

Mikropolutanty nás už dobehli

Prof. Ing. Igor Bodík, PhD.
Odd. environmentálneho inžinierstva
FCHPT STU Bratislava

Asociácia čistiarenských expertov SR

Čo je mikropolutant?

Mikropolutant je látka vrátane produktov jej rozkladu, ktorá sa zvyčajne nachádza v životnom prostredí a v komunálnych odpadových vodách v koncentráciách nižších ako miligramy na liter a ktorú možno považovať za nebezpečnú pre zdravie ľudí alebo životné prostredie na základe ktoréhokoľvek z kritérií uvedených v časti 3 a časti 4 prílohy I k nariadeniu ES

- Nový prvok v EÚ legislatíve
- Látky vzbudzujúce obavy (mikropolutanty)

Mikroplasty – nie sú definované ako mikropolutanty. Majú sa zatiaľ „iba“ sledovať na vstupe a výstupe a v kaloch z ČOV > 10 000 EO. Pripravuje sa metodika na analýzu mikroplastov

V odpadových vodách sa budú sledovať aj iné „zdravotnícke“ parametre ako napr.

- SARS-CoV-2, poliovirus, vírusy chrípky, niektoré patogény, baktérie a ich gény rezistentné na antibiotiká...(Úrady verejného zdravia?)

Kde odstraňovať mikropolutanty?

Článok 8 (kvartárne čistenie) požaduje odstraňovanie mikropolutantov v takých oblastiach, kde ich prítomnosť predstavuje riziko pre ľudské zdravie alebo životné prostredie. Členské štáty majú definovať (identifikovať) takéto oblasti na svojom území v zmysle požiadaviek v čl.8.

Sú to hlavne oblasti, kde

- Odber vody na výrobu pitnej vody
- Vody na kúpanie
- Jazerá,
- Rieky s mierou zriedenia < 10 %
- Je potreba dodatočného čistenia, aby bola splnená požiadavka RSV o normách environmentálnej kvality

Kedy odstraňovať mikropolutanty?

Rok	Čo treba mať splnené
2025	<ul style="list-style-type: none">• Zavedenie systémov rozšírenej zodpovednosti výrobcu (dovozcu)
2030	<ul style="list-style-type: none">• Zabezpečiť, aby aspoň 50 % odpadových vôd z ČOV > 100 000 EO prechádzalo kvartárnym čistením• Identifikovať oblasti kde mikropolutanty predstavujú riziko pre ľudské zdravie alebo pre životné prostredie
2035	<ul style="list-style-type: none">• Všetky ČOV > 100 000 EO musia byť vybavené kvartárnym stupňom čistenia• Zabezpečiť, aby aspoň 50 % z ČOV > 10 000 EO prechádzalo kvartárnym čistením tam, kde predstavujú riziko pre ľudské zdravie alebo pre životné prostredie
2040	<ul style="list-style-type: none">• Všetky ČOV > 10 000 EO v oblastiach, kde mikropolutanty predstavujú riziko pre ľudské zdravie alebo pre životné prostredie budú vybavené kvartárnym stupňom čistenia

Ktoré mikropolutanty odstraňovať ?

I. Skupina = 8 farmaceutík charakterizované ako „veľmi ľahko rozložiteľné“

Mikropolutant		Terapeutická skupina
Amisulprid	AMI	Anti-psychotikum
Carbamazepin	CAR	Anti-epileptikum
Citalopram	CIT	Anti-depresivum
Claritromycín	CLA	Anti-biotikum
Diclofenac	DIC	Anti-reumatikum, analgetikum
Hydrochlorothiazid	HCH	Diuretikum
Metoprolol	MET	Betablokátor (srdce)
Venlafaxin	VEN	Anti-depresivum

Ktoré mikropolutanty odstraňovať ?

