

Environmentálne hrozby rizikových látok a zmiernenie ich vplyvov na životné prostredie

Chmielewská, E.: Environmental Threats of Hazardous Compounds and Mitigation of their Impacts on the Environment. Životné prostredie, 2012, 46, 2, p. 93 – 97.

The chemical contamination of water, air and soil from a wide range of toxic derivatives, in particular heavy metals, aromatic molecules and dyes, is a serious environmental problem owing to their potential human toxicity. Therefore, there is a need to develop technologies that can remove toxic pollutants found in the human environment. Among all the treatments proposed, adsorption is one of the more popular methods for the removal of pollutants, however mostly from aqueous media. Heavy metals, aromatic compounds incl. phenolic derivatives and polycyclic aromatic compounds as well as unwanted dyes are often found in the environment as a result of their wide industrial uses. The main objective of this review is to provide recent information and advantages in current environmental protection efforts with accent to the Slovakian environment.

Key words: environmental pollution, progressive bioremediation techniques, heavy metals, organic toxins, inorganic nutrients, acidification and eutrofication

Prudký rozvoj priemyselnej výroby a výrobnotechnologických procesov na sklonku minulého storočia priniesol na trh enormný sortiment spotrebných produktov, čím na jednej strane síce zvýšil životnú úroveň obyvateľov, no na strane druhej o to viac zaťažil životné prostredie. Tento fenomén tak neovplyvnil kvalitu života, pretože vygeneroval nové, ba doposiaľ nepoznané problémy sprievodnej kontaminácie a ohrozenia zdravotného stavu obyvateľstva. V záujme vybalancovať tento spoločenský rozpor pri zabezpečení trvalo udržateľného rozvoja života je úlohou vedeckovýskumnej a environmentálnej komunity zabrániť tomuto trendu a rozvíjať nové a efektívnejšie sanačno-ozdravovacie procesy. Súčasne je však potrebné pripomenúť, že s rozvojom nových analytických techník je dnes možné identifikovať také submikroskopické koncentrácie látok a neznámych chemických zlúčenín, ktoré doposiaľ nebolo možné. Ich majoritná časť je pre človeka a životné prostredie nevhodná, ba až škodlivá. Podstatnou príčinou antropogénneho znečistenia je pretrvávajúca snaha vyrábať finálne produkty čo najekonomickjšie, pred nákladnou predúpravou východiskových surovín a materiálov. Znečisťovanie životného prostredia sa z ekonomického hľadiska stále chápe ako nesprávne riadený trh, ktorý nie je

schopný alokovať ani v najvyspelejších ekonomikách sveta potrebné finančné prostriedky pre nápravu a teda vytvára tzv. negatívne externality (Podkoscielny, Dabrowski, 2001).

Voda je jednou z najdôležitejších zložiek životného prostredia a jej spotreba neustále stúpa, a to nielen so zvyšujúcim sa štandardom obyvateľstva, ale aj demografickým prírastkom populácie na Zemi. Závažným problémom sa stáva eutrofizácia povrchových vôd spôsobená najmä dusičnanmi a fosforečnanmi, ktoré majú pôvod v intenzifikácii poľnohospodárskej výroby a používaní priemyselných hnojív. Dávkovaním týchto priemyselných produktov, ale aj vplyvom samotnej priemyselnej činnosti, sa do životného prostredia dostávajú mnohé cudzorodé látky a zlúčeniny, ako napr. skleníkové plyny, freóny, perzistentné organické polutanty (POP), ťažké kovy, pesticídy, prach, fotochemický smog, detergenty, nitrozoamíny, polyaromatické uhľovodíky (PAU) a podobné syntetické organohalogeny. Fenolické zlúčeniny ako chlórphenol, trihalogénmetány a iné, ktoré môžu byť produktmi reakcií dezinfekčných prostriedkov a humínových látok, resp. iných živočíšnych metabolitov, sú preukázateľne karcinogénne.

