

Ověření a vyhodnocení technologií pro terciární dočištění komunálních odpadních vod

VYHODNOCENÍ TESTOVANÝCH TECHNOLOGIÍ
A SOUBOR POSTUPŮ K VÝBĚRU VHODNÉ
TECHNOLOGIE PRO TERCÍÁRNÍ DOČIŠTĚNÍ
KOMUNÁLNÍCH ODPADNÍCH VOD

SOUHRN VÝSTUPŮ C4D1 A C4D2 PROJEKTU
LIFE2WATER

SUMMARY OF DELIVERABLES C4D1 AND C4D2
OF LIFE2WATER PROJECT

SRPEN 2017

www.life2water.cz

OBSAH

1. SLEDOVANÉ PARAMETRY A POUŽITÉ METODY.....	2
2. PRŮBĚHY KONCENTRACÍ POLUTANTŮ NA VÝSTUPU Z ČOV	4
3. DOPADY VYPOUŠTĚNÉHO ZNEČIŠTĚNÍ NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ.....	11
4. INFORMACE O ČOV A NAPOJENÝCH ZDROJÍCH ZNEČIŠTĚNÍ.....	13
4.1 NAPOJENÉ ZDROJE ZNEČIŠTĚNÍ.....	13
4.2 ČOV BRNO-MODŘICE.....	13
4.3 ODKANALIZOVÁNÍ AGLOMERACE BRNO	15
4.3.1 <i>Historie budování kanalizační sítě</i>	15
4.3.2 <i>Kanalizační síť</i>	15
5. DOSAŽENÉ ÚČINNOSTI ODSTRANĚNÍ ZNEČIŠTĚNÍ	18
5.1 ZÁKLADNÍ PARAMETRY	18
5.2 MIKROBIOLOGICKÉ ZNEČIŠTĚNÍ	21
5.3 CHEMICKÉ ZNEČIŠTĚNÍ	22
6. PROVOZNÍ POZNATKY	26
6.1 ODBĚRY VZORKŮ	26
6.2 KONTAMINACE VZORKŮ ALKYL FENOLY	26
6.3 JEDNOTKOVÉ PROVOZNÍ A CELKOVÉ NÁKLADY	27
7. SOUBOR POSTUPŮ K VÝBĚRU VHODNÉ TECHNOLOGIE PRO TERCÍÁRNÍ DOČIŠTĚNÍ KOMUNÁLNÍCH ODPADNÍCH VOD	30
SEZNAM OBRÁZKŮ	31
SEZNAM TABULEK	32

1. SLEDOVANÉ PARAMETRY A POUŽITÉ METODY

Sledovanými základními a mikrobiologickými parametry byly:

- biochemická spotřeba kyslíku (BSK₅);
- chemická spotřeba kyslíku dichromanem (CHSK_{Cr});
- nerozpuštěné látky (NL);
- celkový dusík (N_c);
- celkový fosfor (P_c);
- Escherichia coli;
- koliformní bakterie; a
- enterokoky.

Pro analýzu vzorků odpadních vod byly použity standardizované metody, viz tab. 1.

tab. 1 Metody použité pro analýzu základních a mikrobiologických parametrů

parametr	jednotka	nejistota	metoda
Nerozpuštěné látky	mg·l ⁻¹	± 14 %	SOP/M-06 (ČSN EN872)
BSK ₅	mg·l ⁻¹	± 8 %	SOP/M-08 (ČSN EN 1899-1, ČSN EN 1899-2)
CHSK dichromanem	mg·l ⁻¹	± 7 %	SOP/M-10 (ČSN EN ISO 15705)
Fosfor celkový	mg·l ⁻¹	± 12 %	SOP/M-19 (ČSN EN ISO 15681-2)
Dusík celkový	mg·l ⁻¹	± 10 %	SOP/M-21 (ČSN EN 12260)
Escherichia coli	KTJ·10 ml ⁻¹	± 15 %	ČSN 75 7835
Koliformní bakterie	KTJ·10 ml ⁻¹	± 15 %	ČSN 75 7837
Enterokoky	KTJ·10 ml ⁻¹	± 15 %	ČSN EN ISO 7899-2

Sledovanými průmyslovými látkami, pesticidy a léčivy byly:

- nonylfenol s metabolity (4-nonylfenol, nonylfenol (směs izomerů), nonylfenol diethoxylát (směs izomerů), nonylfenol monoethoxylát (směs izomerů), nonylfenol diethoxylát (směs izomerů));
- oktylfenol s metabolity (4-n-oktylfenol, 4-t-oktylfenol, 4-t-oktylfenol diethoxylát, 4-t-oktylfenol monoethoxylát, 4-t-oktylfenol ethoxylát);
- bisfenol A;
- estrogeny a jejich metabolity (17- α -ethinylestradiol, 17- β -estradiol, estriol, estron, mestranol);
- pesticidy (2.4-D, acetochlor, atrazin, atrazin-2-hydroxy, atrazin-desethyl, atrazin-desisopropyl, azoxystrobin, karbofuran, karbofuran-3-hydroxy, chloridazon, chloridazon-desphenyl, chlorpyrifos, diuron, diuron desmethyl (DCPMU), imidaclopid, Isoproturon, isoproturon-desmethyl, isoproturon-monodesmethyl, MCPA, MCPB, MCPP (izomery), terbuthylazin, terbuthylazin-desethyl, terbuthylazin-desethyl-2-hydroxy, terbuthylazin-hydroxy, terbutryn);
- léčiva (kofein, karbamazepin, ciprofloxacín, kyselina klofibrová, diazepam, diklofenak, furosemid, ibuprofen, iohexol, iomeprol, iopamidol, iopromid, naproxen, paracetamol, kyselina salicylová, sulfamethoxazol, tramadol, warfarin).

Pro analýzu vzorků odpadních vod byly použity metody, viz tab. 2.

tab. 2 Metody použité pro analýzu průmyslových látek, pesticidů a léčiv

sledované látky	metoda
nonylfenol s metabolity (4-nonylfenol, nonylfenol (směs izomerů), nonylfenol diethoxylát (směs izomerů), nonylfenol monoethoxylát (směs izomerů), nonylfenol diethoxylát (směs izomerů)); oktylfenol s metabolity (4-n-oktylfenol, 4-t-oktylfenol, 4-t-oktylfenol diethoxylát, 4-t-oktylfenol monoethoxylát, 4-t-oktylfenol ethoxylát); bisfenol A;	W-AEOGMS02
acetochlor, atrazin, atrazin-2-hydroxy, atrazine-desethyl, atrazine-desisopropyl, azoxystrobin, karbofuran, karbofuran-3-hydroxy, chloridazon, chloridazon-desphenyl, chlorpyrifos, diuron, diuron desmethyl (DCPMU), imidaclopid, Isoproturon, isoproturon-desmethyl, isoproturon-monodesmethyl, terbuthylazin, terbuthylazin-desethyl, terbuthylazin-desethyl-2-hydroxy, terbuthylazin-hydroxy, terbutryn);	W-PESLMS02
2.4-D, MCPA, MCPB, MCPP (isomery)	W-PESLMS04
kofein, karbamazepin, ciprofloxacin, kyselina klofibrová, diazepam, diklofenak, furosemid, ibuprofen, iohexol, iomeprol, iopamidol, iopromid, naproxen, paracetamol, kyselina salicylová, sulfamethoxazol, tramadol, warfarin	W-PHALMS01
17 α -ethinylestradiol, 17 β -estradiol, estriol, estron, mestranol	W-STELMS01

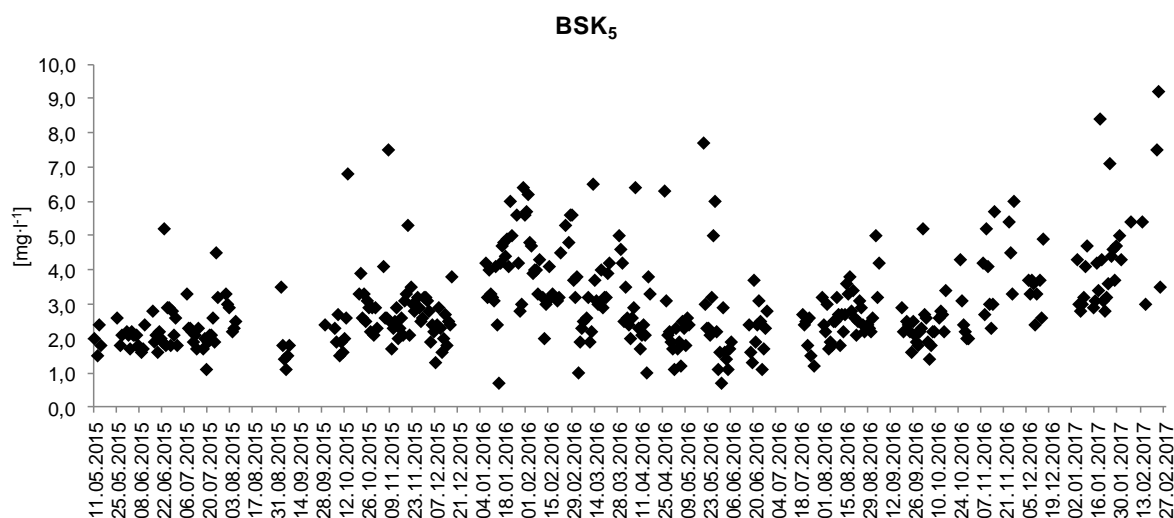
2. PRŮBĚHY KONCENTRACÍ POLUTANTŮ NA VÝSTUPU Z ČOV

V průběhu testování byl vždy odebrán jeden vstupní vzorek pro účely stanovení účinnosti odstranění sledovaného znečištění. Tyto vzorky byly vždy odebrány jako směsné 24 hodinové vzorky odebírané automatickým vzorkovačem v intervalu jedné hodiny. Vzorky byly odebrány z akumulační jímky technologické vody, do které je čerpána vyčištěná odpadní voda z odtoku ČOV.

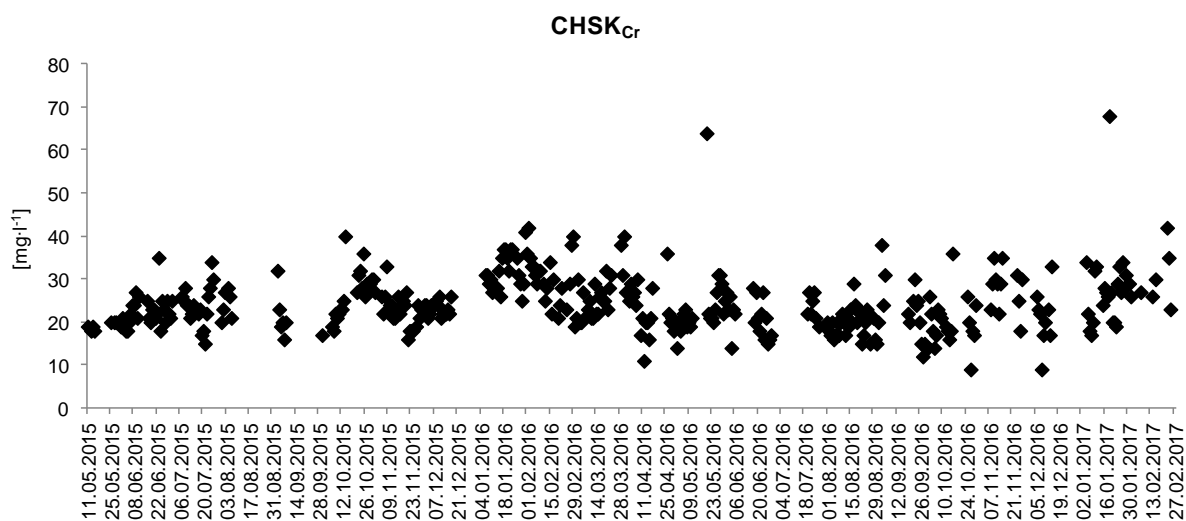
Z výše uvedených důvodů tyto vzorky odpovídají kvalitě vody na odtoku z ČOV. Výjimkou může být parametry NL (nerozpuštěné látky) vzhledem k tomu, že v akumulační jímce dochází k nárůstu biomasy (zejm. růst řas a bakterií složením podobných aktivovanému kalu), tzn. hodnota parametru NL může být zejména v letním období a v období výrazně menšího odběru technologické vody (při odstávce sušárny kalu) vyšší než je koncentrace NL na odtoku z ČOV.

Níže uvedené koncentrace veškerého sledovaného znečištění jsou koncentrace reálné vyčištěné odpadní vody, která je vypouštěna do vodního toku. Toto znečištění je tedy v současnosti vypouštěno do životního prostředí (do řeky Svratka).

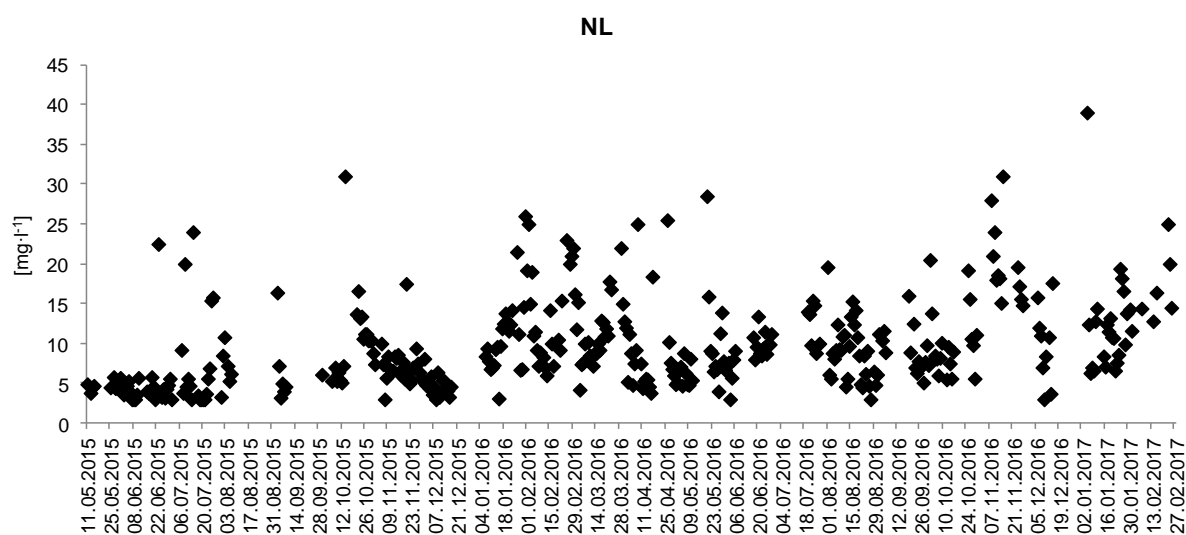
Na obr. 1 až obr. 12 jsou uvedeny průběhy koncentrací sledovaného znečištění na výstupu z ČOV, tj. na vstupu do pilotních jednotek za dobu monitoringu pilotních jednotek.