II. Skupina = 2 farmaceutika + 2 antikoroziá – ako „ľahšie“ odstrániteľné

Mikropolutant		Terapeutická skupina
Benzotriazol	BZT	Anti-korozívum
Candesartan	CAN	Anti-hypertenzia
Irbesartan	IRB	Anti-hypertenzia
4-metylbenzotriazol + 6-metylbenzotriazol	MBT	Anti-korozívum

Ako odstraňovať mikropolutanty?

I. Skupina = 8 farmaceutík charakterizované ako veľmi ľahko rozložiteľné

II. Skupina = 2 farmaceutiká + 2 antikorozíva – ako „ľahšie“ odstrániteľné

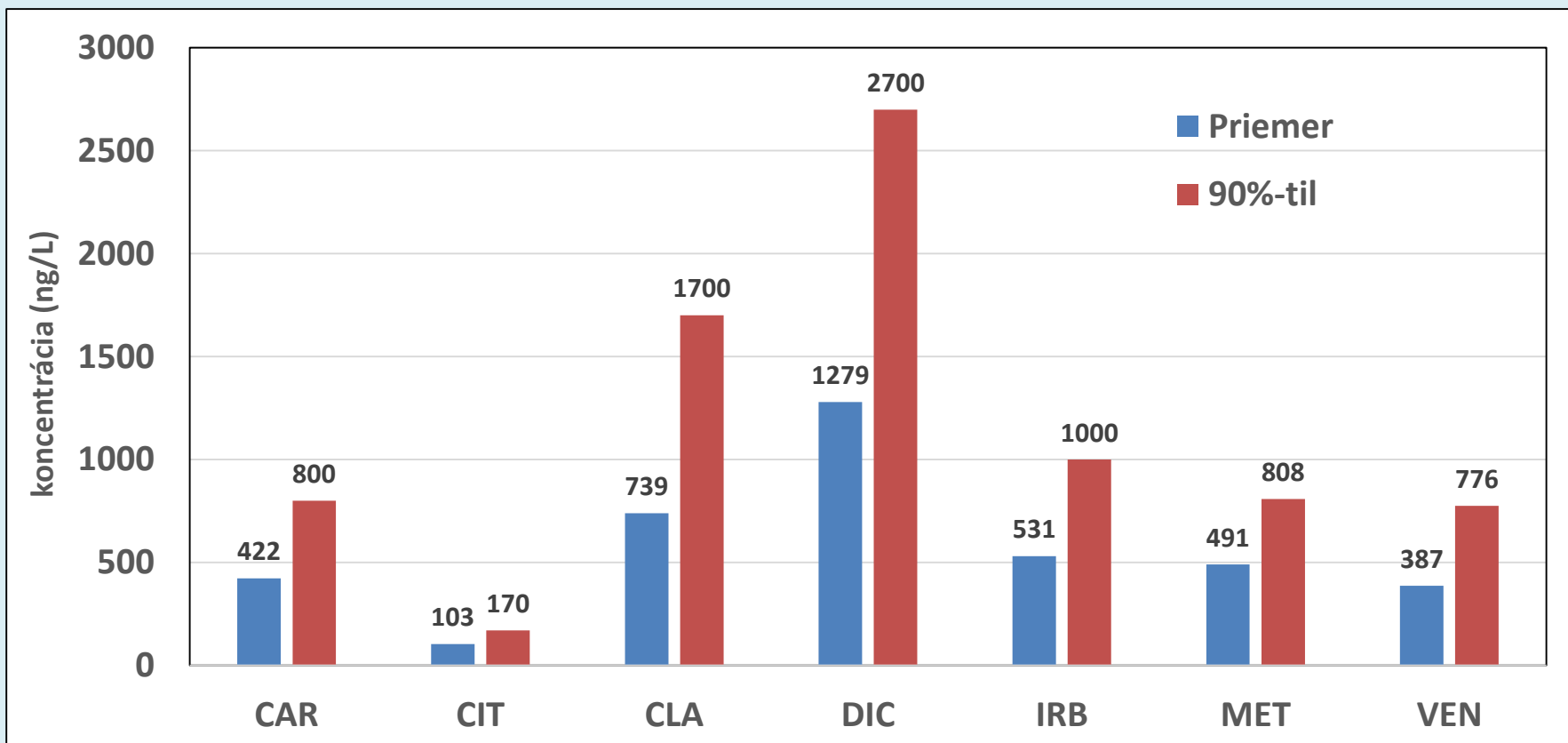
Definovať účinnosť odstránenia sa bude tak, že