Podľa historických analýz je adsorpcia ako separačná metóda pre oddeľovanie plynných alebo

kvapalných polutantov známa už od čias antiky. Súčasná moderná adsorpcia, založená na Langmuirovej teórii a chémii povrchov, sa odhaduje na cca 80 rokov. Svoju autonómiu ako vedná disciplína si udržiava aj zásluhou enormnej komplexnosti fenoménu samotnej adsorpcie a fázového rozhrania látok, ale aj všeobecne každodennému výskytu tohto a príbuzných fenoménov v prírode a spotrebiteľskej praxi. Preto ju možno jednoznačne označiť ako technológiu 21. storočia. Stáva sa tiež kľúčovou metódou pri rozvoji progresívnej výroby ekologickej energie alebo inteligentných produktov novej generácie (tepelné čerpadlá, chladničky, transformátory, klimatické zariadenia, automobily) a aplikuje sa aj vo výskume vesmíru, čo pre budúci vývoj spoločnosti predstavuje istú intelektuálnu výzvu. K najprogresívnejším vedným disciplinám 21. storočia patrí tiež materiálová chémia (inžinierstvo) s bohatým arzenálom rôznych syntéz a zlúčenín, pretože dokáže v súčasnosti kreovať obrovské množstvá látok od tých najjednoduchších až po zložité, sofistikované alebo tzv. inteligentné high-tech produkty. Poznatky zo supramolekulárneho inžinierstva sú potom často východiskové pre dizajn nových polymolekulárnych útvarov, ako sú napr. supramolekulárne tekuté kryštály v mikroelektronike a soringu, ale aj pre vývoj a výrobu pokročilých adsorbentov so špeciálnymi povrchmi a interfázovým rozhraním v podobe povlakov, filmov, membrán, micel, gélov a pod. Predovšetkým súčasná supramolekulárna chémia, ktorá je interdisciplinárnym prienikom fyziky, biológie a tradičnej chémie, svojím progresívnym vývojom odráža mimoriadnu expanziu nových vedecko-technických poznatkov v spoločenskej praxi. Súčasne implementuje pokrokové analytické metódy, simulujúce hlbšiu percepciu prírodných zákonitostí ako paradigmy ďalšieho vývoja a molekulárnej „rekognoskácie“ hmoty, kde jednotlivé entity komplexne a hierarchicky integrované už nebyvajú navzájom asociované prostredníctvom tradičných kovalentných väzieb, ale zväčša pomocou dynamických, koordinačných donorovo-akceptorových, za stimulácie vonkajších environmentálnych faktorov tak, ako spektakulárne mechanizmy v prírode, s jej „par excellence“ homeostázou. Tieto deje vrátane samoreplikácie a amplifikácie, ktoré sú v zmysle Darwinovej teórie kľúčovými dejmi počas bioevolúcie hmoty, využívajú pri vývoji bioaktívnych supramolekulárnych látok, substancií, či substrátov generovaných a vzájomne integrovaných na molekulárnej úrovni, princípy kombinatoriky.

Toxické kovy

K zdrojom rôznych rizikových chemických prvkov (toxických kovov) patria horniny, popolčky, priemyselne hnojivá, kaly čistiarní odpadových vôd, sedimenty tokov a nádrží, antropogénne emisie a po-

lutanty z priemyslu a automobilizmu, zo spaľovní a neriadenej skládok odpadov a podobných činností. Prírodný zvýšený výskyt kovov je najmä v geochemických anomáliách. Na Slovensku sú najvýznamnejšími geochemickými anomáliami a teda potenciálnymi zdrojmi kovov Štiavnické vrchy a Slovenské rudohorie (Spiš a Gemer). V súčasnosti sú ich početné bane vyťažené, ale pozostatky v podobe hlušiny predstavujú stále veľké nebezpečenstvo pre široké okolie. Vplyvy priemyselnej expozície kovmi sú najčastejšie dokázané v okolí veľkých priemyselných závodov – Slovnaft Bratislava, Závod SNP Žiar nad Hronom, Kovohuty Krompachy, Ferozliatinové závody Istebné, Chemické závody Nováky, Armatúry Myjava, Niklová huta Sereď a stredný Zemplín.