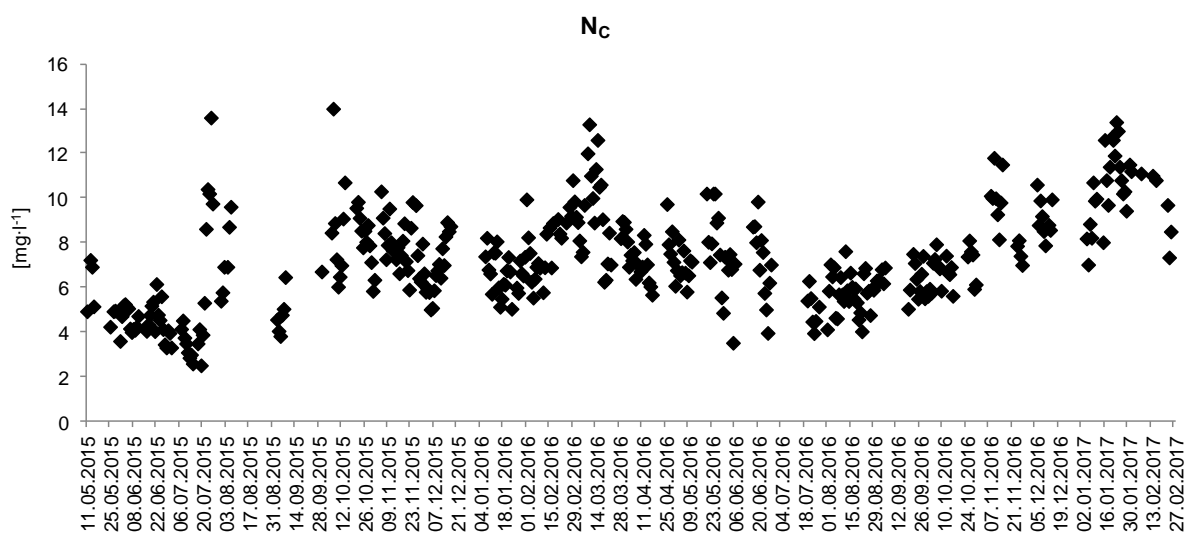
obr. 1 BSK₅ na výstupu z ČOV (na vstupu do pilotních jednotek)



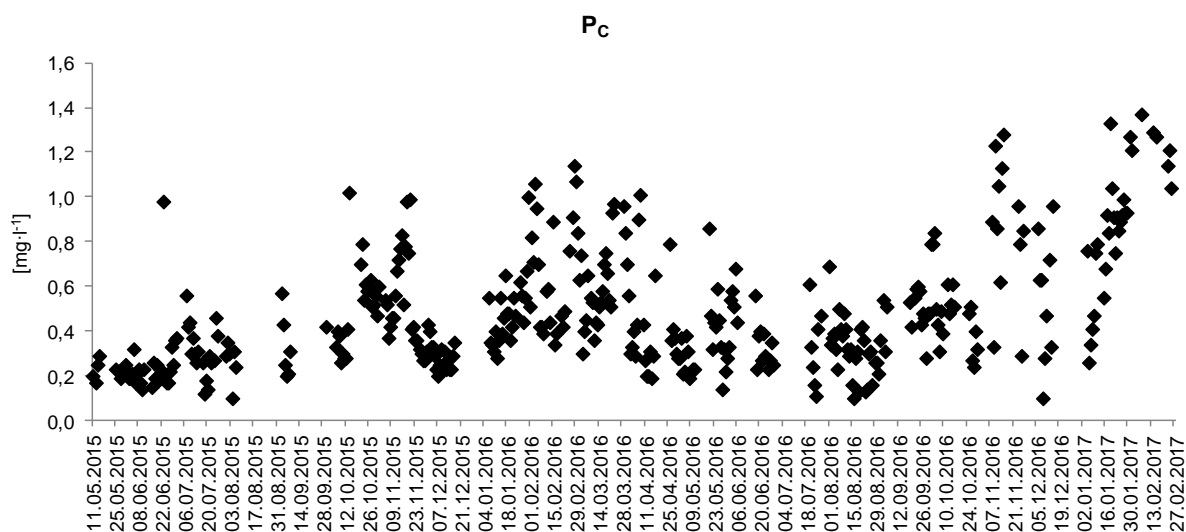
obr. 2 CHSK_{Cr} na výstupu z ČOV (na vstupu do pilotních jednotek)



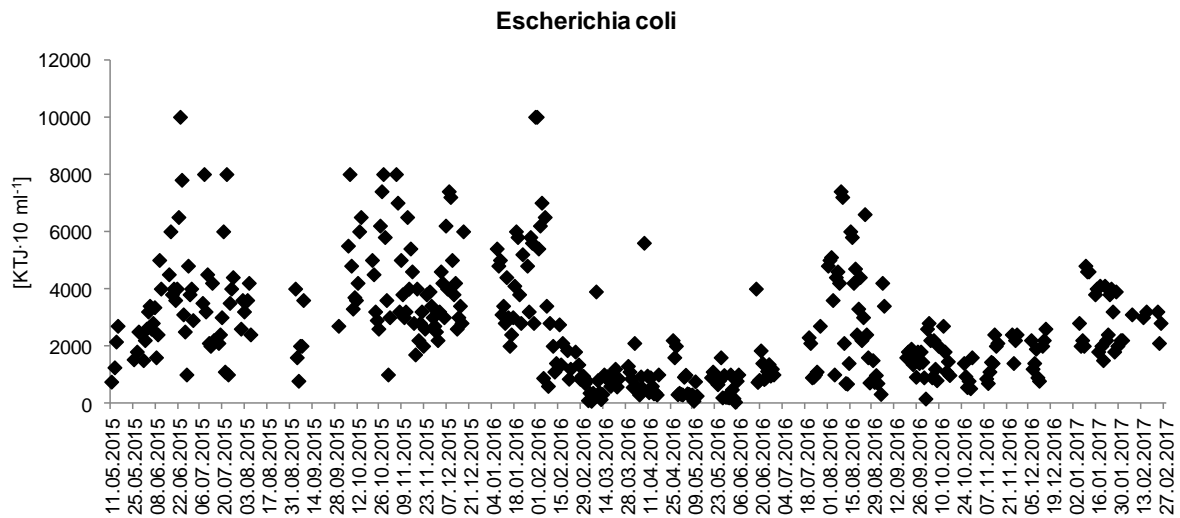
obr. 3 NL na výstupu z ČOV (na vstupu do pilotních jednotek)



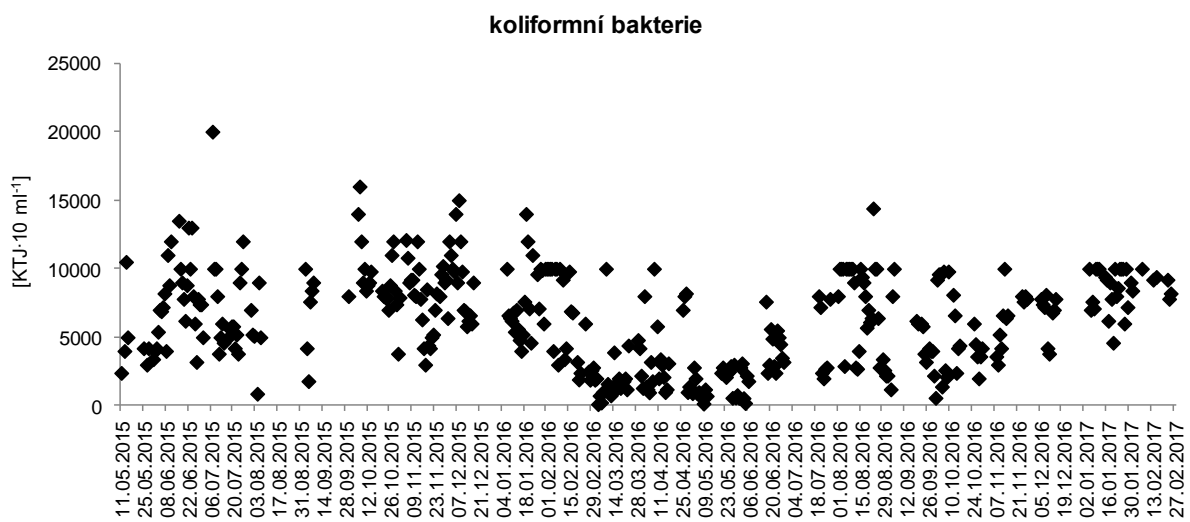
obr. 4 N_c na výstupu z ČOV (na vstupu do pilotních jednotek)



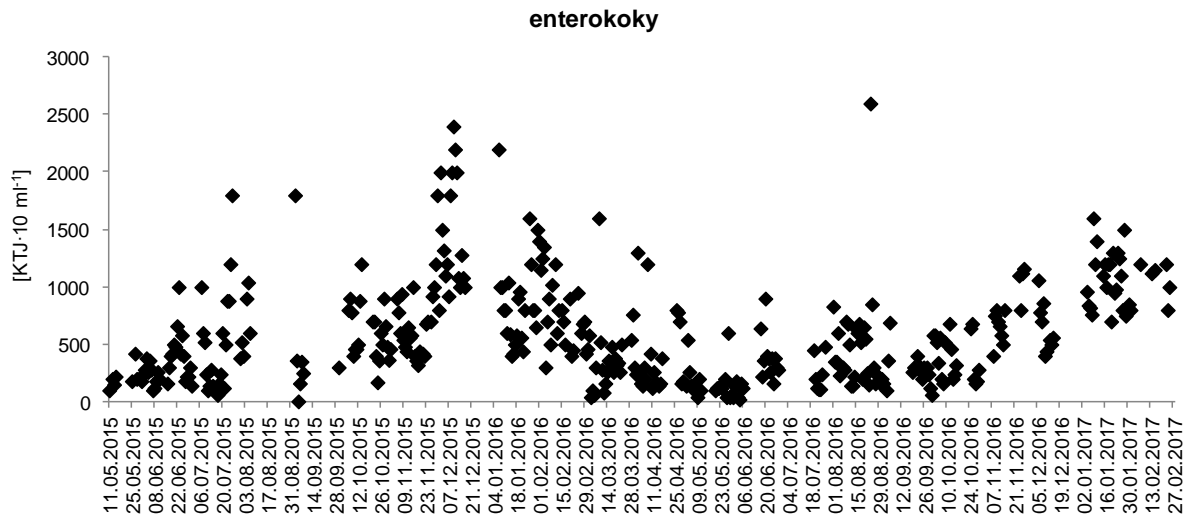
obr. 5 P_c na výstupu z ČOV (na vstupu do pilotních jednotek)



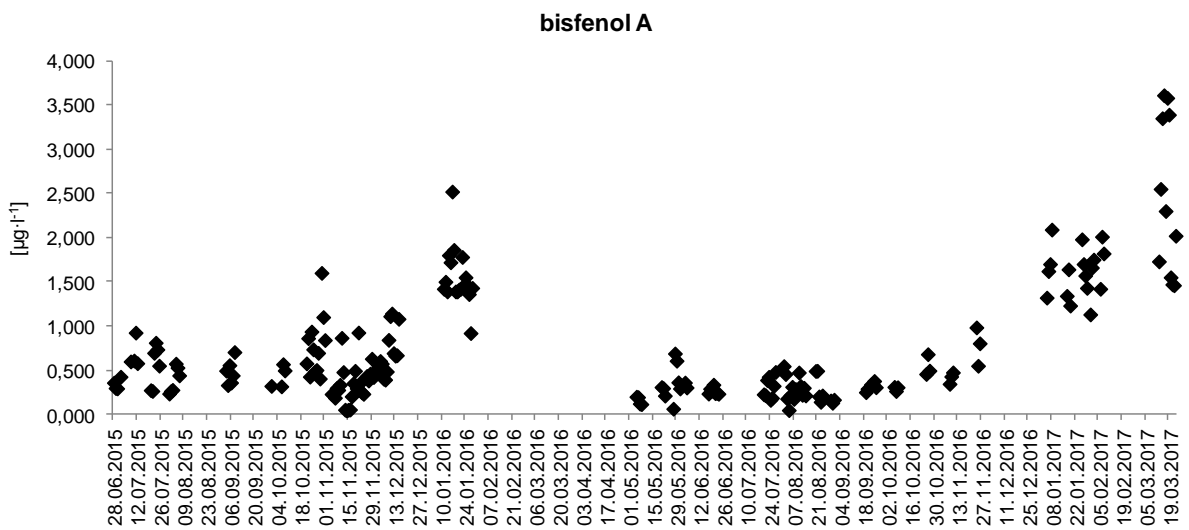
obr. 6 Escherichia coli na výstupu z ČOV (na vstupu do pilotních jednotek)



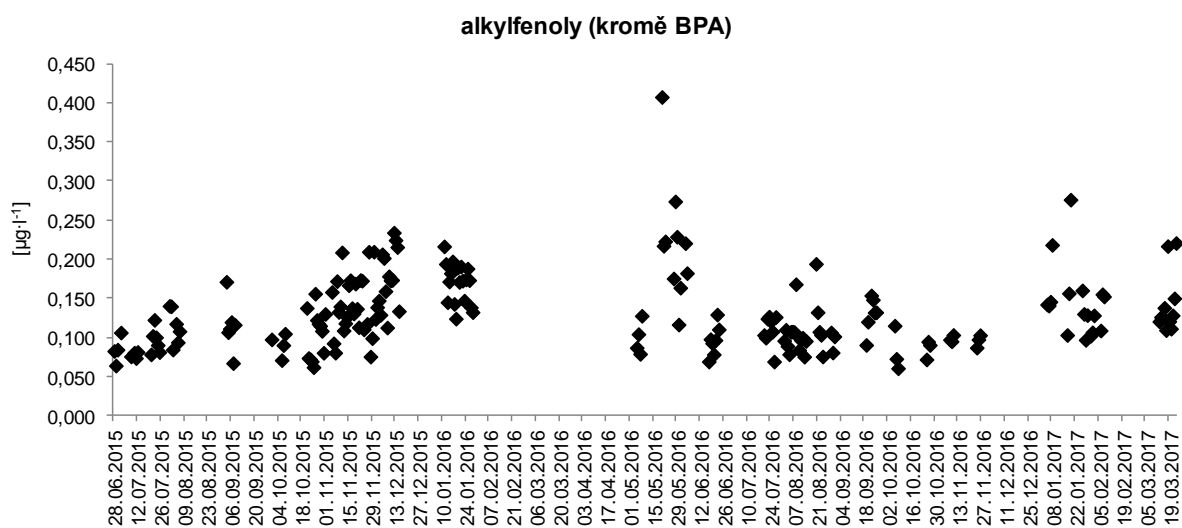
obr. 7 Koliformní bakterie na výstupu z ČOV (na vstupu do pilotních jednotek)



