BIODIVERZITA V SYSTÉMU WETLAND+: PASIVNÍ ŘEŠENÍ PRO SKLÁDKOVÉ ODPADNÍ VODY S HCH

Aday Amirbekov <aday.amirbekov@tul.cz>, Alena Ševců

Hexachlorocyklohexanové izomery (HCH) jsou dlouhodobě zakázané pesticidy. I když je jejich používání po desetiletí zakázáno, jejich přítomnost v životním prostředí je stále celosvětově hlášena. Wetland+® je registrovaná ochranná známka technologie sanační úpravy sestávající z aerobní sedimentační nádrže, propustné reaktivní bariéry, biosorpčního systému a aerobního mokřadu. Tato osvědčená metoda kombinuje redukční úpravu známou z PRB s přirozenými procesy mokřadů pro dočištění pomocí . Průměrná účinnost systému je 96,8 % pro chlorbenzeny (ClB) a 81,7 % pro HCH během prvních dvanácti měsíců provozu systému. Přítomnost genů kódujících enzymy podílející se na degradaci sloučenin HCH ukazuje, že k odstranění HCH a ClB dochází nejenchemickou degradací, ale také aerobní,anaerobní a kombinovanou biodegradací. Změny v abundanci a složení společenstva rozsivek byly shledány vhodným indikátorem kvality vody a dopadu provozu Wetland+® na vodní ekosystém.

Klíčová slova: HCH; lindan; biodegradace; vybudovaný mokřad; biomonitoring životního prostředí; fytobentos; bioindikátory

ÚVOD

Hexachlorcyklohexanové (HCH) izomery (α, β, γ, δ, ε) a jejich transformační produkty, jako jsou například chlorbenzeny (ClB), způsobují vážné a přetrvávající environmentální problémy na mnoha místech po celém světě. V případě únikůtěchto látek může být následné češtění nákladné při použití konvenčních čistíren odpadních vod (ČOV), zejména ve vzdálených lokalitách. Konvenční ČOV má také relativně vysokou související zátěž na údržbu a správu, což může také zvýšit rizika selhání/přerušení procesu v průběhu desetiletí, kdy musí takový systém fungovat. Alternativně jsme navrhli robustní, nenáročný na údržbu a udržitelný systém čištění, který je levnější než konvenční ČOV a lze jej realizovat ve vzdálených lokalitách, kde je omezený přístup k infrastruktuře. na lokalitě Hájek (Česká republika) byl v rámci projektu LIFEPOPWAT instalován prototyp v plném rozsahu s názvem „Wetland+®“, založený na integrovaných reaktivních zónách s vybudovaným mokřadem jako posledním čistícím krokem. Hlavním cílem této studie je informovat o počáteční výkonnosti čerstvě vybudovaného systému čištění před a během první vegetační sezóny.

METODIKA

Tato studie se uskutečnila na Hájku, Česká republika (50°17’31,5” N 12°53’35,2” E). Lokalita Hájek se nachází v západních Čechách nedaleko Karlových Varů. Od 1960 bylo na výsypku lomu Hájek uloženo cca 3-5 tis. tun zbytkových balastních izomerů HCH a ClB. Systém Wetland+® byl instalován v září 2021. Skládá se z následujících částí zapojených do série: provzdušňovací a sedimentační modul (A), propustná reaktivní bariéra (B), biosorpční modul (C) a aerobní mokřadní systém (D).

Obrázek 1. Moduly Wetland+®. Vstup (S), systém provzdušňování včetně sedimentace (A), systém propustné reaktivní bariéry (B), modul biosorpce (C) a systém aerobních mokřadů (D).

Vzorky vody byly odebírány na výtoku jednotlivých modulů Wetland+® a analyzovány na fyzikálně-chemické parametry, molekulárně-biologické parametry, na analýzu rozsivek a chemickou analýzu. Chemická analýza zahrnovala použití sestav GC-MS ke stanovení koncentrace izomerů HCH a jejich vedlejších produktů, zatímco analýza molekulární

biologie zahrnovala extrakci DNA a qPCR reakce k posouzení mikrobiální abundance a diverzity. Nakonec byla vypočtena účinnost čistícího systému Wetland+® pro odstraňování HCH a ClB na základě přítokových a odtokových koncentrací za roční období.