Emisie toxických kovov majú na Slovensku od roku 1990 klesajúci trend a oproti roku 1990 sa ich koncentrácie znížili takmer o 60 %. Okrem odstavenia niektorých zastaraných a neefektívnych výrob a spaľovní odpadov, tento trend ovplyvnili rozsiahle rekonštrukcie odlučovacích zariadení, zmena používaných vstupných surovín a najmä prechod na používanie bezolovnatých benzínov. Ťažké kovy v ovzduší nie sú environmentálnym problémom jednej krajiny. V závislosti od klimatických podmienok sa môžu prenášať cez hranice štátov, ba aj transkontinentálne. Slovensko je signatárom *Protokolu o ťažkých kovoch k Dohovoru EHK OSN o diaľkovom znečisťovaní ovzdušia prechádzajúcim hranice štátov* (Aarhus, v roku 1998), medzi ktorého ciele patrí záväzok znížiť emisie ťažkých kovov (Pb, Cd, Hg) na úroveň z roku 1990. Napriek tomu, v niektorých sledovaných monitorovacích oblastiach jednotlivých zložiek životného prostredia (podzemných a povrchových vôd, atmosférických aerosólov, pôd) sú rizikové toxické kovy indikované v nadprípustných množstvách (As, Sb, Hg, Ni, Fe, Mn, Pb, Al). Jedná sa hlavne o historické banské oblasti spišsko-gemerského regiónu, Hornej Nitry, poľnohospodársky najintenzívnejšie využívané územia, ale aj ostrovčekovito niektoré časti Žitného ostrova a sedimenty najväčších tokov. Z Geochemického atlasu Slovenska (Čurlík, Šefčík, 1999) vyplýva, že pri As a Hg je najväčší počet vzoriek, ktoré prevyšujú indikačnú hodnotu (limit B), ba dokonca v niektorých prípadoch aj limit C, teda hodnoty povinného sanačného zákroku. Emisiami ťažkých kovov najviac postihnuté pôdy SR sú Horná Nitra, Stredný Spiš, Dolná Orava, Žiarska kotlina, Bratislava a Košice. Toky Dunaj, Váh, Hornád a Nitra majú v sedimentoch zvýšené koncentrácie Hg (Čurlík, Šefčík, 1999).

Práve u kovov, ktoré sú, žiaľ, v životnom prostredí perzistentné, prichádza do úvahy na zníženie ich nepriaznivých vplyvov voči biote a človeku, okrem konvenčných oxidačno-redukčných a zrážacích postupov, adsorpcia. Z ekonomického hľadiska má pre domácu aplikáciu a metal-katiónové špecie význam predo-

všetkým zeolit z priemyselného ložiska pri Nižnom Hrabovci (typ klinoptilolit), ktorý prejavuje selektívne vlastnosti ku katiónom kovov v nasledovnom poradí: Cs > Ag > Pb > Ba > Co > Zn > Cu > Fe.

Eutrofizácia a acidifikácia

Zhoršovanie kvality vôd v Európe je zapríčinené predovšetkým znečistením pochádzajúcim z troch hlavných zdrojov – z poľnohospodárskej výroby, z priemyslu a domácností. Kontaminácia povrchových vôd sa šíri jednak z bodových, ale aj z plošných zdrojov znečistenia. Svoju úlohu môžu zohrávať i nepredvídané prírodné udalosti, ako sú napr. extrémne privalové dažde a povodne, sopečná činnosť a pod. Na kontaminácii vôd sa však v značnej miere podieľajú tiež antropogénne podmienené katastrofické udalosti, akými sú havárie v železničnej a cestnej doprave, poruchy technologických zariadení v priemyselnej výrobe a pod. Dôsledky zhoršenia kvality vôd (zvýšený obsah dusičnanov, prítomnosť pesticídov, toxických kovov a patogénnych mikroorganizmov vo vodách) sa môžu prejaviť tak na ekologickej kvalite aquatických systémov (napr. eutrofizácii dôsledkom zvýšenej emisie nutrientov do vôd), ako aj na zhoršenom zdravotnom stave obyvateľstva.

