

# NOVE ONEČIŠĆUJUĆE TVARI – KSENOBIOTICI

dr. sc. Ivana Gudelj, znanstveni suradnik

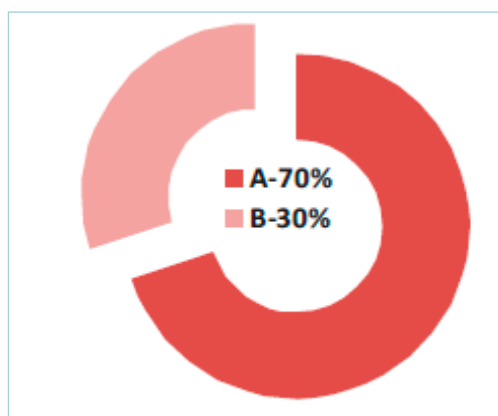
Pojava novih onečišćujućih tvari, ksenobiotika (grč. *xenos-stran, bios-život*), u okolišu se identificira kao značajan ekološki problem današnjice. Ksenobiotici u velikoj mjeri u okoliš pristižu putem konvencionalnih uređaja za obradu otpadnih voda jer se kontinuirano unose u kanalizacijski sustav zbog učestale i količinski značajne uporabe. Brojne studije ukazuju da je uklanjanje ksenobiotika tijekom obrade otpadnih voda konvencionalnim uređajima nedovoljno učinkovito, što im omogućava dospijanje u površinske i podzemne vode. Stoga je nužno potrebna dostatna svijest o ovoj problematici, interdisciplinarna suradnja, te razvoj pouzdanih metoda obrade otpadnih voda koje osiguravaju učinkovito uklanjanje ksenobiotika iz otpadnih voda kao i sprečavanje svih drugih putova njihovog dospijanja u okoliš – što je nesumnjivo ekološki dug modernog čovjeka, proizvođača i korisnika ksenobiotika, prema okolišu.

## KARAKTERISTIKE NOVIH ONEČIŠĆUJUĆIH TVARI

Otpadne vode osim jednostavnih sadrže i mješavinu specifičnih organskih sastojaka, tzv. ksenobiotika kao što su: farmaceutski proizvodi, pesticidi, sredstva osobne higijene i brojni drugi sastojci kompleksne strukture. U otpadnoj vodi može biti velik broj takvih specifičnih onečišćujućih tvari, a ako se ne pročišćavaju postupkom primjerenim za njihovo uklanjanje, nosintetizirani organski sastojci bivaju, zahvaljujući svojoj biorezistenciji, ispušteni u izlazni tok obrađene otpadne vode biološki nerazgrađeni. Njihova teško biorazgrađiva, ksenobiotska priroda podrazumijeva strukture koje prirodno postojani mikroorganizmi ne mogu metabolizirati uporabivši ih kao hranjivo, što nadalje omogućuje njihovu postojanost i akumuliranje u okolišu. Time doprinose ekološkom problemu globalnih razmjera uvjetujući pojavu štetnosti na brojnim biološkim vrstama. Iako se danas mnogo zna o fiziološkim i toksičnim svojstvima velikog broja opasnih i po žive organizme štetnih tvari, njihovom porijeklu, načinu i putovima djelovanja, te procesima



Slika 1: Neki od proizvoda čiji sastojci dospijem u okoliš predstavljaju nove onečišćujuće tvari.



Slika 2: Na tržištu EU se koristi oko 100 000 različitih ksenobiotičkih sastojaka: A - 30 % koji se koriste svakodnevno, B - 70 % koji se koriste periodično, a potencijalno su toksični za ljude i ekosustav (Senta Marić et al., 2011.).

degradacijskih transformacija, istovremeno ostaje za istražiti ekotoksikološka svojstva i učinke brojnih novih opasnih onečišćujućih tvari (Bobić, 2005.).

Ksenobiotici predstavljaju širok spektar kemijskih spojeva nastalih kao rezultat proizvodnih i uporabnih aktivnosti čovjeka (slike 1 i 2) koji se dospijem u okoliš akumuliraju do koncentracija koje izazivaju nepoželjne učinke po okoliš i zdravlje ljudi.

Tablica 1: Aktualne fizikalno-kemijske metode uklanjanja ksenobiotika iz otpadnih voda (Pearce et al., 2003.).

