

Kometabolický a vylehčovací efekt v technologii bioremediačního kompostování

Jiří Mikeš, Martina Siglová, Milena Kozumplíková, Vanda Jagošová, Jitka Hrdinová,
Miroslav Minařík

EPS, s.r.o. V Pastouškách 205, 68604 Kunovice; eps@epssro.cz

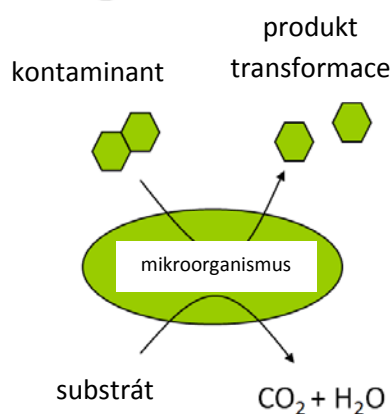
V tomto příspěvku jsou shrnuty výsledky technologie, která je synergií klasického kompostování implementovaného na bioremediačním plochu, kde lignocelulosová matrice plní najednou funkce dvě: V prvním je materiálem vylehčujícím kompaktní kontaminované matrice, ve druhém představuje utilizovatelný substrát pro augmentaci dodávanou populaci lignocelulolytických biologických činitelů, které jak na metabolické, tak na kometabolické bázi jsou schopné participovat na ex-situ bioremediaci antropogenních polutantů.

Kompostování je prastará technologie, která na bázi přirozeně probíhajících procesů představuje vstupní bránu pro organickou hmotu do koloběhu přeměny biologického materiálu do své anorganické podoby a jeho následné zapojení do nových biosyntetických procesů. Kompostování je proces opírající se o nesmírně rozmanitou metabolickou činnost mikroorganismů, které disponují širokým spektrem enzymových možností, jak nejenom na bázi hydrolytických rozkladů, ale i redoxních, substitučních a eliminačních dějů dokážou dekomponovat složité organické polymery do jednodušších fragmentů, které následně slouží jako zdroj uhlíku, redukčního ekvivalentu nebo energie pro další bohaté skupiny organismů a mikroorganismů. Biodegradaci se označuje obecně schopnost mikrobiálních jedinců štěpit chemické vazby ve sloučeninách. Obecně je vnímána spíše v rovině nakládání s látkami, které do životního prostředí nepatří, nicméně zcela integrálně náleží tyto procesy i do kompostování. Pro potřeby tohoto příspěvku bude jako přirozený dekompoziční proces biologické hmoty vnímáno kompostování, biodegradaci budou označovány procesy rozkladu a transformace antropogenních polutantů.

Lignocelulosový materiál tvoří velký podíl odpadů, pro které bylo zavedeno označení biologicky rozložitelný odpad (BRO). V současnosti je vyvíjen velký tlak na aktivní využití této formy odpadních toků a s ním souvisí velký důraz na minimalizaci dříve frekventovaného způsobu nakládání, jímž byla prostá depozice na skládkách. Pod pojem aktivní nakládání lze přiřadit zejména veškerou činnost, jež umožňuje druhotné upotřebení tohoto typu odpadu a využití nejenom energetického potenciálu v něm ukrytého. Z těchto důvodů je věnována poměrně velká pozornost hledání způsobů, jak překonávat překážky s BRO spojené v kontextu aktivního nakládání. Jedním z největších problémů (zejména u energetického využití formou substrátu pro anaerobní digesci – výrobu bioplynu) je značná odolnost určitých frakcí BRO vůči enzymovému rozkladu. Ne všechny běžně se vyskytující mikroorganismy disponují kompletní sadou enzymových a jiných nástrojů potřebných pro rozklad chemických vazeb v polymerech typu lignin, hemicelulosa a celulózy. Právě z těchto důvodů byla v rámci řešení úkolů vytčených v projektu Intenzifikace biogeochemických cyklů věnována náležitá pozornost screeningu vhodných bakteriálních, kvasinkových a plísňových taxonů, jež by se daly zapojit do dekompozičního procesu za účelem

intenzifikovat a zefektivnit tuto rozkladnou činnost s cílem získat výrazně vyšší podíl dále využitelných fragmentů BRO pro jiné technologické aplikace.

