

# Terénní testování prototypu separátoru k dočištění srážkových vod

JANA ČEJKOVÁ, ANNA KÓLOVÁ, JIŘÍ KUČERA, MIROSLAV VÁŇA, MAREK HOLBA, PAVEL POLÁŠEK

**Klíčová slova:** srážkový odtok – srážkové smyvy – čištění – separace polutantů – nerozpuštěné látky – polycyklické aromatické uhlovodíky – těžké kovy

## SOUHRN

Článek shrnuje poznatky získané v rámci řešení výzkumného projektu „Technologie separace specifických polutantů ze srážkových vod“ (TH03030223), který se zabýval čištěním srážkových vod ze zpevněných ploch a komunikací zatížených nerozpuštěnými látkami (NL), polycyklickými aromatickými uhlovodíky i těžkými kovy. Projekt si kladl za cíl vyvinout účinnou technologii, která by uvedené polutanty ze srážkových vod separovala. Testování separačního zařízení v modelovém a následně poloprovozním měřítku na dvou lokalitách prokázalo svoji účinnost při zachytu NL. Provedenými zkouškami zařízení byl potvrzen předpoklad, že odstraněním NL se zásadně sníží také odtokové koncentrace polyaromatických uhlovodíků a těžkých kovů. Použití separátoru k dočištění srážkových vod tak přispívá ke snížení zátěže povrchových nebo podzemních vod dalšími polutanty, zejména polycyklickými aromatickými uhlovodíky a těžkými kovy.

## ÚVOD

Jeden z významných potenciálních zdrojů kontaminace povrchových a podzemních vod v urbanizovaném území představují vody odtékající při srážkách z komunikací a zpevněných ploch (dálnice, silnice, parkoviště, obratiště automobilů). Splachovaný silniční sediment obsahuje různé částice a materiály, včetně anorganického i organického znečištění, jako jsou nerozpuštěné látky (NL), těžké kovy (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb a Zn) a polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU). Těžké kovy a PAU ve srážkovém splachu pocházejí ze spalování pohonných hmot, opotřebení částí automobilů (brzdy, pneumatiky, koroze), vozovky a dalších zdrojů. Tyto látky se hromadí na povrchu vozovky v důsledku jejího pravidelného používání a následně jsou odplavovány při srážkách do kanalizace a případně recipientu [1–3]. Splachované znečištění je jak z hlediska množství, tak i konkrétního složení v jednotlivých případech velmi různorodé a závisí na více faktorech. Mezi nejvýznamnější patří účel využití plochy a míra jejího zatížení. Při samotném splachu závisí také na proměnlivých přírodních podmínkách (počasí), zejména na intenzitě srážek, jež souvisí s následným odtokem vody a odnosem znečištění. Důležitým faktorem je i počet bezdeštných dnů před splachem, tedy doba, po kterou se znečištění na ploše kumuluje [3, 4]. Tyto předpoklady potvrzují Lee a kol. [3], kteří ve své studii uvedli, že největší míru znečištění na zkoumané ploše zaznamenali při nejintenzivnější srážce a současně nejdelším počtu bezdeštných dní (6 dní). Li et al. [5] ve své práci uvádějí, že koncentrace částic v odtoku klesá s dobou trvání srážky. Podobné závěry byly dosaženy i v našich dříve provedených simulovaných srážkových spláších, kde byla sledována koncentrace NL, PAU a těžkých kovů v první a páté minutě

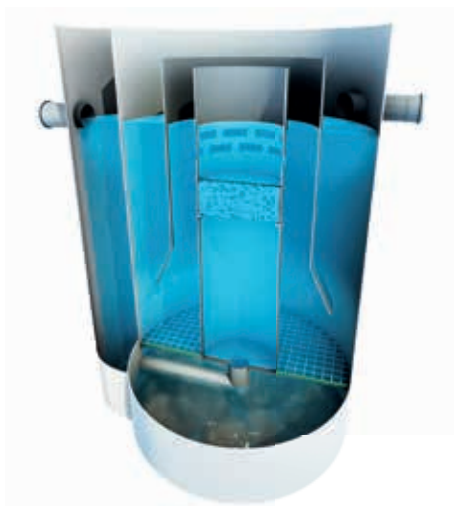
simulovaného splachu ze zpevněných ploch. Výsledky prokázaly, že již mezi těmito časy významně klesá množství NL a zároveň se snižuje koncentrace PAU a těžkých kovů [6]. V literatuře bylo publikováno mnoho vhodných postupů ke snížení PAU a těžkých kovů ze srážkových vod, např. sedimentace, filtrace [1] nebo koagulace kombinovaná s flokulací [4]. Separace NL se jeví jako významný proces ke snížení znečištění [1]. Výběr vhodné technologie pro konkrétní aplikaci vychází z míry zatížení a s tím souvisejícím znečištěním zvolené plochy, dále z požadované kvality vyčištěné vody, eventuálně možnosti jejího dalšího využití a investičních nákladů [7].