Fizikalna i/ili kemijska metoda obrade	Prednosti	Nedostatci
Oksidacija	Brzina procesa	Energetska zahtjevnost i nastanak produkata razgradnje
Adsorpcija	Učinkovitost uklanjanja velikog broja onečišćujućih tvari	Adsorber zahtijeva regeneraciju ili zbrinjavanje
Membranska tehnologija	Uklanjanje svih onečišćujućih tvari	Nastanak koncentrata onečišćujućih tvari
Koagulacija/flokulacija	Ekonomska isplativost	Nastanak velike količine mulja

Za učinkovitu razgradnju većine ksenobiotika postojeće znanje je nedovoljno, a osobito u slučaju njihovih kompleksnijih struktura ili mješavina istih (Rieger, 2002.).

Kada ovi spojevi dospiju u okoliš u njemu ostavljaju tragove svog štetnog djelovanja – na različite načine ugrožavaju floru i faunu, a ulaskom u vodu, tlo i nadalje u hranidbeni lanac štetno utječu i na čovjeka. Štetni učinci na čovjeka su raznoliki, a ono što najviše zabrinjava su obilježja toksičnosti, kancerogenosti, mutagenosti i teratogenosti, zbog čega je njihovo dospijeće u bioakumulaciju u okolišu nužno spriječiti.

## ZAHTEVNOST RAZGRADNJE KSENOBIOTIKA

Intenzivan industrijski razvoj i sve viši standard življenja popraćeni su sve većom kompleksnošću sastava otpadnih voda, što u smislu učinkovite zaštite okoliša i održivog razvoja nalaže potrebu za unapređenjem kvalitete postojećih, te uvođenjem učinkovitijih postupaka obrade otpadnih voda, kao iznimno važnog čimbenika u interakciji čovjeka i okoliša.

Bioobnova je postupak kojim se onečišćujuće tvari dospjele u okoliš prevode u manje toksične ili škodljive oblike, odnosno mineraliziraju djelovanjem postojećih mikroorganizama (Bobić, 2005). Taj se postupak temelji na sposobnosti prirodno prisutnih mikroorganizama da koriste različite kemijske spojeve kao izvore energije. Upravo takvi procesi su osnova uobičajenih klasičnih tehnoloških postupaka biološke obrade otpadnih voda. Postupci biološke razgradnje gotovo u potpunosti razgrađuju jednostavnije onečišćujuće tvari zastupljene u otpadnoj vodi uvjetujući mineralizaciju istih, što zapravo podrazumijeva razlaganje organske molekule na njezine anorganske sastavne dijelove (Bamforth i Singleton, 2005.).

Učinkovito uklanjanje strukturalno vrlo postojanih novih onečišćujućih tvari iz otpadne vode je znatno zahtjevnije te iziskuje primjenu visokospecijaliziranih:

- fizikalno-kemijskih metoda,
- bioloških metoda,
- kombinaciju fizikalno-kemijskih i bioloških metoda.

Rezultati novijih istraživanja pokazuju da se kombinacijom membranske tehnologije i nadopunjujuće niskotlačne reverzne osmoze može postići uklanjanje

ksenobiotičkih sastojaka iznad 96% (Cirja et al., 2008.).

Primjena fizikalno – kemijskih metoda za uklanjanje ksenobiotika iz otpadnih voda često doseže ograničenja zbog visokih troškova, potrebe za dispozicijom nastalog štetnog mulja ili nastanka toksičnih sastojaka razgradnje.

Zbog visokih troškova fizikalno-kemijskih metoda i činjenice da talog/mulj koji nastaje kao njihov produkt zahtijeva daljnju dispoziciju (tablica 1), prednost praktične tehnološke primjene imaju biološke metode obrade.

Najvažniji koraci za uklanjanje onečišćujućih tvari tijekom biološke obrade otpadne vode su:

- biotransformacija/biodegradacija,
- adsorpcija na mulj,
- uklanjanje aeracijom (volatilizacija).

Kako bi se postigla dostatna sposobnost mikroorganizama da metaboliziraju nove ksenobiotičke onečišćujuće tvari, u aktivnom mulju je nužno potrebna zastupljenost mikroorganizama specifičnog enzimskog potencijala dostatnog za biorazgradnju istih, kao i strogo kontrolirano vođenje procesa biološke obrade (Agrawal i Kumar Shahi, 2015.).