Eutrofizácia stojatých a pomaly tečúcich vôd sa stala v posledných desaťročiach problémom nielen na Slovensku, ale aj globálne. Antropogénnym zdrojom živín vo vodách sú poľnohospodárske hnojivá, najmä dusičnanové a fosforečné, tiež pracie saponáty a detergenty, ktoré obsahujú 35 až 45 % fosforečnanov. V odpadových vodách je 40 až 60 % fosforu prítomného z detergentov, zvyšok má fekálny pôvod. Prírodný prísun anorganických živín z pôdnej erózie je v súčasnosti dvojnásobne vyšší, a to predovšetkým intenzifikáciou poľnohospodárskej veľkovýroby. Uvedené prúdky a neprírodné obohacovanie vôd biogénnymi látkami označujeme ako civilizačná a kultúrna eutrofizácia. Eutrofizácia zvyšuje vo vode primárnu produkciu fytoplanktónu (rias, siníc, cyanobaktérií, makrofyt). Zvýšená intenzita biologických procesov a následný rozklad odumretej fytohmoty sú spojené so spotrebou kyslíka, s produkciou látok toxických pre vodné organizmy, ako aj látok spôsobujúcich zdravotné problémy (alergické reakcie) u človeka. Na rozvoj eutrofizácie majú významný vplyv aj iné faktory, ako sú napr. prítomnosť tokov, výška vodnej hladiny, osvetlenie, teplota a ďalšie.

Slovensko sa stalo v roku 1993 sukcesorom *Protokolu o znižovaní emisií oxidov dusíka* a podpísalo *Protokol o znížení acidifikácie a eutrofizácie vo vodách a v pôde*, ktorý bol prijatý v roku 1999 v Göteborgu (znižiť emisie amoniaku do roku 2010 o 37 %, SO₂ o 80 %

NO₂ o 42 % a VOC – prchavé organické uhľovodíky o 6 % v porovnaní s rokom 1990). Povrchové vody na Slovensku sú v ukazovateli nutrientov zaradené prevažne do III. až V. triedy kvality. Príčinou tohto stavu je nedostatočné biologické či fyzikálno-chemické odstraňovanie nutrientov v čistiarňach odpadových vôd, kde sa len veľmi pomaly zavádza v rámci existujúcich biologických procesov nitrifikácia-denitrifikácia (N-D) a biologické odstraňovanie fosforu. Tieto biologické metódy sú citlivé voči nárazovosti zafaženia, rôznym fluktuáciám alebo výkyvom znečistenia, a preto nedokážu permanentne zabezpečovať vysokú účinnosť odstraňovania nutrientov z vôd (napr. v zimných mesiacoch). Nedostatočne čistené splaškové odpadové vody prinášajú so sebou do povrchových vôd jednak organické látky, ktoré odčerpávajú kyslík z povrchového toku, nežiaduce mikroorganizmy, ktoré spôsobujú nevhodnosť povrchovej vody na rôzne využitia najmä pre ľudskú potrebu, ale hlavne dodávajú do systému živiny N a P. Zatiaľ čo povrchové toky s veľkou prietokosťou majú dostatočnú asimilačnú kapacitu na vyrovnanie sa so zafažením, v podmienkach Slovenska majú recipienty odpadových vôd kapacitu nízku, navyše s vysokým odberom chladiarenských vôd pre priemyselné účely. Limitujúcim prvkom, ktorý riadi eutrofizačné procesy, je vo väčšine povrchových vôd na území Slovenska fosfor (Klinda, Lieskovská a kol., 2009). Obzvlášť znečistené je povodie rieky Morava, povodie Dunaja je kvôli celkovému železu a koliformným baktériám v najnižšej triede kvality. Významne znečistené v ukazovateľoch nutrienty, mikrobiologické a mikropolutanty sú aj rieky Nitra, Malý Dunaj, Hron, Ipeľ a Hornád.

Acidifikácia je proces, pri ktorom sa zvyšuje kyslosť abiotických zložiek životného prostredia. Znečisťujúce látky, predovšetkým oxidy síry a dusíka vypúšťané do ovzdušia zo stacionárnych a mobilných zdrojov, sa v atmosfére transformujú na kyselinu sírovú a dusičnú, čím produkujú kyslé zrážky. Následne okysľujú pôdu, vodu a vedú k zhoršovaniu zdravotného stavu organizmov, poškodzovaniu lesov, ako i k narušeniu konštrukčno-technického stavu budov a predovšetkým historických objektov. Vplyvom kyslých zrážok sa z pôdy vylúhujú, a tým strácajú niektoré živiny, ako sú napr. probiotické Ca, Mn, Na, K, navyše korene rastlín v kyslom prostredí ľahšie vstrebávajú toxické kovy. Závažným problémom je acidifikácia vodných útvarov a následný úhyn rýb, najmä lososov a pstruhov.