Výzkumný projekt s názvem „Technologie separace specifických polutantů ze srážkových vod“ (TH03030223) se zaměřil na odstraňování znečištění ze srážkových vod odtékajících ze zpevněných ploch. Cílem projektu bylo vyvinout prototyp separačního zařízení, jež by bylo specializováno na odstraňování především NL a na ně navázaného znečištění, zejména PAU a těžkých kovů, a ve kterém by probíhalo předčištění srážkových vod před jejich vsakováním do podzemních vod, vypouštěním do vod povrchových, případně před jejich dalším možným využitím [6]. Navržené a v poloprovozních podmínkách ověřené zařízení je založeno na separaci co největšího podílu NL. K jeho návrhu bylo využito matematického modelování proudění vody. V rámci řešení se předpokládalo, že vyvíjený separátor bude osazen jako podzemní objekt, který se nebude čistit po každé srážce. Separací prostor bude trvale zatopen vodou. Po začátku srážky se tedy zařízení nebude plnit, ale voda začne rovnou odtékat. Zařízení neslouží k transformaci (zploštění) průtoků při dešťové srážce. Zachycené NL se usazují u dna a přepážka, umístěná těsně nade dnem, brání jejich opětovnému vyplavování při další srážce. Množství zachycených látek se bude postupně zvyšovat. Po zaplnění kalové části zařízení bude potřeba provést vyčištění separátoru, aby nedošlo k vyplavování zachyceného znečištění, a tím ke snižování účinnosti zařízení. Naplnění kalové části je individuální a závislé na podmínkách dané lokality (typ odvodňované plochy, prašnost, provoz a další), proto je nezbytné provádět průběžné měření množství kalu. V rámci projektu nebyla doba naplnění sledována, jelikož se jedná o dlouhodobé měření. Prototyp zařízení byl testován v poloprovozních podmínkách nad úrovní terénu.

## METODIKA

V rámci řešení projektu byly nejprve provedeny analýzy simulovaných dešťových splachů ze zpevněných ploch. Navazující fáze projektu byla zaměřena na zpracování a analýzu výsledků splachů a provedení matematického modelování, na jejichž základě bylo přistoupeno k vývoji modelu separačního zařízení k odstranění NL a jeho odzkoušení v laboratorních podmínkách v závislosti na velikosti frakce a průtoku. Návrh a optimalizace prototypu zařízení vycházely

z hydrodynamického modelování a výsledků laboratorního zkoušení. Zařízení bylo konstruováno tak, aby byl co nejlépe využit celkový objem separátoru a nedocházelo ke zkratovému proudění. Jedním z hlavních aspektů při návrhu konstrukce, za účelem nejúčinnější sedimentace, byla délka trajektorie a její čas. Dále byl kladen důraz na způsob provozování a ekonomiku provozu a také na investiční a výrobní náklady vyvinutého zařízení. Výsledky laboratorních fází projektu již byly publikovány dříve [8]. Tento příspěvek se zabývá závěrečnou fází projektu, tedy terénním testováním prototypu separátoru s návrhovým průtokem  $1 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  (viz obr. 1 a 2), v poloprovozních podmínkách.



Obr. 1. Vizualizace prototypu separačního zařízení  
Fig. 1. Visualization of a prototype separation device



Obr. 2. Detail prototypu separačního zařízení  
Fig. 2. Detail of a prototype separation device

Simulované splachy (při třech zvolených průtocích) byly provedeny na dvou lokalitách. Hodnoty průtoků vycházely z matematického modelování proudění v zařízení. Z provozních důvodů bylo na začátku řešení projektu zvoleno, že měření i další testování se bude provádět při simulovaném dešti, tedy omytím zpevněné plochy pitnou vodou z hydrantu po dlouhodobějším období bez srážek. Simulace srážky probíhala tak, aby celá plocha byla skrápěna co možná nejrovnoměrněji a mohlo být regulováno množství průtoku zařízením. Mezi jednotlivými testy nebyl prototyp čištěn, pouze vypuštěn, aby mohl být přemístěn a uskladněn. Pro testování se předpokládal termín po období jednoho až dvou týdnů bez dešťů i krátkodobých přeháněk (konkrétně specifikováno v kapitole Výsledky a diskuze).

Na obou měřených lokalitách bylo zařízení zkoušeno postupně při těchto průtocích (Q):

- Snížený průtok  $0,5 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$
- Nominální průtok  $1 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$
- Maximální průtok  $1,5 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$

Intenzita oplachu povrchu vozovky pitnou vodou z hydrantu (simulace srážky) byla regulována tak, aby odpovídala zkoušenému průtoku. Přítok do prototypu byl regulován a kontrolován průtokoměrem. Těsně před započítáním testu byl odebrán prostý vzorek vstupní vody z hydrantu, ve kterém byly stanoveny NL při  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  (slepý pokus).

Zařízení bylo instalováno na volných plochách zvolených lokalit jako nadzemní nádrž. Hlavním důvodem byla nutnost přesouvání prototypu mezi lokalitami a především nebylo možné v daných lokalitách zařízení zabudovat pod úroveň terénu ani uskladnit na ploše do další série testování. Lokality byly zvoleny s ohledem na odlišný způsob používání.