Trud kojeg je potrebno uložiti za uspješnu biološku razgradnju ksenobiotika mora pratiti trend sinteze sve postojanijih molekula na tu biorazgradnju. Učinkovitu biorazgradnju istih nije moguće postići tradicionalnim metodama tehnologije aktivnog mulja. Aktivni mulj uobičajenog sastava je siromašna mikroba zajednica s obzirom na sadržaj mikroorganizama potrebnih za biorazgradnju teško biorazgradivih, ksenobiotičkih sastojaka. Tehnološkim razvojem i poboljšanjem bioloških procesa obrade otpadne vode zamjetna pažnja se pridaje istraživanju mikrobne kakvoće aktivnog mulja i ulozi pojedinih članova mikrobne zajednice u procesu biorazgradnje ksenobiotika. Za biorazgradnju teško razgradivih sastojaka izuzetno važno mjesto ima primjena mikroorganizama dobivenih izdvajanjem iz prethodno prilagođenog aktivnog mulja na specifične ksenobiotičke sastojke dodane u aktivni mulj, što im omogućava da uspiju opstati unutar aktivnog mulja, istovremeno poboljšavajući biološku aktivnost degradacije ksenobiotičkih sastojaka. Učinkovita obrada velikih volumena otpadnih voda, opterećenih ksenobiotičkim sastojcima, zasigurno nalaže potrebu

za pronalaskom specifično osmišljenih individualnih tehnoloških rješenja.

Bilo koji spoj iz grupe ksenobiotika zbog svoje slabe biorazgradivosti može, nerazgrađen uređajem za obradu otpadnih voda, dospjeti u površinske vode i kroz tlo do podzemnih voda te time ugroziti opskrbu pitkom vodom. Stoga je intenziviranje analitičkih i ekotoksikoloških istraživanja tih ksenobiotika i razvoj modernih uređaja za njihovo učinkovito uklanjanje prije dospijanja u okoliš od iznimne važnosti.

### FARMACEUTSKI SPOJEVI KAO DOMINANTNA KATEGORIJA NOVIH ONEČIŠĆUJUĆIH TVARI

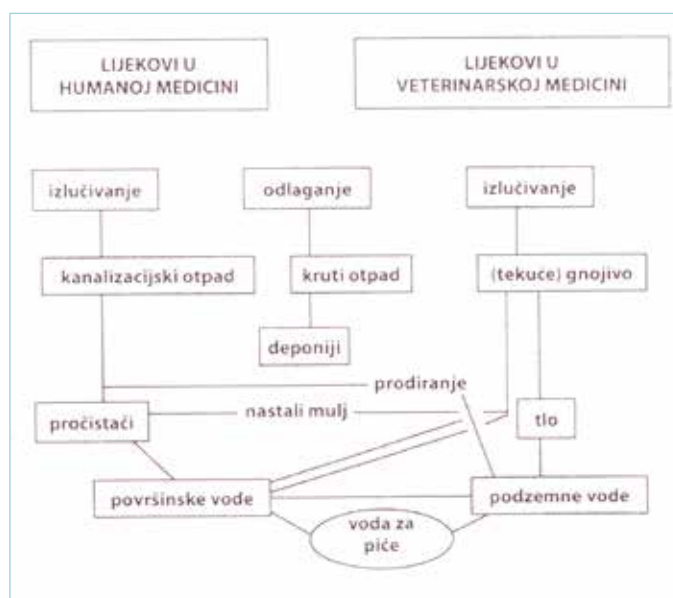
U humanoj i veterinarskoj medicini koristi se velik broj farmaceutskih pripravaka za različite terapijske primjene. Mnogi lijekovi su danas dostupni bez liječničkog recepta pa ne postoje točni statistički podaci o njihovoj količinskoj uporabi, no sigurno je da se radi o znatnim i sve većim količinama. Stoga se problematici onečišćenja okoliša farmaceutskim spojevima u zadnje vrijeme posvećuje značajna pozornost. Tome pogoduje uporaba novih identifikacijskih analitičkih tehnika zahvaljujući kojima su, uz antibiotike i steroide, još nekoliko stotina različitih farmaceutskih spojeva i njihovih metabolita identificirani u okolišu (Senta et al., 2007.).

Način na koji farmaceutski proizvodi dopijevaju u okoliš prikazan je na slici 3.

Prve znanstvene studije kojima su lijekovi prezentirani kao organske onečišćujuće tvari u prirodi pojavile su se prije dvadesetak godina razotkrivajući nepoželjne, katkada i katastrofalne posljedice potrošnje istih koje su potvrđene narušenom ekološkom ravnotežom – odumiranjem vrsta.

