

Mikropolutanty a PFAS v odpadních vodách a jejich odstraňování: legislativní požadavky a praktické zkušenosti

Luděk Bláha a kol.

Centrum RECETOX, Přírodovědecká fakulta MUNI Brno



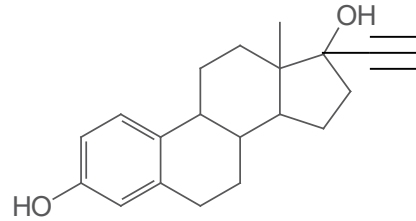
Tretiruka  cz

ODPADOVÉ FÓRUM – Hustopeče 22.4.2026

MUNI | RECETOX
SCI

Proč jsou mikropolutanty problémem

Kidd, K.A. et al. 2007. **Collapse of a fish population** following exposure to **a synthetic estrogen**. *PNAS* 104(21):8897-8901



EU Rámcová směrnice o vodách

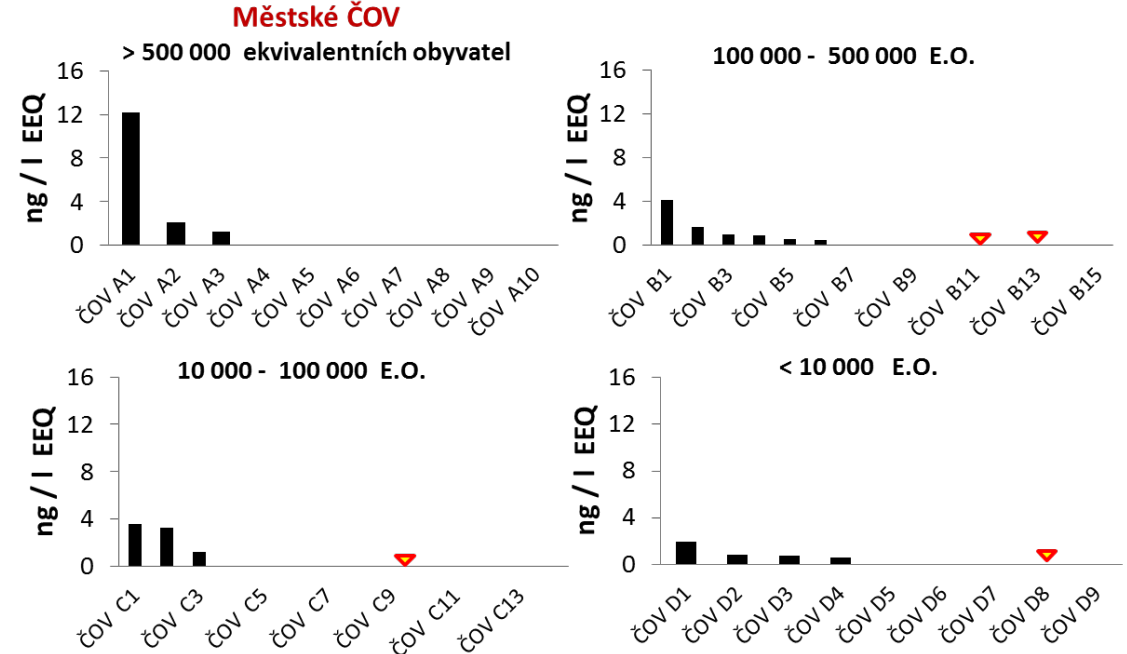
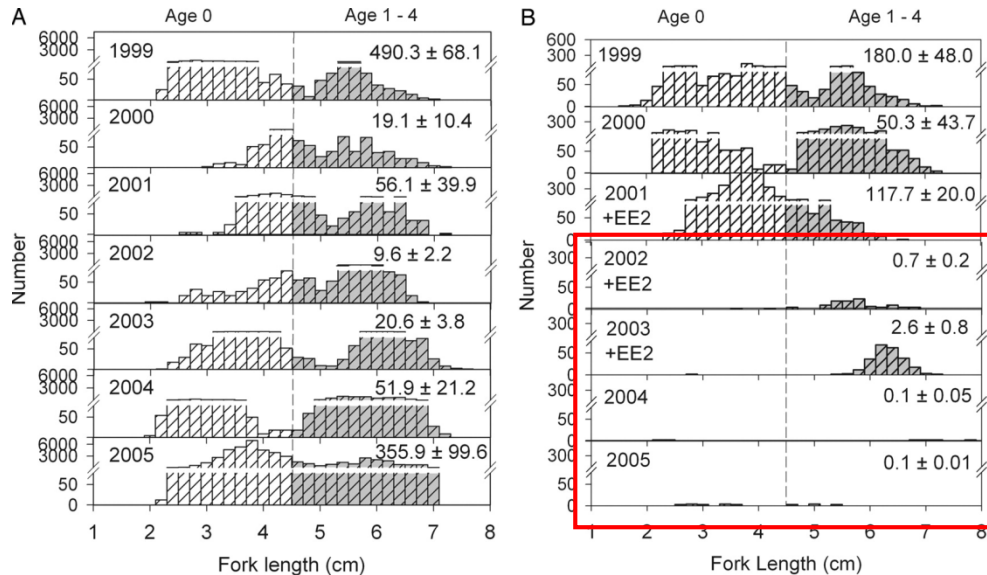
NEK – norma environmentální kvality
RP – roční průměr

Estradiol: **RP-NEK = 0.18 ng/L**
Ethinylestradiol **RP-NEK = 0.017 ng/L**

EU studie 75 odpadních vod (**40% > NEK**)

Jarošová et al. (2014a,b) *Environ International, ESPR*

EE2 - 5 (!) ng/L



Rámcová
směrnice o
vodách (WFD)
2000/60

Směrnice o pitné vodě
(DWD)
2020/2184

Indikátory kvality

Ekologický stav (WFD)

Mikroorganismy

Základní indikátory

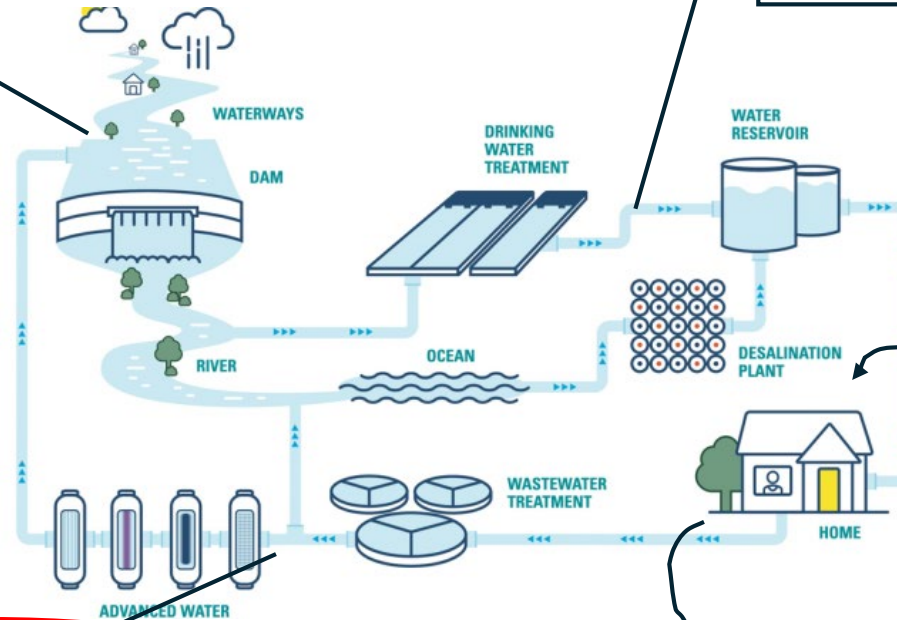
- organické odbouratelné (fekální) znečištění, BSK5
- živiny – dusík, fosfor

