

SS02030008

CENTRUM ENVIRONMENTÁLNÍHO VÝZKUMU

ODPADOVÉ A OBĚHOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ A ENVIRONMENTÁLNÍ BEZPEČNOST

Zpráva o řešení

WP2.A Kontaminace vodního prostředí za rok 2024



ÚSTAV CHEMICKÝCH
PROCESŮ AV ČR
INSTITUTE OF CHEMICAL
PROCESS FUNDAMENTALS
OF THE ASCR



Hlavní řešitel: Ing. Miroslav Váňa (VÚV TGM)

Spoluřešitelé: Jan Najser (VŠB-TUO)
Tomáš Cajthaml (UK)

Garant MŽP: Mgr. Martin Udatný, Ph.D.

Reportovací období: 1. 1. – 31. 12. 2024

**T A
Č R**

Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je financován se státní podporou Technologické agentury ČR a Ministerstva životního prostředí ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Obsah

1. Úvod.....	3
2. Plán činnosti na rok 2024	3
3. Řešení pracovního balíčku 2. A v roce 2024	6
3.1. Řešení dílčího cíle 2.A.1	6
3.2. Řešení dílčího cíle 2.A.2	7
3.3. Řešení dílčího cíle 2.A.3	8
3.4. Řešení dílčího cíle 2.A.4	9
3.5. Řešení dílčího cíle 2.A.5	14
3.6. Řešení výskytu látek ze skupiny PFAS - operativní výzkum látek	20
4. Závěr.....	22

Seznam příloh:

1. Termická regenerace GAU
2. Experimentální technologie pro úpravu odpadní vody působením elektrostatického pole
3. Zařízení pro úpravu odpadní vody působením elektrostatického pole – osvědčení o zápisu užitého vzoru

1. Úvod

Výzkumná zpráva za řešení pracovního balíčku 2. A Kontaminace vodního prostředí shrnuje postup řešení a prezentuje výsledky dosažené za rok 2024. Tato výzkumná zpráva je podkladem pro řešitele výzkumného balíčku, pro řešitele projektu CEVOOH, a dále pro odborného garanta MŽP a je řazena podle jednotlivých řešených dílčích cílů.

2. Plán činnosti na rok 2024

Výzkum WP2.A je zaměřen na problematiku znečištění vodního prostředí léčivými látkami, jejich rezidui, metabolity a případně dalšími rizikovými látkami a na riziko mikrobiálního zatížení povrchových vod odpadními vodami z ČOV. Vzhledem k tomu, že jednotlivé dílčí cíle jsou hodně provázány, aktivity v jednotlivých dílčích cílech se vzájemně doplňují.

V následujícím tabulkovém přehledu jsou uvedeny milníky, které byly plánovány na rok 2024 i s komentářem jejich dosažení.

Milníky za rok 2024

Název milníku	Krátký popis	Termín	Splnění a komentář
M.2.A.1	Získání užitého vzoru experimentálního zařízení	06/2024	Bylo vydáno Osvědčení o zápisu užitého vzoru č. 37615 - Zařízení pro úpravu odpadní vody působením elektrostatického pole.
M.2.A.1	Dokončení rešerše o možnostech odstraňování látek ze skupiny PFAS z odpadní vody	06/2024	Byla dokončena rešerše možností odstraňování látek PFAS z odpadních vod. Rešerše bude sloužit pro přípravu příspěvku na konferenci Odpadové vody 2024.
M.2.A.2	Dokončení a zpřístupnění databáze komunálních ČOV v ČR s charakteristikami recipientů	Původní termín 06/2024, nový termín 08/2024	Databáze byla dokončena, a zpřístupněna
M.2.A.3	Dokončení analýzy toku léčiv z vybraných hot-spots	06/2024	Analýza je dokončena, výsledky budou publikovány ve výzkumné zprávě za rok 2024.

M.2.A.3	Dokončení analýzy současných technologických postupů řešení a zneškodňování roztoků léčivých látek	06/2024, nový termín 06/2025	Analýzy současných technologických postupů řešení a zneškodňování roztoků léčivých látek ještě probíhá, bude dokončena až v průběhu roku 2025. Navržený nový termín 06/2025.
M.2.A.3	Dokončení a zpracování přehledu technologií na „nemocničních“ ČOV	06/2024, nový termín 06/2025	V současné době stále ještě probíhá dokumentace nemocničních ČOV, z tohoto návrh na posunutí termínu na 06/2025.
M.2.A.4	Zpracování přehledu ČOV a charakteristika průtokových poměrů v recipientech odpadních vod z pohledu mikrobiálního znečištění. Shromáždění dostupných mikrobiologických dat	06/2024, nový termín 06/2025	Stále probíhá shromažďování údajů pro zpracování přehledu. Návrh posunutí dosažení milníku o 1 rok
M.2.A.5	Na základě dohody s odborným garantem bude rozhodnuto o druhu výstupu a jeho náplni, (původně měla být vytvořena Metodika negativního ovlivnění vodního prostředí vypouštěnými léčivými látkami)	06/2024	Na základě jednání s odborným garantem bylo dohodnuto, že metodika není výstupem, který by MŽP v tuto chvíli potřebovalo. Ve 2. pololetí roku 2024 byla finalizována žádost o změnu charakteru výstupu, žádost bude podána v roce 2025.

Výstupy za rok 2024:

V roce 2024 pokračovaly práce na řešení výstupů jednotlivých dílčích cílů projektu. Dokončení výstupů je však plánováno až na další roky řešení projektu.

V roce 2024 byla plánovaným výstupem tato výzkumná zpráva za 3. rok řešení projektu.

Na rok 2022 byla původně plánovaným výstupem také metodika negativního ovlivnění vodního prostředí vypouštěnými léčivými látkami, ale její odevzdání bylo po dohodě s garantem odloženo. V polovině roku 2024 bylo na základě jednání s odborným garantem dohodnuto, že metodika není výstupem, který by MŽP v tuto chvíli potřebovalo. Ve 2. pololetí roku 2024 byla finalizována žádost o změnu charakteru výstupu. Žádost bude podána v roce 2025.

3. Řešení pracovního balíčku 2. A v roce 2024

V následující části jsou podrobně popsány práce na řešení jednotlivých dílčích cílů a jejich hlavní výsledky za rok 2024.

3.1. Řešení dílčího cíle 2.A.1

Analýza stávajících technologií pro eliminaci léčivých látek, jejich reziduí, metabolitů a dalších rizikových látek z kalů i vypouštěných odpadních vod z čistíren odpadních vod a ověření možnosti provozně použitelných technologií pro odstraňování léčivých látek z odpadní vody.

V roce 2024 pokračovaly práce v tomto dílčím cíli v několika rovinách. V první řadě se především jednalo o možnosti regenerace aktivního uhlí použitého při adsorpčních procesech včetně zachytu farmak z úpravny vody. Výsledky řešení jsou uvedeny v příloze 1.

Ve druhém případě pokračovaly práce ve spolupráci s řešením dílčího cíle 2.A.3, na realizaci a odzkoušení možnosti použití zařízení pro fyzikální způsob zpracování odpadů. Výsledky těchto experimentálních činností dosažených v roce 2024, včetně Osvědčení o zápisu užitého vzoru jsou součástí přílohy č. 2 a 3.

Dále byla naše pozornost zaměřena na sběru dalších informací ohledně používaných technologií a technik k odstraňování léčivých látek a jejich zpracování do formy databáze – přehledu. Tato tabulka bude precizována a dokončena do června 2025 (viz stanovený milník na rok 2025).

Splnění milníku bylo odloženo (původní termín 06/2024) s ohledem na výsledky 7. veřejné soutěže Prostředí pro život, ve kterých byla podpořena řada projektů na řešení problematiky kvartérního čištění. V té souvislosti byla navázána spolupráce s jejich řešiteli k vzájemnému předávání výsledků a technologických postupů. Současně, vzhledem k tomu, že v závěru roku 2024 byla Evropským parlamentem schválena aktualizovaná směrnice o čištění odpadních vod (2024/3019), byly požadavky této směrnice zohledněny v řešení projektu, co se týče výčtu sledovaných látek.

Dále se řešitelé projektu ve 2. polovině roku podíleli na přípravě workshopu, který navazoval na kulatý stůl realizovaný v dubnu 2024 na MŽP. Obě akce se budou zabývat problematikou naplňování požadavků této směrnice. Řešitelé projektu se též podíleli na přípravě žádosti o podporu v rámci programu TSI 2025 v oblasti Implementace rozšířené odpovědnosti výrobců dle Směrnice o čištění městských odpadních vod (UWWTD) 2024/3019 (především výrobců farmak).

V průběhu roku 2024 byly prováděny přípravné práce k provozování pilotního modelu k ověřování technologických možností kvartérního čištění odpadních vod.

3.2. Řešení dílčího cíle 2.A.2

Analýza stávajících největších zdrojů znečištění povrchových zdrojů léčivými látkami a jejich metabolismy.

V I. pololetí 2024 byla revidována data odvozených průtoků v místech vypouštění komunálních ČOV a pro objekty vykazující > 1 000 připojených obyvatel (1 026 komunálních ČOV, obsluhujících 8 042 tis. připojených obyvatel), byla sestavena tabulka zahrnující základní data o vlastních ČOV, odvozené průměrné průtoky v místě vypouštění a odhad základní produkce odpadní vody, založený na předpokladu, že průměrný (připojený) obyvatel spotřebuje cca 120 litrů pitné vody denně. Ve 2. pololetí pokračovaly práce na upřesňování dat o průtocích v místě vypouštění vyčištěných odpadních vod. Recipienty byly klasifikovány podle řádu toku (Strahler) v profilu vypouštění. Pro malé toky (Strahler Order 3 a zejména 1-2) byly zjištěny velké nejistoty až po úroveň pochybností o faktické existenci „toku/recipientu“ při srovnávání digitalizovaných údajů (reportovaných zpráv/výkazů ČOV) s reálnými mapami. Problém se dále prohloubil s rozšířením souboru sledovaných ČOV z rozsahu >2 000 EO na objekty s >1 000 připojených obyvatel, v duchu požadavků evropské Směrnice o čištění městských odpadních vod. Soubor obsahuje celkem 903 ČOV (podle dat k roku 2022), vykazujících 7 123 566 připojených obyvatel, ČOV vypouštějící do toků řádu 1 a 2 představují sumárně cca 10 % připojených obyvatel. Ale je mezi nimi i několik velkých ČOV, které vypouštějí do malých toků, které se po krátké trati vlévají do toků větších.

Podstatné je, že spotřeba pitné vody (po použití přiváděné do ČOV) je stabilní a bude stabilní i za situací dlouhodobého sucha. Za sucha jsou ale zásadním způsobem ovlivněny ekosystémy v řece/recipientu (nízký průtok v toku a ředění standardně vyčištěné odpadní vody, teplotní a kyslíkový režim atd.). Tabulka počítá základní produkci komunální odpadní vody podle spotřeby pitné vody na připojeného obyvatele (120 l/den). Další sloupce tabulky počítají procento vypouštění z ČOV v průměrném průtoku v místě vypouštění jako základní charakteristiku ovlivnění jakosti vody a stavu říčního ekosystému za „průměrných podmínek“. Poslední sloupec počítá ovlivnění (procento vypouštěného objemu) za situace kdy v recipientu teče 25 % průměrného průtoku, čili situaci „za sucha“, jakkoliv hydrologicky definovaného. Systém samozřejmě nezahrnuje odlehčení kanalizací.

Předpokládaná prioritizace vlivu jednotlivých ČOV na recipient podle podílu vypouštění z ČOV a průtoku (včetně lokálního prošetření technologií), zejména za modelovaného sucha ČOV musí být individuální a komplexní. Pracovně bylo rozhodnuto řešit tento problém vlastností recipientu pro jednotlivé případy během roku 2025. Tabulka je samozřejmě využitelná i pro odhad přísunu a zatížení toků standardními polutanty (BSK, CHSK, dusík, fosfor).

Tabulka 1. Počet ČOV a počty připojených obyvatel podle řádu toku v profilu vypouštění.

Strahler order:	počet ČOV:	počet připojených	% ČOV	% připojených
1	62	163 869	6,9	2,3
2	102	555 152	11,3	7,8
3	159	522 508	17,6	7,3
4	184	766 832	20,4	10,8
5	176	1 088 646	19,5	15,3
6	104	897 138	11,5	12,6
7	52	1 036 147	5,8	14,5
8	46	725 272	5,1	10,2
9	18	1 368 002	2,0	19,2
SUMA	903	7 123 566	100,0	100,0

3.3. Řešení dílčího cíle 2.A.3

Analýza využitelných postupů a technologií k předcházení vniku léčivých látek do kalů i do vypouštěných vyčištěných odpadních vod

V roce 2024 jsme se zabývali vyhodnocením zdrojů léčiv v městských odpadních vodách. Dotazníkové šetření k nakládání s odpadními vodami ze zdravotnických zařízení provedené v roce 2023 ukázalo, že odpadním vodám z těchto zařízení není věnována výrazně zvýšená pozornost. Technologie, které by teoreticky mohly zabránit vypouštění farmak, využívá jen malá část zdravotnických zařízení.

V červnu 2024 byla provedena terénní šetření na ČOV třech fakultních nemocnic, spojená s odběrem a analýzou vzorků. Souhrnné výsledky dotazníkového šetření, terénních průzkumů i rozboru, do jaké míry představují zdravotnická zařízení „hotspot“, tedy významný zdroj léčiv v městských odpadních vodách byly předneseny na konferenci Odpadové vody v říjnu 2024.

Hodnocené ČOV třech fakultních nemocnic byly vybudovány pro infekční odpadní vody, avšak úspěšnost oddělení infekčních vod závisí na provedení kanalizační sítě v areálu. Do některých sledovaných ČOV jsou přiváděny nejen infekční vody, ale také běžné splaškové vody či dokonce srážkové vody. Obvykle proto probíhá běžné mechanicko-biologické čištění následované dezinfekcí, zpravidla chlorací. Dvě ze sledovaných ČOV používají v biologickém stupni aktivaci, ve třetí ČOV měl sloužit k čištění OV nefunkční skrápěný biofiltr. Vyčištěné odpadní vody jsou vypouštěny do kanalizace pro veřejnou potřebu. Přebytný kal je ve dvou ze sledovaných ČOV stabilizován párou a poté vypouštěn do kanalizace a v jednom případě je dlouhodobě skladován a poté, po odvodnění, používán jako zemina pro terénní úpravy. V odebraných vzorcích bylo analyzováno 54 mikropolutantů, zejména léčiv. S vysokou účinností, standardně přesahující 85 %, byly ve všech ČOV odstraněny Acetaminofen

(Paracetamol), Ibuprofen, Kofein a jeho metabolit Paraxantin. Vysokých účinností dosahovaly čistírny i v odstranění Naproxenu (NSAID) a salicylové kyseliny. Naopak, nejnižší účinnosti, pod 20 %, byly na všech ČOV zaznamenány v odstraňování Karbamazepinu, jeho metabolitu Karbamazepin 10,11-epoxid, dále antimykotika Fluconazole a repelentu DEET. Tato zjištění odpovídají běžně publikovaným údajům o odstranitelnosti jednotlivých látek biologickým čištěním.

V rámci přípravy implementace nových evropských právních předpisů jsme se zúčastnili konference o velkých čistírnách odpadních vod v Budapešti (LWWTP 2024, 8. - 12. 9. 2024). Hlavními tématy konference byly všechny aspekty návrhu, provozu a ekonomiky velkých čistíren odpadních vod, nejnovější poznatky pro odstraňování a získávání živin z odpadních vod. Dalšími tématy prezentací a diskuzí byly klimatická změna a různé pohledy na ni v kontextu čištění odpadních vod, včetně měření emisí N₂O, energetické neutrality čištění městských odpadních vod a digitalizace.

Ve dnech 23. - 24. 10. 2024 jsme se společně se zástupci společností Veolia Holding Česká Republika, a.s., Pražské vodovody a kanalizace, a.s., a projektanty z d-plus projektová a inženýrská a.s. zúčastnili exkurze na ČOV Warburg (Německo), která je vybavena kvarterní technologií čištění odpadních vod, konkrétně O₃ + MBBR (aerobní biofilm na plovoucích nosičích). Motivace pro realizaci kvartérního čištění na čistírně byla dána požadavkem vlády spolkové země, která zajistila i dotační financování. Kromě technologií jsme byli seznámeni i s podrobnými investičními a provozními náklady a výsledky rozborů na mikropolutanty.

Exkurze na další ČOV s fungujícím kvartérním čištěním bude součástí řešení na rok 2025.

