vodní hospodářství®

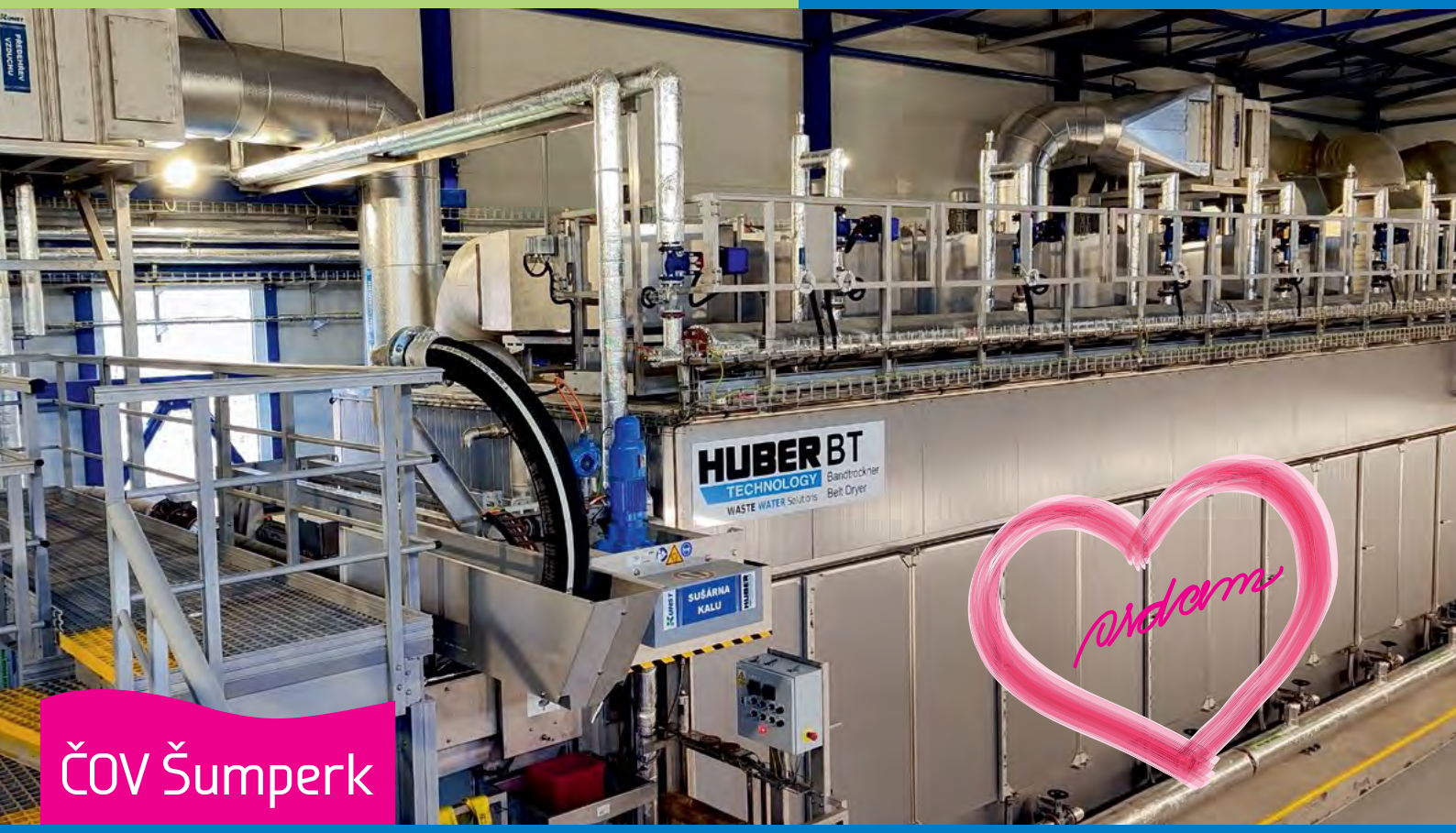
www.vodnihospodarstvi.cz

ročník 74
2
2024

KUNST

Generální dodavatel vodohospodářských investičních celků

Ve spolupráci se společností HUBER CS zabezpečíme i pro Vás projekční návrh a dodávku nízkoteplotní pásové sušárny a periferií špičkové kvality.



ČOV Šumperk

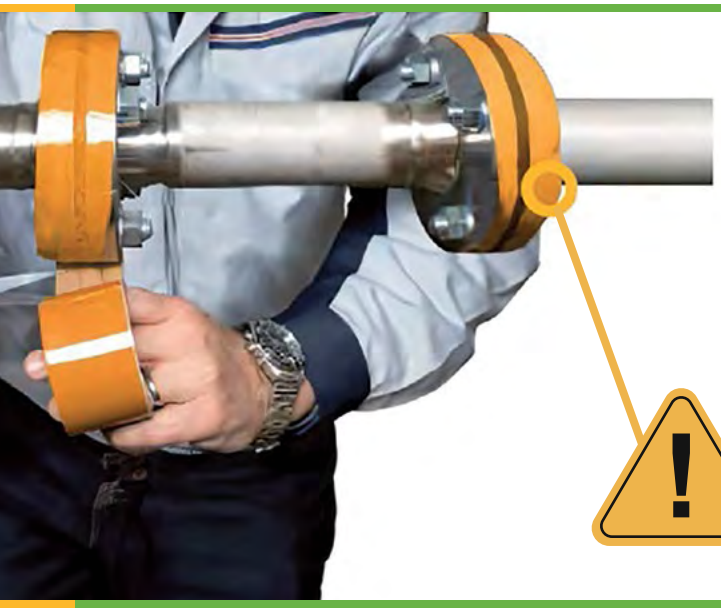
21.–22. 3. Kaly a odpady. Konference. Senec. Info: miroslav.hutnan@stuba.sk

23.–24. 4. Nové metody a postupy při provozování ČOV. Info: www.vhos.cz

24.–25. 4. Podzemní vody ve vodárenské praxi. Rychnov n. Kn. Info: studio@studioaxis.cz

PŘES 30 LET S VÁMI

Příslušenství trubních sítí



Indikační páska k detekci úniku H2

- umožňuje rychlou a snadnou vizuální detekci úniku na základě trvalé změny barvy po kontaktu s vodíkem
- reakční doba již od 10 s, při koncentraci již od 1%
- lze snadno nalepit nebo navinout kolem různých potrubních spojů nebo ventilů jako běžnou lepicí pásku
- vhodná pro vnitřní i venkovní použití

DISA s.r.o.
Barvy 784/1 | 638 00 Brno

548 141 211
www.disa.cz | info@disa.cz

Nic netrvá věčně, ani věčně hučící lesy

Pan Václav Mazín je vynikající praktik v oblasti pozemkových úprav. V minulosti o nich i ve Vodním hospodářství velice fundovaně psal. Po jistém váhání v tomto čísle časopisu otiskujeme první část Václavova článku „Mohou obnovit Šumavu přírodní procesy?“ Proč to váhání? Příspěvek obsahově ne zcela zapadá do portfolia časopisu Vodní hospodářství, navíc jde i o to, že z velké části je jeho obsah spíše ideologický než odborný.

Šumava je mi blízká emočně, mám tady své kořeny, žiju tady a jednou z hřbitova na Svaté Máří budu na věky věkův hledět na Boubín. Teď ale žiju, a proto jsem to tady prochodil, mnohé o Šumavě načetl, nerad poslouchám, ale rád naslouchám, tak jsem se seznamoval s názory těch, kteří to vidí tak, i těch, co to vidí přesně opačně.

Mnohá autorova tvrzení považuji za nesprávná, někdy si protiřečící a – opakuji – na mé gusto je příspěvek dle mého veden v příliš ideologickém duchu. Konzultoval jsem moje pochybnosti s předsedou redakční rady, Tomášem Kvítkem. Ten mi položil řečnickou otázku. „Není to recenzovaný článek, je to článek diskusní, tak snad TY nebudeš cenzurovat?!“ To rozhodlo. Věřím, že se najdou čtenáři, kteří se k tématu o vztahu lesů, klimatu a vody obšírně (nejen z pohledu Šumavy) vyjádří.

Určitě je třeba brát v potaz i úlohu a potřebu člověka jako jedince i celou společnost. Zvětšují se lidské znalosti, stále více vzrůstá společenská (s)potřeba. Je třeba brát jako fakt, že náš vliv na okolí, krajinu, ať už chtěné či nechtěné, jsou řádově větší, než byly před stoletím a o několik řádů větší, než byly před staletími. Lidstvo stále více prozřívá, že nevědělo! Nyní zjišťujeme, jak naše zásahy do krajiny, její omezení, přeměna, potlačení přirozených funkcí se obrací proti nám.

Včera jsem jel přes Českomoravskou vrchovinu, na mnoha místech, která podle katastru mají být lesy, jsem viděl holiny, nebo smrkové lesy prořídlé a průhledné jako hřeben s vylámanými zuby. Postižena tedy není jen Šumava, je to záležitost regionální, nadstátní, globální. Příčinou je klimatická změna a (z)mizení vody v krajině. Proč tomu tak je? O tom se diskutuje celosvětově, na stránkách Vodního hospodářství PT pánové Kvítek a Pokorný, přidává se pan Mazín.

Tu z hlediska lidského zkázu a pohromu, z hlediska přírody (ta v emocích neuvažuje) zlomovou epizodu, která patří k sukcesnímu cyklu, nezpůsobili konkrétní lidé, ale my všichni, celá společnost, civilizace, a to svým antropocentrickým přístupem, vírou, že poručíme větru, dešti (a poroučeli a poroučejí i na západ od našich hranic), svým otesánkovským obžerstvím. Musíme počítat, že s pravděpodobností hraničící s jistotou tady na konci století bude krajina úplně jiná, než jsme zvyklí. Naopak může se průběh teplot a srážek skoro skokově překlopit a může se i prudce ochladit, odborníci hovoří o bodu zlomu, který i v minulosti bez vlivu člověka se několikrát projevil. V dohledné době to však vypadá, že teplota bude jenom růst. Jelikož dramaticky se nechceme změnit, omezit, resetovat a přenastavit se, tak s probíhající změnou nic nenaděláme.

Při jedné své toulce mrtvým lesem jsem si uvědomil, že nehučí, nešumí, jako když jsem byl mlád. Ten les jsme brali jako neměnnou jistotu, nepochybovali jsme, že pořád budou hluboké smrkové lesy hučet a zpívat. Já si tu melodii pamatuji, ale slyšet je stále méně. Jsem si jist, že na mnoha místech po letech zase se smrčiny rozezní, ale jsem si skoro jist, že ne na věky. Pamatuji se, když před pár lety jedna zeleně uvažující dáma na jednom setkání tady na Šumavě radostně zvolala, když se prosadila bezzásahovost: „Podařilo se zachránit horské smrčiny!“ Odvětil jsem jí s poněkud trpkým úsměvem, že smrčiny se nezachránily, jen se oddálilo to, že i v těch vyšších partiích, až tady my nebudeme, smrčiny spíše také nebudou, že jen doufám, že novým klimaxovým stavem nebudou holiny, ale nějaké listnaté lesy, které budou zachytávat také vodu, a i ji odpařovat, krajinu klimatizovat a tím i zajistí, že pořád bude to tu „ta krásná země napohled“.

Ing. Václav Stránský

vodní hospodářství® 2/2024

OBSAH

- **Elektrochemické metody pro čištění vody a odstranění fosforu z malých zdrojů znečištění (Maršálek, B.; Maršálková, E.; Zezulka, Š.; Odehnalová, K.) 1**
- **Pasivní odběr a analýza mikroplastů v povrchových vodách (Horáková, E.; Wimmerová, L.) 5**
- **Hodnotenie dopadov zmien klímy na vybrané zložky vodnej bilancie beskydských povodí (Ruman, S.; Horáček, M.; Spálovský, V.; Hradecký, J.) 10**
- **Různé**
  - Jak vodní nádrže na řece Ohři ovlivnily vánoční povodeň (Tanajewski, M.) 14
  - Kromě povodňových průtoků vodní nádrže zadržely enormní množství splavenin (Chmelař, P.) 15
  - Odpověď na diskusi: prof. Tomáš Kvítek, Vodní hospodářství 1/2024 (Pokorný, J.) 18
  - VIII. ročník semináře k zprůchodnění migračních překážek ve vodních tocích (Hladík, M.) 22
  - Mohou obnovit Šumavu přírodní procesy? (Mazín, V. A.) 24
  - A comparative study of three fishery methods for sampling the invasive topmouth gudgeon (Pseudorasbora parva) in ponds (Blabolil, P.) 27
  - Slowing Down Quick Runoff-A New Approach for the Delineation and Assessment of Critical Points, Contributing Areas, and Proposals of Measures to Reduce Non-Point Water Pollution from Agricultural Land (Kvítek, T.) 27
  - Seminář: Aplikace sedimentů na zemědělskou půdu (Oppeltová P.) 28
- **Firemní prezentace**
  - Magneticko-indukční vodoměr WATERFLUX 3070 V3 (Rumpf, M.) 16

CONTENTS

- **Electrochemical methods for water treatment and phosphorus removal from small pollution sources (Marsalek, B.; Marsalkova, E.; Zezulka, S.; Odehnalova, K.) 1**
- **Passive sampling and analysis of microplastics in surface waters (Horakova, E. Wimmerova, L.) 5**
- **Assessment of the impacts of climate change on selected water balance deposits of the Beskydy basins (Ruman, S.; Horacek, M. Spalovsky, M.; Hradecky, J.) 10**
- **Miscellaneous 14, 15, 18, 22, 27, 27, 28**
- **Company section 16**

Již 28. ročník dlouhodobě zavedené konference **Nové metody a postupy při provozování ČOV** proběhne ve dnech 23.–24. 4. 2024. Také letos se konference bude konat v kongresovém hotelu Jezerka u Sečské přehrady. Pořadatelem konference je společnost VHOS, a.s. ze skupiny ENERGIE AG BOHEMIA s. r. o. a Asociace pro vodu ČR, z. s. (CzWA), respektive odborná skupina Čištění a recyklace městských odpadních vod. Program konference s přihláškou je dostupný na stránkách www.vhos.cz.
Vodní hospodářství je mediální partner

Uveřejněné články jsou otevřeny k diskusi do 30. dubna 2024. Rozsah diskusního příspěvku je omezen na 2 normostrany A4, a to včetně tabulek a obrázků. Příspěvky laskavě zasílejte na e-mail stransky@vodnihospodarstvi.cz.

Chemie pro komunální a průmyslové ČOV

Zařízení pro hospodaření s kaly – dezintegrace, VTA mudinator

Energie na ČOV – VTA mikroturbína

Technologie, poradenství

VTA Česká republika spol. s r.o.
Větrná 1454/72, 370 05 České Budějovice
www.vta.cc +420 603 854 020 j.losonsky@vta.cc vta-cz@vta.cc

Sweco a. s.

Projektové, konzultační a inženýrské služby pro vodní hospodářství, životní prostředí, infrastrukturu, udržitelnou energetiku a pozemní stavitelství

www.sweco.cz

SWECO

PRAHA 4
Táborská 31
Tel. 261 102 242
praha@sweco.cz

BRNO
Hudcova 487/76a
Tel. 541 214 973
brno@sweco.cz

OSTRAVA
Varenská 49
Tel. 596 638 329
ostrava@sweco.cz

Elektrochemické metody pro čištění vody a odstranění fosforu z malých zdrojů znečištění

Blahoslav Maršálek, Eliška Maršálková, Štěpán Zezulka, Klára Odehnalová

Abstrakt

Práce se zabývá možnostmi elektrochemických metod čištění vody, jako jsou elekroflokulace, elektrokoagulace, elektroflotace, elektrooxidace a elektroporace. Speciální pozornost je věnována odstranění fosforu pomocí elektrokoagulace. V textu je popsána konstrukce a použití elektrokoagulační jednotky, která může zpracovat až 10 m³ vody za hodinu provozu, je napájena stejnosměrným proudem a energetická náročnost se pohybuje v rozmezí 400–425 Wh/m³. Hodnoty proudu a napětí při procesu byly 20–55 A, a 8–12 V. V použitém provozním režimu (poloviční osazení deskových elektrod, tedy 10 ks) produkuje jednotka až 20 g Al za hodinu, při průtoku 1,2 m³ za hodinu je to 16,8 g Al, při průtoku 5 m³/h je to 4 g Al/m³. Verifikace účinnosti odstranění fosforečnanového fosforu v provozních podmínkách s přírodní vodou řeky Moravy a Dobřejovického potoka prokázala účinnost 89–98 %. V práci jsou diskutovány výhody a limitace této metody a porovnání se standardní metodou dávkování solí hliníku a železa z hlediska ekonomického, provozního a ekologického.

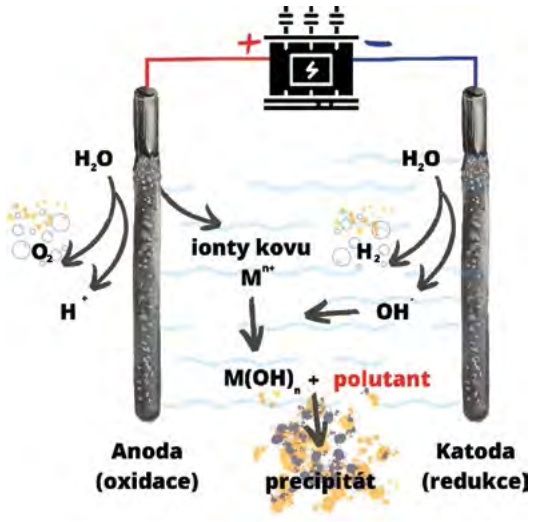
Klíčová slova
fosfor – elektrokoagulace – technologie čištění vody

Úvod

Mezi nejčastěji zmiňované elektrochemické metody řízení kvality vody řadíme elektroflokulaci, elektrokoagulaci, elektroflotaci, elektrooxidaci a elektroporaci. V příspěvku se sice věnujeme praktické aplikaci elektrokoagulace při procesu úpravy povrchové vody, ale pro správné pochopení jednotlivých pojmů považujeme za důležité popsat typické charakteristiky každé z nich.

Elektrokoagulace a elektroflokulace

Elektrokoagulace (EC) je alternativou chemické koagulace pro úpravu znečištěné vody. Jedná se o elektrolytický proces, při kterém je koagulační (srážecí) činidlo uvolňováno z kovu „obětované" elektrody v důsledku průchodu elektrického proudu. Schéma mechanismu je znázorněno na **obrázku 1**. Pojem EC zahrnuje dva jevy: prvním je proces, kdy dochází vlivem fyzikálních procesů k **flokulaci,** tedy tvorbě vloček (proto používáme pojmem elektroflokulace). Druhý je chemický proces **koagulace** neboli srážení, při kterém se působením koagulantu



Obr. 1. Schéma možných elektrochemických procesů

destabilizují náboje částic nečistot (obvykle v rozpuštěném nebo koloidním stavu), které se samy neusazují. Vytvořené vločky (agregáty) je následně možné v závislosti na jejich povaze z vody separovat běžnými fyzikálními procesy, jako jsou sedimentace (agregáty větší než 100 μm s vysokou hustotou a odolností), filtrace (malé agregáty < 50–60 μm s vysokou hustotou) anebo flotace (částice o velikosti 25–50 μm s nízkou hustotou. Vločky vytvořené během elektrokoagulace jsou obvykle mnohem větší než ty vytvořené pomocí chemického koagulantu, jsou stabilnější, a proto je lze snadněji oddělit usazováním a filtrací. Koncentrace koagulantu (iontů uvolněných z materiálu elektrod) při EC je přitom mnohem menší a odpadá tak nutnost neutralizace nadbytku přebytečných chemických látek, čímž se minimalizuje riziko potenciálního sekundárního znečištění. Výhodou je také menší množství vznikajícího sedimentu/kalu [1]. Dalším benefitem je i fakt, že EC jednotka může být provozována kontinuálně s vysokým stupněm automatizace a napájena může být solární či větrnou energií [2, 3].

Elekrokoagulace je běžně používaná pro úpravu pitné vody [4, 5] či čištění městských a průmyslových odpadních vod [6–9]. Pomocí EC lze odstraňovat anorganické látky jako dusičnany a dusitany [10], fosforečnany [11] či těžké kovy [12], ale i organické látky, např. hormony [13], léčiva [14], perfluorované sloučeniny [15] či barviva [16]. Tato technika byla také použita za účelem eliminace bakterií [17] a její kombinace s **elektroflotací** na odstranění řas [18].

Elektroflotace

Při elektroflotaci jsou vzniklé vločky z vodního sloupce vynášeny k hladině pomocí drobných bublinek plynu (vodík, kyslík) vznikajících na elektrodách (viz **obrázek 1**). Pokud jsou v roztoku přítomné i chloridové ionty, může se na anodě tvořit i plynný chlór [19]. Bublinky vzniklých plynů, obvykle velikostně významně menší než bubliny z aerátorů (zejména H_2), vynášejí k hladině nežádoucí materiál a taková povrchová vrstva je poté snadno oddělitelná sběračem (tzv. skimmerem) od čištěné vody. Obvyklým cílem elektroflotace je snížení zákalu vody, snížení obsahu suspendovaných částic, biomasy mikroorganismů (bakterie, sinice, řasy), barviv nebo oxidovatelných organických polutantů (snížení hodnoty CHSK) [20].

Elektrody vhodné pro elektroflotaci by měly být vytvořeny především z inertních (korozi odolávajících) materiálů. Pro anody jsou používány titan, platina, grafit, nerezová ocel nebo vodivé směsi oxidů kovů (tzv. Mixed Metal Oxide electrodes (MMO), nebo též Dimensionally Stable Anodes (DSA), tvořené oxidy ruthenia, titanu nebo platiny), které jako povrchová vrstva brání korozi vnitřního materiálu elektrody, a přitom katalyzují žádoucí reakce na povrchu (např. produkci plynného chlóru). V literatuře jsou však často zmiňovány i elektrody z běžnějších materiálů, jako jsou Al a Fe, nebo potenciálně nebezpečných prvků, jako jsou Cu a Zn. Jako materiál katod jsou nejčastěji uváděny hliník, uhlík a nerezová ocel kvůli odolnosti a efektivnímu uvolňování plynů [19].

Klíčovými faktory elektroflotace jsou, stejně jako u elektrokoagulace, hustota proudu (obvykle jednotky až stovky mA/cm²) a doba expozice (obvykle cca deset minut).

Z hlediska provedení a vzájemného postavení elektrod jsou výhodné elektrody v podobě mřížky, s vhodnou vzdáleností od sebe (obvykle 5–15 mm), která umožní vznik a uvolnění jemných bublinek plynů. V literatuře je zmiňováno jak vertikální, tak horizontální postavení elektrod.

Elektroporace

Proces elektroporace je trochu výjimkou mezi elektrochemickými procesy vhodnými pro čištění vody. Jeho principem je krátkodobé (v řádu mikrosekund) působení silným elektrickým polem na částice znečištění ve vodě. Elektrické pole je generováno výbojem vysokého napětí (jednotky až desítky kV/cm), vzniká při něm pouze minimum oxidantů, stejně tak ohřátí (ohmické teplo) celého systému je zanedbatelné. Silné elektrické pole však vyvolává poškození organických molekul, včetně buněčných membrán mikroorganismů, což je využíváno pro dezinfekci vod např. bazénů, nebo odtoku ČOV [21]. V závislosti na použitém napětí lze elektroporaci využít v reverzibilním módu, např. pro extrakci biomasy či k jejímu usmrcení [22]. Generování silných elektrických pulzů je ovšem spojeno s nepříznivě vysokou spotřebou energie a také nutností zvýšené bezpečnosti provozu.

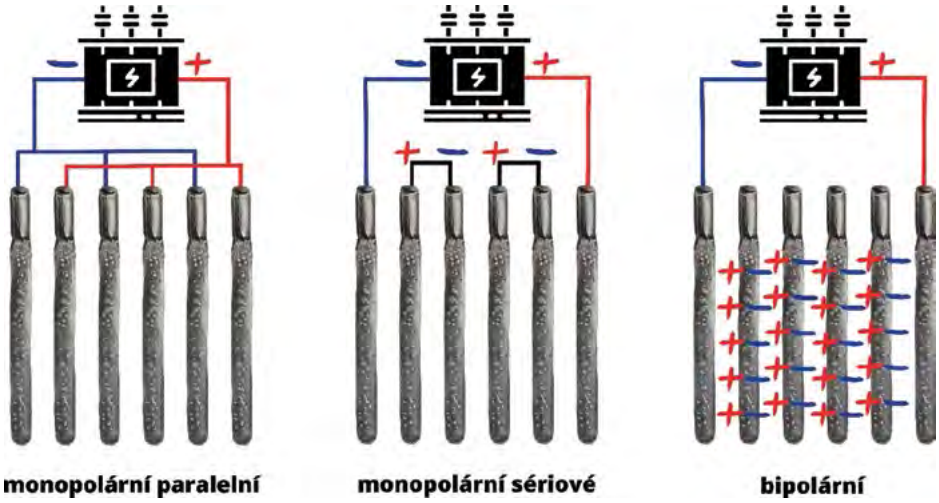
Elektrooxidace

Při elektrooxidaci mohou být znečišťující látky odstraňovány dvěma způsoby: přímou elektrolýzou, kdy jsou polutanty oxidovány

na povrchu anody bez účasti dalších látek, anebo nepřímou elektrolýzou, kdy k výměně elektronů dochází prostřednictvím redoxních činidel, která jsou generována na elektrodách. Je tedy zřejmé že hlavní roli při eletrooxidaci hraje materiál elektrod. Uplatňují se zde materiály, jako je platina, grafit, SnO_2, PbO_2, či tzv. borem dopované diamantové elektrody (Boron-Doped Diamond, BDD) [23, 24]. Metoda elektrooxidace patří mezi pokročilé oxidační technologie a byla použita k eliminaci perfluorokarboxylových kyselin [25], léčiv [26] anebo barviv [27]; v kombinaci s EC pak k odstranění pesticidů [28] či fosforu [29].

Mechanismus elektrokoagulačního procesu

Základní koncept procesu elektrokoagulace pochází od Michaela Faradaye. Během procesu dochází k *in situ* tvorbě koagulantu rozpouštěním kovu z anody za současné tvorby hydroxylových iontů a plynů (vodík, kyslík) na elektrodách. Počet, vzájemné uspořádání a zapojení elektrod může být různé. Rozlišuje se monopolární paralelní, monopolární sériové či bipolární uspořádání (**obrázek 2**). Za energeticky efektivnější je obvykle považováno paralelní uspořádání, vyšší účinnost čištění ale může mít uspořádání bipolární [30]. Výběr materiálu elektrod, zejména anody, je proto jedním z nejdůležitějších kroků procesu elektrokoagulace. Ačkoliv byla testována celá řada kovů, nejčastěji používaným materiálem pro anody jsou hliník nebo železo díky snadné dostupnosti, nízké ceně a lepšímu rozpouštění [30]. V materiálu anody se však mohou vyskytovat i další kovy (např. Zn, Mg, In). Materiál katody může tvořit Fe, Al, Ti, Mg, grafit, nerezová ocel a další [19].



Obr. 2. Možnosti uspořádání elektrod v elektrokoagulační jednotce

V případě železné anody jsou do roztoku uvolňovány ionty Fe^{2+}/Fe^{3+}, v případě hliníkové pak Al^{3+}. Uvolněné ionty kovu (M) v roztoku okamžitě reagují s hydroxylovými ionty (OH^-) vzniklými na katodě za vzniku hydroxidů ($M(OH)_n$). Vzniklé nestechiometrické polyhydroxidy se v roztoku vyskytují ve formě koloidních částic schopných adsorpce, a tak vytvářejí agregáty (vločky, precipitáty) se znečišťujícími látkami [31]. Jinak řečeno polyhydroxidy fungují jako destabilizační činidla, která neutralizují elektrický náboj polutantů. Schéma mechanismu je znázorněno na **obrázku 1**.

Mechanismus EC je velmi závislý na chemickém složení vodného prostředí, zejména na vodivosti. Proces také ovlivňují další parametry, jako jsou hodnota pH, velikost částic polutantů a jejich koncentrace [32].

V případě použití hliníkových elektrod se elektrolytickým rozpouštěním anody při nízkém pH vytváří kationty Al^{3+} a $Al(OH)^{2+}$, které se při vhodných hodnotách pH přeměňují nejprve na $Al(OH)_3$ a nakonec polymerují na $Al_n(OH)_{3n}$ podle následujících reakcí:

$$Al\ (s) \rightarrow Al^{3+}\ (aq) + 3e^- \quad (1)$$

$$Al^{3+}\ (aq) + 3H_2O \rightarrow Al(OH)_3 + 3H^+\ (aq) \quad (2)$$

$$nAl(OH)_3 \rightarrow Al_n(OH)_{3n} \quad (3)$$

V závislosti na pH vodného prostředí se však mohou vyskytnout i jiné iontové formy, například $Al(OH)^{2+}$, $Al_2(OH)_2^{4+}$ a $Al(OH)_4^-$, či multimerní formy hydroxo-Al^{3+} (viz **obrázek 3** a **tabulka 1**). Tyto nabité gelovité hydroxokationtové komplexy přitahují opačně nabité částice (polutanty), se kterými se spojují a dochází k adsorpci.

Při použití železné elektrody jsou uvolňovány železnaté/železité ionty:

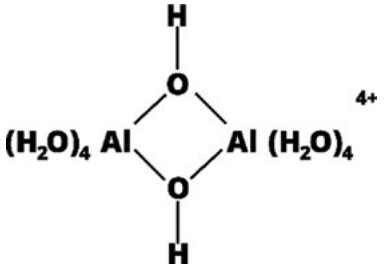
$$4Fe\ (s) \rightarrow 4Fe^{2+}(aq) + 8e^- \quad (4)$$

$$4Fe^{2+}\ (aq) + 10H_2O\ (l) + O_2\ (g) \rightarrow 4Fe(OH)_3 + 8H^+\ (aq) \quad (5)$$

Materiál a metody: Elektrokoagulační jednotka EC (reaktor)

Pro účely projektu „Autonomní systémy pokročilých a přírodě blízkých opatření pro režim péče a zlepšení kvality vody v památkách zahradního umění" jsme vyrobili provozní elektrokoagulační reaktor o objemu 265 litrů, v němž jsou umístěny elektrody, včetně potřebné elektroniky a zdroje. Pro odstranění fosforu byly použity elektrody z hliníkového plechu o síle 3 mm a rozměrech 40 x 50 cm (s možností instalace 2 x 10 desek), ponořené do čištěné vody, která mezi nimi (a okolo nich) proudí. K elektrodám je připojen zdroj elektrické energie, který je modulární – buď je zařízení napájeno jednosměrným proudem se stálou pozicí katod a anod, nebo je napájeno zařízením, které elektronicky pulzuje/mění směr toku elektrického proudu, a to v nastavených časových intervalech (nejčastěji používáme a výsledky zde uvedené se vztahují k pulzaci 120 s). S výhodou lze do reakční nádoby umístit na dno čerpadlo, které homogenizuje vzniklé sloučeniny hliníku, nebo železa tak, aby na odtoku byla stálá požadovaná reakční koncentrace. Nádoba EC jednotky je vytvořena z nevodivého materiálu (plast, plexisklo…). Může tvořit uzavřený systém („batch" mód) nebo může být průtočná.

Elektrody jsou napájeny stejnosměrným proudem o velikosti jednotek až desítek ampér na 1 m² efektivní plochy elektrod při napětí do 8–12 V. Podle hodnoty proudu, objemu čištěné vody se energetická náročnost elektrokoagulační jednotky pohybuje v rozmezí 400–425 Wh/m³. Hodnoty proudu a napětí při reakci byly 20–55 A, a 8–12 V. V použitém provozním režimu (poloviční osazení desek, tedy 10 ks) produkuje jednotka maximálně 20 g Al za hodinu, při průtoku 1,2 m³/h je to 16,8 g Al, při průtoku 5 m³/h je to 4 g Al. Celé zařízení je vysoce modulární a dle přání a požadavků lokality lze použít železné



Obr. 3. Příklad multimerní formy hydroxohlinitého kationtu

Tab. 1. Možné formy iontů Al a Fe v průběhu koagulace (převzato a upraveno z [33])

Stupeň polymerace	Možné chemické složení	
	Al(III)	Fe(III)
Monomery	Al^{3+}, $Al(OH)^{2+}$, $Al(OH)^{2+}$, $Al(OH)^{4-}$	Fe^{3+}, $Fe(OH)^{2+}$, $Fe(OH)^{2+}$, $Fe(OH)^{4-}$
Oligomery	$Al_2(OH)_2^{4+}$, $Al_2(OH)^{5+}$, $Al_3(OH)_4^{5+}$	$Fe_2(OH)_2^{4+}$, $Fe_2(OH)_5^{+}$, $Fe_3(OH)_4^{5+}$
Nižší polymery	$Al_6(OH)_{12}^{6+}$, $Al_6(OH)_{15}^{3+}$, $Al_8(OH)_{20}^{4+}$	$Fe_6(OH)_{12}^{6+}$, $Fe_6(OH)_{15}^{3+}$
Střední polymery	$Al_{13}(OH)_{32}^{7+}$, $Al_{13}O_4(OH)_{24}^{7+}$	–
Polymery	$Al_{15}(OH)_{36}^{9+}$, $Al_{30}O_8(OH)_{56}^{18+}$	–
Sol, gel	$(Al_{13})_n$, $Al(OH)_3$ (amorfní)	$Fe(OH)_3$ (amorfní)
Precipitát	$[Al(OH)_3]_n$	$[Fe(OH)_3]_n$

plechy (také pro odstranění fosforu), nebo například uhlíkové, nerezové, nebo kompozitní pro odstranění farmak a pesticidů pomocí elektrooxidace. Vzdálenost mezi elektrodami je 15 mm. Průtok elektrokoagulační jednotkou je nastavitelný od 1,2 do 5,5 m^3/h, jde tedy o průmyslové a plně provozní zařízení schopné zvládat lokální zdroje fosforu, nebo naopak čistit vodu přitékající do objektů, jako jsou parky, zámecké zahrady, veřejná koupaliště apod.