Další polutanty

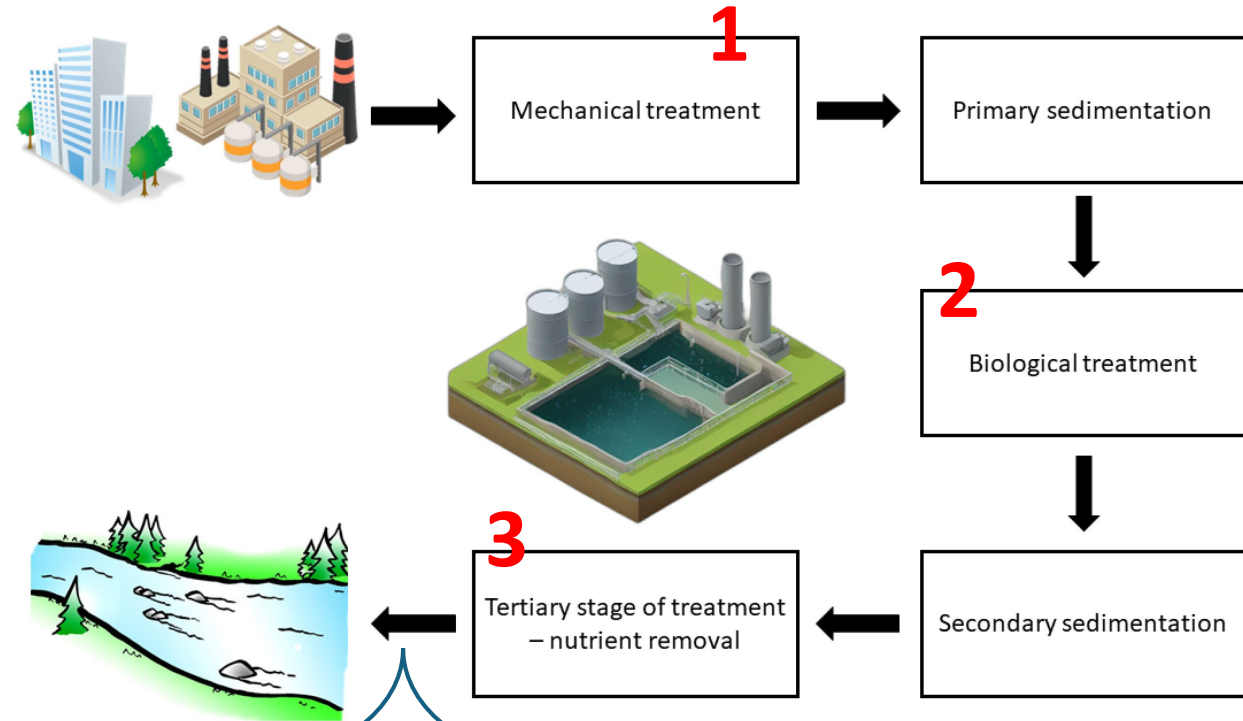
- toxické kovy, POPs, PAHs
- mikropolutanty
pesticidy a PPCPs
Pharmaceuticals
and Personal Care Products
and Perfluorinated Alkyl
Substances (PFAS)

Směrnice o čištění
městských odpadní vod
(UWWTD)
2024/3019

Nařízení o
opětovném využití
vody (REUSE)
2020/741



Aktualizace směrnice o čištění městských odpadních vod (UWWTD)



→ Sekundární (**2**) čištění pro všechna sídla >1,000 Ekvivalentních obyvatel (EO) (termín 2035)

→ Terciární (**3**) čištění pro všechna sídla >150,000 EO (termín 2039), >10.000 EO (termín 2045)

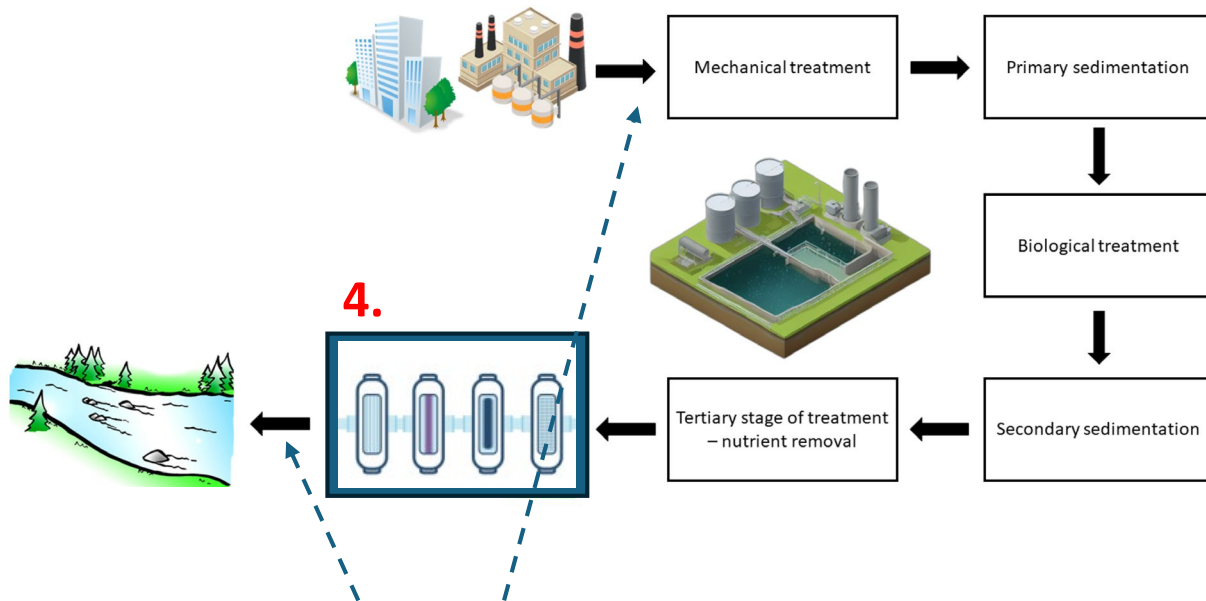
→ **Kvarterní čištění (4)** pro >150,000 EO (2045) a po posouzení rizik také pro >10,000 EO