3.4. Řešení dílčího cíle 2.A.4

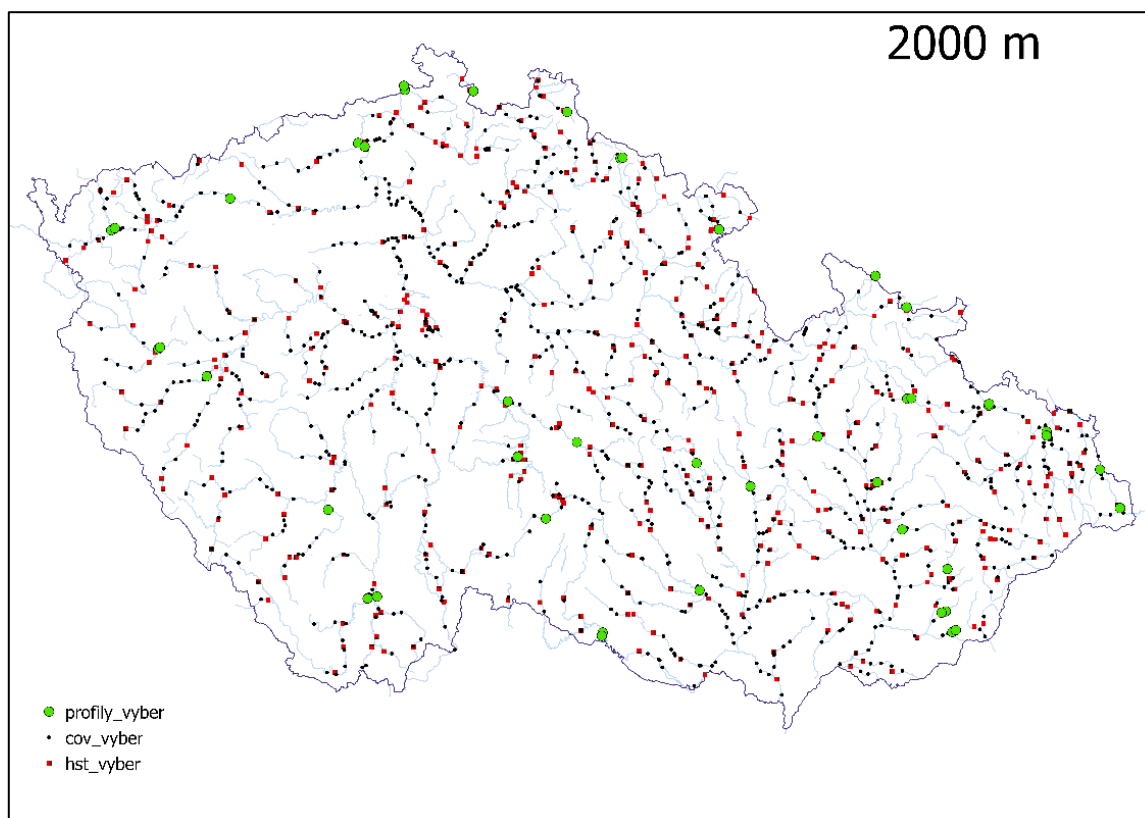
Výzkum a identifikace mikrobiálního zatížení povrchových vod odpadními vodami z ČOV v ČR

V první polovině roku 2024 byly provedeny aktivity pro shromáždění výsledků mikrobiologických analýz, prováděných s měsíční četností pro určení mikrobiálního zatížení recipientů odpadních vod z ČOV v letech 2019-2023. S využitím databázových a mapových podkladů byl proveden výběr 48 lokalit (*Obr. 1*), na nichž bylo prováděno stanovení indikátorů fekálního znečištění v rámci státního a provozního monitoringu podniků povodí a lokality leží pod zaústěním ČOV a lze u nich určit průtok v den odběru vzorků. Pro provedený výběr lokalit bylo požádáno podniky Povodí o mikrobiologická data. Data byla získána ve druhé polovině roku 2024, následně budou ve spolupráci s ČHMÚ doplněna údaji o průtocích ve dnech odběrů. Data jsou podkladem k milníku M.2.A.4, kterého by mělo být dosaženo v polovině roku 2025.

Terénní práce byly v roce 2024 zaměřeny na recipienty velkých ČOV (Praha, Brno). Měsíčně byly odebírány a analyzovány vzorky pro kulturační stanovení počtů fekálních indikátorů. Pro získání dostatečného množství aktuálních dat byl monitoring v roce 2024 rozšířen o stanovení fekálních indikátorů na profilech sledovaných v rámci jiných projektů (AKWA – toky v oblasti česko-saských hranic, interní grant – podélný profil Vltavy a vybrané přítoky). Získaná data byla doplněna dostupnými údaji o průtocích v den odběrů a použita pro hodnocení dynamiky

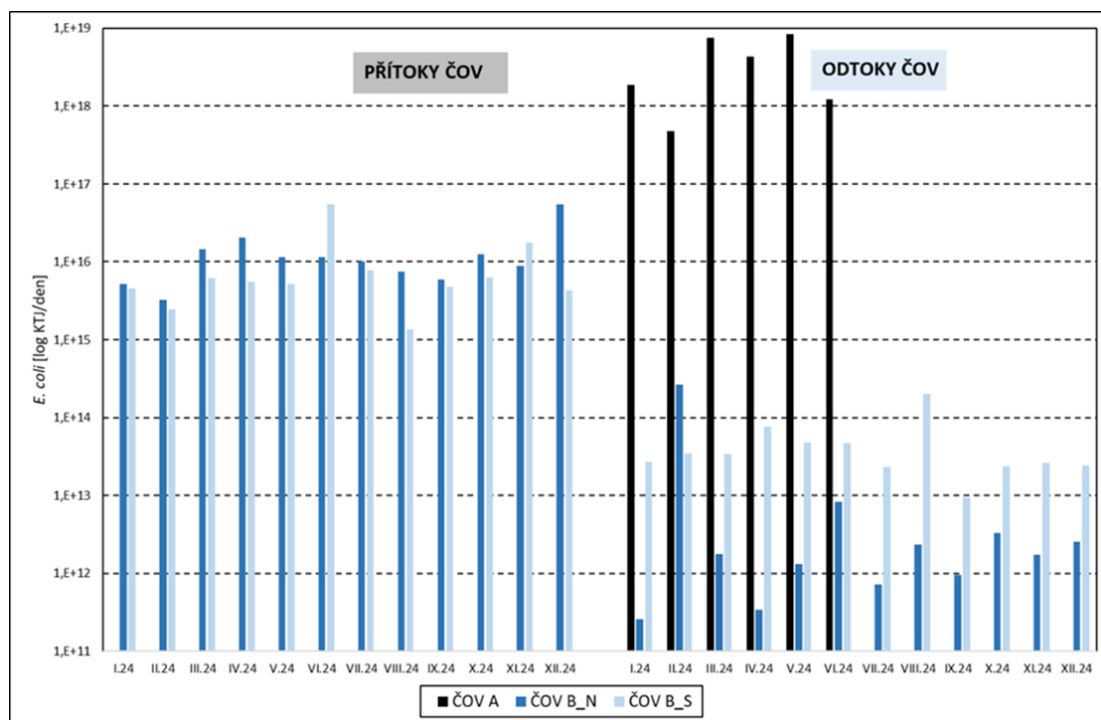
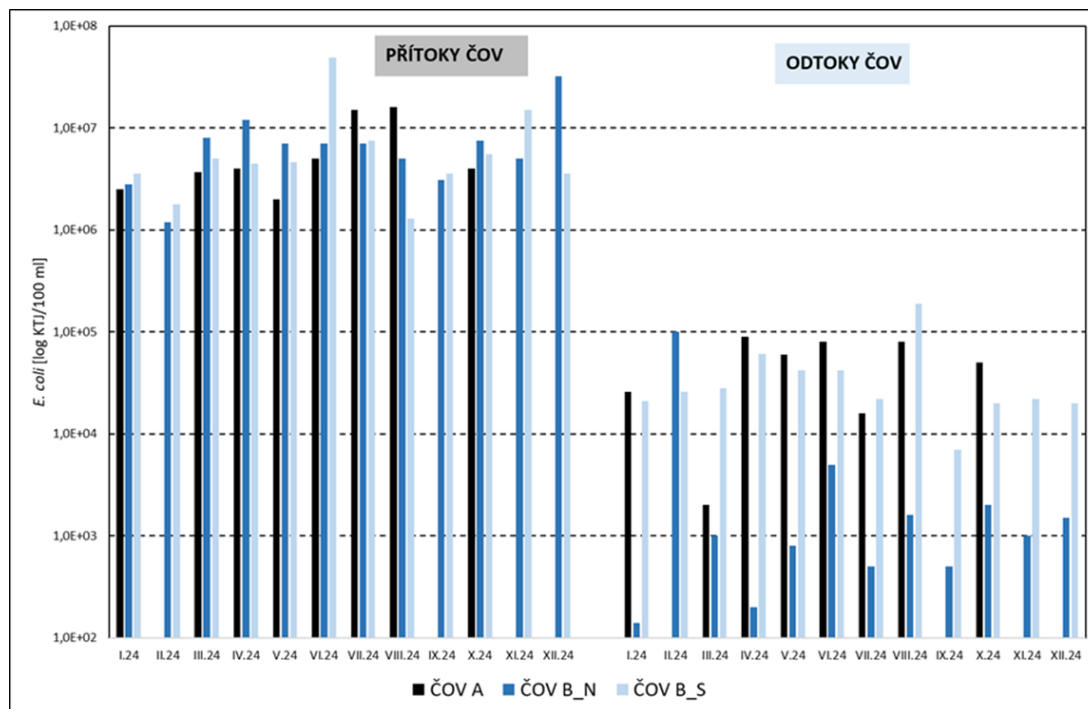
mikrobiální (fekální) kontaminace toků. Průběžné výsledky byly zpracovány a prezentovány na odborných akcích:

- Vodárenská biologie 2024 (8. - 9. 2. 2024): Vliv průtoků na mikrobiální zatížení recipientů odpadních vod – prezentace výsledků z roku 2023 zaměřená na určení podílu odpadních vod v recipientech v období klimaticky odlišných stavů.
- Životní prostředí – prostředí pro život – 2024 (7. 11. 2024): Identifikace mikrobiálního zatížení povrchových vod odpadními vodami – prezentace zaměřená na seznámení se závažností problematiky mikrobiálního znečištění recipientů v kontextu s požadavky současné legislativy.

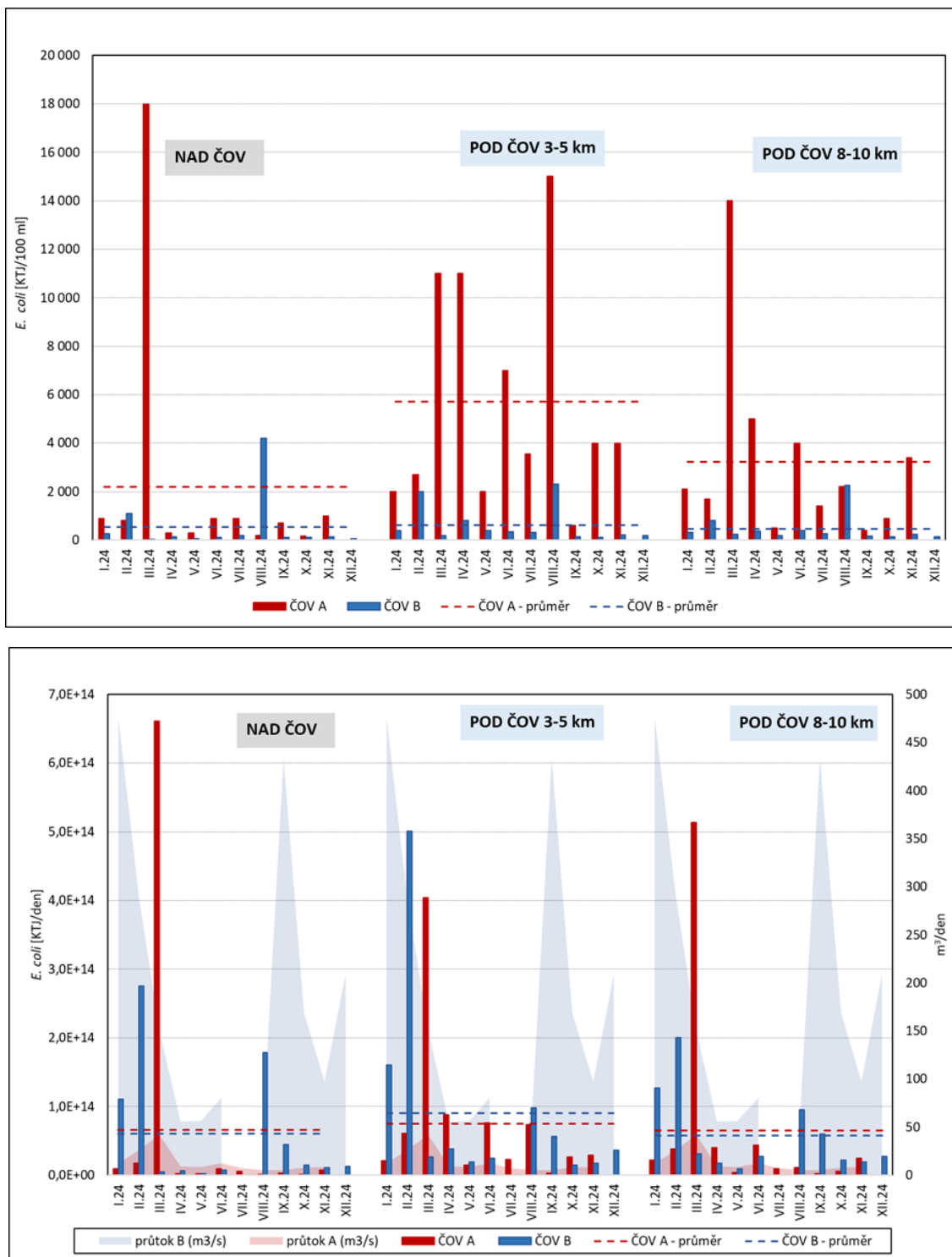


Obr. 1: Výběr profilů mikrobiologického monitoringu v letech 2019-2023 s lokalizací ČOV a vodoměrných stanic.

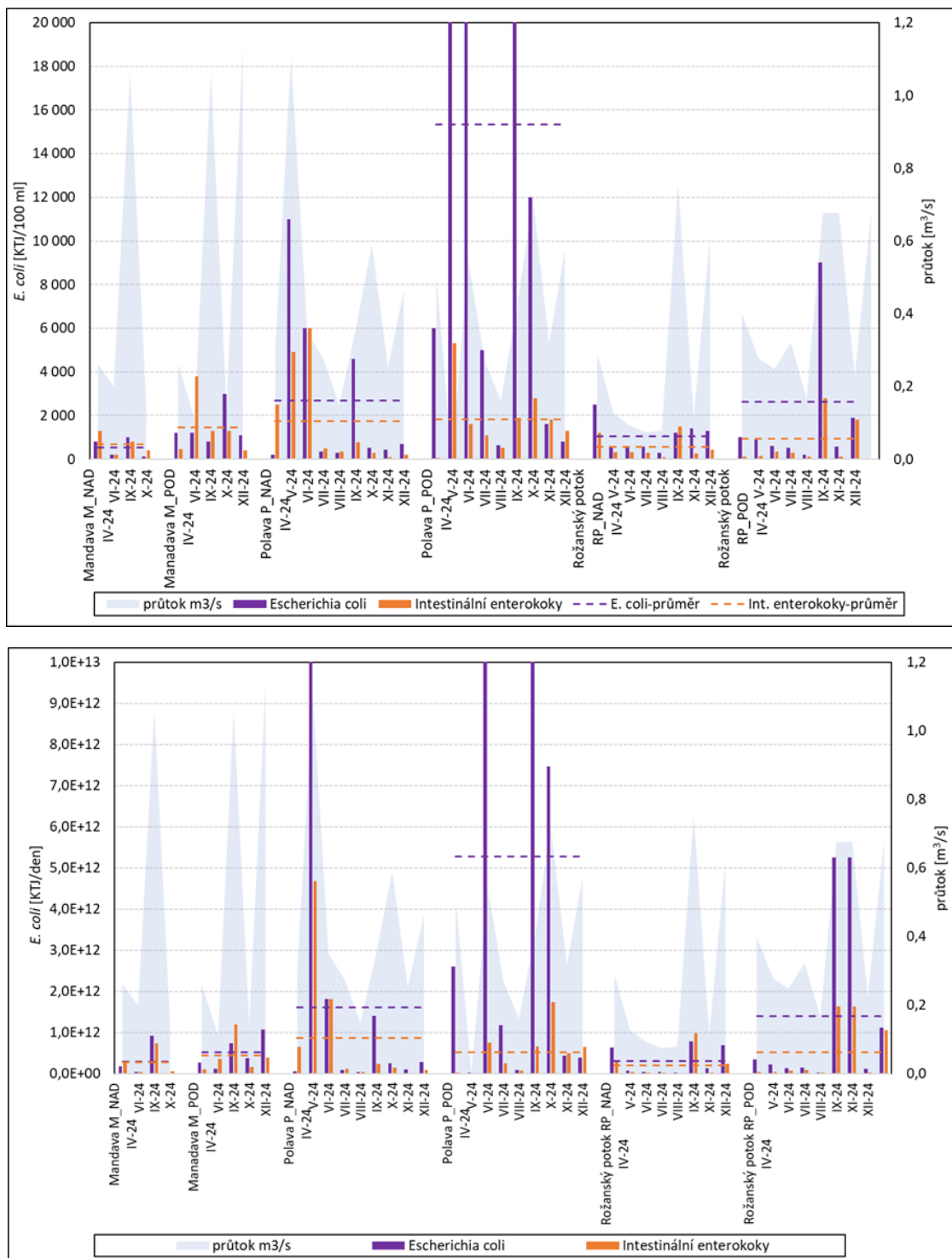
- Výsledky z roku 2024 jsou připravovány na prezentaci na Vodárenské biologii 2025: Ovlivnění recipientů komunálních odpadních vod mikrobiálním znečištěním, kde jsou formou určení koncentrací a zatížení vyhodnocena data získaná s cílem určení ovlivnění mikrobiální jakosti různě vodných recipientů odpadními vodami z ČOV (Obr. 2 -7):



Obr. 2 a 3: Porovnání mikrobiálního znečištění a zatížení přítoků a odtoků velkých ČOV (A=Brno, B=Praha)



Obr. 4 a 5: Porovnání mikrobiálního znečištění a zatížení recipientů velkých ČOV (A=Brno, B=Praha)



Obr. 6 a 7: Porovnání mikrobiálního znečištění a zatížení recipientů menších ČOV

Výsledky v roce 2024 potvrdily, že fekální znečištění toků je významně negativně ovlivňováno vypouštěním odpadních vod, i přes velmi vysokou účinnost čištění. ČOV jsou významnými hot spoty mikrobiálního znečištění, které může představovat potenciální riziko ohrožení zdraví a omezení využitelnosti vod. Naše práce poukázala na fakt, že dynamika mikrobiálního znečištění povrchových vod je velmi komplikovaná problematika, ovlivněná mnoha faktory (klimatické extrémy, rozdílné technologie čištění, aktuální stav toků, apod.), kterou je pro snížení souvisejících rizik (přítomnost patogenů, šíření antibiotické rezistence, kontaminace zdrojů pitných vod, aj.) a zavedení vhodných opatření nutné dlouhodobě a systematicky studovat. Na dosavadní opomíjení problematiky upozorňuje řada revidovaných evropských směrnic, které mikroorganismy nově zařazují mezi kritické ukazatele, nicméně v ČR dlouhodobě chybí podpora financování tohoto závažného tématu.

3.5. Řešení dílčího cíle 2.A.5

Výzkum a identifikace množství a druhů používaných léčivých látek a kvalifikovaný odhad míry negativního ovlivnění vodního prostředí vypouštěním odpadních vod s obsahem těchto látek

Pro analýzu trendů spotřeby léčivých přípravků v České republice využíváme veřejně dostupná data Státního ústavu pro kontrolu léčiv (SÚKL). Jedná se o údaje o dodávkách léčivých přípravků do lékáren a jiných zdravotnických zařízení s rozlišením podle ATC (kódy odpovídají indexu ATC podle WHO) a cesty podání.