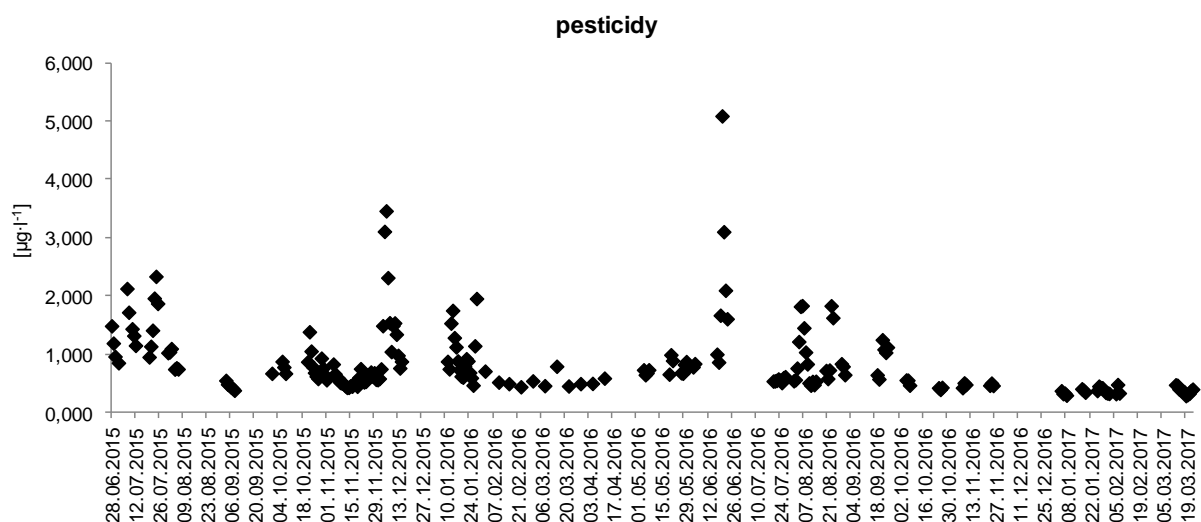
obr. 8 Enterokoky na výstupu z ČOV (na vstupu do pilotních jednotek)



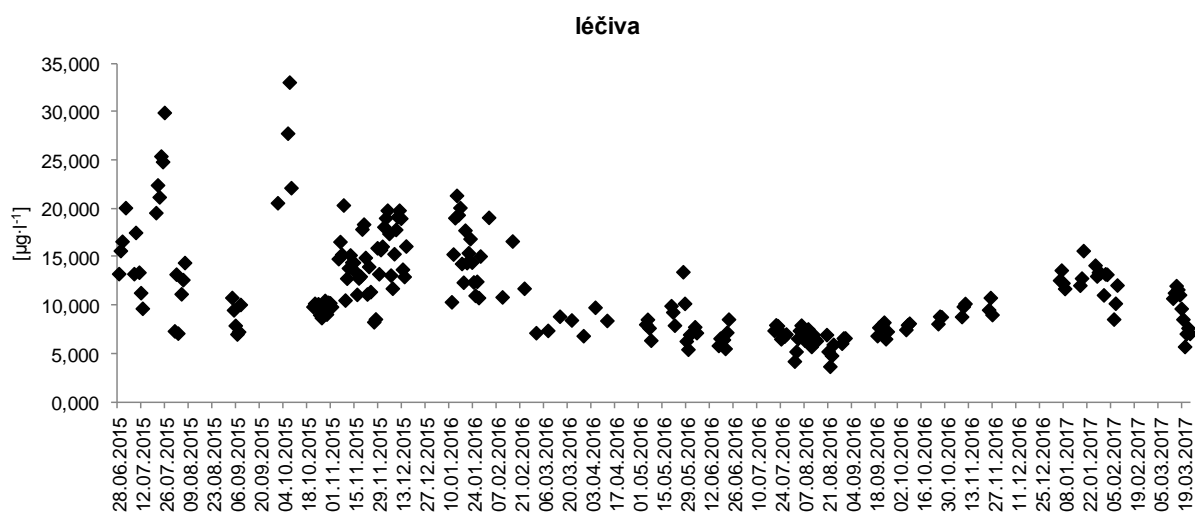
obr. 9 Bisfenol A na výstupu z ČOV (na vstupu do pilotních jednotek)



obr. 10 Alkylfenoly (kromě BPA) na výstupu z ČOV (na vstupu do pilotních jednotek)



obr. 11 Suma pesticidů a jejich metabolitů na výstupu z ČOV (na vstupu do pilotních jednotek)



obr. 12 Suma léčiv na výstupu z ČOV (na vstupu do pilotních jednotek)

3. DOPADY VYPOUŠTĚNÉHO ZNEČIŠTĚNÍ NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ¹

Dopady vypouštěného znečištění na životní prostředí jsou různé podle charakteru vypouštěného znečištění. Dopady vypouštění znečištění popisované základními parametry jsou obecně velmi dobře známy a na základě těchto znalostí dochází neustále ke zpříšňování limitů především pro komunální (městské ČOV). Dopady vypouštění mikrobiologického znečištění do životního prostředí jsou rovněž známy, avšak emisní limity pro komunální čistírny stanoveny nejsou. Podobně to platí i pro sledované chemické znečištění, emisní limity stanoveny nejsou a dopady na životní prostředí jsou známy částečně.

V prostředí ČR existuje nařízení vlády „o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech“ jsou uvedeny tzv. normy environmentální kvality, přičemž „vodoprávní úřad je zároveň vázán ukazateli vyjadřujícími stav povrchové vody, ukazateli a hodnotami přípustného znečištění povrchových vod, normami environmentální kvality“. Běžnou praxí je však dle zkušeností partnerů projektu to, že vodoprávní úřady k tomuto nepřihlíží a stanovují s limity pro vypouštění znečištění na úrovni emisních standardů nebo tzv. nejlepších dostupných technologií (tzn. pro komunální ČOV se jedná pouze o základní parametry v rozsahu sledovaném v rámci tohoto projektu). Tzv. normy environmentální kvality uvedené v příloze výše citovaného nařízení vlády stanovují limity nejen pro mikrobiologické znečištění ale i pro tzv. prioritní látky (tj. pro chemické znečištění).

Vypouštění znečištění, které je charakterizováno parametry $CHSK_{Cr}$ a BSK_5 v životním prostředí způsobuje, jak již názvy parametrů říkají, spotřebu kyslíku. V případě vypouštění nadměrného znečištění tohoto typu dochází ke spotřebě kyslíku rozpuštěného ve vodním toku, v krajním případě může dojít k jeho vyčerpání. Oba tyto stavy jsou překážkou pro život mnoha organismů ve vodním toku (jedná se zejména o vyšší organismy, ale dochází i k celkovému poklesu rozmanitosti fauny i flóry). Nadměrným vypouštěním tohoto znečištění tedy dochází ke snižování biologické rozmanitosti toku.

Vypouštění nerozpuštěných látek do životního prostředí je problematické zejména z hlediska jejich usazování na dně toku případně ve vodních nádržích a dále z hlediska toho, že v nerozpuštěných látkách jsou zpravidla obsaženy další znečišťující látky (např. fosfor, mikrobiologické znečištění, nebo znečištění vyjádřené parametry BSK_5 nebo $CHSK_{Cr}$).

Dva nutrienty vyjádřené parametry celkový dusík a celkový fosfor jsou příčinou eutrofizace vodních útvarů, tj. jsou příčinou vysoké úživnosti vody. Vlivem eutrofizace dochází obvykle k nárazovému přemnožení řas a sinic, které má za následek vyčerpání rozpuštěného kyslíku a v případě přítomnosti vybraných druhů sinic i vylučování toxinů sinic do vodního prostředí. Důsledkem je snižování biologické rozmanitosti, zvyšování nároků na úpravu vody na pitnou, možný vznik zdravotních obtíží jde-li o koupací vody a další.

Vypouštěné mikrobiologické znečištění může způsobit různá onemocnění především, jde-li o vypouštění biologicky vyčištěné odpadní vody do vod koupacích, kde je expozice nejvyšší.

¹ Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., Nařízení vlády o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech, Sbírka zákonů 166/2015, Česká Republika.

Akpor, O. B., Otohinoiyi, D. A., Olaolu, T. D. a Aderiyi, B. I. Pollutants in wastewater effluents: impacts and remediation processes. International Journal of Environmental Research and Earth Science, Vol. 3, No. 3, pp. 050-059, 04/2014.

V případě vypouštění do vod, které jsou využívány jako surová voda pro výrobu pitné vody, narůstají nároky na její hygienické zabezpečení. Vypouštění těchto vod do vodního prostředí rovněž způsobuje výrazné změny v bakteriologickém složení vody.

Třetí nejpočetnější skupinou znečišťujících látek je tzv. chemické znečištění, které není legislativně limitováno, avšak dopady jejich vypouštění do životního prostředí jsou nemalé. Dopady vypouštění tohoto znečištění jsou převážně chronické a mají efekt již při koncentracích těchto látek od desetin $\text{ng}\cdot\text{l}^{-1}$. Neexistence legislativy je dána mnoha faktory jako např. relativní složitost jejich odstraňování a s ní spojené poměrně vysoké náklady na jejich odstraňování, nízké koncentrace těchto látek (metody na jejich detekci jsou poměrně nové) a další. Těmto faktorům se legislativa doposud nepřizpůsobila a sledování a/nebo odstraňování těchto látek nepožaduje. Konkrétní vlivy těchto látek na životní prostředí jsou pro každou ze sledovaných látek různé a jejich popis není vzhledem k vysokému počtu sledovaných látek (celkem 63 látek a skupinových stanovení) v rámci tohoto projektu řešen. Souhrnně však lze vlivy rozdělit do několika skupin. Jednou skupinou jsou tzv. endokrinní disruptory, tj. látky, které narušují normální fungování hormonálního systému (do skupiny patří např. ženské pohlavní hormony, bisfenol A, atrazin, acetochlor, alachlor, atd.). Další skupinou jsou léčiva, která mají v mnoha případech negativní vedlejší účinky i při dlouhodobém vystavení velmi malé dávce a dále např. u antibiotik dochází k tomu, že díky jejich všudypřítomnosti se zvyšuje odolnost bakterií vůči těmto látkám. Do poslední skupiny je pak možné zahrnout ostatní látky s většinou nespecifickými nebo různorodými negativními účinky.

4. INFORMACE O ČOV A NAPOJENÝCH ZDROJÍCH ZNEČIŠTĚNÍ²

4.1 NAPOJENÉ ZDROJE ZNEČIŠTĚNÍ

Likvidace odpadních vod pro celé město Brno (včetně napojených obcí mimo katastrální území Brno-město) je zajišťována na ústřední čistírně odpadních vod Brno-Modřice, která je umístěna na katastrálním území Modřic.

Na ČOV jsou přivedeny místní části Brna: Ivanovice, Mokrá Hora, Řečkovice, Medlánky, Obřany, Maloměřice, Lesná, Královo Pole, Husovice, Zábrdovice, Juliánov, Židenice, Líšeň, Slatina, Černovice, Komárov, Brněnské Ivanovice, Holásky, Přízřenice, Bohunice, Nový Lískovec, Starý Lískovec, Bosonohy, Kohoutovice, Jundrov, Žabovřesky, Komín, Bystrc a Chrlice. Kromě výše zmíněných místních částí Brna jsou na ČOV napojeny města Kuřim, a Modřice, obce Zelešice, Česká u Brna, Šlapanice, Šlapanice-Bedřichovice, Ostopovice, Moravské Knínice, Lipůvka, Podolí, Blažovice, Ponětovice a Rozdrojovice.

Hlavním producentem odpadních vod je obyvatelstvo, které činí 422 tis. připojených trvale bydlících obyvatel. Významnou část producentů znečištění dále tvoří občanská vybavenost, lidé s přechodným bydlištěm (zejm. studenti) a další významní producenti odpadních vod. Mezi významné producenty odpadních vod (tj. producenti s produkcí nad 50 tis. m³·rok⁻¹) spadají průmyslové podniky, nemocnice, školská zařízení a další. Těmito producenty jsou: Nová Mosilana, a.s.; SAKO Brno, a.s.; Fakultní nemocnice Brno; Heineken Česká republika, a.s.; Zetor, a.s. Veletrhy Brno, a.s.; Česká republika - Ministerstvo obrany; Linde Gas, a.s.; Vězeňská služba České republiky; Energo source alliance, a.s.; Vysoké učení technické v Brně; GE Power, s.r.o.; Erba Lachema s.r.o.; Fakultní nemocnice u sv. Anny v Brně; Královopolská, a.s.; Nová Mosilana, a.s.; Delta pekárny a.s.; ABB s.r.o.; Alphaduct, a.s.; Globus ČR, k.s.; IKEA Česká republika, s.r.o.; České dráhy, a.s.; a Mendelova zemědělská a lesnická univerzita.

