

Kofein a močovina jako indikátory antropogenního zatížení biokoupališť

DANA BAUDIŠOVÁ, LENKA MAYEROVÁ, PETR PUMANN, HANA KUJALOVÁ, MARTIN FERENČÍK

Klíčová slova: biokoupaliště – antropogenní znečištění – močovina – kofein – ATP

ABSTRAKT

Biokoupaliště představují specifický ekosystém, kde dominantní úlohu udržení kvality vody ve zdroji mají živé organismy. Zároveň jsou velmi hojně navštěvovaná, a tak největším zdrojem znečištění jsou koupající se osoby. Předmětem tohoto příspěvku je prezentace a hodnocení možných chemických ukazatelů antropogenního zatížení – kofeinu a močoviny na čtyřech lokalitách (z toho na dvou v průběhu celé koupací sezony) v létě 2023. Dále jsou publikovány výsledky stanovení základních chemických a mikrobiologických ukazatelů, včetně adenosit trifosfátu (ATP), které by mělo představovat souhrnné mikrobiální oživení. Sledované ukazatele antropogenního zatížení (kofein a močovina) vykazovaly ve vrcholné letní sezoně hodnoty až > 500 ng/l, resp. $\mu\text{g/l}$. Současnou legislativou předepsané ukazatele (indikátory fekálního znečištění *E. coli*) a intestinální enterokoky toto zvýšené antropogenní zatížení nepodchytily. Stanovení celkového ATP se ukázalo jako zajímavé, ale bude třeba jeho dalšího výzkumu, zejména v čistících, tj. velmi mikrobiálně aktivních zónách. Vhodným ukazatelem postupného zvyšování antropogenního zatížení během sezony by mohl být celkový dusík.

ÚVOD

Biokoupaliště, přírodní koupací biotopy, biobazény či koupací jezírka jsou označení pro veřejná nebo domácí koupaliště či bazény, kde dominantní úlohu udržení kvality vody ve zdroji hrají živé organismy. V Česku bylo první veřejné biokoupaliště otevřeno v roce 2007 v Kovalovicích [1], v roce 2024 jich bylo v provozu již 40 (IS PiVo, 2025). Biokoupaliště se stala součástí naší legislativy v roce 2011 a také byly definovány požadavky na sledované ukazatele, jejich monitoring a hodnocení. V té době u nás nebyly s biokoupališti velké zkušenosti, proto byly požadavky inspirovány německými a rakouskými předpisy [1].

V současnosti je v zákoně o ochraně veřejného zdraví [2] biokoupaliště definováno jako „stavba povolená k účelu koupání vybavená systémem přírodního způsobu čištění vody ke koupání“. Vyhláška MZ č. 238/2011 Sb. [3], vyžaduje stanovení indikátorů fekálního znečištění *Escherichia coli* a intestinálních enterokoků a dále průhlednost. Stanovení *Pseudomonas aeruginosa* bylo v roce 2014 z nedořešených metodických důvodů zrušeno. Současná legislativa týkající se biokoupališť určitě dokonalá není a při další revizi české legislativy by bylo vhodné definice a požadavky vylepšit/aktualizovat.

Počty *E. coli* a intestinálních enterokoků se dle výsledků z IS Pivo většinou pohybují hluboko pod limitními hodnotami, tj. pod 100, resp. 50 KTJ/100 ml, k ojedinělým překročením však dochází na většině lokalit. Alespoň jedenkrát za sezonu v letech 2018–2023 došlo k překročení *E. coli* u 20–30 % biokoupališť, limitu pro intestinální enterokoky u cca 40 % [1]. V letech 2023 a 2024 to bylo méně. K překročení *E. coli* došlo u 11 %, resp. 8 %, a intestinálních enterokoků u 26 %, resp. 28 % lokalit. Na rozdíl od přírodních lokalit jsou zcela dominantním zdrojem znečištění koupající se lidé.

Vzhledem k převládajícímu antropogennímu znečištění tohoto typu lze uvažovat o využitelnosti i dalších ukazatelů, které by napomohly jeho odhalení, případně odlišení od znečištění typu „více přírodního“. Z dalších zdrojů připadá v úvahu již jen znečištění, jež mohou vnést do vody ptáci, především kachny divoké, které na biokoupaliště zalétávají, případně průsaky při zvýšené hladině podzemní vody po vydatných deštích do zdroje.

Předmětem tohoto článku bylo hodnocení dalších možných chemických ukazatelů antropogenního zatížení – kofeinu a močoviny – a dále výsledků stanovení celkového adenosintrifosfátu (ATP), které představuje souhrnné mikrobiální oživení.

PŘEHLED PROBLEMATIKY

Močovina $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ se nachází v moči savců, obojživelníků a některých ryb. Je syntetizována v močovinovém cyklu v játrech. V těle močovina slouží jako odpadní látka, pomocí níž se vylučuje z těla nadbytečný dusík močí, ale v menší míře též pokožkou při pocení. Během močovinového cyklu je štěpena aminokyselina arginin na močovinu a ornitin. Močovina je vyloučena močí z těla a ornitin je znovu použit jako prekurzor při syntéze argininu [4]. Dalším zdrojem močoviny je rozkládající se biomasa řas a sinic, obecně rozklad některých dusíkatých organických látek a exkrece zooplanktonu [5]. Koncentrace močoviny byla monitorována např. v Polsku ve Velkých mazurských jezerech, kde byly obvykle naměřeny hodnoty v rozmezí 30 až 48 $\mu\text{g/l}$, a nejvyšší hodnoty – až 1,5 mg/l – byly detekovány na jaře, zatímco nejnižší na konci léta v období největšího rozvoje fytoplanktonu [6]. Koncentrace močoviny byla shledána nepřímo úměrnou trofickému stavu studovaných jezer a také bylo zjištěno, že rychlost enzymatického rozkladu močoviny exponenciálně roste s teplotou vody [6]. Vzhledem k očekávanému antropogennímu zatížení biokoupališť jsou pro srovnání relevantní především výsledky stanovení močoviny v bazénech, kde bývají detekovány i výrazně vyšší hodnoty. Koupání a plavání veřejnosti v bazénech je spojeno s občasným nechtěným, ale bohužel někdy i záměrným únikem moči do vody. Podle studie [7] provedené v Kanadě ve dvou bazénech o objemu 840 m^3 a 420 m^3 , v nichž byla po dobu tří týdnů porovnávána koncentrace umělého sladidla acesulfamu v bazénové vodě s jeho průměrnou koncentrací v lidské moči, dosahuje objem moči v bazénech necelých 0,01 %. Ve starší studii [8] lze nalézt údaj o vnosu 60 až 80 ml moči v přepočtu na jednoho plavce za den, odhadovaný na základě změn koncentrace draslíku v bazénu. Karimi [9] sledoval v deseti bazénech v iránském Teheránu vzorky bazénové vody, které byly dezinfikovány různými metodami. Průměrná koncentrace močoviny pro bazény dezinfikované chlorem byla 5,5 mg/l , pro bazény dezinfikované ozonem a následně chlorem byla průměrná koncentrace 4 mg/l a pro bazény dezinfikované UV zářením a následně chlorem byla průměrná koncentrace močoviny 3,5 mg/l . Zhang a kol. [10] uvádějí, že koncentrace močoviny v Pekingu (v Číně) se pohybovala od 0,07 do 18,73 mg/l . Zhou a kol. [11] ve své práci uvádějí nalezené koncentrace močoviny v rozmezí 0,74–15,02 mg/l .