V roce 2024 byla doplněna data o spotřebě léčivých přípravků v České republice a byla provedena analýza trendů spotřeby léčivých přípravků v ČR za roky 2018 - 2023. Byl aktualizován seznam nejvýznamnějších léčiv s největšími spotřebami, probíhá hodnocení jejich vlivu na vodní prostředí na základě jejich struktury, chemicko-fyzikálních vlastností a chování ve vodním prostředí.

Ve spotřebě léčiv v jednotlivých letech období 2018 - 2024 pro nejvíce užívané látky nejsou významné rozdíly. Spektrum látek s roční spotřebou více než 5 milionů definovaných denních dávek (DDD) je v jednotlivých letech víceméně stejné - z celkově vykazovaných cca 2 000 léčiv se jedná o přibližně 200 látek.

Dále probíhá analýza spotřeby léčivých přípravků, které jsou podávány jako kombinace více léčivých látek nebo těch, u nichž je definovaná denní dávka vyjádřena v jiných než hmotnostních jednotkách.

Byla provedena analýza nových nebo připravovaných předpisů EU s cílem zjistit nové požadavky na sledování léčiv. Jednalo se o tyto předpisy: Směrnice ustavující rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky (**WFD**; 2000/60/ES), Směrnice o ochraně podzemních vod před znečištěním a zhoršováním stavu (**GWD**; 2006/118/ES), Směrnice o jakosti vody určené k lidské spotřebě (**DWD**; 2020/2184), Směrnice o normách environmentální kvality v oblasti vodní politiky (**EQSD**; 2008/105/ES), Nařízení Evropského parlamentu a Rady o minimálních požadavcích na opětovné využívání vody (**WRR**; 2020/741) a Směrnice o čištění městských odpadních vod (**UWWTD**; 2024/3019). V některých předpisech jsou již pro konkrétní léčiva definovány konkrétní požadavky (např. NEK, minimální

účinnost odstranění). Jedná se mj. o následující látky: 17 alpha-ethinylestradiol (EE), 17 beta-estradiol (E2), Azithromycin, Candesartan, Carbamazepine, Citalopram, Clarithromycin, Diclofenac, Hydrochlorothiazide, Erythromycin, Estrone (E1), Ibuprofen, Metoprolol a Venlafaxin. Všechny uvedené látky jsou spotřebovávány i v ČR, většina z nich ve významných množstvích V tabulce 2 jsou uvedeny nejvýznamnější dodávky léčiv do lékáren a jiných zdravotnických zařízení v ČR v definovaných denních dávkách.

Tabulka 2 Vybraná léčiva 2018-2023 v DDD

Kód ATC7	Název ATC7	Cesta podání	2018 DDD celkem	2019 DDD celkem	2020 DDD celkem	2021 DDD celkem	2022 DDD celkem	2023 DDD celkem
M04AA01	ALOPURINOL	Perorální podání	51514820	56780107,5	56493952,5	58307012,5	61899125	64575115
N05AL05	AMISULPRID	Perorální podání	1 394 040	1 424 070	1 467 086	1 399 384	1 371 413	1 409 149
J01FA10	AZITHROMYCIN	Perorální podání	3 580 424	3 344 354	2 795 512	2 836 938	3 822 877	3 460 502
N06AB04	CITALOPRAM	Perorální podání	34 675 995	34 925 176	32 933 382	32 978 504	32 715 287	33 483 685
G03AA09	DESOGESTREL A ETHINYLESTRADIOL	Perorální podání	11 306 568	9 969 736	8 921 500	8 095 696	7 333 284	6 604 416
G03AB05	DESOGESTREL A ETHINYLESTRADIOL	Perorální podání	393 960	301 392	269 556	244 608	234 948	221 844
G03AB08	DIENOGEST A ESTRADIOL	Perorální podání	1 388 408	1 339 408	1 317 708	1 208 116	1 137 276	1 027 572
G03AA16	DIENOGEST A ETHINYLESTRADIOL	Perorální podání	25 532 360	26 308 128	25 302 200	24 741 500	24 626 616	24 812 312
M01AB05	DIKLOFENAK	Perorální podání	31 026 677	33 013 433	31 449 852	31 754 765	30 579 280	31 652 469
G03AA12	DROSPIRENON A ETHINYLESTRADIOL	Perorální podání	35 643 776	34 805 148	34 507 648	34 000 232	33 793 676	33 797 652
G03CA03	ESTRADIOL	Perorální podání	4 994 402	5 344 402	3 028 760	5 226 340	5 363 120	5 135 144
J02AC01	FLUKONAZOL	Perorální podání	472 356	480 707	467 774	527 499	523 905	532 031
N06AB03	FLUOXETIN	Perorální podání	4 269 360	4 352 480	4 311 670	4 362 470	4 799 080	4 949 490
G03AA10	GESTODEN A ETHINYLESTRADIOL	Perorální podání	53 177 432	49 737 884	46 245 948	42 345 492	40 411 812	37 145 724
C03AA03	HYDROCHLOROTIAZID	Perorální podání	8 348 720	7 428 900	6 862 080	6 562 040	6 983 860	5 785 760
G03AA15	CHLORMADINON A ETHINYLESTRADIOL	Perorální podání	6 320 216	5 830 692	5 471 508	5 344 248	5 222 616	5 200 356
M01AE01	IBUPROFEN	Perorální podání	126 267 522	116 904 256	128 160 535	122 385 147	141 183 687	131 645 691
C09CA04	IRBESARTAN	Perorální podání	10 639 968	9 191 936	4 365 992	4 247 022	4 062 464	3 703 868
C09CA06	KANDESARTAN	Perorální podání	28 744 192	33 843 288	39 642 536	41 538 476	43 836 412	41 572 336
N03AF01	KARBAMAZEPIN	Perorální podání	3 928 826	3 736 363	3 539 633	3 276 926	3 222 479	2 944 598
J01FA09	KLARITHROMYCIN	Perorální podání	9 224 871	8 693 877	6 113 175	6 241 773	9 380 156	9 472 113
J01FF01	KLINDAMYCIN	Perorální podání	1 421 584	1 467 810	1 364 338	1 441 334	1 643 604	1 927 128
B01AC06	KYSELINA	Perorální podání	225 848 428	219 930 674	213 114 642	224 388 914	213 341 022	205 171 624
G03AD01	LEVONORGESTREL	Perorální podání	83 324	85 458	75 342	78 977	93 506	98 559
G03AA07	LEVONORGESTREL A ETHINYLESTRADIOL	Perorální podání	12 725 552	12 256 972	12 047 252	11 377 968	11 075 148	10 969 476
G03AB03	LEVONORGESTREL A ETHINYLESTRADIOL	Perorální podání	5 262 348	4 640 748	4 156 488	3 759 168	3 421 824	3 098 172
G03AA07	LEVONORGESTREL A ETHINYLESTRADIOL	Perorální podání	12 725 552	12 256 972	12 047 252	11 377 968	11 075 148	10 969 476
G03AB03	LEVONORGESTREL A ETHINYLESTRADIOL	Perorální podání	5 262 348	4 640 748	4 156 488	3 759 168	3 421 824	3 098 172
A10BA02	METFORMIN	Perorální podání	108 674 723	113 052 433	110 581 362	118 993 089	118 329 758	118 822 819
C07AB02	METOPROLOL	Perorální podání	79 405 395	76 605 837	73 902 187	70 520 305	68 465 895	66 017 687
M01AE02	NAPROXEN	Perorální podání	8 676 457	8 774 863	8 940 982	8 059 864	8 782 611	8 356 108
M01AX17	NIMESULID	Perorální podání	21 967 736	21 393 218	23 291 730	24 212 835	26 505 808	27 629 638
G03DC02	NORETHISTERON	Perorální podání	6 083 640	5 863 185	3 904 740	4 393 215	5 557 995	5 562 675
G03FA01	NORETHISTERON A ESTROGEN	Perorální podání	3 990 308	4 088 924	3 816 008	3 512 824	3 301 732	3 190 320
G03FB05	NORETHISTERON A ESTROGEN	Perorální podání	659 848	739 508	747 404	768 180	813 456	843 444
G03AA11	NORGESTIMÁT A ETHINYLESTRADIOL	Perorální podání	405 468	454 104	421 932	492 912	207 732	0
J01MA01	OFLOXACIN	Perorální podání	695 825	548 090	406 155	369 145	368 535	307 655
N02BE01	PARACETAMOL	Perorální podání	24 941 306	21 886 554	31 786 340	23 576 318	30 185 754	24 961 426
J01EE01	SULFAMETHOXAZOL A TRIMETHOPRIM	Perorální podání	3 124 917	3 283 597	2 898 938	2 817 888	3 320 636	3 466 896
J01EA01	TRIMETHOPRIM	Perorální podání	439 270	140 433	89 093	20 174	39 333	27 636
N06AX16	VENLAFAXIN	Perorální podání	26 004 812	28 022 387	29 645 088	30 502 290	33 745 892	35 152 304
B01AA03	WARFARIN	Perorální podání	43 928 608	43 358 823	41 565 291	33 498 867	25 344 617	20 089 900

Ve spolupráci s řešením dílčího cíle 2.A.3 byl vytvořen příspěvek na konferenci Životní prostředí – Prostor pro život, který srovnává požadavky výše zmíněných evropských směrnic a nařízení (ať již vydaných, či ve fázi návrhů) s prodeji léčiv v České republice. Směrnice **UWWTD** zavádí požadavek kvartérního čištění v městských ČOV > 150 000 EO (i menší v kategorii 10 000 - 150 000 EO, a to v oblastech, kde mikropolutanty mohou představovat riziko pro lidské zdraví nebo životní prostředí). Požadovaná 80% účinnost odstranění mikropolutantů bude ověřována pomocí výběru z 12 mikropolutantů (z nichž 10 jsou léčiva). Navazující předpisy na WFD, **Watch Listy**, tvoří mechanismus pro sledování a kontrolu vybraných chemických látek, které představují významné riziko pro životní prostředí napříč povodími v EU. Jsou aktualizovány ve 2-letých intervalech a zahrnují většinou léčiva a prostředky osobní péče (PPCP, Pharmaceuticals and Personal Care Products) a pesticidy (PPP, Plant Protection Products). V říjnu 2022 byl zveřejněn návrh revize **EQSD**, kde by mělo být 23 nově zařazených mikropolutantů, z řad léčiv, hormonů a PPP. V prosinci 2020 vyšla nová **DWD**, která obsahuje nová omezení obsahu potenciálně škodlivých látek ve vodě určené k lidské spotřebě, např. polyfluoralkylové látky, PAU, Bisfenol A, avšak žádná léčiva. V květnu 2020 vyšlo také nové nařízení **WRR**, které si klade za cíl zvýšit důvěru spotřebitelů a zemědělců v kruhový přístup k využívání vody. Mikropolutanty zde nejsou jmenovitě, jejich monitoring bude záviset na výsledku posouzení rizik. Výčet léčiv sledovaných dle evropských směrnic a nařízení je uveden v tabulce 3.

Tabulka 3 Výčet léčiv sledovaných dle revidovaných evropských směrnic a návrhů

	CAS	Užití	1 st Watch List 2015	2 nd Watch List 2018	3 rd Watch List 2020	4 th Watch List 2022	UWWTD	EQSD návrh
AMISULPRID	71675-85-9	antipsychotics					*	
AZITHROMYCIN	83905-01-5	antibiotics	*	*				*
CITALOPRAM	59729-33-8	antidepressant					*	
DIKLOFENAK	15307-86-5	NSAID	*	(*)			*	
ERYTHROMYCIN	114-07-8	antibiotics	*	*				*
ESTRADIOL	50-28-2	hormone						*
FLUKONAZOL	86386-73-4	antifungal			*	*		
HYDROCHLOROTHIAZID	58-93-5	diuretics	(*)		(*)		*	
IBUPROFEN	15687-27-1	NSAID						*
IRBESARTAN	138402-11-6	antihypertensive					*	
KANDESARTAN	139481-59-7	antihypertensive					*	
KARBAMAZEPIN	298-46-4	anti-epileptics	(*)		(*)		*	
KLARITHROMYCIN	81103-11-9	antibiotics	*	*			*	
KLINDAMYCIN	18323-44-9	antibiotics			(*)	*		
KLOTIMAZOL	23593-75-1	antifungal			*	*		
METFORMIN	657-24-9	antidiabetic			(*)	*		
METOPROLOL	37350-58-6	beta blockers					*	
MICONAZOLE	22916-47-8	antifungal				*		
OFLOXACIN	82419-36-1	antibiotics				*		
SULFAMETHOXAZOL	723-46-6	antibiotics	(*)		*	*		
TRIMETHOPRIM	738-70-5	antibiotics			*	*		
VENLAFAXIN	93413-69-5	antidepressant		(*)	*	*	*	

Tabulka 4 Nejprodávanejší léčiva v ČR s vyznačením léčiv sledovaných dle evropských směrnic a návrhů

	Název ATC7	DDD* [g]	Distribuce [DDD/rok]	Distribuce [kg/rok]
	KYSELINA ACETYSALICYLOVÁ	1,5	260 359 061	390 539
EQSD	IBUPROFEN	1,2	153 309 368	183 971
WL	METFORMIN	2	137 690 837	275 382
UWWTD	METOPROLOL	0,15	86 983 461	13 048
	ALOPURINOL	0,4	69 914 027	27 966
UWWTD	KANDESARTAN	0,008	45 835 448	367
	WARFARIN	0,0075	41 557 221	312
UWWTD	CITALOPRAM	0,02	40 342 406	807
UWWTD	DIKLOFENAK	0,1	37 895 295	3 790
UWWTD, WL	VENLAFAXIN	0,1	36 614 554	3 661
	PARACETAMOL	3	31 467 539	94 403
	NIMESULID	0,2	29 000 193	5 800
	NAPROXEN	0,5	10 318 177	5 159
UWWTD	KLARITHROMYCIN	0,5	9 825 193	4 913
UWWTD	HYDROCHLOROTHIAZID	0,025	8 394 272	210
UWWTD	IRBESARTAN	0,15	7 242 250	1 086
	NORETHISTERON	0,005	6 273 090	31
EQSD	ESTRADIOL	0,002	5 818 434	12
	FLUOXETIN	0,02	5 408 910	108
UWWTD	KARBAMAZEPIN	1	4 129 765	4 130
EQSD	AZITHROMYCIN	0,3	3 968 121	1 190
WL	SULFAMETHOXAZOL A TRIMETHOPRIM	2	3 782 574	7 565
WL	KLOTRIMAZOL	0,1	3 047 559	305
WL	KLINDAMYCIN	1,2	1 853 160	2 224
UWWTD	AMISULPRID	0,4	1 693 028	677
WL	FLUKONAZOL	0,2	600 854	120
WL	OFLOXACIN	0,4	539 081	216

* DDD - Definovaná denní dávka dle WHO (Defined Daily Dose)

Z provedené analýzy vyplynulo, že léčiva uvedená v evropských předpisech v podstatě korelují s léčivy distribuovanými v ČR (nejvýznamnější z hlediska distribuce jsou Metformin, Ibuprofen, Metoprolol, Suphamethoxazol, Klarithromycin, Karbamazepin a Diklofenak) viz tabulka 4. Nicméně, v ČR se objevují i další látky, které by (ať už z hlediska míry jejich prodeje nebo nálezů v povrchových vodách) bylo vhodné sledovat. Jedná se o Allopurinol (Oxypurinol) pro léčbu dny, antiepileptikum Gabapentin a Tramadol na potlačování akutní i chronické bolesti.

Při srovnání obvykle dosahovaných koncentrací léčiv v profilu Vltava Zelčín v období 2018-2022 (Fuksa et al., 2023), jež by se dala nazvat jako „situace pod Prahou“ s jejich předpokládanou koncentrací bez účinku v ekosystému (PNEC, Predicted No Effect Concentration), docházíme k závěru, že největší zátěž v tocích (při daném stanovení PNEC dle NORMAN Ecotoxicology Database at www.norman-network.com/nds/ecotox) představuje Ibuprofen a Diklofenak. Ibuprofen je nacházený v průměru v 5-násobných koncentracích než je asimilační kapacita toku a koncentrace Diklofenaku obvykle překračuje asimilační kapacitu toku 1,2krát); viz. tabulka 5.

Tabulka 5 Léčiva sledovaná dle revidovaných evropských směrnic; jejich PNEC, obvykle nacházené koncentrace v profilu Vltava Zelčín a úroveň znečištění vody (WPL, Water Pollution Level)

	PNEC dle NORMAN [ng/l]	Vltava Zelčín [ng/l]	WPL
AMISULPRID	140 000		
AZITHROMYCIN	19		
CITALOPRAM	16 000		
DIKLOFENAK	50	62	1,24
ERYTHROMYCIN	300		
ESTRADIOL	0,4		
FLUKONAZOL	1 040		
HYDROCHLOROTHIAZID	100 000	84	0,00
IBUPROFEN	11	57	5,18
IRBESARTAN	700 000	31	0,00
KANDESARTAN	100 000		
KARBAMAZEPIN	2 000	182	0,09
KLARITHROMYCIN	120	35	0,29
KLINDAMYCIN	44		0,00
KLOTRIMAZOL	30		
METFORMIN	160 000	676	0,00
METOPROLOL	8 600	49	0,01
MICONAZOLE	25		
OFLOXACIN	500		
SULFAMETHOXAZOL	600	41	0,07
TRIMETHOPRIM	120 000	18	0,00
VENLAFAXIN	880	23	0,03

WPL > 1,0

environmentální zátěž

WPL = 1

hranice asimilační kapacity toku (pro dané znečištění)

WPL < 1,0

dostatek vody k „naředění znečišťující látky“

S využitím dat prezentovaných na Magdeburském semináři 2023, shrnujících léčiva s nejvýznamnějším transportem ve Vltavě (uzávěrový profil Zelčín) a české části Labe (hraniční profil Hřensko) jsme zjistili, že dvě třetiny těchto látek jsou zároveň léčiva sledovaná dle evropských směrnic a nařízení. Podrobněji v Tabulce 6.

Tabulka 6 Léčiva s nejvýznamnějším transportem ve Vltavě a české části Labe.