4 Novinka! Kvarterní stupeň

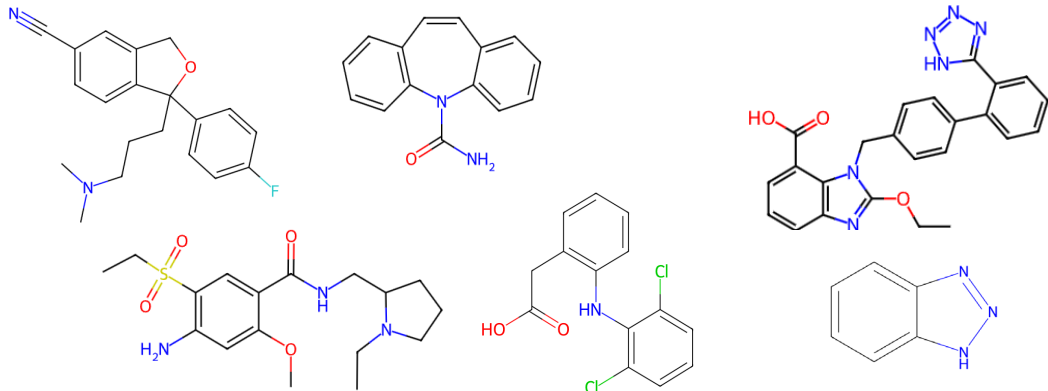
pokročilé technologie → odstraňování mikropolutantů

- Reverzní osmóza
- Mikro- / nano-filtrace
- Ozonizace, další AOPs (Advanced Oxidation Processes)
- Sorpce - aktivní uhlí (granulované, práškové)
- UV / UV LED
- Plasma
- Fe(0), Fe₂O₃
- Biofilmy
- etc.

Požadavky UWWTD na účinnosť čistenia mikropolutantů

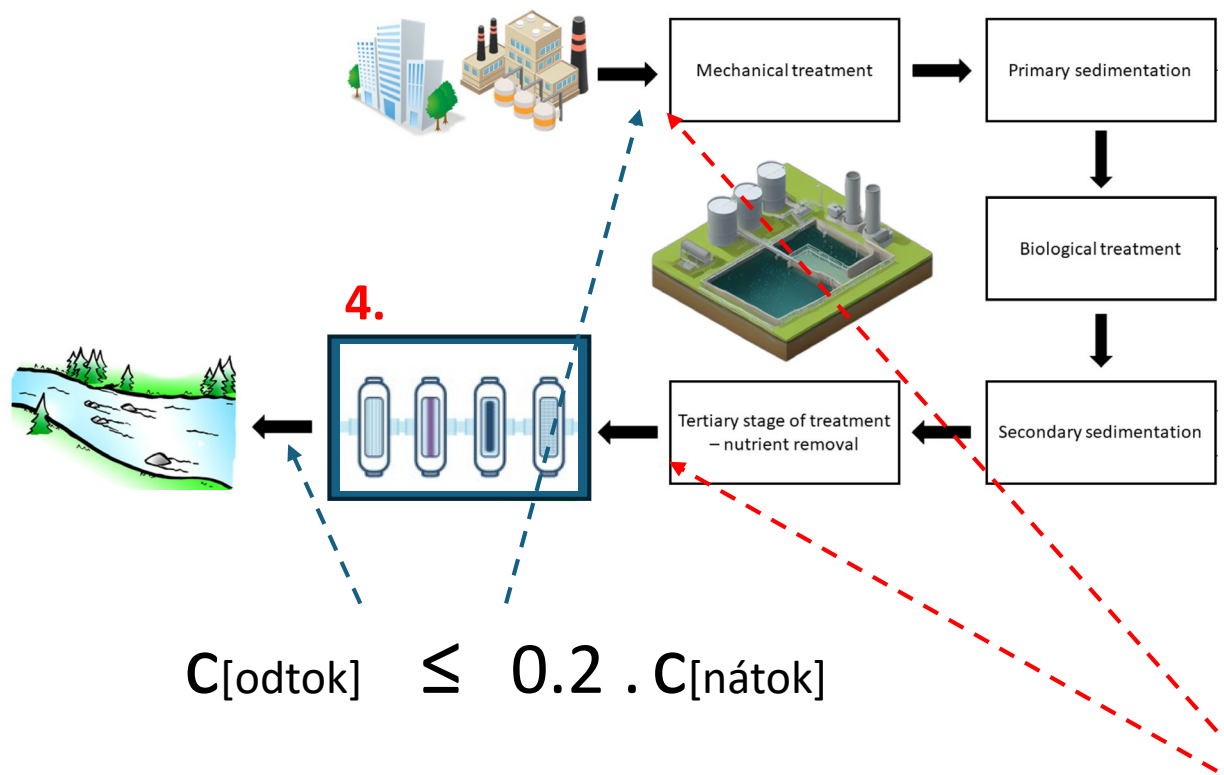


$$C_{[\text{odtok}]} \leq 0.2 \cdot C_{[\text{nátok}]}$$

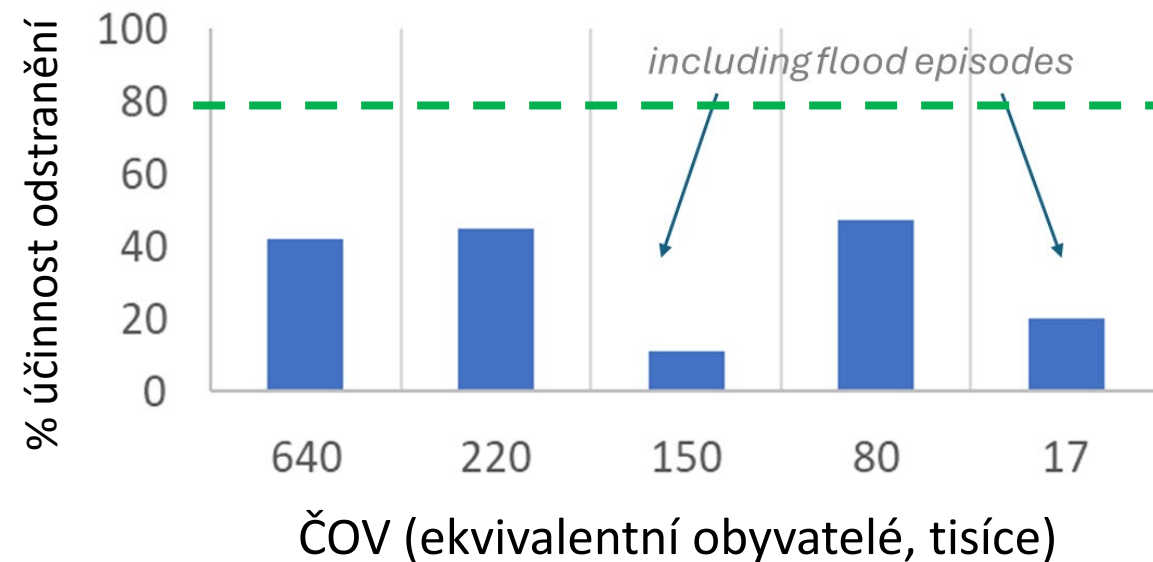


- **12 látok** - kritéria: častý a plošný výskyt, neodstránené bežnou ČOV, *kritériem není jejich ekotoxicita a riziko*)
- ČOV (s **4.** stupněm) musí s min. 80% účinností odstraňovat 6 látok (min. 4 ze sk. I + 2 ze sk. II)
- **Skupina I**
 - (i) Amisulprid (CAS No 71675-85-9)
 - (ii) Carbamazepine (CAS No 298-46-4)
 - (iii) Citalopram (CAS No 59729-33-8)
 - (iv) Clarithromycin (CAS No 81103-11-9)
 - (v) Diclofenac (CAS No 15307-86-5)
 - (vi) Hydrochlorothiazide (CAS No 58-93-5)
 - (vii) Metoprolol (CAS No 37350-58-6)
 - (viii) Venlafaxine (CAS No 93413-69-5)
- **Skupina II**
 - (i) Benzotriazole (CAS No 95-14-7)
 - (ii) Candesartan (CAS No 139481-59-7)
 - (iii) Irbesartan (CAS No 138402-11-6)
 - (iv) směs 4-Methyl-benzotriazole (CAS No 29878-31-7) a 5-methyl-benzotriazole (CAS No 136-85-6)