Danas su lijekovi i njihovi razgradni produkti postali gorući ekološki problem, a pretjerana medikalizacija je zahvatila i mlađe generacije, na što ukazuje podatak iz Kanade gdje je ukupna prodaja lijekova 1996. godine iznosila oko 6,6 milijardi dolara, a osam godina kasnije promet lijekovima se udvostručio na 13,6 milijardi dolara.

Procjenjuje se da Hrvati godišnje iskoriste više od dvije milijarde tableta kojima liječe starost, mladost, sramežljivost, frustracije, ćelavost, svaku prehladu i svaku bol. Nadalje se i svako odstupanje od izmišljenih i nametnutih gabarita, takozvanih kliničkih smjernica za kolesterol, tlak ili šećer u krvi korigira spasonosnim farmaceutskim pripravcima. Rezultat takve globalne terapije jesu *kokteli lijekova i njihovih razgradnih produkata u okolišu*, posebice u vodama i tlu. Statini, analgetici, estrogeni, antidepresivi, antibiotici, kontraceptivi, beta-blokatori i sl. bivaju ispušteni direktno u okoliš ili prođu kroz uređaje za obradu otpadnih voda strukturalno nepromijenjeni te nalaze ulaz u okoliš gdje se bioakumuliraju, što im je predispozicija ulasku u hranidbeni lanac.



Slika 3: Glavni putovi dospijanja lijekova u okoliš nakon primjene/odlaganja (Senta et al., 2007.).

Od svih farmaceutskih pripravaka u ekološkom smislu posebno zabrinjavaju antibiotici, kao najpopularnija skupina lijekova u humanoj i veterinarskoj medicini. Pokazuju znatnu otpornost na mikrobiološku razgradnju u uređajima za obradu otpadnih voda, a stalno ispuštanje znatnih količina antibiotika u okoliš pogoduje razvijanju rezistentnih mikroorganizama na antibiotik, što može dovesti do daljnjih, čak i nesagledivih posljedica.

### AKTUALNA PRAKSA OPHOĐENJA S NOVIM ONEČIŠĆUJUĆIM TVARIMA

Pojavljivanje ksenobiotika u obrađivanim i neobrađivanim otpadnim vodama je u današnje vrijeme značajan zdravstveni problem zaštite okoliša. Iako zbog brojnosti većina tih onečišćujućih tvari nije strogo zakonski regulirana, u smislu ekološke prihvatljivosti uporabe i propisanih ograničenja njihovog ispusta u okoliš u svijetu postoji suglasnost među brojnim znanstvenicima, tijelima državne uprave i relevantnim institucijama da je njihovo uklanjanje tijekom obrade otpadnih voda razuman pristup zaštiti okoliša.

U europskim je zemljama tijekom proteklih desetljeća zamjetno širenje svijesti o potrebi integriranja znanja različitih područja znanosti, izradi programa i mjera, te učešća industrije, kao najznačajnijeg zagađivača kako bi se, u kontekstu problema novih onečišćujućih tvari, ekosustavom upravljalo na ispravan i po očuvanje ljudskog zdravlja prihvatljiv način.

Činjenica da se u Hrvatskoj manje od 5% otpadnih voda podvrgava biološkoj obradi ukazuje na problem strukturalno veoma postojanih ksenobiotika čija zahtjevnost nadilazi mogućnosti klasične biološke obrade.

U Republici Hrvatskoj se mali dio svih otpadnih voda podvrgava biološkoj obradi, što većini specifičnih, strukturalno veoma postojanih ksenobiotika, čija zahtjevnost uglavnom nadilazi mogućnosti klasične biološke obrade, omogućava da dosegnu okoliš i bioakumuliraju se u vodama i sedimentu. Stoga ova problematika svoje rješenje tek očekuje.

Predviđa se da će ukupni ugrađeni kapacitet uređaja za obradu otpadnih voda u Hrvatskoj već do 2018. godine biti 4 milijuna ES, a nakon 2023. godine oko 5,3 milijuna ES. Znatnu pažnju bi pri tom razvojnem iskoraku trebalo posvetiti problematici uklanjanja strukturalno specifičnih ksenobiotika, jer klasični uređaji, koji u izvjesnoj mjeri mogu smanjiti njihovu koncentraciju, nisu dizajnirani za potpuno uklanjanje svih postojećih i svakim danom sve brojnije zastupljenih ksenobiotika.