4.2 ČOV BRNO-MODŘICE

První čistírna odpadních vod pro město Brno jako celek byla uvedena do provozu na počátku 60. let. Čistírna obsahovala úplný mechanický stupeň a biologický stupeň čištění odpadních vod zaměřený na odstraňování uhlíkatého znečištění s anaerobní mezofilní stabilizací kalu. Postupně docházelo ke zvyšování kapacity ČOV, rozšíření hrubého a mechanického předčištění a modernizaci hospodaření s kalem. V roce 2005 byla do trvalého provozu uvedena ČOV po poslední větší rekonstrukci, v rámci které došlo k vybudování nové biologické linky a před nátokem na mechanický stupeň čištění byla vybudována dešťová zdrž. V rámci této rekonstrukce byla rozšířena dosavadní úroveň čištění o nitrifikaci, částečnou denitrifikaci a snižování celkového fosforu biologickou cestou (tyto objemy nádrží byly následně přebudovány na denitrifikaci a bylo doplněno chemické srážení fosforu). Výsledkem je snížení hodnot zbytkového znečištění i u dalších sledovaných ukazatelů (BSK₅, CHSK, NL). Je tedy dosaženo souladu s požadavky EU (91/271/EHS). Zvláštní zřetel byl brán na malou vodnost recipientu (řeka Svratka, $Q_{355d} = 2,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

² Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Jihomoravského kraje; AQUATIS, a.s., https://www.kr-jihomoravsky.cz/archiv/ozp/PRVK_JMK/ [2017-05-18]

Odvádění a čištění odpadních vod | Brněnské vodárny a kanalizace, a.s.; <http://www.bvk.cz/o-spolecnosti/odvadeni-a-cistení-odpadnich-vod/>

Rozhodnutím o povolení k vypouštění odpadních vod je povoleno vypouštění max. $4,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (ročně max. $61\,520 \text{ m}^3 \cdot \text{rok}^{-1}$), kvalitativní parametry vyčištěné vody jsou stanoveny pomocí minimálních účinností odstranění a ročních bilancí: CHSK_G 85 % ($3322 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1}$), BSK_5 95 % ($615 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1}$), N_C 75 % ($615 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1}$), P_C 85 % ($46 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1}$), NL parametr „p“ $20 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ (max. $40 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ a $923 \text{ t} \cdot \text{rok}^{-1}$).

Surová odpadní voda přitéká na ČOV přes přítokový objekt současně plní funkci rozdělovací komory. Maximální přítok je pomocí stavidel omezen na $4,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, při vyšším přítoku se dešťová voda akumuluje v dešťové zdrži s kapacitou $10\,500 \text{ m}^3$. Naakumulovaná voda je po ukončení dešťové události přečerpávána zpět na přítok ČOV. Za přítokovým objektem je odpadní voda zbavena hrubého štěrku v lapáku štěrku a poté protéká jemnými, strojně stíranými česlemi se šířkou průlin 6 mm . Shrabky z česlí jsou lisovány a propírány vodou. Z česlovny voda gravitačně odtéká do provzdušňovaného lapáku písku vybaveného separací tuku. Písek je před uložením do kontejneru zpracováván v pračce písku. Voda zbavená písku je šnekovou čerpací stanicí čerpána do rozdělovacího objektu, kde se rozděluje na šest usazovacích nádrží. V bezdeštném období jsou do procesu zapojeny maximálně čtyři usazovací nádrže, zbývající dvě se připojují v případě dešťů. Usazovací nádrže zajišťují mechanické odstranění usaditelných látek. Mechanicky vyčištěná odpadní voda odtéká do mezičerpací stanice, odkud je čerpána do anaerobní části aktivace. Z anaerobní části aktivace s funkcí denitrifikace voda odtéká do oběhové anaerobní/aerobní nádrže s funkcí předřazené denitrifikace/nitrifikace. Posledním stupněm aktivace je aerobní část s jemnobublinou aerací rozdělená na provzdušňovanou a neprovzdušňovanou zónu. Vzduch je dodáván z dmychárny se čtyřmi turbo-dmychadly. Odbourávání fosforu je zajištěno dávkováním síranu železitého do odtoku z aktivace.

Z aktivačních nádrží postupuje aktivační směs do šesti dosazovacích nádrží, kde dochází k usazení aktivovaného kalu. Usazený kal je veden přes čerpací stanici vratného kalu do anaerobní zóny aktivace. Aktivovaný přebytečný kal, odebíraný z aktivace, je zpracováván v kalovém hospodářství. Odsazená vyčištěná voda odtéká do objektu odtoku vybaveným měřeními kvality a množství vody. Voda dále odtéká do řeky Svratky. Vedle odtokového objektu se nachází čerpací stanice užitkové vody, odkud je vyčištěná voda čerpána do jímky u objektu chlorovny a voda je pak dále dodávána do rozvodu užitkové vody.

Kalová linka je tvořena zahušťovací nádrží primárního kalu, flotačním zahušťovačem DAF pro biologický kal, homogenizační nádrží, vyhnívacími nádržemi, uskladňovací nádrží vyhnílého kalu, zařízením na odvodňování kalu a sušárnou kalu. Primární kal z usazovacích nádrží je zahušťován v gravitační zahušťovací nádrži kruhového typu a po zbavení vláknitých látek odtahován do kalové směšovací nádrže. Odsazená kalová voda se vrací do rozdělovacího objektu usazovacích nádrží. Přebytečný biologický kal, přiváděný z biologického stupně, je zahušťován ve flotační jednotce. Zálohou pro zahušťování primárního i sekundárního kalu jsou jednotky mechanických sít. Směsný surový kal z homogenizačních nádrží je dále čerpán do vyhnívacích komor. K odstraňování zejména vláknitých látek je v lince primárního kalu předřazena filtrace. Čtyři promíchávané vyhnívací nádrže jsou k zajištění podmínek pro růst mezofilních bakterií udržovány na teplotě $35 \text{ }^\circ\text{C}$. Doba zdržení kalu ve vyhnívacích nádržích je cca 22 dnů. Vyhnílý kal z uskladňovacích nádrží je odvodňován dekantační odstředivkou. Kal z odstředivky je šnekovým dopravníkem transportován do sušárny. Sušárna je lopatková s nepřímým ohřevem kalu. Pro přenos tepla je použit horký olej ($180 - 210 \text{ }^\circ\text{C}$) proudící uvnitř pláště, dutými hřídeli a lopatkami. Doba zdržení kalu přes tři hodiny v kombinaci s průměrnou teplotou kalu $100 \text{ }^\circ\text{C}$ umožňuje kaly pasterizovat a hygienizovat. Vysušený kal o sušině 90 – 92 % je ze sušárny dopravován pomocí chlazených dopravníků do dvou kontejnerů.

Bioplyn, produkovaný při vyhnívání kalu, je akumulován ve dvou membránových plynojemech o celkovém objemu 3 000 m³ a poté využíván pro výrobu elektrické energie a tepla v kogeneračních jednotkách o výkonu 1 MW. Pro tuto výrobu je zbravován sirovodíku v odsiřovací jednotce. Přebytečný bioplyn je spalován v hořících zbytkového plynu.

4.3 ODKANALIZOVÁNÍ AGLOMERACE BRNO

4.3.1 HISTORIE BUDOVÁNÍ KANALIZAČNÍ SÍTĚ

První stoky z cihelného nebo kamenného zdiva byly v Brně vybudovány v druhé polovině 17. století. Zřízení pisáreckého vodovodu roku 1872 vedlo k nárůstu množství odpadních vod a tak se v roce 1892 začalo s plánovaným budováním soustavné kanalizační sítě. Z té doby pocházejí první velké sběrače. Východní sběrná stoka vedla od začátku ulice Bratislavské a u železničního mostu tratě Brno – Břeclav byla vyústěna do Svatky. Druhý sběrač začínal při ulici Údolní a byl ukončen výustním objektem na levém břehu řeky Svatky na ulici Vídeňské. Vzhledem k malé vodnosti Svatky nařídilo tehdejší ministerstvo orby v roce 1896 vybudování sběrače propojující obě stoky, který dále odváděl odpadní vody za město do místa plánované ČOV.

Počátkem 20. století byl odkanalizován již prakticky celý střed města. V 20. letech bylo k městu připojeno 22 okrajových obcí a proto městský stavební úřad vypracoval generální projekt kanalizace města s připojením většiny městských čtvrtí na dosavadní stokovou síť, který uvažoval s vybudováním ČOV na soutoku řek Svatky a Svitavy.

Po poválečném útlumu byla v 50. letech pozornost soustředěna na budování kanalizace v předměstích Brna. Počátkem 70. let je rozšiřování kanalizační infrastruktury orientováno na vybavení nových sídlišť na okraji města, k jejichž budování dochází během dalších dvaceti let. Rovněž bylo investováno do dobudování vodohospodářských zařízení v předměstských lokalitách. K dalšímu útlumu v budování kanalizace dochází koncem 90. let.

4.3.2 KANALIZAČNÍ SÍŤ

Převážná část města (téměř 2/3 rozlohy) je odkanalizována jednotným systémem, který se zachoval z období prvního budování kanalizace. Stavební rozmach obytných sídlištních souborů v 70. a 80. letech 20. století by nadměrně zatížil stávající jednotný systém včetně ČOV, proto se v sídlištních budoval oddílný systém. Do stávající sítě jsou odváděny splaškové vody a srážkové jsou vedeny samostatnou kanalizací do toku. Oddílný systém je vybudován téměř ve všech sídlištních (Bohunice, Komín, Bystrc, Líšeň, Vinohrady, Kohoutovice, Komárov).

Základ stokové sítě města tvoří šest kmenových stok, označených "A" – "F". Kmenové stoky doplňují kmenové sběrače, které slouží např. k převedení splaškových vod z okrajové sídlištní výstavby starou zástavbou co nejbližší k ČOV. Na soustavu kmenových stok a sběračů je napojen systém hlavních stok, umožňujících odvodnění jednotlivých dílčích povodí. Detailní odkanalizování povodí zabezpečují uliční stoky. Nedílnou součástí jsou shybky, odlehčovací komory, vírové separátory, retenční nádrže, čerpací stanice, revizní resp. lomové šachty a další objekty (lapače splavenin, horské vpusti, proplachovací objekty, atd.).

Kostru kanalizační sítě tedy v současné době vytvářejí kmenové a hlavní stoky jednotné (resp. oddílné) soustavy. Stoky jednotného systému jsou následující:

- A - pravobřežní kmenová stoka řeky Svatky v úseku Staré Brno – Modřice
- B - levobřežní kmenová stoka řeky Svatky v úseku Kamenomlýnská – Královka

- C - kmenová stoka v trase bývalé Ponávky v úseku Řečkovice – Masná
- D - pravobřežní kmenová stoka řeky Svitavy v úseku Husovice – Královka
- E - levobřežní kmenová stoka řeky Svitavy v úseku Obřany – ČOV Modřice
- F - kmenová stoka v úseku Líšeň – Slatina – Modřice

Stoky oddílného systému (splaškové) jsou následující:

- AI - splašková stoka napojená do stoky E vedoucí z Bosonoh, Bohunic, Starého a Nového Lískovce
- BI - splašková stoka napojená do stoky B vedoucí z Bystrce, Komína (s napojením Kohoutovic), Kníniček a Žebětína
- CI - kmenová stoka napojená na stoku C, vybudovaná v úseku Kuřim – Řečkovice
- FI - splašková stoka napojená na stoku F vedoucí z Líšně, Židenic a Slatiny
- FII - splašková stoka napojená na stoku F vedoucí z Líšně, Tuřan a Chrlic

Na soustavu kmenových stok je napojen systém hlavních stok, které umožňují odvodnění jednotlivých dílčích povodí. Kanalizační síť dále doplňuje systém dešťových nádrží, umožňující snížení průtoku stokovým systémem během dešťových událostí.

Veřejná kanalizace města Brna je funkčně úzce spjata s řekami Svitavou, Svratkou a Leskavou. Velký počet dešťových oddělovačů umožňuje odlehčení dešťových odpadních vod za dešťových srážek do uvedených toků. Návaznost kanalizace na recipienty dešťovými oddělovači se však projevuje i záporně občasným zhoršením kvality říční vody.

4.3.2.1 KOSTRA KANALIZAČNÍ SÍŤ

Povodí kmenové stoky A se nachází na levém břehu řeky Svratky v jihozápadní až jižní části města Brna a odvádí odpadní vody z městských částí: Štýřice, část Bohunic, Horní Heršpice, Dolní Heršpice, Nové Moravany, Přízřenice a Modřice. V povodí kmenové stoky A se nachází 2 dešťové nádrže při ulici Sokolova a u jezů v Přízřenicích. Jejich funkcí je splnění přísnějších požadavků na kvalitu vody v toku a úspora investičních nákladů zachováním dimenze stávající stoky v místech, kde je její stavební stav dobrý.

Povodí kmenové stoky AI se nachází na levém břehu potoku Leskava v jihozápadní části města Brna a odvádí převážně splaškové odpadní vody z městských částí: Bohunice, Starý Lískovec, Nový Lískovec (část), Bosonohy a z obce Ostopovice. Stoka je napojena přímo na kmenovou stoku E.

Povodí kmenové stoky B se nachází v západní části města a prochází městskými částmi: Komín, Kohoutovice, Žabovřesky, Jundrov, Nový Lískovec, Bohunice – areál FN, Stránice, Brno-střed (Veveří, Pisárky, Stránice, Staré Brno, Brno – město a Trnitá) a Brno-jih (Komárov a Horní Heršpice). V povodí se nachází dešťová nádrž při ulici Jeneweinova.

Povodí kmenové stoky BI se nachází v severozápadní části města Brna a odvádí splaškové odpadní vody z městských částí Komín, Bystrc a Žebětín a je zaústěna do kmenové stoky B. V budoucnu bude odvádět odpadní vody i z Jižního centra a stoka bude zaústěna do kmenové stoky AI.

Povodí kmenové stoky C se nachází v severní části města Brna a odvádí odpadní vody z městských částí a čtvrtí: Útěchov, Ořešín, Jehnice, Ivanovice, Mokrý Hora, Řečkovice, Královo Pole, Medlánky, Brno-střed (Veveří a Zábrdovice) a Brno-sever (Lesná, Sadová, Černá Pole, Ponava a Soběšice).

Povodí kmenové stoky CI zahrnuje lokality: Lesná – Sadová, Soběšice, Útěchov, Ořešín, Jehnice, Mokrá Hora, Česká, Lelekovice a Kuřim (Moravské Knínice, Lipůvka) a v současnosti odvádí splaškové odpadní vody do kmenové stoky C.

Povodí kmenové stoky D se nachází na pravém břehu řeky Svitavy a odvádí odpadní vody z městských částí: Brno-sever (Lesná, Husovice, Černá Pole a Zábrdovice), Brno-střed (Trnitá) a Brno-jih (Komárov, Horní Heršpice a Dolní Heršpice).

Povodí kmenové stoky E a EI se nachází na levém břehu řeky Svitavy ve východní části města Brna a odvádí odpadní vody z městských částí: Brněnské Ivanovice, Černovice, Slatina, Židenice, Husovice, Maloměřice a Obřany. Kmenová stoka EI bude odvádět splaškové vody z oblastí v severní části města Brna a z části Brna-venkova a oblasti napojené na kmenovou stoku CI (Lesná-Sadová, Soběšice, Útěchov, Mokrá Hora, Ořešín, Česká, Lelekovice, Kuřim, Moravské Knínice a Lipůvka). Kmenová stoka EI bude mít funkci paralelní kmenové stoky, která umožní snížení přítoků do kmenové stoky E (čímž umožní její rekonstrukci ve stávajícím profilu). Dešťové nádrže jsou na stoce EI v prostoru vysílače Ráječek a v Brněnských Ivanovicích a na stoce E v těchto lokalitách: ulice Stinná, Lazaretní, Hamry a při ulici Zázmolí.