Splachy byly provedeny na dvou zvolených lokalitách:

- Lokalita 1: plocha, kde se otáčejí nákladní automobily
- Lokalita 2: plocha, na níž pravidelně parkují nákladní vozidla



Obr. 3. Pohled na splach – lokalita 1  
Fig. 3. View of the run-off – locality 1



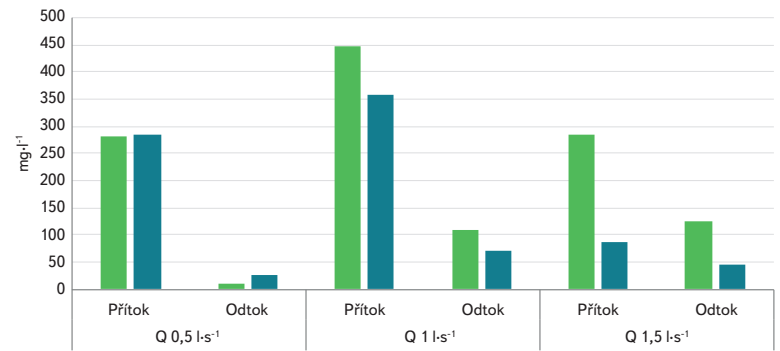
Obr. 4. Pohled na splach – lokalita 2  
Fig. 4. View of the run-off – locality 2



Obr. 5. Pohled na utěsněnou vpust' (lokalita 2)  
Fig. 5. View of a sealed drain (locality 2)

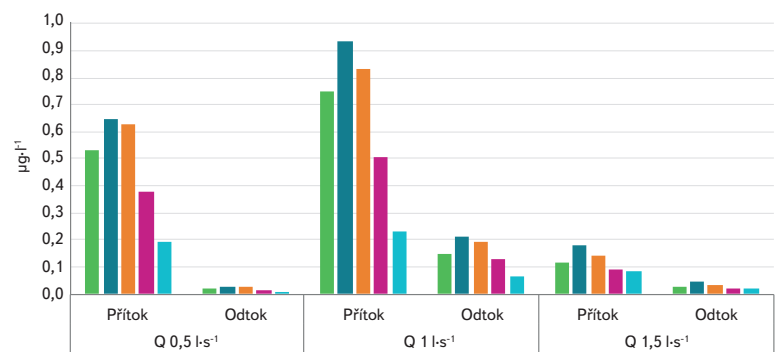


Obr. 6. Pohled na testování – lokalita 2  
Fig. 6. View of the testing – locality 2



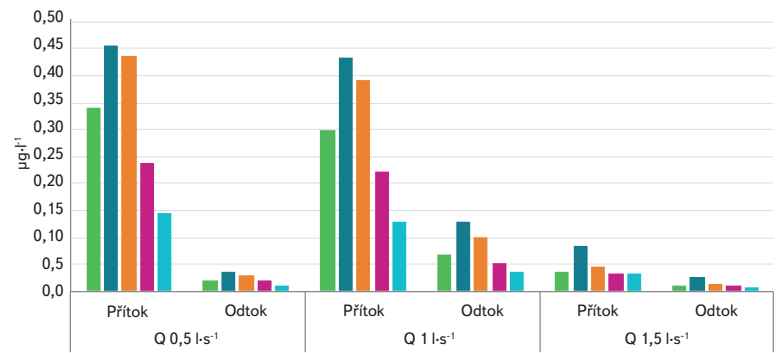
Lokalita 1 Lokalita 2

Obr. 7. Průměrné koncentrace NL na přítoku a odtoku – porovnání obou lokalit  
Fig. 7. Inflow and outflow suspended solids average concentrations – comparison between localities 1 and 2



Fenanthren Fluoranthen Pyren Benzo(a)anthracen Chrysen

Obr. 8. Průměrné koncentrace významných PAU na přítoku a odtoku – lokalita 1  
Fig. 8. Average concentrations of significant PAH in influent and effluent – locality 1



Fenanthren Fluoranthen Pyren Benzo(a)anthracen Chrysen

Obr. 9. Průměrné koncentrace významných PAU na přítoku a odtoku – lokalita 2  
Fig. 9. Average concentrations of significant PAH in influent and effluent – locality 2

Zkoumaná plocha byla postříkávána vodou z hydrantu tak, aby bylo rovnoměrně skrápěno celé vytyčené území, z něhož voda stékala k vybrané kanalizační vpusti (obr. 3 a 4). Na vpusti byl vyjmut poklop, ucpávkou utěsněn odtok do kanalizace (obr. 5) a stékající voda byla ihned ze vpusti kalovým čerpadlem přiváděna do přítokové části prototypu. Přítoková hadice byla osazena průtokoměrem s regulovatelným uzávěrem. Pohled na testování je znázorněn na obr. 6. Na základě zpracování hydrodynamického matematického modelování a zkušeností z pilotní fáze testování prototypu v laboratorních podmínkách byla navržena celková délka zkoušení 15 minut. Program odběru vzorků reflektoval předpoklad, že největší množství NL je ze zpevněné plochy spláchnuto