Prírodná kyslosť zrážkovej vody v rovnováhe s atmosférickým oxidom uhličitým má pH 5,65. Atmosférické zrážky sa klasifikujú ako kyslé vtedy, ak celkový náboj kyslých aniónov prevyšuje náboj katiónov a hodnota pH je nižšia ako 5,65. Síraný sa na kyslosti zrážkových vôd podieľajú asi 60 – 70 %

a dusičnany 25 – 30 %. Na Slovensku dominujú kyslé atmosférické zrážky pri pH hodnotách v rozsahu 4,5 – 5,1. V prípade podzemných vôd je významný pozitívny vplyv pufráčneho systému horninového prostredia, najmä vápencových hornín, ktorý je vo veľkej miere schopný neutralizovať kyslosť atmosférických zrážok. Zhodnotenie acidifikácie zo všeobecného hľadiska je vzhľadom na variabilitu horninového prostredia, typu pôd a klimatických podmienok náročné. Acidifikácia pôd predstavuje jeden zo závažných procesov chemickej degradácie pôdy. Schopnosť agroekosystému vyrovnať sa s prirodzenou i antropogénnou acidifikáciou je daná kapacitou a potenciálom pufrácej funkcie pôdy, ktorá odráža stupeň rezistencie pôdy voči acidifikácii. Okrem celoplošného monitoringu pH a chemického zloženia zrážkových vôd na pozorovacích staniciach Topoľníky, Liesek, Chopok, Stará Lesná a Starina sa na Slovensku sleduje, v rámci čiastkového monitoringu kvality pH pôdy, aj stav aktívneho hliníka.

Ropné deriváty, perzistentné organické polutanty a azofarbivá

Perzistentné organické polutanty (POP) sú organické zlúčeniny, ktoré sú do rôzneho stupňa rezistentné voči fotolytickej, biologickej alebo chemickej degradácii. Mnohé POP sú halogénované a sú charakterizované nízkou rozpustnosťou vo vode a vysokou rozpustnosťou v lipidoch, v dôsledku čoho sa akumuluje predovšetkým v médiách bohatých na tuky. Sú zväčša semivolatilné, a tak pred depozíciou dochádza k ich diaľkovému prenosu v atmosfére. Trend poklesu emisií perzistentných organických látok, na Slovensku obzvlášť polyaromatických uhľovodíkov, nastal hlavne v dôsledku zmeny technológie výroby hliníka (používanie vopred vypálených anód), inštalovaním termickej deštrukcie v Elektrokarbone Topoľčany a zmenou technológie pri impregnovaní dreva. Emisie PCDD/F poklesli v dôsledku rekonštrukcie komunálnych spaľovní odpadu v Bratislave a Košiciach, výmeny odľučovačov, ale aj odstavení všetkých zastaraných a nevyhovujúcich podnikových spaľovní nebezpečného odpadu po sprísnení kvalitatívnych ukazovateľov na čistotu ovzdušia. Kolísanie emisií PCB, resp. ich nárast za posledné roky, súvisí so zvýšením spotreby palivového dreva v sektore vykurovanie domácností. Na kontaminácii vôd sa zo špecifických organických látok v SR najčastejšie podieľa atrazín, ojedinele bývajú prekročené koncentrácie fenantrénu, 1,3-dichlórbenzénu a fluoranténu.

V roku 1998 bol v Aarhuse podpísaný *Protokol o obmedzovaní emisií POP k Dohovoru EHK OSN o diaľkovom znečisťovaní ovzdušia prechádzajúcom hranicami štátov*, ktorý si dal za cieľ znížiť emisie POP na úroveň z roku

1990. Slovensko podpísalo tento protokol ešte v tom istom roku a cieľ doposiaľ plní (Klinda, Lieskovská a kol., 2009).

Zneškodňovanie perzistentných organických polutantov vo vodách s využitím pokročilých techník

V posledných rokoch sa pre rozklad POP vo vodách objavuje nová pokročilá oxidácia, ktorá generuje vysoko účinné *OH radikály. Keďže chemická oxidácia s peroxidom vodíka nie je pre vysoké koncentrácie kontaminantov dostatočne vhodná, kombinuje sa s UV žiarením, ozónom alebo katalyzátorom. Perspektívnou oxidačnou metódou je Fentonová reakcia, ktorá dokáže rozložiť aj vysoko-toxické a ťažko degradovateľné polutanty, zápach a sfarbenie vôd. Rozklad spočíva na prenose elektrónu medzi peroxidom vodíka a Fe(II). Ani čistý ozón nedokáže mineralizovať ťažko rozložiteľné látky, ako napr. trinitrotoluén (TNT), preto sa kombinuje s UV žiarením. Táto reakcia je v kontaminovaných vodách pomerne zložitá, pretože adsorpciou UV žiarenia, v prítomnosti ozónu, sa hydroxilový radikál regeneruje okamžite, ale vzniká až po vzájomných reakciách rôznych medziproduktov.