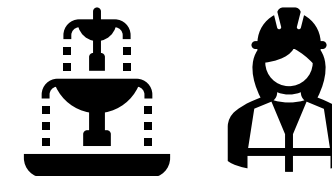
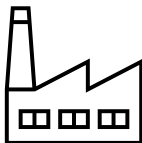
Požadavky UWWTD na účinnost čištění mikropolutantů



Stávající ČOV v ČR - 2024-2025
(výběr 6 „optimálních“ látek = nejlepší scénář)



EPR – Extended Producer Responsibility / Rozšířená odpovědnost výrobce



Výrobce (místo produkce nerozhoduje – EU, non-EU)

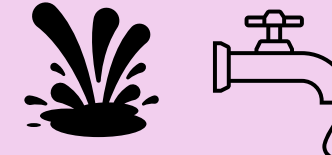
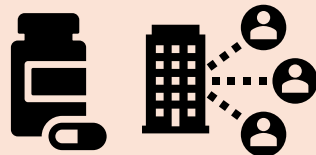
Zřízení nové organizace pro výběr „daní“, jejich správu a rozdělování

Čistírny odpadních vod ČOV (desítky až stovky zařízení v ČR)



MAH platí „daň“ podle podílu na trhu

ČOV účtuje náklady a požaduje platby



MAH (podíl na nákladech podle podílu na trhu)

Nová organizace – výběr, správa, rozdělování „daně“

Investice do nových technologií individualizovaně na každé ČOV podle podmínek a konkrétní situace (postupně, T: 2045) + **provoz** (vč. monitoringu)

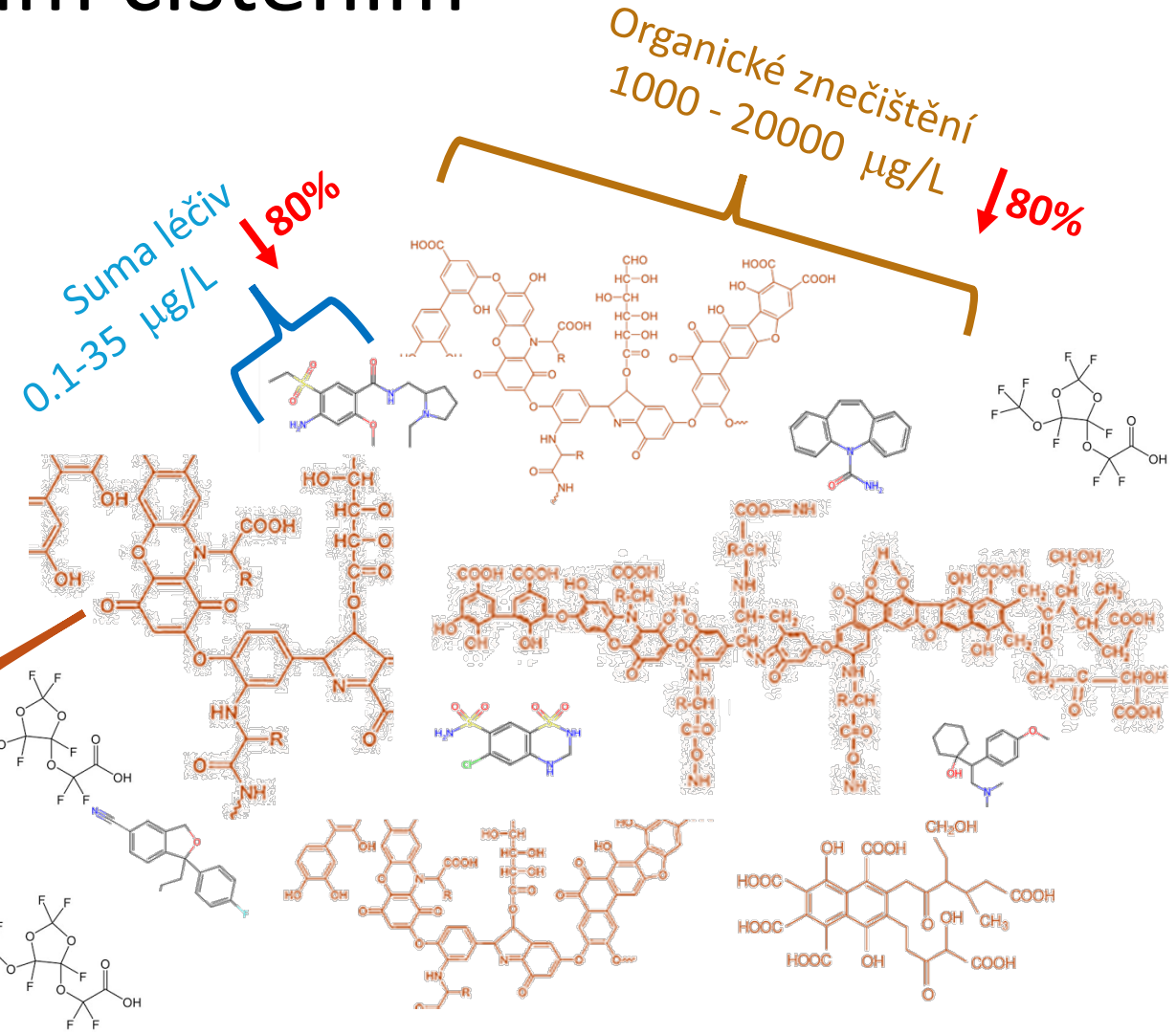
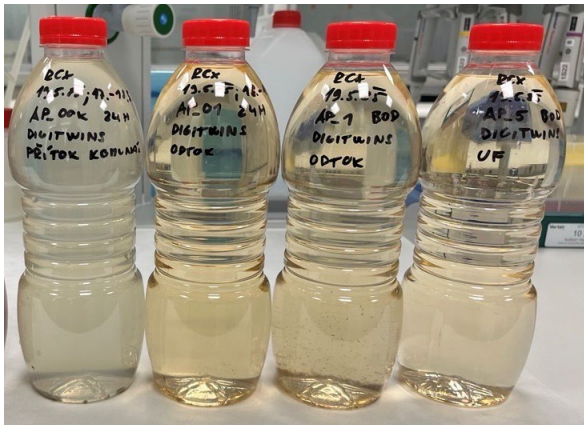
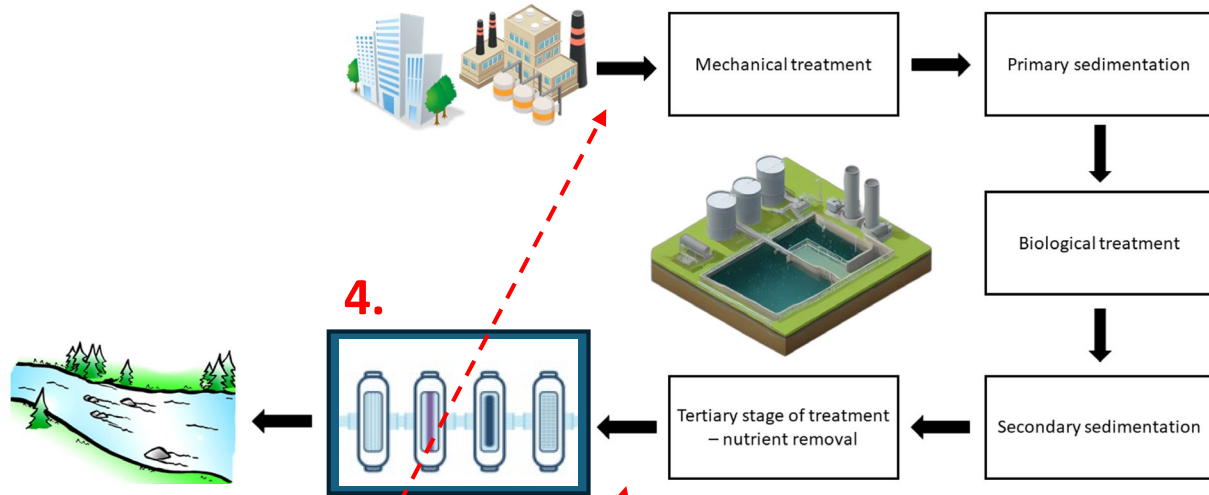
+ 20%(?) kosmetický průmysl