Tab. 1. Hodnoty NL stanovené na přítoku a odtoku na lokalitě 1

Tab. 1. Suspended solids concentration values determined in influent and effluent at locality 1

Čas odběru min.	Místo odběru	Q 0,5 l·s <sup>-1</sup> [mg·l <sup>-1</sup> ]	Q 1 l·s <sup>-1</sup> [mg·l <sup>-1</sup> ]	Q 1,5 l·s <sup>-1</sup> [mg·l <sup>-1</sup> ]
1.	Přítok	230	820	510
3.	Přítok	240	740	290
9.	Přítok	270	150	240
15.	Přítok	390	84	100
<b>Průměr</b>	<b>Přítok</b>	<b>283</b>	<b>449</b>	<b>285</b>
1.	Odtok	8,8	54	60
3.	Odtok	5,2	31	94
9.	Odtok	6,0	160	170
15.	Odtok	25	190	170
<b>Průměr</b>	<b>Odtok</b>	<b>11</b>	<b>109</b>	<b>124</b>

v první fázi deště a poté se množství NL již snižuje. Vzorky na stanovení PAU, těžkých kovů a NL byly odebírány na přítoku a odtoku do prototypu současně jako prosté vzorky přímo do vzorkovnice v 1., 3., 9. a 15. minutě. Stanovení NL vycházelo z postupu vypracovaného na základě normy ČNS EN 872.

## VÝSLEDKY A DISKUZE

Je známo, že se zvyšující se intenzitou srážky roste i intenzita splachu a mohou se potenciálně odplavit i větší části znečištění, takže teoreticky by mělo platit, že čím větší je intenzita srážky, tím větší znečištění na přítoku může být. Nicméně vzhledem k uplatněné metodice experimentů, kdy byly používány simulované srážky na lokalitách, nebylo možné dosáhnout vždy stejných počátečních podmínek (stejný počet bezdeštných dnů, stejné zatížení plochy sledovanými látkami). Pro řešení projektu byl za bezdeštný den považován takový den, jehož denní úhrn srážek nepřesahoval 0,25 mm (aby nedocházelo k odtoku znečištění do kanalizace). Rozdíly v počátečních koncentracích NL jsou patrné z výsledků na obr. 7, kdy jejich nejvyšší koncentrace byla detekována při průtoku 1 l·s<sup>-1</sup>.

Tab. 2. Hodnoty NL stanovené na přítoku a odtoku na lokalitě 2

Tab. 2. Suspended solids concentration values determined in influent and effluent at locality 2

Čas odběru min.	Místo odběru	Q 0,5 l·s <sup>-1</sup> [mg·l <sup>-1</sup> ]	Q 1 l·s <sup>-1</sup> [mg·l <sup>-1</sup> ]	Q 1,5 l·s <sup>-1</sup> [mg·l <sup>-1</sup> ]
1.	Přítok	290	530	100
3.	Přítok	330	580	150
9.	Přítok	260	240	50
15.	Přítok	260	82	42
<b>Průměr</b>	<b>Přítok</b>	<b>285</b>	<b>358</b>	<b>86</b>
1.	Odtok	23	16	41
3.	Odtok	15	15	32
9.	Odtok	16	86	53
15.	Odtok	44	170	50
<b>Průměr</b>	<b>Odtok</b>	<b>25</b>	<b>72</b>	<b>44</b>

V rámci terénního testování bylo nejvíce bezdeštných dní zaznamenáno před prvním splachem (Q 0,5 l·s<sup>-1</sup>), tento splach se prováděl 8. den bez srážek, druhý splach (Q 1 l·s<sup>-1</sup>) 7. den a třetí splach (Q 1,5 l·s<sup>-1</sup>) se uskutečnil 4. bezdeštný den. Také mezi prvním a druhým splachem byla větší prodleva (70 dní) než mezi druhým a třetím splachem (19 dní). Z tohoto důvodu je obtížné, ne-li nemožné, porovnávat vstupní koncentrace znečištění mezi sebou.

Pohled na rozložení zaznamenaného znečištění (zde reprezentováno NL) v průběhu vlastního splachu prezentují tab. 1 a 2. Oproti očekávání, že s postupem času se budou koncentrace NL v přítoku snižovat, je v těchto výsledcích patrná určitá anomálie u lokality 1, kdy se množství NL ke konci splachu při nejnižším průtoku zvyšovalo. To je pravděpodobně ovlivněno nerovnoměrným zatížením plochy znečišťujícími látkami, kdy se část znečištění mohla spláchnout později. V dalších dvou měřeních a na obou lokalitách již podle předpokladu koncentrace NL s přibývajícím časem klesá. Hodnoty koncentrací v odtoku ze separačního zařízení mají opačnou tendenci, tedy se s postupem času zvyšují, což je dáno dobou zdržení znečištění v separátoru. Z výsledků je také patrné, že průtok, který bude v reálu odpovídat intenzitě srážky, má vliv na separační účinnost zařízení. Při vyšším průtoku se zhoršují podmínky pro sedimentaci NL, jež se vyplavují ve vyšší míře v porovnání s výsledky dosaženými