Aktivní látka	Povinnost monitorovat dle	DDD [g]	Spotřeba [kg/rok]			Transport [kg/rok]		Transport [% spotřeby]	
			ČR celkem	Zelčín	Hřensko	Zelčín	Hřensko	Zelčín	Hřensko
Metformin	4th Watch List	2,00	221 539	70 892	128 493	2 012	5249	2,84	4,09
Sulfamethoxazol	4th Watch List	2,00	5 597	1 791	3 246	124	278	6,92	8,56
Trimethoprim	4th Watch List	0,40	1 119	358	649	53	74	14,80	11,40
Gabapentin		1,80	14 159	4 531	8 212	958	1939	21,14	23,61
Tramadol		0,30	3 166	1 013	1 836	144	278	14,21	15,14
Metoprolol		0,15	11 496	3 679	6 668	147	266	4,00	3,99
Ibuprofen	EQSD draft	1,20	135 679	43 417	78 694	243	349	0,56	0,44
Paracetamol		3,00	90 835	29 067	52 684	63	285	0,22	0,54
Alopurinol/Oxipurinol		0,40	19 956	6 386	11 574	3 044		47,67	
Carbamazepin	UWWTD, 2024	1,00	3 427	1 097	1 988	123	257	11,22	12,93
Clarithromycin	UWWTD, 2024	0,50	3 572	1 143	2 072		180		8,69
Azithromycin	EQSD draft	0,30	900	288	522		60		11,49
Venlafaxin		0,10	2 570	822	1 491	57		6,93	

ZDROJ: Fuksa J. K., Koželuh M., Ferenčík M., 2023: Pharmaceuticals in the Elbe: Production and Transport in the Czech Part of the Elbe Basin

Na jednání s odborným garantem bylo dohodnuto, že podle schváleného projektu má být v dílčím cíli 2.A.5 výstupem metodika, jejíž zadání je však od počátku neurčitě a nejasné. Pro MŽP je důležité zjištění, jaká je situace znečištění povrchových vod mikropolutanty (farmaky apod.) z hlediska NEK navrhovaných v revizích směrnic a zda odstraňování farmak podle směrnice o čištění městských odpadních vod umožní dosahování NEK. Tato činnost však nemá povahu metodiky, takže bude při dalších jednáních dohodnuta změna typu výsledku, která následně bude projednána jako změna projektu.

3.6. Řešení výskytu látek ze skupiny PFAS - operativní výzkum látek

V rámci balíčku 2.A Kontaminace vodního prostředí byl zadán od MŽP operativní výzkum na sledování výskytu látek PFAS na odtoku z komunálních čistíren odpadních vod. Na základě tohoto zadání bylo v roce 2023 vybráno 30 ČOV s kapacitou větší než 30 000 EO a byl proveden odběr 24hodinových slévaných vzorků odtoku z těchto čistíren. Analyzováno bylo nejen 20 látek uvedených ve směrnici EU 2020/2184 o jakosti vody určené k lidské spotřebě, ale 20 dalších látek ze skupiny PFAS mimo tento seznam (pro případnou úpravu výčtu monitorovaných látek ze skupiny PFAS). Na základě zjištěných koncentrací a znalosti hodnot průtoku byla vyhodnocena bilance vypouštěných látek pro ověření návrhu ohlašovací prahu, který byl stanoven v nařízení vlády č. 137/2023 Sb.

První výsledky operativního výzkumu byly uvedeny ve výzkumné zprávě za rok 2023 (SS02030008-V86). V mezidobí byl zadán v projektu SS02030027 Vodní systémy a vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu výzkum výskytu látek PFAS v odpadních vodách u největších průmyslových zdrojů, a to z relevantních zařízení/provozoven spadajících pod působnost zákona č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci a omezování znečištění (IPPC) a zákona č. 25/2008 Sb., o integrovaném registru znečišťování životního prostředí (IRZ)

převážně s nepřímým vypouštěním odpadních vod do kanalizace. Z důvodu možnosti srovnání zjištěných výsledků bylo předání výstupu z probíhajícího operativního výzkumu v rámci projektu CEVOOH odloženo na začátek roku 2025.

Výsledky výskytu látek PFAS v odtocích z komunálních a průmyslových ČOV byly v roce 2024 prezentovány na 13. bienální konferenci s mezinárodní účastí ODPADOVÉ VODY 2024 ve Vysokých Tatrách.

V průběhu roku 2024 byla zpracována první rešerše odborné literatury výskytu PFAS v:

- povrchových vodách,
- podzemních vodách,
- pitné vodě.

a možnosti jejich odstraňování. Současně se naše pozornost zaměřila na:

- jaké látky z rodiny PFAS jsou převážně sledovány,
- jaké koncentrace byly zjištěny,
- co výzkumníci vyhodnotili jako největší hotspoty (nejobávanější zdroje PFAS).

Rešerše výskytu látek ze skupiny PFAS a možnosti jejich odstraňování je značně rozsáhlá a přesahuje rozsah této výzkumné zprávy. Z tohoto důvodu bude po dohodě s odborným garantem tato rešerše případně doplněna a zpracována jako samostatný výstup pravděpodobně v roce 2025 (v rámci navazujícího operativního výzkumu).

4. Závěr

V roce 2024 pokračovaly práce na všech dílčích cílech pracovního balíčku 2.A. V rámci prací na dílčím cíli 2.A.1 se pokračovalo ověřování experimentální technologie odstraňování farmak na fyzikálním principu, výzkum v oblasti regenerace použitého aktivního uhlí a možnostech odstraňování roztoků se zvýšeným množstvím léčivých látek a analýza technologií kvartérního čištění.

V rámci řešení 2.A.2 byla provedena revize dostupných databází ČOV a doplnění technických parametrů ČOV a především hydrologických parametrů jejich recipientů.

V návaznosti na analýzu hlavních vstupů (zdrojů) léčivých látek a jejich metabolitů do kanalizace byl v roce 2024 v rámci řešení 2.A.3 vyhodnocen dotazník ze zařízení ústavní zdravotní péče a zařízení pro osoby s chronickým duševním onemocněním. Výsledky byly publikovány a byl proveden odběr vzorků vybraných nemocničních ČOV.

V roce 2024 byly v dílčím cíli 2.A.4 shromažďovány výsledky mikrobiologických analýz, prováděných s měsíční četností pro určení mikrobiálního zatížení recipientů odpadních vod z ČOV, byl proveden výběr 48 lokalit, na nichž bylo prováděno stanovení indikátorů fekálního znečištění v rámci státního a provozního monitoringu podniků povodí a lokality leží pod zaústěním ČOV a lze u nich určit průtok v den odběru vzorků. Byly prováděny terénní práce zaměřené na recipienty velkých ČOV (Praha, Brno), ve kterých byly pravidelně odebírány a analyzovány vzorky pro kultivační stanovení počtů fekálních indikátorů.

V roce 2024 byla v dílčím cíli 2.A.5 doplněna data o spotřebě léčivých přípravků v České republice a byla provedena analýza trendů spotřeby léčivých přípravků v ČR za roky 2018 - 2023. Byl aktualizován seznam nejvýznamnějších léčiv s největšími spotřebami, probíhá hodnocení jejich vlivu na vodní prostředí na základě jejich struktury, chemicko-fyzikálních vlastností a chování ve vodním prostředí.

V roce 2022 měla být dle původního plánu zpracována metodika týkající se negativního ovlivnění vodního prostředí vypouštěnými léčivými látkami. Termín byl ale odložen na rok 2024, protože teprve v druhé polovině roku 2022 byly zveřejněny legislativní návrhy EU týkající se regulace konkrétních léčivých přípravků. Na jednání s odborným garantem bylo však dohodnuto, že metodika není výstupem, který by MŽP v tuto chvíli potřebovalo. Z tohoto důvodu ve 2. pololetí roku 2024 byla finalizována žádost o změnu charakteru výstupu, žádost bude podána v roce 2025. Výstup, pravděpodobně typu O, by se měl zabývat problematikou znečištění povrchových vod mikropolutanty (farmaky apod.) z hlediska NEK navrhovaných v revizích směrnic a zda odstraňování farmak podle směrnice o čištění městských odpadních vod umožní dosahování NEK.

Na základě žádosti MŽP byl v roce 2023 rozšířen výzkum v balíčku 2.A o problematiku výskytu látka PFAS v odtocích z komunálních čistíren odpadních vod. Z výsledků je však zřejmé, že většina čistíren odpadních vod větších než 30 000 EO bude překračovat navrženou hodnotu ohlašovacího prahu dle nařízení vlády č. 137/2023 Sb.

Výsledky jsou zpracovávány do podoby výzkumné zprávy a budou odeslány odbornému garantovi k připomínkám v únoru 2025.

SS02030008

CENTRUM ENVIRONMENTÁLNÍHO VÝZKUMU

ODPADOVÉ A OBĚHOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ A ENVIRONMENTÁLNÍ BEZPEČNOST

Termická regenerace GAU

Příloha č. 1 výzkumné zprávy WP2.A Kontaminace vodního prostředí za rok 2024



ÚSTAV CHEMICKÝCH
PROCESŮ AV ČR
INSTITUTE OF CHEMICAL
PROCESS FUNDAMENTALS
OF THE ASCR



Hlavní zpracovatelé:

Ing. Jan Najser, Ph.D. (VŠB-TUO)
Ing. Marcel Mikeska, Ph.D. (VŠB-TUO)

T A
Č R

Projekt SS02030008 Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH) je financován se státní podporou Technologické agentury ČR a Ministerstva životního prostředí ČR v rámci Programu Prostředí pro život.

www.tacr.cz

www.mzp.cz

Obsah

1. Úvod	3
2. Experimentální část	4
3. Výsledky a diskuze	4
4. Závěr	9

1. Úvod

Znečištění vodních zdrojů farmaceutickými látkami představuje rostoucí environmentální problém, který má závažné dopady na vodní ekosystémy i zdraví lidí. Tyto látky se do odpadních vod dostávají zejména prostřednictvím odpadních stok v blízkosti nemocnic, domovů důchodců, léčeben dlouhodobě nemocných a dalších zdravotnických zařízení. V těchto oblastech bývá koncentrace léčiv v odpadních vodách výrazně vyšší než v jiných částech městských kanalizačních systémů. Postupné ředění odpadních vod však nezabrání jejich akumulaci v životním prostředí, což zdůrazňuje nutnost efektivního odstranění těchto kontaminantů přímo v místech jejich vzniku.

Jednou z nejučinnějších metod odstraňování farmaceutických látek z odpadních vod je použití granulovaného aktivního uhlí (GAU). Adsorpční schopnost tohoto materiálu umožňuje zachycení široké škály organických látek, včetně metabolitů léčiv, což činí GAU významným nástrojem pro čištění odpadních vod. Nicméně po nasycení adsorpční kapacity se použité aktivní uhlí stává nebezpečným odpadem, protože obsahuje zadržené léčivé látky a jejich metabolity. Tento odpad představuje další ekologický problém, protože nahrazení použitého uhlí novým vytváří trvalý cyklus produkce odpadu.

Z těchto důvodů je klíčové hledat řešení, která umožní regeneraci použitého aktivního uhlí a jeho opětovné použití. Regenerace prodlužuje životnost GAU, čímž snižuje množství vznikajícího odpadu a zároveň minimalizuje náklady spojené s jeho likvidací. Pro případ, kdy opakované použití již není možné, je rovněž nutné zajistit ekologicky šetrnou likvidaci kontaminovaného aktivního uhlí.

Existuje několik metod regenerace aktivního uhlí, včetně chemických procesů, jako je promývání organickými rozpouštědly, které rozpouštějí adsorbované látky, nebo aplikace mikrovlnného záření, jež může selektivně uvolňovat adsorbáty z povrchu uhlí. Tyto metody však mohou být technologicky náročné, a proto je stále častěji zkoumána možnost regenerace termickými procesy. Při nízkých teplotách v rozmezí 300–500 °C lze odstranit většinu adsorbovaných látek bez významného poškození struktury aktivního uhlí, což umožňuje jeho další použití. Na druhé straně, při vyšších teplotách (700–900 °C) dochází ke kompletnímu rozkladu organických kontaminantů, což představuje vhodnou metodu pro finální ekologickou likvidaci aktivního uhlí.

Cílem této zprávy je prezentovat výsledky testování termické regenerace použitého granulovaného aktivního uhlí, přičemž důraz je kladen na posouzení efektivity odstranění adsorbovaných léčiv a metabolitů. Zároveň jsou hodnoceny podmínky, při nichž lze aktivní uhlí regenerovat, a možnosti jeho opětovného použití. V rámci experimentů byla rovněž ověřována účinnost termické likvidace uhlí při vysokých teplotách jako alternativní metody pro konečné odstranění organických látek. Tento výzkum přispívá k řešení environmentálních problémů spojených s farmaceutickým znečištěním a poskytuje podklad pro implementaci udržitelných technologií v oblasti čištění odpadních vod.

2. Experimentální část

Výzkum regenerace granulovaného aktivního uhlí (GAU) byl zaměřen na ověření možnosti jeho opětovného využití po odstranění léčiv z odpadních vod. Pro tento účel byla provedena analýza fázového uhlíku, která poskytla detailní přehled o množství adsorbovaných látek před a po regeneraci. Analýza fázového uhlíku je metoda používaná k rozlišení různých forem uhlíku. Tato technika využívá teplotně programovanou diferenciální analýzu, při níž dochází k postupnému zahřívání vzorku v inertní nebo oxidační atmosféře. Během tohoto procesu se rozkládají různé uhlíkaté látky při specifických teplotách, což umožňuje identifikaci a kvantifikaci jednotlivých forem uhlíku (organický/anorganický).

Při testech regenerace byly použity vzorky GAU nasycené během předchozích experimentů s reálnými odpadními vodami. Konkrétně se jednalo o dva vzorky označené jako GAU č. 7 a č. 10. Tyto vzorky byly regenerovány při třech různých teplotách (300 °C, 500 °C a 700 °C) v prostředí interní atmosféry tvořené dusíkem (N₂), aby se minimalizovala oxidace aktivního uhlí.

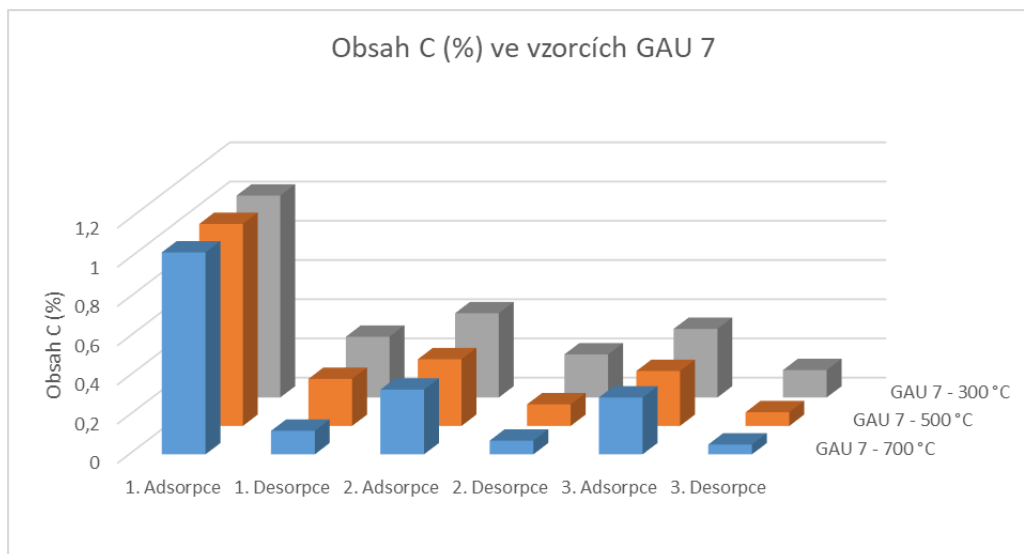
Po regeneraci byly vzorky GAU testovány na opětovnou adsorpci vybraných farmaceutických látek: ibuprofenu, paracetamolu a naproxenu. Tyto látky byly zvoleny kvůli jejich častému výskytu v odpadních vodách a dostupnosti dat o jejich adsorpční kapacitě na aktivním uhlí. Adsorpční proces byl prováděn metodou vsádkové adsorpce, přičemž bylo zajištěno kompletní nasycení sorbentu použitím vysokých koncentrací těchto látek.

Adsorpce probíhala po dobu 48 hodin na laboratorní třepačce, aby se zajistil dostatečný kontakt mezi sorbentem a roztokem. Po adsorpční fázi bylo aktivní uhlí separováno filtrací a důkladně opláchnuto destilovanou vodou, aby se odstranily zbytky roztoku. Následně byly vzorky podrobeny regeneraci při stejných teplotách (300 °C, 500 °C a 700 °C), což umožnilo porovnání účinnosti regenerace při různých podmínkách.

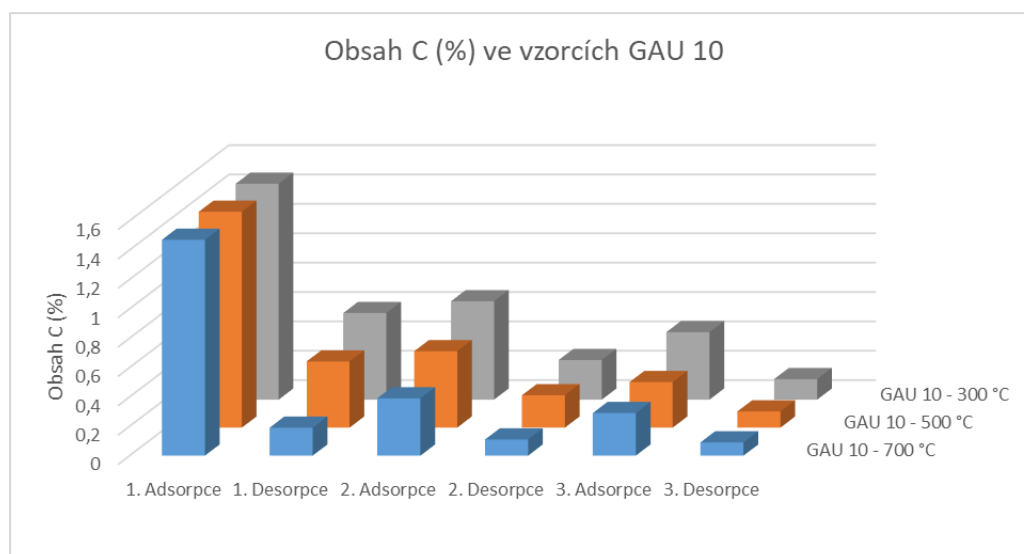
Tento proces regenerace a následné adsorpce byl zopakován ve třech cyklech, aby bylo možné sledovat postupné snižování sorpční kapacity GAU. Cílem bylo vyhodnotit, jak se s každým dalším cyklem mění schopnost uhlí zachycovat farmaceutické látky a jaké teplotní podmínky jsou nejvhodnější pro regeneraci. Získaná data poskytují důležité informace pro návrh optimálních procesů regenerace a využití GAU při odstraňování léčiv z odpadních vod.

