics* 13: 165. doi: 10.3390/toxics13030165

Xiong X., Tu Y., Chen X., Jiang X., Shi H., Wu C., Elser J.J. 2019. Ingestion and egestion of polyethylene microplastics by goldfish (*Carassius auratus*): Influence of color and morphological features. *Heliyon* 5: e03063.

Yu S.-P., Nakaoka M., Chan B. 2020. The gut retention time of microplastics in barnacle naupliar larvae from different climatic zones and marine habitats. *Environmental Pollution*. 268(A): 115865. doi: 10.1016/j.envpol.2020.115865

Zalasiewicz J., Williams M., Waters C., Barnosky A., Palmesino J., Rönnskog A.-S., Edgeworth M., Neal C., Cearreta A., Ellis E., Grinevald J., Haff P., Sul J., Jeandel C., Leinfelder R., McNeill J., Odada E., Oreskes N., Price S., Wolfe A. 2016. Scale and diversity of the physical technosphere: A geological perspective. *The Anthropocene Review* 4(1): 9–22.

Zhang M., Xu L. 2020. Transport of micro- and nanoplastics in the environment: Trojan-Horse effect for organic contaminants. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 52(5): 810–846.



1 | fot. Hamsterfreund (Pixabay)