

Miroslav J. Jovanović  
22. 06. 2011.

**Univerzitet u Beogradu**

**HEMIJSKI FAKULTET**



**Mila V. ILIĆ, dipl. hem.**

**TRANSFORMACIJE ZAGAĐIVAČA NAFTNOG TIP  
U PROCESU SIMULACIJE BIODEGRADACIJE U  
LABORATORIJSKIM AEROBNIM USLOVIMA**

**– Doktorska disertacija –**



International Year of  
**CHEMISTRY**  
2011

**Beograd,**

**2011. godina**

Str.: 22 + 95 + CV

**Mentor:**

Dr Miroslav M. Vrvić, redovni profesor  
Hemijski fakultet, Univerzitet u Beogradu

**Članovi komisije:**

Dr Branimir JOVANČIĆEVIĆ, redovni profesor  
Hemijski fakultet, Univerzitet u Beogradu

Dr Mališa ANTIĆ, vanredni profesor  
Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu

Dr Gordana GOJGIĆ-CVIJOVIĆ, viši naučni  
saradnik  
Centar za hemiju - Institut za hemiju, tehnologiju i  
metalurgiju, Univerzitet u Beogradu

**Datum odbrane:** 22.06.2011.

**Datum promocije:**

# SADRŽAJ

	<b>Strana</b>
<b>1. Uvod</b>	1
<b>2. Pregled literature</b>	
<b>2.1. Poreklo i sastav nafte</b>	3
<b>2.2. Zagađivači životne sredine</b>	8
2.2.1. Nafta kao zagađivač životne sredine	9
2.2.2. Zagađivači vazduha	11
2.2.3. Zagađivači voda	12
2.2.3.1. Rečna voda	12
2.2.3.2. Otpadne vode	13
2.2.3.3. Zagađivači vodenih sedimenata	14
<b>2.3. Bioremedijacija</b>	16
2.3.1. Strategije bioremedijacije	16
2.3.1.1. <i>In situ</i> bioremedijacija	17
2.3.1.2. <i>Ex situ</i> bioremedijacija	18
2.3.2. Prednosti i mane bioremedijacije	20
2.3.2.1. Prednosti bioremedijacije	20
2.3.2.2. Nedostaci bioremedijacije	20
<b>2.4. Biodegradacija nafte u rezervoarskim stenama</b>	21
<b>2.5. Sposobnost mikroorganizama da razlažu zagađivače životne sredine</b>	25
2.5.1. Mehanizmi mikrobiološke razgradnje ugljovodonika	25
2.5.1.1. Aerobni mehanizmi razgradnje	26
2.5.1.2. Anaerobni mehanizmi razgradnje	36
<b>2.6. Bioremedijacija sredina zagađenih naftom</b>	38
2.6.1. Faktori koji utiču na proces bioremedijacije	39
2.6.1.1. Hranljive supstance	39
2.6.1.2. Kiseonik	40
2.6.1.3. Kiselost (pH vrednost)	41
2.6.1.4. Temperatura	41
2.6.1.5. Vlažnost	42
2.6.1.6. Karakteristike zemljišta	42
2.6.1.7. Ostali faktori	42
<b>2.7. Opis kanala za otpadne vode</b>	43
<b>3. Materijal i metode</b>	
<b>3.1. Uzimanje uzoraka za proučavanje konzorcijuma mikroorganizama i ispitivanje hemijskog sastava</b>	46
<b>3.2. Mikrobiološke metode</b>	57
3.2.1. Podloge	47
3.2.1.1. Podloga za određivanje ukupnog broja hemoorganotrofnih bakterija	47

3.2.1.2.	Podloga za određivanje broja kvasaca i plesni	47
3.2.1.3.	Podloga za određivanje ukupnog broja anaerobnih mikroorganizama	47
3.2.1.4.	Podloga za određivanje ukupnog broja bakterija koje razgrađuju ugljovodonike	48
3.2.1.5.	Podloga za izolovanje i gajenje konzorcijuma mikroorganizma	48
3.2.2.	Određivanje broja mikroorganizama u otpadnoj vodi, mulju i zemljištu metodom serijskog razblaženja	48
3.2.3.	Izolovanje i selekcija konzorcijuma mikroorganizama	49
3.2.4.	Biodegradacija uzoraka nafte konzorcijumima mikroorganizama	49
<b>3.3.</b>	<b>Analiitičke metode</b>	<b>50</b>
3.3.1.	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	50
3.3.2.	Kiselost (pH)	50
3.3.3.	Elektromotorna sila (EMS)	50
3.3.4.	Rastvoreni kiseonik ( $\text{O}_2$ )	50
3.3.5.	Specifična provodljivost i sadržaj ukupnih elektrolita (TDS)	51
3.3.6.	Mutnoća	51
3.3.7.	Elementarna organska mikroanaliza (EOMA)	51
3.3.8.	Hemijska potrošnja kiseonika (HPK)	51
3.3.9.	Biološka potrošnja kiseonika (BPK)	51
3.3.10.	Atomska apsorpciona spektrofotometrija (AAS)	52
3.3.11.	Ukupna tvrdoća	52
3.3.12.	Koncentracija mineralnih ulja	52
3.3.13.	Određivanje procenta higroskopne vlage	52
3.3.14.	Gravimetrijsko određivanje ukupnih ugljovodonika nafte	52
3.3.15.	Određivanje sadržaja pepela	53
3.3.16.	Sadržaj karbonata u uzorcima mulja i zemljišta	53
3.3.17.	Ultraljubičasta/vidljiva spektrofotometrija (UV/VIS)	53
3.3.18.	Određivanje koncentracije hlorida	53
3.3.19.	Određivanje koncentracije sulfata	53
3.3.20.	Ekstrakcija organske supstance iz eksperimenta biodegradacije	54
3.3.21.	Razdvajanje frakcija hloroformskog ekstrakta iz organske supstance	54
3.3.22.	Gasnohromatografsko-maseno spektrometrijska metoda (GC-MS)	55
<b>4.</b>	<b>Rezultati i diskusija</b>	
4.1.	<b>Karakteristike uzoraka za proučavanje bioremedijacije</b>	<b>57</b>
4.1.1.	Rendgensko-difrakciona analiza uzoraka mulja i zemljišta kanala otpadnih voda južne industrijske zone Pančevo	60
4.2.	<b>Mikrobiološka razgradnja nafte u laboratorijskim uslovima</b>	<b>62</b>
4.2.1.	Izolovanje i zasejavanje konzorcijuma mikroorganizama	62
4.2.2.	Biodegradacija u laboratorijskim uslovima	62

4.2.3.	Razdvajanje frakcija iz ekstrakta za GC-MS analizu	65
4.2.4.	Gasnohromatografska-masenospektrometrijska analiza zasićenih ugljovodonika dobijenih dejstvom mikroorganizama izolovanih iz mulja	68
4.2.5.	Gasnohromatografska-masenospektrometrijska analiza zasićenih ugljovodonika dobijenih dejstvom konzorcijuma mikroorganizama izolovanih iz zemljišta	72
<b>5.</b>	<b>Zaključak</b>	<b>84</b>
<b>6.</b>	<b>Literatura</b>	<b>87</b>