Výsledky a diskuse

Naprostá většina vědecké literatury publikované na Web of Sciences pracuje s laboratorními reaktory v objemech jednotek litrů a reakce je dokumentována v čase jednotek hodin. Reaktor použitý v této studii je průmyslové velikosti, a to jak průtokem, tak elektroinstalací. Vzhledem k problémům, které se vyskytují v reálném provozu, zejména zanášení elektrod, byla k řešení využita elektronická pulzace, která byla po optimalizaci nastavena na 2 minuty. Kratší časový interval vedl ke snížení proudového toku elektrodami, a tedy snížení výkonu produkce koagulantu, což se ukázalo v provozních podmínkách jako velmi funkční a umožňující dlouhodobý provoz bez nutnosti čištění elektrod.

Elektrokoagulační jednotka byla testována na dvou lokalitách (přítok do Arcibiskupských zahrad v Kroměříži, kde je zdrojem vody řeka Morava a na Dobřejovickém potoce přitékajícím do Průhonického parku), a to v průtočném a uzavřeném módu s přídavkem fosforečnanů ve formě KH_2PO_4. Přídavek fosforečnanů do přírodní vody je na rozdíl od dat publikovaných s laboratorní nebo pitnou vodou náročnější odstranit, protože v přírodní vodě se vyskytují také například organismy, které odeberou část koagulační kapacity.

Obr. 4. Porovnání koncentrací fosforečnanů před a po ošetřením elektrokoagulační jednotkou

Tab. 2. Výsledky odstranění fosforečnanů z přírodní povrchové vody a vody fortifikované fosforečnanem na hodnotu 1 mg/l

Testovaný vzorek	Vlastnosti vody		Koncentrace $P\text{-}PO_4$ (mg/l)		Účinnost odstranění
	pH	vodivost	před ošetřením	po EC ošetření	(%)
řeka Morava	7,4	435	0,157	0,017	89,17
Dobřejovický potok	7,8	785	0,123	0,013	89,43
řeka Morava (+1 mg/l $P\text{-}PO_4$)	7,3	451	1,135	0,023	97,97
Dobřejovický potok (+1 mg/l $P\text{-}PO_4$)	7,8	891	1,131	0,017	98,50

Výsledky prezentované na **obrázku 4** a v **tabulce 2** ukazují, že elektrochemická vodivost vody, která je v publikacích zmiňována jako důležitý parametr, je na testovaných lokalitách optimální a nemá významný vliv na odstranění fosforečnanů. Výsledky dále ukazují, že čím je vyšší koncentrace fosforečnanů (zde přídavek modeluje situaci odtoku ČOV, kde je elektrokoagulace v zahraničí používaná), tím je dosaženo vyšší procento odstranění fosforečnanů. To přináší dvě podstatné informace (i) vyrobené zařízení má dostatečnou kapacitu odstranit fosforečnany nejen z povrchové vody, kde jsou setiny miligramů, ale také z odtoku ČOV, kde jsou jednotky miligramů fosforečnanů; (ii) vyrobená EC jednotka je schopna produkovat dostatečné množství koagulačního činidla, které lze v toku dále ředit dle potřeby dané lokality, takže je možno ošetřit i průtoky kolem 10 m^3/h.

Faktory ovlivňující proces elektrokoagulace

Kromě materiálu elektrod a hodnoty elektrického proudu je efektivita EC velmi závislá také na vlastnostech čištěné vody, jako jsou chemické složení, vodivost, hodnota pH, velikost částic polutantů a jejich koncentrace [32].

Některé studie zmiňují přidání elektrolytu (různých roztoků) pro zlepšení vodivosti upravované vody, což v našem případě není nutné. Vhodné hodnoty pH čištěné vody se obvykle udávají v rozpětí 4–8. Vyčištěná voda mívá pH okolo 7, elektrochemické děje v průběhu elektrokoagulace přispívají k její neutralizaci.

Vedle elektrickým proudem vyvolané „koroze“ materiálu anody je ve studiích diskutováno také zanášení povrchu elektrod (tzv. pasivace; ulpívání oxidů kovů na anodě, navázané ionty na katodě), které může omezit jejich aktivní povrch vytvořením izolační vrstvy. Možným a účinným řešením je pravidelné přepínání směru toku stejnosměrného proudu tak, jak je použito v naší studii, což se ukázalo jako velmi praktické a funkční.

Elektrokoagulace může být také efektivně zkombinována s ultrazvukem (pro lepší míchání a homogenizaci čištěné vody, či účinnější rozklad některých komplexů), s UV zářením (foto-elektrokoagulace, podpora narušení buněk mikroorganismů, podpora tvorby chlornanů při přítomnosti chloridů a OH radikálů), s produkcí H_2O_2 (podpora Fentonových reakcí v prostředí s ionty železa), nebo s filtrací (mikro- i ultrafiltrace, jako metoda předúpravy pro snížení míry ucpávání pórů membrán zejména v přítomnosti organických látek). Všechny tyto metody mírně vylepší účinnost, ale zvýší spotřebu elektrické energie. Náš systém spotřebuje 400–425 Wh/m^3 ošetřené vody při účinnosti cca 95 %. Celé zařízení lze napájet fotovoltaickými panely z akumulátorů, kde celý systém pracuje se stejnosměrným napětím 12 V, tedy bez nutnosti konverze na 230 V, a lze jej provozovat také v lokalitách bez připojení elektrické sítě, což je další provozní výhodou. Naše ověřovací pokusy byly napájeny elektrocentrálou se spotřebou benzínu 0,2 l/h, ale systém je především plánovaný na provoz napájený fotovoltaickým systémem s akumulátory.

Elektrokoagulace fosforu a chemická koagulace fosforu

Chemická koagulace fosforu je dobře známá, výhodou je spolehlivost, nevýhodou bývá velká produkce kalu a nutnost dopravit, přečerpat, skladovat a dávkovat koncentrovaný chemický koagulant. Celosvětově je nemálo lokalit, kde je dávkování flokulantu standardním postupem, a tisíce lokalit tak díky dávkování solí hliníku, nebo železa plní normy koncentrace fosforu na odtoku ČOV. Výhodou elektrochemického postupu je produkce koagulantu *in situ* z materiálu anody (nejčastěji Fe, Al nebo Mg) bez nutnosti dopravit, skladovat a čerpat další chemikálie a také např. souběžné odstraňování amonné formy dusíku, což zejména při použití hořčíkové anody vede k produkci struvitu [33] dále využitelného jako hnojiva.

Klíčovými faktory pro efektivní odstranění fosforu není ani tak materiál elektrod nebo jejich vzájemná vzdálenost v elektrokoagulační jednotce (reaktoru), ale zejména hustota elektrického proudu (intenzita el. proudu protékajícího ponořenou plochou povrchu elektrod) a čas expozice, tzv. retenční čas [34, 35]. Tyto dva parametry však působí proti sobě – čím vyšší je hustota el. proudu, tím kratší je nutná doba zdržení čištěné vody v EC jednotce k dosažení vysoké účinnosti čištění (až 97 %), a naopak. Použití silnějšího proudu vede ke zvýšení energetických nároků jednotky ve vztahu k objemu vyčištěné vody, delší zdržení vody a reakční čas v jednotce navíc snižuje množství zpracované vody za časovou jednotku. I tato studie prokázala, že nejpraktičtější jsou průtočné EC jednotky, protože účinnost a produkci účinné látky lze řídit intenzitou energie a průtokem. Elektrokoagulační jednotka napájená fotovoltaickým systémem s akumulátory se ukazuje jako

praktické řešení tam, kde je malá spotřeba solí železa, nebo hliníku, je problematické zásobování tekutými flokulanty a tam, kde se nevyplatí budovat skladovací a dávkovací zázemí. Validace a verifikace naší metody proběhla v místech, kde není ani připojení k elektrické síti. Pokud jde o porovnání metod z hlediska finančního, je důležité, co vše započítáváme do ceny. U klasického srážení solemi železa a hliníku je potřeba počítat s kontejnerem, přípojkou elektrického proudu, skladovacími kontejnery a dávkovacím zařízením. V případě EC jednotky je to podobné a záleží, zda systém má přípojku elektrického proudu, nebo je budován jako ostrovní, což lze, ale je nutno počítat s vyšší kapacitou akumulátorů, případně kombinací fotovoltaiky s větrnou turbínou. V obou případech doporučujeme nešetřit na kvalitním dávkovacím zařízení, které exaktně promíchá ošetřenou vodu, a také na bezpečnostní elektronice s přenosem dat a kamerovým systémem pro řešení provozních dějů a ochraně proti vandalismu. Do cenového srovnání promlouvá aktuální cena flokulantů (nejčastěji síran železitý, síran hlinitý a polyaluminium chlorid, cena jejich dopravy, čerpání a skladování. V případě elektrokoagulace je to především cena energií spolu s cenou elektrod. Za současných podmínek je standardní cena materiálu bez energií na dávkování solí železa a hliníku nepatrně nižší (cca 0,85–0,97 Kč/m^3 ošetřené vody), zatímco cena provozu elektrokoagulace je závislá dominantně na ceně energie (přípojka s cenou elektrického proudu léto 2023 1,25 Kč/ m^3 a fotovoltaika s 10 kWh akumulátory 1,12 Kč/m^3. Po stránce ekonomické vychází provoz mírně lépe u dávkování solí hliníku a železa. Z ekologického hlediska vychází lépe elektrokoagulace, protože nevnášíme do vody sírany a chloridy, což může být problém v některých citlivých oblastech. Provozně bude náročnější elektrokoagulace, protože jde o technologicky náročnější proces než dávkování solí železa a hliníku, kde je zvládnutá a standardní technologie na stovkách lokalit.

Závěr

Tento článek přináší informace o možnostech ošetření vody pomocí elektrochemických metod, které společně využívají principy elektrokoagulace a elektroflokulace zejména na anorganické složky znečištění (N, P, ionty kovů), elektroflotace a elektrooxidace především na organické znečištění. Výhodou elektrokoagulace/elektroflokulace je produkce koagulantu/flokulantu přímo na místě z materiálu anody a není proto nutné do procesu přidávat další chemikálie. Zároveň jsou elektrochemické děje na obou elektrodách provázeny vznikem bublin plynů, které zajišťují flotaci lehkých organických složek znečištění. Článek popisuje parametry provozní elektrokoagulační jednotky, která byla sestavena s cílem odstranit především fosfor na přítocích do parků a zámeckých zahrad, kde voda znečištěná fosforem vede k masovému rozvoji sinic, což ničí estetickou hodnotu památkově chráněných lokalit. Výsledky měření, která byla realizována s reálnou povrchovou a fosforem obohacenou povrchovou vodou, prokazují cca 90–98% účinnost odstranění fosforu. Nespornou výhodou tohoto zařízení je jeho mobilita a schopnost pracovat v tzv. ostrovním systému napojeném na fotovoltaický systém s akumulátory, protože celý systém pracuje s napětím stejnosměrného proudu 12 V. Nevýhodou tohoto systému je omezená životnost elektrod (podle použitého materiálu a průtoku nutno měnit cca jednou týdně). EC jednotka použitá v této studii spotřebuje 400–425 Wh/m^3 ošetřené vody při účinnosti cca 95 %, a při plném obsazení elektrodových pozic je schopna ošetřit 10 m^3 za hodinu s cenou mírně vyšší (20–25 %), než je cena standardního dávkování solí železa a hliníku. Produkuje však čistou účinnou látku bez síranů a chloridů, takže mimo jiné produkuje méně kalů.

Poděkování: *Tato práce vznikla v rámci projektu NAKI III DH23P03OVV063 Autonomní systémy pokročilých a přírodě blízkých opatření pro režim péče a zlepšení kvality vody v památkách zahradního umění.*

Literatura/References

[1] Mollah, M.Y. A., et al., *Electrocoagulation (EC) - science and applications.* Journal of Hazardous Materials, 2001. **84**(1): p. 29–41.

[2] Zhang, S. X., et al., *Removal of phosphate from landscape water using an electrocoagulation process powered directly by photovoltaic solar modules.* Solar Energy Materials and Solar Cells, 2013. **117**: p. 73–80.

[3] Jeon, S. B., et al., *Self-powered electro-coagulation system driven by a wind energy harvesting triboelectric nanogenerator for decentralized water treatment.* Nano Energy, 2016. **28**: p. 288–295.

[4] Emamjomeh, M. M.; Sivakumar, M., *Fluoride removal by a continuous flow electrocoagulation reactor.* Journal of Environmental Management, 2009. **90**(2): p. 1204–1212.

[5] Emamjomeh, M. M.; Sivakumar, M., *Denitrification using a monopolar electrocoagulation/flotation (ECF) process.* Journal of Environmental Management, 2009. **91**(2): p. 516–522.

[6] Pouet, M. F.; Grasmick, A., *URBAN WASTE-WATER TREATMENT BY ELECTROCOAGULATION AND FLOTATION.* Water Science and Technology, 1995. **31**(3–4): p. 275–283.

[7] Elazzouzi, M., Haboubi, K.; Elyoubi, M. S., *Electrocoagulation flocculation as a low-cost process for pollutants removal from urban wastewater.* Chemical Engineering Research & Design, 2017. **117**: p. 614–626.

[8] Babu, D. S., et al., *Industrial wastewater treatment by electrocoagulation process.* Separation Science and Technology, 2020. **55**(17): p. 3195–3227.

[9] Mavrov, V., et al., *New hybrid electrocoagulation membrane process for removing selenium from industrial wastewater.* Desalination, 2006. **201**(1–3): p. 290–296.

[10] Nazlabadi, E.; Moghaddam, M. R. A.; Karamati-Niaragh, E., *Simultaneous removal of nitrate and nitrite using electrocoagulation/floatation (ECF): A new multi-response optimization approach.* Journal of Environmental Management, 2019. **250**.

[11] Akbay, H. E. G., Akarsu, C.; Kumbur, H., *Investigation of electrocoagulation process for the removal of phosphate: full- scale process optimization, operation cost and adsorption kinetics.* Desalination and Water Treatment, 2019. **155**: p. 168–174.

[12] Bazrafshan, E., et al., *Heavy metals removal from aqueous environments by electrocoagulation process- a systematic review.* Journal of Environmental Health Science and Engineering, 2015. **13**.

[13] Maher, E. K., et al., *Analysis of operational parameters, reactor kinetics, and floc characterization for the removal of estrogens via electrocoagulation.* Chemosphere, 2019. **220**: p. 1141–1149.

[14] Negarestani, M., et al., *Simultaneous removal of acetaminophen and ibuprofen from underground water by an electrocoagulation unit: Operational parameters and kinetics.* Groundwater for Sustainable Development, 2020. **11**: p. 9.

[15] Liu, Y., et al., *Removal of perfluorooctanoic acid in simulated and natural waters with different electrode materials by electrocoagulation.* Chemosphere, 2018. **201**: p. 303–309.

[16] Abdulrazzaq, N. N.; Al-Sabbagh, B. H.; Shanshool, H. A., *Coupling of electrocoagulation and microflotation for the removal of textile dyes from aqueous solutions.* Journal of Water Process Engineering, 2021. **40**.

[17] Ghernaout, D., et al., *Application of electrocoagulation in Escherichia coli culture and two surface waters.* Desalination, 2008. **219**(1–3): p. 118–125.

[18] Gao, S. S., et al., *Electro-coagulation-flotation process for algae removal.* Journal of Hazardous Materials, 2010. **177**(1–3): p. 336–343.

[19] AlJaberi, F. Y., et al., *Recent advances and applicable flexibility potential of electrochemical processes for wastewater treatment.* The Science of the total environment, 2023. **867**: p. 161361–161361.

[20] Ricordel, C., Darchen, A.; Hadjiev, D., *Electrocoagulation-electroflotation as a surface water treatment for industrial uses.* Separation and Purification Technology, 2010. **74**(3): p. 342–347.

[21] Zeng, J., et al., *Optimization of electrocoagulation process parameters for enhancing phosphate removal in a biofilm-electrocoagulation system.* Water Science and Technology, 2021. **83**(10): p. 2560–2574.

[22] Chen, Z. Z.; Lee, W. G., *Electroporation for microalgal biofuels: a review.* Sustainable Energy & Fuels, 2019. **3**(11): p. 2954–2967.

[23] Panizza, M.; Cerisola, G., *Direct And Mediated Anodic Oxidation of Organic Pollutants.* Chemical Reviews, 2009. **109**(12): p. 6541–6569.

[24] Martinez-Huitle, C. A.; Ferro, S., *Electrochemical oxidation of organic pollutants for the wastewater treatment: direct and indirect processes.* Chemical Society Reviews, 2006. **35**(12): p. 1324–1340.

[25] Barisci, S., Suri, R., *Electrooxidation of short and long chain perfluorocarboxylic acids using boron doped diamond electrodes.* Chemosphere, 2020. **243**.

[26] Perez, J. F., et al., *Treatment of real effluents from the pharmaceutical industry: A comparison between Fenton oxidation and conductive-diamond electro-oxidation.* Journal of Environmental Management, 2017. **195**: p. 216–223.

[27] Rodriguez, J., et al., *Electrochemical oxidation of Acid Yellow 1 using diamond anode.* Journal of Applied Electrochemistry, 2009. **39**(11): p. 2285–2289.

[28] Biswas, B.; Goel, S., *Electrocoagulation and electrooxidation technologies for pesticide removal from water or wastewater: A review.* Chemosphere, 2022. **302**: p. 11.

[29] Sanni, I., et al., *Coupling electrocoagulation with electro-oxidation for COD and phosphorus removal from industrial container wash water.* Separation and Purification Technology, 2022. **282**.

[30] Didar-Ul Islam, S. M., *Electrocoagulation (EC) technology for wastewater treatment and pollutants removal.* Sustainable Water Resources Management, 2019. **5**(1): p. 359–380.

[31] Akhter, F., et al., *Pollutant Removal Efficiency of Electrocoagulation Method from Industrial Wastewater: Comparison with Other Treatment Methods and Key Operational Parameters-a Comparative Study Review.* Water Air and Soil Pollution,

2021. **232**(3): p. 13.
[32] Emamjomeh, M. M. Sivakumar, M.; *Review of pollutants removed by electrocoagulation and electrocoagulation/flotation processes.* Journal of Environmental Management, 2009. **90**(5): p. 1663–1679.
[33] Bhoi, G. P.; Singh, K. S.; Connor, D. A., *Optimization of Phosphorus Recovery using Electrochemical Struvite Precipitation and Comparison with Iron Electrocoagulation System.* Water environment research : a research publication of the Water Environment Federation, 2023: p. e10847–e10847.
[34] Omwene, P. I. Kobya, M., *Treatment of domestic wastewater phosphate by electrocoagulation using Fe and Al electrodes: A comparative study.* Process Safety and Environmental Protection, 2018. **116**: p. 34–51.
[35] Omwene, P. I., Kobya, M.; Can, O. T., *Phosphorus removal from domestic wastewater in electrocoagulation reactor using aluminium and iron plate hybrid anodes.* Ecological Engineering, 2018. **123**: p. 65–73.

prof. Ing. Blahoslav Maršálek, CSc. (autor pro korespondenci)
Ing. Eliška Maršálková, Ph.D.
RNDr. Štěpán Zezulka, Ph.D.
Ing. Klára Odehnalová, Ph.D.
Botanický ústav AVČR, v.v.i.
oddělení experimentální fykologie a ekotoxikologie
Lidická 25
602 00 Brno
blahoslav.marsalek@ibot.cas.cz
603 872 955

Electrochemical methods for water treatment and phosphorus removal from small pollution sources (Marsalek, B.; Marsalkova, E.; Zezulka, S.; Odehnalova, K.)

Abstract
This paper deals with the possibilities of electrochemical water treatment methods such as electrocoagulation, electroflotation, electrooxidation and electroporation. Special attention is paid to phosphorus removal by electrocoagulation. It describes the design and use of an electrocoagulation unit which can process up to 10 m³ of water per hour of operation, is DC-powered and has an energy consumption of 400–425 Wh/m³. The current and voltage values during the reaction were 20–55 A and 8–12 V, respectively. In the operating mode used (half the plates, i.e. 10 pcs), the unit produces up to 20 g Al per hour, at a flow rate of 1.2 m³/h it is 16.8 g of Al, at a flow rate of 5 m³/h it is 4 g of Al per cubic meter. Verification of the phosphate phosphorus removal efficiency under operating conditions with natural water of the Morava river and Dobřejovice stream showed an efficiency of 89–98 %. The advantages and limitations of this method and comparison with the standard method of aluminum and iron salts dosing in terms of economic, operational and ecological aspects are discussed in this article.

Key words
phosphorus – electrocoagulation – technology for water treatment

Pasivní odběr a analýza mikroplastů v povrchových vodách

Eva Horáková, Lenka Wimmerová

Abstrakt
Téma mikroplastů je stále aktuální, nejen z pohledu zkoumání vlivu těchto částic na životní prostředí, organismy a lidské buňky. Víme, že ve vodním prostředí se jich běžně nachází mnoho. Problematické je ale jejich vyčíslení a identifikace díky strukturálním změnám povrchu, ke kterým ve vodním prostředí dochází. Významným faktorem je také způsob odběru vzorků v terénu, kde často dochází ke kontaminaci vzorku. Článek je proto zaměřen na vyhodnocení výskytu mikroplastů ve vybraných povrchových vodách s využitím pasivních metod vzorkování. Pro účely odběru vzorků byly vybrány vodní toky Morava, Bečva, Haná, Labe a Jizera. Výskyt mikroplastů byl hodnocen kvantitativní analýzou pomocí optické mikroskopie, a ve vybraných případech byla využita Ramanova spektrometrie k identifikaci nalezených mikroplastových částic. Kvantitativní analýzou byly zjištěny četnosti mikroplastů v rozmezí 0,063–0,590 MPs/m³ povrchové vody. Kvalitativní analýzou byla ve vybraných vodních tocích potvrzena přítomnost PET, PE, celulózy, silikonu, nylonu a PVC.

Klíčová slova
mikroplast – voda povrchová – odběr – pasivní – analýza – kvantitativní – kvalitativní

1. Úvod

Plasty jsou hojně používaným materiálem, který lidé dnes využívají v mnoha odvětvích. Jejich používání nese však řadu rizik pro životní prostředí a plasty v makro-, mikro- a nanorozměrech se díky dlouhé době rozkladu hromadí v přírodě, oceánech [1] i dalších vodních plochách. Od roku 2017 je v Evropské unii otevřeně diskutována nutnost zákazu používání některých syntetických mikročástic plastů v průmyslu. Velká část znečištění mikroplasty vzniká neúmyslně, jako např. v důsledku rozkladu větších kusů plastového odpadu, opotřebení pneumatik a nátěrů silnic nebo praní syntetických oděvů. Drobné fragmenty syntetických nebo chemicky upravených přírodních polymerů se však také cíleně vyrábějí a používají jako takové nebo se dále přidávají do výrobků. Podle odhadů Evropské environmentální agentury (EEA) se v současné době do životního prostředí ročně dostává více než 42 000 tun takto záměrně přítomných mikroplastů (MPs). Je proto pozitivní, že jejich omezení bylo nedávno přijato Evropskou komisí jako aktualizace přílohy č. XVII nařízení REACH [2].

Dle odborné literatury jsou mikroplasty definovány jako plastové částečky o velikosti menší než 5 mm [3]. Jedná se především o vlákna, filmy, pěny, fólie, pelety, kulaté částice nebo úlomky [4, 5]. Některé vláknité syntetické polymerní částice jsou však delší než 5 mm, ale zároveň kratší než 15 mm (např. částice používané pro vyztužení adhezivních materiálů a betonu). Vzhledem k tomu, že tyto vláknité částice jsou velmi perzistentní [2] a rizikové, byly rovněž omezeny výše uvedeným nařízením REACH. Současně, aby se zabránilo nevhodnému nahrazování omezených mikročástic ve výrobcích ještě menšími polymerními částicemi, a byla zajištěna právní vymahatelnost nařízení, byla do zákazu uvedena také spodní hranice velikosti mikroplastů, tj. 0,1 μm pro částice a 0,3 μm pro vlákna [2].

V obecné rovině lze konstatovat, že nám plastové výrobky v mnoha ohledech usnadňují život. Často jsou lehčí a levnější než jiné materiály. Obavy však vzbuzuje právě fakt, že nepotřebné plastové výrobky často končí pohozené v životním prostředí, špatně se rozkládají a vedou tím sekundárně ke vzniku mikroplastů. Tyto částice či vlákna se pak hromadí v živočiších, včetně ryb a měkkýšů, a následně jsou díky tomu, že člověk stojí na vrcholku potravního řetězce, zkonzumovány i lidmi. Mikroplasty byly v minulosti již nalezeny v mořských, sladkovodních i suchozemských ekosystémech, ale také v různých potravinách (např. mléku) a pitné vodě. I přes jejich současné omezení jejich neustálý koloběh přispívá stále k trvalému znečišťování ekosystémů a potravních řetězců [6].

Výrazným zdrojem mikroplastů v povrchových sladkých vodách jsou zejména vypouštěné průmyslové odpadní vody, ale také emisní spad vláken z ovzduší, intenzivní zemědělství i abraze pneumatik z dopravy. Podstatná část těchto částic se odstraní z vody při procesu čištění odpadní vody na běžných čistírnách odpadních vod. Problémem v tomto případě je však fakt, že odstraněné mikroplasty se kumulují v čistírenských kalech, které se po dalším zpracování, stabilizaci a hygienickém zabezpečení velmi často využívají jako hnojivo pro zemědělské půdy. Mikroplasty se tak dostávají do půdy, a následně opět do koloběhu vody a ostatních složek životního prostředí. Z dostupných vědeckých publikací vyplývá (**obr. 1**), že ve vodním prostředí se tyto nejběžněji vyskytují ve formě mikroplastů polypropylen (PP), polyethylen (PE), polystyren (PS), polyvinylchlorid (PVC) a polyethylentereftalát (PETF) [1, 4].

Mikroplasty navíc mohou být nosiči řady toxických chemických látek [7, 8]. Např. látek, které často sloužily k modifikaci vlastností původních plastů. Mezi nejčastější patří polychlorované bifenyly (PCB), organochlorové pesticidy, polycyklické aromatické uhlovodíky

(PAU), ropné uhlovodíky, alkylfenoly, polybromované difenylethery či bisfenol A. Nejvyšší afinitu vůči organickým kontaminantům mají mikroplastové částice PE [9].

S ohledem na stávající situaci, nově přijatou legislativu i rizikovost mikroplastů je tedy zřejmé, že je třeba se věnovat rozvoji monitorovacích nástrojů analýzy mikroplastových částic a vláken. Současně je třeba také zlepšovat způsoby odběru vzorků vod na jejich analýzu, protože právě při odběru vzorků velmi často dochází k druhotné kontaminaci vzorků mikroplasty.

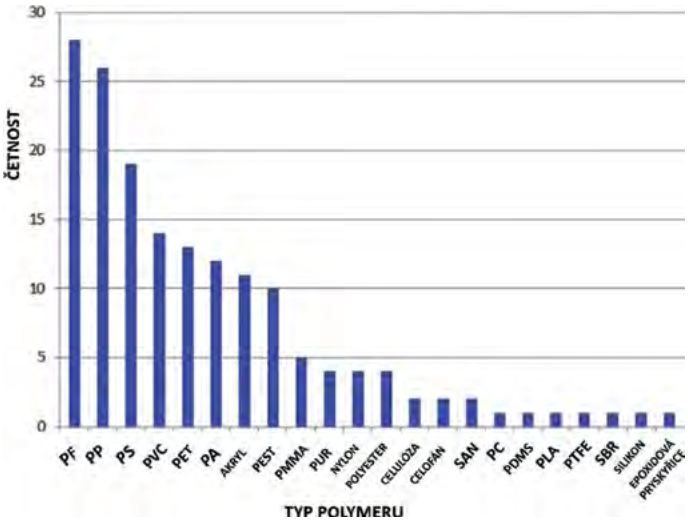
2. Metodika

Principem metody pasivního odběru mikroplastů je uložení vzorkovače (zpravidla sítě) pro zachytávání mikroplastů přímo do vodního toku po vybraný časový úsek (na dobu hodin až týdnů). Vzorkovač by měl být vždy umístěn v reprezentativní části průřezu koryta, což může být v některých tocích problematické. Nicméně, umístění vzorkovače je vhodné volit tak, aby nedocházelo ke zbytečnému znečištění a nehrozila ztráta vzorkovače kvůli kolizi s plovoucími předměty. Zároveň je vhodné volit takové místo, na kterém je vzorkovací sestava dostatečně maskována a nehrozí ovlivnění výsledků lidmi či zvířaty. Metoda je tedy vhodná do míst, kde voda filtrem pro zachytávání mikroplastů protéká, obvykle vodní toky, kde lze určit rychlost průtoku vody referenční plochou síta. Tím lze vypočítat objem, který referenční plochou protekl a stanovit objem vody, který odpovídá počtu zachycených mikroplastů. Ke stanovení průtoku lze použít např. plovákovou metodu [10].

Pro účely analýzy mikroplastů a odzkoušení možnosti jejich pasivního odběru byly vybrány tři moravské (Bečva, Haná, Morava) a dvě české řeky (Jizera, Labe). Území byla před výběrem lokalit prozkoumána a byly vytipovány nejvhodnější místa pro instalaci pasivních vzorkovačů. Při vyhledávání místa pro umístění pasivního vzorkovače hrála roli pozice místa odběru vůči nejbližším lidským obydlím, možnost realizace plovákové metody, přístupnosti pro umístění vzorkovače, ale i přístupnosti pro zvěř či okolní obyvatelstvo a jejich mazlíčky, protože, jak bylo zmíněno výše, nežádoucí manipulace se vzorkovačem může vzorek znehodnotit či způsobit jeho ztrátu.

Pasivní odběr vzorků probíhal na výše zmíněných řekách v průběhu všech čtyř ročních období v letech 2021 až 2022. Pro případ možné ztráty z důvodů nepředvídatelných vlivů (např. přívalová srážka, poškození vzorku lidským faktorem) byly na každou lokalitu umisťovány dvě série vzorkovačů se stejnou sestavou filtračních sít. K vzorkování bylo použito 10 vzorkovacích sestav. Pro každou řeku sloužily dvě sestavy. Jedna sestava obsahovala kovový filtr (Eurositex, ČR) s velikostí ok 50 μm a 500 μm, sítko (drátěný čajový košík či drátěná svorka) a vzorkovnici (sklenici) o objemu 400 ml. Před vzorkováním prošly veškeré zmíněné předměty sestavy čištěním pomocí ultračisté vody a ethanolu s následným vysušením v sušárně ED 115 (BINDER, Německo) při 45 °C po dobu 24 hod. Poté se pokračovalo kompletací dvojic sestav. Filtr s oky 50 μm a filtr s 500 μm se společně přiložily k sobě a umístily v páru do sítka. V každé dvojici se jeden pár filtrů umisťoval do drátěného čajového košíku a u druhé sestavy byl uložen do drátěné svorky. Sítka se pak zabezpečila proti případnému otevření parafilmem, a takto se vkládaly do vzorkovnic. Vzorkovače se na odběrových lokalitách zavěšovaly do vytipovaných míst pomocí lýkového provazu na dobu 14 dní (**obr. 2**). Při veškeré manipulaci v terénu byla pozornost věnována snaze předejít kontaminaci mikroplasty, nepocházejícími z místa vzorkování, resp. ze vzorkovaného vodního toku.