- Minimálne 6 látok sa musí analyzovať,
- počet látok z I. skupiny musí byť dvojnásobný voči počtu látok z II. skupiny
- Ak je menej ako 6 látok nameraných v podlimitných koncentráciách (na vstupe?), zodpovedný orgán zdefiniuje ďalšie látky na výpočet požadovanej minimálnej účinnosti, ak je to potrebné.
- Priemerná účinnosť odstraňovania všetkých (aspoň 6) látok použitých vo výpočte sa použije na posúdenie toho, či sa dosiahlo požadované minimálne percento odstránenia
- Minimálne priemerne percento odstránenia sledovaných látok má dosiahnuť aspoň 80 %
- Vzorkovanie: 2 vzorky/týždeň pre > 50 000 EO
- Vzorkovanie: 1 vzorka/mesačne pre > 10 000 EO (v rizikovej oblasti)

Analýzy mikropolutantov na slovenských ČOV

- Analýzy na slovenských ČOV v rokoch 2013 – 2022
- 25 sledovaných ČOV
- Zameranie farmaceutika (lieky, drogy, metabolity, atď.)
- 24-h zlievané vzorky, (vstup, výstup, kaly, kalové vody)
- Analýzy na Fakulte rybárství a ochrany vod JU (Vodňany, ČR)
- 100 – 120 zlúčenín, x100 vzoriek, x10 000 analýz
- Analyzované látky (podľa novej 271/91)
 - Carbamazepin, Citalopram, Claritromycin, Diclofenac, Irbesartan, Metoprolol a Venlafaxin
- Neanalyzované látky
 - Amisulprid, Hydrochlorothiazid, Benzotriazol, Candesartan, zmes 4-metylbenzotriazol + 6-metylbenzotriazol

Reálne vstupné koncentrácie mikropolutantov na ČOV (ng/l)



Účinnosti odstraňovania mikropolutantov na ÚČOV Bratislava

	UČOV	UČOV	UČOV	UČOV	Priemer
Carbamazepine	63%	39%	64%	10%	44%
Citalopram	22%	-7%	67%	55%	34%
Clarithromycin	84%	54%	99%	87%	81%
Diclofenac	11%	15%	98%	91%	54%
Irbesartan	48%	-12%	93%	63%	48%
Metoprolol	61%	69%	80%	59%	67%
Venlafaxine	28%		54%	35%	39%
Spolu	45%	26%	79%	57%	52%

Účinnosti odstraňovania mikropolutantov na ČOV Petržalka

	Petržalka	Petržalka	Petržalka	Priemer
Carbamazepine	33%	19%	39%	30%
Citalopram	60%	43%	36%	46%
Clarithromycin	78%	68%	82%	76%
Diclofenac	25%	96%	32%	51%
Irbesartan	79%	47%	10%	45%
Metoprolol	52%	23%	6%	27%
Venlafaxine	69%	74%	47%	63%
Spolu	56%	53%	36%	48%

Účinnosti odstraňovania mikropolutantov na ČOV Trnava - Zeleneč

	Trnava	Trnava	Trnava	Trnava	Trnava	Trnava	Trnava	Priemer
Carbamazepine	16%	53%	36%	67%	22%	65%	55%	45%
Citalopram	27%	13%	48%	69%	53%	72%	68%	50%
Clarithromycin	81%	94%	93%	94%	96%	97%	93%	93%
Diclofenac	50%	62%	76%	88%	55%	79%	73%	69%
Irbesartan	44%	69%	52%	72%	41%	66%	64%	58%
Metoprolol	31%	69%	58%	75%	66%	86%	81%	66%
Venlafaxine	35%	55%	79%	79%		62%	95%	58%
Spolu	40%	59%	63%	78%	47%	75%	76%	68%

