

## Bírálat

Varga Béla:

### Biokatalitikus szennyvíztisztítási technológia fejlesztése

című egyetemi doktori (Ph.D.) értekezéséről

A prognózisok alapján 2050-re 9,5-10 milliárdos populációval számolnak, mely alapján egyértelmű kérdés lesz az, hogy lesz-e elegendő víz a lakosság eltartásához. A vízbiztonság nemcsak az élelmezés- és energiabiztonság, de az általános hosszú távú társadalmi és gazdasági fejlődés alapja is. Az Egyesült Nemzetek Szervezete (ENSZ) által megfogalmazott fenntartható fejlődési célok víz nélkül teljesíthetetlenek. A vízellátás és a minőségi problémák hátterében is természetesen elsősorban az emberi tevékenység áll, mely gyakran már a nemzetek víz-, élelmiszer- és energiaszükségletének kielégítését is veszélyezteti. A vízszennyezők közül a szerves mikroszennyezők jelenléte és hatása a vízterekben egyre nagyobb figyelmet kap, azaz kiemelten fontos ezen szennyezők csökkentésére irányuló vízkezelési megoldások tanulmányozása és egyre szélesebb körű alkalmazása.

Varga Béla doktori értekezésében célul tűzte ki modell szerves mikroszennyező (diklofenák) - az ún. oxidoreduktáz enzimek csoportjába tartozó - lakkáz enzim által katalizált folyamatokban történő átalakítását. A vizsgált enzim ipari szennyvíztisztításban történő potenciális használatához költséghatékony immobilizálási módszerek kidolgozásának szükségességét is megfogalmazta, ezáltal a tisztítás során megcélózva az enzim többszöri felhasználását és stabilitásának megőrzését. Kísérleteiben két lakkáz immobilizálási módszert vizsgált, karakterizálta az előállított biokatalizátorokat és tesztelte azok alkalmazhatóságát. A vizsgálati eredményei, valamint szakirodalmi adatok elemzése alapján felismerte, hogy a lakkáz által katalizált mikroszennyező átalakítás eredményeként olyan reakciótermékek keletkeznek, amelyek membránszeparációval elválaszthatóak, így a vizsgált enzim integrált membrán bioreaktorban való használatához egy új immobilizálási módszert dolgozott ki, amellyel egy cellulóz-acetát mikroszűrő membrán pórusaiban az enzimből aggregátumokat hozott létre. A rögzítés optimális paramétereit az ún. válaszfelület módszertan segítségével határozta meg, majd az előállított enzimkatalitikus membrán gyakorlati alkalmazhatóságát tanulmányozta a diklofenák, mint modell szerves mikroszennyező lebontására.

#### *Az értekezés témájának újszerűsége, aktualitása, tudományos és társadalmi jelentősége*

A választott doktori téma jól illeszkedik a Bio-, Környezet- és Vegyészmérnöki Kutató Fejlesztő Központban folyó kutatásokhoz, valamint - a szerves mikroszennyezőkre vonatkozóan - a hatékony szennyvízkezelés hazai és nemzetközi vizsgálati céljaihoz is, azaz a dolgozat témájának újszerűsége, aktualitása nem kérdőjelezhető meg.

#### *A dolgozat szerkezeti felépítése*

A beadott értekezés 115 számozott oldalt tartalmaz, a felépítése követi a doktori (Ph.D.) értekezésekre előírt formai követelményeket. A Bevezetés és célkitűzés fejezetet követő

Szakirodalmi áttekintés 25 oldalon több alfejezetben mutatja be a témához kapcsolódó elméleti alapokat és tudományos kutatásokhoz kapcsolódó szakirodalmi eredményeket. A Jelölt rendkívül nagyszámú 190 db, kiemelten nemzetközi hivatkozás alapján érthetően, a későbbi vizsgálataihoz igazítva alakította ki a szakirodalmi fejezetet. A kísérleti részt 15 oldalon mutatja be, melyben a vizsgálati és elemzési módszerek a felhasznált anyagok ismertetését követően 3 szakaszra bontva olvashatók. A Jelölt a munkája során elért eredményeket 29 oldalon ismerteti, amelyek alapján az 5. fejezetben, 8 oldalas diszkusszióban jelennek meg a végső, részletes következtetések. Az irodalomjegyzéket követően a Jelölt megfogalmazza a kísérleti eredmények alapján kialakított tézispontjait, magyar és angol nyelven is.