Povodí kmenové stoky F a sběrače FI a FII se nachází na levém břehu řeky Svitavy a odvádí převážně splaškové odpadní vody (částečně odlehčené vody z jednotných stok) z městských částí: Slatina, Tuřany, Chrlice, Líšeň, Židenice, Holásky a Brněnské Ivanovice. Kromě sběrače FI je dalším významným přítokem kmenové splaškový sběrač FII, který odvodňuje obce: Podolí, Šlapanice, Ponětovice, Podolí u Brna, Jiříkovice, Blažovice, Prace, Kobylnice, Tvarožná, Sivice, Pozořice, Viničné Šumice, Kovalovice, Mokrá a Velatice.

5. DOSAŽENÉ ÚČINNOSTI ODSTRANĚNÍ ZNEČIŠTĚNÍ

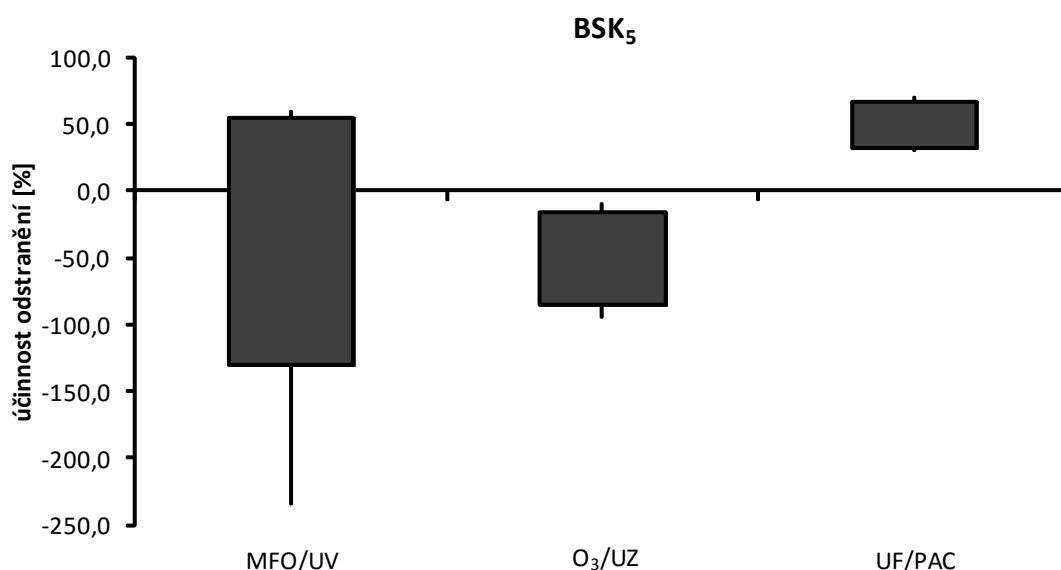
Na obrázcích obr. 13 až obr. 24 v kapitolách 5.1, 5.2 a 5.3 jsou uvedeny rozsahy účinností odstranění základních parametrů, mikrobiologického znečištění a chemického znečištění. Rozsah účinností odstranění sledovaného znečištění je na níže uvedených grafech (tj. na obr. 13 až obr. 24) vyjádřen pomocí čtyř statistických veličin. Data, ze kterých byly tyto veličiny vypočteny, jsou průměrné účinnosti odstranění v jednotlivých provozních stavech. Jako statistické veličiny byly zvoleny:

- maximum (na grafu vyjádřeno horním koncem svislé přímky);
- minimum (na grafu vyjádřeno dolním koncem svislé přímky);
- 95% kvantil (na grafu vyjádřeno horním okrajem sloupce);
- 5% kvantil (na grafu vyjádřeno dolním okrajem sloupce).

Rozmezí účinností odstranění, které je v grafech vyjádřeno sloupci poměrně dobře u pilotních jednotek O₃/UZ a UF/PAC koresponduje s dávkou ozonu, respektive aktivního uhlí a tedy i s provozními náklady na dočištění biologicky čištěné odpadní vody (viz tab. 4 a tab. 5). U pilotní jednotky MFO/UV toto platí pouze u mikrobiologického znečištění a navíc pouze v omezené míře (provozní náklady viz tab. 3).

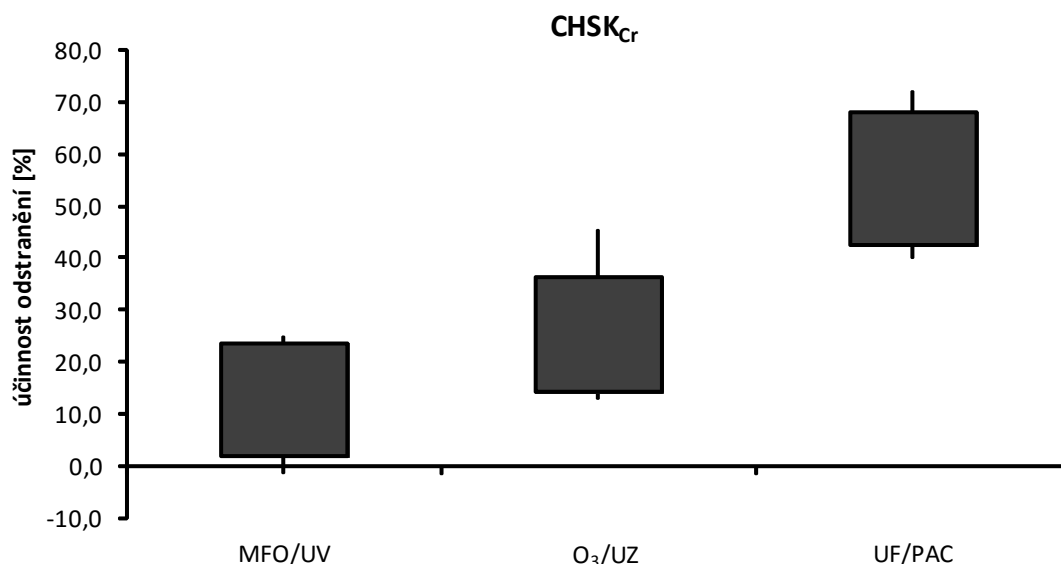
5.1 ZÁKLADNÍ PARAMETRY

Rozsah účinnosti odstranění BSK₅ je uveden na obr. 13, pro pilotní jednotku MFO/UV je velmi vysoký rozptyl daný provozním stavem s dávkováním kyseliny peroctové, která způsobovala v průměru více než dvojnásobný nárůst BSK₅. Při vypuštění tohoto provozního stavu ze souboru dat je 5% kvantil i minimum pro pilotní jednotku MFO/UV cca -40 %. U pilotní jednotky O₃/UZ se nejčastěji dá očekávat nárůst BSK₅ o Q_{0,05} = 15 až Q_{0,95} = 85 % v závislosti na dávce ozonu (při vyšší dávce je vyšší nárůst BSK₅). Odstranění BSK₅ je nejstabilnější u pilotní jednotky UF/PAC, kde jsou hodnoty kvantilů Q_{0,05} = 33 % a Q_{0,95} = 67 % v závislosti na dávce aktivního uhlí.



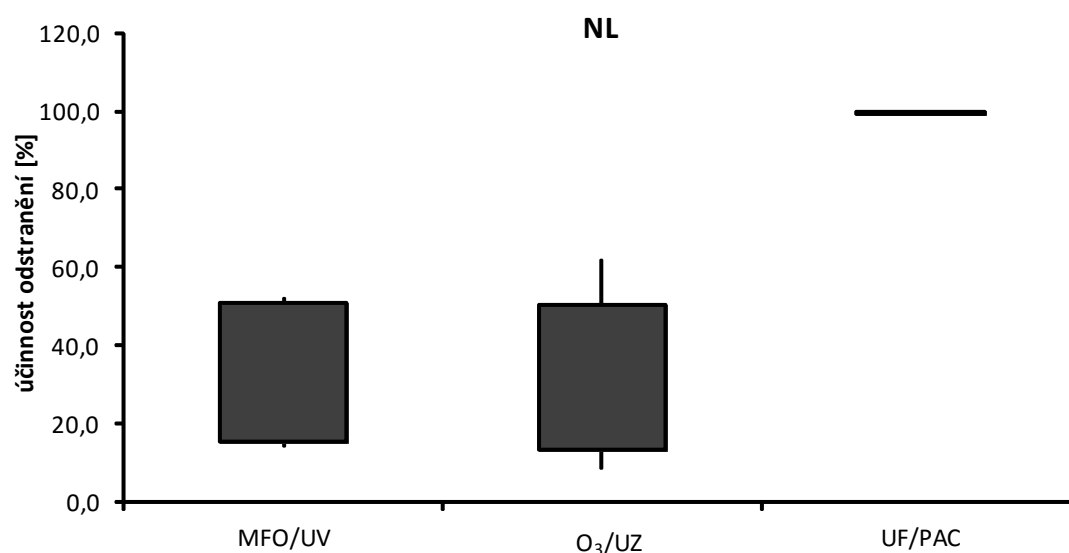
obr. 13 Rozsah účinností odstranění BSK₅ na jednotlivých pilotních jednotkách

Nejvyššího odstranění BSK_5 je tedy možné dosáhnout úpravou vody na pilotní jednotce UF/PAC. Je-li však žádoucí zvyšování biologické rozložitelnosti vyčištěné odpadní vody, je vhodná úprava pilotní jednotkou O_3/UZ .



obr. 14 Rozsah účinností odstranění $CHSK_{Cr}$ na jednotlivých pilotních jednotkách

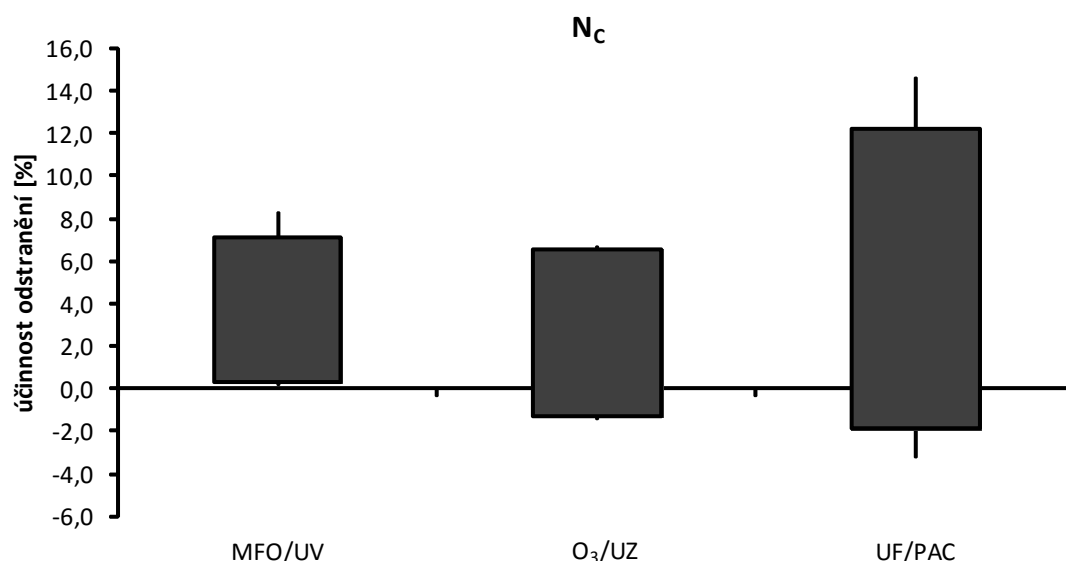
Účinnosti odstranění $CHSK_{Cr}$ (viz obr. 14) jsou podobně jako u parametru BSK_5 nejvyšší u pilotní jednotky UF/PAC, hodnoty kvantilů jsou $Q_{0,05} = 42 \%$ a $Q_{0,95} = 68 \%$. Pilotní jednotka O_3/UZ odstraňuje $CHSK_{Cr}$ v menší míře v závislosti na dávce ozonu, hodnoty kvantilů jsou $Q_{0,05} = 14 \%$ a $Q_{0,95} = 36 \%$. Nejméně $CHSK_{Cr}$ je odstraněno na pilotní jednotce MFO/UV ($Q_{0,05} = 2 \%$ a $Q_{0,95} = 24 \%$).



obr. 15 Rozsah účinností odstranění nerozpuštěných látek na jednotlivých pilotních jednotkách

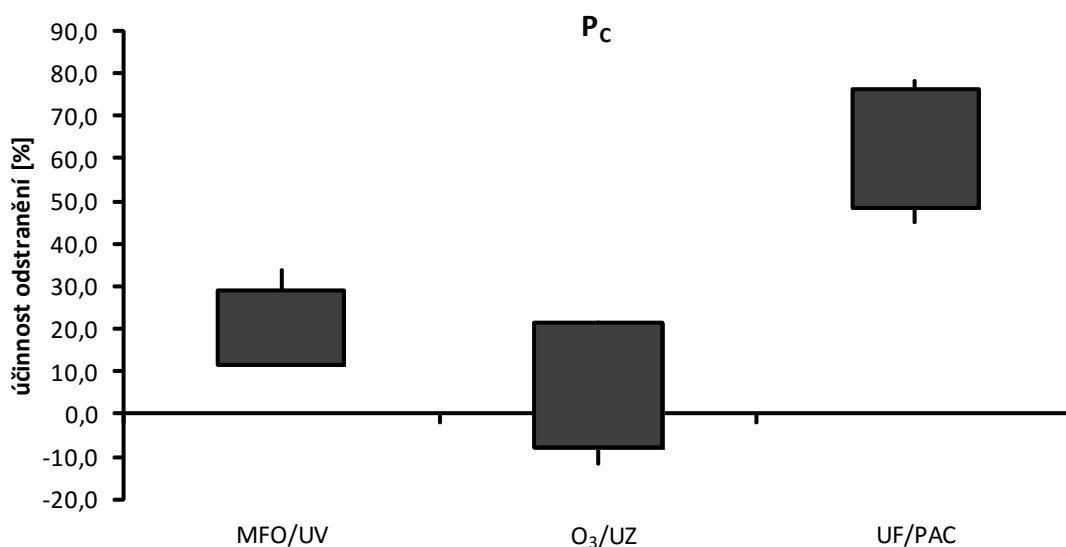
Nerozpuštěné látky (viz obr. 15) jsou u pilotní jednotky UF/PAC díky membránové separaci odstraněny vždy pod mez detekce. Pilotní jednotky MFO/UV a O_3/UZ odstraňují nerozpuštěné látky obě v podobné úrovni, $Q_{0,05} \sim 15 \%$ až $Q_{0,95} \sim 50 \%$. U pilotní jednotky MFO/UV jsou účinnosti odstranění následující: odstranění je přibližně 50 % při vstupních koncentracích NL nad cca $10 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ NL a při nižších vstupních koncentracích je na odtoku

přibližně $5 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ NL (případně cca shodné koncentrace jako na přítoku v případě, že na přítoku jsou koncentrace pod $5 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ NL).



obr. 16 Rozsah účinností odstranění celkového dusíku na jednotlivých pilotních jednotkách

Účinnosti odstranění celkového dusíku (obr. 16) jsou u všech pilotních jednotek na úrovni chyby stanovení. Lze tedy tvrdit, že ani u jedné pilotní jednotky nedochází k významnému odstranění celkového dusíku.