Tab. 3. Srovnání koncentrací těžkých kovů na přítoku a odtoku na lokalitě 1 – průměrné koncentrace za celý test

Tab. 3. Comparison of heavy metals concentrations in influent and effluent at locality 1 – average concentrations measured during the test

Q [l·s <sup>-1</sup> ]	Místo odběru	Arsen [μg·l <sup>-1</sup> ]	Kadmium [μg·l <sup>-1</sup> ]	Olovo [μg·l <sup>-1</sup> ]	Chrom [μg·l <sup>-1</sup> ]	Měď [μg·l <sup>-1</sup> ]	Nikl [μg·l <sup>-1</sup> ]	Zinek [μg·l <sup>-1</sup> ]
0,5	Přítok	2,26	0,34	24,5	4,0	29,5	9,0	693
0,5	Odtok	0,5	0,05	0,93	1,5	4,0	4,0	31,3
1	Přítok	2,74	0,36	38,1	5,8	38,0	9,5	1091
1	Odtok	0,9	0,11	6,59	1,9	8,5	4,0	199
1,5	Přítok	2,04	0,22	19,0	2,5	13,5	8,8	884
1,5	Odtok	0,90	0,05	1,96	1,5	4,0	4,0	43,5

Tab. 4. Srovnání koncentrací těžkých kovů na přítoku a odtoku na lokalitě 2 – průměrné koncentrace za celý test

Tab. 4. Comparison of heavy metals concentrations in influent and effluent at locality 2 – average concentrations measured during the test

Q [ $l \cdot s^{-1}$ ]	Místo odběru	Arsen [ $\mu g \cdot l^{-1}$ ]	Kadmium [ $\mu g \cdot l^{-1}$ ]	Olovo [ $\mu g \cdot l^{-1}$ ]	Chrom [ $\mu g \cdot l^{-1}$ ]	Měď [ $\mu g \cdot l^{-1}$ ]	Nikl [ $\mu g \cdot l^{-1}$ ]	Zinek [ $\mu g \cdot l^{-1}$ ]
0,5	Přítok	2,88	0,37	20,2	5,75	27,8	9,25	212
0,5	Odtok	0,63	0,05	1,38	1,5	4,0	4,0	36,3
1	Přítok	2,63	0,23	19,8	5,88	28,8	10,8	254
1	Odtok	1,01	0,09	3,96	1,88	7,0	4,0	64,8
1,5	Přítok	1,96	0,10	10,1	1,5	8,0	5,0	119
1,5	Odtok	0,90	0,05	1,96	1,5	4,0	4,0	43,5

Tab. 5. Srovnání koncentrací PAU na přítoku a odtoku na lokalitě 1 – průměrné koncentrace za celý test

Tab. 5. Comparison of PAH concentrations in influent and effluent at locality 1 – average concentrations measured during the test

Q [ $l \cdot s^{-1}$ ]	Místo odběru	Suma všech PAU [ $\mu g \cdot l^{-1}$ ]	Fenanthren [ $\mu g \cdot l^{-1}$ ]	Fluoranthren [ $\mu g \cdot l^{-1}$ ]	Pyren [ $\mu g \cdot l^{-1}$ ]	Benzo(a)anthracen [ $\mu g \cdot l^{-1}$ ]	Chrysen [ $\mu g \cdot l^{-1}$ ]
0,5	Přítok	3,30	0,53	0,65	0,63	0,38	0,19
0,5	Odtok	0,14	0,02	0,03	0,02	0,01	0,01
1	Přítok	4,35	0,75	0,93	0,83	0,51	0,23
1	Odtok	1,12	0,15	0,21	0,19	0,13	0,07
1,5	Přítok	1,07	0,11	0,18	0,14	0,09	0,08
1,5	Odtok	0,25	0,03	0,05	0,03	0,02	0,02

Tab. 6. Srovnání koncentrací PAU na přítoku a odtoku na lokalitě 2 – průměrné koncentrace za celý test

Tab. 6. Comparison of PAH concentrations in influent and effluent at locality 2 – average concentrations measured during the test

Q [ $l \cdot s^{-1}$ ]	Místo odběru	Suma všech PAU [ $\mu g \cdot l^{-1}$ ]	Fenanthren [ $\mu g \cdot l^{-1}$ ]	Fluoranthren [ $\mu g \cdot l^{-1}$ ]	Pyren [ $\mu g \cdot l^{-1}$ ]	Benzo(a)anthracen [ $\mu g \cdot l^{-1}$ ]	Chrysen [ $\mu g \cdot l^{-1}$ ]
0,5	Přítok	2,33	0,34	0,45	0,44	0,24	0,14
0,5	Odtok	0,18	0,02	0,04	0,03	0,02	0,01
1	Přítok	2,13	0,30	0,43	0,39	0,22	0,13
1	Odtok	0,57	0,07	0,13	0,10	0,05	0,04
1,5	Přítok	0,39	0,04	0,08	0,04	0,03	0,03
1,5	Odtok	0,11	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01