Kofein (1,3,7-trimethylxanthin, $\text{C}_8\text{H}_{10}\text{N}_4\text{O}_2$) je purinový alkaloid, který je jednak součástí velmi často požívaných nápojů (káva, Coca-Cola, čaj, energetické nápoje), ale i farmaceutických produktů. Do prostředí se dostává především odpadními vodami z lidských sídlišť a průmyslu. Koncentrace kofeinu v nápojích se pohybuje řádově v desítkách až stovkách mg/l , např. v kávě 36 až 804 mg/l , v čaji 122 až 183 mg/l , v Coca-Cole a podobných nápojích 41 až 132 mg/l , v energetických nápojích 267 až 340 mg/l [12]. Kofein se po požití poměrně rychle vstřebává do krve, asi pětina již ze žaludku [13]. Téměř všechen požitý kofein se v játrech transformuje demethylací na primární metabolity – paraxanthin (80 %), theobromin (11 %) a theofylin (4 %) –, které mohou podléhat další demethylaci a oxidaci za vzniku solí kyseliny močové a derivátů uracilu [13]. Rychlost metabolismu kofeinu závisí na mnoha faktorech, poločas rozpadu kofeinu v těle se pohybuje od 2 do 12 hodin, nejčastěji 4 až 5 hodin [13]. V nezměněné podobě se močí vylučuje pouze malá část kofeinu, v různých publikacích je uváděn různý podíl, a to od 0,5 % do 10 % [14]. Z těla se vylučuje společně se svým hlavním metabolitem paraxanthinem zejména močí, ale stopy mohou být obsaženy i v potu. Stanovením koncentrace kofeinu a jeho metabolitů v moči lidí se zabývali Rybak a kol. [15], průměrné koncentrace vyjádřené jako medián uvádějí pro kofein 3,39 $\mu\text{mol/l}$, paraxanthin 15,2 $\mu\text{mol/l}$, theobromin 20,3 $\mu\text{mol/l}$, theofylin 1,63 $\mu\text{mol/l}$; po přepočtu na hmotnostní koncentraci vychází medián pro kofein 658 $\mu\text{g/l}$. Nalezené koncentrace se liší zejména

v závislosti na věku, nejvyšší hodnoty odpovídají věkovému rozmezí 40 až 59 let [15]. Rychlost vylučování je rozdílná pro kofein a jednotlivé metabolity a pohybuje se od 0,423 nmol/min do 46,0 nmol/min [15].

Průměrná spotřeba kofeinu na obyvatele a den byla podle dat z potravinové databáze „*Food Balance Sheet of the United Nations*“ v roce 2013 288,58 mg s tím, že byly velké rozdíly mezi jednotlivými státy [16]. Výskytem kofeinu ve vodách se zabývá řada prací – mnohem více údajů je o jeho výskytu v odpadních vodách a tocích než ve vodách ke koupání (včetně jezer). Výskyt kofeinu v biokoupalištích zatím nikdo nesledoval. Buerge a kol. [14] navrhuje kofein jako užitečný chemický marker pro hodnocení znečištění vodních toků odpadními vodami. Účinnost jeho eliminace ve švýcarských ČOV stanovili na 81–99,9 %. Tito autoři také běžně našli kofein ve švýcarských jezerech a řekách (6–250 ng/l), s výjimkou horských jezer. Návrh zařazení kofeinu jako ukazatele antropogenního znečištění podporují i portugalská autoři Paiga a kol. [17]. Koncentrace kofeinu v řekách se pohybovaly mezi 25,3 až 321 ng/l. Z novějších prací jsou prezentovány výsledky stanovení kofeinu v jezerech v Maine (USA), a to průměrné koncentrace 6 až 11 ng/l, s maximem 21 ng/l [18]. Při našem předchozím výzkumu byly zjištěny maximální hodnoty kofeinu ve stojatých koupacích vodách 296 ng/l a močoviny 0,127 mg/l [16]. Ve Vltavě byla v Praze Podolí v období 2005–2018 naměřena průměrná koncentrace kofeinu 220 ng/l (maximum 960 ng/l a minimum 100 ng/l) [19]. Vzhledem k poměrně účinné biodegradaci kofeinu na ČOV indikuje výskyt kofeinu v povrchových vodách spíše čerstvou kontaminaci splaškovými odpadními vodami, nikoli znečištění prostřednictvím odtoků z ČOV. Biodegradace kofeinu probíhá i v přírodních vodách, a to působením bakterií rodu *Pseudomonas*, *Klebsiella*, *Bacillus*, *Rhodococcus* a řady dalších [20]. Ve 12 australských chlorovaných bazénech byly objeveny hodnoty kofeinu až 1 540 ng/l a velké změny koncentrací byly zjišťovány během dne v závislosti na návštěvnosti [21]. V termálních bazénech na Slovensku byl kofein detekován na 44 z 49 lokalit, nejvyšší hodnota činila 69 000 ng/l (medián 310 a aritmetický průměr 1 140 ng/l) [22].

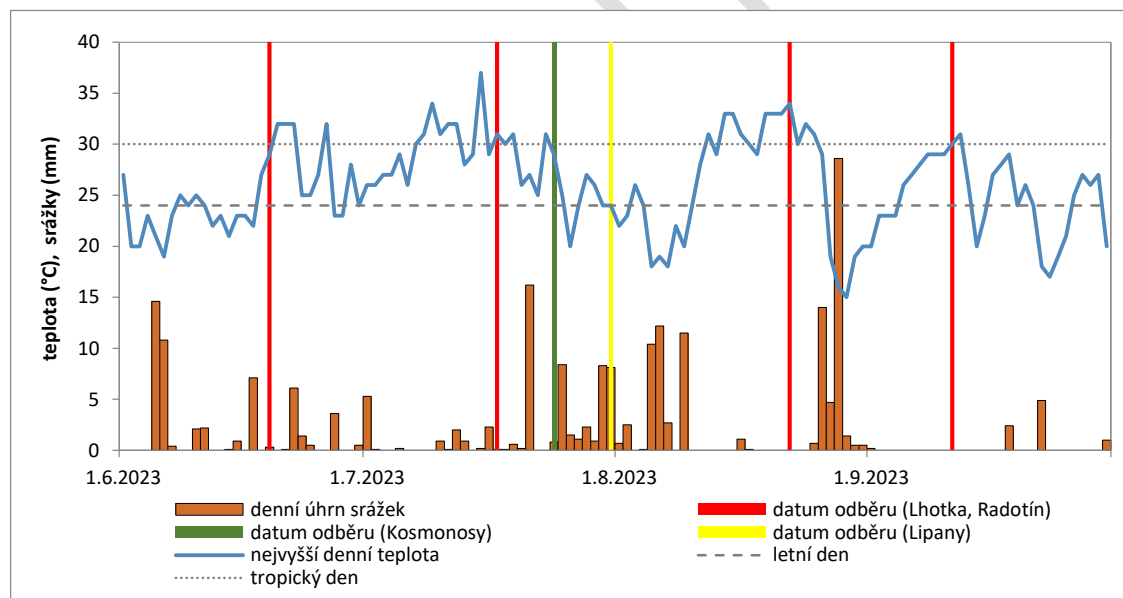
Močovina ani kofein nejsou ve vodním prostředí stabilní jako např. některá léčiva. Močovina se ve vodě postupně rozkládá na kyanatan amonný a následně na amoniak a oxid uhličitý. Kyselé i alkalické prostředí tuto reakci urychluje, stejně jako zvýšená teplota. Nárůst pH se projeví již při minimálním rozkladu močoviny a toto zásadité pH katalyzuje její další rozklad. Optimální pH pro močovinu představuje hodnota 6,2 [23]. Alkalické prostředí v biokoupalištích by rozklad močoviny ještě urychlilo (v našich případech se pH pohybovalo v rozmezí 8,51–8,53 – viz výsledky). Kofein se dobře rozkládá během čištění odpadních vod (81–99,9% eliminace dle [14]), dá se tak předpokládat jeho rozklad i v biokoupalištích. Další autoři [24] uvádějí kompletní biodegradaci kofeinu čistou kulturou bakterií *Pseudomonas* spp. při optimální hodnotě pH 6,0 během 24 hodin a zároveň zmiňují inhibiční účinek organických i anorganických sloučenin dusíku, přičemž efekt močoviny byl shledán silnějším než efekt amonných solí. V jiné studii [25], rovněž pracující s bakteriemi rodu *Pseudomonas*, byla vyčíslena maximální rychlost biodegradace kofeinu 0,345 $\mu\text{mol/min}$ a jako optimální hodnota pH pro biodegradaci bylo shledáno 8,0. Zároveň bylo zjištěno, že z iontů kovů mají na biodegradaci kofeinu silně inhibiční účinek ionty Cu^{2+} a Zn^{2+} a naopak stimulující účinek vykazují ionty Fe^{2+} , Ca^{2+} a Mg^{2+} [25]. Ve vodním prostředí může kofein podléhat hydrolyze a za vhodných podmínek také fotodegradaci nebo biodegradaci. Alhassen a kol. [26] zkoumali fotodegradaci kofeinu iniciovanou umělým osvětlením o vlnové délce 400 až 500 nm imitujícím sluneční záření a zaznamenali poločas rozpadu kofeinu 2,3 až 16,2 v závislosti na typu matrice (demineralizovaná voda, říční voda samotná a s přísadkou listí). Ukázalo se, že rychlost rozkladu kofeinu snižují některé organické látky a že se na rozkladu kromě fotodegradace podílí i hydrolyza, která je však podstatně pomalejší [26]. V další práci byl zjištěn poločas rozkladu šest dní v případě zaočkování odtokem z ČOV, resp. deset dní při biodegradaci působením mikroorganismů aktivovaného kalu [27].