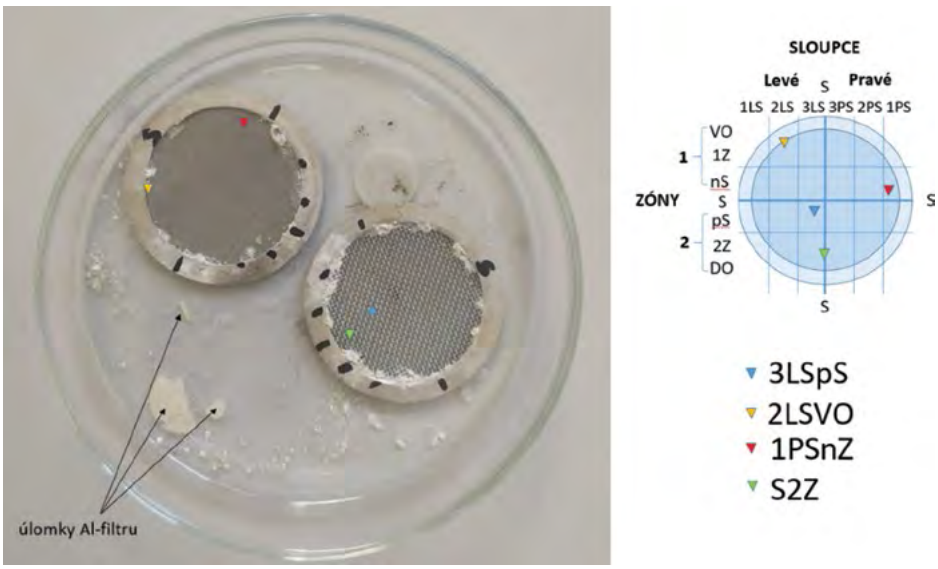
V laboratoři byly odebrané vzorky nejprve podrobeny screeningové analýze pod stereomikroskopem MBZ5000-T-IL-TL s videokulárem VOPC93 (A. Krüss optronic, Německo) při zvětšení 25–40 x. V rámci screeningu byly zaznamenány pozice částic a vláken, u nichž existoval předpoklad, že se jedná o částice či vlákna mikroplastového charakteru. Tyto byly pro účely pozdějšího porovnání vyfotografovány. Vzhledem k tomu, že tento postup byl velmi časově náročný, a bylo třeba sledovat pozici částic a vláken na filtru, byla za účelem efektivnějšího vyhledávání a potvrzení identifikace mikroplastů po obarvení na sítech z pasivních vzorkovačů vytvořena sledovací mřížka (**obr. 3**).



Obr. 1. Výskyt nejčastějších druhů mikroplastů ve vodě (převzato z Koelmans a kol. [4])

Obr. 2. Ukázka vzorkování na řece Hané (vlevo) a na Bečvě (vpravo). Foto: E. Horáková

Pro následující, kvalitativní analýzu mikroplastů byla vybrána Ramanova spektroskopie s laserem o vlnové délce 532 nm. Zde je třeba doplnit, že při zjišťování počtu mikroplastů bylo třeba nejprve oddělit ostatní částice podobných tvarů od částic mikroplastů. Nicméně odlišení od ostatních částic a vláken mikroplastů pod optickým mikroskopem je vizuálně někdy složité až nereálné, a proto je třeba kvantitativní analýzu doplnit o analýzu kvalitativní [11].

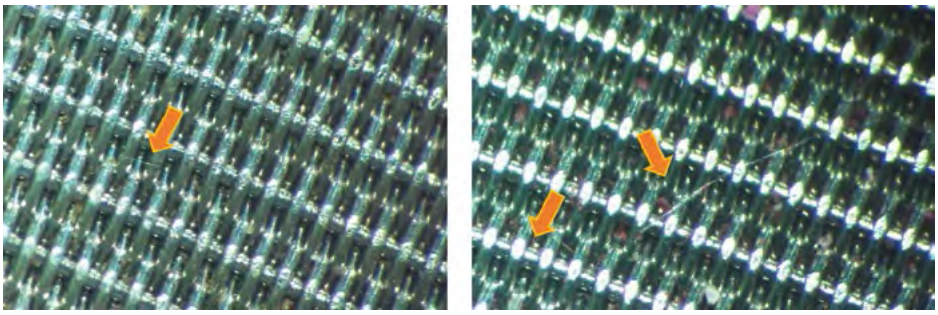


Obr. 3. Princip lokalizace částic mikroplastů na kovových filtrech. Foto a nákres: E. Horáková. ***Pozn.: vlevo dole úlomky hliníkových filtrů, které byly testovány při prvním odběru a které se ukázaly jako nevhodné pro použití do pasivních vzorkovačů***

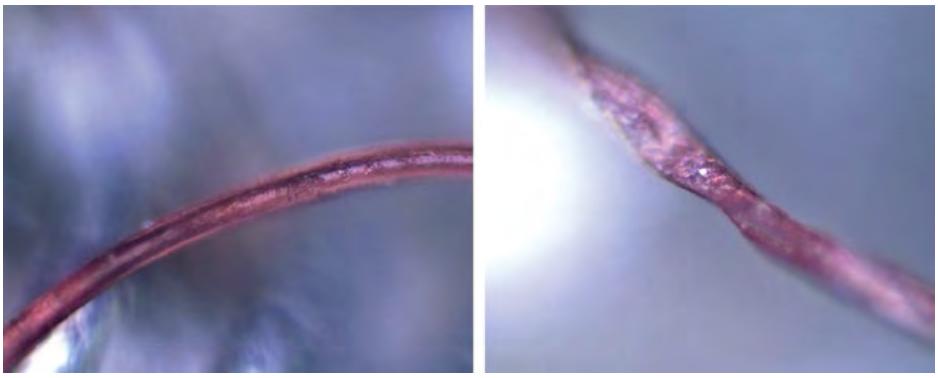
Současně se pro odlišení mikroplastů od ostatních částic používá často barvivo, jako např. bengálská červeň (Bengal Rose) nebo fluorescenční barvivo nilská červeň (Nile Red) [12]. V našem případě byly vzorky obarveny 0,1 M bengálskou červení tak, aby částice nefluoreskovaly, a bylo možné mikroplasty následně identifikovat pomocí Ramanova spektrometru. Po obarvení byly vzorky opět vysušeny v sušárně při teplotě 45 °C po dobu 24 hod. Mikroplast potvrzený po obarvení se vyfotografoval pod stejným zvětšením jako před obarvením. Částice organického původu byly tímto vyloučeny, a získal se tak přehled o celkové kvantitě a typu nalezených mikroplastů na filtrech. Při analýze bylo velmi důležité věnovat pozornost faktu, že některé lehčí MPs vlivem obarvení mohly být přemístěny do jiné, mnohdy sousední výseče (**obr. 4**). Proto byla tato fáze analýzy časově náročnější než předchozí screeningová analýza (bez obarvení).

Tímto postupem bylo potvrzeno, že na některé mikroplasty i přes jejich *„neorganickou“* stavbu bengálská červeň působí, a mají po obarvení narůžovělý nádech (**obr. 5 a 8**). Tímto způsobem bylo kvantitativně analyzováno celkem 80 filtrů. Časová náročnost zpracování jednoho filtru se pohybovala mezi 2 a 4 hod. Záleželo na počtu částic a intenzitě nánosu.

Před kvalitativní analýzou vybraných částic na Ramanově mikroskopu byly filtry již nasnímkované optickým mikroskopem opětovně promyty směsí 30% peroxidu vodíku p. a. a ultračisté vody. Promytá směs byla poté filtrována tlakovou filtrací za pomocí membránové vývěvy N86 (LABOPORT, Německo) a filtrační sestavy Sartorius stedim (Biotech, Německo) přes kovová síta s velikostí ok 50 a 25 μm. Kovová síta byla následně vysušena v sušárně při 45 °C po dobu 24 hod. a následně předána na analýzu na Ramanu.



Obr. 4. Ukázka posunu a odplavení vlákna mikroplastu vlivem barvení. Foto: E. Horáková



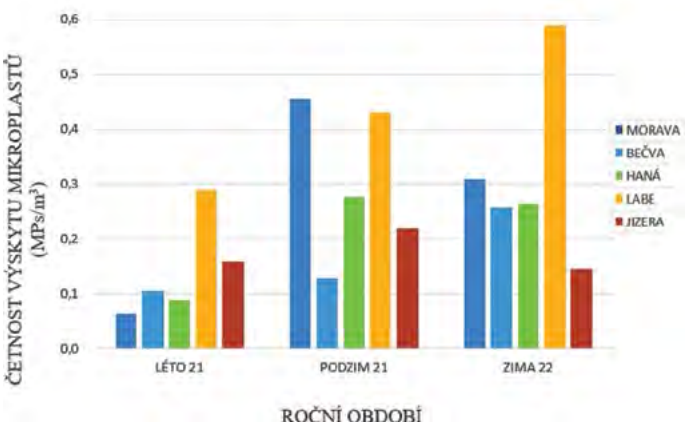
Obr. 5. Zbarvená vlákna mikroplastů po obarvení bengálskou červení. Foto: M. Lexa. *Pozn.: mikroplastový charakter potvrzen Ramanovou spektroskopií, vzhledem k vysokému stupni degradace nebylo možné identifikovat konkrétní mikroplast*

3. Výsledky

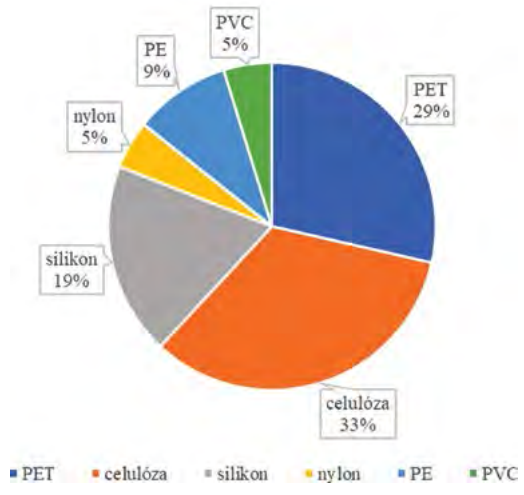
Přepočtem celkového objemu vody proteklého filtrem za dobu vzorkování byla vyhodnocena četnost mikroplastů nacházející se v jednotlivých řekách (**obr. 6**). Největší četnost mikroplastů 0,590 MPs/m^3 byla pozorována u řeky Labe v zimním období, dále na podzim 2021 u řeky Moravy s hodnotou 0,456 MPs/m^3 a opět u Labe 0,431 MPs/m^3 v podzimním období. Naopak nejmenší hodnoty vykazovaly moravské řeky v letním období, a to řeka Morava s 0,063 MPs/m^3, řeka Bečva s 0,106 MPs/m^3 a řeka Haná s 0,089 MPs/m^3. Ze vzorkovaných toků se tak jevila, co do počtu mikroplastových částic a vláken na m^3 vody, za nejméně zasaženou řeku mikroplasty řeka Bečva, dále řeky Jizera a Haná. Potvrdilo se, že u větších řek, jako jsou Morava a Labe, je výskyt mikroplastů četnější.

V řece Moravě byl nejčastěji identifikován mikroplast PET. Zvýšený výskyt PET a celulózy byl zaznamenán také při analýze řeky Hané, společně s výskytem silonu a PVC. V Labi byla prokázána rovněž přítomnost celulózy a PET. V Jizeře byl potvrzen výskyt PE, a opět celulózy a PET. U řeky Bečvy byl zaznamenán oproti jiným řekám zvýšený výskyt silikonu a celulózy, dále byly nalezeny mikroplasty z polymerů PET, PE a nylonu. Vzhledem ke klasifikaci druhů polymerů (**obr. 1**) a vyššímu procentuálnímu zastoupení byla celulóza také zahrnuta do výsledků analýzy mikroplastů stejně jako v dalších odborných publikacích [4], i když jde spíše o mikročástici přírodního původu.

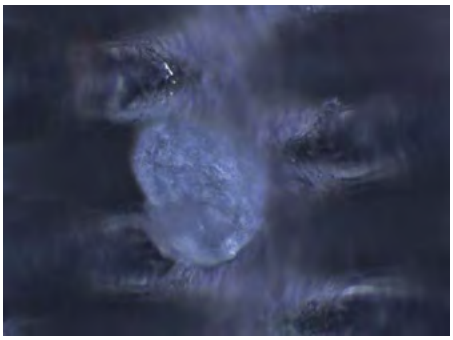
Z celkového množství identifikovaných mikroplastů bylo nejvíce zachycených částic právě celulózy, a to 33 %. Druhým nejvyšším zastoupením bylo reprezentováno PET s 29 %. Třetí nejpočetnější skupinu tvořily částice silikonu. Jejich celkový podíl ve vzorcích byl 19 %. Následná nejpočetnější skupina byla tvořena PE, které se vyskytovaly v 9 % případů. Částice nylonu a PVC byly zaznamenány shodně v 5 % případů (**obr. 7 a 8**).



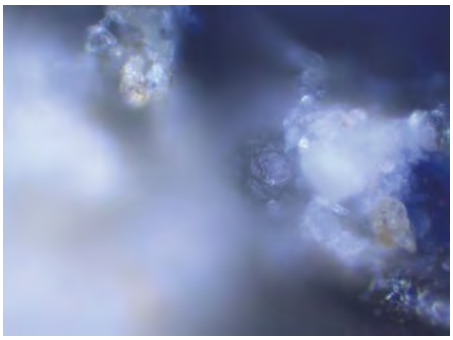
Obr. 6. Četnost výskytu mikroplastů ve sledovaných řekách ve vybraných ročních obdobích



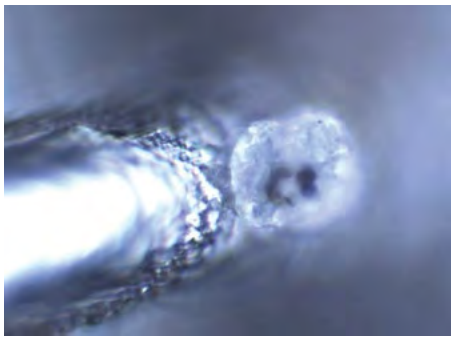
Obr. 7. Procentní zastoupení identifikovaných částic a vláken MPs



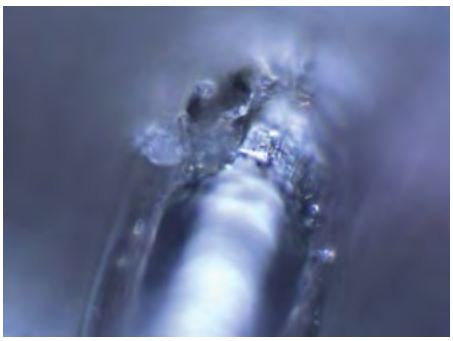
PE (Jizera)



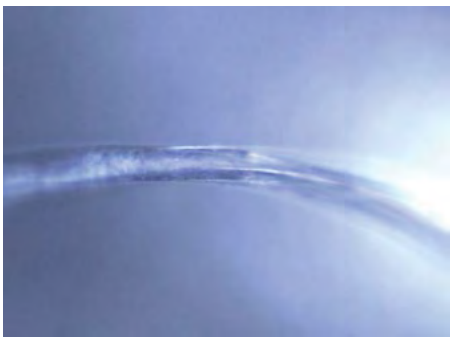
PE (Bečva)



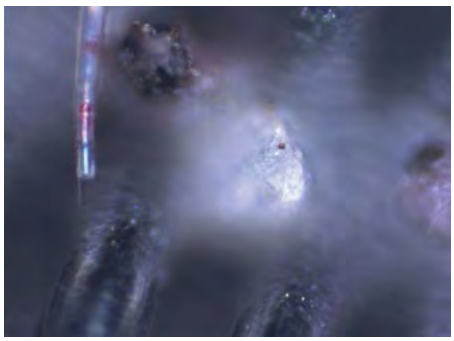
PET (Haná)



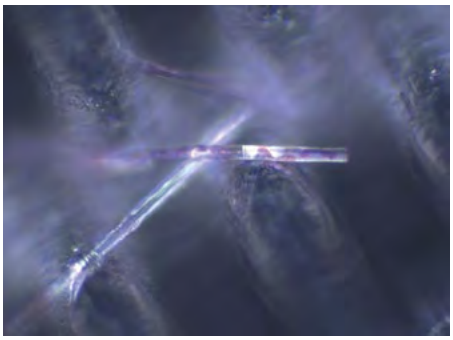
PET (Labe)



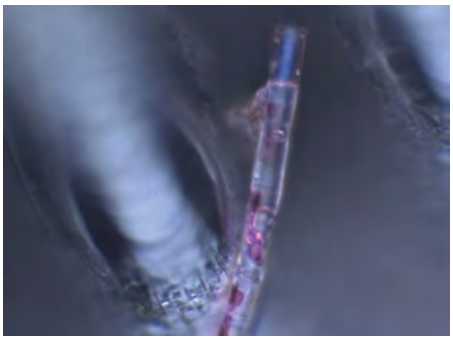
PET (Morava)



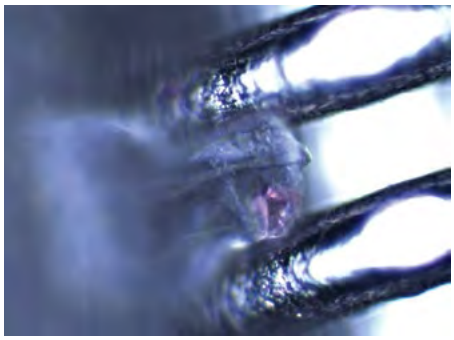
PET (Jizera)



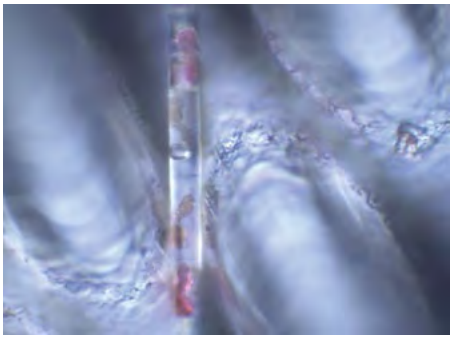
silikon (Bečva)



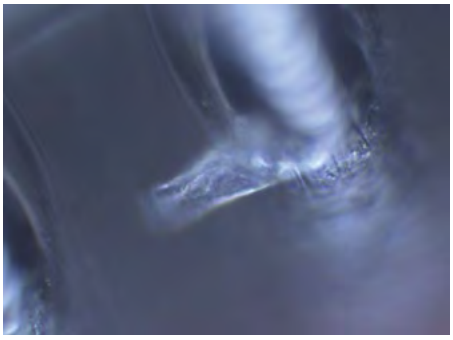
silikon (Bečva)



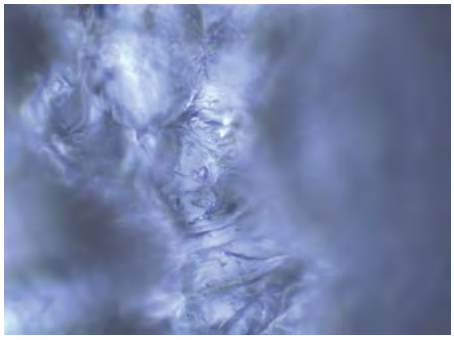
silikon (Haná)



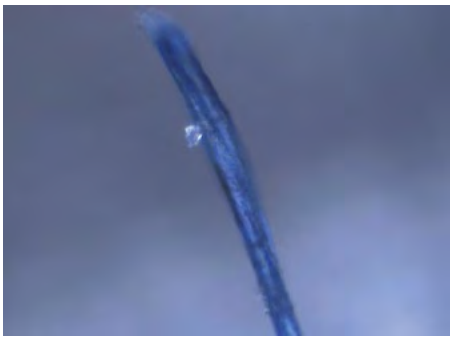
silikon (Bečva)



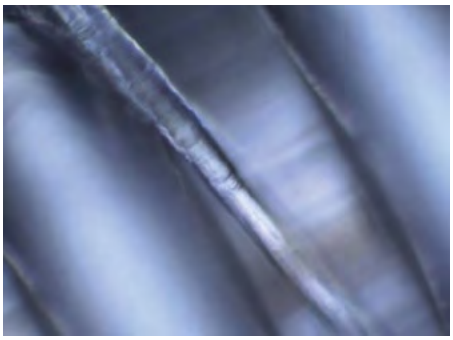
nylon (Bečva)



PVC (Haná)



celulóza (Jizera)



celulóza (Bečva)

Obr. 8. Ukázky identifikovaných částic a vláken MPs. Foto: M. Lexa

4. Diskuse

Výsledky pasivního odběru kombinované s kvantitativní a kvalitativní analýzou MPs ukázaly, že tento postup může velmi dobře sloužit pro porovnání výskytu mikroplastů v ročních obdobích v různých vodních tocích. Spolehlivost této metody, co se týče průměrných koncentrací mikroplastů ve vodních tocích, zatím však ověřena nebyla. Přestože existuje riziko vnějšího obtoku filtru při větších průtocích, lze konstatovat, že naměřené výsledné koncentrace mikroplastů představovaly ve srovnání s dostupnou literaturou reálné hodnoty [4]. Procentuální rozložení identifikovaných částic mikroplastů podle typu polymeru rovněž korespondovalo s výsledky předchozích výzkumů [13].

Jako jedno z hlavních úskalí kvantitativní analýzy se ukázalo barvení vzorků. Při něm bylo prokázáno vymývání a přesuny částic na filtru. Současně bylo prokázáno, že některé typy plastů se barví i bengálskou červení. Z výsledků analýz nelze jednoznačně říci, zda některý z mikroplastů měl vyšší afinitu k použitému barvivu. Lze se domnívat, že spíše než na typu plastu záleželo na stáří mikroplastové částice. Lze předpokládat, že čím více zdegradovaný povrh částice, tím její vyšší afinita k obarvení bengálskou červení. Tuto domněnku potvrzuje skutečnost, že takto obarvené částice, i když měly prokazatelně plastový charakter, nebylo možné přesně identifikovat z důvodu vysoké míry degradace povrhu a s tím souvisejícího pozměněného spektra.

5. Závěr

Se zvyšujícím se množstvím plastových výrobků v posledních letech je stále větší pozornost věnována mikroplastům. Tyto částice v přírodě degradují velmi pomalu a mohou představovat riziko pro živé organismy. Proto je příznivé, že v posledních letech vstoupily v platnost legislativní předpisy, které se snaží produkci mikroplastů a jejich negativní dopad na životní prostředí regulovat.

V rámci našeho výzkumu bylo ověřeno, že mikroplasty se vyskytují ve všech vzorkovaných řekách v České republice. Pomocí přepočtu průtoku vody přes vzorkovací filtry se výskyty mikroplastů ve vzorkovaných vodních tocích pohybovaly mezi 0,063 a 0,590 MPs/m^3. Metoda pasivního vzorkování představuje dostupnou alternativu detekce mikroplastů. Bylo prokázáno, že tato metoda je vhodná zejména pro porovnání množství mikroplastů na vodních tocích mezi sebou nebo na konkrétním vodním toku v průběhu času.

Poděkování: *Tento příspěvek byl vytvořen v průběhu řešení projektu č. FV40126 „Pokročilé sorbenty pro separaci mikroplastů a mikropolutantů z vod" realizovaného za finanční podpory z prostředků státního rozpočtu prostřednictvím Ministerstva průmyslu a obchodu ČR v programu TRIO v letech 2020 až 2022.*

Literatura/References

[1] Rocha-Santos, T.; Duarte, A. C., 2015. A critical overview of the analytical approaches to the occurrence, the fate and the behavior of microplastics in the environment. Trends in Analytical Chemistry 65:47–53.

[2] Nařízení komise (EU) 2023/2055 ze dne 25. září 2023, kterým se mění příloha VII nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006 o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek (REACH), pokud jde o syntetické polymerní mikročástice (online), dostupné z <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/HTML/?uri=CELEX: 32023R2055&qid=1698574906242>.

[3] Lusher, A., 2015. Microplastics in the Marine environment: Distribution, interactions and effects. In: Bergmann, M.; Gutow, L.; Klages, M. (Eds): Marine anthropogenic litter. Springer, Cham, Switzerland, str. 245–307. ISBN: 978-3-319-16509-7.

[4] Koelmans, A. A.; Nor, N. H. M.; Hermsen, E.; Kooi, M.; Mintenig, S. M.; De France, J., 2019. Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality. Water Research 155:410–422.

[5] Pivokonský, M.; Čermáková, L.; Novotná, K.; Peer, P.; Cajthaml, T.; Janda, V., 2018. Occurrence of microplastics in raw and treated drinking water. Science of the Total Environment, 643:1644–1651.

[6] ECHA, ©2018-2022. European Chemicals Agency. Nejžhavější vědecká témata: Mikroplasty (online), dostupné z <https://echa.europa.eu/cs/hot-topics/microplastics>.

[7] Andrary, A. L., 2011. Microplastics in the marine environment. Marine Pollution Bulletin, 62:1596–1605.

[8] Eerkes-Medrano, D.; Thompson, R. C.; Aldridge, D. C., 2015. Microplastics in freshwater systems: A Review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. Water Research, 75:63–82.

[9] Teuten, E. L.; Saquing, J. M.; Knappe, D. R. U.; Barlaz, M. A.; Jonsson, S.; Björn, A.; Rowland, S. J.; Thompson, R. C.; Galloway, T. S.; Yamashita, R.; Ochi, D.; Watanuki, Y.; Charles, M.; Viet, P. H.; Tana, T. S.; Prudente, M.; Boonyatumanond, R.; Zakaria, M. P.; Akkhavong, K.; Ogata. Y.; Hirai, H.; Iwasa, Mizukawa, K.; Hagino, Y.; Imamura, A.; Saha, M.; Takada, H., 2009: Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. Philosophical Transactions of the Royal Society, B Biological Sciences, 364(1526):2027–2045.

[10] Šenková, E., 2023: Plováková metoda. In: Mikroplasty v povrchových vodách (bakalářská práce). Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, Praha, str. 46.

[11] Dyachenko, A.; Mitchell, J.; Arsem, N., 2017. Extraction and identification of microplastic particles from secondary wastewater treatment plant (WWTP) effluent. Analytical Methods, 9:1412–1418.

[12] Silva, A. B.; Bastos, A. S.; Justino, C. I. L.; da Costa, J. P.; Duarte, A. C.; Rocha-Santos, T. A. P., 2018. Microplastics in the environment: Challenges in analytical chemistry – A review. Analytica Chimica Acta,1017:1–19.

[13] Pivokonský, M.; Pivokonská, L.; Novotná, K.; Čermáková, L., Klimtová, M., 2020. Occurrence and fate of microplastics at two different drinking water treatment plants within a river catchment. Science of the Total Environment, 741:140236.

Bc. Eva Horáková
doc. Ing. Lenka Wimmerová, MSc., Ph.D.
(autor pro korespondenci)
Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta životního prostředí,
Katedra aplikované ekologie
Kamýcká 129
165 21 Praha 6 – Suchdol
wimmerova@fzp.czu.cz

Passive sampling and analysis of microplastics in surface waters (Horakova, E. Wimmerova, L.)

Abstract

The topic of microplastics is still important, not only from the point of view of studying the impact of these particles on the environment, organisms, and human cells. We know that there are many of them commonly found in the aquatic environment. However, their quantification and identification are problematic due to the structural surface changes that occur in the aquatic environment. The way, in which samples are collected in the field is also a key factor, where contamination of the sample often occurs. Therefore, the article is aimed at assessing the occurrence of microplastics in selected watercourses by using passive sampling methods. The selected watercourses were Morava, Bečva, Hana, Elbe and Jizera. The occurrence of microplastics was assessed by quantitative analysis using optical microscopy, and in selected cases Raman spectrometry was used to identify the microplastic particles found. Quantitative analysis revealed microplastic abundances ranging from 0.063 to 0.590 MPs/m^3 of surface water. Qualitative analysis confirmed the presence of PET, PE, cellulose, silicone, nylon, and PVC in selected water streams.

Key words
microplastics – surface water – sampling – passive – analysis – quantitative – qualitative

AQUATIS

INŽENÝRSKÁ A PROJEKTOVÁ ČINNOST VE VŠECH OBORECH VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ

AQUATIS a. s.
Botanická 834/56, 602 00 BRNO
tel.: 541 554 111, fax: 541 211 205
E-mail: info@aquatis.cz, www.aquatis.cz

Pobočka: Praha, Třebohostická 14, 100 31 Praha 10, tel.: +420 602 612 153
Organizační složka Trenčín, Jesenského 3175, 911 01 Trenčín,
tel.: +421 326 522 600

Hodnotenie dopadov zmien klímy na vybrané zložky vodnej bilancie beskydských povodí

Stanislav Ruman, Matěj Horáček, Vilém Spálovský, Jan Hradecký

Abstrakt

Hodnotenie dopadov klimatickej zmeny na vodnú bilanciu je dôležitý proces pre pochopenie budúcich zmien v hydrologickej odpovedí povodí. Prekladaná práca predstavuje prípadovú štúdiu, ktorej cieľom bolo vyhodnotiť dopady zmeny klímy v šiestich beskydských povodiach na vybrané zložky vodnej bilancie. Použitý bol zrážko-odtokový model HEC-HMS, ktorý bol kalibrovaný a validovaný na prietoky v záverových profiloch jednotlivých povodí. Na úrovni ročnej bilancie bol pozorovaný nárast úhrnu zrážok, evapotranspirácie, prietokov i teploty vzduchu a pokles vodnej hodnoty snehu vo všetkých povodiach. Na úrovni mesačnej bilancie boli zmeny viac dynamické. K najvýraznejším zmenám u prietokov dochádzalo v mesiacoch január a február, kedy bol zaznamenaný výrazný nárast. Najvýraznejší pokles bol pozorovaný v mesiacoch apríl, júl a august. Analogicky bol pozorovaný pokles mrazových dní, dní s výskytom snehovej pokrývky a nárast počtu dní s výskytom zrážky vyššej ako 20 mm.

Kľúčové slová

klimatická zmena – zrážko–odtokový model – HEC–HMS – vodná bilancia – Beskydy – hodnotenie dopadov

Úvod

Podľa poslednej správy medzivládneho panelu pre klimatickú zmenu (IPCC) na svete už neexistuje obývané miesto, ktoré nie je zasiahnuté zmenami klímy. Táto skutočnosť platí i pre územie Strednej Európy, ktoré je opakovane a so zvyšujúcou sa frekvenciou zasahované extrémnymi udalosťami. Jedná sa o vlny tepla [1, 2], sucho [3], zvyšujúcu sa frekvenciu a extrémnosť povodní [4] a ďalšie [5]. Tieto udalosti majú následne negatívne dopady na majetok, zdravie i životy zasiahnutých ľudí [6]. Budúce predikcie zmien klímy naviac neukazujú, že by sa mala situácia zlepšovať [7]. Podľa scenárov EURO-CORDEX (RCP45, RCP85), by sa priemerná teplota vzduchu v Strednej Európe mala zvýšiť o 2–4 °C na konci 21. storočia. Podľa výsledkov viacerých štúdií povedú zmeny v zrážkových úhrnoch k výrazným dopadom [8, 9]. Vyššie teploty povedú k výraznejšej teplotnej konvekcii, ktorá spôsobí formovanie extrémnejších búrkových udalostí a následne intenzívnejších zrážkových úhrnov [10]. V prípade zimných mesiacov bude v dôsledku vyššej teploty signifikantný pokles zrážok vo forme snehu, čo povedie k zníženiu snehovej pokrývky, ktorá sa bude vyskytovať vo vyšších nadmorských výškach [11]. Je preto dôležité prinášať výsledky z prípadových štúdií a lokálne vyhodnocovať dopady zmien klímy. To je cieľom i tejto predkladanej práce, ktorá hodnotí dopady zmeny klímy v šiestich beskydských povodiach na vybrané zložky ich vodnej bilancie a teploty vzduchu.

Študovaná oblasť

Hodnotenie dopadov zmien klímy prebehlo v šiestich beskydských povodiach (**obr. 1**). Ich vybrané charakteristiky sú znázornené v **tab. 1**.

