

Dr. Bodnár Ildikó

Opponens kérdéseire adott válaszok a

BIOKATALITIKUS SZENNYVÍZTISZTÍTÁSI TECHNOLOGIA FEJLESZTÉSE

című doktori (Ph.D) értekezés nyilvános vitájához

Tisztelt Dr. Bodnár Ildikó!

Köszönöm értekezésem tudományos szempontú átnézését és értékelését.

Örömmel fogadtam opponensi véleményét, amely szerint a választott téma egy aktuális és kiemelten fontos szennyvízkezelési probléma megoldására szolgáló technológia fejlesztését tűzte ki célul.

Ezúton szeretném megköszönni a disszertáció előbírálataiban adott értékes tanácsokat és javaslatokat, amelyek nagyban hozzájárultak az értekezés minőségének javításában.

Köszönöm a dolgozat szövegére, stílusára, szerkezeti felépítésére tett pozitív értékelését, továbbá a tézispontok kedvező véleményezését, s ezúton szeretnék a feltett kérdésekre válaszolni.

1. Milyen más mikroszennyezőkre tesztelné az alkalmazott vizsgálati módszereit és miért?

A lakkáz által katalizált reakció elsősorban a fenol-származékok esetén hatékony. Mivel a szennyvízben jellemzően valamilyen származékként vagy metabolitként találhatóak meg ezek a komponensek, amelyek eltérő reakcióúton alakulhatnak át, ezért érdemes minél több vegyületet megvizsgálni. Izgalmas kérdés, hogy az adott közegben található más anyagok is befolyásolják a reakció lépéseit és hatékonyságát. A mediátoroként vagy inhibitoroként funkcionáló anyagok jelenléte miatt, a modell oldattól jelentősen eltérő eredmények születhetnek valós közegekben. Úgy gondolom a legcélszerűbb az lenne, hogy molekulaszerkezeti csoportosítás szerint kiválasztani minél több komponenst és megvizsgálni részletesen a szerkezet-átalakítás összefüggéseket, amelyek jobban használhatók a hatékonyság becslésére.

Gyakorlati szempontból érdemes lenne úgy kiválasztani a vizsgálandó komponenseket, hogy különböző hatásmechanizmusú gyógyszerhatóanyagokat fedjen le, amelyek nagy mennyiségben találhatóak meg a különböző víztestekben és szennyvíz mintákban. Ezek alapján a további 5 mikroszennyező vizsgálatát tartom célszerűnek: 17 β -ösztradiol (hormon hatású készítmény), amoxicillin, ciprofloxacín (antibiotikum), ibuprofén (gyulladáscsökkentő), karbamazepin (antiepileptikum).

A fent említett komponensek lefedik a különböző szerkezet szempontjából kategóriákat is [1]:

- Mikroszennyezők erős elektron donor csoporttal: 17 β -ösztradiol, ciprofloxacín
- Mikroszennyezők erős elektron akceptor csoporttal: karbamazepin
- Mikroszennyezők mindkét féle csoporttal: diklofenák, ibuprofén, amoxicillin

[1] S. Yang és mtsai., „Understanding the factors controlling the removal of trace organic contaminants by white-rot fungi and their lignin modifying enzymes: a critical review.”, *Bioresource Technology*, köt. 141, o. 97–108, aug. 2013, doi: 10.1016/j.biortech.2013.01.173.

2. A 66. oldalon a Jelölt rögzíti, hogy a diklofenák átalakításának eredményeként megjelenő sárgás reakciótermék vizsgálatával nem foglalkozott. A megjelölt szakirodalmi hivatkozás alapján mik a legfontosabb analitikai eredmények? Ezeket hogyan tudná hasznosítani a kísérlet tovább fejlesztésében?

A termékek azonosítását Marco-Urrea és munkatársai [2] végezték el még 2010-ben a lakkázos rendszerben. Ők a reakciót hasonlóan HPLC-vel történő elválasztást követően UV elnyelés alapján követték nyomon, a reakciótermékeket viszont már NMR vizsgálatok alapján határozták meg. Összesen 4 metabolitot azonosítottak, amelyből kettő hidroxí-származék. Ezek egyébként korábban már detektált termékek, mivel a diklofenák hidroxí származékainak gyógyszeripari előállításánál is keletkeznek. Emellett 4-(2,6-diklorofenilamino)-1,3-benzodimetanolt azonosítottak, mint fő reakciótermék, a tiszta enzimes rendszerben, ami már egy bonyolultabb reakcióútra utal.