ATP test analyzuje přítomnost celkového mikrobiálního znečištění a jde o proces, při němž dochází k měření aktivních mikroorganismů. Test se provádí na základě detekce adenosintrifosfátu (ATP), který představuje molekulu hlavního energetického oběhiva v živých buňkách a kolem nich, a poskytuje tak přímou míru biologické koncentrace ve vzorku. ATP se detekuje měřením světla a množství vyrobeného světla je přímo úměrné množství přítomného ATP v jednom testovaném vzorku. Měrnou hodnotou jsou relativní světelné jednotky (RLU). Při měření se vždy používá přímá úměrnost – čím vyšší je ATP, tím

vyšší je RLU. Tento ukazatel jsme podrobně probírali v našem předchozím článku, kde je citována i související literatura a rozebrána problematika volného (mimobuněčného) a celkového ATP [28].

METODIKA

Byly analyzovány prosté vzorky, odebírané za dodržení platných pravidel pro vzorkování v několika biokoupalištích v roce 2023. Šlo o veřejná biokoupaliště v Praze – Radotíně (dále jen A), v Praze – Lhotce (B), v Kosmonosech u Mladé Boleslavi (C) a v Lipanech (D), které leží cca 3 km západně od Říčán. Lokalita D není typické biokoupaliště. Jde o volně přístupnou nádrž s částečným obtokem, v níž se ale přírodní způsob čištění taktéž uplatňuje. Kapacita biokoupaliště A je 700 a koupaliště B 1 000 návštěvníků za den. Projekčně navržená okamžitá kapacita vodní plochy u biokoupaliště C je 100 osob, denní pak 300–500 osob. Na *obr. 1* je uvedena maximální denní teplota vzduchu, srážky v zájmové oblasti (archiv na webových stránkách <https://www.in-pocasi.cz/> [29]) a odběrové dny pro jednotlivé lokality. Lze z nich alespoň částečně usuzovat na vytížení biokoupališť v době před odběry vzorků. Za tropické dny jsou považovány dny s maximální denní teplotou větší než 30 °C, návštěvnost koupališť však roste plynule již od hranice pro letní dny (tj. nejvyšší denní teplota > 24 °C) [30]. Vliv mají pochopitelně i srážky, oblačnost a další faktory. Při odběrech byla vždy sledována teplota vzduchu a aktuální návštěvnost v nejbližší minulosti. Z hlediska návštěvnosti, a tudíž očekávaného vyššího zatížení biokoupaliště, se považuje za podstatné nejenom počasí v den odběru, ale i situace několik dní předem. Z *obr. 1* (i z našich záznamů) vyplývá, že na lokalitách A i B byly cca čtyři dny před odběry v červnu a červenci teplé, v srpnu a v září dokonce velmi teplé (lokalita B byla během července mimo provoz). Na lokalitě C byly odebírány vzorky během zavíracího dne, dny předcházející odběru však byly teplé a beze srážek.



Obr. 1. Maximální denní teplota vzduchu a denní úhrn srážek na stanici Praha – Libuš a odběrové dny v letní sezoně 2023

Fig. 1. Maximum daily air temperature and daily precipitation at the Prague – Libuš station and sampling days in the summer season 2023

Na lokalitách A–C byly odebrány dva vzorky z protilehlých stran koupací nádrže (*obr. 2*) pro mikrobiologický rozbor a stanovení močoviny a kofeinu. Na lokalitě D byly vzorky pro tyto ukazatele odebrány z jednoho místa. Vzorky pro chlorofyl-a byly odebírány na lokalitách A–C pouze z jednoho odběrového místa (*obr. 2*). Odběry vzorků pro základní chemický rozbor byly prováděny na lokalitách

A a B. Na lokalitě A z jednoho místa, na lokalitě B ze dvou míst (obr. 2). Celkové ATP bylo měřeno přímo *in situ* na výše uvedených odběrových místech.

Dvě biokoupaliště (A a B) byla vzorkována opakovaně ve čtyřtýdenních intervalech během celé koupací sezony, dvě lokality (C a D) byly vzorkovány jednorázově (obr. 1).



Obr. 2. Pozice odběrových míst na biokoupalištích A–C; červeně označena místa s odběrem pro všechny ukazatele, oranžově pro mikrobiologické ukazatele, chlorofyl-a, kofein a močovinu, žlutě pro mikrobiologické ukazatele, kofein a močovinu (zdroj fotomap: www.mapy.cz)

Fig. 2. Position of sampling points at bio-swimming pools A–C; red marks sampling points for all indicators, orange marks microbiological indicators, chlorophyll-a, caffeine and urea, yellow marks microbiological indicators, caffeine and urea (source photomap: www.mapy.cz)

Celkový počet odebraných vzorků na jednotlivých lokalitách je uveden v tab. 1. Vzorky byly transportovány za stálého chlazení do laboratoře a ihned zpracovány, kromě stanovení kofeinu, kdy byly vzorky zamrazené při -18°C a zpracované hromadně na konci koupací sezony. Možné změny močoviny a kofeinu ve vzorcích během transportu a skladování byly ověřeny (vliv vzorkovnice, doby a způsob skladování), vnitřním standardem (močovina) či slepými a duplicitními vzorky (kofein). Celkové ATP bylo stanoveno na místě.