### **Szakmai vélemény, megjegyzések, kérdések:**

#### ***Formai követelmények, nyelvezet, stílus***

A dolgozat formai szempontból megfelel az értekezéssel szemben támasztott követelményeknek, dicséretes, hogy a végleges értekezésben gépelési hiba márcsak minimálisan fedezhető fel. A dolgozat nyelvezete általánosan megfelel a szakmai elvárásoknak. Az ábrák és a táblázatok jól érthetőek, megfelelő minőségűek.

#### ***A szakirodalom feldolgozásának színvonala***

A Jelölt doktori értekezésében célul tűzte ki modell szerves mikroszennyező (diklofenák) lakkáz enzim által katalizált folyamatokban történő átalakítását. A szakirodalmi rész átfogóan tartalmazza a választott témával összefüggő, tudományos előzményeket, a felhasznált források száma az előbíralt verzióhoz nőtt, mely dicséretes. A hivatkozások szabályosak (egyetlen helyen, a 23. oldalon találtam hivatkozási hibát). A Jelölt igyekszik elemző módon bemutatni a kapcsolódó szakkikkek tartalmát, valamint a kitűzött kutatási célok is jól támaszkodnak a témával kapcsolatos korábbi tudományos eredményekre.

#### ***A kísérleti módszerek helyessége, színvonala***

A Jelölt kísérleteiben két lakkáz immobilizálási módszer - a kalcium-alginátban való rögzítést és a cellulóz-alapú membránok használatát - tanulmányozta. A dolgozat Kísérleti rész fejezete jól szemlélteti az elvégzett rendkívül részletes kísérleti munkát. Az alkalmazott módszerek korszerűek, jól illeszkednek a kitűzött célok és kérdéskörök feltárásához. Az előbíraltban feltüntetett hiányosságokat a Jelölt a kísérleti részben is korrigálta.

#### ***A kutatási eredmények feldolgozásának színvonala***

A kutatási eredmények feldolgozásának színvonala megfelelő, a dolgozatban az eredmények matematikai-statisztikai értékelése is megvalósul. Az előbíralt javaslata alapján a Jelölt a dolgozatában bemutatott ábrák, táblázatok címe mellett kiegészítésképpen az alkalmazott kísérleti körülményeket is feltüntette, mely segíti a mérési eredmények pontosabb nyomonkövetését.

A Jelölt kísérleteiben két lakkáz immobilizálási módszer - a kalcium-alginátban való rögzítést és a cellulóz-alapú membránok használatát - tanulmányozta. Az alkalmazott immobilizálási módszerek felhasználásával karakterizálta az előállított biokatalizátorokat és tesztelte azok alkalmazhatóságát. Célja volt olyan módszerek kidolgozása, amelyek biológiailag lebontható anyagokat használnak hordozóként, így a katalizátor

elhasználódása után azok ártalmatlanítása potenciálisan nem okoz környezetterhelést, mely rendkívül dicséretes. A Jelölt, mint második immobilizálási módszer a lakkáz integrált membrán bioreaktorban való használatát is tanulmányozta. Munkája során egy mikroszűrő membrán pórusaiban enzim aggregátumokat hozott létre. A rögzítés paramétereit a válaszfelületek módszerével optimalta, majd az előállított enzimkatalitikus membránt jellemezte. Ezt követően megvizsgálta annak gyakorlati alkalmazhatóságát a korábban is vizsgált modell mikroszennyező (DCF) lebontására (4.2. fejezet).

#### ***Az eredményekből levont következtetések helytállósága***

A diszkusszió fejezet alpontjai jól összefoglalják az elért eredményeket, melyek kapcsán a Jelölt a szakirodalmi adatokkal történő összehasonlításokat végezte. A mérési eredményekből levont következtetések általánosan helytállóak.