DAŇ =

Min. 80% nákladů (investice do kvarterního čištění + zajištění provozu ČOV) hradí MAHs podle podílu na trhu

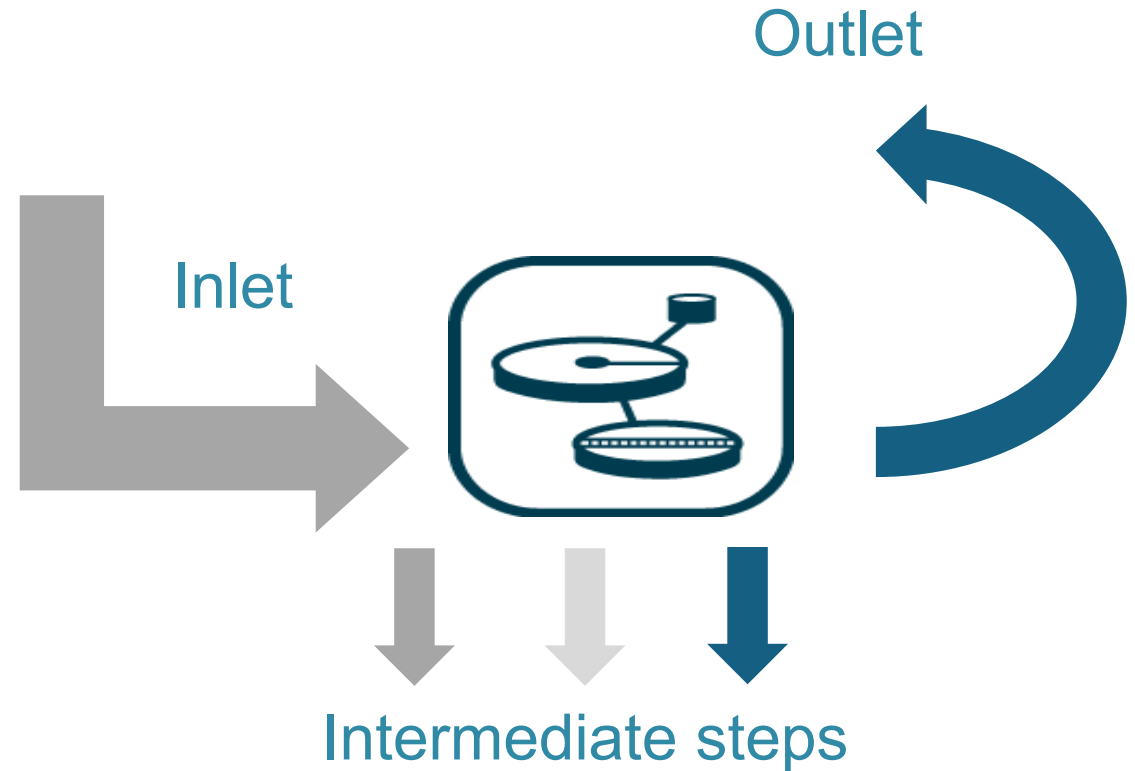
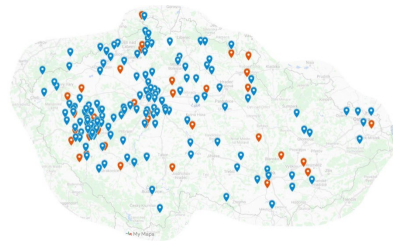
Odpadní voda před kvarterním čištěním



! Skutečně rizikové polutanty (hormony) z ČOV
Estradiol + EE2 → NEK = 0.18 a 0.017 ng/L

