

## STRESZCZENIE

Obecność farmaceutyków i ftalanów potwierdzono w wodach powierzchniowych, glebach, osadach dennych oraz innych komponentach środowiska naturalnego. Klasyczne systemy oczyszczania ścieków nie są projektowane z myślą o ich usuwaniu, przez co tego typu obiekty są źródłem wtórnego zanieczyszczenia środowiska farmaceutykami i ftalanami. Szczególnym przypadkiem są awarie, podczas których w sposób niekontrolowany dochodzi do uwolnienia do środowiska zanieczyszczeń bez ich unieszkodliwienia.

Prezentowana praca doktorska została przygotowana w oparciu o dwa nadrzędne cele badawcze jakimi były: analiza możliwości wykorzystania upraw hydroponicznych do usuwania farmaceutyków i ftalanów w komunalnych oczyszczalniach ścieków oraz ocena stopnia zanieczyszczenia Wisły pozostałościami farmaceutyków i ftalanów po awaryjnych zrzutach ścieków w wyniku uszkodzeń systemów transmisyjnych, do których doszło w 2019 i 2020 roku w Oczyszczalni Ścieków „Czajka”.

Realizując pierwszy z postawionych celów, wytypowano miejską oczyszczalnię ścieków w Sochaczewie, która z powodzeniem od lat stosuje układy hydroponiczne, wprowadzone na 2<sup>o</sup> oczyszczania ścieków (sektor oczyszczania biologicznego) do usuwania biogenów, natomiast skuteczność zastosowania tego układu do eliminacji farmaceutyków i ftalanów nie była poznana. Opracowano metodę oznaczania farmaceutyków w materiale roślinnym z zastosowaniem techniki ASE-SPE-GC-MS(SIM), natomiast oznaczanie analitów w ściekach przeprowadzono za pomocą metody SPE-GC-MS(SIM). Wobec ftalanów, efektywnym okazało się zastosowanie łączonej techniki ekstrakcji UAE-SPE oraz chromatografii gazowej połączonej ze spektrometrią mas do analizy tych związków w roślinach makrofitowych (metoda UAE-SPE-GC-MS(SIM)). Do oznaczeń ftalanów w próbkach wodnych zaproponowano metodę bazującą na SPE oraz GC-MS(SIM).

Przeprowadzone badania dowiodły, że połączenie klasycznego systemu oczyszczania ścieków z systemem hydroponicznym pozwala na wyeliminowanie niektórych farmaceutyków strumienia ścieków z efektywnością sięgającą niekiedy niemalże 100 %. Podobne wnioski wysnuto względem ftalanów, ponieważ niektóre z nich w badanym systemie usuwane były ze skutecznością do 70 – 98%.

Opracowane metody wykorzystano również do realizacji drugiego celu badawczego. Wykazano, że awaria w Oczyszczalni Ścieków „Czajka”, która miała miejsce w 2019 roku doprowadziła do przedostania się znaczących ilości ibuprofenu, naproksenu, paracetamolu oraz diklofenaku do wód Wisły. Zaobserwowano również zjawisko deponowania diklofenaku w osadach dennych rzeki, a jego stężenie utrzymywano się na wysokim poziomie nawet 48 dni po awarii.

Awaria tej samej oczyszczalni z 2020 roku była jedną z największych tego typu awarii na świecie. Przedostające się ścieki wprowadziły znaczące ilości ftalanów do Wisły, przykładowo stężenia dwóch z nich (DOP, DEHP), w 22 dniu awarii wynosiły powyżej 100 000 ng/l. Zaobserwowano również zdolność migracji tych związków do osadów dennym. Obserwowane po 36 dniach od awarii stężenia DMP, DEP, DBP, BBP, DOP były wyższe aniżeli we wcześniejszych dniach. Zjawisko to może wpływać znacząco na zawartość ftalanów w toni wodnej i powodować wtórne zanieczyszczenie środowiska wodnego.

Przeprowadzone badania udowodniły, że połączenie klasycznym systemów oczyszczania ścieków ze stosunkowo tanimi i prostymi technologiami upraw hydroponicznych pozwala zwiększyć efektywność usuwania farmaceutyków i ftalanów w komunalnych oczyszczalniach ścieków. Z kolei, analiza stopnia zanieczyszczenia Wisły pozostałościami farmaceutyków i ftalanów po awaryjnych zrzutach ścieków w 2019 i 2020 roku w Oczyszczalni Ścieków „Czajka”, przeprowadzona po raz pierwszy dla tego typu zdarzeń, dostarczyła miarodajnych danych na temat skali zagrożenia oraz negatywnego wpływu ścieków nieoczyszczonych na środowisko naturalne.

**Słowa kluczowe:** układy hydroponiczne, oczyszczalnie komunalne, farmaceutyki, ftalany, makrofity, wspomaganie procesu usuwania, awaria oczyszczalni