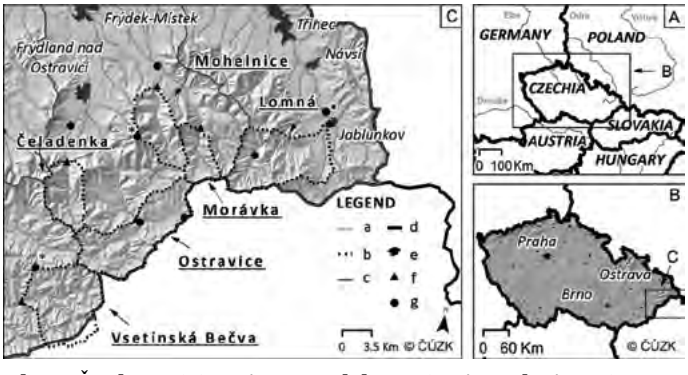
Metodika

Štruktúra zrážko-odtokového modelu, kalibrácia a validácia

Použitý bol semidistribuovaný model HEC-HMS 4.3, ktorý bol pre účely hodnotenia dopadov zmien klímy aplikovaný vo veľkom počte štúdií [12]. Štruktúra modelu bola nasledovná: moduly Simple Canopy a Simple Surface boli použité pre simulovanie zadržania vody na vegetácii a povrchu. Metoda Soil moisture accounting bola použitá pre simulovanie efektívnej zrážky a metóda SCS Unit Hydrograph a Kinematic wave pre hydraulickú transformáciu odtoku. Metoda Linear Reservoir bola aplikovaná pre modelovanie základného odtoku [13]. Denné úhrny zrážok, teploty vzduchu, prietokov a ďalších charakteristík boli získané z Českého Hydrometeorologického ústavu (ČHMU) pre obdobie 1. 11. 1996–31. 10. 2016. Zrážkové úhrny boli získané zo siedmych zrážkomerných staníc a na plochu jednotlivých povodí boli interpolované na základe nadmorskej výšky. Ďalšie klimatické charakteristiky boli získané z troch klimatických staníc a použité boli pre výpočet potenciálnej evapotranspirácie pomocou metódy FAO – Penman-Monteith [14]. Denné hodnoty teploty vzduchu boli použité pre výpočet topenia snehu pomocou metódy Degree-day [15]. Digitálny terénny model DTM bol použitý pre tvorbu priestorových dát v prostredí ArcGIS a s pomocou extenzie HEC-GeoHMS [16]. Celkové obdobie bolo rovnomerne rozdelené pre potreby kalibrácie (1. 11. 1996–31. 10. 2006) a validácie (1. 11. 2006–1. 10. 2016). Manuálna kalibrácia prebehla pre šesť vodomerných staníc využitím mier výkonnosti Nash-Sutcliffe coefficient (NSE) a PBIAS. Ako kritéria úspešnosti modelu boli použité odporúčania v štúdii [17] (≥0,5 NSE a ±10% PBIAS).

Scenáre zmien klímy

Scenáre zmien klímy boli získané z Program for Climate Model Diagnosis & Intercomparison – www.pcmdi.llnl.gov [18]. Bol zvolený regionálny klimatický model (RCA4) vytvorený Švédskym hydrometeorologickým ústavom. Model pracoval v rozlíšení 0,125° a ako zdroj okrajových podmienok používal globálny model MPI-M-MPI-ESM-LR. Tento model predikuje zrážky a teploty vzduchu, ktoré sú na úrovni priemeru z ansámblu klimatických modelov v podmienkach Českej republiky [19]. Pre simulovanie dopadov zmien klímy boli použité priemerné mesačné hodnoty zrážok a teploty vzduchu, stiahnuté zo Earth System Grid Federation [20] pre historické obdobie (1981–2005) a dve budúce obdobia (2021–2060 a 2061–2081) pre scenáre definované 5. správou IPCC: RCP4.5 a RCP8.5. Pre zistenie mesačných zmien v zrážkových úhrnoch a teplote vzduchu bola následne použitá



Obr. 1. Študované územie; A – Poloha v rámci strednej Európy; B – Poloha v rámci Českej republiky; C – Blízke okolie povodí; a – vodné toky; b – hranice povodí; c – klimatické stanice; d – štátne hranice; e – obce; f – vodomerné stanice; g – zrážkomerné stanice

Tab. 1. Vybrané charakteristiky povodia

Charakteristiky / Názov povodia	Δ Plocha (km²)	Δ Sklon (%)	Δ Nadmorská výška (m n.m.)	Hydrologické skupiny pôd (%)			Využitie územia (%)			
				B	C	C/D	Lesy	Pastviny	Zástavba	Orná pôda
Čeladenka	30,86	37,21	809,43	0,00	95,71	4,29	99,78	0,00	0,00	0,22
Lomná	69,79	32,31	666,61	13,53	86,46	0,01	75,37	10,08	3,59	10,96
Mohelnice	35,48	34,86	770,53	0,00	93,71	6,29	86,05	2,34	0,00	11,61
Morávka	22,17	35,77	765,77	0,00	89,72	10,28	91,56	0,00	0,00	8,44
Ostravice	73,00	26,91	704,84	0,20	92,23	7,57	95,34	2,01	0,55	2,10
Vsetínska Bečva	68,48	33,21	726,37	0,00	94,10	5,90	78,46	3,87	2,21	15,46

metóda tzv. delta faktoru [21]. Mesačné delta faktory boli použité pre celé 20-ročné obdobie. Keďže klimatický model negeneroval zmeny v evapotranspirácii, pre výpočet potenciálnej evapotranspirácie z priemerných mesačných teplôt vzduchu bola použitá metóda Thornwaita [22] pre súčasnosť i budúce scenáre a obdobia. Tento postup umožnil vypočítať mesačné delta faktory i pre potenciálnu evapotranspiráciu a následne ich použiť pre dennú časovú radu evapotranspirácie vypočítanú metódou FAO – Penman-Monteith.

Medzi vybrané prvky vodnej bilancie, ktoré boli v tejto práci hodnotené, patrili: zrážky vzduchu, evapotranspirácia, prietok a vodná hodnota snehu. Hodnotená bola i teplota vzduchu. Všetky tieto zložky boli hodnotené na úrovni povodia a pre úroveň roka, jednotlivých mesiacov, počtu mrazových dní, počtu dní so snehovou pokrývkou a počtu dní s výskytom zrážkových úhrnov vyšších ako 20 mm.

Výsledky

Kalibrácia a validácia zrážko-odtokového modelu

Model bol vyhodnotený ako dostačujúci [17] vo väčšine povodí v priebehu kalibrácie i validácie (**tab. 2**). Kým v povodí Lomnej a Vsetínskej Bečvy model nadhodnotil prietoky (PBIAS), vo zvyšných povodiach došlo k podhodnoteniu. Model mal problém pri simulácii vyšších prietokov, čo je dokumentované nižšími hodnotami NSE vo všetkých povodiach.

Hodnotenie dopadov zmien klímy na vybrané zložky vodnej bilancie

Na úrovni roka boli najväčšie zmeny zaznamenané pre vodnú hodnotu snehu (maximálne – 60 %). Naopak najmenšie zmeny boli pozorované pre hodnoty prietokov (maximálne 5,6 %) a úhrnu zrážok (maximálne 7,9 %) (**obr. 2**). Klimatický model predikoval nárast zrážkových úhrnov a zvýšenie teploty vzduchu (maximálne 2,2 °C). Vo väčšine prípadov dosahovali hodnoty medzikvartilového rozpätia menších hodnôt pre budúce scenáre, ako je tomu v súčasnosti. Najextrémnejšie zmeny boli vo väčšine zložiek vodnej bilancie simulované pre scenár RCP8.5 a obdobie 2061–2100.

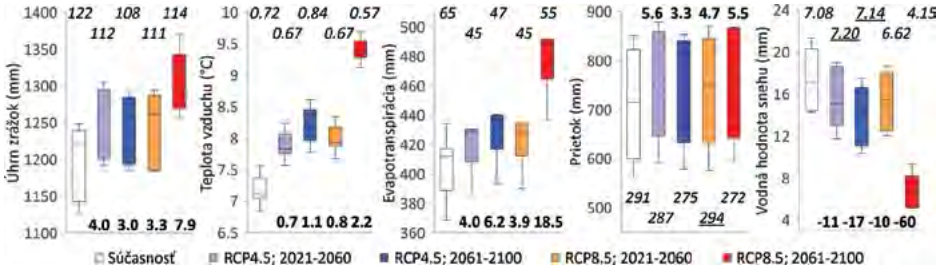
Dynamickejšie sú zmeny na úrovni mesačnej bilancie, kedy sa v niektorých prípadoch stráca jednotnosť pri scenároch a obdobiach pozorovaná pri ročnej bilancii. Kým niektoré mesiace sú charakteristické poklesom danej zložky vodnej bilancie pri všetkých scenároch i obdobiach, iné sú špecifické nárastom a v niektorých prípadoch bol pozorovaný pokles pre jeden scenár/obdobie a nárast pre druhý. V prípade zmeny v zrážkových úhrnoch boli najextrémnejšie mesiace február (39 %), marec (28 %) a november (23 %). Naopak najmenšie zmeny boli predikované pre október (9 %) (**obr. 3**). Najväčšie zmeny v absolútnych hodnotách teploty vzduchu boli zistené pre február (3,4 °C) a jún (3,2 °C), naopak najmenšie pre máj a október (1,8 °C). Zmeny v hodnotách evapotranspirácie boli najextrémnejšie v januári (114 %) a februári (107 %), najmenšie v júni a júli (5 %). Najväčšie zmeny v prietokoch boli zaznamenané v januári (61 %) a februári (45%), najnižšie v septembri (11 %) a máji (12 %). Pri vodnej hodnote snehu boli pozorované poklesy pri všetkých scenároch a obdobiach. Najvýraznejšie boli v apríli (– 84 %) a marci (– 76 %), najnižšie v novembri (– 42 %) a decembri (– 52 %) (**obr. 4**). V prípade počtu mrazových dní došlo k poklesu mediánovej hodnoty o 10

Tab. 2. Výkonnosť modelu v skúmaných povodiach

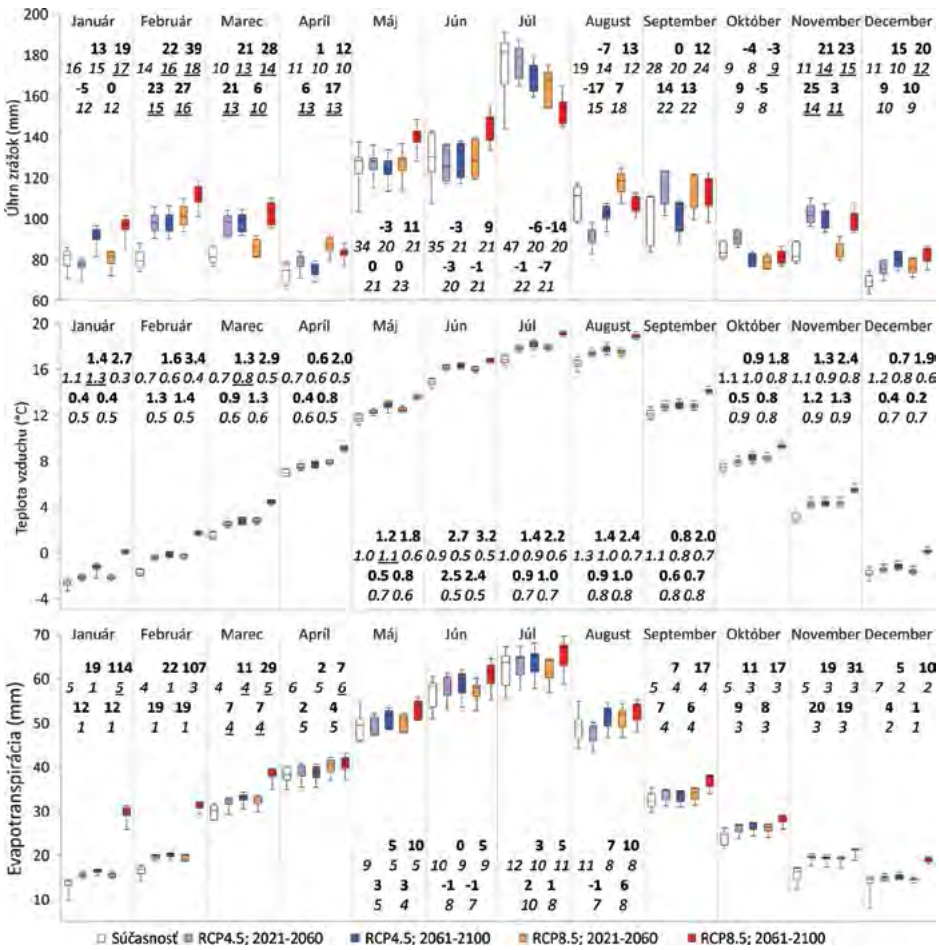
Miera výkonnosti / Názov Povodia	Kalibrácia		Validácia		Celé obdobie	
	NSE	PBIAS	NSE	PBIAS	NSE	PBIAS
Čeladenka	0,67	-7,82	0,61	-11,68	0,65	-9,60
Lomná	0,59	1,47	**0,49**	-0,52	0,55	0,68
Mohelnice	0,66	-3,83	0,62	-0,05	0,64	-1,95
Morávka	0,55	-11,27	**0,48**	-9,06	0,51	-10,16
Ostravice	0,58	-5,06	0,50	0,25	0,55	-2,43
Vsetínska Bečva	0,65	1,11	0,50	17,04	0,59	8,89

Zvýraznené hodnoty označujú neuspokojivý model podľa kritérií v práci [17]

Obr. 2. Priemerné ročné hodnoty vybraných zložiek vodnej bilancie a teploty vzduchu v šiestich povodiach (n=6) pre súčasnosť a scenáre zmeny klimatu v dvoch obdobiach v budúcnosti. Hodnoty boli vypočítané z 20 ročnej časovej rady. Tučne zvýraznené hodnoty označujú precentuálnu zmenu mediánu (v prípade teploty vzduchu absolútnu zmenu), Hodnoty označené kurzívou predstavujú medzikvratilové rozpätie. Pokiaľ sú hodnoty podčiarknuté je hodnota medzikvratilového rozpätia väčšia ako hodnota pre súčasný stav. Chybové úsečky predstavujú 10 a 90 percentil



Obr. 3. Priemerné mesačné hodnoty úhrnu zrážok, teploty vzduchu a evapotranspirácie v jednotlivých mesiacoch v šiestich povodiach (n=6) pre súčasnosť a scenáre zmeny klímy v dvoch obdobiach v budúcnosti. Hodnoty boli vypočítané z 20 ročnej časovej rady. Tučne zvýraznené hodnoty označujú percentuálnu zmenu mediánu (v prípade teploty vzduchu absolútnu zmenu). Hodnoty označené kurzívou predstavujú medzikvratilové rozpätie. Pokiaľ sú hodnoty podčiarknuté je hodnota medzikvratilového rozpätia väčšia ako hodnota pre súčasný stav. Chybové úsečky predstavujú 10 a 90 percentil



dní pri scenáre RCP4.5 a období 2021–2061 a o 33 dní pri scenáre RCP8.5 a období 2061–2100 (**obr. 5**). Počet dní so snehovou pokrývkou sa znížil z pôvodných 102 na 91 u scenára RCP4.5 a období 2021–2061 a na 61 scenáre RCP8.5 a období 2061–2100. Počet dní s úhrnom zrážok väčším ako 20 mm narástol zo súčasných 11 na 13 u scenára RCP4.5 a období 2021–2061 a na 14 u scenára RCP8.5 a období 2061–2100.

Diskusia

Kalibráciu a validáciu modelu HEC-HMS považujeme za uspokojivú [17] napriek tomu, že model podhodnocoval povodňové prietoky.

Vysoké hodnoty pri evapotranspirácii pri scenári RCP 8.5 v období 2061–2100 v januári a februári (ale i v ďalších mesiacoch) sú spôsobené výraznou zmenou teploty vzduchu pri tomto scenári na jednej strane a na druhej strane skutočnosťou, že potenciálna evapotranspirácia je v zimných mesiacoch nízka a akékoľvek zvýšenie potom v relatívnych hodnotách predstavuje vysoké zmeny. Evapotranspiráciu celkovo zvyšuje rastúca teplota vzduchu na jednej strane a na strane druhej zvýšený prísun vody do povodí v podobe nárastu zrážkových úhrnov. Veľké zvýšenie prietokov v januári a februári je spôsobené skutočnosťou, že dochádza k vypadávaniu zrážok v kvapalnej forme. V súlade s inými prácami [8, 11] sa znižuje ukladanie zrážok vo forme snehu, čo je dokumentované i znižovaním počtu dní so snehovou pokrývkou. Ešte výraznejšie zvýšenie prietokov je korigované zvýšenou evapotranspiráciou, ktorou sa voda dostáva mimo povodie. Výsledky práce potvrdzujú závery i ďalších štúdií, ktoré predpovedajú zníženie prietokov v letných mesiacoch (Trnka et al., 2016). Je ale dôležité poukázať na skutočnosť, že pri niektorých scenároch a obdobiach (napr. scenár RCP 8.5 a období 2021–2061 v mesiaci júl) nedochádza k poklesu, ale naopak k nárastu prietokov, čo je spôsobené nárastom zrážkových úhrnov.

Rozptyl (medzikvartilové rozpätie) bol vo väčšine prípadov najväčší pri súčasnom scenári klímy. Poukazuje to na skutočnosť, že došlo k zníženiu rozdielov medzi jednotlivými povodiami pri budúcich scenároch zmien klímy i obdobiach.

Za nedostatok práce považujeme absenciu analýzy neistôt, ktorá by bola schopná odhaliť neistoty v parametroch či štruktúre modelu. Použitie deterministického prístupu / optimálneho setu parametrov pri hodnotení je na jednej strane jednoduché pre hydrológa, na strane druhej to neumožňuje adekvátne vyhodnotenie možných neistôt v modelovacom procese.

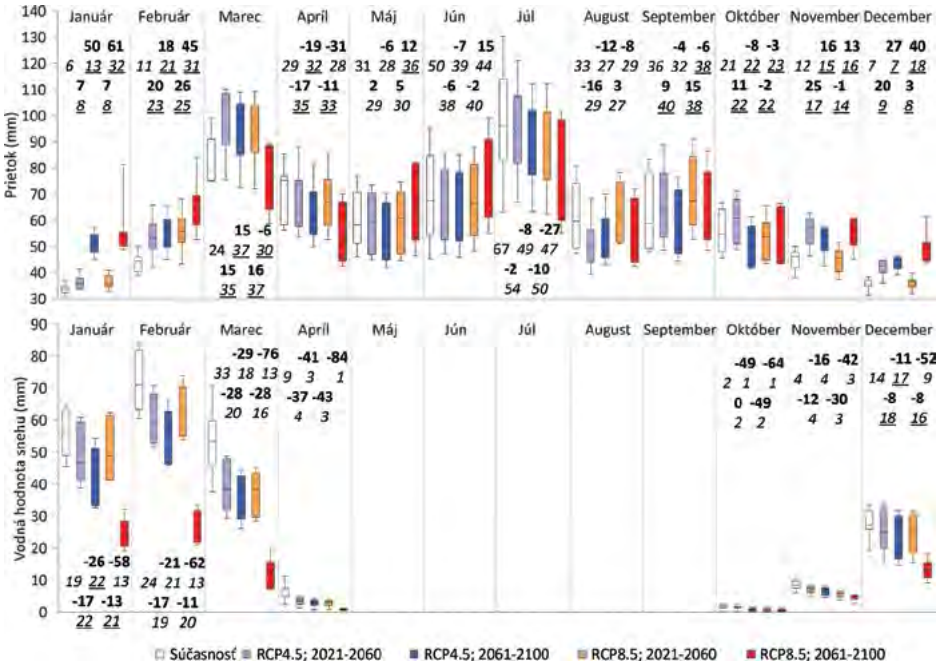
V prípade klimatických scenárov neboli hodnoty získané z klimatických modelov korigované na hodnoty z klimatických či zrážkomerných staníc, čo taktiež ovplyvnilo výsledky simulácií.

Hodnotenie dopadov klimatickej zmeny je do veľkej miery ovplyvnené výberom samotného klimatického modelu, V našom prípade bol vybraný model, ktorý podľa práce [19] predstavuje priemer z ansámblových výstupov klimatických modelov v podmienkach Českej republiky. Je dôležité zdôrazniť, že použitie iného klimatického modelu by logicky viedlo k rozdielom v zložkách vodnej bilancie riešených povodí. Analogické je to i v prípade použitého zrážkoodtokového modelu HEC-HMS, či samotnej štruktúry tohoto modelu.

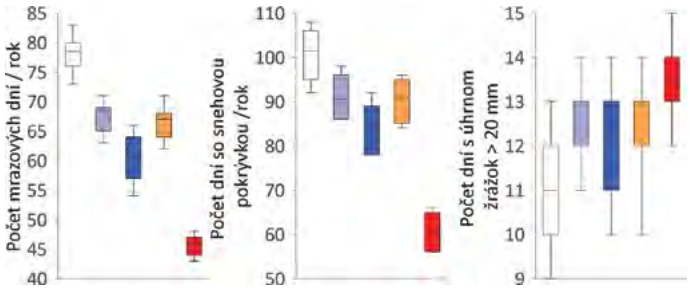
Ďalšie smerovanie práce bude zamerané na vyhodnotenie trendov v ročných a mesačných časových radách vybraných zložiek vodnej bilancie v jednotlivých povodiach, ako aj na detailnejšie vyhodnotenie zmien medzi povodiami.

Záver

V práci boli hodnotené dopady zmien klímy na vybrané zložky vodnej bilancie a teploty vzduchu. Použitý bol zrážko-odtokový model HEC-HMS, ktorý bol kalibrovaný a validovaný na prietoky v záverových profiloch šiestich horských povodí. Model pracoval v dennom časovom kroku a dopady vyhodnocoval pre 20-ročné časové obdobie. Klimatické scenáre pochádzali z regionálneho modelu RCA4, ktorý bol dotovaný dátami z globálneho modelu MPI-M-MPI-ESM-LR.



Obr. 4. Priemerné mesačné hodnoty prietokov a vodnej hodnoty snehu v jednotlivých mesiacoch v šiestich povodiach (n=6) pre súčasnosť a scenáre zmeny klímy v dvoch obdobiach v budúcnosti. Hodnoty boli vypočítané z 20 ročnej časovej rady. Tučne zvýraznené hodnoty označujú percentuálnu zmenu mediánu, Hodnoty označené kurzívou predstavujú medzikvratilové rozpätie. Pokiaľ sú hodnoty podčiarknuté je hodnota medzikvratilového rozpätia väčšia ako hodnota pre súčasný stav. Chybové úsečky predstavujú 10 a 90 percentil



Obr. 5. Počet mrazových dní, počet dní so snehovou pokrývkou a počet dní so zrážkovými úhrnmi vyššími ako 20 mm v šiestich povodiach (n=6). pre súčasnosť a scenáre zmeny klímy v dvoch obdobiach v budúcnosti. Chybové úsečky predstavujú 10 a 90 percentil

Použité boli scenáre RCP 4.5 a RCP 8.5 pre dve obdobia: 2021–2060 a 2061–2100. Kalibrácia a validácia modelu bola úspešná vo väčšine povodí. Na úrovni ročnej bilancie bol pozorovaný nárast teploty vzduchu, úhrnu zrážok i evapotranspirácie, ktorý vyvolal nárast prietokov a pokles vodnej hodnoty snehu vo všetkých povodiach. Na úrovni mesačnej bilancie boli zmeny dynamickejšie, ale vo všeobecnosti si zachovávali vzor z bilancie ročnej. K najvýraznejším zmenám u prietokov dochádzalo v mesiacoch január a február, kde bol zaznamenaný výrazný nárast v dôsledku zvýšenia teploty vzduchu a následnej zmeny skupenstva zrážok oproti súčasnosti. Najvýraznejší pokles prietokov bol pozorovaný v mesiacoch apríl, júl a august.

Poďakovanie: *Poďakovanie patrí World Climate Research Programme's Working Group on Coupled Modelling, ktorá bola zodpovedná za Coupled model Intercomparison project (CMIP) a autorov jednotlivým modelovacích prostriedkom (vymenovaných v časti Scenáre zmien klímy tejto štúdie) pre vytvorenie a sprístupnenie výstupov modelov. Poďakovanie patrí tiež U.S. Department of Energy's Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison, ktorý poksytuje podporu a kordináciu vývoj softwaru v kooperácií s Global Organization for Earth System Science Portals.*
Táto práca bola podporená Technologickou agentúrou Českej republiky (TAČR), grantom (TH02030509: 2017–2019) a grantom Študentskej grantovej súťaže Ostravskej univerzity (SGS03/PřF/2023).

Literatura/References

[1] Hoy, A.; Hansel, S.; Skalak, P.; Ustrnul, Z.; Bochníček, O: The extreme European summer of 2015 in a long-term perspective. International Journal of Climatology. 2017, 37, 943–962.

[2] Lhotka, O.; Kyselý, J.: Hot Central-European summer of 2013 in a long-term context. International Journal of Climatology. 2015, 35, 4399–4407.

[3] Hanel, M; Rakovec, O.; Markonis, Y.; Máca, P.; Ssamaniego, L.; Kyselý, J.; Kumar. R.: Revisiting the recent European droughts from a long-term perspective. Scientific Reports. 2018, (8).

[4] Kundzewicz, Z. W.; Pińskwar, I.; Brakenridge, G. R.: Large floods in Europe, 1985–2009. Hydrological Sciences Journal, 2013, 58 (1), 1–7.

[5] Culik, J.; Hollan, J.: „Rozhovor Britských listů 404. Můžeme po tornádu ignorovat klimatickou katastrofu?[Britské listy Interview 404. Can we afford to ignore the climate catastrophe, after a tornado has devastated villages in the Czech Republic?].“ 2021

[6] Wasko, C.; Sharma; A.; Pui, A.: Linking temperature to catastrophe damages from hydrologic and meteorological extremes. Journal of Hydrology. 2021, (602).

[7] Gurerreiro, S. B.; Dawson, R. J.; Kilsby, Ch.; Lewis, E.; Ford, A.: Future heat-waves, droughts and floods in 571 European cities. Environmental Reasearch Letters. 2018, (18).

[8] Hynčica, M.; Huth, R.: Long-term changes in precipitation phase in Europe in cold half year. Atmospheric Research. 2019, (227), 79–88.

[9] Kyselý, J.; Gaál, J.; Beranová, R.; Plavcová, E.: Climate change scenarios of precipitation extremes in Central Europe from ENSEMBLES regional climate models. Theoretical and Applied Climatology. 2011a, 104, 529–542.

[10] Knist, S.; Goergen, K.; Simmer, C.: Evaluation and projected changes of precipitation statistics in convection-permitting WRF climate simulations over Central Europe. Climate Dynamics. 2020, (55), 325–341.

[11] Blahušiaková, A.; Matoušková, M.; Jeníček, M.; Ledvinka, O.; Kliment, Z. Podolinská, J.; Snopková Z.: Snow and climate trends and their impact on seasonal runoff and hydrological drought types in selected mountain catchments in Central Europe. Hydrological Science Journal. 2020, 65(12), 2083–2096.

[12] Azmat, M.; Wahab, A.; Huggel, C.; Qamar, M. U.; Hussain, E.; Ahmad, S.; Waheed, A.: Climatic and hydrological projections to changing climate under CORDEX-South Asia experiments over the Karakoram-Hindukush-Himalayan water towers. Sci Total Environ. 2020

[13] Ouédraogo, W. A. A.; Raude, J. M.; Gathenya, J. M.: Continuous Modeling of the Mkurumudzi River Catchment in Kenya Using the HEC-HMS Conceptual Model: Calibration, Validation, Model Performance Evaluation and Sensitivity Analysis. Hydrology 2018, 5, 44

[14] Allen, L.P., Raes, D., Smith M.,: Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome, Italy: Food and Agriculture Organisation. 1998.

[15] Howard, C.: Revisiting the degree-day method for snowmelt computations – Discussion, Water Resour. Bull., 32, 411–413, 1996.

[16] Fleming, M. J.; Doan, J. H.: HEC-GeoHMS, Geospatial Hydrologic Modeling Extension, User‘s Manual, Version 10.1, February 2013, 2013

[17] Moriasi, D. N. a kol.: Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. Transactions of the ASABE, 50, 885-900. 2007.

[18] Taylor, K. E.; Stouffer, R. J.; Meehl, G. A.: An overview of CMIP5 and the experiment design. Bull Am Meteorol Soc93(4):485–498, 2012

[19] Štěpánek, P. a kol.: Očekávané klimatické podmínky v České republice, část I. Změna základních parametrů, Vydáno v rámci projektu: „SustES - Adaptační strategie pro udržitelnost ekosystémových služeb a potravinové bezpečnosti v nepříznivých přírodních podmínkách“ (CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_019/0000797)“ Ústav výzkumu globální změny Akademie věd České republiky Brno 2019ISBN. 978-8-87902-28-8

[20] Williams, D. N.: Earth System Grid Federation and Ultrascale Visualization Climate Data Analysis Tools Conference Report. United States: N. p., 2015. Web. doi:10.2172/1182238.

[21] Navarro-Racines, C.; Tarapues, J.; Thornton, P. a kol.: High-resolution and bias-corrected CMIP5 projections for climate change impact assessments. Sci Data 7, 7 (2020).

[22] Thornthwaite, C. W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review 38, Nr. 1: 55–94.

[23] Trnka, M.; Balek., J.; Štěpánek, P. a kol.: Drought trends over part of Central Europe between 1961 and 2014. Climate Research. 2016(70), 143–160.

Mgr. Stanislav Ruman, Ph.D. (korešpondujúci autor)
RNDr. et Mgr. Matěj Horáček, Ph.D.
Mgr. Vilém Spálovský
doc. RNDr. Jan Hradecký, Ph.D.
Katedra fyzické geografie a geoekologie
Přírodovědecká fakulta
Ostravská univerzita
stanislav.ruman@osu.cz
553 462 360

Assessment of the impacts of climate change on selected water balance deposits of the Beskydy basins (Ruman, S.; Horacek, M. Spalovsky, M.; Hradecky, J.)

Abstract

Climate change impact assesment is a crucial process for understanding of future changes in catchment hydrological responses. This work is a case study from sixh watersheds in Beskydy mountains, Czechia. The goal was to assess the climate change impact to the catchments water balances. The rainfall-runoff model HEC-HMS was applied, calibrated and validated to the discharges in the watershed outlets. Annual water balances showed increase in rainfall, evapotranspiration, flow and air temperature and decrease in snow water equivalent. Monthly wate balances we more variable. While the highest increase in discharges were marked in January and February, the highest decrease occured in April, July and August. Furthermore, decreas in number of frost days, number of days with snow cover and number of days with the rainfall higher than 20 mm was observed.

Key words

climate change – Rainfall-Runoff – HEC-HMS – water balance – Beskydy mountains – impact assessment

envites®

FILTRACE
SEDIMENTACE
ODVODNĚNÍ
PŘÍPRAVA POMOCNÝCH CHEMIKÁLIÍ

S 30 lety zkušeností je společnost ENVITES, spol. s r.o. Vaším partnerem při dodávce technologických celků i jednotlivých komponent pro:

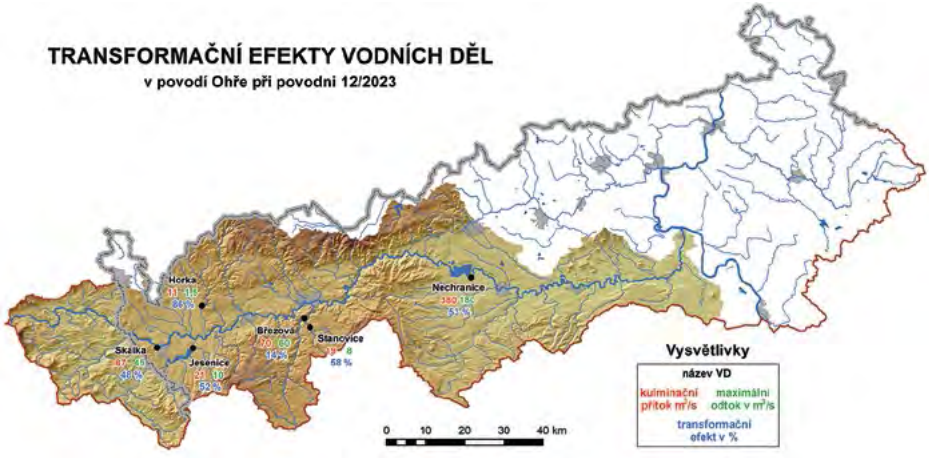
- Tlakové pískové filtrace
- Kontinuální pískové filtrace
- Lamelové usazovací nádrže
- Čiření
- Přípravu pomocných chemikálií
- Zahušťování kalu
- Kalolisy
- Vystrojení betonových nádrží

Vídeňská 120b, 619 00 Brno, CZ
TEL: +420 547 429 211
WWW.ENVITES.CZ
INFO@ENVITES.CZ

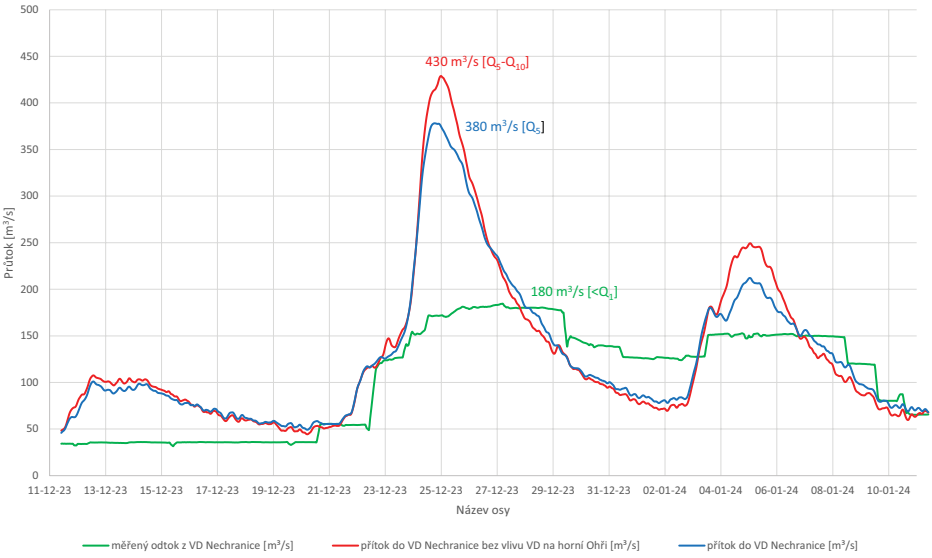
Jak vodní nádrže na řece Ohři ovlivnily vánoční povodeň

Michal Tanajewski

Příčinou vánoční povodňové epizody v prosinci 2023 byly vydatné regionální srážky, které ve spojení s výrazným oteplením a plošným táním čerstvě napadlé sněhové pokrývky způsobily vzestup hladin na celém území ve správě Povodí Ohře, s. p. Vzestup vodnosti byl umocněn vysokou nasyceností půdy po předchozím tání sněhu v polovině prosince. Příčinné srážkové úhrny za 96 hodin (21.–24.prosince) byly prostorově nerovnoměrné a pohybovaly se nejčastěji mezi 45 až 100 mm (vrcholky Krušných hor). Nejvýraznější hydrologické odezvy byly v oblasti Karlovarska. Čerstvě napadlý sníh z 22. na 23. prosince byl zasažen intenzivními srážkami za doprovodu silného větru. Na Karlovarsku kulminační průtoky na měřených profilech dosahovaly hodnot v rozmezí Q_2–Q_{10}, na Pramenském potoce v povodí Teplé v profilu Mnichov a na řece Svatavě v profilu Svatava byl dosažen průtok Q_{20}. Ke kulminacím docházelo na Štědrý den v ranních až odpoledních hodinách. Východní část spravovaného území byla povodní zasažena menší extrémicitou. Oteplení v této části přišlo opožděně, v čase, kdy tání sněhu nebylo podporováno vydatnými srážkami. Přesto čerstvý sníh za doprovodu srážek a teplého větru velmi rychle odtával. Na východě našeho území se kulminační průtoky na měřených profilech pohybovaly v rozmezí Q_1–Q_5, které kulminovaly 25. prosince. Řešení povodňové situace komplikovaly plošné a dlouhé výpadky elektrické energie, způsobené silným větrem. Ten způsoboval vývraty stromů, které se projevily ve vyšším množství plaveného dřeva ve vodních tocích, které musely být lokálně odstraňovány.