Tab. 1. Celkový počet vzorků odebraných na jednotlivých lokalitách

Tab. 1. Total number of samples collected at localities

Lokalita	Počet odběrů	Počet vzorků / stanovení					
		Kofein	Močovina	ATP	Mikrobiologický rozbor	Chemický rozbor	Chlorofyl
A	4	8	8	8	8	4	3
B	4	8	8	8	8	8	3
C	1	2	2	2	2	-	1
D	1	1	1	1	1	-	-

Močovina byla stanovena metodou založenou na enzymatickém rozkladu močoviny ureázou na amonné ionty a jejich následné stanovení spektrofotometricky (modifikace metody dle [31], podrobněji viz [16]). Mez detekce metody je 60 µg/l a mez stanovitelnosti 110 µg/l. Kofein byl stanoven metodou LC-MS/MS s mezí detekce 25 ng/l a mezí stanovitelnosti 50 ng/l (modifikovaný postup dle normy ČSN ISO 21676 [32]).

Indikátory fekálního znečištění *E. coli* a intestinální enterokoky byly stanoveny standardizovanými metodami dle ČSN EN ISO 9308-2 [33], resp. ČSN EN ISO 7899-2 [34]. Celkové ATP bylo stanoveno luminometricky (Aquasnap, Hygiena) přímo na lokalitě. Při prvních odběrech na lokalitách A a B jsme provedli i stanovení vázaného ATP, ale vzhledem k tomu že se jednalo o oživené lokality, byly rozdíly mezi celkovým a vázaným ATP malé (do 10 %) – na rozdíl od jiných, dříve studovaných matric [28]. Z toho důvodu (a protože pro případné provozní měření je to jednodušší) jsme se rozhodli nadále v biokoupalištích měřit pouze celkové ATP.

P. aeruginosa byla analyzována optimalizovanou metodou pro koupací vody (resp. pro vody s vysokým obsahem doprovodné mikroflóry) [35]. Chlorofyl-a byl stanoven postupem podle ČSN ISO 10260 [36].

Základní chemický rozbor zahrnoval organický uhlík, celkový dusík, anorganické formy dusíku (dusitanový, dusičnanový, amoniakální), orthofosforečnanový fosfor, celkový fosfor, rozpuštěný kyslík a hodnotu pH. Na místě byla pomocí Secchiho desky měřena průhlednost vody a oxymetrem Hach LDO HQ 10 s optickou sondou koncentrace rozpuštěného kyslíku (stejně jako stupeň nasycení kyslíkem a teplota vody), a to ve třech hloubkách: 30 cm, 1 m a 2 m. Vzhledem k tomu, že s hloubkou se hodnoty významně neměnily, uváděny jsou pouze hodnoty „z hladiny“ (resp. 30 cm pod ní), kde byly odebrány všechny vzorky pro analýzu. Hodnota pH byla měřena ihned po přenesení do laboratoře pH metrem WTW inoLab® pH level 2 s kombinovanou elektrodou THETA 90. Organický uhlík a celkový dusík byly stanovovány pomocí analyzátoru Shimadzu TOC-V CPH. Na stanovení dusitanového, dusičnanového a amoniakálního dusíku byly použity spektrofotometrické metody dle ČSN EN 26777 [37], ČSN ISO 7890-3 [38] a ČSN ISO 7150-1 [39], na stanovení orthofosforečnanového fosforu a celkového fosforu po mineralizaci s peroxodisíranem spektrofotometrická metoda s molybdenanem dle ČSN EN ISO 6878 [40]. Vzorky byly filtrovány přes filtry ze skleněných vláken Whatman GF/C. Koncentrace organicky vázaného dusíku byla počítána z rozdílu koncentrací celkového dusíku N_T a sumy anorganických forem dusíku ($N-NO_2^-$, $N-NO_3^-$ a N_{amo}).

VÝSLEDKY

V následujících tabulkách jsou uvedeny výsledky všech provedených analýz během koupací sezony 2023. V tab. 2 je uveden základní chemický rozbor na biokoupalištích A a B, v tab. 3 jsou výsledky kofeinu a močoviny a mikrobiologických a biologických ukazatelů (*E. coli*, intestinální enterokoky, *P. aeruginosa*, celkový ATP a chlorofyl) ve všech čtyřech biokoupalištích.

Základní chemické ukazatele

Hodnoty chemických ukazatelů v biokoupalištích A a B (tab. 2) dokládají velmi nízkou úroveň znečištění jak organickými látkami, tak sloučeninami dusíku. Koncentrace orthofosforečnanového i celkového fosforu byla ve všech vzorcích pod mezí stanovitelnosti, která činí 0,03 mg/l, resp. 0,04 mg/l (v tabulce neuvedeno). Trofický potenciál vody je proto velmi nízký a případný rozvoj fytoplanktonu je výrazně limitován fosforem. Tomu odpovídají i nízké koncentrace chlorofylu-a (tab. 2). V průběhu koupací sezony byl na obou lokalitách patrný mírný nárůst koncentrace organicky vázaného dusíku, a to na lokalitě A již v průběhu června a na lokalitě B teprve během prázdnin. Nejvyšší zaznamenané koncentrace N_{org} činily 5,41 mg/l na lokalitě A a 4,27 mg/l na lokalitě B. Koncentrace amoniakálního dusíku spíše kolísala, nebyl zřetelný soustavný nárůst či jiný trend ani korelace mezi koncentrací N_{amo} a N_{org} . Koncentrace dusitanového dusíku byly obvykle pod mezí stanovitelnosti (0,005 mg/l) nebo těsně nad ní a rovněž koncentrace dusičnanového dusíku byly velmi nízké. Průhlednost dosahovala na obou sledovaných lokalitách vždy až na dno (3,25 m) s výjimkou srpnového měření na lokalitě B, kdy byla

pouze 2 m (v tomto dni bohužel nebyl stanoven chlorofyl-a). Z hlediska obsahu organických látek byla voda jen minimálně znečištěna a během léta byl pozorován nepatrný nárůst koncentrace C_{org} , jež současně s poklesem teploty v září klesla zpět na červnovou úroveň. Hodnoty pH se pohybují na obou lokalitách v mírně alkalické oblasti. Změny hodnot pH lze přičítat probíhající fotosyntéze. Koncentrace rozpuštěného kyslíku se pohybovala kolem rovnovážné hodnoty nebo mírně nad ní po celé sledované období na obou lokalitách, s výjimkou srpnového měření na lokalitě B, kde se stupeň nasycení vyšplhal až na 122 %, což zřejmě způsobila poměrně intenzivní fotosyntetická aktivita přítomných producentů. Kromě tohoto ojedinělého výkyvu se žádný ze sledovaných ukazatelů významně neměnil v čase. To svědčí o stabilitě vody z chemického hlediska a s přihlédnutím k nízkým koncentracím nutrientů a organických látek také o vysoké účinnosti samočištění vody. A z porovnání stanovených hodnot ukazatelů ze dvou odběrových míst lokality B vyplývá, že voda v koupací části je velmi dobře promíchávána.

Chemické ukazatele zahrnuté do základního rozboru vypovídají o kvalitě vody a účinnosti samočisticích procesů, ale některá stanovení, jako je např. organický uhlík, neposkytují informace o charakteru znečištění. Jsou proto vhodné především jako doplňující parametry. Nejslibněji se ukazují výsledky celkového dusíku (N_T), u nichž jsou patrné vyšší hodnoty již od července na lokalitě A a od srpna (v červenci mimo provoz) na lokalitě B oproti začátku sezony.