Znečistenie z POP môže rozložiť taktiež sonolýza s nízkou až strednou frekvenciou, ale s vysokoenergetickým žiarením. Pôsobením ultrazvuku vo vnútri fázového rozhrania, ba až v určitej vzdialenosti od kavitujúcich plynových bubliniek, v ktorých prebiehajú krátkotrvajúce, ale extrémne silné fyzikálne deje, sa z oxidu uhličitého a vody vytvárajú reaktanty, účinne degradujúce POP.

Iná, fotokatalytická metóda, je založená na fotoexcitácii polovodiča, najčastejšie pre zníženie korozívnosti TiO₂, ktorý po absorpcii UV žiarenia excituje vysokoenergetické fotóny. Táto metóda má aj svoje nedostatky, a to pri oddeľovaní použitého katalyzátora, ale tiež jeho pomerne rýchlu inaktiváciu. Z tohto dôvodu sa viac uplatňuje nanočasticová fotokatalýza. Progresívna diódová fotochemická katalýza značne urýchlila oddelenie katalyzátora a potlačila tiež efekt jeho rýchlej inaktivácie, resp. rekombinácie. Vývoj v oblasti zneškodňovania POP možno tak za posledných 20 rokov charakterizovať výstižne akronymom AOT (*advanced oxidation techniques* – pokročilé oxidačné techniky), PHOTOCAT a BIO (fotokatalýza a biodegradácie), príp. ich integráciou s inými metódami. Taktiež sfarbenie vôd, bežné z textilného priemyslu, sa odstraňuje vysokofrekvenčným ultrazvukom alebo bienzymatickou oxidáciou, pretože nielen AOT, ale aj sonolýza produkujú vysokoreaktívne *OH radikály, ktoré sú mimoriadne účinné pri deštrukcii polyaromatických uhľovodíkov, z ktorých tieto pigmenty pozostávajú (Chen Yong, Wu Feng, 2011).

Bioremediačné postupy pre staré environmentálne záťaž

Funginálne metódy s využitím špecií *Phanerochaete chrysosporium* v prítomnosti mediátorov (substancií s nízkou molekulovou hmotnosťou) sa v súčasnosti tiež využívajú na odfarbovanie vôd. Huby, vrátane bazídiiovýtrusných, majú totiž zvýšený potenciál na rozklad perzistentných polyaromatických uhľovodíkov vďaka svojim ligninolytickým vlastnostiam. Navyše, sú značne rozšírené v prírode, ako sú pôdy, hnijúce ovocie, rastlinstvo, drevo a iné substráty, čo ich perspektívne radí do skupiny lacných sanačných materiálov, resp. prírodných zdrojov, vhodných na potenciálne riešenie starých environmentálnych záťaží. Niektoré druhy sú schopné dokonca úplne sferforovať bunky korku, ktoré sú extrémne silno obohatené polymérmí lignínu a suberínu. Pomocou mykoflóry (húb, ale aj kvasiniek) možno údajne na cca 60% rozkladať aj PCB. Funginálne vláknité mikroorganizmy (*Trichoderma*, *Fusarium*, *Penicilium*) dokážu otvárať aromatické kruhy a odstraňovať sfarbenie vôd a kovy podstatne účinnejšie než bežné adsorbenty, pričom nemajú vysoké nutričné nároky. Z tohto dôvodu sa uvažuje o priemyselnom vyrábaní týchto lacných adsorbentov, či živých alebo preferenčne neživých tak, aby v čistených vodách už nevyučovali sprievodné exkréty (extracelulárne hydrolytické enzýmy). Z dispozičných techník sa na Slovensku pre likvidáciu PCB navrhol kompromis – projekt zneškodnenia riešia doposiaľ spoločnosť Fecupral Veľký Šariš procesom spaľovania v rotačnej peci a Dekonta z Českej republiky. Sedimenty v kanáli Chemka Strážske a Zemplínskej Šíravy sa skúšali rozkladať aj s využitím autochtónnych bakteriálnych konzorcií, ale tiež bioaugmentáciou pomocou alochtónnych bakteriálnych izolátov (*Pseudomonas stutzeri*), ktoré sa odobrali z dlhodobu kontaminovaných lokalít podniku. Obidva procesy, v porovnaní s predchádzajúcimi značne pomalšie, sa stimulovali induktorom – glukózou (Dercová, 2009).