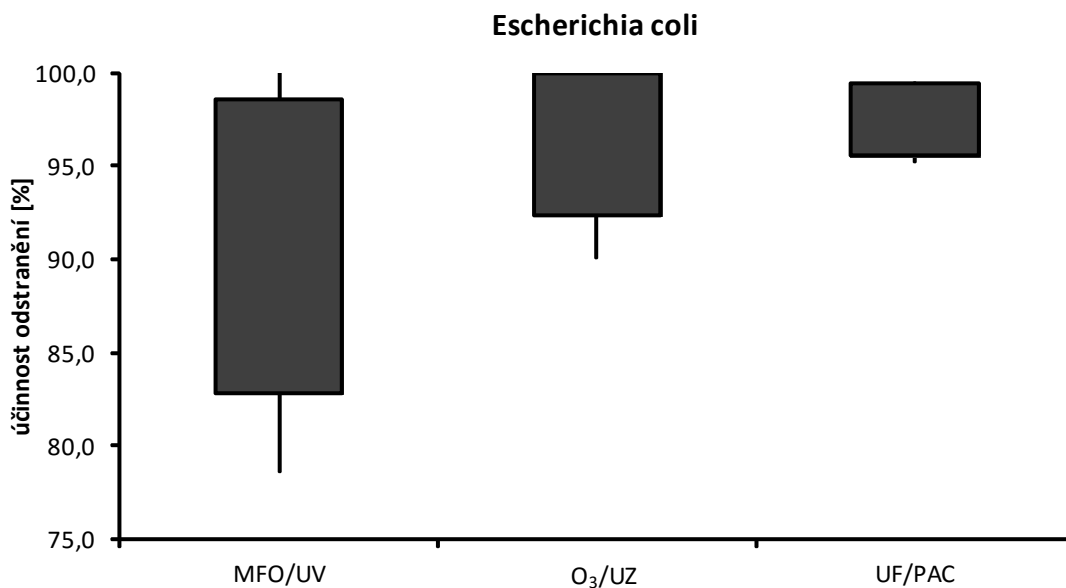


obr. 17 Rozsah účinností odstranění celkového fosforu na jednotlivých pilotních jednotkách

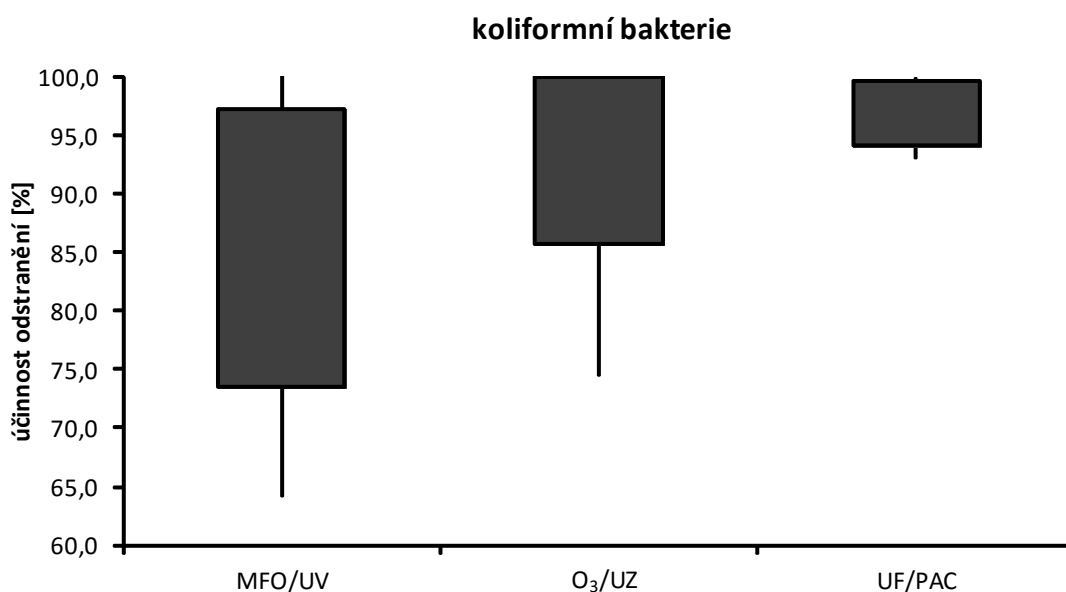
Účinnosti odstranění celkového fosforu (obr. 17) se u pilotní jednotky O₃/UZ pohybují na úrovni chyby stanovení. U pilotní jednotky MFO/UV jsou účinnosti odstranění nízké, hodnoty kvantilů jsou $Q_{0,05} = 12 \%$ a $Q_{0,95} = 29 \%$ v závislosti na vstupní koncentraci (při vyšších vstupních koncentracích jsou vyšší účinnosti odstranění). Odstranění celkového fosforu pilotní jednotkou UF/PAC je díky membránové separaci a chemickému srážení fosforu na ČOV Brno-Modřice vysoké. Hodnoty kvantilů jsou $Q_{0,05} = 49 \%$ a $Q_{0,95} = 76 \%$.

5.2 MIKROBIOLOGICKÉ ZNEČIŠTĚNÍ

Mikrobiologické znečištění bylo v případě pilotní jednotky UF/PAC po dobu prvních 2 měsíců na úrovni 0 KTJ·10 ml⁻¹. Od poruchy dmyhadla, které způsobilo mechanické poškození membrány, byly výstupní koncentrace mikrobiologického znečištění vyšší a kvantily účinností odstranění se za celou dobu testování pohybují mezi Q_{0,05} = 95,6 % a Q_{0,95} = 99,5 % pro parametr *Escherichia coli* (viz obr. 18), Q_{0,05} = 94,2 % a Q_{0,95} = 99,6 % pro parametr koliformní bakterie (viz obr. 19); a Q_{0,05} = 96,1 % a Q_{0,95} = 99,8 % pro parametr enterokoky (viz obr. 20). Při nepoškozené membráně je možné vzhledem k membránové filtraci zaručit 0 KTJ·10 ml⁻¹ pro všechny sledované mikrobiologické ukazatele.



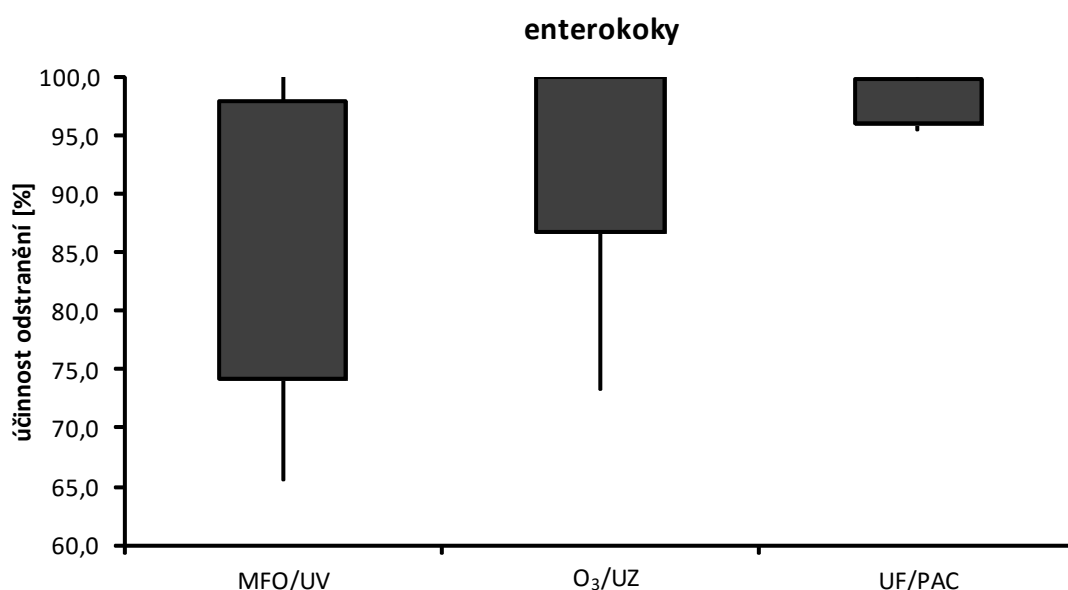
obr. 18 Rozsah účinností odstranění *Escherichia coli* na jednotlivých pilotních jednotkách



obr. 19 Rozsah účinností odstranění koliformních bakterií na jednotlivých pilotních jednotkách

U pilotní jednotky O₃/UZ je rozsah účinností odstranění mikrobiologického znečištění větší, protože odstranění je přímo závislé zejm. dávce ozonu (nejmenší testovaná dávka byla pouhé 2 mg·l⁻¹ O₃). Kvantily účinností odstranění jsou Q_{0,05} = 92,3 % a Q_{0,95} = 100 % pro *Escherichia coli*; Q_{0,05} = 85,6 % a Q_{0,95} = 100 % pro parametr koliformní bakterie; a Q_{0,05} = 86,8 % a Q_{0,95} = 100 % pro parametr enterokoky.

Největší rozsah účinností odstranění mikrobiologického znečištění je u pilotní jednotky MFO/UV, kde jsou současně i průměrné účinnosti odstranění nižší. Kvantily účinností odstranění jsou Q_{0,05} = 82,8 % a Q_{0,95} = 98,6 % pro *Escherichia coli*; Q_{0,05} = 73,5 % a Q_{0,95} = 97,2 % pro parametr koliformní bakterie; a Q_{0,05} = 74,2 % a Q_{0,95} = 97,9 % pro parametr enterokoky.



obr. 20 Rozsah účinností odstranění enterokoků na jednotlivých pilotních jednotkách

K úplnému odstranění mikrobiologického znečištění je nejvhodnější pilotní jednotka UF/PAC, u které je pouhou membránovou separací dosažitelné 0 KTJ·10 ml⁻¹ za předpokladu mechanicky neporušené membrány. Provozní náklady by se bez dávkování dalších chemikálií pohybovaly mírně pod 1 Kč·m⁻³ (provozní náklady viz tab. 5).

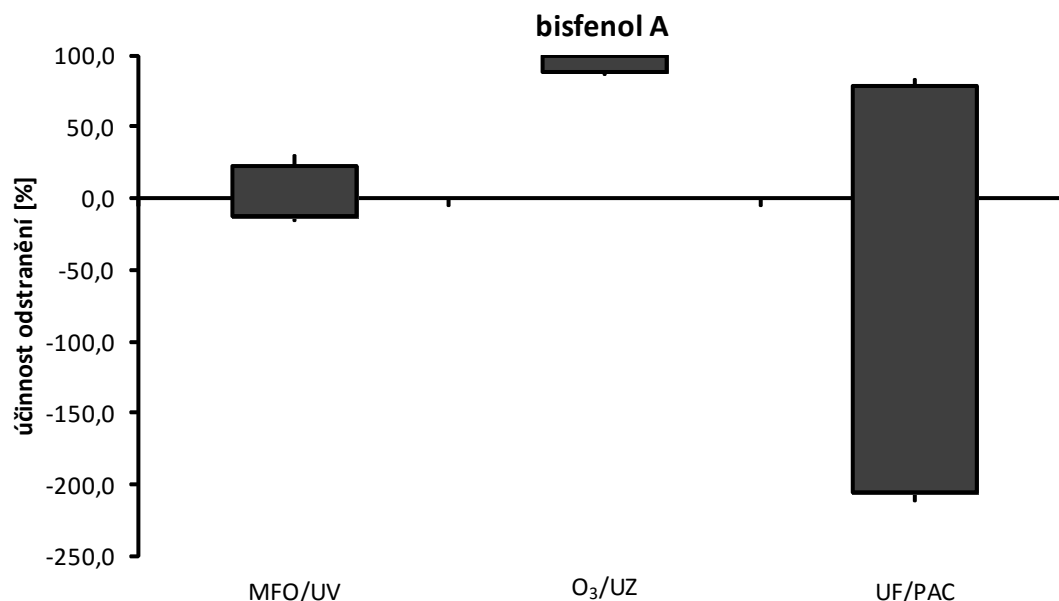
U pilotní jednotky MFO/UV jsou provozní náklady přibližně srovnatelné jako u UF/PAC, ale míra odstranění mikrobiologického znečištění je menší. Pilotní jednotka MFO/UV je však méně investičně náročná a současně je výrazně méně náročná na provozování (na rozdíl od membránových technologií se jedná o technologie, se kterými mívají provozní společnosti zkušenosti).

Při požadavku na částečné odstranění mikrobiologického znečištění vychází z hlediska nákladů nejlépe pilotní jednotka O₃/UZ. To je dáno nízkými jednotkovými provozními i investičními náklady v případě nízké dávky ozonu, tj. 2 mg·l⁻¹ O₃. V tomto případě jsou provozní náklady cca 0,5 Kč·m⁻³ a na odtoku je přibližně 200 KTJ·ml⁻¹ (blíže viz zpráva C2d2). Nevýhodou je vyšší náročnost na obsluhu a částečné zvyšování ekotoxicity.