3. Výsledky a diskuze

Analýza fázového uhlíku odhalila rozdíly v množství adsorbovaných a desorbovaných organických látek při různých teplotách desorpce (300 °C, 500 °C a 700 °C) a mezi dvěma typy sorbentů (GAU 7 a GAU 10). Z výsledků vyplývá, že teplota regenerace má zásadní vliv na schopnost opětovné adsorpce léčiv a na strukturální stabilitu aktivního uhlí viz grafy č. 1 – č. 8.



Graf č. 1: Obsah organického uhlíku ve vzorcích GAU 7



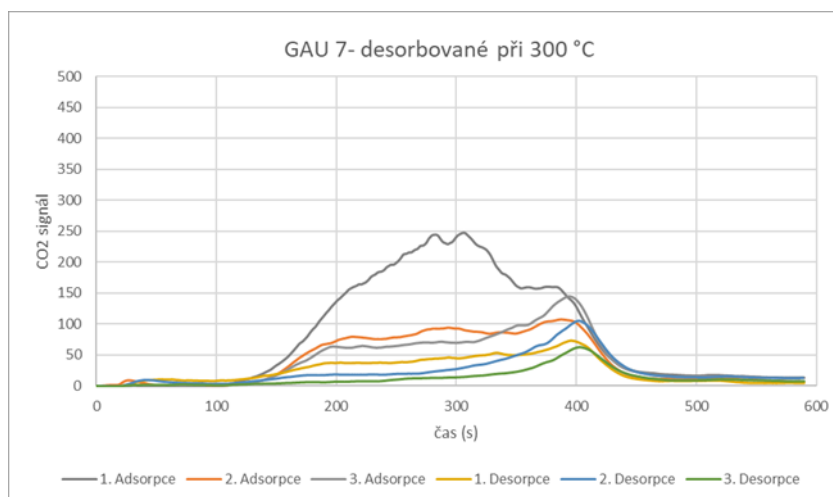
Graf č. 2: Obsah organického uhlíku ve vzorcích GAU 10

Výsledky regenerace GAU 7:

- Desorpce při 300 °C

První desorpce při 300 °C odstranila 0,72 % uhlíku z původně adsorbovaných 1,03 %, což znamená, že většina organických látek byla účinně desorbována. Po druhé adsorpci vzrostl obsah uhlíku na 0,43 %, což představuje 41,7 % původní sorpční kapacity GAU. Po druhé desorpci klesl obsah na 0,22 % (pokles o 0,21 %). Ve třetí adsorpci bylo uhlí adsorbováno do

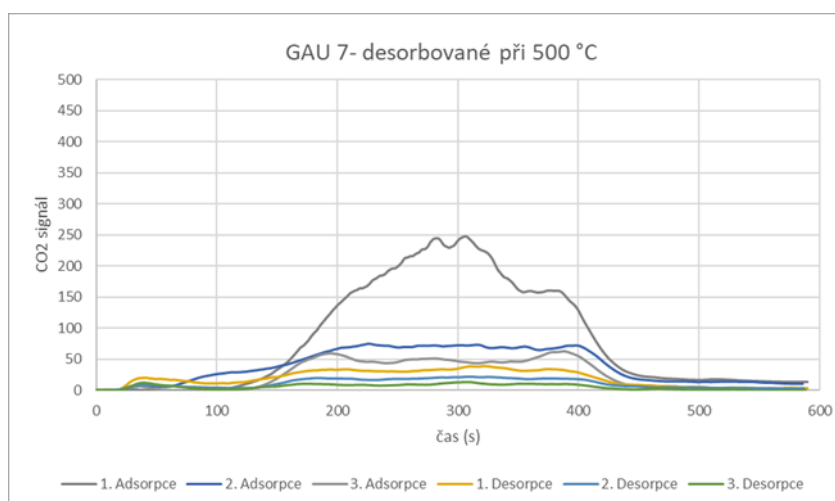
0,35 %, což odpovídá 33,9 % původní sorpční kapacity. Po třetí desorpci poklesl obsah uhlíku na 0,14 %, což naznačuje výrazný úbytek adsorpčních schopností během opakovaných cyklů. Tato metoda regenerace při 300 °C je pro GAU 7 vhodná pro všechny tři cykly, neboť sorbent si zachovává přijatelnou sorpční kapacitu.



Graf č 3: Průběh analýzy fázového uhlíku u vzorku GAU 7 desorbovaného při 300 °C

- Desorpce při 500 °C

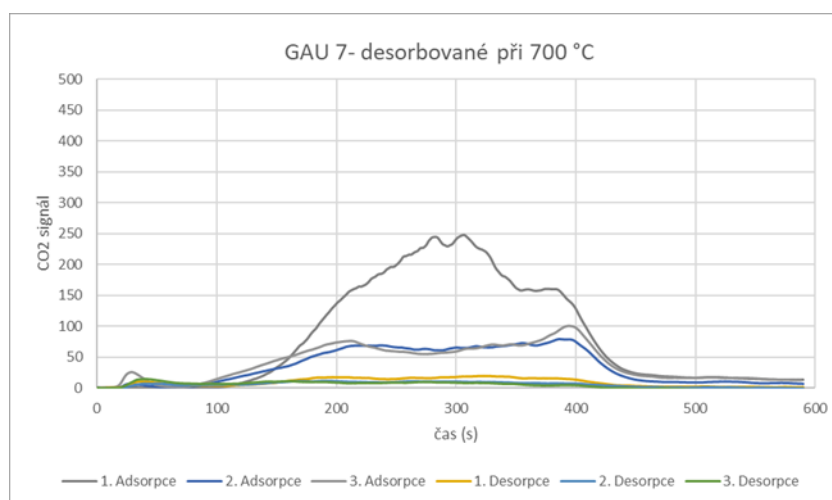
První desorpce při 500 °C odstranila 0,79 % uhlíku z původních 1,03 %. Po druhé adsorpci se obsah uhlíku zvýšil na 0,34 %, což odpovídá 33,0 % původní sorpční kapacity. Druhá desorpce snížila obsah uhlíku na 0,11 % (pokles o 0,23 %). Po třetí adsorpci bylo uhlí adsorbováno na 0,28 %, což odpovídá 27,2 % původní kapacity. Po třetí desorpci klesl obsah uhlíku na 0,07 %, což potvrzuje výraznou degradaci sorpční kapacity. Pro GAU 7 je regenerace při 500 °C vhodná pouze pro první cyklus, protože sorbent poté výrazně ztrácí svou adsorpční schopnost.



Graf č 4: Průběh analýzy fázového uhlíku u vzorku GAU 7 desorbovaného při 500 °C

- Desorpce při 700 °C

První desorpce při 700 °C odstranila 0,91 % uhlíku z původních 1,03 %, což ukazuje na vysokou účinnost regenerace. Po druhé adsorpci dosáhl obsah uhlíku 0,33 %, což odpovídá 32,0 % původní sorpční kapacity. Druhá desorpce snížila obsah uhlíku na 0,07 % (pokles o 0,26 %). Po třetí adsorpci bylo uhlí adsorbováno na 0,29 %, což odpovídá 28,2 % původní kapacity. Po třetí desorpci byl obsah uhlíku 0,05 %, což potvrzuje výraznou degradaci sorbentu. Pro GAU 7 není regenerace při 700 °C prakticky vhodná, protože opakované použití sorbentu je neefektivní avšak sorbent ošetřený v 700 °C je ekologicky nezávadný a vhodný pro likvidaci.

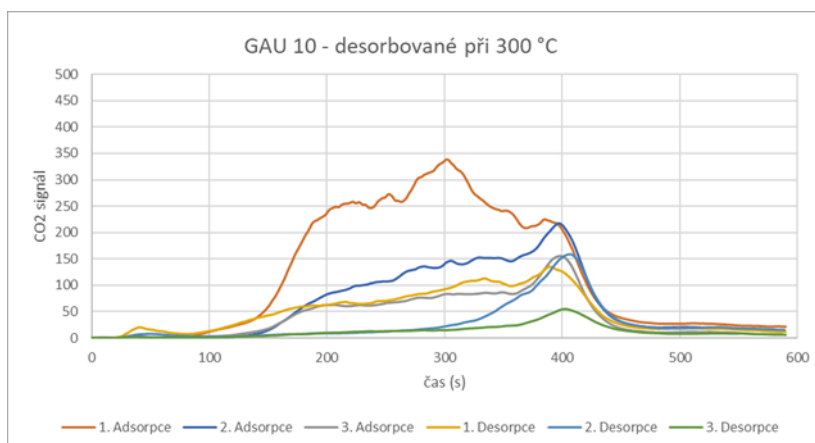


Graf č 5: Průběh analýzy fázového uhlíku u vzorku GAU 7 desorbovaného při 700 °C

Výsledky regenerace GAU 10:

- Desorpce při 300 °C

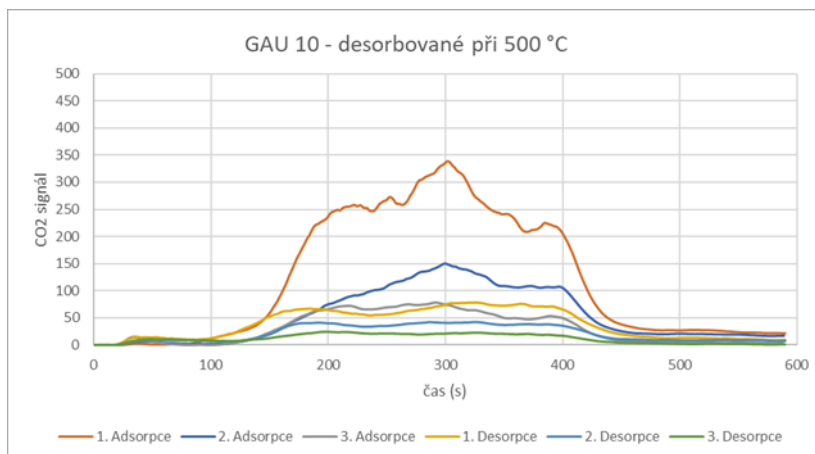
První desorpce při 300 °C odstranila 0,88 % uhlíku z původních 1,47 %, což naznačuje vyšší účinnost regenerace oproti GAU 7. Po druhé adsorpci dosáhl obsah uhlíku 0,67 %, což odpovídá 45,6 % původní sorpční kapacity. Druhá desorpce snížila obsah uhlíku na 0,27 % (pokles o 0,40 %). Ve třetí adsorpci dosáhl obsah uhlíku 0,46 %, což odpovídá 31,3 % původní kapacity. Po třetí desorpci klesl obsah uhlíku na 0,14 %, což potvrzuje postupný pokles sorpční účinnosti. U GAU 10 je regenerace při 300 °C rovněž vhodná pro všechny tři cykly, přičemž sorbent si zachovává lepší výkon než GAU 7.



Graf č 6: Průběh analýzy fázového uhlíku u vzorku GAU 10 desorbovaného při 300 °C

- Desorpce při 500 °C

První desorpce odstranila 1,02 % uhlíku z původních 1,47 %. Po druhé adsorpci byl obsah uhlíku 0,52 %, což představuje 35,4 % původní kapacity. Druhá desorpce snížila obsah uhlíku na 0,22 % (pokles o 0,30 %). Po třetí adsorpci bylo uhlí adsorbováno na 0,31 %, což odpovídá 21,1 % původní kapacity. Po třetí desorpci byl obsah uhlíku snížen na 0,11 %, což značí výrazné opotřebení aktivního uhlí. U GAU 10 je regenerace při 500 °C ekonomická rovněž pouze pro první cyklus, po kterém sorbent ztrácí významnou část své funkčnosti.

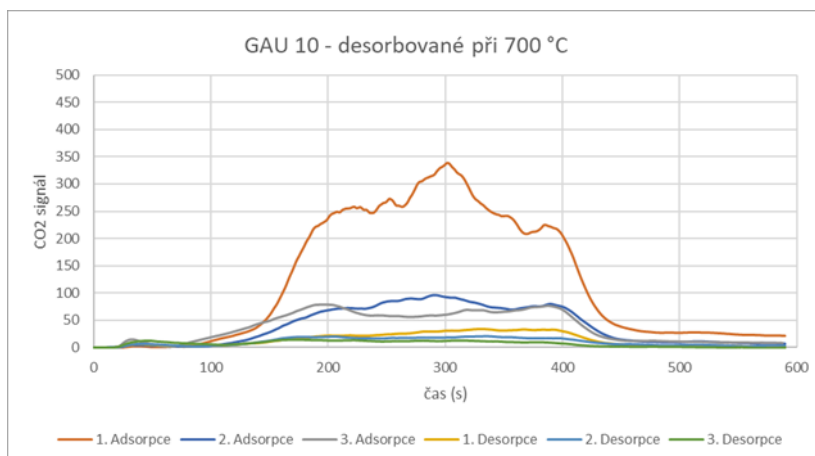


Graf č 7: Průběh analýzy fázového uhlíku u vzorku GAU 10 desorbovaného při 500 °C

- Desorpce při 700 °C

První desorpce odstranila 1,28 % uhlíku z původních 1,47 %. Po druhé adsorpci byl obsah uhlíku 0,39 %, což představuje 26,5 % původní kapacity. Druhá desorpce snížila obsah uhlíku na 0,11 % (pokles o 0,28 %). Po třetí adsorpci byl obsah uhlíku 0,29 %, což odpovídá 19,7 % původní kapacity. Po třetí desorpci klesl obsah uhlíku na 0,09 %, což ukazuje na výrazné opotřebení sorbentu. U GAU 10 je regenerace při 700 °C rovněž neekonomická, protože

sorbent ztrácí svou účinnost již po prvním cyklu a proces je vhodnější spíše pro ekologickou likvidaci aktivního uhlí.



Graf č 8: Průběh analýzy fázového uhlíku u vzorku GAU 10 desorbovaného při 700 °C

4. Závěr

Na základě provedené analýzy regenerace granulovaného aktivního uhlí (GAU) při teplotách 300, 500 a 700 °C lze stanovit doporučení pro efektivní využití tohoto postupu v praxi:

Regenerace při 300 °C je nejvhodnější a umožňuje účinné obnovení adsorpční kapacity obou typů GAU (7 a 10) až do třetího cyklu. I když s každým cyklem dochází k poklesu sorpční kapacity, tento proces je stále ekonomicky a environmentálně výhodný. GAU 10 si přitom zachovává o něco vyšší účinnost než GAU 7, což jej činí vhodnějším pro delší opakované použití.

Při regeneraci při 500 °C dochází ke ztrátám sorpční kapacity již po prvním cyklu, což činí tuto teplotu vhodnou pouze pro jediný regenerační proces. GAU 10 vykazuje mírně lepší výsledky než GAU 7, ale i tak je ekonomická výhodnost procesu při této teplotě omezená.

Teplota 700 °C je pro regeneraci nevhodná. I když během prvního cyklu dojde k vysoké účinnosti desorpce, následné použití sorbentu je výrazně limitováno rychlým poklesem sorpční kapacity. Pro oba typy GAU (7 a 10) je regenerace při této teplotě neefektivní a proces je vhodnější spíše pro ekologickou likvidaci kontaminovaného aktivního uhlí, při níž dochází k úplnému rozkladu adsorbovaných látek.

Závěrem lze doporučit použití teploty 300 °C pro procesy vyžadující opakované použití aktivního uhlí, zatímco teplota 500 °C je použitelná pouze při jednorázové regeneraci. Regenerace při 700 °C by měla být vyhrazena pro případy, kdy je nutné ekologicky zlikvidovat již vyřazené aktivní uhlí. Tato doporučení poskytují cenný podklad pro optimalizaci nakládání s aktivním uhlím v reálných aplikacích.

SS02030008

CENTRUM ENVIRONMENTÁLNÍHO VÝZKUMU

ODPADOVÉ A OBĚHOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ A ENVIRONMENTÁLNÍ BEZPEČNOST

Experimentální technologie pro úpravu odpadní vody působením elektrostatického pole

Příloha č. 2 výzkumné zprávy WP2.A Kontaminace vodního prostředí za rok 2024



ÚSTAV CHEMICKÝCH
PROCESŮ AV ČR
INSTITUTE OF CHEMICAL
PROCESS FUNDAMENTALS
OF THE ASCR



Hlavní zpracovatelé:

Ing. Tomáš Sezima, Ph.D. (VÚV TGM)

T A
Č R

Projekt SS02030008 Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH) je financován se státní podporou Technologické agentury ČR a Ministerstva životního prostředí ČR v rámci Programu Prostředí pro život.

www.tacr.cz

www.mzp.cz

Obsah

1. Úvod	3
2. Experimentální část	4
3. Závěry a doporučení	8
4. Literatura	8

1. Úvod

V důsledku klimatických změn a růstu celkového počtu obyvatel na Zemi se očekávají stále větší problémy spojené se zajišťováním dostatku vody. Narůstá potřeba sofistikovaných ekotechnologií s nízkými spotřebami vody, s využitím zachycovaných dešťových vod a se znovuvyužitím vod.

V současnosti jsou známy miliony různých chemických látek a každý den jsou syntetizovány další a další. Chemizace nejrůznějších odvětví průmyslu je příčinou nárůstu masové kontaminace prostředí cizorodými látkami.

Je zřejmé, že klasické, mechanicko-biologické, čistírny odpadních vod (ČOV) fungují ve většině případů velmi dobře u základních ukazatelů znečištění (BSK_5 , $CHSK_{Cr}$, $N-NH_4^+$, $N_{celk.}$, $P_{celk.}$, NL), nicméně nejsou dostatečně účinné pro odstranění specifických organických kontaminantů, tzv. emerging contaminants (EC). Tímto pojmem se v literatuře označují látky, které nebyly/nejsou dostatečně regulovány stávajícími nařízeními. Tyto látky představují značné riziko pro životní prostředí i lidské zdraví a jsou také jedním z důvodů omezení znovu využitelnosti vyčištěné odpadní vody. Mezi EC patří také farmaka a další produkty osobní hygieny (PPCP). Odstranění nebo výrazné snížení těchto látek na odtoku z ČOV by mohlo být vyřešeno zařazením dalšího vhodného typu dočištění – většinou označováno v literatuře jako terciární nebo kvarterní úpravy [1]. Jako vhodné a perspektivní se jeví zejména využití pokročilých oxidačních procesů (AOP), ozonizace, adsorpce nebo jejich kombinace. Proces technologické úpravy musí být dobře zvládnutý, neboť při neúplném, nedostatečném rozkladu organických mikropolutantů mohou vznikat nové produkty, které mohou mnohdy vykazovat i výrazněji toxické vlastnosti než výchozí látky [2, 3]. Kromě účinnosti procesu v dnešní době významnou roli hraje ekonomika, tedy cena samotné technologie, její provoz, energetická náročnost a doba použitelnosti.