VÝSLEDKY A DISKUZE

V této kapitole je popsáno řešení zadaného problému, vlastní výsledky a jejich diskuse. Přitékající drenážní voda (S) vykazovala stabilní vlastnosti s průměrným pH 6,6, vodivostí 1719 µS cm-1 a zpočátku anoxickými podmínkami. Kontakt s atmosférou však vedl ke zvýšení redoxního potenciálu a obsahu kyslíku. Voda obsahovala vysoké koncentrace síranů (598 mg L−1) a celkového Fe (24,3 mg L−1), zatímco F−, NO2− a NO3− byly pod hranicí detekce. V přitékající vodě byly v průměru naměřeny koncentrace HCH a ClB 136,2 a 604,6 µg L−1, s průměrným průtokem kolem 2 l/s. Během 12 měsíců bylo z drenážní vody odstraněno 5,9 kg HCH a 26,0 kg ClB s různou účinností odstraňování pro jednotlivé izomery HCH. Skupina ClB v přítoku obsahovala hlavně 1,4-diClB > 1,3-diClB > 1,2,4-triClB > 1,2-diClB > 1,3,5-triClB a menší koncentrace dalších sloučenin ClB. Čistící systém byl účinnější v odstraňování sloučenin di-ClB ve srovnání se sloučeninami tri-ClB, což vedlo k jejich vyváženému poměru na odtoku. V systému bylo v roce 2021 a 2022 detekováno 125 taxonů rozsivek (Diatomeae) v s různým počtem druhů a hodnotami Shannon indexu diverzity napříč místem odběru vzorků. Ostrovský potok vykazoval v průběhu let nárůst počtu druhů, přičemž nejvyšší diverzita byla pozorována v roce 2021. Častými druhy byly Gomphonema parvulum, Cymbella lange-bertalotii, Navicula lanceolata a Nitzschia linearis. V systému Wetland+® bylo v srpnu 2022 nalezeno 34 druhů s nejvyšším počtem druhů v modulu D3. Výsledky qPCR ukázaly na přítomnost genů zapojených do aerobní biodegradace HCH (linA, linB, linB-RT, linD) ve všech vzorcích, s nejvyšší abundancí genu U16SRT ve výstupu z aerobního mokřadu (modul D). Abundance genů linA, linB-RT a linD byla nejvyšší na výstupu ze systému. Modul C vykazoval zvýšené hladiny genů lin. Relativní četnost Dehalococcoides spp. (DHC) byla nejvyšší v přítoku (profil S) a modulech A a B a postupně klesala v modulech C a D ve směru proudění vody. Mikrobiální profilování odhalilo vysokou četnost bakterií z rodů Galionella a Canditatus_Omnitrophus s klesajícím trendem ke konci mokřadního systému. Modul D byl bohatý na bakterie z rodů Massilia, Rhodoferax, Hydrogenophaga, Flavobacterium, Caulobacter a Bacteriovorax. Rody Desulfovibrio a Desulfosporosinus redukující sírany byly hojnější ve všech modulech kromě přítokové vody (S) a modulu A. Četnost čeledi Oxalobacteraceae, čeledi Comamonadaceae a Pseudarcobacter narůstala v modulech C1, C2 a D.

ZÁVĚR

Systém prokázal působivou účinnost odstraňování - v průměru se jednalo o 96,8 % pro ClB a 81,7 % pro HCH za dvanáct měsíců provozu. Výsledky qPCR zdůraznily přítomnost robustní mikrobiální komunity v systému s nejvyšší celkovou mikrobiální biomasou (gen U16SRT) a množstvím genů souvisejících s biodegradací HCH (linA, linB, linB-RT a linD) na výstupu z modulu D, tedy na výtupu aerobního mokřadu. To ukazuje na prevalenci aerobních mikroorganismů schopných biodegradace izomeru HCH v tomto modulu. Naproti tomu nejvyšší množství DHC, zodpovědného za anaerobní dechloraci HCH, bylo zjištěno v přítokové vodě a v modulech A a B, přičemž se ve směru proudění vody se jeho množství snižovalo. Složení mikrobiální komunity vykazovalo zajímavé trendy.Přítomnost *Galionella sp.* oxidující železo korelovala s hladinami rozpuštěného železa a *Desulfovibrio sp.* a *Desulfosporosinus sp.* byly hojněji zastoupeny v modulu B, potenciálně kvůli vyšším koncentracím síranu a dvojmocného železa. Modul D vykazoval bohatou rozmanitost bakterií, včetně *Massilia, Rhodoferax, Hydrogenophaga, Flavobacterium, Caulobacter* a *Bacteriovorax*, což ukazuje na různé metabolické mikrobiální procesy, které mohou přispívat k degradaci HCH. K pochopení jejich specifické role při odstraňování znečišťujících látek je zapotřebí dalšího výzkumu. Změny ve složení společenstva rozsivek a hustota buněk se ukázaly jako cenné indikátory kvality vody a vlivu systému Wetland+® na vodní ekosystém. Systém po 11 měsících provozu výrazně zvýšil druhovou diverzitu rozsivek v blízkých profilech Ostrovského potoka.

PODĚKOVÁNÍ

Tato práce byla podpořena programem EU Life v rámci projektu LIFEPOPWAT (č. LIFE18 ENV/CZ/000374) a projektu Studentské grantové soutěže (SGS) na Technické univerzitě v Liberci v roce 2023.

REFERENCE

Uveďte alespoň 3 použité reference (články, časopisy, webové stránky nebo knihy). Obvyklé formátování referencí je následující **Error! Reference source not found.**:

[1] Amirbekov, A., Mamirova, A., Sevcu, A., Spanek, R., and Hrabak, P. (2021) HCH Removal in a Biochar-Amended Biofilter. Water, 13(23), 3396.

[2] Lal, R., Pandey, G., Sharma, P., Kumari, K., Malhotra, S., Pandey, R., Raina, V., Kohler, H.-P. E., Holliger, C., Jackson, C., and Oakeshott, J. G. (2010) Biochemistry of Microbial Degradation of Hexachlorocyclohexane and Prospects for Bioremediation. Microbiology and Molecular Biology Reviews : MMBR, **74**(1), 58–80.