Tab. 2. Základní chemický rozbor; na lokalitě A byl pro základní chemický rozbor odebrán pouze jeden vzorek z koupací části

Tab. 2. Basic chemical analysis; at location A, only one sample was taken from the bathing area for basic chemical analysis

Datum	Lokalita	T	O ₂	O ₂	pH	C _{org}	N _T	N- NO ₂ ⁻	N- NO ₃ ⁻	N _{amo}	N _{org}
		[°C]	[mg/l]	[%]		[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
19. 6.	A	24,5	7,62	98	8,39	4,80	2,55	< 0,005	0,093	0,030	2,52
17. 7.	A	27,1	8,51	109	8,40	5,86	6,20	0,018	0,660	0,128	5,41
22. 8.	A	28,5	8,03	106	8,33	5,83	5,71	0,013	0,453	0,036	5,22
11. 9.	A	24,3	8,82	108	8,09	4,58	3,62	0,006	0,312	0,053	3,26
19. 6.	B	23,1	8,52	104	8,46	4,11	1,81	< 0,005	< 0,05	0,029	1,78
19. 6.	B	22,7	8,63	103	8,46	4,08	1,69	< 0,005	< 0,05	0,023	1,67
17. 7.	B	26,3	8,02	102	8,51	4,26	1,35	< 0,005	< 0,05	0,096	1,25
17. 7.	B	26,4	7,97	102	8,53	4,33	1,38	< 0,005	< 0,05	0,085	1,29
22. 8.	B	26,9	9,46	121	8,78	4,31	4,34	< 0,005	0,293	0,071	4,27
22. 8.	B	27,5	9,41	122	8,74	4,08	3,59	< 0,005	0,131	0,085	3,50
11. 9.	B	23,4	7,74	94	8,03	3,80	3,88	0,016	0,387	0,126	3,36
11. 9.	B	23,4	7,84	95	8,05	4,00	3,85	0,018	0,400	0,185	3,27

Mikrobiologické a biologické ukazatele

V tab. 3 jsou uvedeny mikrobiologické a biologické ukazatele na všech čtyřech lokalitách. Téměř všechny počty *E. coli* a intestinálních enterokoků splňovaly současné legislativní požadavky (dle vyhlášky MZ č. 238/2011 Sb.), tj. 100 KTJ(MPN)/100 ml, resp. 50 KTJ/100 ml a počty *P. aeruginosa*

pouze v jednom odběru přesahovaly dřívější limitní hodnotu 10 KTJ/100 ml. Hodnoty celkového ATP splňovaly naše teoretické předpoklady: na lokalitě A byly významně vyšší v červenci a v srpnu při maximálních návštěvnostech a nižší v červnu a září. na lokalitě B byly nejnižší v červencovém odběru, kdy bylo koupaliště z technických důvodů mimo provoz. I přes vysoké hodnoty ATP (nad 200, ale ani nad 500 RLU) nebyly současně zaznamenány zvýšené hodnoty *E. coli*, jak tomu bylo v městských vodních prvcích [41]. Zde tedy jde o jiná, mnohem více přirozená mikrobiální společenstva a ATP tu neukázal přímý indikační význam fekálního znečištění. Na druhé straně přítomnost příležitostných patogenů spojených s antropogenním znečištěním nelze zcela vyloučit. Výsledky stanovení ATP v povrchových vodách včetně vod koupacích a přírodních koupališť nebyly dosud publikovány, proto je nemůžeme s ničím srovnávat a diskutovat.

Chemické ukazatele antropogenního zatížení – kofein a močovina

Výsledky analýz močoviny i kofeinu jsou také uvedeny v tab. 3. Získané hodnoty byly v převážné většině nad mezí stanovitelnosti a opět byly zjištěny nejvyšší hodnoty v letním období při maximální návštěvnosti (s výjimkou lokality B, která byla v červenci mimo provoz, a v té době byly tudíž zaznamenané hodnoty nejnižší). Výsledky obou ukazatelů do určité míry korelovaly ($R^2 = 0,82$). Určitou korelaci ($R^2 = 0,65$) vykazovaly i výsledky kofeinu a ATP a také výsledky ATP a močoviny ($R^2 = 0,66$). Variační koeficienty z duplicitních odběrů se u stanovení kofeinu pohybovaly od 9 do 26 %, u stanovení močoviny od 5 do 48 %. Korelace těchto výsledků je patrná též na obr. 2 a, b.

Tab. 3. Výsledky stanovení kofeinu, močoviny, celkového ATP mikrobiologických a biologických ukazatelů (NA = neanalyzováno)

Tab. 3. Results of caffeine, urea, total ATP microbiological and biological indicators detection (NA = not analyzed)

Datum	Lokalita	Močovina μg/l	Kofein ng/l	ATP RLU	<i>E. coli</i> KTJ/100 ml	Enterokoky KTJ/100 ml	<i>P. aeruginosa</i> KTJ/100 ml	Chlorofyl-a μg/l
19. 6.	A	243	142	257	96	27	0	4,4
19. 6.	A	244	186	319	46	14	3	
17. 7.	A	828	688	709	19	9	14	13,0
17. 7.	A	861	526	880	28	7	13	
22. 8.	A	847	829	634	28	12	6	NA
22. 8.	A	790	562	780	16	4	9	
11. 9.	A	859	200	278	11	7	0	2,7
11. 9.	A	871	375	450	6	5	0	
19. 6.	B	147	249	299	62	17	1	2,4
19. 6.	B	< 110	317	278	105	20	3	
17. 7.	B	< 110	< 50	28	36	3	3	1,9
17. 7.	B	< 110	< 50	58	24	4	3	
22. 8.	B	715	748	399	8	3	4	NA
22. 8.	B	742	879	189	6	6	8	
11. 9.	B	532	470	291	12	3	2	1,4
11. 9.	B	544	492	292	10	3	5	
24. 7.	C	125	297	231	19	3	1	5,9
24. 7.	C	< 110	184	214	12	15	1	
31. 7.	D	< 110	106	925	22	18	1	NA

DISKUZE

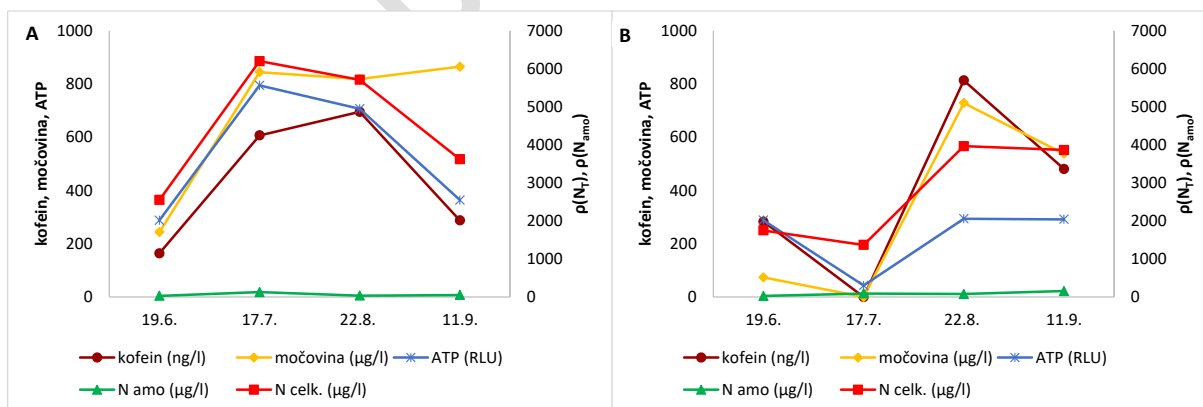
Práce prezentované v tomto článku navazovaly na naši studii koupacích vod [16], kde se však jednalo o výrazně větší vodní plochy (rybníky a pískovny) s relativně nižší návštěvností (poměr vody a přísunu