Mikrobiální metabolismus, jak již bylo v předešlém textu zmíněno, je nesmírně flexibilním a bohatým souborem procesů, z nichž v mnoha případech lze (bio)technologicky profitovat. Vedle přímého metabolického využití substrátu z hlediska klasických principů látkové a energetické přeměny (jinými slovy vnímání substrátu jako zdroje uhlíku, stavebních prvků, redukčního ekvivalentu a energie) existuje v říši mikroorganismů i koncept tzv. kometabolismu. Konkrétní mikroorganismus ho neprovozuje vědomě, neboť mu nesaturuje žádnou zdrojovou oblast přímého metabolismu, nicméně za určitých situací díky nadprodukcí některých skupin enzymů participují tyto biochemické katalyzátory i na transformaci jiných látek. Velmi známým učebnicovým příkladem je kometabolická transformace chlorovaných alifatických uhlovodíků, kdy díky produkci specifických oxidas (enzymů urychlujících oxidaci substrátu) pro přímou metabolickou transformaci methanu (skupina tzv. methanotrofních bakterií) dochází i k oxidaci chlorovaných derivátů jednoduchých uhlovodíků. Toto není jediný příklad, kde kometabolismus nachází uplatnění, předpokládá se, že kometabolické procesy se velmi vydatně uplatňují v rámci přirozené atenuace na kontaminovaných lokalitách, ale i v rámci *ex situ* technologií spojených bioremediačním nakládáním s kontaminovanými matricemi na zabezpečených plochách (*landfarming*). I v rámci dekompozice organické hmoty může docházet k nadprodukcí zejména hydrolytických enzymů, které díky nízké substrátové specifitě mohou naleznout uplatnění v transformaci jiných látek (a z hlediska technické ochrany životního prostředí i látek, které do životního prostředí nenáleží a způsobují na něm zátěž).

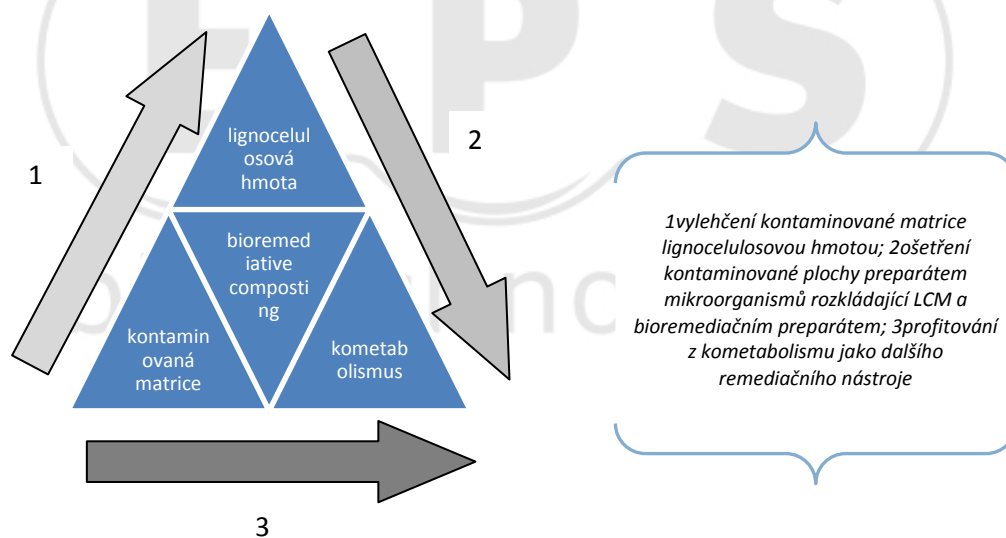


Obr. 1 Schematické znázornění kometabolismu

Také bioremediační strategie používané v rámci ošetřování kontaminovaných matric životního prostředí na zabezpečených skládkách prodělal v uplynulých letech mnoho změn. Vedle aktivních způsobů na bázi bioaugmentace (dodávka biologického činitele disponujícího rozkladnou činností vůči konkrétnímu typu polutantu), biostimulace (dodávka mikroorganismem vyžadovaných faktorů za účelem provádění transformace kontaminantu do podoby méně škodlivé a nebezpečné) a jejich kombinací se pozornost upíná i na jiné přístupy, které vedou k optimalizaci dekontaminačního procesu. Jedním z nich je tzv. vylehčování ošetřované matrice. Dodávkou jak organického, tak anorganického materiálu, je možné