Margot és munkatársai [3] ezt követően, HPLC-DAD segítségével vizsgálták a diklofenák átalakítását. Az MFA és BPA tartalmú keverékkel végzett vizsgálatokban a sárga szín enyhébb volt, ami arra utalhat, hogy az általam is látott sárga színű reakcióterméken kívül más termékek is keletkeznek kevert rendszerekben. Ebből az a következtetés vonható le, hogy bár érdekes kérdés, hogy mi lehet a modell oldattal végzett kísérletben keletkező csapadék, a gyakorlati felhasználás esetén eltérő termékekkel kell majd számolni.

A kísérletek továbbfejlesztése szempontjából a leghasznosabb információ az, hogy keletkezik-e minden komponens esetén hasonló rosszul oldódó csapadék. Erre vonatkozóan Pype és mtsi. [4] végeztek kísérleteket és megállapították, hogy valószínűleg a kis koncentráció miatt kevesebb csapadékra lehet számítani. Valós szennyvíz minták esetén erre jelenleg még nincs információ, így ez egy lehetséges folytatása lehetne a kutatásnak.

A kísérleti munka folytatásának úgy gondolom a keletkező reakciótermékek toxicitásának vizsgálatával együtt kell történnie. Ehhez hasznos információként szolgál a reakciótermékek azonosítása, de talán még fontosabb a mikroszennyezők keverékét tartalmazó szennyvizek toxicitását vizsgálni.

[2] J. Margot, J. Maillard, L. Rossi, D. A. Barry, és C. Holliger, „Influence of treatment conditions on the oxidation of micropollutants by *Trametes versicolor* laccase”, *New Biotechnology*, köt. 30, sz. 6, o. 803–813, szept. 2013, doi: 10.1016/j.nbt.2013.06.004.

[3] E. Marco-Urrea, M. Pérez-Trujillo, C. Cruz-Morató, G. Caminal, és T. Vicent, „Degradation of the drug sodium diclofenac by *Trametes versicolor* pellets and identification of some intermediates by NMR”, *Journal of Hazardous Materials*, köt. 176, sz. 1–3, o. 836–842, ápr. 2010, doi: 10.1016/j.jhazmat.2009.11.112.

[4] R. Pype, J. Septavaux, B. Oulad Haj Amar, és F. Debaste, „Polymerization and formation of insoluble byproducts of diclofenac using *Trametes versicolor* laccases – Experimental study and modelling”, *Journal of Water Process Engineering*, köt. 32, o. 100948, dec. 2019, doi: 10.1016/j.jwpe.2019.100948.

3. A 32. ábrán egyes mérési pontoknak nagyon nagy a szórása, ezek esetében történtek-e ismételt vizsgálatok?

Természetesen igen, voltak ismétlő vizsgálatok, azonban az említett ábrán, nagyon sok lépés mérésnek szórása jelenik meg. Egyrészt minden ismétlésnél egy új membránt kellett használnom, mivel az ismétlések során nem értelmezhető eredményt kapnék, ha a reakciótermékek már ott lennének a membránon. Így a membrán előállításakor kapott eltérések megjelennek a mérési eredmények szórásában. Másrészt, mivel időben is hosszú volt ez a mérési sorozat és a membrán modul nem temperált, a hőmérséklet ingadozás is befolyásolhatta az aktivitást. Harmadrészt, ahogy azt a disszertációban is kifejtettem a térfogatáram szabályozása ezeknél a kísérleteknél sűrített levegő rákapcsolásával történt, aminek a nyomásbeállítása nem tökéletes, és nehezen megismételhető, így az átalakítás során kulcsfontosságú kontaktidő is eltérhet kis mértékben.

Minden bizonnyal a néhány kiugró érték kihagyásával csökkenthető lett volna a mérések szórása, de az ábrán fontosnak tartottam szemléltetni a mérési módszerrel nyerhető információk pontosságát. Részben ez indokolta a kísérleti rendszer későbbi átalakítását, amelyben már perisztaltikus szivattyúval végeztem a modell oldat feladását a membrán modulba, ezzel egyenletesebb térfogatáramot fenntartva.

Ezúton még egyszer köszönöm Opponensemnek a bírálat elkészítésével töltött munkáját és idejét!

Veszprém, 2023. május 12.



Varga Béla

doktorjelölt