Obr. 1. Transformační efekty vodní děl v povodí Ohře



Obr. 2. VD Nechranice – skutečný přítok, teoretický odovlivněný přítok bez vlivu nádrží na horní Ohři a skutečný odtok z VD

Koordinovaná spolupráce nádrží

V povodí řeky Ohře jsou významné nádrže, které spolu v určitých situacích koordinovaně spolupracují, respektive jejich soustavy:

- Skalka – Jesenice na Ohři u Chebu
- Březová – Stanovice na řece Teplé nad Karlovými Vary
- nádrž Horka u Sokolova.

Tyto nádrže a jejich soustavy mají v protipovodňové ochraně primárně za úkol chránit přilehlé území pod vodními díly a podle hydrologického vývoje také vhodnými manipulacemi mohou v menší míře ovlivňovat situaci na celé horní části řeky Ohře. V celkovém výčtu poté hraje nejvýznamnější roli nádrž Nechranice, která ovlivňuje situaci na celé dolní části řeky Ohře až po soutok s řekou Labe. Dolní část řeky Ohře je svým charakterem a osídlením velmi citlivá na povodňové průtoky. V zásadě již při jednoletém a vyšším průtoku na dolní Ohři vznikají škody na majetku a ve vegetačním období také na zemědělství.

Na nádrži Nechranice zvýšíme retenční ovladatelný prostor až o 15,2 mil. m³

Vodní dílo Nechranice bylo uvedeno do provozu v roce 1968 a původně nebylo vystavěno pro ochranu před povodněmi. Původní účel nádrže byl zásobní, bez ovladatelného ochranného prostoru. V roce 1979 bylo přehodnoceno její vodohospodářské řešení na základě reálných požadavků na odběry. V jeho důsledku byl snížen zásobní prostor a vytvořen retenční ovladatelný prostor o velikosti 36,5 mil. m³. Ovladatelný ochranný prostor zajišťoval ochranu před povodněmi, ale s ohledem na specifické výškové uspořádání regulačních uzávěrů vodního díla, kterými za povodně jsou prakticky jen ovladatelné bezpečnostní přelivy, nebylo možné nádrž výrazně předvypustit, nebo s povodní efektivně pracovat v zásobním prostoru. Úskalím byl v té době bezpečnostní přeliv o třech polích hrazený hydrostatickými segmenty, které svým výškovým uspořádáním byly schopné dosáhnout neškodného odtoku z vodního díla až při dosažení hladiny v nádrži v retenčním ovladatelném prostoru. Proto v roce 2004 bylo střední pole upraveno na jiný typ uzávěru. Střední pole bylo přestavěno na zdvižný segmentový uzávěr, u kterého byla snížena niveleta přelivného prahu o pět metrů. Od této technické úpravy je možné povodeň v nádrži Nechranice efektivně transformovat již v zásobním prostoru. Na další úpravě bezpečnostního přelivu v současné době probíhá rekonstrukce krajních polí bezpečnostního přelivu, která mění donedávna osazené hydrostatické segmenty za klapkové uzávěry. Levé pole je již v provozu a pravé pole je rozestavěné. Klapkové uzávěry umožní jemnější manipulace s odtokem, které s hydrostatickými segmenty v praxi nebylo možné provést, a také umožní svou hradící výškou zvýšit retenční ovladatelný prostor potenciálně až o dalších 15,2 mil. m³, aniž by se zasahovalo do zásobního prostoru.

Zejména úprava středního pole naplnila skvělou výhodu při transformaci vánoční povodně v zásobním prostoru při zachování průtoku pod hranicí neškodného průtoku v řídícím profilu Louny. Na dolním toku Ohře

díky vodnímu dílu Nechranice nebyla povodeň se škodlivými účinky. Nechranice snížily kulminační přítok z 380 m³/s (Q_3) na maximální odtok 180 m³/s (< Q_1). Na dolní Ohři byly překročeny pouze 2. stupně povodňové aktivity, které byly řízeně udržovány manipulacemi na vodním díle Nechranice s přihlédnutím na hydrologický vývoj pod nimi.

Svůj potenciální efekt také využily nádrže a vodohospodářské soustavy nádrží v povodí horní Ohře. Nádrž Skalka snížila povodeň v kulminaci o 42 m³/s, Jesenice o 11 m³/s, Horka o 9 m³/s, nádrže Březová a Stanovice na Teplé o 21 m³/s, (viz **obr. 1**). Při výpočtu ovlivnění povodňových průtoku těmito nádržemi na horní Ohři, jsme dospěli k závěru, že v profilu přítoku do nádrže Nechranice byl kulminační průtok snížen o 50 m³/s oproti změřené kulminaci. Tedy výsledným efektem transformací všech nádrží bylo snížení průtoků na dolní Ohři pod vodním dílem Nechranice ze 430 m³/s na 180 m³/s. Výsledky průběhu jsou uvedeny na **obr. 2**. Graf znázorňuje hydrogram průtoků v profilu nádrže Nechranice, ve kterém zelená čára znázorňuje skutečný průběh manipulací na odtoku při povodni, modrá čára ukazuje skutečný přítok do nádrže a červenou čarou je znázorněn teoretický odovlivněný přítok bez vlivu transformačních účinků výše uvedených vodních děl na horní Ohři.

Transformačních efektů na uvedených nádržích by bylo obtížné dosáhnout bez celého souboru činností, které musí vodohospodářský dispečink vykonat. Mezi ně patří monitoring a předpovědi hydrometeorologické situace, prognózy chování nádrží a nařízení adekvátních manipulací na vodních dílech s ohledem na nejistoty budoucího vývoje. Nesmíme zapomenout na obsluhu vodních děl a jejich schopnost takové manipulace přesně provést.

Během vánoční povodňové epizody v minulém roce nevznikly v povodí řeky Ohře významnější škody. Svůj podíl na tomto výsledku měla velikost povodně. Nejvýstižněji by se dala charakterizovat krátkou větou: „Byla tak akorát“. V lokalitách, kde povodeň nejsme schopni ovlivnit nádržemi, nebo nejsou pod ochranou PPO, by další vzestupy průtoků působily výraznější škody. Lokality, které jsou pod částečnou ochranou vodních děl, byly manipulacemi ochráněny s patřičnou rezervou v nejistotách hydrometeorologických předpovědí. Kdyby nádrže v povodí řeky Ohře nebyly, ke škodám na majetku by prokazatelně došlo.

Michal Tanajewski
Povodí Ohře, s. p.
tanajewski@poh.cz

Kromě povodňových průtoků vodní nádrže zadržely enormní množství splavenin

Petr Chmelař

Průtoky během vánoční povodně vnesly do vodní nádrže Brno velké množství splavenin. Materiál, jehož množství se pohybovalo ve stovkách tun, odklízeli zaměstnanci Povodí Moravy z blízkosti hráze s pomocí těžké techniky.

Pracovníci Povodí Moravy z hladiny Brněnské přehrady odklidili hned na začátku roku 2024 množství splaveného materiálu. Několik stovek tun odpadu (převážně kmeny, větve, odpadky, pet lahve) do přehrady přinesly zvýšené průtoky během vánočních svátků, kdy se přítok do vodní nádrže přiblížil k 90 m³/s. Vodní nádrž povodňový průtok snížila na přibližně 55 m³/s. Společně s povodňovými průtoky přehrada zadržela také značné množství splavenin.

Spláví se drželo u hráze vodní nádrže (viz **obrázek 1**), odkud je pracovníci Povodí Moravy vytahovali pomocí jeřábu do nákladních aut. Práce zahájili v úterý 2. ledna. Po odtěžení spláví z hladiny vodní nádrže následoval proces usušení a roztřídění materiálu na plasty, dřevo a další, po kterém je možné vytěžené spláví ekologicky zlikvidovat.

Po poklesu průtoků v řekách začali vodohospodáři odklízet spláví i z ostatních vodních nádrží. Nádrže Dyjsko-svratecké vodohospodářské soustavy, zejména vodní nádrže Vranov, Vír, Nové Mlýny a Mostiště, během vánočních povodní transformovaly povodňové průtoky a zpomalily souběh povodňových průtoků pod vodními nádržemi. V průběhu kulminací např. VD Vranov transformovalo průtok v Dyji z 115 m³/s na 44 m³/s, VD Vír snížilo průtok ve Svratce z 80 m³/s na 35 m³/s, VD Dalešice snížilo průtok v Jihlavě ze 75 m³/s na 35 m³/s, VD Brno transformovalo 90 m³/s přitékající do přehrady na 55 m³/s a VD Nové Mlýny, které tvoří poslední článek Dyjsko-svratecké vodohospodářské soustavy na soutoku Svratky, Jihlavy a Dyje, snížilo průtok pod vodní nádrží o 70 m³/s z přitékajících 250 m³/s na odtékajících 180 m³/s. Bez vlivu vodních nádrží by průtok vody v Dyji pod soutokem s Jihlavou a Svratkou dosáhl třetích stupňů povodňové aktivity.

Také po jarní povodni v dubnu 2023 překonalo množství odklizeného materiálu na vodní nádrži Brno 500 tun. V předchozích dvou letech se množství odklizených splavenin pohybovalo okolo jedné stovky tun. Některé druhy splaveného materiálu mají nepříznivý vliv na kvalitu vody v nádržích. Vedle přírodního materiálu se totiž do řek v době zvýšených průtoků mohou dostat různé předměty a materiály např. z načerno založených skládek.

Obr. 1. Spláví u hráze Brněnské přehrady

Foto archiv Povodí Moravy, s. p.
Petr Chmelař
Povodí Moravy, státní podnik
chmelar@pmo.cz

maddalena®
• Moderní technologie
• Vysoká přesnost
• Spolehlivost
R_{max}800

ELECTO SONIC
moderní
ultrazvukový vodoměr
s mosazným tělesem
Integrovaný duální modul umožňuje komunikaci wireless M-Bus OMS, LoRaWAN, NB–IoT.
M-Bus LoRaWAN NB-IoT
Hannso s.r.o.
výhradní distributor značky Maddalena pro Českou republiku a Slovensko
www.hannso.cz

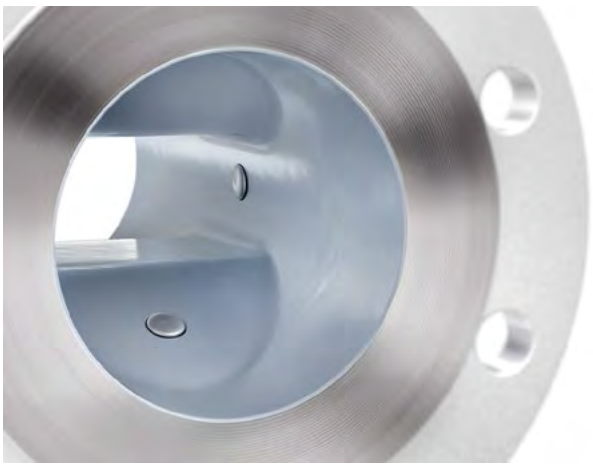
Magneticko-indukční vodoměr WATERFLUX 3070 V3

Voda se v posledních deseti letech stává i u nás drahou komoditou. Voda je zdrojem potvrzujícím platnost jednoho ze základních ekonomických zákonů, který říká, že zdroje jsou vzácné. Vodní zdroje v České republice jsou intenzivně využívány – velké, střední i malé. Přesné měření průtoku vody, jak pramenité, tak i pitné, říční nebo i srážkové, poskytuje, pokud je spolehlivé za všech provozních stavů, velké množství údajů potřebných pro optimální hospodaření s vodou při její výrobě, při dopravě a i distribuci ke konečným spotřebitelům.

Hospodaření s vodou je důležité nejen proto, že se jedná o přírodní zdroj, který je nutno uvážlivě a hospodárně využívat, ale také kvůli tomu, že výroba a doprava vody je energeticky velmi náročná jak z hlediska spotřeby vlastní elektrické energie pro čerpání, tak i s ohledem na značnou spotřebu chemikálií, používaných k úpravě surové vody na vodu pitnou.

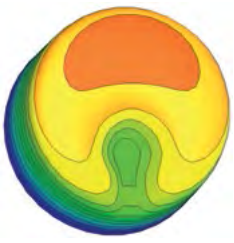
Po celou dobu své existence se firma KROHNE zaměřuje na výzkum a vývoj perspektivních technologií, které zdokonalují stávající způsoby měření neelektrických veličin, jako je např. měření průtoku kapalin. Jedním z výsledků tohoto úsilí je poslední verze **magneticko-indukčního vodoměru Waterflux 3070 V3**, která nabízí nové možnosti použití magneticko-indukčních vodoměrů při přípravě a distribuci pitné i užitkové vody.

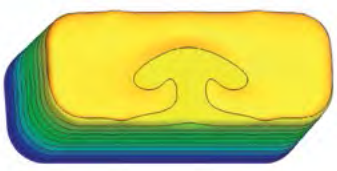
Magneticko-indukční vodoměr Waterflux má unikátně řešenou měřicí trubici obdélníkového průřezu, viz **obrázek 1**. Cílem této úpravy měřicí trubice bylo snížení citlivosti přístroje na nesymetrický tvar rychlostního profilu proudění vstupujícího do vodoměru.



Obr. 1. Provedení měřicí trubice magneticko-indukčního vodoměru Waterflux

Tvar rychlostního profilu je obvykle narušen nedostatečně dlouhým přímým úsekem potrubí, například koleny, T kusy nebo armaturami, umístěnými před vodoměrem. Ve spolupráci s německým Fyzikálně technickým spolkovým ústavem (PTB) byla provedena řada měření tvaru rychlostního profilu. Jako příklad uvádíme pro srovnání výsledky měření tvaru rychlostního profilu za kolenem instalovaným před vodoměrem v kruhovém průřezu (viz **obrázek 2**) a v hydraulicky optimalizovaném obdélníkovém průřezu (viz **obrázek 3**). Velikost vektoru rychlosti v daném místě je znázorněna barevně, od nejnižších rychlostí (modrá), přes zelenou a žlutou až k nejvyšším hodnotám rychlosti proudění (oranžová).

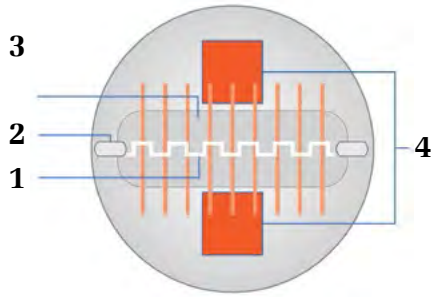




Obr. 2 (vlevo). Okamžité rychlosti proudění v potrubí kruhového průřezu
Obr. 3 (vpravo). Okamžité rychlosti proudění v hydraulicky optimalizovaném potrubí obdélníkového průřezu

Díky optimalizovanému obdélníkovému tvaru se vliv různých narušení rychlostního profilu snižuje až o 80 %. Přístroj tedy nepotřebuje uklidňovací přímé úseky před a za snímačem, a lze jej umístit i bezprostředně na výtlaku čerpadel, v úzkých vodoměrných šachtách nebo těsně za uzavíracími armaturami.

Dalším významným přínosem obdélníkového tvaru měřicí trubice je silnější a homogennější magnetické pole, viz **obrázek 4**, a také zvýšení střední rychlost proudění a silnější napěťový signál, a to i při malých průtocích.



Obr. 4. Generování magnetického pole v měřicí trubici obdélníkového průřezu, 1 – indukované napětí, 2 – snímací elektrody, 3 – magnetické pole, 4 – budicí cívky

Účelná konstrukce snímače a sofistikovaná elektronika využívající nejmodernější nízkopříkonové komponenty zajišťují dlouhou životnost interních nebo externích baterií, které v závislosti na světlosti a nastavení přístroje umožňují napájení až po dobu 20 let v místech, kde není k dispozici elektrická síť. Přístroj tak může být instalován i v odlehlých lokalitách s minimálními nároky na obsluhu a údržbu. Další možností je modul Flexpower (**obrázek 5**) pro napájení ze sítě s integrovanou záložní baterií pro případ jejího výpadku. Modul má krytí IP68 a dodává se s kabelem pro napájecí zdroje 10...30 Vss, takže může pro provoz využívat i obnovitelné zdroje, např. fotovoltaické panely nebo větrnou energii.

Obr. 5. Napájecí modul Flexpower pro magneticko-indukční vodoměr

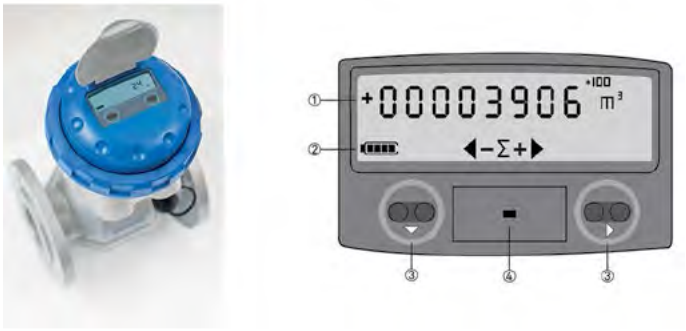
Obr. 6. Vestavěný snímač tlaku a teploty proudící vody

Pro optimální provozování vodárenských sítí je nutná nejen znalost hodnoty okamžitého průtoku a součtového množství, ale také tlaku, a v některých případech i teploty proudící vody. Snímač magneticko-indukčního vodoměru Waterflux může být vybaven vestavěným snímačem tlaku a teploty. Snímač tlaku a teploty je umístěn před snímací elektrodou a nezasahuje do průřezu měřicí trubice, viz **obrázek 6**.

Waterflux 3070 je univerzálním přístrojem i z hlediska montáže: je možno jej instalovat do kovových i plastových potrubí. V kompaktním i odděleném provedení má krytí IP 68, viz **obrázek 7**, které umožňuje jeho umístění i tam, kde dochází k občasnému nebo trvalému zaplavení, případně může být snímač průtokoměru uložen přímo do výkopu a zasypán zeminou.

Obr. 7. Kompaktní (vlevo) a oddělené provedení (uprostřed a vpravo)

Magneticko-indukční vodoměr Waterflux vždy měří obousměrně a je vybaven místním ukazatelem okamžitého průtoku, součtového množství, tlaku a teploty proudící vody (pokud je snímač vybaven integrovaným měřením tlaku a teploty), stavu baterie a ukazatelem směru průtoku, viz **obrázek 8**.

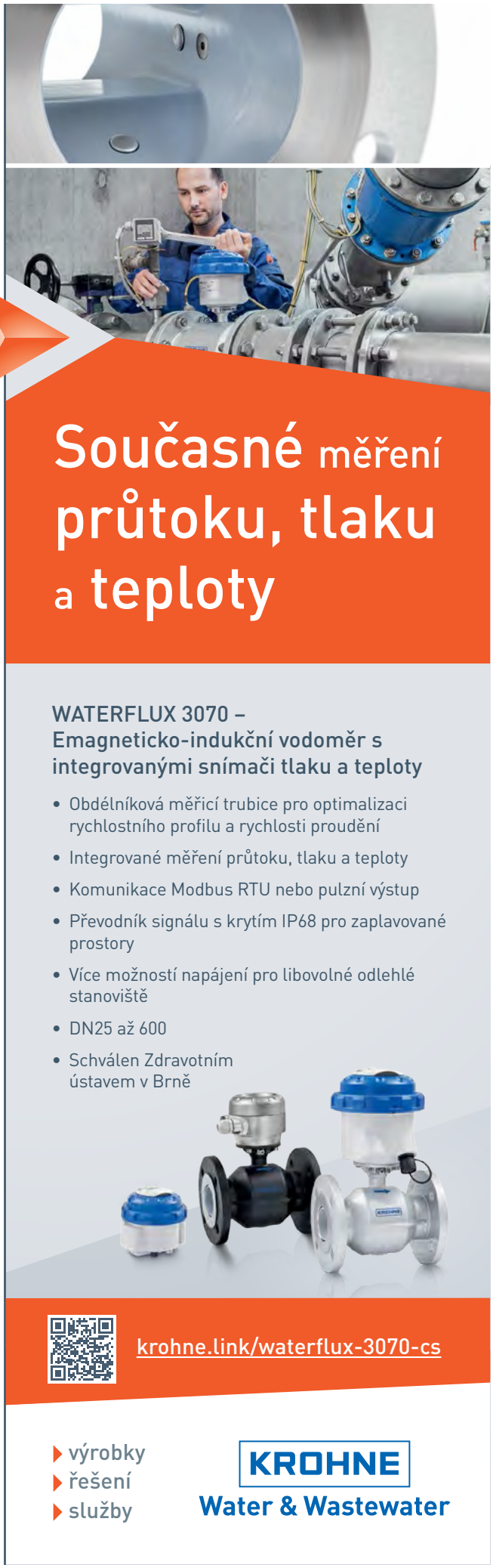


Obr. 8. Ukazatel magneticko-indukčního vodoměru Waterflux V3

Pro dálkový přenos měřených hodnot je možno využít dva pulzní výstupy, čtyři stavové výstupy nebo protokol Modbus RTU, který je dodáván ve dvou variantách – nízkopříkonový při napájení z baterií nebo běžný Modbus RTU při napájení vodoměru ze sítě.

Magneticko-indukční vodoměr Waterflux 3070 V3 se vyrábí s přírubovým připojením DN 25 až DN 600, případně se závitovým připojením (G1“ a G 1 ½“). Přístroj je schválen pro měření v obchodním styku podle Přílohy III (MI-001) evropské Směrnice pro měřicí přístroje 2014/32/EU (MID), tak pro aplikace mimo MID podle zákona č. 505/1990 Sb., ve Schválení typu měřidla TCM 142/11-4873, a to i pro obousměrné měření.

Michael Rumpf
m.rumpf@krohne.com



Odpověď na diskusi: prof. Tomáš Kvítek, Vodní hospodářství 1/2024

Jan Pokorný

Děkuji předsedovi redakční rady profesoru Tomáši Kvítkovi za diskusi k našemu článku uveřejněnému v čísle časopisu VH 12/2023. Diskuse vyšla v následujícím čísle VH (1/2024). Úvodem odpovědi autorů se nabízí zmínit hlavní cíl článku, jímž bylo vyvolat diskusi. To se záhy podařilo. Ostatně, už název článku k tomu vyzývá: „Lze nárůst příkonu sluneční energie a teplot vysvětlit jinak než úbytkem oblačnosti a vody v ovzduší?“

V této souvislosti je ale také potřeba zopakovat hlavní myšlenku a téma článku: V České republice, podobně jako jinde v Evropě, stoupá příkon sluneční energie od osmdesátých let dvacátého století. Tento vzestup je prokázaný přímým měřením na všech 32 stanicích ČHMÚ, nárůst je významný, v průměru 5 % (5,2 W.m^{-2}) za dekádu; tedy více než o řád vyšší, než je vypočtená hodnota radiačního zesílení (radiative forcing) způsobená nárůstem koncentrace suchých/nekondenzujících skleníkových plynů (GHG). Jde o příkon krátkovlnného slunečního záření, nikoli o zesílený skleníkový efekt, který působí na dlouhovlnné záření. Článkem upozorňujeme na zvýšenou globální radiaci, vyzýváme k hledání její příčiny a v názvu i v závěru klademe otázku, zda lze nárůst příkonu sluneční energie vysvětlit jinak, než úbytkem oblačnosti a vody v ovzduší.

V převážné části textu ohlasu se profesor Tomáš Kvítek věnuje širšímu tématu problematiky půd a jejich funkce v hydrologickém cyklu. Reaguje tak na jeden údajně „problematický“ odstavec v diskusi, kde připomínáme, že na zpevněných a zastavěných plochách, kde chybí voda, prakticky neprobíhá evapotranspirace, a ty se tímto při dopadajícím slunečním záření, o kterém je především tento článek, přehřívají. A stoupá zde tak teplota vzduchu. To, že píšeme o odvodněných plochách typu zpevněné a zastavěné, je zřejmé zejména z druhé a třetí věty zmíněného odstavce diskuse, jež je zde potřeba zopakovat: „V České republice ubývá denně 11 ha zemědělské půdy, z toho část se mění na zpevněné a zastavěné povrchy. Tyto změny krajinného pokryvu jsou provázeny poklesem výparu vody (evapotranspirace)“.

Odpovědi k Závěrům v ohlasu prof. Kvítka:

1. V článku nepíšeme, že voda na odvodněných půdách nevsakuje. Píšeme, že u nás roste rozloha nepropustných ploch.
2. V článku nepíšeme, že na odvodněných půdách neprobíhá evapotranspirace. Uvádíme, že na nově vznikajících odvodněných plochách (zpevněné a zastavěné) chybí voda, a proto zde nemůže probíhat evapotranspirace. Takovéto povrchy se pak přehřívají.
3. Článek neřeší vliv druhu, resp. změn využití pozemků na radiaci (intenzitu slunečního záření), prokazovat požadovanou korelaci zde proto nedává smysl. Dokumentujeme změny v hodnotách úhrnu globálního záření a doby trvání slunečního svitu a klademe si otázku, co je příčinou.

Téma považujeme za velmi důležité a vážíme si toho, že článek byl uveřejněn ve Vodním hospodářství. Navíc si vážíme času, který profesor Tomáš Kvítek diskusi v ohlasu věnoval, pokusíme se proto odpovědět na otázky, které klade, přestože s hlavním tématem článku často zcela nesouvisí.

Odpovědi na otázky a kritiku T. Kvítka:

Lze prokázat úbytek oblačnosti přímým měřením? Lze prokázat úbytek vody v ovzduší přímým měřením?

Ano, daty z měření a pozorování pokrytí oblačnosti, resp. relativní vlhkosti vzduchu na standardních meteorologických stanicích ČHMÚ i obdobných v zahraničí. To potvrzují různé studie, např. [1], jež dokumentují snížení relativní vlhkosti vzduchu v ČR. Následující práce dokládají pokles relativní vlhkosti vzduchu ve vnitrozemí Polska [19], v Maďarsku [20], a pokles relativní vlhkosti vzduchu zejména v létě v Německu [21]

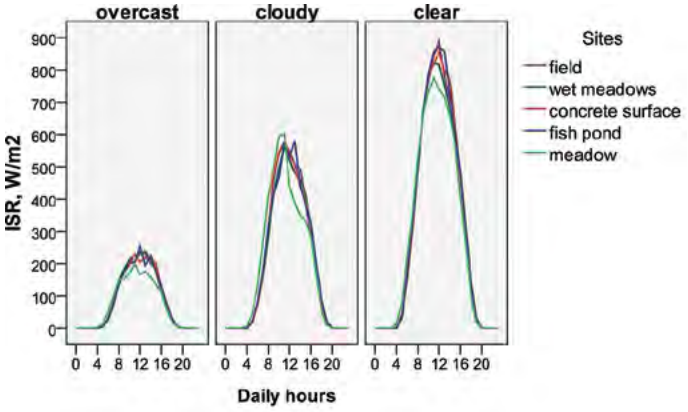
Jak si dovolujeme dávat do kauzálního vztahu oblačnost s příkonem slunečního záření, aniž jsme experimentálně ověřili korelaci mezi oblačností a příkonem sluneční energie? Cituji: „***Proč zde nejsou udělány korelace mezi příkonem slunečního záření a oblačností a vodou v ovzduší?“***

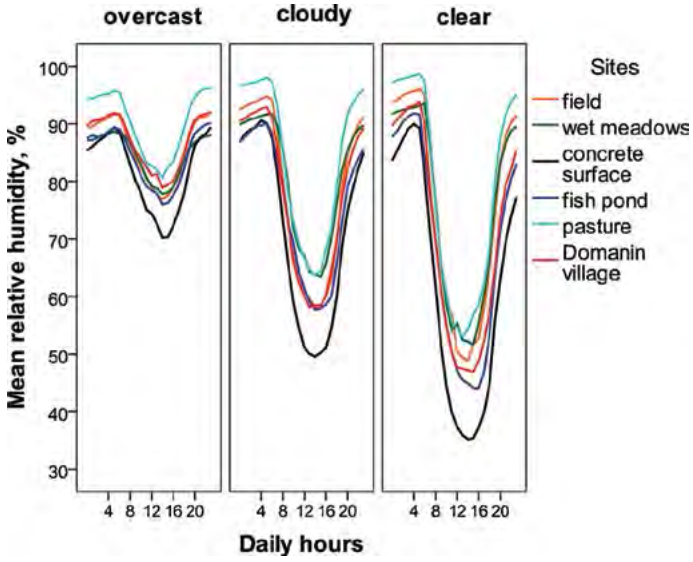
Pracujeme s kauzálním vztahem závislosti příkonu sluneční energie na oblačnosti jako s evidentním faktem, o kterém se každý může na „své vlastní oči přesvědčit“ (Evidence z lat. *e-visu*, z viděného). Nepokládáme tento fakt za hypotézu. Na **obr. 1** jsou průměrné denní chody dopadající sluneční energie při jasné, oblačné a zatažené obloze měřené na pěti experimentálních lokalitách v průběhu vegetační sezóny [2].

Z empirie: tisíce majitelů fotovoltaických elektráren ví, že když bude zataženo, poklesne výkon několikanásobně. Obchodníci s elektřinou sledují předpovědi počasí a vědí, že když bude v létě jasno, fotovoltaické elektrárny budou produkovat a klesnou ceny elektřiny na burze. Distribuční síť bude přetížena.

Na **obr. 2** jsou relativní vlhkosti vzduchu ve výšce 30 cm při jasné, oblačné a zatažené obloze [3]. Relativní vlhkost vzduchu klesá s příkonem sluneční energie, protože se zvyšuje teplota vzduchu. Nedokážeme měřit přímo obsah vody ve vertikálním profilu atmosféry. Při oblačnosti je vyšší než při jasné obloze.