antropogenního znečištění), proto zde byly hodnoty kofeinu a močoviny významně nižší než v biokoupalištích a jen zřídka přesáhly mez stanovitelnosti (pro srovnání kofein (v ng/l): pískovna Mělice < 50–170, rybník Šeberák < 50–204, rybník Pílský 84–93, pískovna Poděbrady < 50–121, rybník Eliška < 50–296). I v citované literatuře byly naměřené hodnoty v jezerech nižší, např. v Maine (USA) šlo o koncentrace 6–11 ng/l, s maximem 21 ng/l [18]. Antropogenní zatížení biokoupališť je proto více srovnatelné s umělými bazény, kde byly naměřeny hodnoty kofeinu průměrně až 1 540 ng/l [21] či 1 140 ng/l [22]. V bazénech byly také detekovány vysoké koncentrace močoviny, a to 3,5–5,5 mg/l [9], (0,07–18,73 mg/l [10] a 0,74–15,62 mg/l) [11]. Zhang a kol. [10] též uvádějí, že průměrné uvolnění moči na plavce by mohlo být 25–77 ml. Močovina je považována za hlavní kontaminant dusíku, který do bazénové vody vnášejí plavci, a je proto důležitým ukazatelem kvality a hygieny vody v bazénu. V Číně je regulována na 3,5 mg/l (tj. 3 500 µg/l; naše nejvyšší získaná hodnota činila 871 µg/l).

Relativně vysoké hodnoty kofeinu v biokoupalištích byly získány navzdory tomu, že se pouze malá část (0,5–10 %) kofeinu vylučuje v nezměněné formě [14] a metabolity stanovovány nebyly.

Z dalších – našich dosud nepublikovaných – výsledků lze pro ilustraci uvést hodnoty kofeinu v systému odtok odpadních vod (1 160 ng/l), čistící rybník (273 ng/l), rybník k rybaření (horní část 66 ng/l, dolní část < 50 ng/l) a rybník ke koupání (258 ng/l). Močovina byla v těchto vzorcích většinou pod mezí stanovitelnosti; zřejmě byla již degradována na amonné ionty s detekovanými hodnotami 916, 471, 161, 250 a 185 µg/l. I z těchto výsledků je patrné, že hodnoty kofeinu a močoviny jsou vyšší v biokoupalištích než v rybnících jakéhokoli typu.

Námi sledované ukazatele, především kofein, močovina, ale i ATP a celkový dusík, vykazovaly v biokoupalištích významný sezonní průběh (obr. 3), výsledky za celou sezonu tak nelze průměrovat a je nutné posuzovat každý získaný výsledek zvlášť. Na lokalitě B byly vysoké „letní“ hodnoty kofeinu a močoviny zjištěny již ve vrcholné koupací sezoně 2022 (27. července o koncentraci 993 ng/l, resp. 12. srpna o koncentraci 432 ng/l – dosud nepublikované výsledky), které jsou srovnatelné s námi naměřenými hodnotami ve stejném období roku 2023. Přestože duplicitně odebrané vzorky (v roce 2023 vždy ze dvou různých míst v koupací části) většinou nevykazovaly velké rozdíly (převážně do 20 %), v některých případech byly rozdíly mezi duplicitními vzorky zaznamenány (kofein 9–26 %, močovina 5–48 %). Proto by zejména u nově testovaného biokoupaliště bylo žádoucí vždy odebírat vzorků více, nebo lépe vždy odebírat směsný vzorek.



Obr. 3 a, b. Sezonní průběh průměrných koncentrací (ze dvou míst A a B) pro kofein, močovinu a celkový ATP a amoniakální (N_{amo}) a celkový dusík (N_T)

Fig. 3 a, b. Seasonal course of average concentrations (from two locations A and B) for caffeine, urea, ATP, ammonia (N_{amo}) and total nitrogen (N_T)

Potvrzení korelace mezi koncentrací kofeinu a aktuálním počtem koupajících se osob lze nalézt v práci týmu Lempart a kol [42], kteří prováděli monitoring kofeinu záměrně neovlivněný aktuální návštěvností bazénu (brzy ráno). Nejvyšší nalezená průměrná koncentrace kofeinu činila pouze 12,81 ng/l na tobogánu, průměrná koncentrace v plavecké zóně sportovního bazénu byla 3,68 ng/l.

Přestože tento výzkum přinesl mnoho zajímavých poznatků, otevřel také řadu dalších otázek, které by bylo dobré řešit, zejména v souvislosti s budoucí očekávanou změnou české legislativy. Aktuálně používané ukazatele pro hodnocení kvality vody v biokoupalištích jsou nedostatečné (navíc se výsledky získají za tři dny) a zcela nevystihují hlavní problémy na lokalitách. Na rozdíl od přírodních koupališť je totiž možné v biokoupalištích danou situaci ovlivnit (např. zvýšit intenzitu čistících procesů). Dále tyto poznatky mohou být využity při zakládání nového biokoupaliště. Pro vlastní provoz biokoupališť však především chybějí provozní ukazatele, jež poskytují rychle dostupné výsledky, které si provozovatel může sám stanovit a podle nich operativně upravit provoz. To bohužel stanovení kofeinu, močoviny ani celkového dusíku nespĺňují vzhledem k tomu, že je nutné je stanovovat v laboratoři. Případné využití měření celkového ATP *in situ* se bude muset nadále studovat, především jeho změny v čistící (tj. velmi biologicky aktivní) části. Z hygienického hlediska je důležitý pohled na dlouhodobější zatížení biokoupaliště. Dlouhodobé a vysoké zatížení biokoupaliště s sebou také může přinášet mnoho dalších látek (léky, hormony, zbytky kosmetiky) a příležitostně patogenních mikroorganismů z pokožky či sliznic, a to i v případě, že stávající indikátory fekálního znečištění nepřesahují předepsaný limit. Toto bylo potvrzeno např. v případě příležitostného ušního patogenu *Pseudomonas otitidis* v biokoupalištích ve vrcholné koupací sezoně [35], kdy nejvyšší počty byly nalezeny na konci koupací sezony. Korelace s kofeinem a močovinou však zjištěna nebyla. Při kontrole dlouhodobého zatížení by kofein, močovina i celkový dusík mohly nalézt uplatnění. Stanovení kofeinu je však drahé a je zavedeno jen v malém počtu laboratoří. Také stanovení močoviny není v laboratořích běžně zavedeno a je poměrně pracné. Z tohoto pohledu se nejslibněji jeví celkový dusík, který stanovuje více laboratoří a jeho stanovení je cenově dostupnější.

ZÁVĚR

Biokoupaliště jsou specifické systémy, kde dominantní úlohu pro udržení kvality vody hrají živé organismy, zároveň se zde na relativně malé ploše koupe ve vrcholné sezoně velké množství lidí. Přestože se již nějakou dobu biokoupaliště studují, stále jsou získané poznatky omezené a vyvstávají další otázky. Převládající znečištění je tu antropogenního původu (hlavní vnos znečištění představují koupající se lidé) a sledované ukazatele antropogenního zatížení (kofein a močovina) vykazují ve vrcholné letní sezoně hodnoty až > 500 ng/l, resp. µg/l. Současnou legislativou předepsané ukazatele (indikátory fekálního znečištění *E. coli* a intestinální enterokoky) toto zvýšené antropogenní zatížení nepodchytily. Výsledky stanovení celkového ATP se ukázaly zajímavé, ale bude třeba ještě dalšího výzkumu, zejména v čistících, tj. velmi mikrobiálně aktivních zónách (jeho souvislost s celkovým oživením apod.). Jako ukazatel postupného zvyšování antropogenního zatížení během sezony by mohl být vhodný celkový dusík.