Tab. 7. Pearsonův korelační koeficient; výstup pro NL a těžké kovy

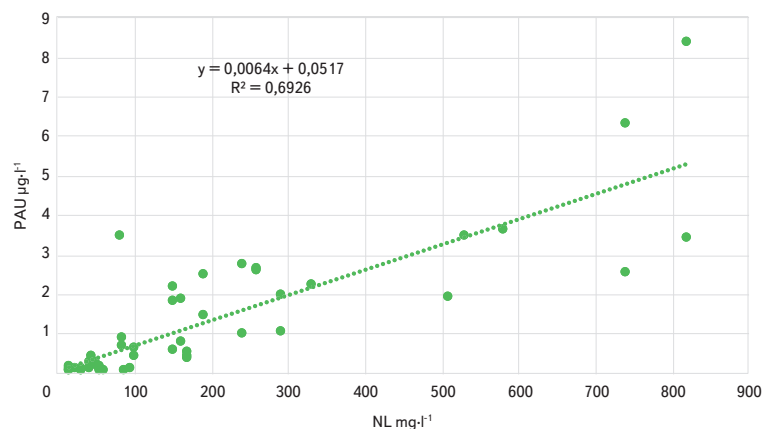
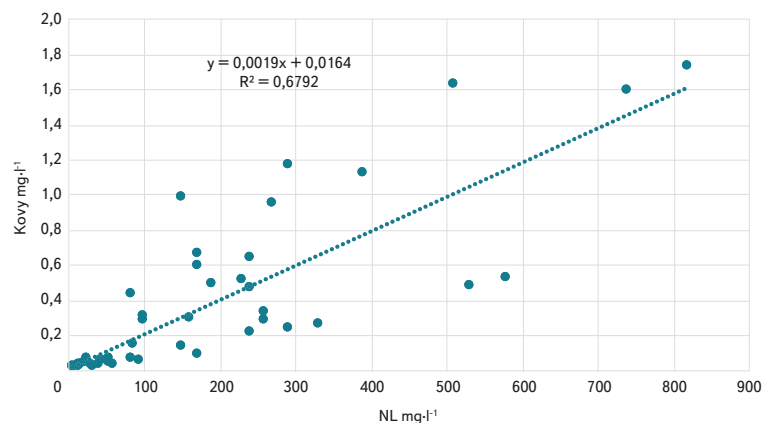
Tab. 7. Pearson correlation coefficient; output for suspended solids and heavy metals

	Suma všech kovů	Arsen	Kadmium	Olovo	Chrom	Měď	Nikl	Zinek
<b>NL</b>	0,82	0,85	0,81	0,94	0,78	0,91	0,90	0,79

Tab. 8. Pearsonův korelační koeficient; výstup pro NL a PAU

Tab. 8. Pearson correlation coefficient; output for suspended solids and PAH

	Suma všech PAU	Fenanthren	Fluoranthen	Pyren	Benzo(a)anthracen	Chrysen
NL	0,83	0,80	0,83	0,82	0,80	0,86

Obr. 10. Grafické znázornění vztahu mezi koncentracemi NL a PAU (suma všech PAU)  
Fig. 10. Graphical relation between suspended solids and PAH concentrations (the sum of all PAH)Obr. 11. Grafické znázornění vztahu mezi koncentracemi NL a těžkých kovů (suma všech těžkých kovů)  
Fig. 11. Graphical relation between suspended solids and heavy metals concentrations (the sum of all heavy metals)

při nižších průtocích. Ze zařízení se vyplavují zejména hůře sedimentující malé částice (< 0,09 mm), což bylo na tomto zařízení již dříve odzkoušeno v laboratorních podmínkách [8].

Ze všech uvedených výsledků (tab. 1 až 6) je patrné, že lokalita 1 byla více zatížena sledovaným znečištěním než lokalita 2. K rozdílu v kumulovaném znečištění dochází pravděpodobně vlivem většího zatížení lokality 1 při manipulaci nákladních aut (otáčení, krátkodobé stání s mnohdy nastartovaným motorem).

V tab. 3 a 4 je přehled analyzovaných kovů z obou lokalit. Jsou zde uvedeny průměrné koncentrace za celou dobu testu z přítoku a odtoku ze separačního zařízení. Výsledky jsou uvedeny pro všechny tři testované průtoky. Z kovů na obou lokalitách nejvíce dominovaly koncentrace zinku, které mnohonásobně převyšovaly koncentrace ostatních kovů. Vyšších hodnot dále dosahovaly měď a olovo. Pro výpočet průměrů u hodnot pod mezí stanovitelnosti byla použita metoda podle vyhlášky č. 98/2011 Sb., kdy se hodnota pod mezí stanovitelnosti

nahrazuje její polovinou. Suma PAU uvedená v tab. 5, 6 a 8 zahrnuje všechny analyzované PAU: naftalen, acenaften, fluoren, fenanthren, antracen, fluoranthen, pyren, benzo(a)anthracen, chrysen, benzo(b)fluoranthen, benzo(k)fluoranthen, benzo(a)pyren, benzo(g,h,i)perylene, dibenzo(a,h)anthracen a indeno(1,2,3,c,d)pyren. V tab. 5 a 6 (pro lepší názornost i obr. 8 a 9) jsou uvedeny průměrné koncentrace významných PAU. Stabilně se v analyzovaných vzorcích vyskytovaly nejvyšší koncentrace fluoranthenu a pyrenu. Nejvyšší koncentrace kovů i PAU byly analyzovány stejně jako u NL při druhém splachu (Q 1 l·s<sup>-1</sup>).