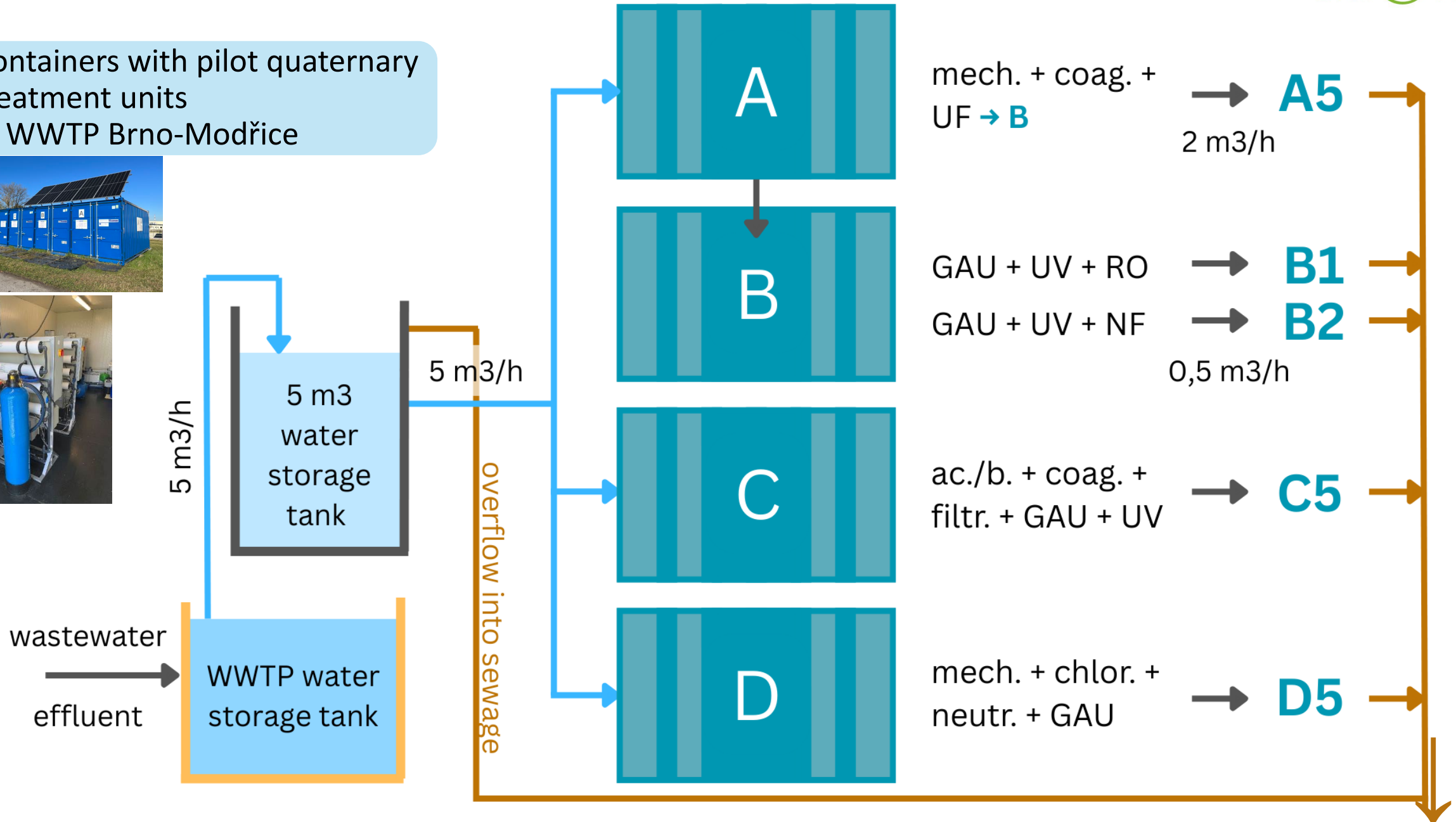
Wastewaters - ongoing projects

- DigiTwins
- Peroled
- CaviPlasma
- Kvartera
- WWTPs in CZ
- Fish ponds
- Phycoremediation



DigiTwins (ASIO, RECTETOX, VŠCHT, VDT, SZÚ)

Containers with pilot quaternary treatment units in WWTP Brno-Modřice



Micropollutants- removal efficiency of quaternary technology (%)



- Inlet (**WWTP effluent** before quaternary tech) vs. **final „advanced“ effluent**
- AVG values from 10 sampling campaigns (Jan to Oct 2024) (exc.: AMI A1–B2 N = 9, AMI C5 a D5 N = 8)

Note: Removal efficiency % will be likely higher if concentrations in effluent are compared to raw influent

Directive (EU) 2024/3019

Total AVG >80%
final effluent / raw
influent to wwtp

	AMI	CARB	CIT	CLAR	DIC	HCT	VEN	MET	CAN	IRB	1BTR	4,5mBTR	AVG
A5 mech. předčišť. ✓	7	9	2	-4	0	7	10	3	4	-1	4	-1	3
B1 rev. osmóza ✓	100	100	99	99	100	100	100	100	99	100	77	78	96
B2 nanofiltrace	93	99	69	93	98	96	50	99	78	93	73	57	83
C5 H/OH, koagul. GAU, UV	37	32	30	26	25	36	43	23	30	29	41	38	32
D5 Cl, neutr., GAU ✓	90	33	42	90	85	90	56	57	54	89	40	47	62

4x I. + 2x II.
83 %

PFAS

exploratory research – not (yet) included in the UWWTD

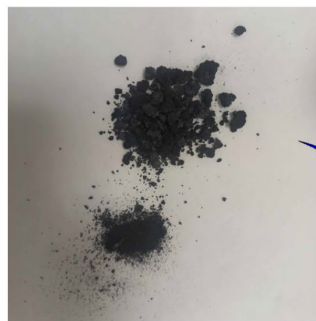
- **Removal efficiency (%) WWTP effluent** (before quaternary tech.) vs. **technology effluent**

- AVG values from 10 sampl. campaigns (Jan to Oct 2024)

	PFOA	PFBS	PFHxA	PFHxS	6:2FTS	PFBA	PFOS	P _I AVG
A5 mech. předčišť.	5	3	8	-48	-27	13	7	-6
B1 ✓ rev. osmóza	90	97	99	55	91	100	85	88
B2 ✓ nanofiltrace	65	65	82	32	90	88	74	71
C5 H/OH, koagul. GAU, UV	24	16	-2	-28	19	28	25	12
! D5 Cl, neutr., GAU	-4	-22	-36	-33	4	21	10	-8

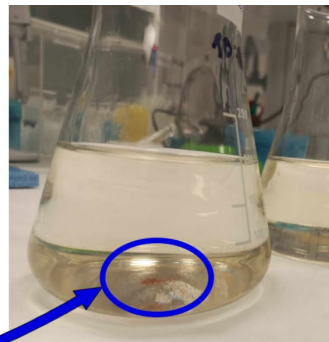
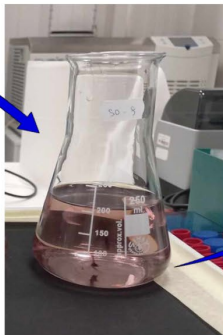
PEROLED (ASIO + RECETOX)

Innovative Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment Applications



K_2FeO_4

Oxidation reaction



$Fe(OH)_3$

- Filtered (0.45 μm) effluent from a WWTP
- Optimization of reagent dose and reaction time