pozměnit strukturu ošetřovaného materiálu, aby v něm mohly lépe probíhat rozkladné procesy. Týká se to zejména matric velmi kompaktních (např. sedimenty nebo jílové zeminy), v nichž se obtížně vytváří distribuční dráhy pro saturaci potřeb mikrobiálních činitelů a v neposlední řadě se tyto materiály i obtížně osídlují vhodnou biodegradační mikroflórou. Klíčové je zejména nalezení optimální dodávky vody, neboť vodní aktivita je klíčovým požadavkem biologických činitelů k tomu, aby mohl aktivně participovat na rozkladné činnosti. V anglosaské literatuře se přístup směřování kontaminované matrice s vylehčovadlem označuje termínem *amendment* a materiál přidávaný jako *amendments*. U.S. EPA věnuje těmto přístupům velkou pozornost a byla původcem řady metodických materiálů, které klasifikují vylehčovadla, evaluují jejich efekt na bioremediační proces a v neposlední řadě popisují jeho participaci na procesech bioremediace *ex situ* (U.S. EPA).

Ve výše uvedeném textu byly popsány klíčové pilíře, se kterými se lze v rámci odpadového hospodářství a bioremediačního inženýrství setkat, dále oblasti nástinu výzkumných strategií společnosti EPS, s.r.o. a také objasnění základní terminologie. Výčtem klíčových slov (kompostování, BRO, kometabolismus a vylehčování) jsou vymezeny oblasti průniku, na jejichž bázi technologie „*bioremediative composting*“ byla vyvíjena a koncipována. Na obrázku 2 je grafickým způsobem zachycena synergie všech přístupů, jež v následujícím textu bude stručně popsána z hlediska klíčových milníků řešení projektu.



Obr. 2 Principy a funkce bioremediačního kompostování

Experimenty v rámci vývoje se držely modelového materiálu lignocelulosové hmoty (LCM) - tráva, seno, piliny, modelového typu kontaminantu – motorový olej a tříletým screeningem vyselektovaných mikrobiálních taxonů – kvasinkové mikroorganismy rodu *Trichosporon*, *Trichoderma* + plísňový organismus *Fusarium proliferatum* a bioaugmentační preparát EPS-INOK. Primárně byl design experimentů ve fázi superpozice dosažených dílčích cílů (ověření kometabolické aktivity, ekologické snášenlivosti, schopnosti využít lignocelulosový materiál). Na dvou modelových systémech konstruovaných v režimu kompostovací jednotky se testovalo prostředí přítomného využivatelného vylehčovadla versus anorganické vylehčovadlo, které nemohlo sloužit jako substrát pro lignocelulosové

organismy. Na tomto typu experimentů se prokázal účinek podpory bioremediačního procesu formou utilizace vylehčovadla, kdy se dospělo k výrazně vyšší hodnotě rozloženého antropogenního polutantu. S ohledem na značnou komplexnost systému bioremediačního kompostování není snadné najít úplnou sadu monitorovacích prostředků, které by postihly jak chemickou podstatu rozkladných dějů, tak roli biologických činitelů v systému a další, často i marginální interakce, jež však mohou být rozhodujícím prvkem v efektivním fungování procesu.

Závěr

Kombinace kompostování a bioremediace není nová, nicméně koncept uvedený v tomto příspěvku je inovativní v rovině propojování dalších přístupů – kometabolická bioaugmentace, která je postavená na roli lignocelulosového materiálu jak jako mechanického vylehčovadla, tak zejména substrátu pro iniciaci dalších metabolických projevů spojených s dekompozicí antropogenního polutantu.

Literatura

U.S. EPA: The Use of Soil Amendments for Remediation, Revitalization, and Reuse, <http://www.clu-in.org/download/remed/epa-542-r-07-013.pdf> (15.3.2011)

Poděkování

Autoři si dovoluují poděkovat Ministerstvu průmyslu a obchodu za poskytnutí finanční dotace pro řešení projektu v rámci programu Trvalá prosperita 2A-2TP1/088 „Aplikace poznatků o biochemických cyklech studovaných v kontextu rozkladu polymerních substrátů a jejich kometabolitů“.