Az alginát mátrixban rögzített lakkáz esetén a szabad és a gyöngyökben rögzített lakkáz látszólagos aktivitásának összehasonlítása során nagyságrendi különbséget tapasztalt, melynek okaként - szakirodalmi alapon - a polimer befolyásoló hatását fogalmazza meg, mint az enzim szubsztráthoz való csökkent hozzáféréseinek okát. Ebben a szakaszban hasznosak a kísérleti körülmények hatásának vizsgálatára irányuló mérései, valamint kiemelt jelentőségűek a tárolásra vonatkozó tapasztalatai. A lakkázzal végzett diklofenák átalakítására vonatkozó eredmények alapján az alginát használata kevésbé volt hatékony, azonban a reakciótermékek a gyöngyökben való megkötése miatt valóban kedvező lehet bizonyos felhasználások esetén.

A membránon való immobilizációs vizsgálatokban a Jelölt helyesen zárta ki a PES membránok alkalmazását. A részletesen vizsgált CA membránok esetén a rögzítés paramétereit a válaszfelületek módszerével optimalta.

Ez a módszertan véleményem szerint helytálló volt a hatékony kísérleti séma kialakításához. További célja volt a keresztkötéssel történő enzimstabilizálás, mely kapcsán azt tapasztalta, hogy a keresztkötő koncentrációjának hatása csak alacsonyabb hőmérséklet esetén volt számottevő. Látványos elektronmikroszkópos felvételek segítségével igazolta az alkalmazott módszer segítségével az enzim molekulák közötti keresztkötéseket és a kialakuló aggregátumokat. Az előállított enzimkatalitikus membránt részletesen jellemezte. Ezt követően megvizsgálta annak gyakorlati alkalmazhatóságát a korábban is vizsgált modell mikroszennyező (DCF) lebontására. Ennek tapasztalatai alapján kiemelt eredménye, az a megállapítás, hogy az enzimkatalitikus membránnal végzett átalakítás hatékonysága függ a szubsztrát térfogatáramától, illetve az átalakítás során keletkező kisebb oldhatóságú reakciótermékek mikroszűrés segítségével hatékonyan eltávolíthatóak.

#### **Tézispontok értékelése:**

Az előbírálati folyamatban megadottakhoz képest a Jelölt munkájához kapcsolódó tézispontok pontosításra kerültek, mely változtatás alapján **minden tézispont új tudományos eredményeként elfogadható.**

Publikációs tevékenység értékelése:

A megjelent (elfogadott) közlemények megfelelnek az érintett Doktori Iskola szabályzatának, illetve előírásainak, rendkívül dicséretes, hogy színvonalas elsőszerzős publikáció is kapcsolódik a Jelölt eredményeihez.

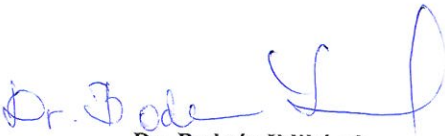
Az elvégzett munka bemutatása koherens, az egyes részek általánosan jól kapcsolódnak egységes egészé. Az elrendezés, felosztás általánosan összhangban áll a megfogalmazott tézispontokkal.

Összességében elmondhatom, hogy az értekezés megfelel a publikálás tudományetikai követelményeinek, a munkát elfogadásra javaslom és támogatom, hogy a Jelölt eredményeit nyilvános védésen bemutathassa, és sikeres védés esetén javaslom a doktori (PhD) fokozat odaítélését.

*Néhány kérdés a Jelölthöz:*

- Milyen más mikroszennyezőre tesztelné az alkalmazott vizsgálati módszereit és miért?
- A 66. oldalon a Jelölt rögzíti, hogy a diklofenák átalakításának eredményeként megjelenő sárgás reakciótermékek vizsgálatával nem foglalkozott. A megjelölt szakirodalmi hivatkozás alapján mik a legfontosabb analitikai eredmények? Ezeket hogyan tudná hasznosítani a kísérletei további fejlesztésében?
- A 32. ábrán egyes mérési pontoknak nagyon nagy a szórása, ezek esetében történtek-e ismételt vizsgálatok?

Kelt: Debrecen, 2023. március 23.

  
Dr. Bodnár Ildikó s.k.  
főiskolai tanár  
Debreceni Egyetem, Műszaki Kar,  
Környezetmérnöki Tanszék