Stále častejšie sa pre ozdravenie zdevastovaných území presadzuje fytoextrakcia, fytoaugmentácia, fytoaugmentácia a fytoaugmentácia. Pridanou hodnotou týchto proenvironmentálnych sanačných procesov sú nové, geneticky modifikované, kultivary a fenotypy vypestované zo slnečnice, topoľov, vrby a inej ruderalnej vegetácie, pretože v prírode sa obvykle rastliny s vysokým prírastkom biomasy a súčasne so značnou bioakumulatnou schopnosťou na antropogénne kontaminanty nevyskytujú. Fytoaugmentačné postupy sa doposiaľ pokladajú len za komplementárne pre tzv. integrované sanačné procesy s ťažiskovou, finančne nenáročnou biostimuláciou a bioaugmentáciou, počas ktorej sa do pôdy okrem

toho aplikujú zväčša vyselektované konzorciá bakteriálnych kmeňov z notoricky znečistených oblastí a degradačné promotéry.

* * *

Mnohé endofytické bakteriálne konzorciá na hostiteľských rastlinách asistujú pri detoxikácii a stabilizácii vysokých koncentrácií TCE, BTX, TNT, nitroglycerínu a ťažkých kovov, čím súčasne tlmia evapotranspiráciu vodorozpustných polutantov. Napriek mnohým snahám komerčne vyrábať bakteriálne konzorciá pre rôzne typy kontaminovaných matric a bioaugmentáciu, jasné rozhodnutie neexistuje. Dôvodom je zrejme nedostatočná a veľmi nákladná analýza (*fingerprinting*) znečisteného územia a objektov, ktoré si mnohokrát vyžadujú individuálny sanačný prístup. Na Slovensku je 8 najpriemyselnejších a teda environmentálne najvýraznejšie zaťažených oblastí: bratislavská, dolnopovažská, ponitrianska, pohronská, jelsavsko-lubenická, rudniansko-gelnická, košicko-prešovská a zemplínska, ktoré by vyžadovali komplexné riešenie revitalizácie, pravdepodobne niektorými z horeuvedených integrovaných sanačných postupov.

Príspevok vznikol ako výstup vedeckého projektu 1/0185/12 Vývoj novej generácie environmentálnych adsorbentov a biokompozitov na báze prírodných nanomateriálov v rámci Vedeckej grantovej agentúry MŠVVŠ SR a SAV.

Literatúra

- Čurlík, J., Šefčík, P.: Geochemický atlas Slovenska, časť V: Pôdy. Bratislava: MŽP SR, VÚPOP, 1999, 99 s.
- Dercová, K.: Remediačné technológie pre sanáciu ekologických záťaží. 1. Technologické postupy deštrukcie starých zásob POP. Odpady, 2009, 1, s. 3 – 8.
- Chen Yong, Wu Feng: Environmental Photochemistry: Theory and Application. Research Journal of Chemistry and Environment, 2011, 15, 2, p. 1 – 3.
- Klinda, J., Lieskovská, Z. a kol.: Správa o stave životného prostredia Slovenskej republiky v roku 2008. Bratislava: MŽP SR, Banská Bystrica: SAŽP, 2009, 308 s.
- Podkoscielny P., Dabrowski A.: Adsorption Contribution to the Protection of the Human Environment. Annales Uni. M. C. Sklodowska – Chemia, 2001, p. 3 – 29.

Prof. Ing. Eva Chmielewská, CSc.,
chmielewska@fns.uniba.sk

Katedra ekotoxikológie a fyzioaktivity Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave, Mlynská dolina B2, 842 15 Bratislava