iron nanoparticle suspension

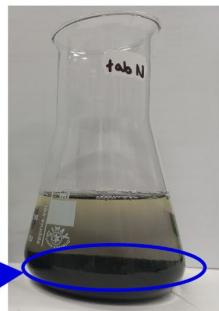
Reduction reaction



Settled iron particles



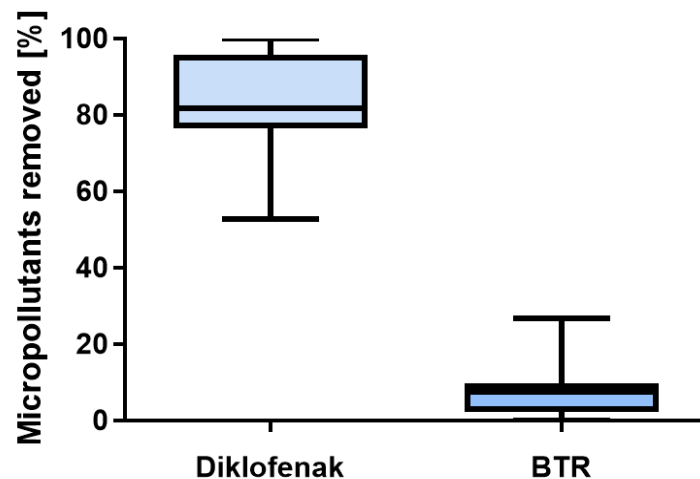
iron nanoparticle tablets



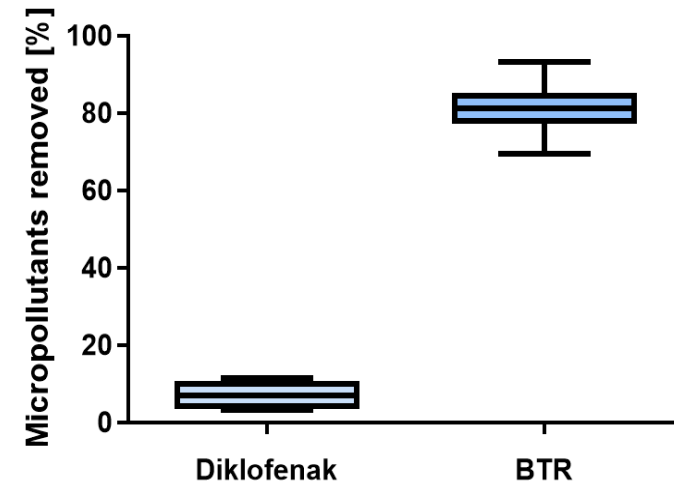
Settled iron particles

	CARB	CIT	CLAR	DIC	VEN	MET	1BTR	4,5m BTR	AVG
K_2FeO_4 (30 mg/L, 60 min)	89	100	98	100	75	46	4	27	67
Fe suspension (2,5 g/L, 180 min)	32	100	83	8,1	49	33	93	93	61
Fe tablet (2,5 g/L, 180 min)	78	100	75	77	79	78	81	76	80

Degradation of Selected Micropollutants (30 mg/L K_2FeO_4)



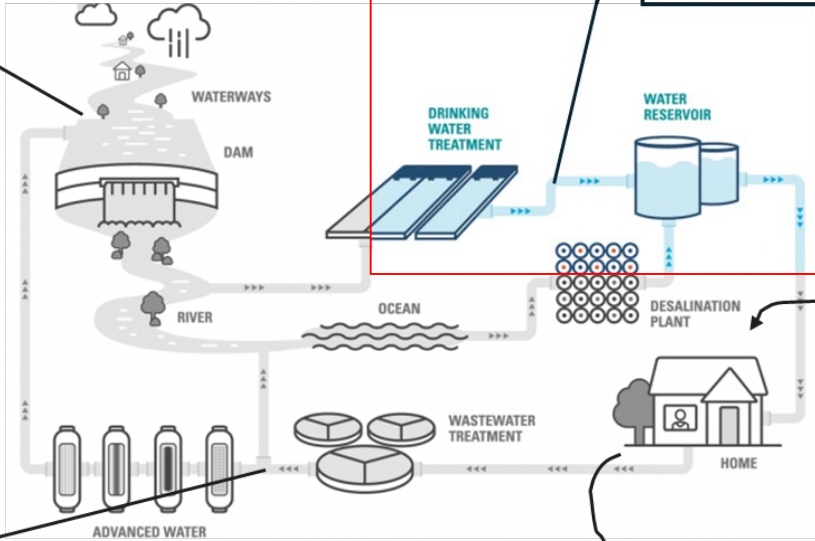
Degradation of Selected Micropollutants (2,5 g/L suspension v Fe nanoparticles)



Water Framework Directive (WFD)



Drinking Water Directive (DWD)



Urban Waste Water Directive (UWWTD)



Water REUSE Regulation

DRINKING water news



Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption (recast) (Text with EEA relevance)

New DW quality indicators **from Jan 2026**

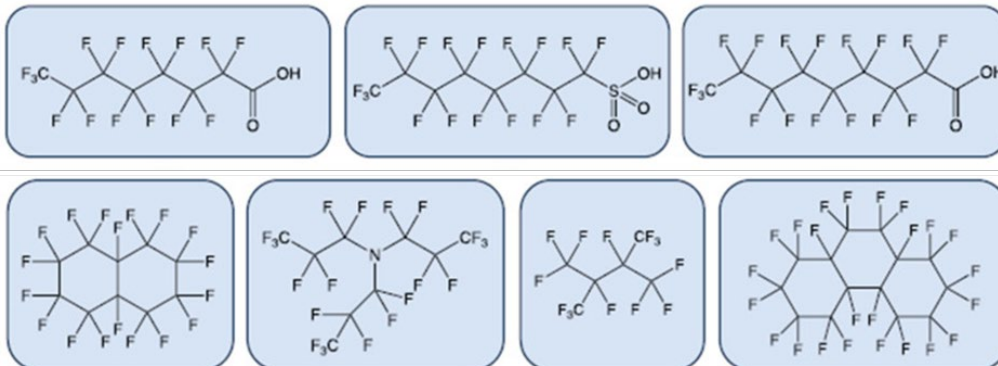
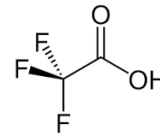
• PFAS

• Sum of PFAS (**20 compounds**)

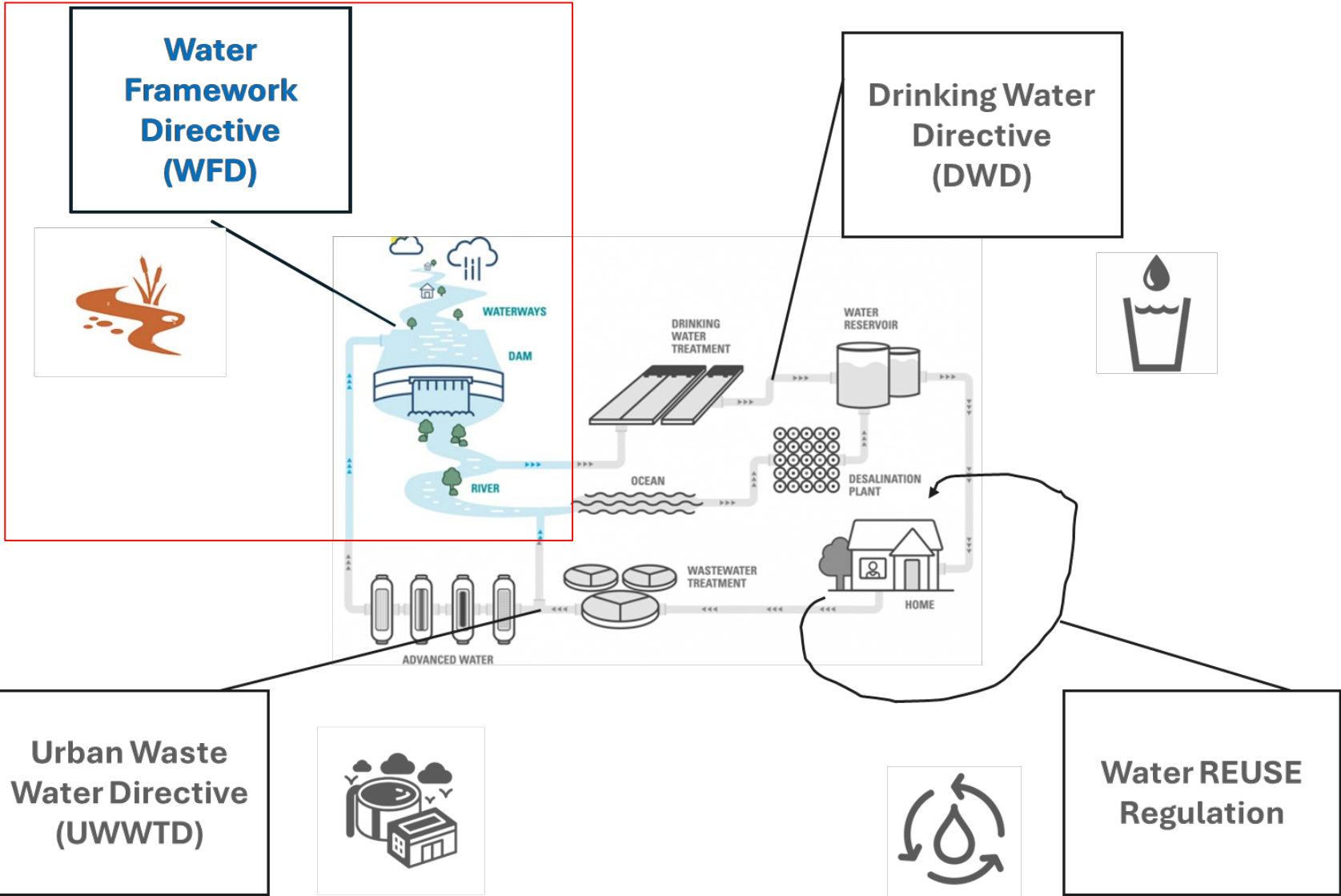
- 10x acids (C4 - C13 OA)
- 10x –sulfonic acids (C4 - C13 OS)