Další možný způsob terciární úpravy je námi zkoušené působení elektrostatickým polem, prováděné buď samostatně anebo v kombinaci s jinými technologiemi, např. biotechnologiemi.

Působení vybranými fyzikálními jevy

Už kolem roku 1960 byly publikovány první informace ohledně působení různých silových polí, zejména elektromagnetických, na člověka a životní prostředí. V současné době se této problematice věnuje samostatně anebo v kombinaci s jinými technologiemi řada pracovišť, významnější publikace jsou uvedeny v přehledu literatury [4–9]. Velmi perspektivní se jeví nové, původní zařízení s názvem CaviPlasma. Toto zařízení kombinuje hydrodynamickou kavitaci a plazmový výboj. Je výsledkem spolupráce pracovníků z Vysokého učení technického v Brně, Masarykovy univerzity a Botanického ústavu AV ČR, v. v. i.

V letech 2007–2011 bylo pracovníky Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka, v. v. i., Praha v rámci projektu MŽP VaV SP/2f2/98/07 „Výzkum v oblasti odpadů jako náhrady primárních surovinových zdrojů“ započato s vývojem zařízení na zpracování odpadů fyzikálními postupy. Koncept zařízení byl zapsán jako užitný vzor – číslo zápisu: Int.

21084, Úřad průmyslového vlastnictví dne 2. 7. 2010 [10]. Zařízení a způsobu fyzikálního zpracování odpadu byl udělen dne 22. 8. 2014 evropský patent EP 2388068 [11]. Zařízení pro fyzikální úpravu materiálů (zejména pevných matric odpadů) koncepčně spočívá v jednotlivém nebo ve vybraném kombinovaném působení vybraných silových polí (mikrovlnné pole, ultrazvuk, UV záření, jiskrový výboj, elektrostatické pole a popř. i dalších).

Pro experimentální činnosti úpravy odpadních vod se využívá optimalizované zařízení pro fyzikální zpracování odpadů s přepracovaným pracovním prostorem pro působení elektrostatickým polem. V tomto roce byl reakční prostor doladěn. Aktuální stav experimentálního zařízení pro čištění vod za pomoci elektrostatického pole je zobrazen na obr. 1.



Obr. 1. Optimalizované zkušební – experimentální zařízení

2. Experimentální část

V roce 2024 byly reálné vzorky městských odpadních vod (odběr – odtok z ČOV) podrobeny experimentální činností, a to jak působením elektrostatického pole, tak i dále reálné vzorky městských odpadních vod bez fyzikální předúpravy a s fyzikální předúpravou elektrostatickým polem byly podrobeny laboratorním biodegradačním experimentům v prostorách Katedry environmentálního inženýrství VŠB – Technické univerzity Ostrava. Pro biodegradaci byla použita směs bakterií *Rhodococcus degradans*, *Rhodococcus rhodochrous* a *Rhodococcus erythropolis*, které byly získány z České sbírky mikroorganismů působící při Přírodovědecké fakultě Masarykovy univerzity v Brně. Česká sbírka mikroorganismů disponuje

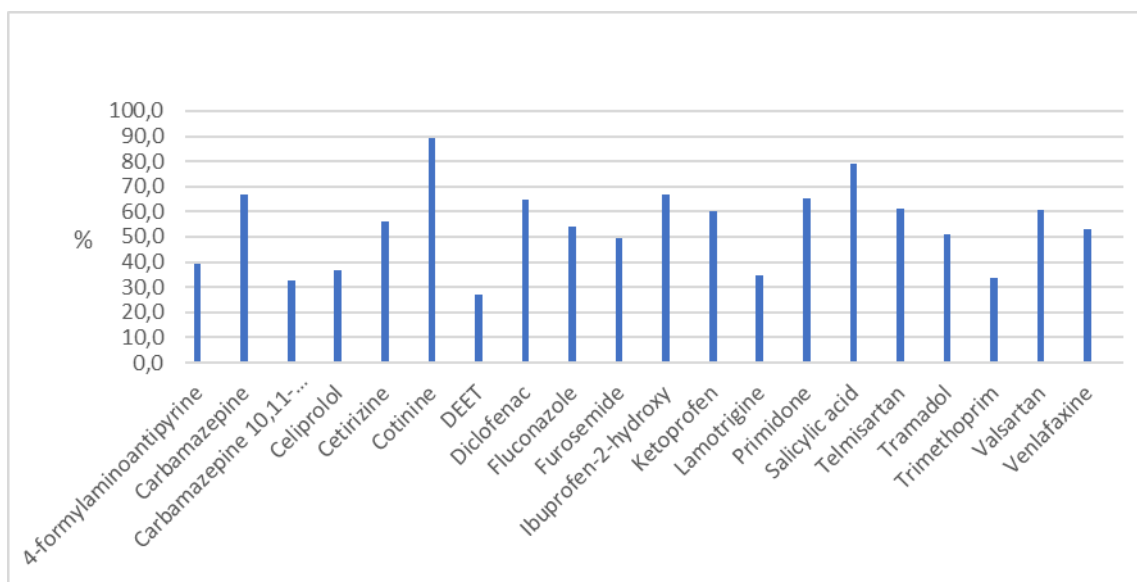
značným spektrem mikroorganismů, k nimž je vytvořena podpůrná databáze s jejich degradačními schopnostmi a specifickými vlastnostmi a podmínkami kultivace. Významnější podpůrné publikace této oblasti jsou uvedeny v přehledu literatury [12–17].

Tedy část vzorků byla biodegradována bez předúpravy a část byla před vlastní biodegradací podrobena fyzikální předúpravě na zařízení pro fyzikální předúpravu v laboratořích VÚV TGM, v.v.i. Pro předúpravu bylo odzkoušeno působení elektrostatickým polem s různou dobou expozice, napětí 18,5 kV, el. proud 0,1 mA.

Vlastní biodegradace probíhala po dobu tří týdnů. Poté byly vzorky zfiltrány a provedeny speciální chemické analýzy. Vzhledem k charakteristice daného vzorku odpadních vod bylo pro chemická stanovení vybráno cca 70 látek ze skupiny PPCP, převážně farmak.

Vyhodnocení první série výsledků experimentální činnosti

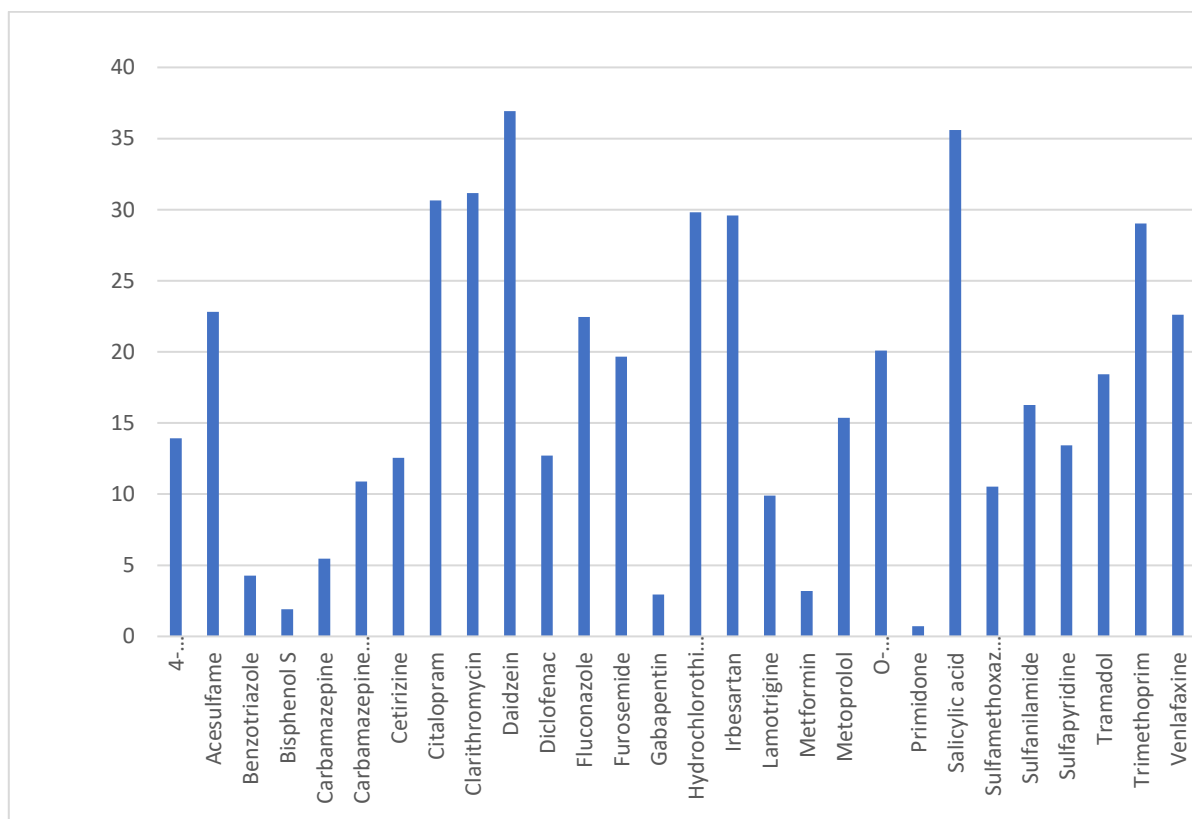
Vyhodnocení první série experimentů v roce 2022 naznačilo, že jen za pomoci elektrostatického pole u mnohých farmak, obsažených v odpadních vodách, lze snižovat obsah účinných složek léčiv (např. carbamazepin, celiprolol, claritromycin, diclofenac, hydrochlorothiazide, iohexol, iomeprol, irbesartan). Kombinovaný technologický postup – fyzikální úprava elektrostatickým polem a biotechnologie za pomoci vybraných kmenů bakterií se jeví jako velmi nadějný, kdy dochází ke snížení významné části celého spektra sledovaných látek. Fyzikální předúprava výrazně zvyšuje účinnost následně zařazených biotechnologií řádově o desítky procent. Změna (zvýšení) účinnosti biodegradace vybraných farmak použitím elektrostatického pole oproti biodegradaci bez použití elektrostatického pole (vyjádřeno v %) je zobrazena na grafu na obr. 2.



Obr. 2. Změna/zvýšení účinnosti biodegradace vybraných farmak použitím elektrostatického pole oproti biodegradaci bez použití elektrostatického pole [%] – první série

Výsledky chemických analýz druhé série experimentů nebylo možno vyhodnotit. Byla přijata opatření – zejména kontrola experimentálního zařízení a postupů analytického chemického stanovení. Příčina nebyla zjištěna. Proto následně, po provedení opatření, byla provedena třetí série experimentů. Vyhodnocení třetí série experimentů potvrdilo procesy zjištěné u první série experimentů. Lze konstatovat, že za pomoci samostatně působícího elektrostatického pole u mnohých farmak, obsažených v odpadních vodách, lze snižovat obsah účinných složek farmak (např. 4-formylaminoantipyrine, Acesulfame, Benzotriazole, Bisphenol S, Carbamazepine, Carbamazepine 10,11-epoxide, Cetirizine, Citalopram, Clarithromycin, Daidzein, Diclofenac, Fluconazole, Furosemide, Gabapentin, Hydrochlorothiazide, Irbesartan, Lamotrigine, Metformin, Metoprolol, O-desmethyltramadol, Primidone, Salicylic acid, Sulfamethoxazole, Sulfanilamide, Sulfapyridine, Tramadol, Trimethoprim, Venlafaxine).

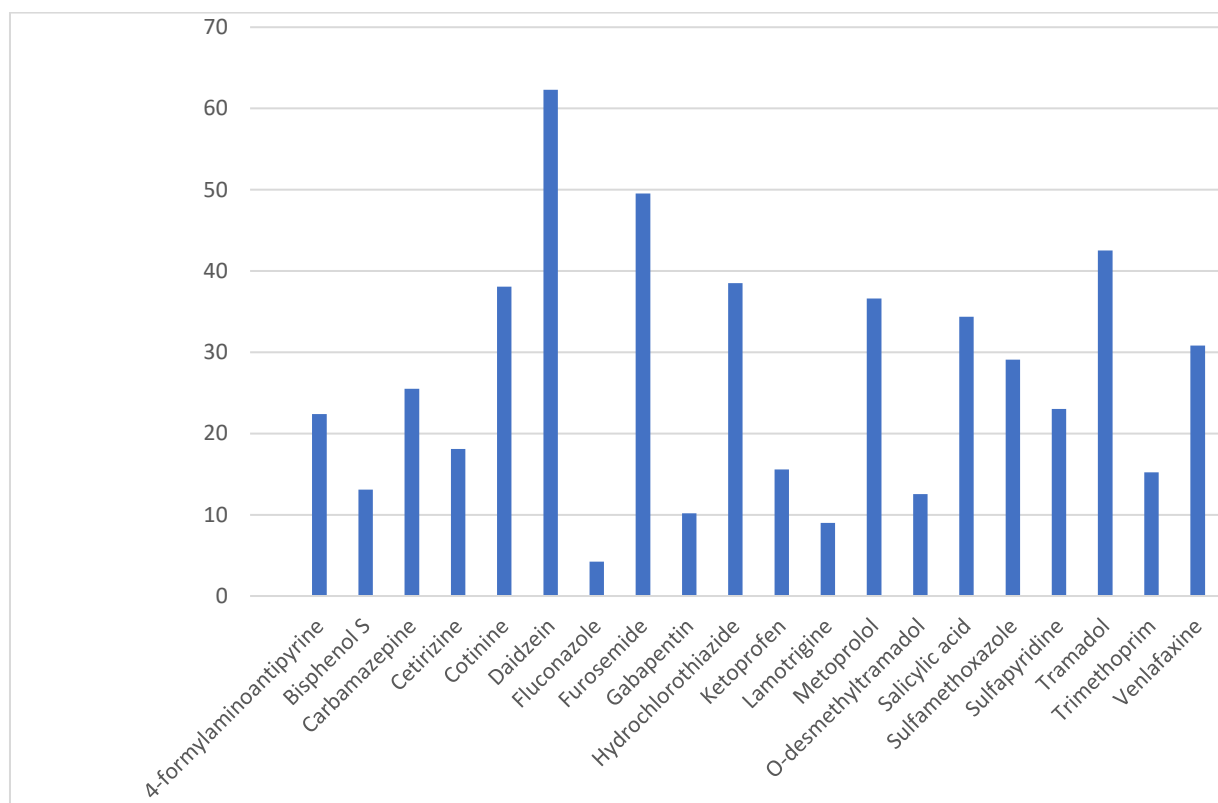
Účinnost samostatného působení elektrostatického pole u vybraných farmak (vyjádřeno v %) je zobrazena na grafu na obr. 3.



Obr. 3. Účinnosti samostatného působení elektrostatického pole u vybraných farmak – třetí série [%]

Pro zvýšení účinnosti samostatného působení elektrostatickým polem se domníváme, že by bylo vhodné navýšit u zařízení napětí na úroveň 30–40kV.

Změna (zvýšení) účinnosti biodegradace vybraných farmak použitím elektrostatického pole oproti biodegradaci bez použití elektrostatického pole (vyjádřeno v %) je zobrazena na grafu na obr. 4



Obr. 4. Změna/zvýšení účinnosti biodegradace vybraných farmak použitím elektrostatického pole oproti biodegradaci bez použití elektrostatického pole [%]

Podání přihlášky a zápis užitného vzoru na Úřad průmyslového vlastnictví

Koncem roku 2023 byla zpracována a podána ve spolupráci s patentovým zástupcem Liborem Markesem, Brno přihláška užitného vzoru s názvem "Zařízení pro úpravu odpadní vody působením elektrostatického pole", podání ze dne 29. 11. 2023., spisová zn. PUV 2023-41504. Zápis užitného vzoru „Zařízení pro úpravu odpadní vody působením elektrostatického pole“ byl proveden dne 12. 01. 2024 pod číslem zápisu 37615. Zápis užitného vzoru je přiložen na konci zprávy.

3. Závěry a doporučení

Lze konstatovat, že velmi aktuálním vodohospodářským tématem dneška je dočišťování odpadních vod od mikropolutantů, které povede jednak ke snížení zatížení životního prostředí z antropogenních aktivit, a také k opětovnému využití vody. Proto jsou v dnešní době nové techniky a technologie vítány a ve správném čase i společností podporovány, a to v rámci naplňování trvale udržitelného rozvoje.

Upravené experimentální zařízení fyzikálního zpracování odpadu je modifikováno na použití elektrostatického pole za účelem snižování obsahu vybraných persistentních polutantů v odpadních vodách. Aktuálně je zařízení vystavěno jako zkušební laboratorní zařízení, výhledově i jako zařízení průmyslové.

V současné době probíhá spolupráce s dalšími výzkumnými pracovišti, zejména dislokanými na vysokých školách, a zkušební testování odpadních vod v rámci uživatelské optimalizace zařízení. Dále jsou vedena jednání s výrobcí zkušebních laboratorních a průmyslových technických zařízení (zejména ČOV). Jedná se o firmy ASIO, spol. s r.o., Brno a ENVI-PUR, s.r.o., Soběslav.

4. Literatura

- [1] COIMBRA, R. N., ESCAPA, C., OTERO, M. (2018). Adsorption separation of analgesic pharmaceuticals from ultrapure and waste water: Batch studies using a polymeric resin and an activated carbon. *Polymers*. 10(9), 958. <https://doi.org/10.3390/polym10090958>
- [2] GOMES, J. F., FRASSON, D., PEREIRA, J. L., GONÇALVES, F. J. M., CASTRO, L. M., QUINTA-FERREIRA, R. M., MARTINS, R. C. (2019). Ecotoxicity variation through parabens degradation by single and catalytic ozonation using volcanic rock. *Chemical Engineering Journal*. 360(September 2018), 30–37. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.11.194>
- [3] REKHATE, C. V., SRIVASTAVA, J. K. (2020). Recent advances in ozone-based advanced oxidation processes for treatment of wastewater – A review. *Chemical Engineering Journal Advances*. 3(September), 100031. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.100031>
- [4] BALAKRISHNAN, S. K. *Degradation of organic pollutants in water by non-thermal plasma based advanced oxidation processes = Degradace organických znečišťujících látek ve vodě nízkoteplotním plazmatem na bázi pokročilých oxidačních procesů*. Vodňany: Faculty of Fisheries and Protection of Waters, University of South Bohemia in České Budějovice, 2017. 87 s. ISBN 978-80-7514-058-6.
- [5] BARTUSEK, S., PRYSZCZ, A., OBROUČKA, K. *Energy and material recovery process combined reduction and plasma at the new facility of The Institute of Environmental Technology. Conference on Environment and Mineral Processing*, 2013, 17, s. 325–329. ISBN 978-80-248-3000-1.