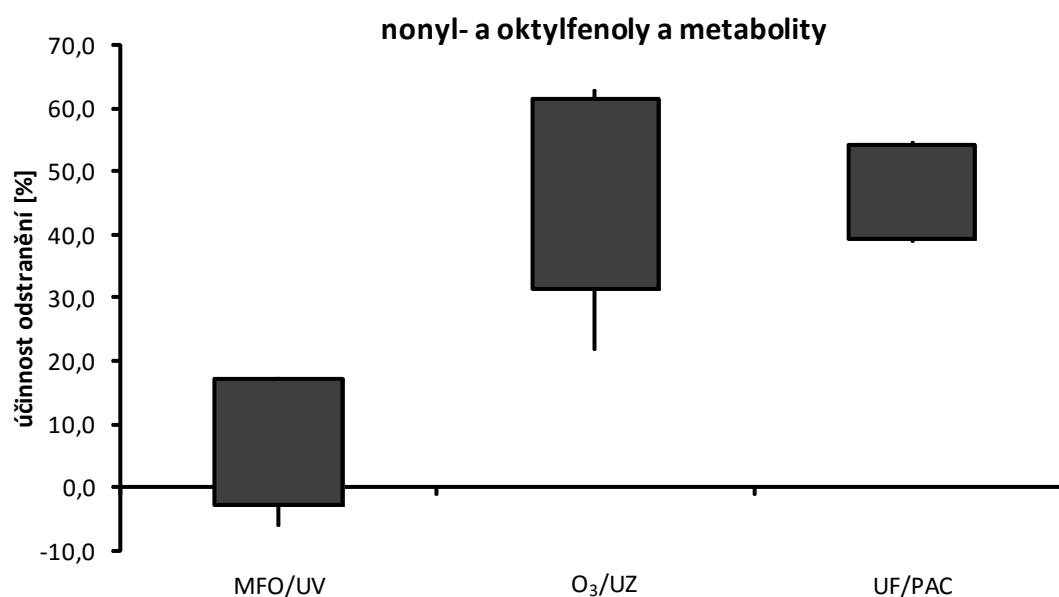
5.3 CHEMICKÉ ZNEČIŠTĚNÍ

V případě bisfenolu A (obr. 21) jsou výsledky z každé pilotní jednotky diametrálně odlišné od těch zbývajících. V případě pilotní jednotky MFO/UV byly změny v koncentraci bisfenolu A na výstupu z jednotky menší než je nejistota stanovení, tj. na pilotní jednotce MFO/UV

nedocházelo k odstranění bisfenolu A. U pilotní jednotky O₃/UZ byly účinnosti odstranění bisfenolu A velmi vysoké, ve většině provozních stavů byly koncentrace na odtoku pod mezí detekce. Kvantily účinností odstranění bisfenolu A pro pilotní jednotku O₃/UZ jsou Q_{0,05} = 88,5 % a Q_{0,95} = 99,1 %. Rozsah účinností odstranění bisfenolu A je pro poslední pilotní jednotku UF/PAC velmi velký (Q_{0,05} = -206 % a Q_{0,95} = 78 %), protože ve výsledcích jsou dva z hlediska bisfenolu A odlišné stavy: 1) stavy, kdy byly na přítoku nízké koncentrace bisfenolu A a současně vysoké koncentrace na odtoku díky kontaminaci; 2) stavy, kdy na odtoku byly nízké koncentrace (tj. po výměně membrány) a na přítoku byly v zimním období koncentrace bisfenolu A zvýšené. Blíže jsou tyto stavy popsány ve zprávě C3d2.



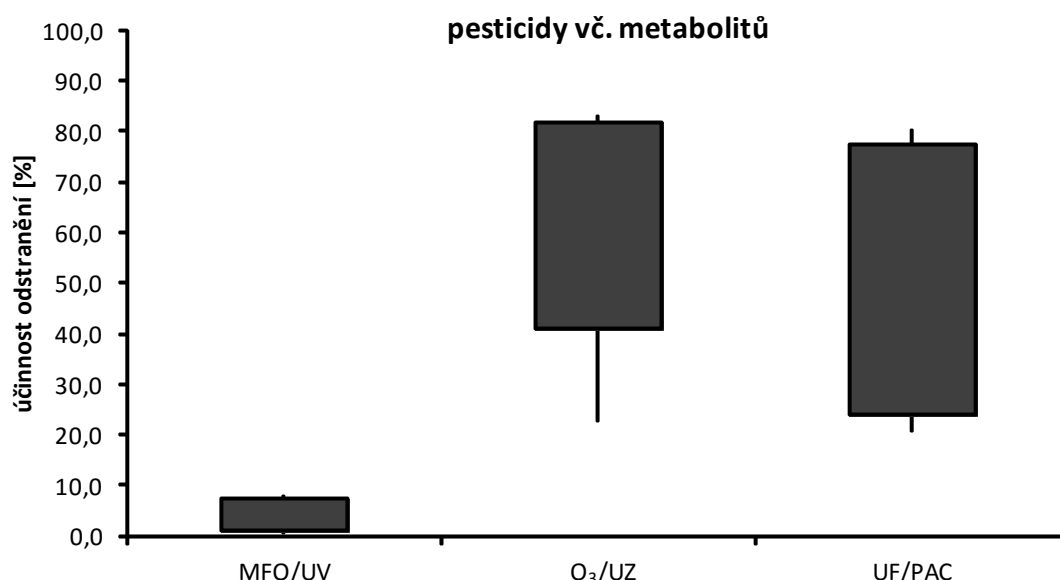
obr. 21 Rozsah účinností odstranění bisfenolu A na jednotlivých pilotních jednotkách



obr. 22 Rozsah účinností odstranění nonyl- a oktylfenolů a jejich metabolitů na jednotlivých pilotních jednotkách

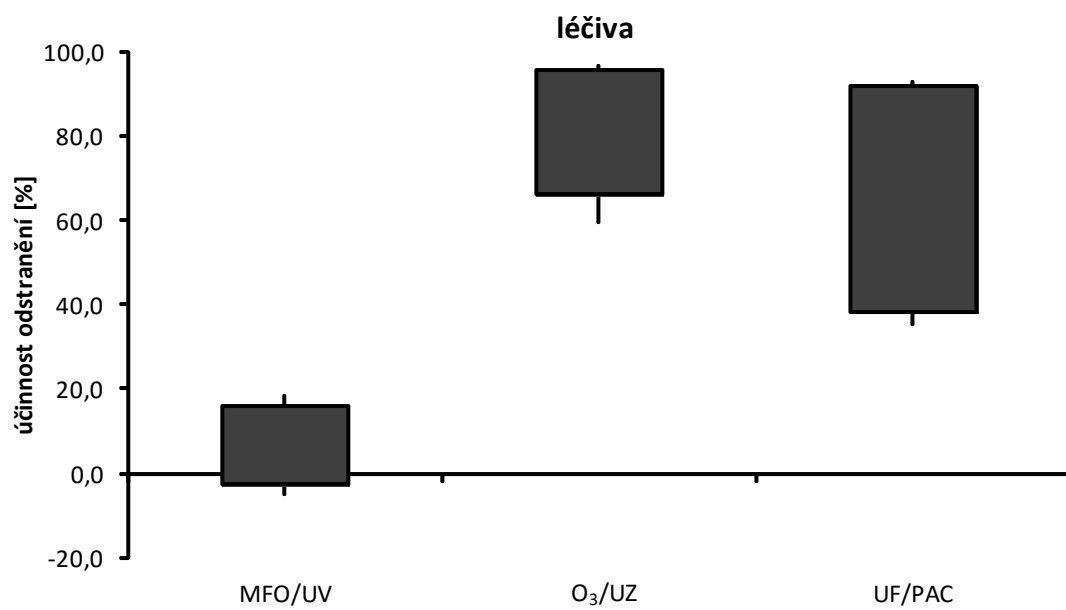
Rozsahy účinností odstranění nonylfenolů a oktylfenolů a jejich metabolitů (obr. 22) byly poměrně malé a účinnosti odstranění byly rovněž nízké. U pilotní jednotky MFO/UV byly účinnosti odstranění pod chybou stanovení, tj. k jejich odstraňování nedocházelo. U zbylých pilotních jednotek byly účinnosti odstranění průměrně cca 50 %. Kvantily účinností odstranění jsou $Q_{0,05} = 32,2 \%$ a $Q_{0,95} = 61,4 \%$ pro pilotní jednotku O_3/UZ ; a $Q_{0,05} = 39,3 \%$ a $Q_{0,95} = 54,1 \%$ pro pilotní jednotku UF/PAC.

Pesticidy včetně metabolitů (viz obr. 23) nebyly u pilotní jednotky MFO/UV odstraněny na úroveň vyšší než je nejistota stanovení. Účinné látky pesticidů byly pilotními jednotkami O_3/UZ i UF/PAC odstraněny v podobně velké míře, u pilotní jednotky UF/PAC byly účinnosti odstranění nepatrně menší, avšak méně kolísaly. Kvantily účinností odstranění u pilotní jednotky O_3/UZ jsou $Q_{0,05} = 47,4 \%$ a $Q_{0,95} = 89,7 \%$ pro účinné látky pesticidů a $Q_{0,05} = 41,1 \%$ a $Q_{0,95} = 82,0 \%$ pro pesticidy včetně metabolitů. Pro pilotní jednotku UF/PAC jsou následující: $Q_{0,05} = 41,1 \%$ a $Q_{0,95} = 84,1 \%$ pro účinné látky pesticidů a $Q_{0,05} = 24,2 \%$ a $Q_{0,95} = 77,4 \%$ pro pesticidy včetně metabolitů.



obr. 23 Rozsah účinností odstranění pesticidů a jejich metabolitů na jednotlivých pilotních jednotkách

Suma sledovaných léčiv (viz obr. 24) na odtoku z pilotní jednotky MFO/UV se nijak výrazně nemění, dochází pouze k odstraňování většího množství diklofenaku a iomeprolu a ve velmi malém množství dochází i k odstraňování většiny ostatních sledovaných léčiv. Kvantily účinností odstranění sumy léčiv jsou pro pilotní jednotku MFO/UV $Q_{0,05} = -2,5 \%$ a $Q_{0,95} = 16,1 \%$. Účinnosti odstranění léčiv pilotní jednotkou O_3/UZ jsou vysoké, rozsah účinností odstranění je poměrně malý a jako špatně odstranitelné i při vysokých dávkách ozonu lze označit rentgenové kontrastní látky. Kvantily účinností odstranění sumy léčiv jsou pro pilotní jednotku O_3/UZ $Q_{0,05} = 66,5 \%$ a $Q_{0,95} = 95,6 \%$. Pilotní jednotka UF/PAC dosahuje horších účinností odstranění a vyššího rozsahu účinností odstranění ve srovnání s pilotní jednotkou O_3/UZ . Kvantily účinností odstranění sumy léčiv jsou pro pilotní jednotku O_3/UZ $Q_{0,05} = 38,2 \%$ a $Q_{0,95} = 91,7 \%$. Pro pilotní jednotku UF/PAC jsou rovněž špatně odstranitelné rentgenové kontrastní látky, ale navíc i např. furosemid, diklofenak, tramadol nebo sulfametoxazol.



obr. 24 Rozsah úinností odstranění sledovaných lčiv na jednotlivých pilotních jednotkách

6. PROVOZNÍ POZNATKY

6.1 ODBĚRY VZORKŮ

Odběry vzorků byly prováděny vzorkaři partnera BVK každý vzorkovací den ve stanovený čas (cca v 7:30). Vzorky byly odebírány automatickými vzorkovači jako vzorky směsné 24 hodinové vytvořené slévání 24 dílčích objemů odebíraných v intervalech 60 minut. Bližší informace k metodice odběru a umístěním odběrných míst jsou uvedeny ve zprávě A1d2.

Během prvního roku testování kdy byly testovány pilotní jednotky MFO/UV a O₃/UZ byly veškeré analyzované vzorky odebírány prostřednictvím automatických vzorkovačů. Během tohoto období byly zaznamenány některé nedostatky tohoto způsobu odběru. Prvním nedostatkem byla kontaminace vzorků alkylfenoly (viz kapitola 6.2) a druhým byla nedostatečná reprezentativnost odebraných vzorků z hlediska mikrobiologického. Dekontaminace vzorkovačů a přívodního potrubí byla prováděna pravidelně na začátku vzorkovací kampaně, avšak i přes to bylo důvodné podezření na to, že vzorky nejsou reprezentativní. Sběrné nádoby umístěné ve vzorkovačích byly po každém odebraném vzorku vyměňovány za sterilní. Z tohoto důvodu byl v druhém roce testování pro odběr mikrobiologických vzorků na výstupu z pilotní jednotky UF/PAC zvolen vzorek bodový (odběr přímo z proudu vody vtékající do nádrže permeátu).

Z hlediska zamezení mikrobiologické kontaminace bylo nutné stanovit pravidla pro manipulaci se vzorky a použitými pomůckami. Z počátku byly vzorky odebírány do širokohrdlé lahve, ze které nebylo možné vzorek přelit do vzorkovnic bez rizika kontaminace. Mikrobiologické vzorky tedy byly odebírány sterilní naběračkou. Později byly z důvodu křehkosti vyměněny za úzkohrdlé nádoby, ze kterých bylo možné přes sterilní nálevku vzorek přelit do vzorkovnice. Další manipulace během odběru a po jeho odebrání je shodná se zásadami pro odběr mikrobiologických vzorků pitné vody. Mikrobiologické vzorky z výstupu pilotní jednotky UF/PAC byly odebírány postupem jako by se jednalo o pitnou vodu.

Možná kontaminace některou ze sledovaných chemických látek byla minimalizována používáním čisté sběrné nádoby pro každý vzorek, dále používáním čisté nerezové sběračky v období používání širokohrdlých sběrných nádob, čisté skleněné nálevky a zejména pak vhodným materiálem sacích hadic vzorkovačů (viz kapitola 6.2). Dále je nutné dodržet zásady, které se v mnohém podobají zásadám pro odběr mikrobiologických vzorků pitné vody (tzn. zejména omezit styk vody s jinými materiály na naprosté minimum).

Vzorkovnice pro stanovení základních parametrů byly plastové, pro stanovení mikrobiologických parametrů byly skleněné se zábrusem s hrdlem zakrytým hliníkovou fólií. Vzorkovnice pro chemické znečištění byly několika typů, vždy se však jednalo o skleněnou nádobu s plastovým uzávěrem s PTFE těsněním (ve styku se vzorkem je pouze PTFE).

Vzorkovnice byly pro každý vzorek vždy čisté a v souladu se zvyklostmi partnerů projektu. Vzorkovnice pro analýzy prováděné partnerem BVK (mikrobiologická a základní stanovení) byly používány opakovaně, jejich umývání před každým použitím bylo zajištěno standardními postupy v laboratoři BVK. Vzorkovnice pro vzorky analyzované partnerem ALS včetně vzorkovnic se zálohou byly jednorázové.

6.2 KONTAMINACE VZORKŮ ALKYLFENOLY

Již ve fázi návrhu projektu bylo projektovým partnerům zřejmé, že vzhledem k nízkým limitům detekce bude problematická kontaminace vyčištěné vody vybranými alkylfenoly.