• **Total PFAS**

- ... also degradation products, **e.g. TFA**
- *No SOPs, methodology available*



Substance	Parametric value
Bisphenol A	2.5 µg/l
Chlorates	0.25 mg/l
Chlorites	0.25 mg/l
Haloacetic acids (AHAs)	60 µg/l
Microcystin-LR	1.0 µg/l
Uranium	30 µg/l
Sum of PFAS	0.10 µg/l
Total PFAS	0.50 µg/l



Water Framework and Ground Water directives



European Council
Council of the European Union



EN

[Home](#) > [Press](#) > [Press releases](#)

● Council of the EU | Press release | 23 September 2025 19:52

Water pollution: Council and Parliament reach provisional deal to update priority substances in surface and ground waters



GENERAL PUBLICATIONS

Proposal for a Directive amending the Water Framework Directive, the Groundwater Directive and the Environmental Quality Standards Directive

Details

Publication date

26 October 2022

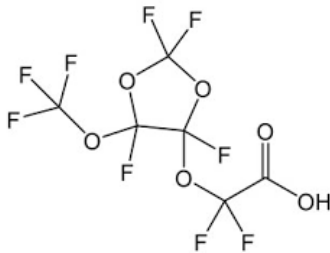
Author

Directorate-General for Environment

WFD/GWD - EU news - 23.9.2025

- Updated list of pollutants - **70 items in the table**
- Nově pojmenovaná Příloha V - „**NORMY ENVIRONMENTÁLNÍ KVALITY (NEK) PRO PRIORITYNÍ LÁTKY V POVRCHOVÝCH VODÁCH**“.

RP-NEK - Roční průměr NEK
 NPK-NEK - Nejvyšší přípustná koncentrace

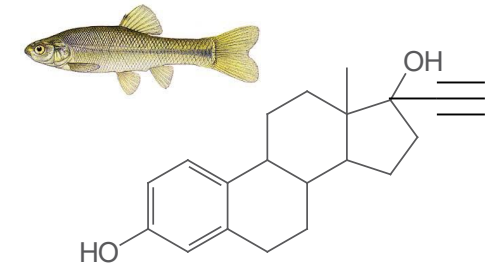


PFAS
 13x PF kyseliny
 (C4-C14, C16, C18)
 6x PF sulfonové kyseliny
 (C4,5,6,7,8,10)
 5x další PFAS látky
 (Gen X, ADONA, PF-alkoholy)

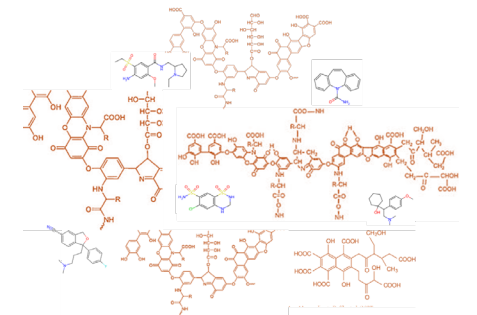
[Položka] č.	Název látky	Kategorie látek	Číslo CAS ⁽¹⁾	Číslo EU ⁽²⁾	RP-NEK ⁽³⁾ vnitrozemské povrchové vody ⁽⁴⁾ [µg/l]	RP-NEK ⁽³⁾ Ostatní povrchové vody [µg/l]	NPK-NEK ⁽⁵⁾ Vnitrozemské povrchové vody ⁽⁴⁾ [µg/l]	NPK-NEK ⁽⁵⁾ Ostatní povrchové vody [µg/l]
(46)	17-alfa-ethinylestradiol (EE2)	Léčivé přípravky (estrogenní hormony)	57-63-6	200-342-2	$1,7 \times 10^{-5}$	$1,6 \times 10^{-6}$	neodvozené	neodvozené
(47)	17-beta-estradiol (E2)	Léčivé přípravky (estrogenní hormony)	50-28-2	200-023-8	0,00018	9×10^{-6}	neodvozené	neodvozené
(65)	Per- a polyfluoroalkylové látky (PFAS) – úhrn 24 ⁽²⁷⁾	Průmyslové látky	nepoužije se	nepoužije se	Součet ekvivalentů PFOA 0,0044 ⁽²⁸⁾	Součet ekvivalentů PFOA 0,0044 ⁽²⁸⁾	nepoužije se	nepoužije se

Shrnutí & paradoxy

Kritéria pro čištění OV podle UWWTD nezohledňují skutečně rizikové ekotoxické látky jako např. hormony.



Suma „mikropolutantů“ (léčiv) tvoří **ca 0.1% organického znečištění před kvarterním stupněm ... ale je třeba vyčistit z 80% „všechno“ + většinu nákladů ponese farmaceutický (a částečně kosmetický) průmysl formou EPR = ve výsledku spotřebitel, zdravotní pojištění (?)**



Technologie pro kvarterní čištění jsou vyvíjeny a testovány i v podmínkách ČR – čekáme na národní implementační plán pro UWWT, který připravuje MZe





Luděk Bláha a Lucie Bláhová,
Michal Bittner, Anna Ireinová,
Nina Mokráčková, Hana Dufková,
Roswita Lišková + alumni + Bc,
Mgr, PhD studenti +
spolupracovníci

Financování

TAČR

OP TAK

OP PIK

Concert Japan

Contract research partners

MUNI | RECETOX
SCI