Již výše uvedené výsledky naznačují, že koncentrace NL, těžkých kovů a PAU spolu souvisí. Tato souvislost byla otestována jednoduchou lineární regresí a korelačním Pearsonovým koeficientem R<sup>2</sup>. V tab. 7 a 8 jsou uvedeny hodnoty R<sup>2</sup> mezi NL a těžkými kovy a mezi NL a PAU. U těžkých kovů i PAU se hodnoty pohybují kolem 0,8, což značí silnou lineární závislost mezi koncentrací NL a PAU a mezi koncentracemi NL a testovanými těžkými kovy. Čím byla ve vzorku stanovena vyšší koncentrace NL, tím byly stanoveny i vyšší koncentrace sledovaných těžkých kovů, popřípadě PAU. Na obr. 10 je graficky znázorněn vztah mezi NL a těžkými kovy z pohledu lineární regrese. Koeficient determinace u těžkých kovů dosahuje hodnoty 0,679. Z toho vyplývá, že stanovené koncentrace kovů bylo možno lineární regresi vysvětlit z 67,9 % pomocí naměřených koncentrací NL. U PAU (obr. 11) to lze vysvětlit z 69,3 %.

Na základě získaných výsledků jsme ověřili, že separaci NL se významně snižuje znečištění těchto vod PAU a těžkými kovy. V literatuře se však objevují i názory, že u těchto látek dochází nejen k adsorpci na pevné částice, ale také k agregaci a tvorbě shluků [6, 9, 10].

## ZÁVĚR

Zvolený způsob řešení na počátku projektu vycházel z předpokladu, že významná část PAU a těžkých kovů je sorbována na pevných částicích, a odstranění NL je tak významným nástrojem k omezení vstupu PAU do vodního prostředí. Vyvinuté separační zařízení bylo odzkoušeno v pilotní fázi v modelovém měřítku, následně byla provedena série testování prototypu v terénních podmínkách na dvou lokalitách. Lokality představovaly parkoviště a zpevněná plocha s denním využíváním vozidly silniční dopravy. Prototyp zařízení byl testován při třech zvolených průtocích (0,5 l·s<sup>-1</sup>, 1 l·s<sup>-1</sup> a 1,5 l·s<sup>-1</sup>). Při simulaci srážkových splachů vybraných ploch bylo potvrzeno, že PAU a těžké kovy se dominantně vyskytují ve vzorcích s NL a že nejvíce těchto látek je smyto na začátku trvání srážkové činnosti. Výsledky dosažené našim šetřením byly v souladu s výše citovanými zahraničními studiemi. Silná lineární závislost mezi koncentrací NL a PAU a mezi koncentracemi NL a testovanými těžkými kovy byla potvrzena Pearsonovým korelačním koeficientem, jehož hodnota oscilovala kolem 0,8. Zjištěné závěry byly použity jako podklad pro následné komerční uplatnění separačního zařízení.

## Poděkování

Článek vznikl řešením výzkumného projektu „Technologie separace specifických polutantů ze srážkových vod“ (TH03030223). Projekt byl realizován za finanční podpory Technologické agentury České republiky.