- [6] FERIANCOVÁ, A. et al. Spracovanie PVC odpadov z káblov pomocou mikrovlnného žiarenia. *Hutnické listy*. 2015, 68(5), s. 68–71. ISSN 0018-8069. Dostupné také z: <https://www.hutnickelisty.cz/download/674>
- [7] HÁJEK, M. Mikrovlnná recyklace odpadních PET lahví. *Odpady*, 2014, 24(6), s. 25–26. ISSN 1210-4922. Dostupné také z: <https://odpady-online.cz/mikrovlnna-recyklace-odpadnich-pet-lahvi>
- [8] LÁZÁR, M. et al. Refuse-derived fuel energy recovery by plasma technology. *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava. Řada strojní*, 2014, 60(1), s. 69–76. ISSN 1210-0471. Dostupné také z: <http://transactions.fs.vsb.cz/2014-1/1980.pdf>
- [9] BANU, RAJESH, J. et al. Energetically efficient microwave disintegration of waste activated sludge for biofuel production by zeolite: Quantification of energy and biodegradability modelling. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2018, ISSN: 0360-3199.
- [10] SEZIMA T., SIKORA, E. Užitný vzor – Zařízení pro fyzikální úpravu odpadů – Osvědčení o zápisu užitného vzoru, číslo zápisu: Int. 21084, Úřad průmyslového vlastnictví ze dne 2. 7. 2010, v rámci projektu VaV SP/2f2/98/07 Výzkum v oblasti odpadů jako náhrady primárních surovinových zdrojů (2007–2011, MŽP/SP), dostupné z: <https://isdv.upv.cz/webapp/webapp.vestnik.seznam?lan=cs & pdpr=2010> nebo https://isdv.upv.cz/doc/vestnik/2010/vestnik_UPV_201028.pdf
- [11] SEZIMA, T., SIKORA, E. *Evropský patent EP 2388068 „Device for physical waste treatment“*, datum zápisu 22. srpna 2014, dostupné z <https://patentimages.storage.googleapis.com/01/b0/66/2f4267549e5b1f/EP2388068B1.pdf>
- [12] PÁČA, J., SUCHÁ, V., MIKŠANOVÁ, M., STIBOROVÁ, M. Enzymy kvasinky *Candida tropicalis* participující na biodegradaci fenolu. *Biodegradace VI*, Seč, 2003, s. 9–13.
- [13] SMITH, J. R. et al. Bioremediation of PCB and PAH – Containing Sludge, Sediments in Land Treatment Units Achieve Risk – Based Endpoints. *Hazard. Ind. Wastes*, 28th, 1996, p. 309–318. ISBN 1044-0631.
- [14] HOLDEN, P. A., FIRESTONE, M. K. Soil microorganisms in soil clean up. How can we improve our understanding? *Journal of Environmental Quality*. 26, 1997, s. 32–40.
- [15] HARMS, H., BOSMAN, T. N. P. Mass transfer limitation of microbial growth and pollutant degradation. *Microbiol.* 18, 1997, s. 97–105.
- [16] MASÁK, J. a kol. Speciální mikrobiální technologie. Skripta VŠCHT, 1992.
- [17] FEČKO, P. *Environmentální biotechnologie*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava. 2004. 180 s. ISBN 80-248-0700-9.

SS02030008

CENTRUM ENVIRONMENTÁLNÍHO VÝZKUMU

**ODPADOVÉ A OBĚHOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ
A ENVIRONMENTÁLNÍ BEZPEČNOST**

**Zařízení pro úpravu odpadní vody působením
elektrostatického pole – osvědčení o zápisu užitého
vzoru**

**Příloha č. 3 výzkumné zprávy
WP2.A Kontaminace vodního prostředí
za rok 2024**



ÚSTAV CHEMICKÝCH
PROCESŮ AV ČR
INSTITUTE OF CHEMICAL
PROCESS FUNDAMENTALS
OF THE ASCR



Hlavní zpracovatelé:

Ing. Tomáš Sezima, Ph.D. (VÚV TGM)

**T A
Č R**

Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je financován se státní podporou Technologické agentury ČR a Ministerstva životního prostředí ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

www.tacr.cz

www.mzp.cz



ČESKÁ REPUBLIKA
ÚŘAD PRŮMYSLOVÉHO VLASTNICTVÍ



OSVĚDČENÍ

O ZÁPISU UŽITNÉHO VZORU

Josef Kratochvíl
předseda
Úřadu průmyslového vlastnictví

Úřad průmyslového vlastnictví

zapsal podle § 11 odst. 1 zákona č. 478/1992 Sb., v platném znění, do rejstříku

UŽITNÝ VZOR

číslo

37615

na technické řešení uvedené v příloženém popisu.

V Praze dne: 12.01.2024

Za správnost:

Jiří Voráček
oddělení rejstříků

Úřad průmyslového vlastnictví v zápisném řízení nezjišťuje, zda předmět užitého vzoru splňuje podmínky způsobilosti k ochraně podle § 1 zák. č. 478/1992 Sb.

Číslo zápisu: **37615**

Datum zápisu: 12.01.2024

Číslo přihlášky: **2023-41504**

Datum přihlášení: 29.11.2023

MPT: *C 02 F 1/48*

(2023.01)

Název: Zařízení pro úpravu odpadní vody působením elektrostatického pole

Majitel: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Praha 6,
Dejvice

Původce: Ing. Tomáš Sezima, Ph.D., Ostrava, Moravská Ostrava

UŽITNÝ VZOR

(11) Číslo dokumentu:

37 615

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.:

C02F 1/48

(2023.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2023-41504**
(22) Přihlášeno: **29.11.2023**
(47) Zapsáno: **12.01.2024**

- (73) Majitel:
Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka,
v.v.i., Praha 6, Dejvice, CZ
- (72) Původce:
Ing. Tomáš Sezima, Ph.D., Ostrava, Moravská
Ostrava, CZ
- (74) Zástupce:
Ing. Libor Markes, Grohova 145/54, 602 00 Brno,
Veveří

- (54) Název užitého vzoru:
**Zařízení pro úpravu odpadní vody
působením elektrostatického pole**

CZ 37615 U1

Zařízení pro úpravu odpadní vody působením elektrostatického pole

Oblast techniky

5

Technické řešení se týká experimentálního laboratorního zařízení k rozkladu a snížení koncentrace vybraných polutantů v komunálních i průmyslových odpadních vodách.

10 Dosavadní stav techniky

Je známo zařízení pro fyzikální zpracování odpadů popsané v EP 2388068 B1, které má reakční prostor pro simultánní nebo postupné působení různých degradačních aktivit, a to elektrostatického pole (studené plazmy), jiskrového výboje a ultrafialového záření. Toto zařízení původně určené pro snižování koncentrace problematických perzistentních polutantů ve vybraných typech pevných odpadů za účelem jejich opětovného využití, jak materiálového (hnojivé nebo rekultivační směsi), tak i energetického (tvorby tuhých alternativních vícesložkových směsných paliv), umožňuje experimentální provoz v procesu snižování vybraných polutantů v komunálních i průmyslových odpadních vodách (cíleno zejména na eliminaci zbytků léčiv). Popsané zařízení však postrádá působení dalšího významného degradačního činitele, kterým může být mohutné elektrostatické pole.

JP 2002011380 A popisuje zařízení a způsob pro elektrostatické zpracování odpadních kapalin v uzavřené nádobě, ve které je mezi dvěma elektrodami napájenými stejnosměrným proudem o vysokém napětí vytvořeno elektrostatické pole v izolující kapalině, přičemž kapalina je vedena střídavě mezi elektrodami. Jedna elektroda je v nádobě umístěna centrálně, druhá obklopuje její stěny. Kapalina je do nádoby přiváděna shora; vespod se nachází odkalovací jímka.

Technické řešení si klade za úkol navrhnout zařízení pro úpravu odpadní vody, které by funkci původního zařízení podle EP 2388068 B1 doplnilo, resp. ji rozšířilo o možnost úpravy (čištění) odpadních a průmyslových vod za účelem snížení vybraných perzistentních těžko odbouratelných polutantů, a to prostřednictvím působení vysokonapětového elektrostatického pole buď samostatně, nebo v kombinaci s dalšími degradačními postupy např. biodegradacemi.

35

Podstata technického řešení

Uvedený úkol řeší zařízení pro úpravu odpadní vody působením elektrostatického pole vytvořeného mezi dvěma elektrodami a protékající odpadní vodou. Podstata zařízení spočívá v tom, že elektrody ve tvaru rovnoběžných desek svírají do spirály stočený kanál se vstupem odpadní vody na boku zařízení a s centrálním výstupem.

Spirálový kanál může být vyhlouben ve vodící desce sevřené elektrodami, přičemž mezi vodící deskou a každou z elektrod je sevřeno dielektrické těsnění nebo těsnicí fólie.

45

K odstínění elektrostatického pole mohou být ke stranám elektrod odvráceným od vodící desky přiloženy ocelové stínící desky.

Ve výhodném provedení je sestava: ocelová stínící deska, elektroda, těsnění, vodící deska, těsnicí fólie, elektroda, ocelová stínící deska posazena na základovém rámu a svrchu sevřena víkem.

50

Víko a rám jsou s výhodou vytvořeny z polypropylenu a po obvodu propojeny svorníky s přítláčnými pružinami, takže tvoří kazetu.

Elektrody jsou upraveny k napojení na stejnosměrný vysokonapětový zdroj elektrické energie

55

o pracovním napětí do 50 kV.

Objasnění výkresů

5

Technické řešení bude dále objasněno pomocí výkresů, na kterých:

obr. 1 představuje v axonometrické promítání smontované zařízení pro úpravu odpadní vody;

10

obr. 2 rozložené zařízení, v němž jsou sejmuty desky nad vodicí deskou a víko;

obr. 3 samotné víko;

obr. 4 rozložené zařízení bez víka;

15

obr. 5 samotné víko s vodicí deskou;

obr. 6 samotnou vodicí desku; a

20

obr. 7 rozpad plochých součástí zařízení pro úpravu odpadní vody.

Příklady uskutečnění technického řešení

25

Příkladné provedení zařízení pro úpravu odpadní vody působením elektrostatického pole je znázorněno na obr. 1, přičemž jeho součásti jsou zřejmé z obr. 2 až 7. Zařízení je tvořeno základovým rámem 1 a víkem 2 z polypropyleny propojenými na obvodu svorníky 3 opatřenými přitlačnými pružinami 4 k zajištění těsnosti zařízení. Mezi základovým rámem 1 a víkem 2 jsou sevřeny deskovité součásti zařízení v pořadí od rámu 1 k víku 2: ocelová stínicí deska 5 broušená do roviny, pokovená Ni pro antikorozi ochranu, Cu elektroda 6 pokovená Ag, lité silikonové těsnění 7 zajišťující elektrickou izolaci a těsnost, vodicí deska 8, těsnicí silikonová fólie 9, Cu elektroda 6 a ocelová stínicí deska 5.

30

Ve vodicí desce 8 sevřené elektrodami 6 je vyhlouben kanál 10 pro průtok odpadní vody, který má tvar spirály. Vstup 11 odpadní vody do kanálu 10 je na boku zařízení, výstup 12 je centrální. Kanál v podstatě představuje reakční prostor, v němž probíhá degradace polutantů v odpadní vodě působením vysokonapěťového elektrického pole. V jiném provedení zařízení může mít kanál podobu hadice nebo trubice stočené do spirály a sevřené mezi elektrodami.

35

Spirálovým pracovním prostorem kanálu 10 mezi elektrodami 6 prochází vzorek odpadní vody, který je vystaven působení elektrostatického pole, a to s výkonem VN zdroje do 50 kV, přičemž aktuálně bylo zkoušeno napětí do 20 kV.

40

K zajištění hermetického sevření vodicí desky 8 s vyfrézovaným spirálovým kanálem 10 mezi elektrodami 6 je reakční prostor opatřen těsněním 7 a těsnicí silikonovou fólií 9 a sevřen nerezovými svorníky 3 s přitlačnými pružinami 4.

45

Cirkulaci tekutého vzorku odpadní vody pro expozici elektrostatickým polem zajišťuje peristaltické čerpadlo. Vzorek je distribuován do reakčního prostoru z pracovní zásobní nádoby s pracovním objemem 5 l, která je umístěna v ochranné havarijní nádobě. Obě nádoby jsou zajištěny krytem z průhledného plexiskla. Propojení mezi jednotlivými součástkami okruhu cirkulace vzorku je realizováno polypropylenovými hadičkami. Míchání a aerace je zajištěna akvarijním motorkem se vzduchovacím kamenem.

50

Elektrody 6 pro působení elektrostatickým polem jsou napojeny na zdroj VN a mohou využívat

55

ochranný prostor – průhledný box s vetkanou s Faradayovou klecí původního zařízení pro fyzikální úpravu odpadů podle EP 2388068 B1.

5 Zařízení je možno využít samostatně nebo ve vhodné kombinaci s jinými technologiemi a postupy, např. biotechnologiemi. Použití zařízení je cíleno na snižování obsahu hůře rozložitelných, vysoce škodlivých polutantů, např. xenobiotika, farmaka, perzistentní organické látky (POPs) jako jsou polychlorované bifenylly (PCBs), nebo polyaromatické uhlovodíky (PAHs).

10 Pracovní postup pro uvedení modifikovaného zařízení pro fyzikální zpracování odpadní vody do provozu je následující:

- Složené zařízení se připojí na čerpadlo v režimu sání. Čerpadlo je samonasávací a není nutné jej zaplavit před jeho uvedením do chodu.
- Nádrž na upravovaný vzorek se naplní vzorkem vody (maximálně 5 litrů vzorku). Zapne se provzdušňování, které zajišťuje aeraci i promíchávání vzorku.
- 15 • Na ovládacím panelu čerpadla se nastaví požadovaná rychlost průtoku a uvede do chodu
- Po cca 2 minutách se provede kontrola těsnosti.
- V případě netěsnosti se mírně dotáhnou příslušné obvodové matice v místě úniku a zkouška se opakuje. Jestliže zařízení těsní, pokračuje se dále.
- 20 • Vývody z VN zdroje se připojí na příslušné připojovací body na zařízení.
- Uzavře se vnější ochranný pracovní prostor (box s Faradayovou klecí), ve kterém je vnitřní pracovní prostor uložen.
- Uvede se do chodu VN zdroj.
- Proces expozice VN elektrostatickým polem je pod stálým dohledem.
- 25 • Před odběrem každého vzorku a ukončením prací je třeba vypnout VN zdroj, čerpadlo a systém provzdušňování.

30 Zařízení je možno čistit buďto důkladným proplachem demineralizovanou vodou, nebo kompletním rozložením a důkladným očištěním vnitřního pracovního prostoru. Všechny vnitřní části jsou omyvatelné mýdlovou vodou.

NÁROKY NA OCHRANU

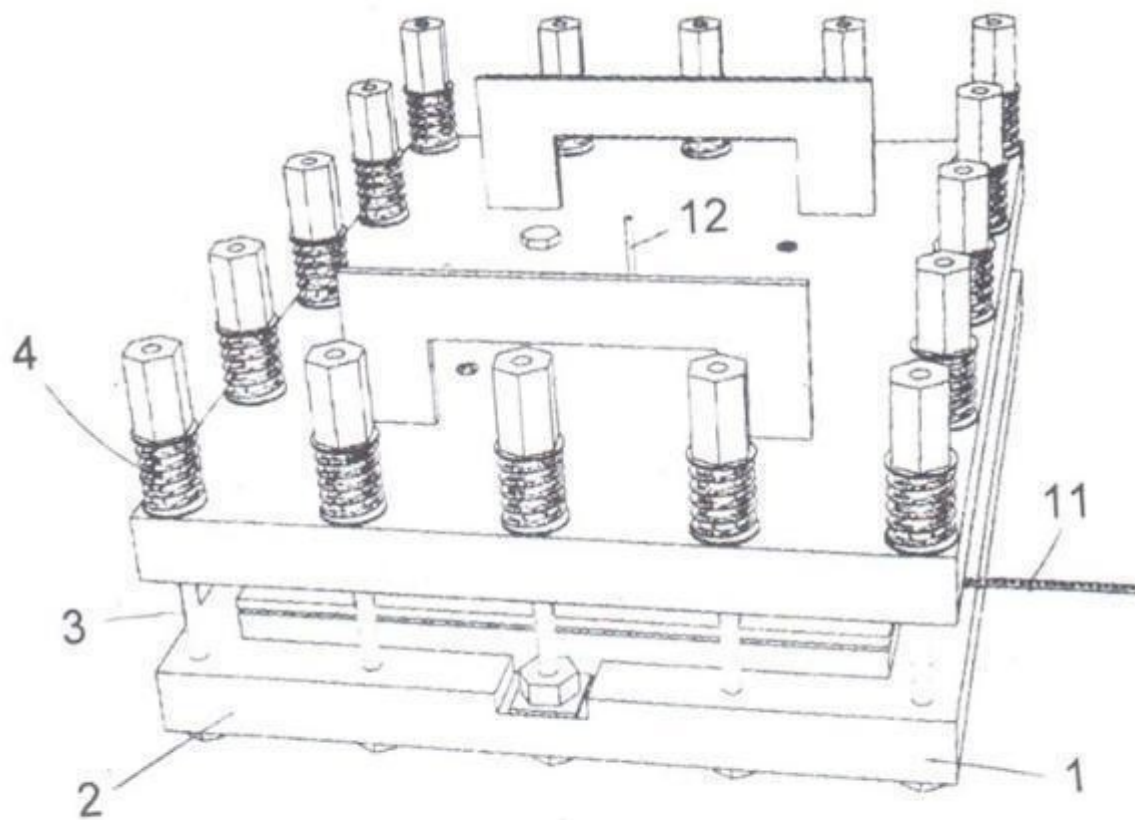
- 5 1. Zařízení pro úpravu odpadní vody působením elektrostatického pole vytvořeného mezi dvěma elektrodami a protékaného odpadní vodou, **vyznačující se tím**, že elektrody (6) ve tvaru rovnoběžných desek svírají do spirály stočený kanál (10) pro průtok odpadní vody se vstupem (11) odpadní vody na boku zařízení a s centrálním výstupem (12).
2. Zařízení podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že kanál (10) je vyhlouben ve vodící desce (8) sevřené elektrodami (6), přičemž mezi vodící deskou (8) a každou z elektrod (6) je sevřeno dielektrické těsnění (7) nebo těsnicí fólie (9).
- 10 3. Zařízení podle nároku 2, **vyznačující se tím**, že ke stranám elektrod (6) odvráceným od vodící desky (8) jsou přiloženy ocelové stínicí desky (5).
4. Zařízení podle nároku 3, **vyznačující se tím**, že sestava: ocelová stínicí deska (5), elektroda (6), těsnění (7), vodící deska (8), těsnicí fólie (9), elektroda (6) a ocelová stínicí deska (5) je posazena na základovém rámu (1) a svrchu sevřena víkem (2).
- 15 5. Zařízení podle nároku 4, **vyznačující se tím**, že víko (2) a základový rám (1) jsou vytvořeny z polypropylenu a po obvodu propojeny svorníky (3) s přitlačnými pružinami (4).
6. Zařízení podle některého z nároků 1 až 5, **vyznačující se tím**, že elektrody (6) jsou upraveny k napojení na stejnosměrný zdroj elektrické energie o pracovním napětí do 50 kV.