Korelaci mezi příkonem sluneční energie a vlhkostí vzduchu v atmosféře prokazuje intenzita toku dlouhovlnného záření od povrchu země do atmosféry. Na **obr. 3** jsou denní chody dopadajícího a odraženého slunečního záření a tok dlouhovlnného záření do oblohy v letním slunovratu 2017 (jasno)





Obr. 1 (nahoře). Průměry denních chodů dopadající sluneční energie za jasné, oblačné a zatažené oblohy měřené na pěti lokalitách v průběhu vegetační sezóny [2]
Obr. 2 (vpravo). Průměry denních chodů relativní vlhkosti vzduchu měřené na 6 lokalitách za jasné, oblačně a zatažené oblohy v průběhu vegetační sezóny [3]

Obr. 3. Sluneční energie dopadající (R_S↓), a odražená (Rs↑) dlouhovlnné záření/teplo mezi čidlem a oblohou (Rl↓), dlouhovlnné mezi čidlem a trávou (Rl↑), RsTeor↓ teoretický průběh dopadající R_S↓ (W.m^{-2}) letní slunovrat 19. 6. 2017 jasno, (a) 21. 6. 2020 zataženo (b), 12. 3. 2022 nízká vlhkost vzduchu (c) [4]

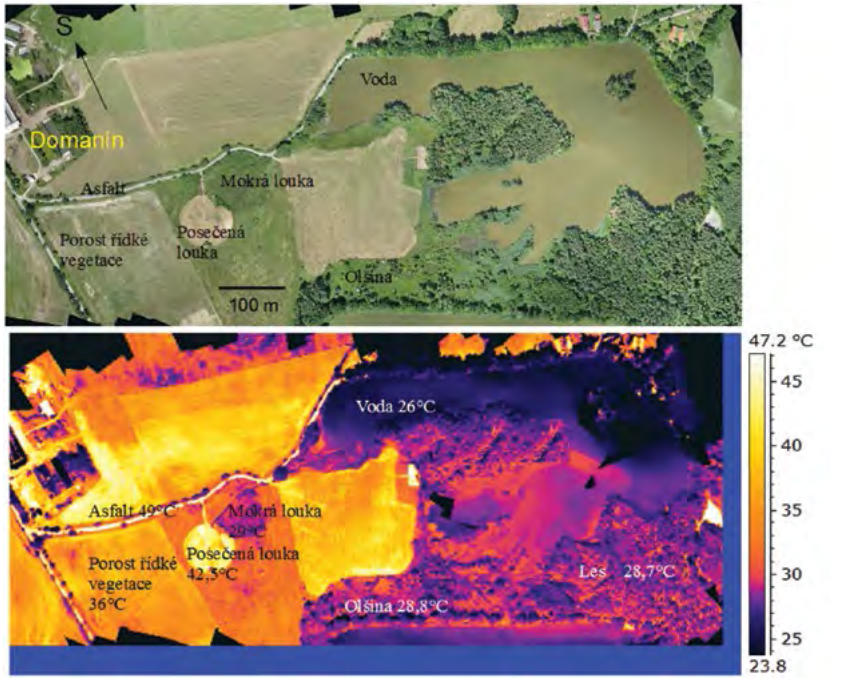
a 2020 (zataženo), podrobněji viz [4]. Na konci zimy bývá obsah vody v atmosféře nízký, v takových dnech je tok tepla do atmosféry velmi vysoký. O dlouhodobém úbytku vody v atmosféře svědčí narůstající průměrný tok tepla (dlouhovlnného záření) do atmosféry 7,4 W.m^{-2} za dekádu. Čtenář se může přesvědčit na obrázku 5 v diskutovaném článku [5]. Naměřili jsme tedy klesající skleníkový efekt, tedy opak, než předpokládají modely.

Diskuse 1, úbytek vody v ovzduší, profesor Kvítek píše: ***„Při zvyšující se teplotě vzduchu stoupá evapotranspirace i evaporace“***. Odpověď: toto tvrzení má oporu v globálních klimatických modelech vycházejících z předpokladu, že se teplota vzduchu zvyšuje následkem zesíleného skleníkového efektu, působeného zvýšenou koncentrací CO_2. Je tomu skutečně tak?

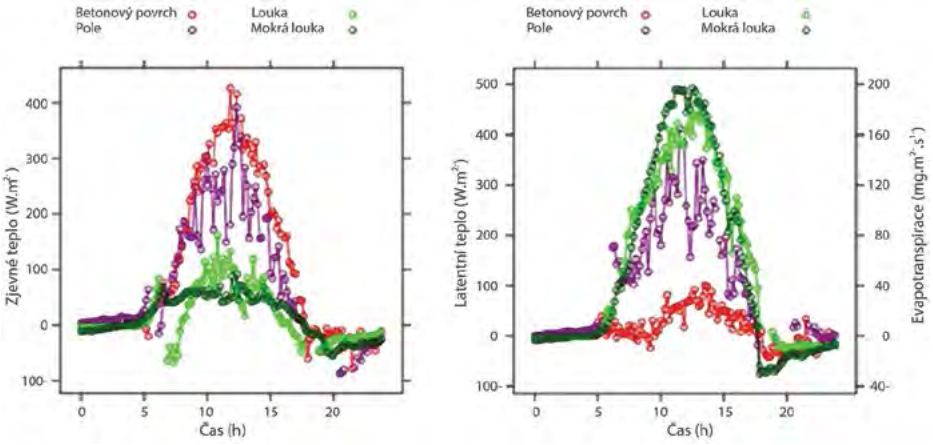
Na **obr. 4** je snímek krajiny kolem obce Domaníín, pořízený v letním slunném odpoledni termovizní kamerou nesenou vzducholodí. Na 1 m^2 dopadalo až 900 W sluneční energie. Voda, les, olšina odrážejí nejméně sluneční energie, a přesto mají nejnižší povrchové teploty. Chladí se výparem vody. Nejvyšší teplotu má silnice, sporá vegetace a posečená louka, nechladí se výparem vody. Posečená louka je nejsvětlejší, odráží nejvíce sluneční energie, přesto má povrchovou teplotu vysokou. Povrchovou teplotu za slunného dne určuje výpar vody (evapotranspirace). Povrchová teplota a teplota vzduchu rostou, protože klesá evapotranspirace. Zvyšuje se potenciální evapotranspirace, narůstá rozdíl mezi potenciální a aktuální evapotranspirací. Ohřátý vzduch o nízké relativní vlhkosti vzduchu potom zesiluje výpar z vodních ploch, okrajů lesa, mokřadů.

Na **obr. 5** je denní chod zjevného tepla (sensible heat) a evapotranspirace (latent heat flux) na mokré louce, travním porostu, poli s rostoucím ječmenem a betonové ploše. Toky jsou vyjádřeny ve W.m^{-2}, evapotranspirace je vyjádřena též v mg.m^{-2}.s^{-1}.

Střední hodnota evapotranspirace je 240 W.m^{-2}, což odpovídá rychlosti výparu vody 100 mg.m^{-2}.s^{-1}. Počítejme s touto střední hodnotou, která je ověřitelná pomocí lyzimetru, měřením transpiračního proudu v kmeni stromu (sap flow), eddy covariance, Bowenovým poměrem i měřením transpirace listů. Pokud evapotranspirace poklesne, zvyšuje se úměrně tok zjevného tepla, povrch se ohřívá a od ohřátého povrchu se ohřívá vzduch.



Obr. 4. Povrchové teploty v kulturní krajině v okolí obce Domanín v letním slunném odpoledni snímané termovizní kamerou nesenou vzducholodí [6, 7]



Obr. 5. Denní chody zjevného tepla a evapotranspirace na Mokrých lukách s vysokou hladinou podzemní vody navazující na litorál rybníka Rožmberk, travním porostu, orné půdě s rostoucím ječmenem a na betonové ploše [2]

Jaké jsou důkazy, že voda v ovzduší dlouhodobě chybí? Napsali jsme, že voda v ovzduší dlouhodobě chybí? Tážeme se, zda lze markantní nárůst příkonu sluneční energie v posledních desetiletích vysvětlit jinak než úbytkem oblačnosti a vody v ovzduší. Důkazy: změřený zvyšující se příkon sluneční energie v ČR a jinde v Evropě je vysvětlován v literatuře úbytkem oblačnosti [8, 9]. Kauzalita mezi slunečním svitem

a oblačností je vysvětlena výše. Oblaka obsahují vodu. Dalším důkazem je nárůst toku dlouhovlnného záření do atmosféry měřený netradiometrem. Skleníkový efekt se v našem regionu snižuje. Lze to vysvětlit jinak než úbytkem oblačnosti a snížením vlhkosti vzduchu? Viz též citace výše o snižování relativní vlhkosti vzduchu.

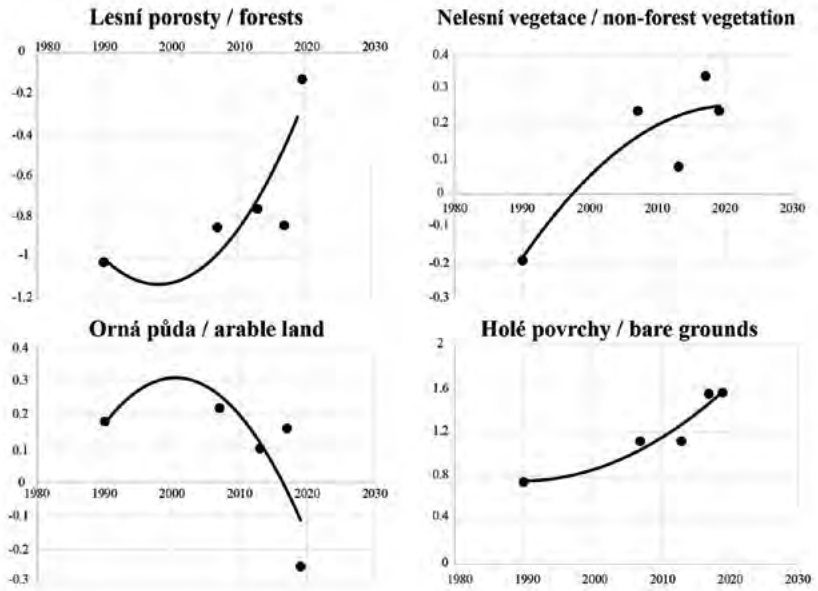
Z globálního pohledu: satelity zaznamenávají pokles globálního albeda, což se vysvětluje úbytkem oblačnosti. Review vědecké literatury na téma brightenning (rozjasňování) a dimming (stmívání) vypracoval [8] a se spoluautory poukázal na významnou úlohu aerosolů, když vyhodnotili časové změny globálního záření při jasné obloze [9]. Úlohu stromů, lesa a vegetace obecně v oběhu vody, mlh, oblačnosti a příkonu sluneční energie jsme s odvoláním na bohatou literaturu a vlastní výsledky vyhodnotili článku, který je přijat do tisku [10]. Objevují se též práce, poukazující na skutečnost, že se klimatická změna neprojevuje očekávaným vzestupem vlhkosti nad suchými oblastmi [11].

Otázka profesora Kvítka: Kam se ztratila voda a kam se ztrácí? Snad ještě platí zákon zachování hmoty a energie.

Plochy s nedostatkem vody se sluncem přehřívají. Od přehřátého povrchu se ohřívá vzduch, který rychle stoupá vzhůru a nasává se vzduch s vodní parou z okolí. Pokles evapotranspirace o hodnotu 240 W.m^{-2}, představuje uvolnění zjevného tepla a ohřev vzduchu 240 MW na 100 ha (1 km^2). Například: v katastru Průhonice, Čestlice, Křeslice bylo za posledních 30 let přeměněno na nepropustné plochy 430 ha zemědělské půdy. Za slunného počasí se tam uvolňuje teplo 1 GW, tedy množství energie, které vyrábí jeden blok Temelína. Proces EIA tento posun od latentního tepla ke zjevnému teplu nezohledňuje, a tak rostou kolem měst plochy skladů, parkovišť, supermarketů, které se sluncem přehřívají. Z takových ploch stoupá ohřátý vzduch rychlostí několika metrů za sekundu, má nízkou relativní vlhkost, ale obsahuje vodní páru (40 °C, 20 % vlhkost, 10 gramů vody v m^3), nasává se vzduch z okolí a touto termikou jsou odnášeny až desítky kg vody z m^2 za den. V sousedství přehřátých ploch měříme vysoký výpar z louky, z vrb a rybník ztrácí i 1 cm vody za den. Ohřátý vzduch o nízké relativní vlhkosti dosáhne rosného bodu příliš vysoko na to, aby se voda vrátila zpět ve formě odpoledního deště. Tak vysycháme. Z našich prací: v češtině popsáno jednoduše [12], stručně v kapitole pro Encyclopedia of Ecology [13] a v nadregionálních souvislostech včetně fyziky atmosféry [14]. Přehřátá krajina se stává donorem vody pro oceán, namísto aby byla akceptorem vody z oceánu (inverzní biotická pumpa). Voda z pevniny odchází vzdušnými proudy do oceánů a srážkově odtoková bilance tuto ztrátu neregistruje.

Diskuse 2: Tomáš Kvítek uvádí tabulku 1 časového vývoje využití ploch (land use) a ukazuje, že ***zastavěné plochy se zvětšily o 0,634 % výměry ČR. Poměr nepropustných ploch k plochám propustným je 1:158. Nechce se mi věřit, že tento poměr má za následek výrazný pokles výparu a evapotranspirace v posledních letech.***

Odpověď: Předmětná tabulka 1 „**Vývoj rozlohy sledovaných kategorií využití ploch (land use)**“ vychází z katastrálních údajů.



Obr. 6. Změny zjevného tepla (termika, turbulentní proudění) v letech 1990, 2006, 2012, 2019. Nápadný je nárůst zjevného tepla u lesních porostů v roce 2019. Hodnoty evapotranspirace, resp. zjevného tepla orné půdy závisí na plodině. Z toho je patrná zásadní úloha zemědělců v usměrňování toků sluneční energie (lokálního klimatu), oběhu vody i kvality množství odtékající vody

Z funkčního hlediska vypovídá více krajinný pokryv (land cover), který se hodnotí ze satelitních dat v systému Corine. Příklad: Tabulka 1 uvádí nárůst lesních ploch. V Národním parku Šumava následkem kůrovcové kalamity uhynuly horské smrčiny v 8. vegetačním pásmu. Podle Corine se změnil krajinný pokryv (land cover) na křoviny. V kategorii využití ploch (land use) tato oblast zůstává lesem. Evapotranspirace klesla a povrchové teploty se zvýšily [15]. V kategorii lesní plocha zůstaly i 2 000 ha shořelého lesa v Českém Švýcarsku a vysoké desítky tisíc ha lesů zničených kůrovcem. Tyto plochy se přehřívají, protože se snížila evapotranspirace. V kategorii zemědělských půd zůstávají plochy dočasně (na 30 roků) vyjmuté pro fotovoltaické elektrárny. Je v tabulce 1. zaznamenán úbytek drobných mokřadů na zemědělské půdě? Zohledňují tabulky 1–3 změny kvality zemědělské půdy, jak shrnuje [22], citace ze str 12: *„Přibližně 49 % zemědělských půd se týká problém utužení… zhoršují se však i její infiltrační a retenční schopnosti. To má negativní vliv zejména při extrémních stavech vody v krajině (povodně, sucho)…V ČR denně ubývá v průměru téměř 11 ha zemědělské půdy …zastavovány jsou přitom často nejkvalitnější půdy“?*

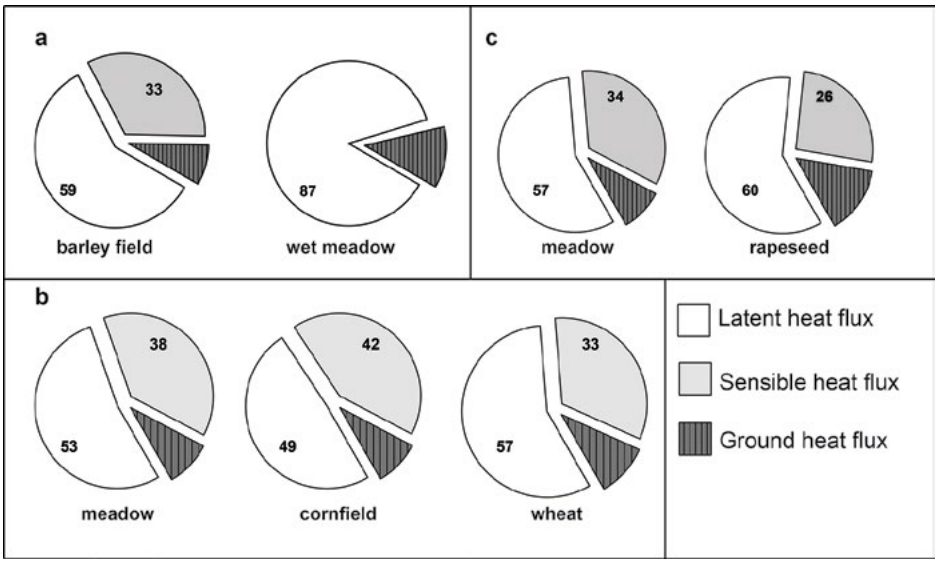
Vyhodnotili jsme změny klimatizační funkce lesních porostů jako následek jejich plošného odumření po gradaci lýkožrouta smrkového (**obr. 6**) [16]. Dle údajů Lesní ochranné služby bylo v oblasti okresů Jindřichův Hradec a Dačice v letech 2017–2019 odhadem vytěženo na 2 miliony m^3 kůrovcového dřeva, což při průměrné zásobě 350 m^3/ha představuje plochu 6 000 ha. Využití ploch (land use) se nezměnilo. Uhynul vzrostlý les, suchý strom neroste ani nevypařuje vodu, snížila se evapotranspirace, zvýšila se teplota na 6 000 ha. Ohřev (produkce zjevného tepla) se zvýšil o více než 10 GW. Představme si, kdyby někdo přišel s žádostí, že potřebuje chladit v létě za slunného počasí tepelný výkon 10 GW (10 bloků jaderné elektrárny Temelín) ve vašem okolí. Stalo se, a v zmiňované tabulce 1 se využití ploch (land use) nemění.

Plodiny při růstu spotřebují 1 % dopadající energie na fotosyntézu a desítky % na výpar vody. Na **obr. 7** je sezonní bilance evapotranspirace, zjevného tepla a toku tepla do půdy měřená na různých plodinách na Třeboňsku v průběhu jejich růstu. Okolo 50 % z čisté radiace se spotřebuje na výpar vody, tedy na chlazení a vyrovnávání rozdílů teplot (gradientů). Po sklizni, pokud není meziplodina se poměr zjevného tepla a evapotranspirace obrátí. Porost má povrchovou teplotu pod 30 °C a sklizené pole bez meziplodiny nad 40 °C. Namísto metanu ve střevních plynech krav bychom se měli věnovat pozitivnímu efektu rostoucích plodin a pícnin a podporovat účelné meziplodiny.

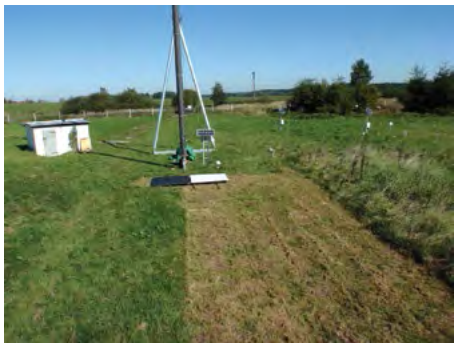
Profesor Tomáš Kvítek dále uvádí ve svém příspěvku tabulku 2 **vlhkosti půdy ve vegetačním období.** Dovoluji si připomenout, že o výparu, a tedy i povrchové teplotě, rozhoduje vegetace. Podrobnou studii povrchových teplot a radiační bilance travního porostu různé výšky provedli [18]. Denní průběh povrchových teplot krátkého a středně vysokého trávníku byl podobný jako povrchové teploty bílého plechu. Vysoký trávník měl maximální povrchovou teplotu o 15 °C nižší, podobnou jako teplota vzduchu.

Závěr

Cílem našeho článku bylo upozornit na vzrůst globální sluneční radiace, tedy energie vysoké kvality. Vycházíme z dat ČHMÚ, dat vlastních a literárních údajů. Hodnoty jsou řádově vyšší nežli vypočtené hodnoty nárůstu skleníkového efektu, který ovlivňuje tok dlouhovlnného záření do atmosféry. Protože jde o závažný jev, naznačili jsme možné příčiny i s odvoláním na vědeckou literaturu: menší oblačnost, zlepšenou kvalitu vzduchu. Diskutujeme úlohu vegetace při distribuci sluneční energie a posun od latentního tepla výparu k produkci zjevného tepla jako následek poklesu výparu



Obr. 7. Poměr latentního tepla výparu (evapotranspirace), zjevného tepla a toku tepla do půdy v době růstu ječmene, řepy, kukuřice, pšenice ve srovnání s loukou/pastvinou a mokrou loukou s vysokou hladinou podzemní vody, která převádí sluneční energii do vodní páry. Díky advekci suchého vzduchu lze naměřit i vyšší výpar, než odpovídá příkonu sluneční energie [17]



Obr. 8. Celkový pohled na experimentální plochu

z ploch, kde je nedostatek vody a kde vegetace zásobená vodou chybí.

Děkuji profesoru Tomáši Kvítkovi za kritiku a dotazy, snažil jsem se ve spolupráci se spoluautory věcně odpovědět. Pokud zůstávají ještě nějaká tvrzení v našem článku „*nepodložená, neodborná, skutečnosti nepřesné*“, prosím o jejich upřesnění.

Děkuji spoluautorům za spolupráci i dalším, s kterými jsem odpověď konzultoval. Případné nepřesnosti a chyby na moji hlavu.

Literatura

[1] Štěpánek, P. a kol. (2019). Očekávané klimatické podmínky v České republice část I. Změna základních parametrů. Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i., 77. ISBN 978-8-87902-28-8.

[2] Pokorný, J.; Brom, J.; Čermák, P.; Hesslerová, J.; Huryna, H.; Nadezhdina, N.; Rejšková, A. (2010). Solar energy dissipation and temperature controlby water and plants, Int. J. Water, Vol 5, No 4, 311–336.

[3] Huryna, H.; Pokorný, J. (2010). Comparison of reflected solar radiation, air temperature and relative humidity in different ecosystems (from fish pond and wet meadows to concrete surface), In:Vymazal J.(ed.) Water and Nutriet Management in Natural and Constructed Wetlands, Springer – Science Business Media pp. 308–326.

[4] Jirka V.; Hesslerová, P.; Huryna, H.; Pokorný, J. (2021). Energetická výměna mezi zemským povrchem a atmosférou v závislosti na meteorologických podmínkách bez ohledu na obsah CO2. Vytápění, větrání, instalace. 5/ 2021, str. 234–239.

[5] Pokorný, J.; Procházka, J.; Jirka, V.; Huryna, A.; Hesslerová, P. (2023). Lze nárůst příkonu sluneční energie a teplot vysvětlit jinak než úbytkem oblačnosti a vody v ovzduší? Vodní hospodářství 12/2023, str 2–7.

[6] Hesslerová, P.; Pokorný, J.; Brom, J.; Rejšková, A.; Procházková, A. (2013). Daily dynamics of radiation surface temperature of different land cover types in a temperate cultural landscape: Consequences for the local climate. *Ecological Engineering*, *54*, 145–154.

[7] Ellison, D.; Morris, C. E.; Locatelli, B.; Sheil, D.; Cohen, J.; Murdiyarso, D.; Gutierrez, V.; Noordwijk, M. van, Creed, I. F.; Pokorny, J.; Gaveau, D.; Spracklen, D. V.; Tobella, A. B.; Ilstedt, U.; Teuling, A. J.; Gebrehiwot, S. G.; Sands, D. C.; Muys, B.; Verbist, B.; … Sullivan, C. A. (2017). Trees, forests and water: Cool insights for a hot world. *Global Environmental Change*, *43*, 51–61. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.01.002

[8] Wild, M. (2009). Global dimming and brightening: a review. Journal of geophysical research, 114, D00D16, doi:10.1029/2008JD011470, 2009.

[9] Wild, M.; Wacker, S.; Yang, S.; Sanchez-Lorenzo, A. (2021). Evidence for clear-sky dimming and brightening in central Europe. *Geophysical Research Letters*, *48*, e2020GL092216. https://doi. org/10.1029/2020GL092216

[10] Ellison, D.; Pokorný, J.; Wild, M. (2024 in press) Even Cooler Insights: On the Power of Forests to (Water the Earth and) Cool the Planet *Global Change Biology.*

[11] Hosansky, D. (2024). Climate change isn't producing expected increase in atmospheric moisture over dry regions. PhysOrg 2024-01-climate-isnt-atmospheric--moisture-dry.pdf

[12] Pokorný, J.; Hesslerová, P. (2019). Jak vysycháme – aneb, opravdu „kazí rybníky hydrologickou bilanci“? Sborník referátů 5.Ročníku Odborné konference konané v Českých Budějovicích 14. a 15. února 2019, Rybářské sdružení ČR, FROV Jihočeská univerzita v Č. Budějovicích Časopis Rybníkářství | Jak vysycháme – aneb, opravdu „kazí rybníky hydrologickou bilanci“? (rybnikarstvi.news) str. 37–43.

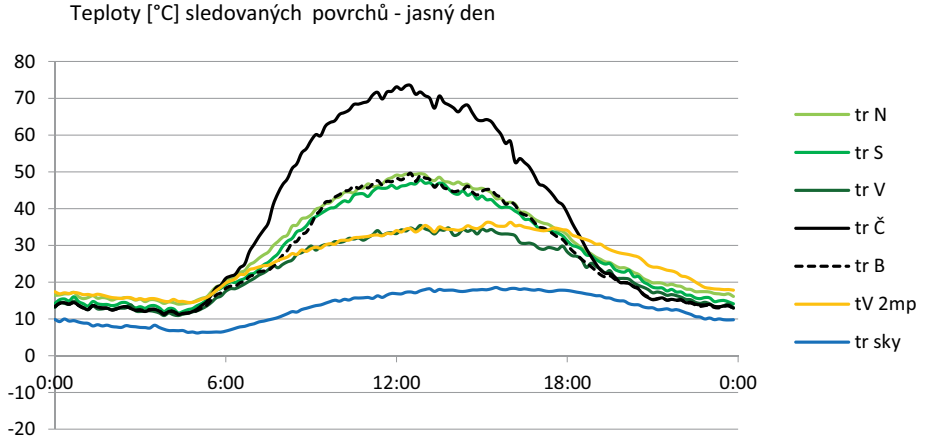
[13] Pokorny, J. (2019) Evapotranspiration. In: Fath, B.D. (ed.) Encyclopedia of Ecology, 2nd edition, vol. 2, pp. 292–303. Oxford: Elsevier.© 2019 Elsevier B.V. All rights reserved.

[14] Makarieva, A. M.; Nobre, A.; Nefiodov, A. V. Sheil, D.; Nobre, P.; Pokorny, J.; Hesslerova, P. Li B.-L. (2022). Vegetation Impact on Atmospheric Moisture Transport in a Climate with Increasing Land-Ocean Temperature Contrasts. Heliyon , Volume 8, Issue 10, October 2022, e11173 https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11173

[15] Hesslerová, P.; Huryna, H.; Pokorný, J. and Procházka, J. (2018). The effect of forest disturbance on landscape temperature. Ecological Engineering 120, 345-354.

[16] Hesslerová, P.; Huryna, H.; Pokorný, J.; Vyskot, I.; Kozumplíková, A. (2022). Změny klimatizační funkce lesních porostů jako následek jejich plošného odumření po gradaci lýkožrouta smrkového. Zprávy lesnického výzkumu 67(1), s. 311 - 320. https://www.vulhm.cz/zlv_online_detail/zmeny-klimatizacni-funkce-lesnich-porostu-jako-nasledek--jejich-plosneho-odumreni-po-gradaci-lykozrouta--smrkoveho/

[17] Huryna H., Hesslerová P., Pokorný J., Jirka V.,



Obr. 9. Průběhy teplot (°C) povrchů (porostů a plechů) za jasného dne: tr N – povrchová teplota nízkého travního porostu; tr S – povrchová teplota středně vysokého travního porostu; tr V – povrchová teplota vysokého travního porostu; tr Č – povrchová teplota černého plechu; tr B – povrchová teplota bílého plechu; tV 2mp – průměrná teplota vzduchu nad sledovanými plochami; trsky – ekvivalentní teplota oblohy

Lhotský R. (2014). Distribution of solar energy in agriculture landscape – comparison between wet meadow and crops. In Vymazal J (ed.): The role of natural and constructed wetlands in nutrient cycling and retention on the landscape. Springer, The Netherlands, 103–122.
[18] Jirka, V.; Šourek, B.; Pokorný, J.; Zicha, J. (2023). Vliv výšky travního porostu na teplotu povrchu a tepelná bilance na rozhraní země a atmosféry Vytápění, větrání, instalace 1/2023, str. 36–43.
[19] https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-70328-8_12.
[20] https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-022-04127-z.
[21] https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-020-03388-w.
[22] Situační a výhledová zpráva: Půda 2021 | eAGRI

Za kolektiv autorů
doc. RNDr. Jan Pokorný, CSc.
pokorny@enki.cz

ODBORNÉ AKCE

VIII. ročník semináře k zprůchodnění migračních překážek ve vodních tocích

Milan Hladík

Dne 25. října 2023 se v přednáškovém sále Povodí Vltavy, státní podnik, uskutečnil tradiční seminář zaměřený na problematiku migrací ryb ve vodních tocích a budování rybích přechodů. Tradice těchto seminářů byla založena v roce 2009 v souvislosti s realizací pilotních projektů kartáčových rybích přechodů na řece Sázavě; nejprve se setkání konala každoročně, později byl nastaven dvouletý cyklus, který narušila pouze epidemie covid-19. Místo konání bylo od třetího ročníku přesunuto na půdu Povodí Vltavy, státní podnik. Postupně se také upevnil organizační tým, který organizační stránku zajišťuje. Jedná se o VRV a.s. ve spolupráci s Povodím Vltavy, státní podnik; odborně pak seminář zaštiťují AOPK ČR a VÚV TGM, v. v. i. Účastníci seminářů si doposud vyslechli více než stovku odborných prezentací včetně přednášek od zajímavých zahraničních hostů.

Již osmý ročník semináře zahájil Ing. Tomáš Kendík, ředitel sekce správy povodí státního podniku Povodí Vltavy, který účastníky semináře přivítal a vyjádřil trvalý zájem státního podniku zabývat se problematikou zprůchodnění vodních toků. Pak předal slovo Ing. Martinovi Tesařovi, náměstkovi ministra životního prostředí. Ten zdůraznil zejména potřebu řešit migrační průchodnost vodních toků vyplývající ze závazku České republiky dosáhnout dobrý ekologický stav vod a také za závazků vyplývajících z implementace právě projednávané směrnice „Nature Restoration Law". Informoval o zajištění finančních prostředků pro projekty týkající se migračního zprůchodnění vodních toků jak v Operačním programu životní prostředí, tak v právě nastupujících Švýcarských fondech. Také se zmínil o prioritním projektu, na kterém složky MŽP spolu s dalšími institucemi pracují, tím je migrační zprůchodnění jezu na profilu Labe Střekov.

Na úvodní slovo pana náměstka navázal **Mgr. Marek (AOPK ČR),** který vedle detailnějších informací *o Švýcarských fondech* (doba trvání 2024–2028, celková alokace dvě mld. Kč, přibližně polovina alokace půjde na prioritní oblasti podpory „Udržitelný turismus" a „Posílení biodiverzity") nastínil další formu podpory výstavby rybích přechodů a podobných projektů v programu IROP (Integrovaný regionální operační program), kde je možné získat podporu na opatření v rámci intravilánu měst a obcí, souhrnně nazývaných „zelená" nebo „modrozelená infrastruktura".

Dále navazovala přednáška **Dr. Musila (VÚV TGM)** zaměřená na současné *aktuální metodické přístupy k řešení migrační průchodnosti vodních toků v ČR* a některé výsledky z proběhlých studií a výzkumů v rámci Výzkumného centra Voda. Jedním z nejzávažnějších problémů při podpoře populace úhoře říčního je vysoká mortalita při poproudové migraci dospělých jedinců, která dosahuje téměř 90 %, a je nutno se na tuto problematiku zaměřit. VÚV se také podílel na obnově tůně Doubka na Labi, kdy bylo nejprve prokázáno, že masivní úhyn ryb ve dnech 26.–28. 8. 2020 byl způsoben kyslíkovým deficitem. Následně byl realizován projekt napojení ramene na tok Labe, migrace ryb byla sledována technologií RFID a byla prokázána migrace více než deset druhů ryb mezi řekou a ramenem. Dále byla prezentována nová metoda sledování pohybu ryb v okolí migračních překážek pomocí „HTI Coded transmitters", což jsou miniaturní vysílačky umístěné do těla ryb, které vysílají vysokofrekvenční zvukové signály a pomocí sítě antén jsou ve vodním prostředí detekovatelné až na vzdálenost 1 km s přesností 20 cm. Je tedy možné ve 3D prostoru zobrazit pohyb ryb v okolí migračních překážek a tak mnohem lépe pochopit jejich funkčnost i případně odhalit a napravit technické nedostatky. Metodika byla úspěšně testována na Labi v roce 2023 a očekává se její ostré nasazení v roce 2024.

Dr. Horký (ČZÚ) představil *výsledky detailního monitoringu migrace ryb přes nově postavené rybí přechody na řece Berounce na jezu v Řevnicích*. Jedná se o dvojici rybích přechodů, u MVE na levém břehu byl postaven štěrbinový rybí přechod a na pravém břehu byl postaven rybí přechod typu balvanitá rampa. Sjíždění vodáků umožňuje vodácká rampa, která zároveň posiluje naváděcí proud pro rybí přechod. Zprůchodnění jezu v Řevnicích pro migrace ryb lze obecně považovat jako velice zdařilé a funkční, naplňující veškeré předpoklady pro snížení negativních dopadů fragmentace říční sítě. Účinnost RP je 73–82 %, velikost ryb procházejících RP byla 10–124 cm, RP nejsou druhově ani velikostně selektivní. Zvolené řešení, kdy byly vybudovány dva rybí přechody na jednom jezu, bezesporu přispělo k celkové účinnosti migračního zprůchodnění a lze ho doporučit při zprůchodňování dalších příčných překážek v ČR na větších vodních tocích.