Účinnosti odstraňovania mikropolutantov na ČOV Nitra

	Nitra	Nitra	Nitra	Nitra	Nitra	Priemer
Carbamazepine	57%	-11%	35%	33%	58%	34%
Citalopram	66%	45%	28%	60%	54%	50%
Clarithromycin	86%	85%	76%	76%	95%	84%
Diclofenac	81%	43%	76%	91%	40%	66%
Irbesartan	65%	25%	47%	78%	59%	55%
Metoprolol	74%	54%	46%	33%	83%	58%
Venlafaxine	63%	26%	27%	-9%	73%	36%
Priemer	70%	38%	48%	52%	66%	55%

Účinnosti odstraňovania mikropolutantov na ČOV Žilina

	Žilina	Žilina	Žilina	Žilina	Žilina	Priemer
Carbamazepine	76%	56%	22%	26%	-12%	33%
Citalopram	57%	73%	56%	49%	50%	57%
Clarithromycin	28%	66%	70%	71%	50%	57%
Diclofenac	66%	70%	82%	10%	68%	59%
Irbesartan	75%	56%	27%	-2%	12%	34%
Metoprolol	30%	62%	37%	-4%	11%	27%
Venlafaxine	85%	77%	58%	57%	45%	64%
Spolu	60%	66%	50%	30%	32%	47%

Ako ďalej ...?

- Bez dodatočného kvartárneho stupňa je podmienka odstránenia 80 % mikropolutantov **nedosiahnuteľná**
- Východisko je dobudovanie kvartárneho stupňa
 - Iba pieskový filter **asi** nebude stačiť,
 - Filtre s aktívnym uhlím (PAC, GAC) sú tak na hrane
 - MBR je otázne, lebo mikropolutanty sú rozpustné a menšie ako póry UF-membrány
 - Nutný **oxidačný** stupeň, optimálne so zaradeným sorpčným stupňom
 - Ozón – najviac skúseností vo svete
 - Takmer 100% odstraňovanie v našich laboratórnych podmienkach
 - ČOV Stará Turá – ozonizácia + AU
 - Iné AOP procesy zriedka v reáli, vysoké OPEX
 - Zlepšia sa odtokové koncentrácie CHSK a BSK₅
 - Hygienicky vysoká kvalita odtoku

Investičné náklady

Table 1

cost functions from Switzerland (CH) and Germany (DE). O₃ = ozonation; SF = sand filter; PAC, GAC = powdered, granular activated carbon; PE = population equivalents.

Type of treatment	Source	Context	Expenditure function	Costs included and units
PAC + SF	BG Ingenieure und Berater AG, 2012	CH	$48,234.9679^{\pm}PE^{-0.4786}$	Investment costs CHF/PE
PAC + SF	BG Ingenieure und Berater AG, 2012	CH	$179.4029^{\pm}PE^{-0.2225}$	Operation cost CHF/PE/Y
O ₃ + SF	BG Ingenieure und Berater AG, 2012	CH	$26,889.5261^{\pm}PE^{-0.5078} + 21,424.4602^{\pm}PE^{-0.5733}$	Investment costs CHF/PE
O ₃ + SF	BG Ingenieure und Berater AG, 2012	CH	$367.5990^{\pm}PE^{-0.3528}$	operation cost CHF/PE/Y
O ₃	Türk et al., 2013	DE	$2261.9^{\pm}V^{0.4417}$	investment cost before VAT (approximate function); V = water volume treated, m ³ /a
O ₃	Türk et al., 2013	DE	$0.0147^{\pm}V + 46,081$	operation cost; V = water volume treated, m ³ /a
O ₃	Türk et al., 2013	DE	$0.0073^{\pm}V + 9322$	energy cost; V = water volume treated, m ³ /a
O ₃	Antakyali, 2017, cit. in Rizzo et al., 2019	DE	$5.68 PE^{-0.38}$	Investment cost Euro/m ³
PAC	Antakyali, 2017, cit. in Rizzo et al., 2019	DE	$6.23 PE^{-0.36}$	Investment cost Euro/m ³
GAC	Antakyali, 2017, cit. in Rizzo et al., 2019	DE	$143.23 PE^{-0.63}$	Investment cost Euro/m ³
Ensemble curve	Herbst et al., 2016	DE	$10.861 PE^{-0.424}$	Total cost Euro/m ³