20

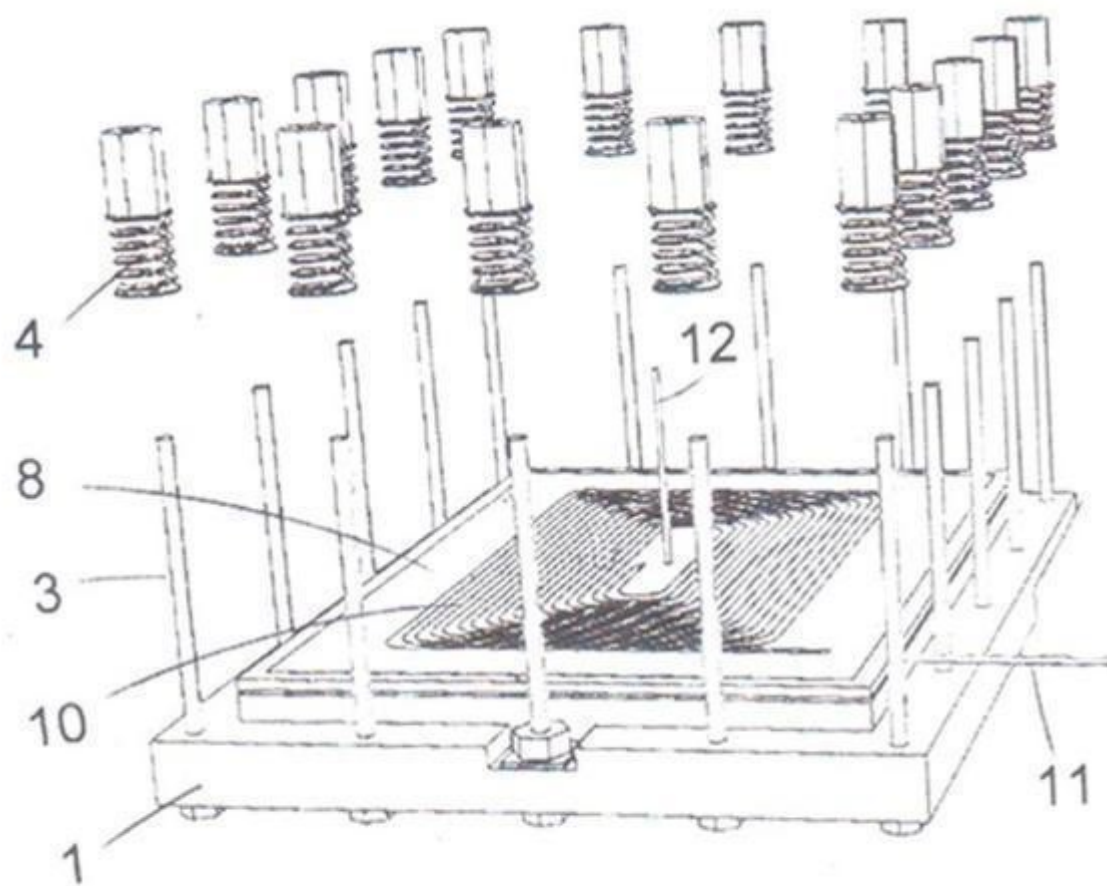
7 výkresů

Seznam vztahových značek:

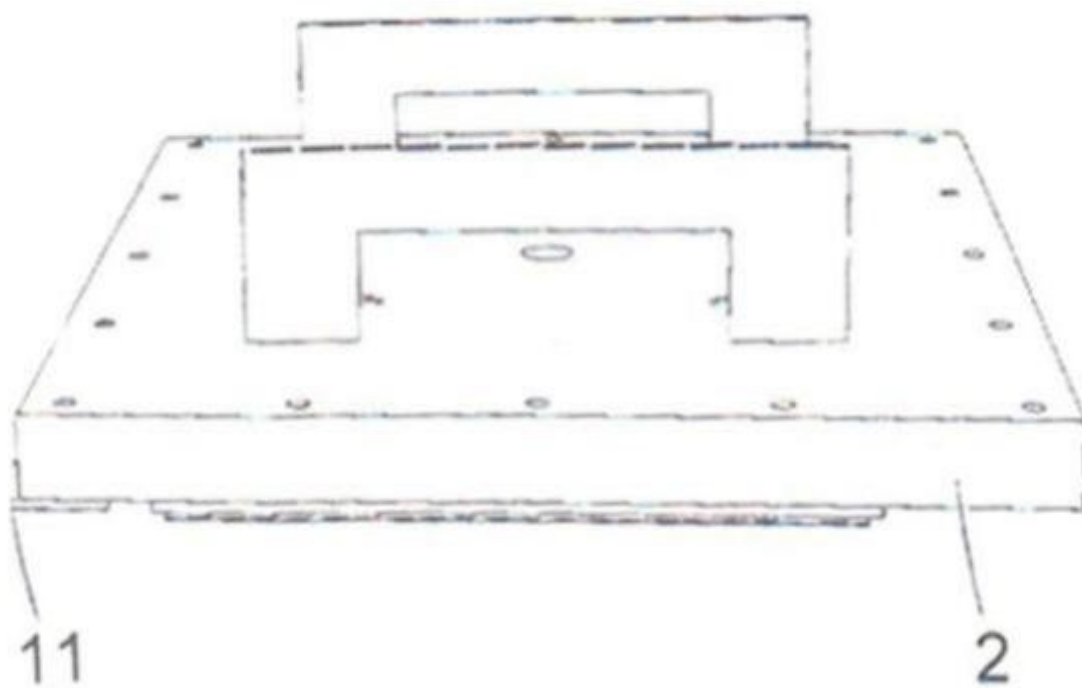
- 1 rám
- 2 víko
- 3 svorník
- 4 pružina
- 5 ocelová stínicí deska
- 6 elektroda
- 7 silikonové těsnění
- 8 vodící deska s kanálem
- 9 těsnicí silikonová fólie
- 10 kanál
- 11 vstup odpadní vody
- 12 výstup odpadní vody



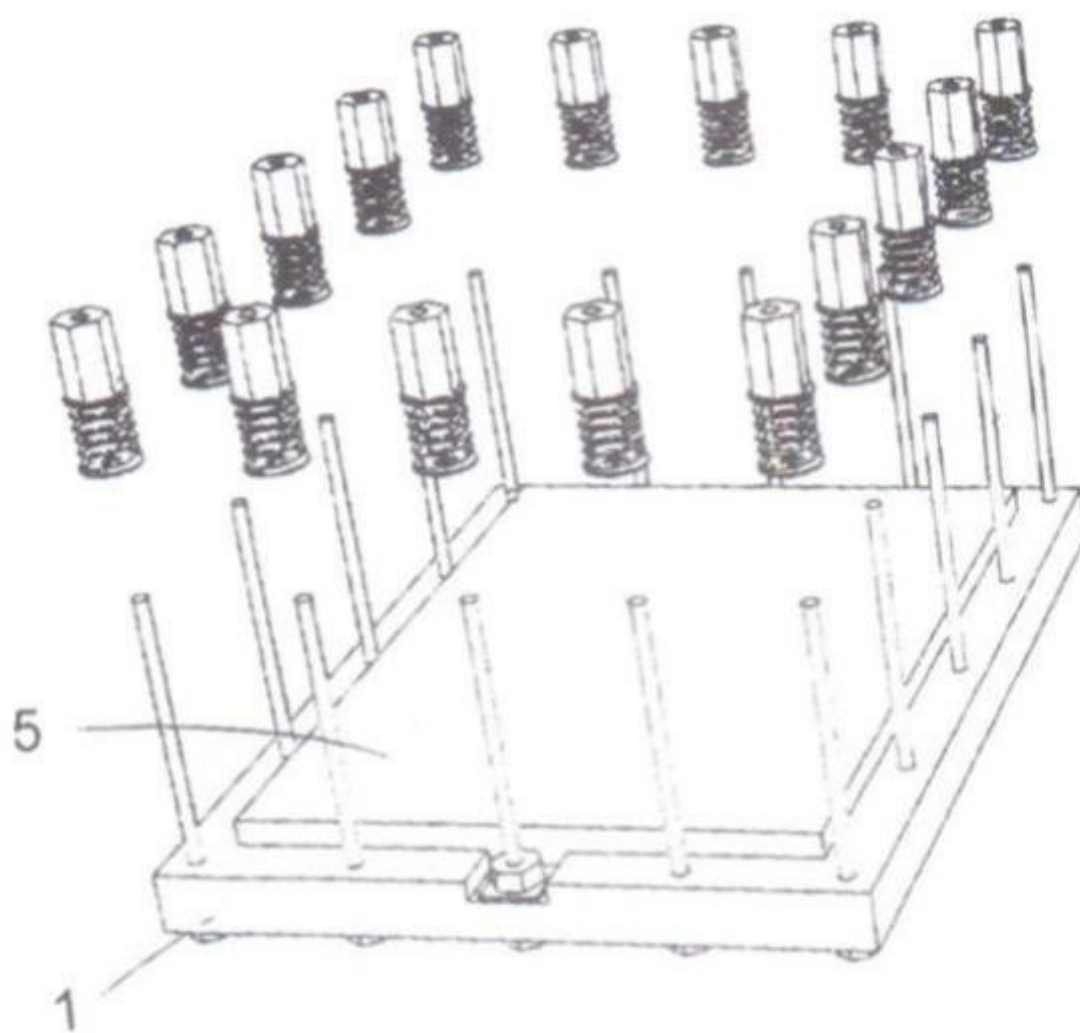
Obr. 1



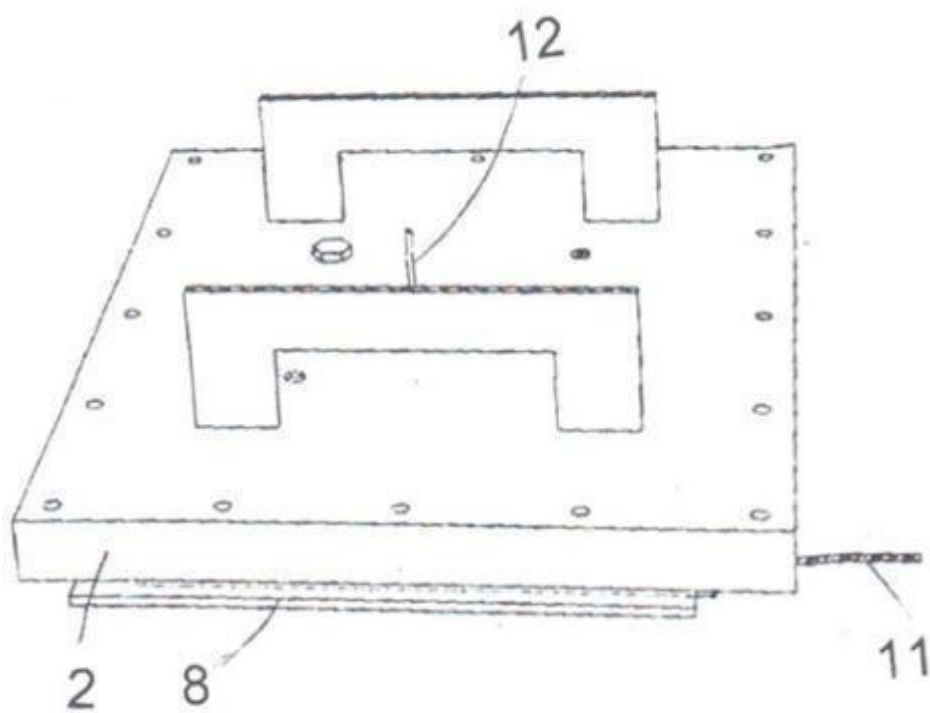
Obr. 2



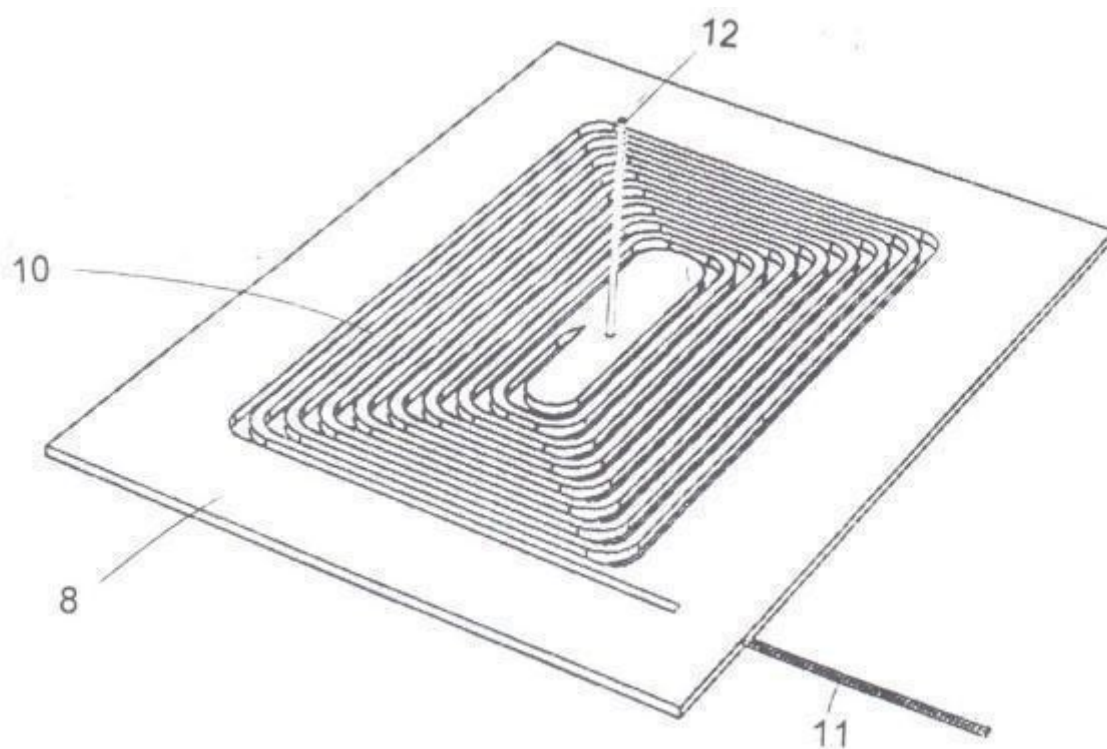
Obr. 3



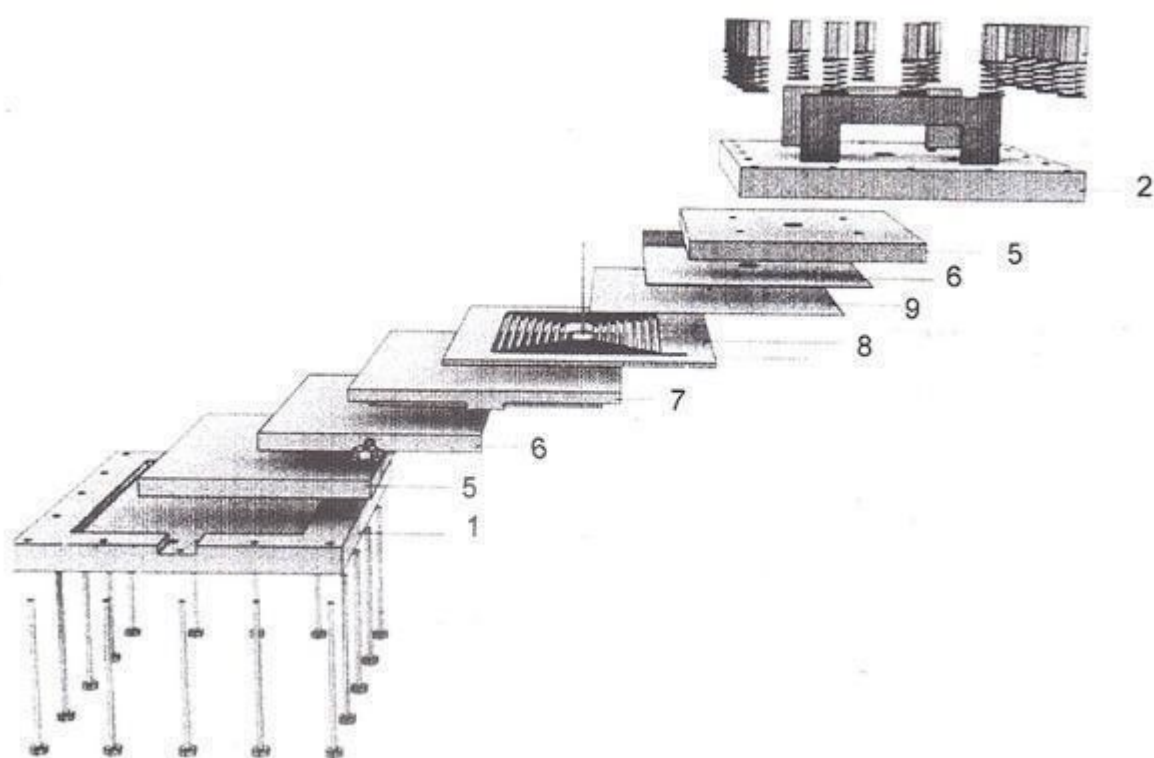
Obr. 4



Obr. 5



Obr. 6



Obr. 7