Společný blok přednášek kolegů ze Slovenska zahájil **Dr. Abaffy a Dr. Kubala,** kteří informovali o aktualizaci metodického pokynu *„Metodika spriechodňovania priečnych bariér na vodných tokoch pre ichtyofaunu"*. Metodika se strukturou podobá metodickým přístupům v ČR, mezi doporučované typy rybích přechodů patří především „celokorytové bystřinné skluzy", pak „vnitrokorytové bystřinné rampy" a „obtokové bystřinné biokoridory", které mají poměrně vysoký spád a z hlediska návrhových parametrů by v ČR nevyhověly standardizovaným metodikám, ale dle již proběhlého monitoringu na pstruhovém až parmovém pásmu na Slovensku fungují. Zajímavostí byla potřeba nového vymezení rybích pásem, jelikož vlivem oteplování klimatu dochází k posunu hranic jednotlivých pásem směrem proti proudu vodních toků. Podobné oficiální údaje z ČR nejsou známy, i když zkušenosti například z pořádání muškařských závodů podobnou situaci naznačují.

Ing. Rebenda se ve své přednášce věnoval metodice *měření hydraulických veličin v rybích přechodech,* které slouží k ověření funkčnosti rybích přechodů a návrhů na jejich úpravy a také jako podklad pro kalibraci fyzikálních i matematických modelů.

Dr. Kubala a Dr. Abaffy přednesli přednášku věnující se návrhům *vybudování rybích přechodů na vodních dílech Čuňovo a Gabčíkovo* na Dunaji, které jsou řešeny v rámci projektu LIFE Living Rivers. Aby bylo zprůchodnění celého systému funkční, je třeba vybudovat celou řadu opatření jak na vlastních vodních dílech, tak i na jezech v původním korytě Dunaje. RP na VD Čunovo svými rozměry zdaleka předčí rybí přechody na řekách v ČR, v přednášce byly uvedeny detailní parametry. Uvádím několik příkladů. Cílovým druhem je vyza velká o délce těla 4 m, návrhový průtok v RP na VD Čuňovo je okolo 10 m^3/s. Jednou z variant zprůchodnění VD Gabčíkovo je vybudování biokoridoru do původního toku Dunaje v délce 3,2 km a návrhovém průtoku 25 m^3/s.

Také **Ing. Supeková (SVP š. p.)** se věnovala především *polyfunkčním projektům obnovení laterální konektivity i podélné migrace ryb ve v nížinných říčních ramenech vodních toků na Slovensku*. Vedle informací o metodických přístupech v rámci SVP přednesla příklady realizací projektů, které řeší zprůtočnění neproudivých nebo vyschlých říčních ramen. Ty v některých případech současně slouží jako obtokové biokoridory bez příčných přepážek, zprůchodňující přehrady na Malém Dunaji v rámci SVP.

Dr. Drozd z FROV JU také spolupracuje na projektu LIFE Living Rivers a přednesl přednášku *o cílech ochrany jeseterů v povodí Dunaje* a jak jsou cíle u ochrany naplněny v rámci

Foto 1. Nový rybí přechod na Bečvě v Hranicích, celkový pohled

Foto 2. Nový rybí přechod na Bečvě v Hranicích, detail napojení technické a více přírodní části RP

projektu, kdy jsou získávána data o populaci jednotlivých druhů jeseterů, vysazují se jednotlivá vývojová stadia ryb a zároveň se připravují opatření na jejich podporu, například výše uvedené rybí přechody.

Dr. Druga (SVP š. p.) se ve své přednášce věnoval *jednotlivým typům RP budovaným na Slovensku* a uvedl velmi zajímavé příklady a zkušenosti z realizací RP v rámci SVP, zejména celokorytových skluzů, a to bez použití příčných kamenných nebo betonových přepážek.

Ing. Bielik (SVP š. p.) přednesl příklady *metodik monitoringu funkčnosti RP a ichtyologického průzkumu* na Slovensku. Jako zajímavý příklad byl prezentován ichtyologický průzkum před a po realizaci revitalizace na Brezovském potoce.

Dr. Križek (ŠOP SR) se také v přednášce věnoval *vyhodnocení úspěšnosti revitalizace toku z hlediska ichtyocenózy*, konkrétně řeky Rudavy jako nížinného přítoku řeky Moravy, tekoucí nedaleko hranic ČR. Došlo ke změnám ve struktuře rybího společenstva a celkově byl prokázán pozitivní efekt revitalizace.

Následovala sekce věnovaná zkušenostem s výstavbou rybích přechodů v rámci podniků Povodí v ČR. **Ing. Brejšová (Povodí Ohře, s. p.)** informovala *o potížích při přípravách několika rybích přechodů* různých typů na řekách Rolava, Ohře, Teplá, Dolíška, Ploučnice a Kamenice, například při jednání s vlastníkem pozemku pro dočasný zábor. Dá se očekávat realizace většího počtu akcí v létech 2024 a 2025.

Ing. Veselý (Povodí Moravy, s. p.) informoval *o zkušenostech s nově realizovanými rybími přechody*. Na řece Bečvě na jezu v Hranicích se na jedné straně ukázalo technicky komplikované napojení technického a přírodě blízkého úseku rybího přechodu, které bylo nutné během zkušebního provozu následně upravovat, ale odměnou za vynaloženou práci bylo prokázání výborné funkčnosti rybího přechodu a přítomnost tisíců kusů plůdku v rybím přechodu ihned po jeho zprovoznění. Zajímavým technickým řešením je vybudování migračně prostupného bypassu kolem vodní nádrže na horním toku Svratky, který zároveň vytvořil velice hodnotný biotop.

Ing. Přikrylová (Povodí Odry, s. p.) informovala o *postupu přípravy RP na vymezených prioritních koridorech*, zmínila se zejména o těžkostech při údržbě rybích přechodů a také jejich obnově po proběhlých povodních.

Dr. Vávra (Povodí Labe, s. p.) se ve své přednášce věnoval nejprve *zprůchodnění jezu Lobkovice* na Labi, kde byl vybudován historický rybí přechod, který je kvůli nevhodné konstrukci nefunkční a připravuje se výstavba nového rybího přechodu. Dále referoval *o přípravě dalších dvou rybích přechodů na řece Orlici a Cidlině*. Na závěr se věnoval obnově laterální migrace do *slepých ramen na řece Labi*, která je zejména v dolních úsecích řek stejně důležitá jako migrace podélná. Uvedl technické detaily k projektu na obnově tůně Doubka na Labi, o kterém již hovořil Dr. Musil, a dále prezentoval několik dalších obdobných projektů na obnovení říčních ramen.

Ing. Král (Povodí Vltavy, s. p.) informoval *o modelovém výzkumu prefabrikovaného technického rybího* přechodu zpracovaného ve spolupráci s ČVÚT a iniciovaného zejména z důvodu komplikovaného zajištění vhodných přírodních kamenů do rybích přechodů typu balvanitá rampa. Ukázalo se, že z hlediska hydraulického je možné takový rybí přechod realizovat, rozdíl hladin mezi jednotlivými bazény musí být do 10 cm, dále se doporučuje vložit dovnitř bazénů nad štěrbiny ještě další blok k tlumení rychlosti vody a dále se nedoporučuje vyrábět zaoblené prefabrikáty, které tím, že jsou lépe hydraulicky obtékány, méně tlumí energii vody, a tím se zrychluje rychlost vody na štěrbinách.

Závěrečnou přednášku přednesl **Ing. Držala (Povodí Vltavy, s. p.)**, který informoval

Foto 3. Nový rybí přechod na Bečvě v Hranicích, plůdek několika reofilních druhů ryb zachycený při kontrolním odlovu v rybím přechodu

o přípravě rybích přechodů na řece Berounce od soutoku s Vltavou po jez Roztoky, která je mezinárodním prioritním koridorem. Část rybích přechodů již byla realizována a na dalších jezech probíhá projekční příprava v různém stupni.

Za kolektiv, který seminář připravoval, bych nejprve chtěl poděkovat státnímu podniku Povodí Vltavy za poskytnutí vhodného prostoru pro konání semináře. Věříme, že se seminář všem účastníkům líbil, a že se realizace rybích přechodů opět posune o něco dál. Předpokládám, že bude prohloubena spolupráce se slovenskými kolegy a uvidíme za dva roky, zda se povede realizovat všechny očekávané stavby.

Všechny přednášky z posledních dvou ročníků semináře je možné stáhnout na adrese **https://konference.vrv.cz/seminar/**

RNDr. Milan Hladík, Ph.D.
Vodohospodářský rozvoj a výstavba a.s.
Nábřežní 90/4
150 00 Praha 5 – Smíchov
hladik@vrv.cz

Mohou obnovit Šumavu přírodní procesy?

Václav Alexandr Mazín

Motto: Francois René de Chateaubriand řekl, že „lesy předcházejí lidstvo, pouště je následují."

Úvod

Uplynulo třicet čtyři let celonárodní debaty na téma postupné devastace českých lesů, která v současnosti dosáhla katastrofálního stavu. Vlastníci lesa přirovnávají stav lesů k Armageddonu. Tak to vyhodnocují potomci těch, kteří staletí pečovali o les a předávali si z jedné generace na druhou zkušenosti, tedy lesní hospodáři. Od roku 1850 se v Čechách, tak jako v celé Evropě, rozvíjelo lesnické školství a lesní hospodářství jako samostatné odvětví. Od samého počátku bylo lesní hospodářství vnímáno jako multidisciplinární obor s vedlejšími, ale nenahraditelnými vodohospodářskými, klimatologickými a ekologickými efekty pro všechny obyvatele České republiky. Pravda je, že se jedná o obor se silnou profesní identitou s konzervativním postojem, což může někdy omezovat schopnost reagovat na změnu vnějších podmínek, jako je klimatická změna, ale na druhé straně, kdo jiný má předpoklady systémového přístupu k řešení krizových jevů, se kterými mají lesníci staleté zkušenosti.

Okolo roku 1991 se ve společnosti stále více prosazovaly názory levicově orientovaných politiků z disentu a s nimi spřízněných přírodovědců. Na území Národního parku Šumava se začala prosazovat bezzásahová lesní správa, umožňující samovolné přírodní procesy bez lidských zásahů. O samovolném vývoji tradiční lesnictví vědělo a byly známé podmínky, za jakých se tento přístup uplatňoval na lokalitách přírodě blízkých lesů. Ale novodobé ochranářské přístupy a občanské aktivity po roce 1991 souvisely se vznikem hnutí *Greenpeace* v USA v osmdesátých letech, které se rozšířilo do západní a pak i střední a východní Evropy. Toto hnutí má sice ušlechtilé cíle, ale je spíše ideologií odmítající konzervativní hodnoty západní civilizace a s tím i tradiční vědní obory reflektující současný vývoj a složité globalizační procesy dotýkající se krajiny a Země.

Je zřejmé, že vzhledem k velmi rychlým změnám v globalizovaném světě a sílící klimatické změně bude nutné změnit tradiční přístupy k lesnímu hospodaření, ale nikoli na základě ideologie nebo úzce oborového pohledu některých přírodovědců, ale na celostně pojatém multioborovém přístupu zahrnujícím všechny funkce lesa, jako jsou retence a akumulace vod, udržení jejich jakosti, vyrovnání kolísavých průtoků v tocích a zlepšení mikroklimatu s podporou malého koloběhu vody, který bez vzrostlého a zdravého lesa na Zemi nefunguje. Zároveň není možné vylučovat z tohoto společenského problému lidského činitele s jeho systémovou péčí a správou v rámci obce a regionu. V neposlední řadě je to věc sociologická a demografická, kdy lze bohužel zaznamenat pokles počtu občanů trvale bydlících na Šumavě.

Tento článek má snahu popsat na příkladu Šumavy jak nízká úroveň koncepce státní správy, nedostatečné znalosti zákonodárců a upozaďování stanovisek obcí a jejich obyvatel státem oproti aktivistům dovedly tento socioekoregion ke kolapsu za relativně krátké období 1991–2023. Krajina Šumavy jako veřejný statek se stala kolbištěm pro profesně omezené názory osob nerespektujících nic jiného, než jejich vlastní úzce pojatý pohled na představu národního parku bez lidí, ponechaného přírodním procesům nebo naopak nekontrolované těžbě.

Výchozí stav ekosystému Šumavy v roce 1991

Pro pochopení složité problematiky umírající Šumavy je zásadní pravdivě popsat výchozí stav jejích přírodě blízkých ekosystémů v roce 1991.

Ochrana přírody a krajiny na Šumavě není praktikována státem ani od roku 1991, kdy byl vyhlášen národní park, ani od vyhlášení chráněné krajinné oblasti v roce 1963, ale už od roku 1885 na *Boubínském lese*, 1911 na *Čertově a Černém jezeře* a 1933 na *Trojmezné hoře*. V roce 1938 bylo již 142 rezervací, které sloužily nejen pasivní ochraně přírody, ale i pozorování přírodě blízkých procesů a změn v měnících se podmínkách podnebí a způsobů hospodaření. Byly to rezervace jako enklávy v rozsáhlém pohoří, kde žili jeho obyvatelé v rovnovážném stavu s přírodou, která jim dávala obživu a kterou kultivovali tak, jako jejich předci. Pro tyto přiměřené vklady práce a energie do půdy a lesa je Šumava uživila a zároveň byla v 19. a 20. století dynamickým ekosystémem s relativně vysokou biodiverzitou (druhovou pestrostí). Pro tuto rozlohu, jedinečnost a cennost se začalo později Šumavě říkat *zelené plíce Evropy*.

K zásadnímu zlomu rovnovážného stavu člověka a přírody na Šumavě došlo v předválečném období po roce 1938, kdy byli vysídleni Češi a proběhla první geopolitická změna regionu. Poté následovala 2. světová válka s veškerými dopady na Sudety, ukvapený odsun Němců a studená válka s její „železnou oponou". Přesto se za socialismu na Šumavě hospodařilo jak v lesích, tak v bezlesí (zemědělském půdním fondu).

V roce 1963, když byla Šumava vyhlášena za chráněnou krajinnou oblast, tvořily úhrnné hodnoty výměr jednotlivých druhů ekosystémů 57,6 % lesní půdy, 27,4 % zemědělské půdy převážně luk a pastvin, 14 % lokalit v sukcesním stádiu (krátkodobá postagrární lada) a jen 0,6 % zbytku přírodě blízkých porostů lesních společenstev. Jestliže ekosystémy lesa byly relativně zdravé a stabilní, pak v bezlesí docházelo tehdy k postupující ztrátě biodiverzity, a to vzhledem k problematické mechanizační přístupnosti trvalých travních porostů, které byly využívané především jako louky. Tehdejší způsob hospodaření byl orientovaný na velkoplošnou výrobu a pastva se využívala jen minimálně. Uživateli lesního a zemědělského půdního fondu na území NP Šumava byly Západočeské státní lesy Plzeň, Vojenské lesy a statky a Jihočeské státní lesy České Budějovice. V této době byly na Šumavě evidovány na střediscích geodezie stovky a tisíce hektarů ladem ležících *dočasně neobdělávaných půd*.

Tak například na území bývalého *Vojenského úvozu Dobrá voda* leželo v roce 1993 dlouhodobě ladem až 40 % zemědělské půdy [7]. Ve srovnání s normálním, vyváženým stavem v roce 1930 před odsunem Němců byl v roce 1994 na Šumavě 10x nižší stav chovaného dobytka. Jediný problém s udržením biodiverzity ekosystému Šumavy byl s obhospodařováním luk a pastvin, které v méně přístupných lokalitách, jako je bývalý *Vojenský újezd Dobrá voda,* zarůstaly náletem invazního smrku a vlhkomilných dřevin. Tato sekundární sukcese (vývoj, přeměna směrem k lesu, a naopak zpět k loukám a polím) byla v historii Šumavy běžná, ale spíše v 17. a 18. století. Pro *Správu Národního parku* po roce 1991 se však bezlesí vzácných horských lučin s bohatou květenou stalo obětí náletů dřevin. V současnosti se obhospodařuje jako louky jen 6 % území parku (**obr. 1**).

V roce 1993 při restituci zemědělských nemovitostí a privatizaci došlo k převzetí lesů a zemědělské půdy *Správou NP a CHKO Šumava*. Lesy a bezlesí Šumavy byly státní správě předány relativně zdravé a nenarušené. *Hnutí Duha z. s.* se ale po roce 1991 trvale vyjadřovalo proti jakýmkoliv agrotechnickým zásahům a zemědělskému využívání bezlesí v NP Šumava. Podobně se stavělo k zákonem stanovené péči o lesy. Tento zúžený pohled a pomýlené chápání ekologických zákonitostí a ignorování vodohospodářské a klimatologické funkce geomorfologického regionu Šumavy se negativně projevuje až do současnosti. Opožděné snahy parku o likvidaci kůrovce, chaotickou těžbu napadených stromů a nahodilé vyřezávání náletu dřevin a umělé výsadby stromů nemají větší efekt.

Dá se říci, že před rokem 1989 byla Šumava vysídlenou, opuštěnou a zanedbanou, ale stále kulturní zemědělsko-lesní krajinou, tak jako před rokem 1945. Čtyřicet let socialismu bylo pro změnu ekosystémů na tak rozsáhlém území krátké. Ale lesy vysázené po vichřici v roce 1870 ze sazenic posbíraných z nížin po celém Rakousko-Uhersku už v této době nebyly v dobré kondici, podobně jako náletem zarůstající bezlesí. Stále zde přetrvávala převaha smrkové monokultury vysázené jako plantáž. Přírodě blízká společenstva smrku se vyskytovala jen jako dožívající torza. Porosty původních přirozených lesů byly podle tehdejších odborníků jen na sedmnácti izolovaných lokalitách. Pod vedením resortu kultury, kam tehdy spadala ochrana přírody, se uvažovalo o některých lokalitách jako o posledních genofondových porostech. Bohužel se tato myšlenka nenaplnila.

Výstižně a pravdivě popisuje výchozí stav Šumavy před založením NPŠ společenství *Otevřená data o klimatu, z. ú.*: *Většina zdejších lesů vznikla výsadbou a ve střední Evropě*

už žádný primární a člověkem neovlivněný les (tzn. prales) neexistuje. To, co u nás dnes zažíváme jako les, je výsledek zpětného zalesňování po roce 1900. Na území ČR lze stále nalézt přírodní nebo přírodě blízké lesy s vysokým stupněm přirozenosti. V Česku mají rozlohu pouze 920 ha a patří mezi ně třeba Žofínský prales, Boubínský prales, Mionší či Rýchorský prales. Nicméně i v nich se (byť v dávné minulosti) nějakým způsobem hospodařilo a používat pro tyto lesy označení „prales" je tedy nepřesné. K datům o lesnatosti je proto potřeba přistupovat s vědomím, že kromě přírodního a převážně listnatého lesa zahrnují i monokultury jehličnanů. Právě smrkové monokultury, které začaly být na počátku 20. století hromadně vysazovány, nelze považovat za přírodě blízký les – spíše jde o plantáž na dřevo, která nemá s přírodou mnoho společného [5].

Proto bylo po roce 1989 překvapivé, že při diskusi okolo vyhlášení *Národního parku Šumava* začali někteří zelení aktivisté a levicově orientovaní politici mluvit o „divočině" a „pralesu". Kde by se tady uprostřed Evropy vzal? V roce 1991 dostaly tyto tendence malé skupiny bývalých disidentů a nových politiků prostor pro uplatnění *ideologie ekologismu* a později *bezzásahovosti*. Tyto nové tendence se časově shodovaly se vznikem pobočky hnutí *Greenpeace* v Československu v roce 1991 v Brně. Hned od počátku byla zarážející rozloha tohoto nově vzniklého parku, zvláště při porovnání s bavorskou stranou. Některé názory tuto rozlohu obhajovaly hrozbou uplatnění restitučních nároků sudetských Němců…

V důvodové zprávě nařízení vlády č. 193/1991 Sb., o zřízení *Národního parku Šumava,* je mj. uvedeno, že lesnictví je nejvýznamnější plošná aktivita na území národního parku se zřetelem na zachování lesa jako národního bohatství, tvořícího nenahraditelnou složku životního prostředí. Národohospodářskou hodnotu umocňovalo nařízení vlády č. 40/1978 Sb. a ustanovení vodního zákona o vyhlášené *Chráněné oblasti přirozené akumulace vod*. Tyto celospolečenské hodnoty Šumavy, jak se později ukázalo, nebyly Ministerstvem životního prostředí respektovány, přestože podle kompetenčního zákona č. 2/1969 Sb. za ně jako ústřední orgán bylo zodpovědné.

3. Průběh kolapsu lesů v národním parku Šumava 1991–2017

3.1. Iniciace devastačních procesů na Malé Mokrůvce 1993 a počátek chaotického vedení Správy národního parku

V roce 1970 byl na německé straně Šumavy vyhlášen Národní park Bavorský les a v 80. letech zde byla vyhlášena bezzásahová zóna, ve které se ponechá kůrovec volně vyvíjet. Odtud se po vichřici v roce 1984 rozšířil kůrovec na českou stranu. Kůrovec se v nebezpečné formě na Šumavě objevil již na *Modravské slati* v roce 1991, kdy už byl vyhlášen *Národní park Šumava.* Tehdejší ministr životního prostředí Ivan Dejmal, který byl uvážlivý odborník, vydal rozhodnutí o likvidaci kůrovcové kalamity a zřídil kalamitní štáb. Ale už v roce 1995, po odchodu Dejmala z funkce ministra, byla tato lokalita vyhlášena jako bezzásahová s představou, že odolá invazi kůrovce. Neodolala.

Nutno vzpomenout na to, že myšlenku o bezzásahové „péči" a ponechání lesů na Šumavě přírodním procesům k nám zavanul vítr z bavorské strany již v roce 1990. Tehdy vedení bavorského parku bylo v rukách *Strany zelených*. Pan ředitel tamního parku Dr. Hans Bibelriether vodil exkurze na místo, kde les poblíž státní hranice zničila vichřice a stromy na ní nechali ležet, bez jakéhokoliv zásahu. Na druhé straně hranice však čeští lesníci a ochranáři vykáceli desítky metrů široké nárazníkové zóny proti náletům kůrovce. Pan Dr. Hans Bibelriether později své pohledy na bezzásahovou péči ve prospěch přírodních procesů v lesích Šumavy korigoval, ale to už byla degradace regionu na obou stranách státní hranice nezvratná.

Konkrétní lokalita, kde se začala nezadržitelně šířit kůrovcová kalamita, byla *Malá Mokrůvka* v prášilském polesí poblíž státní hranice s Bavorskem (**obr. 2**). Tam v roce 1993 v národní rezervaci padlo za oběť bezzásahovosti, které se tehdy říkalo „vyloučení lidských zásahů", 400 ha genofondu původní smrkové kultury a bylo ohroženo území lesů i za hranicí v Bavorsku. Správa národního parku jen přihlížela a nechala napadené dřevo s kůrovcem na místě. A tak se v maloplošných chráněných území a I. zónách parku nechal brouk volně působit jako přírodní proces, podobně jako kdyby vznikl požár. Ale o to více se těžilo mimo tyto nejcennější lokality, kam se kůrovec rozšířil. Výkon správy parku se stal nekoncepční, měnící strategii s neustálou personální změnou ve vedení. A čas plynul ve prospěch brouka, který byl ochránci přírody zpočátku vnímán jako lékař lesa a když sežral, co mohl, jako přírodní činitel.

3.2. Vyčíslené škody způsobené bezzásahovostí na životním prostředí a trestní oznámení 2001–2010

První výrazné škody na přírodním a životním prostředí v národním parku kvůli vyhlášení bezzásahovosti byly zjištěny již v polovině devadesátých let, a proto v roce 2001 zadalo Ministerstvo životního prostředí zpracování odborného posudku prof. Ing. Iljovi Vyskotovi CSc. Ten vyčíslil škodu na životním prostředí ve výši nad 5 miliard Kč. Přesto *Správa Národního parku Šumava* vyhlašovala bezzásahovost na dalších územích a zároveň v jiných místech prováděla těžbu napadeného dřeva ve velkém a jeho prodej za nápadně nižší cenu, než je v místě obvyklém (až o 300 Kč za m^3).

Pak v roce 2007 udeřila na Šumavu přírodní síla, která je podle zelených ideologů něco jako požár, a na kůrovcem zasažený les dopadl orkán Kyrill. V této katastrofě vydává MŽP Opatření č.j. 48452/ENV/07, kterým prodlužuje zákonnou lhůtu pro zpracování kalamitního dřeva. Výrok tehdejšího ministra životního prostředí RNDr. Martina Bursíka, předsedy Strany zelených, *„Nechte toho broučka, ať se nažere"*, se zapsal do dějin kolapsu Šumavy. Kůrovec se stal chráněným živočichem.

A zatímco bavorský ministr lesnictví po kůrovcové kalamitě v bavorském národním parku v roce 1998 způsobené bezzásahovostí prohlásil, že Bavorsko je tak bohatý stát, že si může dovolit nechat zničit 1 % svých lesů, tak v roce 2008, při druhé kůrovcové kalamitě po orkánu Kyrill, jiný bavorský ministr oficiálně vyzýval českou stranu, aby podél hranic proti kůrovci zasahovala a nedopustila jeho šíření do Bavorska a Rakouska…

V letech 2007 až 2010 bylo podáno několik trestních oznámení ve věci škod na přírodním a životním prostředí v *NP Šumava*. V roce 2008 Policie ČR opatřením č. j. ORPT-6012-16/TČ-2008-80 ze dne 1. září 2008 podle § 105 odst. 1 trestního řádu přibrala soudního znal-

Obr. 1. Jedna z mála zachovaných lokalit pestrých horský luk na Šumavě. Tyto vzácné, chráněné sečné louky, vyskytující se nad 600 m n.m., jsou závislé na vkladech lidské práce, nikoli bezzásahovosti. Horní Hůrka [7]. (Foto Mazín)

Obr. 2. Mrtvý les jako memento mori na rozsáhlém území hřebenu v okolí Luzného a Mokrůvky, nadmořská výška 1200 m. (Foto Mazín)

ce Ing. Karla Simona a zadala mu vypracovat znalecký posudek v trestní věci poškozování životního prostředí v NP Šumava [11]. Znalecký posudek č. 33–9/2008 byl vyhotoven na základě metodiky prof. Vyskota CSc., publikované ve Věstníku MŽP č. 8/2003, tj. dle oficiální metodiky MŽP, kdy tato metodika byla speciálně následně dopracována i pro lesy národních parků.

Znaleckým posudkem byla vyčíslena škoda na lese, nenahraditelné složce životního prostředí, v celkové výši 32,725 miliard Kč z toho např. škoda na hydricko-vodohospodářské funkci ve výši 6,5 miliardy Kč. Škody na funkcích lesa, nenahraditelné složce životního prostředí, v lesích *NP Šumava* se od roku 2001, kdy byly vyčísleny ve výši cca 5 miliard Kč, do roku 2008, tedy za pouhých 7 let, zvýšily na hodnotu 32,725 miliard Kč. V roce 2020 lze nárůst škod na lese odhadnout ve výši 300 miliard Kč. Za čtyři roky bylo vytěženo 1 mil. m^3 kůrovcového dřeva, další stovky m^3 byly ponechány v porostech k samovolnému rozpadu. Odumřely i vzácné lokality 200–400 let starých porostů, jako byl u pramenů Vltavy nebo na Trojmezné hoře.

Podle neoficiálních informací byla následně všechna trestní oznámení Policií ČR a státním zastupitelstvím odložena, a to na základě stanoviska Ministerstva životního prostředí ČR a posudku jiného znalce…

Na poškození přírodního a životního prostředí byli upozorněni pan předseda vlády a paní předsedkyně Poslanecké sněmovny peticí ze dne 10. 4. 2010 za zastavení narůstající ekologické katastrofy v *Národním parku Šumava* v důsledku rozsáhlé kůrovcové kalamity a za přijetí opatření, která by odstranila stávající nečinnosti orgánů státní správy v ochraně lesa. Petici mj. podpořili a podepsali pan prezident Klaus a pan prezident Zeman. MŽP ČR na uvedenou petici odpovědělo a informovalo petenty, že v NP Šumava je postupováno v souladu s právními předpisy a závěrem ujistilo, že problematika péče o les patří mezi priority MŽP ČR.

Zvláštní pozornosti uniklo mimo jiné to, že v tomto období zůstaly suché stromy napadené kůrovcem stát jako memento mori v ploše, kterou nebylo možné přehlédnout. Vysušené dřevo těchto stromů je po deseti i více letech velmi kvalitní a je možné je využívat i pro výrobu hudebních nástrojů. Některé stromy byly účelově oloupány na stojato a rezonanční dřevo se vyváželo do Německa a Rakouska. Přímé důkazy pro tuto zločinnost nejsou, ale svědci ano (Ing. Karel Simon, soudní znalec v oboru lesního hospodářství, odvětví funkce lesů v krajinném prostředí).

A tak se při chaotickém vedení a nekoncepčnosti *Správy Národního parku Šumava* děly zároveň dvě činnosti. Ponechání porostů napadených kůrovcem samovolnému vývoji a na druhé straně nesystémové kácení porostů ve velkém, za výpomoci i zahraničních firem, a netransparentní prodej vytěženého dřeva. Dřevo s kůrovcem se převáželo po celé republice a kůrovec nalétal do dalších lesů v české kotlině. Politická situace po orkánu Kirill v roce 2007 otevřela prostor pro uplatnění ministerského příkazu k nezpracování polomů. Tím došlo k další progresivní líhni kůrovce a kalamitě, kterou již nebylo možné zastavit. Za oběť brouku padlo dva a půl milionu stromů a kůrovcová kalamita se rozšířila i na německou a rakouskou stranu. Bezzásahové péče se zvrtla na systémovou devastaci.

3.3. Vrcholící aktivita zelených přírodovědců v radě NP Šumava a Hnutí Duha z. s. 2008–2012

Ani kalamitní stav a evidentní začátek kolapsu socioekoregionu nezastavil snahy zelených fundamentalistů prohlásit Šumavu za divočinu a uzavřít ji pro člověka. Zapadalo to do koncepce hnutí *Greenpeace*, které má ve svých strategických cílech *Kampaň na ochranu lesů a pralesů*. Aby zelení aktivisté prosadili v NPŠ nejvyšší stupeň ochrany podle mezinárodní klasifikace, potřebovali jej prohlásit za prales a divočinu, kde probíhají výlučně přírodní procesy. To ale vyžadovalo bezzásahovost!

V roce 2008 se objevila studie Tilla Meyera, Hanse Kienera a Zdenky Křenové o *Divokém srdci Evropy*. Myšlenka Šumavy bez lidí měla tehdy podporu nejen českých aktivistů žijících v Praze *(Hnutí Duha z. s.)* a veřejnosti pod vlivem mediálních fikcí, ale kupodivu i politickou podporu od bavorské strany, kde měli vliv aktivisté ze Strany Zelených. Cílem této aktivity bylo definitivně umlčet starosty obcí a realizovat *Divočinu Šumavy* v biosférické rezervaci, jakmile to politické poměry dovolí.

Projekt realizace a dohodu, ve které byl požadavek na 51 000 ha bezzásahovosti a zákazu vstupu do *Divokého srdce Evropy,* podepsali 5. 5. 2009 náměstci ministrů životního prostředí České republiky a Bavorska. V březnu 2010 byla ve Štrasburku přijata kandidatura *Národního parku Šumava* na tzv. *Diplom Rady Evropy*, kterou se naštěstí podařilo novému řediteli správy parku, který byl do funkce dosazen jako krizový manažer, Ing. Janu Stráskému, pozastavit.

V této době do hry vstoupili zástupci přírodovědců z Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích a Karlovy univerzity v Praze se svými publikacemi a teoriemi podporujícími bezzásahovost na Šumavě. Především se jednalo o prof. RNDr. Jakuba Hrušku, CSc., který byl v období 2006–2011 předsedou vědecké sekce rady NPŠ a později členem Rady NPŠ, a pana prof. RNDr. Pavla Kindlmanna, DrSc. Po osobních i veřejných diskusích a na základě jejich publikací bylo třeba konstatovat, že pohled těchto přírodovědců na problematiku péče o Šumavu je velmi zúžený a jednostranný, postrádající širší územní a demografické vazby, nerespektující historický vývoj osídlení včetně traumatu po roce 1938 a přehlížející hodnoty kulturní obhospodařované krajiny tohoto regionu.

Komunikace těchto vědců s vědci v příslušných technických oborech, jako jsou lesní hospodářství, vodohospodářství, zemědělství a klimatologie, postrádala holistické pojetí, interdisciplinární přístup a samotným výstupům výzkumných pokusů a projektů chybělo dlouhodobé pozorování, důvěryhodné časové řady empirických dat sebraných v terénu, a tím nezbytné statistické vyhodnocení.