Poděkování

Vznik příspěvku byl podpořen v rámci MZ ČR – RVO (Státní zdravotní ústav – SZÚ, IČ 75010330). Děkujeme provozovatelům biokoupališť za umožnění vzorkování a za cenné doplňující informace.

SEZNAM ZKRATEK

ATP – adenosintrifosfát

IS PiVo

RLU – relativní jednotka světla

KTJ – kolonie tvořící jednotka

MPN – nejpravděpodobnější počet (Most Probable Number)

Nt – celkový dusík

Literatura

- [1] PUMANN, P., BAUDIŠOVÁ, D., MYŠÁKOVÁ, M., MAYEROVÁ, L., JELIGOVÁ, H., BOBKOVÁ, Š. „Biokoupaliště“ – hygienické aspekty, kvalita vody a legislativa In: ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ, J., PETRÁKOVÁ KÁNSKÁ, K. (eds.). *Sborník konference Vodárenská biologie 2023*, 9.–10. 2. 2023, Praha. Chrudim: Vodní zdroje EKOMONITOR, s. 110–115. ISBN 978-80-88238-24-9.
- [2] Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a změně některých souvisejících zákonů.
- [3] Vyhláška MZ č. 238/2011 Sb., o stanovení hygienických požadavků na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch.
- [4] VOET, D., VOETJ, G., PRATT, C. W. *Fundamentals of Biochemistry, Life at Molecular Level*, 2nd ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley and Sons Pte Ltd, 2006. ISBN 0-471-74268-6.
- [5] WILTSHIRE, K. H., LAMPERT, W. Urea Excretion by *Daphnia*: A Colony-Inducing Factor in *Scenedesmus*? *Limnology and Oceanography*. 1999, 44(8), s. 1 894–1 903. Dostupné z: <https://doi.org/10.4319/lo.1999.44.8.1894>
- [6] SIUDA, W., CHRÓST, R. Urea and Ureolytic Activity in Lakes of Different Trophic Status. *Polish Journal of Microbiology*. 2006, 55(3), s. 211–25. Dostupné z: <https://doi.org/10.3161/15052249PJE2015.63.1.010>
- [7] BLACKSTOCK, L. K. J., WANG, W., VEMULA, S., JAEGER, B. T., LI, X.-F. Sweetened Swimming Pools and Hot Tubs. *Environmental Science & Technology Letters*. 2017, 4(4), s. 149–153. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.7b00043>
- [8] ERDINGER, L., KIRSCH, F., SONNTAG, H. G. Potassium As an Indicator of Anthropogenic Contamination of Swimming Pool Water. *Zentralblatt für Hygiene und Umweltmedizin. International Journal of Hygiene and Environmental Medicine*. 1997. 200(4), s. 297–308.
- [9] KARIMI, B. Formation of Disinfection By-Products in the Swimming Pool Water Treated with Different Disinfection Types. *Desalination and Water Treatment*. 2020, 175, s. 174–181. Dostupné z: <https://doi.org/10.5004/dwt.2020.24887>
- [10] ZHANG, D., CHENG, L., DONG, S., LUO, J., XU, Z., CHU, W. Dramatically Increased Disinfection Byproducts in Swimming Pool Water Caused by Commonly Used Urea Degradants. *Water Research*. 2022, 223, 118987. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118987>
- [11] ZHOU, J., LIU, C., CHEN, Y., LUO, X., DENG, D. Determination of Urea in Swimming Pool Water Using High-Performance Liquid Chromatography with Online Postcolumn Derivatization by Xanthidrol. *Journal of Chromatographic Science*. 2023, 61(4), s. 339–346. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/chromsci/bmac025>
- [12] RUDOLPH, E., FÄRBRINGER, A., KÖNIG, J. Determination of the Caffeine Contents of Various Food Items within the Austrian Market and Validation of a Caffeine Assessment Tool (CAT). *Food Additives & Contaminants – Part A: Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment*. 2012, 29(12), s. 1 849–1 860. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/19440049.2012.719642>

- [13] REDDY, V. S., SHIVA, S., MANIKANTAN, S., RAMAKRISHNA, S. Pharmacology of Caffeine and its Effects on the Human Body. *European Journal of Medicinal Chemistry Reports*. 2024, 10, 100138. ISSN 2772-4174. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ejmcr.2024.100138>
- [14] BUERGE, I. J., POIGER, T., MULELR, M. D., BUSER, H. R. Caffeine an Anthropogenic Marker for Wastewater Contamination of Surface Waters. *Environmental Science and Technology*. 2003, 37(4), s. 691–700. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/es020125z>
- [15] RYBAK, M., STERNBERG, M. R., PAO, Ch. I., AHLUWALIA, N., PFEFFER, Ch. M. Urine Excretion of Caffeine and Select Caffeine Metabolites Is Common in the US Population and Associated with Caffeine Intake. *Journal of Nutrition*. 2015, 145. Dostupné z: <https://doi.org/10.3945/jn.114.205476>.
- [16] BOBKOVÁ, Š., BAUDIŠOVÁ, D., MAYEROVÁ, L., MYŠÁKOVÁ, M., KOTHAN, F., POUZAROVÁ, T., PUMANN, P. Přístupy při monitorování mikrobiálního znečištění koupacích vod. *Acta Hygienica Epidemiologica et Microbiologica*. 2022, 2, s. 1–41. Dostupné z: <https://szu.cz/knihovna/ahem>
- [17] PAIGA, P., RAMOS, S., JORGE, S., SILVA, J. G., DELERUE-MATOS, C. Monitoring Survey of Caffeine in Surface Waters (Lis River) and Wastewaters Located at Leiria Town in Portugal. *Environmental Science and Pollution Research*. 2019, 26, s. 33 440-33 450. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06168-w>
- [18] KULLBERG, A. T., CARLSON, G. L., HAVER, S. M., McDOWELL, W. G. Contamination of Maine Lakes by Pharmaceuticals and Personal Care Products. *Journal of Environmental Studies and Sciences*. 2022, 12, s. 248–259. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s13412-021-00733-x>
- [19] DOBIÁŠ, J. Dlouhodobé změny jakosti vody v úseku Podolí–Troja. In: FUKSA, J. K. (ed.). *Vltava v Praze – vliv města na řeku a řeky na město. Sborník prezentací*. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., 2018. ISBN 978-80-87402-67-2.
- [20] SALIHU, I., SHUKOR, M. Y., MOHD, S. A., RAHMAN, N. A. A., KHALID, A., AHAMD, S. A. Bacterial Degradation of Caffeine: A Review. *Asian Journal of Plant Biology*. 2014, s. 24–33. Dostupné z: <https://doi.org/10.54987/ajpb.v2i1.84>
- [21] TEO, T. T. L., COLEMAN, H., KHAN, S. J.: Occurrence and Daily Variability of Pharmaceuticals and Personal Care Products in Swimming Pools. *Environmental Science and Pollution Research*. 2016, 23(7), s. 6 972–6 981. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5967-4>
- [22] DRDANOVÁ, A. P., TULIPÁNOVÁ, A., IMREOVÁ, Z., KRIVONÁKOVÁ, N., VOJS STAŇOVÁ, A., GRABIC, R., FEHÉR, M., SVITKOVÁ, V., NEMČEKOVÁ, K., ŠÍPOŠ, R., RYBA, J., MACKULAK, T. Comprehensive Analysis of Pharmaceutical and Illicit Drugs Contamination in Thermal Swimming Pools: Occurrence, and Potential Impact. *Environmental Pollution*. 2025, 368, 125775. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2025.125775>
- [23] SKLENÁŘ, Z. Močovina – vlastnosti, použití a praktické zapracování do topických polotuhých základů. *Praktické lékařství*. 2007, 4, s. 177–180.
- [24] GOKULASHKRISNAN, S., CHANDRARAJ, K., GUMMADI, S. N. A Preliminary Study of Caffeine Degradation by *Pseudomonas* sp. GSC 1182. *International Journal of Food Microbiology*. 2007, 113(3), s. 346–350. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2006.07.005>
- [25] DASH, S. S., GUMMADI, S. N. Degradation Kinetics of Caffeine and Related Methylxanthines by Induced Cells of *Pseudomonas* sp. *Current Microbiology*. 2007, 55(1), s. 56–60. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00284-006-0588-2>