Pistocchi, A., et al.: Treatment of micropollutants in wastewater: Balancing effectiveness, costs and implications. Science of the Total Environment 850 (2022) 157593

Prevádzkové náklady

Table 2

Ranges of costs of advanced treatment for Switzerland (CH), the Netherlands (NL) and Sweden (SE). O₃ = ozonation; SF = sand filter; PAC, GAC = powdered, granular activated carbon; BAF = biologically active filter; CAS = conventional activated sludge; UF = ultrafiltration.

Type of treatment	Source	Context	Units	For 10,000 PE	For 20,000 PE	For 50,000 PE	For 100,000 PE	For 500,000 PE
O ₃ + SF	Baggenstos, 2019	CH	Euro per PE per year	25.38	22.50	13.72	12.60	
PAC in CAS + SF	Baggenstos, 2019	CH	Euro per PE per year	27.26	24.72	17.11	16.07	
PAC + SF	Baggenstos, 2019	CH	Euro per PE per year	30.08	26.88	17.30	15.79	
GAC	Baggenstos, 2019	CH	Euro per PE per year	31.96	29.09	20.49	17.40	
O ₃ ^b	Baresel et al., 2017	SE	Euro per m ³	0.04	0.03		0.02	0.01
BAF(GAC) ^b	Baresel et al., 2017	SE	Euro per m ³	0.09	0.07		0.05	0.04
O ₃ + BAF(GAC) ^b	Baresel et al., 2017	SE	Euro per m ³	0.11	0.08		0.05	0.04
PAC-UF ^b	Baresel et al., 2017	SE	Euro per m ³	0.21	0.16		0.13	0.12
UF-BAF(GAC) ^b	Baresel et al., 2017	SE	Euro per m ³	0.21	0.16		0.11	0.09
GAC	STOWA, 2017	NL	Euro per PE per year		14.80		13.70	12.60 ^a
PAC + SF	STOWA, 2017	NL	Euro per PE per year		13.80		10.50	8.40 ^a
O ₃ + GAC	STOWA, 2017	NL	Euro per PE per year		15.90		10.00	9.50 ^a
O ₃	STOWA, 2017	NL	Euro per PE per year		4.80		3.20	2.60 ^a
O ₃ + SF	STOWA, 2017	NL	Euro per PE per year		10.60		8.90	7.90 ^a

^a Capacity 300,000 PE.

^b Referred to specific flow of 150 m³ per PE per year.

Pistocchi, A., et al.: Treatment of micropollutants in wastewater: Balancing effectiveness, costs and implications. Science of the Total Environment 850 (2022) 157593

Čo dodať na záver?

- Ešte nie je nič isté...ale veľmi pravdepodobné
- Vybrané látky sa asi nezmenia
- Treba si urobiť testovanie tých 12 látok a vybrať 4+2 tie „najlepšie“
- Mnoho otáznikov ešte čaká na dovysvetlenie
- Zavádzanie oxidácie a zároveň dosahovať energetickú neutralitu je trochu kontraproduktívne

Ďakujem za pozornosť

Prof. Ing. Igor Bodík, PhD.

FCHPT STU Bratislava

igor.bodik@stuba.sk