3.4. Nerespektování zvláště významné vodohospodářské, hydrologické a klimatologické funkce Šumavy

V této době narůstající klimatické změny se proto jako velmi závažné jevilo přehlížení vodohospodářské funkce rozsáhlého pohoří Šumavy a Bavorského lesa, které má mezinárodní význam. Nešlo jen o ideologické zaslepení, ale i o nerespektování vodního zákona a nařízení vlády. Šumava ve stejných hranicích vyhlášené *Chráněné krajinné oblasti* byla již v roce 1978 vyhlášena nařízením vlády č. 40/1978 Sb. jako *Chráněná oblasti přirozené akumulace vod* podle zák. č. 254/2001 Sb. (vodní zákon). Důvodem vyhlášení byly nejen geomorfologické a hydrogeologické poměry v kombinaci s nadmořskou výškou a zvýšenými srážkami, ale také fenomén horských smrčin, které mají schopnost zadržet vodu a zpomalit její odtok.

Vodní bohatství Šumavy je přímo závislé na srážkách a vzrostlém, zdravém lese. Roční úhrny srážek i přes rozvrat podnebí jsou zde stále stejné a evapotranspirace (výpar z půdy a smrků) lesa je nižší než srážky. Pak působí rozsáhlé komplexy vzrostlého lesa jako stabilizátor povrchového odtoku, vzdušné vlhkosti a nízké teploty při povrchu země. Dalším fenoménem horských smrčin jsou tzv. horizontální srážky (rosa, mlha, vysoká vzdušná vlhkost, případně námraza). Vzrostlý smrkový les má velkou plochu celoročně funkčních jehlic. Stromy se sice v teplých dnech přirozeně chladí výparem přes listy (jehličí), ale vodní pára uvnitř zdravého lesa zůstává, protože je zde chladný, a tím i těžší vzduch a nestoupá vzhůru. Vytváří se tak chladnější a vlhčí mikroklima. Další efekt lesa spočívá v tom, že zpomaluje odtok povrchových a podpovrchových vod při srážkách, a tím se vyrovnávají kolísavé přítoky do níže položených pramenních vývěrů a mokřadů. Poznámka: Někteří přírodovědci tvrdí, že les ubírá vlhkost právě vysokou evapotranspirací, ale to platí jen v teplejších klimatických regionech.

Zjednodušeně platí, že tam, kde v krajině převládají holé plochy bez komplexů souvislých porostů vzrostlého lesa, dochází k výraznému oteplování a trvalému vysoušení povrchu země, včetně podpovrchové a podzemní vody. Rozdíly naměřených hodnot teplot lesa a holé půdy jsou až v desítkách stupňů Celsia. A to je případ vytěžených holin po

kůrovci, které způsobují ztrátu hydrodiverzity (rozmanitost vodních stanovišť i způsobů, jak s vodou zacházet) a zvyšují výpar z mělké lesní půdy.

Tato vodohospodářská a klimatologická funkce lesa je na dlouhou dobu vyřazena na 20 000 ha, někteří autoři odhadují až 30 000 ha holin a polomů vzniklých v *Národním parku Šumava* bezzásahovostí, polomy a následně kůrovcem a na druhé straně překotnou těžbou v období 1991–2023. *Nejvíce se kůrovec množil a likvidoval dospělé porosty smrku v letech 2007 až 2010 a nejvíce se pak kácelo v letech 2009 až 2012. Díky bezzásahovému režimu uplatněnému v posledních letech na 23 % území NP Šumava dnes na Šumavě schází téměř 20 000 hektarů vzrostlého smrkového lesa. Pokud na Šumavě vysychají prameny a studně, pokud již dnes hoří dříve vodou přesycené šumavské slatě (mj. bez povšimnutí médií), jak to asi bude na Šumavě vypadat, až se vyhlásí bezzásahovost na 50 % území národního parku? Kolik tím zmizí dalšího dospělého lesa? Kolik tím vyschne dalších pramenů a studní? Je Šumava stále ještě chráněnou oblastí přirozené akumulace vod? Je Šumava ještě vůbec chráněné území, kde se chrání životní prostředí živočichů a rostlin? Nebo je nově Šumava jenom prostorem pro ideologicko-politické handly? (bývalý ředitel SNPŠ Jiří Mánek, 2015).*

V období prohlubující se klimatické krize ztratila Šumava na rozsáhlém území životadárnou mimoprodukční schopnost lesů, a to nejen zadržovat vodu, ochlazovat zemský povrch a zpomalovat jeho vysoušení, vyrovnávat rozdíly teplot mezi dnem a nocí, podporovat vznik srážek v rámci malého oběhu vody, čistit podzemní vodu na úrovni povodí, ale i spotřebovávat ze vzduchu uhlík. Pro představu, 10 000 ha odumřelého a uschlého lesa na Šumavě představuje ve slunném dni uvolnění tepla z povrchu Země srovnatelné s výkonem několika desítek reaktorů jaderné elektrárny Temelín [10].

Dokončení příště

Václav Alexandr Mazín
Špičák 98
alexvenca@seznam.cz

ABSTRAKTY

A comparative study of three fishery methods for sampling the invasive topmouth gudgeon (*Pseudorasbora parva*) in ponds

(Monitoring invazní střevličky východní (Pseudorasbora parva) v rybnících: porovnání tří odlovných metod)

Journal of Fish Biology, 102 (5): 1121-1128, DOI: 10.1111/jfb.15361

Kajgrová Lenka[1)], Drozd Bořek[1)], Regenda Ján[1)], Draštík Vladislav[2)], Kočvara Luboš[2)], Kolařík Tomáš[2)], Peterka Jiří[2)], Blabolil Petr[2, 3)]

[1)] Faculty of Fisheries and Protection of Waters, South Bohemian Research Center of Aquaculture and Biodiversity of Hydrocenoses, Institute of Aquaculture andProtection of Waters, University of SouthBohemia in České Budějovice, České Budějovice, Czech Republic

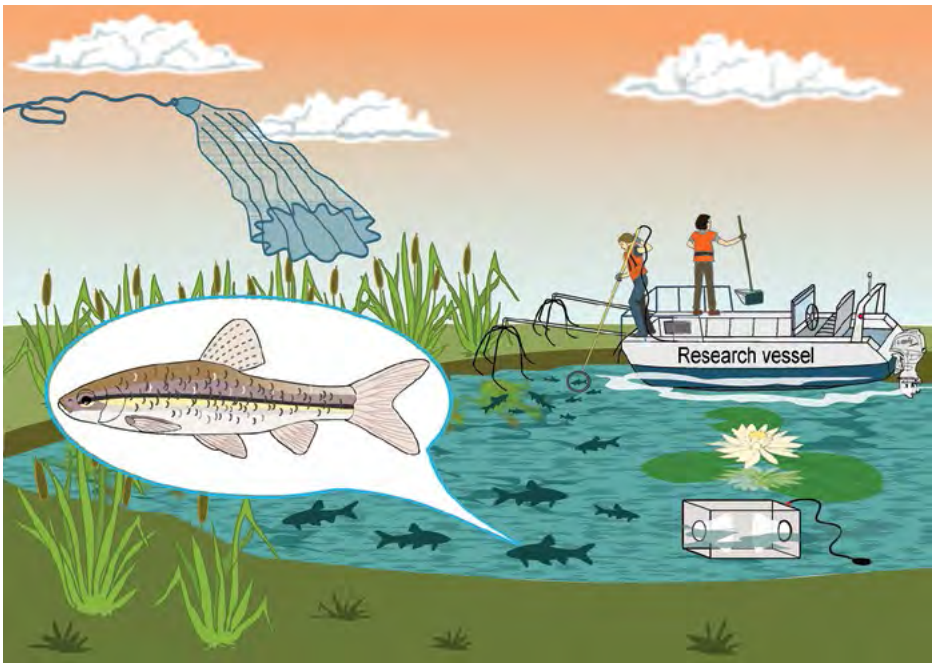
[2)] Institute of Hydrobiology, Biology Centre CAS, České Budějovice, Czech Republic

[3)] Faculty of Science, University of South Bohemia in České Budějovice, České Budějovice, Czech Republic

Abstrakt:

Nepůvodní invazivní ryby ohrožují fungování rybničních ekosystémů a s nimi spojené ekosystémové služby. Proto je získání reprezentativního vzorku složení rybího společenstva zásadní pro hospodaření na rybnících, výzkum a ochranu přírody. V rámci studie jsme porovnali odhady velikostní distribuce, početnosti a biomasy střevličky východní ve vybraných rybnících, a to mezi třemi vzorkovacími metodami – elektrolovem, odchytem do vrší a vrhací sítí. Studie ilustruje, že střevličku lze detekovat všemi testovanými odlovnými metodami, avšak mezi metodami byly výrazné rozdíly v odhadech populačních charakteristik. Elektrolov a vrhání sítí poskytly zkreslené informace o velikostní distribuci střevličky. Chytání ryb do vrší a vrh sítí poskytlo vyrovnané odhady početnosti a biomasy střevličky, zatímco elektrolov je významně podhodnotil. Všechny testované metody ukázaly nárůst velikostí střevliček mezi letním a podzimním odběrem vzorků, nicméně ani jedna z testovaných aktivních rybolovných metod (v našem případě vrhací síť a elektrolov) nezachytily nárůst početnosti střevličky. Naše studie ukázala, že použití vrší je nejspolehlivější a zároveň cenově dostupnou metodou k odhadu populačních charakteristik invazní střevličky v rybnících, a to i přes časově náročnější aplikaci metody (nutnost navštívit vzorkované stanoviště dvakrát – instalace a následné vybírání druhý den). Úspěch odlovu dále závisí na velikosti ok vzorkovacího zařízení, zkušenostech pracovníka i struktuře stanoviště (např. přítomnost ponořené vegetace). Studie se rovněž zabývá nákladovou efektivitu vybraných metod a významem monitoringu invazních ryb v rybnících.

Článek je dostupný na adrese časopisu: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/jfb.15361 či případně na vyžádání u autorů: petr.blabolil@hbu.cas.cz



Grafický abstrakt

Slowing Down Quick Runoff-A New Approach for the Delineation and Assessment of Critical Points, Contributing Areas, and Proposals of Measures to Reduce Non-Point Water Pollution from Agricultural Land

(Zpomalení rychlého odtoku – nový přístup k vymezení a hodnocení kritických bodů, přispívajících ploch a návrhy opatření ke snížení plošného znečištění vod ze zemědělské půdy)

Water, 2023,15(6)

Kvítek, T.; Zajíček, A.; Dostál, T.; Fučík, P.; Krása, J.; Bauer, M.; Jáchymová, B.; Kulhavý, Z.; Pavel, M.

Abstrakt:

Plošné, nebodové zdroje znečištění povrchových a podzemních vod zemědělskou rostlinnou výrobou jsou dlouhodobě v Česku závažným problémem. Tento článek popisuje nový přístup pro vymezení a hodnocení plošného zemědělského znečištění vody přes odtok vody. Pro kvantifikaci byly použity kritické body odtoku. Kritické body odtoku představující vstup rychlého plošného povrchového a podpovrchového – drenážního odtoku do vod povrchových a podzemních z přispívajících lokalit. Jsou dle měřítka povodí rozděleny do tří (u povrchových zdrojů znečištění pomocí modelu WaTEM/SEDEM) nebo čtyř (podpovrchové = odvodňovací systémy prostřednictvím indexu potřebnosti

opatření – SIPO) kategorií. To umožňuje určovat nejohroženější oblasti v různých měřítkách, od povodí třetího řádu až po velmi malá dílčí povodí, a navrhnout vhodnou kombinaci kontrolních opatření ke zmírnění rychlého povrchového a drenážního odtoku vody, které jsou hlavními hnacími silami souvisejícího znečištění za výrazných srážek. Tato metodika byla aplikována na studii provedenou v České republice v rámci celého povodí Vltavy o celkové rozloze 27 578 km² a pro podrobnější analýzu byla využita pro povodí Vlašimské Blanice o rozloze 543 km².

Při posouzení vlivu navrženého systému zpomalení a regulace povrchového odtoku na transport splavenin odtokovými profily povodí IV. řádu dosáhl průměrný pokles 43 %. Celkové snížení podpovrchového transportu dusíku v povodí čtvrtého řádu činilo 24 %. Pro uplatnění tohoto přístupu v praxi je však třeba důkladně přehodnotit stávající právní předpisy a dotační strategie, aby bylo možné v širším měřítku přijmout zmírňující opatření pro udržitelné způsoby hospodaření v zemědělské krajině ve vztahu k vodním zdrojům.

Článek je volně přístupný ke stažení, odkaz pro vážné zájemce je na: DOI:10.3390/w15061247

Prosíme české a slovenské autory publikující v zahraničních časopisech, aby s výsledky své práce seznámili i čtenáře Vodního hospodářství prostřednictvím abstraktu. Ten by měl mít strukturován jako tento příspěvek. Své příspěvky adresujte na stransky@vodnihospodarstvi.cz.

ODBORNÉ AKCE

Seminář: Aplikace sedimentů na zemědělskou půdu (Křtiny 8. 12. 2023)

Petra Oppeltová

Seminář zahájila Ing. Petra Oppeltová, Ph.D., seznámila přítomné v krátkosti s programem semináře. Odbornou část semináře zahájil svojí přednáškou Ing. Ladislav Kubík, Ph.D., z pracoviště ÚKZÚZ. Pomocí grafů a map postupně představil jednotlivé sledované parametry v sedimentech, jejichž měření provádí pracoviště ÚKZÚZ od roku 1995. Dále představil mediánové obsahy rizikových prvků v materiálech používaných na orné půdě. Interpretoval rozdíly v jednotlivých provedených sledováních (vztaženo k možným zdrojům sledovaných parametrů). V závěru prezentace představil i negativní příklad nakládání se sedimenty v zájmovém území Luhačovice.

Další v pořadí s odbornou přednáškou byl RNDr. Jindřich Duras, Ph.D. Dr. Duras soustředil svoji přednášku na sedimenty, které pocházejí především z rybníků. Na úvod vysvětlil transformaci látkových toků v rybnících a jejich dopad na rybniční sedimenty. V rámci přednášky pak postupně demonstroval pozitivní i negativní vlivy na tento systém (sinice, výlov, přikrmování, samočistící procesy, retence fosforu, biodegradace, denitrifikace, aj.). V další části svojí přednášky cílil na vysvětlení vhodnosti umísťování rybníků a významu mikropovodí, resp. využívání rybničních sedimentů na orných půdách zdrojových mikropovodí. Představil také hodnoty z příkladových odběrů sedimentů, vztaženo na celkové obsahy sledovaných látek a přístupné živiny. Uvedl také fungující příklady aplikace sedimentů na zemědělskou půdu a možnost odvodňování sedimentů ve vacích. Na základě této přednášky se rozpoutala diskuse především k vyhlášce č. 257/2009 Sb. (vyhláška o používání sedimentů na zemědělské půdě).

Po krátké přestávce prof. Ing. Radovan Kopp, Ph.D., ve svojí přednášce představil také vliv rybničních sedimentů na chov ryb. Zabýval se rozdíly a možnostmi analýz především mokrých vzorků. Tuto vrstvu rybničního sedimentů právě nejvíce ovlivňuje chov kaprů. Zabýval se také rozdíly v hodnotách sledovaných látek a jejich ovlivnění odebíranou mocností sedimentů a místy odběrů. Představil rozdíly v metodách testování vodního výluhu, Mehlicha III a lučavky. V druhé části své přednášky seznámil přítomné s prvotními výsledky z pokusů s rybničními sedimenty (nádobový pokus, sediment v zastoupení 10, 25 a 50 %, 5 opakování, vliv na růst, odolnost vůči suchu, udržení vlhkosti v půdě, velikost a počet zrn a mnoho dalších sledovaných parametrů).

Ing. Jaroslav Záhora, CSc., cílil svoji přednášku na vliv sedimentů na biologické vlastnosti půdy. Zabýval se interakcí půdy s mikroorganismy a stabilitou půdních agregátů, funkcí mikro- a makroagregátů. Dále představil funkci hlenovitých látek na kořenech rostlin, mikrobiálních filmů a půdního edafonu na využitelnost látek v půdě pro rostliny. Rovněž představil důsledky zhutnění podorničí a dešťové pasti.

S poslední odbornou přednáškou vystoupila Ing. Petra Oppeltová, Ph.D., která v krátkosti představila příklady vzniku sedimentů a jejich negativní vlivy na kvalitu vod. Dále za tým Marval, Hejduk, Zajíček stručně seznámila přítomné s novou certifikovanou metodikou pro aplikaci sedimentů na zemědělskou půdu.

V průběhu semináře byla problematika sedimentů diskutována nejen z pohledu vodohospodářů, ale i zemědělců, rybářů a ÚKZUZ. Po obědě následovala pro zájemce komentovaná prohlídka univerzitního arboreta.

Akci pořádala Česká technologická platforma pro zemědělství ve spolupráci s Mendelovou univerzitou v Brně a za finanční podpory Ministerstva zemědělství.

Ing. Veronika Peřinková, Ph.D.
Ing. Petra Oppeltová, Ph.D.

Akce patřila počtem účastníků k těm menším, tématem však k velice aktuálním a potřebným

- Sanace kontaminovaných lokalit
- Ekologické konzultační služby EIA, IPPC, Due Diligence
- Biotechnologické a analytické laboratoře
- Výzkum v oblasti životního prostředí
- Likvidace, recyklace a úprava odpadů
- Zařízení pro čištění vzdušnin a vod
- Nepřetržitá ekologická havarijní služba

DEKONTA, a.s.
VOLUTOVÁ 2523, 158 00 PRAHA 5
+420 235 522 252
INFO@DEKONTA.CZ
WWW.DEKONTA.CZ

vodní hospodářství® water management®

2/2024 ◆ ROČNÍK 74

Specializovaný vědeckotechnický časopis pro projektování, realizaci a plánování ve vodním hospodářství a souvisejících oborech životního prostředí v ČR a SR

Specialized scientific and technical journal for projection, implementation and planning in water management and related environmental fields in the Czech Republic and in the Slovak Republic

Redakční rada: prof. Ing. Tomáš Kvítek, CSc. – předseda; doc. RNDr. Jana Říhová Ambrožová, PhD.; RNDr. Petr Blabolil, Ph.D.; prof. Ing. Igor Bodík, PhD.; Ing. Václav David, Ing. Pavel Dobiáš, Ph.D.; Ing. Pavel Hucko, CSc.; Ing. Tomáš Just; Mgr. Jaroslava Nietscheová; RNDr. Pavel Punčochář, CSc.; Ing. Jiří Švancara; Ing. Lenka Wimmerová, MSc., Ph.D.

Šéfredaktor: Ing. Václav Stránský
stransky@vodnihospodarstvi.cz, mobil 603 431 597
Objednávky časopisu, vyúčtování inzerce:
administrace@vodnihospodarstvi.cz
Adresa vydavatele a redakce (Editor's office):
Vodní hospodářství, spol. s r. o., Bohumilice 89, 384 81 Čkyně, Czech Republic
www.vodnihospodarstvi.cz

Roční předplatné 1100 Kč, pro individuální nepodnikající předplatitele 770 Kč. Ceny jsou uvedeny s DPH. **Roční předplatné na Slovensko** 33 €. Cena je uvedena bez DPH.

Objednávky předplatného a inzerce přijímá redakce.

Expedici a reklamace zajišťuje DUPRESS, Podolská 110, 147 00 Praha 4, tel.: 241 433 396.

Distribuce a reklamace na Slovensku:
Mediaprint–Kapa Pressegrosso, a. s., oddelenie inej formy predaja, P. O. BOX 183, Vajnorská 137, 830 00 Bratislava 3, tel.: +421 244 458 821, +421 244 458 816, +421 244 442 773, fax: +421 244 458 819, e-mail: predplatne@abompkapa.sk

Sazba: Martin Tománek – grafické a tiskové služby, tel.: 603 531 688, e-mail: martin@tomanek.cz

Tisk: Tiskárna Macík, s.r.o., Církvičská 290, 264 01 Sedlčany, www.tiskarnamacik.cz

6319 ISSN 1211-0760. Registrace MK ČR E 6319.

© Vodní hospodářství, spol. s r. o.

Rubrikové příspěvky nejsou lektorovány
Obsah příspěvků a názory v časopise otištěné nemusejí být v souladu se stanoviskem redakce a redakční rady.
Neoznačené fotografie – archiv redakce.

Časopis je v Seznamu recenzovaných neimpaktovaných periodik vydávaných v České republice. Časopis je sledován v Chemical abstract.

VRV
VODOHOSPODÁŘSKÝ ROZVOJ A VÝSTAVBA
akciová společnost
150 56 Praha 5 - Smíchov, Nábřežní 4
tel.: 257 110 338 fax: 257 322 321 e-mail: vrv@vrv.cz web: www.vrv.cz

- příprava a řízení investičních projektů, výkon TD a správce stavby
- projektové práce, včetně výkonu autorského dozoru
- výkon koordinátora BOZP dle zák. 309/2006 Sb.
- koncepce, strategické plánování, analýzy rizik
- finanční montáže pro zajištění investic s účastí finančních zdrojů ČR a EU
- digitální povodňové plány
- zajištění koncesních projektů a organizace koncesních řízení

VODATECH
WASTE WATER TECHNOLOGY
VYVÍJÍME, VYRÁBÍME A INSTALUJEME MODERNÍ ZAŘÍZENÍ PRO ČIŠTĚNÍ PRŮMYSLOVÝCH ODPADNÍCH VOD
Od roku 2002 jsme dodali přes 1000 zařízení do více než 25 zemí celého světa

- FLOTAČNÍ JEDNOTKY
- CHEMICKÉ JEDNOTKY
- TRUBKOVÉ SMĚŠOVAČE
- KOAGULAČNÍ REAKTORY
- ROTAČNÍ SÍTA
- SEPARÁTORY
- ŠNEKOVÉ DOPRAVNÍKY A ŠNEKOVÉ LISY
- ŠNEKOVÉ ČESLE
- ŠNEKOVÉ ZAHUŠŤOVAČE KALU
- SEPARÁTORY PÍSKU
- PRAČKY PÍSKU
- DALŠÍ ZAŘÍZENÍ PRO ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD

VODATECH, s.r.o. • Milotická 499/40, 696 04 Svatobořice-Mistřín
tel.: 518 620 962-4 • fax.: 518 620 965 • e-mail: vodatech@vodatech.net • web: www.vodatech.net

ZAŘÍZENÍ PRO ÚPRAVU VODY
- Filtrace, odželezování, odmanganování a další procesy úpravy pitné vody
- Technologie změkčování, demineralizace, reverzní osmózy a jiné
- Návrhy, instalace, kompletní servisní záruční i mimozáruční služby
- Modulární koncepce a moderní řídící systémy s on-line dohledem
- Vlastní výroba zařízení výhradně v EU
- Bohaté zkušenosti díky již téměř 30-leté praxi v Čechách i na Slovensku

321 727 745
info.cz@eurowater.com

Podpora výstavby vodovodů, kanalizací a na prevenci před suchem

Obce se mohou začít registrovat, aby mohly požádat o příspěvky na výstavbu vodovodů, kanalizací i na opatření zmírňující sucho. *Žádosti o dotace se budou přijímat od 19. března do 30. května. Obce si mezi sebe rozdělí 700 milionů korun poskytnutých Ministerstvem zemědělství (MZe).*

„Je důležité zajistit obyvatelům dostatek kvalitní pitné vody, a to i s ohledem na změnu klimatu a častěji se vyskytující sucha. Ministerstvo zemědělství proto pokračuje ve svých dlouhodobých programech na **výstavbu i modernizaci vodovodů, kanalizací, čistíren odpadních vod i na pořízení chytrých vodoměrů**. Programy jsou určené pro obce, svazky obcí a vodohospodářské společnosti vlastněné obcemi," řekl ministr zemědělství Marek Výborný (KDU-ČSL).

Obce mohou prostředky čerpat ze čtyř výzev. „**Podporu výstavby a technického zhodnocení infrastruktury vodovodů III**" mohou využít obce do 2 tisíc obyvatel. V programu je připraveno 150 milionů korun. Za ně lze postavit nové vodovody, úpravny vod, vodojemy nebo nové zdroje pitné vody.

Celkem 250 milionů korun je přichystáno v „**Podpoře výstavby a technického zhodnocení infrastruktury kanalizací III.**" Žádat o dotace mohou obce, které chtějí postavit či dostavět hlavní kanalizační řady, případně i čistírnu odpadních vod.

Program „**Výstavba a zabezpečení vodárenské infrastruktury – Podpora opatření pro zmírnění negativních dopadů sucha a nedostatku vody**" je zaměřený na výstavbu skupinových vodovodů, navýšení kapacity vodojemů, zdrojů anebo propojování a posilování vodárenských soustav, aby bylo možné v suchých obdobích převádět vodu z míst, kde je jí dostatek, tam, kde chybí. Alokace pro tuto oblast je 290 milionů korun.

„**Smart Metering – Podpora opatření pro zmírnění negativních dopadů sucha a nedostatku vody**" poskytne celkem 10 milionů korun obcím, které si chtějí na vodovodní síť instalovat chytré vodoměry za účelem snížení ztrát vody nebo regulace v oblasti s nedostatkem vody.

Žadatelé o dotace se mohou na Jednotném dotačním portále (JDP) pod záštitou Ministerstva financí registrovat už nyní. Samotné výzvy budou pro podávání žádostí dostupné od 10 hodin 19. března do 30. května, případně do vyčerpání přidělených prostředků.

Kompletní podmínky výzev jsou v k dispozici na stránkám MZe.

Podle údajů z poslední Zprávy o stavu vodního hospodářství České republiky bylo v roce 2022 zásobováno z vodovodů 10, 7 milionů obyvatel, tj. téměř 96 %. Délka vodovodních řadů dosáhla přes 81 tisíc kilometrů. Délka kanalizační sítě přesáhla 51 tisíc kilometrů. V domech napojených na kanalizaci žilo v loni 9,191 milionů lidí, což je 87,3 % z celkového počtu obyvatel.

Vojtěch Bílý
tiskový mluvčí Ministerstva zemědělství

VEGAspol
veřejná obchodní společnost

Projektová a obchodní činnost

- **čistírny odpadních vod**
- kanalizace, vodovody
- úpravny vody
- **inženýrská činnost**
- **konzultační a poradenská činnost**

- *Použití moderních technologií*
- *Soulad s normami a směrnicemi EU*
- *Důraz na řešení kalového hospodářství*
- *Likvidace odpadů v souladu s předpisy*
- *Řešení staveb vychází z architektury oblasti výstavby*

VEGAspol v.o.s.
Jiráskova 219/12
602 00 Brno
tel. 549 247 183
fax 549 247 183
mobil 608 711 413
e-mail: vegaspol@vegaspol.cz
web: www.vegaspol.cz

MBBR
Moving Bed Biofilm Reactor
www.pro-aqua.cz

abess
člen Asociace pro vodu ČR
- Kompletní řešení vodního hospodářství pro průmysl i domácnost
- Recirkulační okruhy technologických vod
- Individuálně řešené čistírny odpadních vod
ABESS, s.r.o., Manž. Topinkových 796, 272 01 Kladno-Dubí
www.abess.cz tel.: +420 720 180 028

Kořenovky.cz
Kořenové čistírny pro domy, penziony a obce
Stabilní a kvalitní čištění odpadních vod
Projektování, stavba, revitalizace a údržba kořenových čistíren
- Nízké provozní náklady
- Dlouhá životnost • Minimální údržba
korenova-cisticka.cz • michal@korenovky.cz • 775 256 596

EKOEKO s.r.o.

- Projektové práce

- kanalizace, čerpací stanice odpadních vod, čistírny odpadních vod
- vodovody, vodojemy, čerpací stanice pitných vod, úpravny vod
- předčištění průmyslových odpadních vod z potravinářského průmyslu
- základní technická vybavenost území (sítě, komunikace a pod.)
- rekonstrukce ulic v obcích a ve městech (povrchy, inženýrské sítě)

- Vypracovává a zajišťuje

- provozní řády čistíren, úpraven, kanalizací, vodovodů
- zajištění územních rozhodnutí a stavebních povolení
- zpracování žádostí o podporu z veřejných prostředků pro vodohospodářské akce
- technicko - ekonomické studie v oboru vodního hospodářství

- Poradenská a konzultační činnost
- Inženýrská činnost v oboru

EKOEKO s.r.o.
Senovážné náměstí 1
České Budějovice
370 01

tel: 385 775 111
www.ekoeko.cz
e-mail:
ekoeko@ekoeko.cz

VÝROBCE ZAŘÍZENÍ PRO ČISTÍRNY ODPADNÍCH VOD

FONTANA R, s.r.o., Příkop 4, 602 00 Brno; fontanar@fontanar.cz
telefon: +420 545 175 847; www.fontanar.cz

Culligan®

Technologie úpravy vod

CULLIGAN.CZ – nový a jediný nástupce tradiční osvědčené značky výrobce a dodavatele technologií úpravy vody, člen skupiny ENVI-PUR, s.r.o.

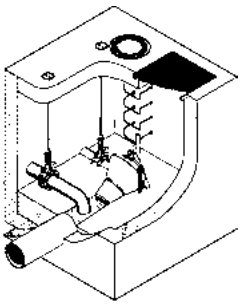
Originální patentovaná filtrační technika pro:

- úpravu pitných vod
- průmysl a chladící okruhy
- domácnosti a rodinné domy
- membránové technologie

CULLIGAN.CZ s.r.o.
Chráštany 140, 252 19 Rudná u Prahy
Tel. 731 629 796, e-mail: kancelar@culligancz.cz
www.culligancz.cz

PFT
Prostředí
a fluidní technika, s.r.o.

Nad Bezednou 201, 252 61 Dobrovíz
telefon: 233 311 389
fax: 233 311 290
www.pft-uft.cz
e-mail: pft@pft-uft.cz

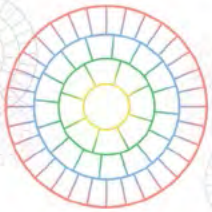


Vírový ventil v regulační šachtě *FluidCon*

Dodavatel vystrojení kanalizačních objektů

- regulace odtoku z odleh. komor
- automat. stírané česle GIWA
- monitoring OK systémem AQASYS
- pneu. ČSOV GULLIVER

MBBR
Moving Bed Biofilm Reactor



www.pro-aqua.cz

www.rekuper.cz

REKUPER®

Efektivní regulace a usměrňování průtoků vod v kanalizacích

komplexní vystrojování odlehčovacích komor a dešťových zdrží • plovákové regulátory štítové česle • štítové oddělovače

REKUPER SYCHROV, s.r.o.
Husa 28 • CZ - 463 44 Pacerice • e-mail: info@rekuper.cz
tel.: + 420 482 464 611 • fax: +420 482 464 630

Návrh • dodávka • montáž • servis

ALL FOR WATER
IN-EKO TEAM
www.in-eko.cz

PRUTOVÉ ČESLE KOLMÉ

ONLINE PŘIHLÁŠKA
INFORMAČNÍ WEB

enviopur
W&ET Team
CzWA

VÁS SRDEČNĚ ZVOU
NA ODBORNOU KONFERENCI

PITNÁ VODA
2024

17. ročník konference
PITNÁ VODA
Z ÚDOLNÍCH NÁDRŽÍ

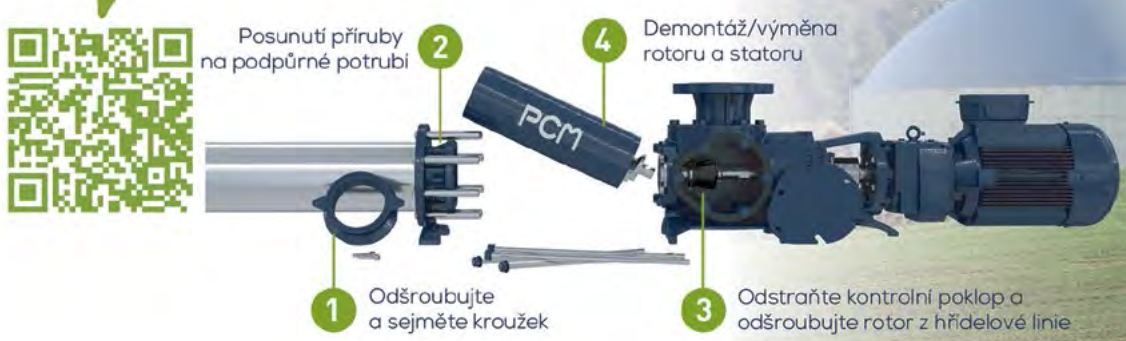
3. – 6. června 2024
Hotel Palcát Tábor

NOVINKA

Video ukázka

PCM EcoMoineau™ MX

Demontáž na místě ve 4 krocích
bez demontáže POTRUBÍ !



www.pcm.eu
www.roliol.cz

PCM | keep it moving
ROLIOL
Zástupce PCM pro Česko a Slovensko