Toto je navíc umocněno všudypřítomností vybraných alkylfenolů. Při návrhu pilotních jednotek byly vybírány komponenty vyráběné z materiálů, u kterých byl předpoklad, že budou do upravované vody vylučovat co nejmenší množství sledovaných látek.

Vzhledem k vysokému podílu nerezových částí bylo bez jakýchkoliv testů materiálů použitých v pilotních jednotkách MFO/UV a O₃/UZ zahájeno testování těchto jednotek. Po několika hodinách provozu pilotních jednotek bez dávkování chemikálií byly odebrány tzv. slepé vzorky. Tyto vzorky slouží k ověření, jestli dochází nebo nedochází k výluhu alkylfenolů z pilotních jednotek do upravované vody.

Z výsledků je patrné, že nejproblematictější je bisfenol A, v menší míře i nonylfenoly (směs izomerů). Proto v reakci na tyto výsledky byl proveden průzkum na trhu dostupných trubiček vhodných pro použití jako sací potrubí vzorkovače. Byly odebrány vzorky dostupných trubiček, vybraných již použitých materiálů pilotních jednotek a byly podrobeny analýze obsahu alkylfenolů (vzorky byly připraveny loužením součástí pilotní jednotky v MilliQ vodě, přechod látek ze součástí do vody byl podpořen ultrazvukem a vzniklý výluh byl analyzován jako běžné vzorky). Analýzám bylo rovněž podrobeno PAN membránové vlákno membránových modulů použitých v pilotní jednotce UF/PAC. Rozbory vlastního membránového vlákna ukázaly, že PAN membránové vlákno obsahuje nezanedbatelné koncentrace jak bisfenolu A, tak nonylfenolů.

6.3 JEDNOTKOVÉ PROVOZNÍ A CELKOVÉ NÁKLADY

Níže v tab. 3 až tab. 5 jsou uvedeny jednotkové provozní a celkové náklady na dočištění biologicky čištěných odpadních vod pomocí pilotních jednotek testovaných v rámci projektu. Náklady na dočištění jsou stanoveny pro COV velikostní kategorie 500 až 2000 EO (což odpovídá kapacitě pilotních jednotek). V provozních nákladech jsou zahrnuty náklady na elektrickou energii, kyslík, PAC, chemikálie (peroxid vodíku, kyselina peroctová a čisticí roztok pro UV lampy), vodu, výměnu UV lamp a plachetky mikrosíta a osobní náklady. V celkových nákladech jsou zahrnuty náklady provozní a odpisy ze stavební a strojní části společně s náklady na údržbu. Bližší informace k jednotkovým nákladům jsou uvedeny ve zprávách C1d3, C2d3 a C3d3.

tab. 3 Jednotkové provozní a celkové náklady na dočištění pro MFO/UV v uvedených provozních stavech

provozní stav	náklady provozní	náklady celkové
	[Kč·m ⁻³]	
5 l·s ⁻¹ + UV	0,75	2,38
3 l·s ⁻¹ + UV	1,22	3,52
1 l·s ⁻¹ + UV	3,53	8,93
3 l·s ⁻¹ + UV + 5 mg·l ⁻¹ H ₂ O ₂	1,66	4,13
3 l·s ⁻¹ + UV + 3 mg·l ⁻¹ H ₂ O ₂	1,53	4,00
3 l·s ⁻¹ + UV + 2 mg·l ⁻¹ H ₂ O ₂	1,43	3,89
5 l·s ⁻¹ + UV + 2 mg·l ⁻¹ H ₂ O ₂	0,94	2,64
5 l·s ⁻¹ + UV + 5 mg·l ⁻¹ H ₂ O ₂	1,15	2,85
3 l·s ⁻¹ + UV + 5 mg·l ⁻¹ PAA	1,70	4,16
5 l·s ⁻¹ + UV + 2 mg·l ⁻¹ H ₂ O ₂ (za UV reaktor)	0,88	2,49
5 l·s ⁻¹ + UV + 5 mg·l ⁻¹ H ₂ O ₂ (za UV reaktor)	1,07	2,69
5 l·s ⁻¹ + UV + 10 mg·l ⁻¹ H ₂ O ₂ (za UV reaktor)	1,40	3,01

tab. 4 Jednotkové provozní a celkové náklady na dočištění pro O₃/UZ v uvedených provozních stavech

provozní stav	náklady provozní	náklady celkové
	[Kč·m ⁻³]	
průtok odpadní vody 10,4 l·s ⁻¹ + 2 mg·l ⁻¹ O ₃	0,48	1,40
průtok odpadní vody 4,2 l·s ⁻¹ + 5 mg·l ⁻¹ O ₃	1,08	3,16
průtok odpadní vody 2,1 l·s ⁻¹ + 10 mg·l ⁻¹ O ₃	2,07	5,89
průtok odpadní vody 1,0 l·s ⁻¹ + 20 mg·l ⁻¹ O ₃	4,05	11,11
průtok odpadní vody 0,4 l·s ⁻¹ + 50 mg·l ⁻¹ O ₃	10,00	26,28
průtok odpadní vody 4,2 l·s ⁻¹ + 5 mg·l ⁻¹ O ₃ + 2 mg·l ⁻¹ H ₂ O ₂	1,29	3,43
průtok odpadní vody 2,1 l·s ⁻¹ + 10 mg·l ⁻¹ O ₃ + 4 mg·l ⁻¹ H ₂ O ₂	2,51	6,48
průtok odpadní vody 4,2 l·s ⁻¹ + 5 mg·l ⁻¹ O ₃ + 625 J·l ⁻¹ UZ	1,60	3,86
průtok odpadní vody 2,1 l·s ⁻¹ + 10 mg·l ⁻¹ O ₃ + 625 J·l ⁻¹ UZ	2,67	6,89
průtok odpadní vody 1,0 l·s ⁻¹ + 20 mg·l ⁻¹ O ₃ + 800 J·l ⁻¹ UZ	4,94	12,46
průtok odpadní vody 1,0 l·s ⁻¹ + 20 mg·l ⁻¹ O ₃ + 1250 J·l ⁻¹ UZ	5,25	12,95
průtok odpadní vody 1,0 l·s ⁻¹ + 20 mg·l ⁻¹ O ₃ + 1625 J·l ⁻¹ UZ	5,51	13,26
průtok odpadní vody 4,2 l·s ⁻¹ + 5 mg·l ⁻¹ O ₃ + 2 mg·l ⁻¹ H ₂ O ₂ + 625 J·l ⁻¹ UZ	1,81	3,95
průtok odpadní vody 2,1 l·s ⁻¹ + 10 mg·l ⁻¹ O ₃ + 4 mg·l ⁻¹ H ₂ O ₂ + 625 J·l ⁻¹ UZ	3,11	7,41

tab. 5 Jednotkové provozní a celkové náklady na dočištění pro UF/PAC v uvedených provozních stavech

provozní stav	náklady provozní	náklady celkové
	[Kč·m ⁻³]	
dávka 2 mg·l ⁻¹ PAC, 2 mg·l ⁻¹ Fe ³⁺ a doba zdržení 2 hod	1,02	5,57
dávka 5 mg·l ⁻¹ PAC, 2 mg·l ⁻¹ Fe ³⁺ a doba zdržení 2 hod	1,26	5,84
dávka 10 mg·l ⁻¹ PAC, 2 mg·l ⁻¹ Fe ³⁺ a doba zdržení 1 hod	1,66	6,23
dávka 20 mg·l ⁻¹ PAC, 0 mg·l ⁻¹ Fe ³⁺ a doba zdržení 1 hod	2,46	7,04
dávka 50 mg·l ⁻¹ PAC, 2 mg·l ⁻¹ Fe ³⁺ a doba zdržení 1 hod	4,86	9,62
dávka 20 mg·l ⁻¹ PAC, 2 mg·l ⁻¹ Fe ³⁺ a doba zdržení 2 hod	2,46	7,27
dávka 20 mg·l ⁻¹ PAC, 2 mg·l ⁻¹ Fe ³⁺ a doba zdržení 1 hod	2,46	7,10
dávka 50 mg·l ⁻¹ PAC, 2 mg·l ⁻¹ Fe ³⁺ a doba zdržení 5 hod	4,86	9,94
dávka 20 mg·l ⁻¹ PAC, 2 mg·l ⁻¹ Fe ³⁺ a doba zdržení 5 hod	2,46	7,54
dávka 100 mg·l ⁻¹ PAC, 2 mg·l ⁻¹ Fe ³⁺ a doba zdržení 5 hod	8,86	13,98
dávka 50 mg·l ⁻¹ PAC, 0 mg·l ⁻¹ Fe ³⁺ a doba zdržení 2 hod	4,86	9,61
dávka 10 mg·l ⁻¹ PAC, 2 mg·l ⁻¹ Fe ³⁺ a doba zdržení 3 hod	1,66	6,47

7. SOUBOR POSTUPŮ K VÝBĚRU VHODNÉ TECHNOLOGIE PRO TERCIÁRNÍ DOČIŠTĚNÍ KOMUNÁLNÍCH ODPADNÍCH VOD

Výběr vhodné technologické linky čištění spočívá v porovnání dostatečného množství alternativ dle kvalitativních a kvantitativních kritérií. V našem případě jsou alternativy vytvořeny manuálně (technologické linky čištění odpovídají pilotním jednotkám testovaným v rámci projektu), ohodnoceny, a pokud splňují omezující podmínky, tak jsou následně dále hodnoceny. Tyto technologické linky jsou poté seřazeny dle nákladů na životní cyklus vzestupně. Optimální technologickou linkou dočištění je poté taková alternativa, která má nejnižší náklady. Bude-li dočištěná voda dále využívána je do celkových nákladů systému znovu-využití vody nutné přičíst náklady spojené s distribucí této vody k potenciálním koncovým uživatelům.

Postup pro získání vhodných alternativ dočištění se dá rozdělit do tří základních částí:

1. **Zadání vstupních dat** – prvním krokem je shromáždění vstupních údajů, zahrnující popis projektu, popis způsobu využití nebo likvidace dočištěné odpadní vody, váhy výběrových kvalitativních kritérií, dostupná plocha na ČOV, kvalita vody na odtoku z ČOV a množství produkovaných vod. Dále nákladová data obsahující data pro výpočet nákladů na životní cyklus a celkových nákladů (doba životního cyklu, diskontní sazba, cena elektrické energie, náklady na likvidaci odpadů, náklady spojené s nákupem pozemku, atd.), dále potom náklady na propojovací potrubí, elektrickou síť, stavební práce, měření a regulace, inženýrskou činnost a stavební dozor.
2. **Vytváření a ohodnocení alternativ** – druhým krokem je vytváření alternativ, který začíná výběrem technologické linky čištění dle základních požadavků na kvalitu dočištěné odpadní vody. Následně se provede simulace výkonnosti technologické linky, a pokud jsou výsledné hodnoty odstraněného znečištění shodné nebo nižší než požadované hodnoty znečištění, je tato technologická linka dočištění vybrána pro následné porovnání.
3. **Výběr nejvhodnější technologické linky dočištění** – poslední fází je výběr optimálního dočištění, který se provede porovnáním technologických linek dočištění vybraných v předchozím kroku s následným seřazením podle zvolených kritérií. Optimální technologickou linkou je nejvýše řazená linka.

SEZNAM OBRÁZKŮ

obr. 1 BSK ₅ na výstupu z ČOV (na vstupu do pilotních jednotek)	4
obr. 2 CHSK _{Cr} na výstupu z ČOV (na vstupu do pilotních jednotek)	5
obr. 3 NL na výstupu z ČOV (na vstupu do pilotních jednotek)	5
obr. 4 N _C na výstupu z ČOV (na vstupu do pilotních jednotek)	6
obr. 5 P _C na výstupu z ČOV (na vstupu do pilotních jednotek)	6
obr. 6 <i>Escherichia coli</i> na výstupu z ČOV (na vstupu do pilotních jednotek)	7
obr. 7 Koliformní bakterie na výstupu z ČOV (na vstupu do pilotních jednotek)	7
obr. 8 Enterokoky na výstupu z ČOV (na vstupu do pilotních jednotek)	8
obr. 9 Bisfenol A na výstupu z ČOV (na vstupu do pilotních jednotek)	8
obr. 10 Alkylfenoly (kromě BPA) na výstupu z ČOV (na vstupu do pilotních jednotek)	9
obr. 14 Suma pesticidů a jejich metabolitů na výstupu z ČOV (na vstupu do pilotních jednotek)	9
obr. 18 Suma léčiv na výstupu z ČOV (na vstupu do pilotních jednotek)	10
obr. 13 Rozsah účinností odstranění BSK ₅ na jednotlivých pilotních jednotkách	18
obr. 14 Rozsah účinností odstranění CHSK _{Cr} na jednotlivých pilotních jednotkách	19
obr. 15 Rozsah účinností odstranění nerozpuštěných látek na jednotlivých pilotních jednotkách	19
obr. 16 Rozsah účinností odstranění celkového dusíku na jednotlivých pilotních jednotkách	20
obr. 17 Rozsah účinností odstranění celkového fosforu na jednotlivých pilotních jednotkách	20
obr. 18 Rozsah účinností odstranění <i>Escherichia coli</i> na jednotlivých pilotních jednotkách	21
obr. 19 Rozsah účinností odstranění koliformních bakterií na jednotlivých pilotních jednotkách	21
obr. 20 Rozsah účinností odstranění enterokoků na jednotlivých pilotních jednotkách	22
obr. 21 Rozsah účinností odstranění bisfenolu A na jednotlivých pilotních jednotkách	23
obr. 22 Rozsah účinností odstranění nonyl- a oktylfenolů a jejich metabolitů na jednotlivých pilotních jednotkách	23
obr. 23 Rozsah účinností odstranění pesticidů a jejich metabolitů na jednotlivých pilotních jednotkách	24
obr. 24 Rozsah účinností odstranění sledovaných léčiv na jednotlivých pilotních jednotkách	25

SEZNAM TABULEK

tab. 1 Metody použité pro analýzu základních a mikrobiologických parametrů	2
tab. 2 Metody použité pro analýzu průmyslových látek, pesticidů a léčiv	3
tab. 3 Jednotkové provozní a celkové náklady na dočištění pro MFO/UV v uvedených provozních stavech.....	28
tab. 4 Jednotkové provozní a celkové náklady na dočištění pro O ₃ /UZ v uvedených provozních stavech.....	28
tab. 5 Jednotkové provozní a celkové náklady na dočištění pro UF/PAC v uvedených provozních stavech.....	29