- [26] ALHASSEN, H. M., DYER, F. J., THOMPSON, R. M. The Photolytic Breakdown of Caffeine and Paracetamol Residues in Surface Water. *Water*. 2023, 95(8), e10909. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/wer.10909>
- [27] HUBAČ, J. *Výskyt a biodegradace mikropolutantů v povrchových vodách. Diplomová práce*. Praha: VŠCHT v Praze, 2020.
- [28] BAUDIŠOVÁ, D. Význam a limity využití ukazatele ATP v mikrobiologii vody. *Vodní hospodářství*. 2024, 5, s. 1–3.
- [29] <https://www.in-pocasi.cz/>
- [30] PUMANN, P., LUSTIGOVÁ, M., JELIGOVÁ, H., POUZAROVÁ, T., ŽEJGLICOVÁ, K., KOTHAN, F., KOŽÍŠEK, F., FOJTÍK, T., BAUDIŠOVÁ, D., MYŠÁKOVÁ, M., BRICHOVÁ, I., UHLÍŘOVÁ, K., KULT, A. Vodní rekreace – koupání v přírodních koupalištích a dalších povrchových vodách. Monotematické číslo časopisu *Acta Hygienica, Epidemiologica et Microbiologica*. 2015, 1. 50 s.
- [31] DE LAAT, J., FENG, W., FREYFER, D. A., DOSSIER-BERNE, F. Concentration Levels of Urea in Swimming Pool Water and Reactivity Chlorine with Urea. *Water Research*. 2011, 45(3), s. 1 139–1 146. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.11.005>
- [32] ČSN ISO 21676 *Kvalita vod. Stanovení rozpuštěné frakce vybraných léčivých přípravků, jejich metabolitů a dalších organických látek ve vodách a v čištěných odpadních vodách – Metoda vysokoúčinné kapalinové chromatografie s hmotnostně spektrometrickou detekcí (HPLC-MS/MS nebo –HRMS) po přímém nástřiku*.
- [33] ČSN EN ISO 9308-2 *Kvalita vod. Stanovení koliformních bakterií a Escherichia coli. Část 2: Metoda nejpravděpodobnějšího počtu*.
- [34] ČSN EN ISO 7899-2 *Jakost vod. Stanovení intestinálních enterokoků. Část 2: Metoda membránových filtrů*.
- [35] BAUDISOVA, D., BOBKOVA, S., PUMANN, P. The Occurrence of Opportunistic Pathogenic *Pseudomonas* Species in Bathing Ponds. *Folia Microbiologica*. 2024, 70, s. 253–257. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s12223-024-01229-1>
- [36] ČSN ISO 10260 – *Jakost vod. Měření biochemických ukazatelů. Spektrofotometrické stanovení koncentrace chlorofylu-a*.
- [37] ČSN EN 26777 – *Jakost vod. Stanovení dusitanů. Molekulární absorpční spektrofotometrická metoda*.
- [38] ČSN ISO 7890-3 – *Jakost vod. Stanovení dusičnanů. Část 3: Spektrometrická metoda s kyselinou sulfosalicylovou*.
- [39] ČSN ISO 7150-1 – *Jakost vod. Stanovení amonných iontů. Část 1: Manuální spektrometrická metoda*.
- [40] ČSN EN ISO 6878 – *Jakost vod – Stanovení fosforu – Spektrofotometrická metoda s molybdenanem amonným*.
- [41] BAUDIŠOVÁ, D., KOŽÍŠEK, F., MAYEROVÁ, L., PUMANN, P., JELIGOVÁ, H. Zdravotní rizika interaktivních vodních prvků a jejich prevence. *Hygiena*. 2024, 69(1), s. 11–17. Dostupné z: <https://doi.org/10.21101/hygiena.a1854>

[42] LEMPART, A., KUDLEK, E., DUDZIAK, M. Concentration Levels of Selected Pharmaceuticals in Swimming Pool Water. *Desalination and Water Treatment*. 2018, 117, s. 353–361. ISSN 1944-3986. Dostupné z: <https://doi.org/10.5004/dwt.2018.22552>

Autoři

RNDR. Dana Baudišová, Ph.D.*

dana.baudisova@szu.cz

ORCID:

Ing. Lenka Mayerová, Ph.D.¹

lenka.mayerova@szu.cz

ORCID: 0000-0003-1879-0306

Mgr. Petr Pumann¹

petr.pumann@szu.cz

ORCID: 0000-0002-1060-4188

Ing. Hana Kujalová, Ph.D.²

hana.kujalova@vscht.cz

ORCID: 0000-0002-2859-4774

Ing. Martin Ferencík³

ferencikm@pla.cz

ORCID: 0000-0002-6273-3168

¹Státní zdravotní ústav, Praha (Česká republika)

²Vysoká škola chemicko-technologická v Praze (Česká republika)

³Povodí Labe, státní podnik (Česká republika)

Příspěvek prošel recenzním řízením.

DOI: 10.46555/VTEL.2025.05.003

CAFFEINE AND UREA AS INDICATORS OF ANTHROPOGENIC LOAD ON BATHING PONDS

BAUDIŠOVÁ, D.¹; MAYEROVÁ, L.¹; PUMAN, P.¹; KUJALOVÁ, H.²; FERENČÍK, M.³

¹The National Institute of Public Health, Prague (Czech Republic)

²University of Chemistry and Technology, Prague (Czech Republic)

³Povodí Labe, state enterprise (Czech Republic)

Keywords: bathing ponds – anthropogenic pollution – urea – caffeine – ATP

Bathing ponds represent a specific ecosystem where living organisms play a dominant role in maintaining the quality of water in the source. At the same time, they are very frequently visited, so the biggest source of pollution is from bathers. The aim of this publication is the presentation and evaluation of possible chemical indicators of anthropogenic load – caffeine and urea at four locations (two of which during the entire bathing season) in the summer of 2023. Furthermore, the results of basic chemical and microbiological indicators detection are presented, including adenosine triphosphate (ATP), which represents a total microbial recovery. The indicators of anthropogenic load (caffeine and urea) show values of up to > 500 ng and µg/l respectively in the peak summer season. The indicators prescribed by current legislation (indicators of faecal pollution *E. coli* and intestinal enterococci) did not capture this increased anthropogenic load. The determination of ATP has shown promise, but further research will be needed, especially in purifying, i.e. very microbially active zones. Total nitrogen could be suitable as an indicator of the gradual increase in anthropogenic load during the season.



Ilustrační foto