Za postizanje učinkovitog uklanjanja postojanih nosintetiziranih onečišćujućih tvari nužno je potrebno poboljšanje rada i dogradnja klasičnih uređaja za obradu otpadnih voda koji nisu dizajnirani za eliminaciju vrlo niskih koncentracija biološki aktivnih supstanci kao što su ksenobiotici i njihovi metaboliti. Navedeno uključuje maksimalno optimiziranje rada drugog stupnja, te po potrebi dogradnja trećeg i/ili četvrtog stupnja obrade. Takav angažman predstavlja nesumnjivo značajan financijsko-tehnološki izazov od vitalnog ekološkog značaja. Trošak osmišljavanja poboljšanja i izgradnje novih tehnoloških rješenja potrebnih za uklanjanje ksenobiotika iz otpadnih voda bit će značajni. Dodatni

motivator da se problem ispuštanja ksenobiotika u okoliš u potpunosti uvaži i rješava treba uvidjeti u činjenici da će cijena pitke vode u budućnosti zasigurno ovisiti i o koncentraciji postojanih ksenobiotika u okolišu, o čemu analize i upozorenja već postoje.

## ZAKLJUČNA RAZMATRANJA I PREPORUKE

Za učinkovito ophođenje s izazovom kojeg nove onečišćujuće tvari predstavljaju za zaštitu okoliša, odnosno voda od onečišćenja, nužno je potrebna suradnja znanstvenika iz različitih strukovnih područja. U tom je kontekstu prvenstveno potreban multidisciplinarno i konstruktivno osmišljen zakonski okvir čija će provedba omogućiti: temeljit monitoring stanja, tehnološki učinkovito uklanjanje onečišćujućih tvari, te time i sprečavanje daljnjeg konstantnog pritiska uvjetovanog ispuštanjem i bioakumulacijom novih ksenobiotičkih sastojaka u prirodi. Značajna preventivna ekološka korist bi se mogla postići na način da se zakonski regulira proizvodnja i uporaba samo onih proizvoda koji su svojom strukturom kompatibilni s prirodno postojećim biorazgradnim potencijalom mikroorganizama, što iziskuje intenzivan dijalog između kemičara, mikrobiologa, biotehnologa i toksikologa. Sav trud i ulaganja u vezi ophođenja s ovom problematikom opravdava činjenica da ksenobiotici u okolišu *ne šute, nego se čovjeku dugoročno povratno očituju* svojom toksičnošću, kancerogenošću, mutagenošću i teratogenošću. ■

## LITERATURA

- Agrawal N.; Kumar Shahi S. (2015.): An environmental cleanup strategy - Microbial transformation of xenobiotic compounds, *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 4, 429-461.
- Bamforth S.M.; Singleton I. (2005.): Bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons - current knowledge and future directions, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 80, 734-736.
- Bobić V. (2005.): Onečišćenje tla naftnim ugljikovodicima - bioobnova: mogućnosti, učinkovitost, iskustva, *Goriva i maziva*, 44, 9-34.
- Cirja M.; Ivashechin P.; Shaffer A.; Corvini P.F.X. (2008.): Factors affecting the removal of organic micropollutants from wastewater in conventional treatment plants (CTP) and membrane bioreactors (MBR), *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 7, 61-78.
- Pearce C.I.; Lloyd J.R.; Guthrie J.T. (2003.): The removal of colour from textile wastewater using whole bacterial cells, *Dyes and Pigments*, 58, 179-196.
- Rieger P.G.; Meier H.M.; Gerle M.; Vogt U.; Groth T.; Knackmuss H.J. (2002.): Xenobiotics in the environment, present and future strategies to obviate the problem of biological persistence, *Journal of Biotechnology*, 94, 101-123.
- Senta I.; Terzić S.; Ahel M. (2007.): Farmaceutski spojevi - zanemarena kategorija zagađivala u komunalnim otpadnim vodama, 4. hrvatska konferencija o vodama, Opatija, Hrvatska, 465-471.
- Senta Marić, A.; Andabaka, D.; Marijanović Rajčić, M.; Posavac, S.; i Gudelj, I. (2011.): Nova onečistila - izazov za učinkovitu obradu otpadnih voda i očuvanje kakvoće pitkih voda, 1. hrvatski kongres zdravstvene ekologije, 135-136.