## Literatura

- [1] ROMMEL, S. H., L. GELHARDT, A. WELKER a B. HELMREICH. Settling of Road-Deposited Sediment: Influence of Particle Density, Shape, Low Temperatures, and Deicing Salt. *Water* [on-line]. 2020, roč. 12, č. 11, s. 3126. ISSN 2073-4441. Dostupné z: doi:10.3390/w12113126
- [2] DJUKIĆ, A., B. LEKIĆ, V. RAJAKOVIĆ-OGNJANOVIĆ, D. VELJOVIĆ, T. VULIĆ, M. DJOLIĆ, Z. NAUNOVIĆ, J. DESPOTOVIĆ a D. PRODANOVIĆ. Further insight into the mechanism of heavy metals partitioning in stormwater runoff. *Journal of Environmental Management* [on-line]. 2016, roč. 168, s. 104–110. ISSN 0301-4797. Dostupné z: doi: 10.1016/j.jenvman.2015.11.035
- [3] LEE, J. Y. Characteristics of run-off quality and pollution loading from a highway toll-gate. *Environmental Technology* [on-line]. 2012, roč. 33, č. 3, s. 373–379. ISSN 0959-3330. Dostupné z: doi:10.1080/09593330.2011.575185
- [4] BLONDEEL, E., S. D. WANDEL, R. FLORIN, S. HUGELIER, M. CHYS, V. DEPUYDT, K. FOLENS, G. D. LAING, A. VERLIEFDE a S.W.H.V. HULLE. Physical–chemical treatment of rainwater runoff in recovery and recycling companies: lab-scale investigation. *Environmental Technology* [on-line]. 2018, roč. 39, č. 17, s. 2251–2265. ISSN 0959-3330. Dostupné z: doi: 10.1080/09593330.2017.1354074
- [5] LI, Y., S.-L. LAU, M. KAYHANIAN a M. STENSTROM. Particle Size Distribution in Highway Runoff. *Journal of Environmental Engineering-asce – J ENVIRON ENG-ASCE* [on-line]. 2005, roč. 131. Dostupné z: doi: 10.1061/(ASCE)0733-9372(2005)131:9(1267)
- [6] ČEJKOVÁ, J., A. KÓLOVÁ, J. KUČERA, M. VÁŇA, M. HOLBA a P. POLÁŠEK. Znečištění srážkových vod vybranými polutanty a jejich následné odstranění. In: *Sborník přednášek a posterových sdělení 13. biennialní konference VODA 2019*. CzWA. 2019. ISBN ISSN: 2694-7013.
- [7] BLONDEEL, E., M. CHYS, V. DEPUYDT, K. FOLENS, G. DU LAING, A. VERLIEFDE a S. W. H. VAN HULLE. Leaching behaviour of different scrap materials at recovery and recycling companies: Full-, pilot- and lab-scale investigation. *Waste Management* [on-line]. 2014, roč. 34, č. 12, s. 2674–2686. ISSN 0956-053X. Dostupné z: doi: 10.1016/j.wasman.2014.08.019
- [8] ČEJKOVÁ, J., A. KÓLOVÁ, J. KUČERA, M. VÁŇA, M. HOLBA a P. POLÁŠEK. Odstranění nerozpuštěných látek a vybraných polutantů ze srážkových vod. *Vodní hospodářství*. 2021, roč. 71, č. 1, s. str. 1–4. ISSN 1211-0760.
- [9] DOUBEN, P. E. T. *PAHs: An Ecotoxicological Perspective*. B. m.: John Wiley & Sons, 2003. ISBN 978-0-470-86429-6.
- [10] BLONDEEL, E., V. DEPUYDT, J. CORNELIS, M. CHYS, A. VERLIEFDE a S. W. H. V. HULLE. Physical-chemical treatment of rainwater runoff in recovery and recycling companies: Pilot-scale optimization. *Journal of Environmental Science and Health, Part A* [on-line]. 2015, roč. 50, č. 11, s. 1083–1098. ISSN 1093-4529. Dostupné z: doi: 10.1080/10934529.2015.1047645

## Autoři

### Ing. Jana Čejková<sup>1</sup>

✉ jana.cejkova@vuv.cz

ORCID: 0000-0001-9539-9031

### Ing. Anna Kólová<sup>1</sup>

✉ anna.kolova@vuv.cz

ORCID: 0000-0002-8610-1501

### Ing. Jiří Kučera<sup>1</sup>

✉ jiri.kucera@vuv.cz

ORCID: 0000-0002-7540-4750

### Ing. Miroslav Váňa<sup>1</sup>

✉ miroslav.vana@vuv.cz

ORCID: 0000-0003-3367-8734

### Ing. Marek Holba Ph.D.<sup>2</sup>

✉ holba@asio.cz

### Pavel Polášek<sup>2</sup>

✉ polasek@asio.cz

<sup>1</sup>Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka

<sup>2</sup>ASIO TECH, spol. s r. o.

Príspevek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2021.05.002

## TESTING OF A PROTOTYPE SEPARATION DEVICE DESIGNED FOR RAINWATER TREATMENT

**ČEJKOVÁ, J.<sup>1</sup>; KOLOVA, A.<sup>1</sup>; KUČERA, J.<sup>1</sup>; VANA, M.<sup>1</sup>; HOLBA, M.<sup>2</sup>; POLÁSEK, P.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>T. G. Masaryk Water Research Institute

<sup>2</sup>ASIO TECH, Ltd.

**Keywords:** rainwater treatment – stormwater run-off – pollutants separation – suspended solids – polycyclic aromatic hydrocarbons – heavy metals

The article summarizes the knowledge obtained from the project „Technology of separation of specific pollutants from stormwater“ (TH03030223), addressed to the treatment of rainwater from paved areas and roads polluted by suspended solids, polycyclic aromatic hydrocarbons, and heavy metals. The aim of the project was to develop an efficient technology able to separate these pollutants from rainwater. The separation device (tested first on a model-scale and then on a pilot-scale, in a location) has proved its effectiveness in capturing suspended solids. The tests performed on the separation device confirmed the assumption stated in the literature that the removal of suspended solids significantly reduces the effluent concentration of polyaromatic hydrocarbons and heavy metals. The device based on the principle of suspended solids separation contributes to reducing a load of surface or groundwater by other pollutants, especially polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals.