

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Maša HOJNIK

BIORAZGRADLJIVOST NEKATERIH ODPADNIH VODA

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

BIODEGRABILITY OF SOME WASTE WATER

GRADUATION THESIS

University studies

Ljubljana, 2007

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija biologije. Opravljeno je bilo na Zavodu za zdravstveno varstvo Celje – Oddelek za zdravstveno ekologijo, kjer so bile v sanitarno- kemijskem laboratoriju opravljene vse analize.

Študijska komisija Oddelka za biologijo je za mentorja diplomskega dela imenovala prof. dr. Mihaela Jožefa Tomana.

Komisija za oceno in zagovor:

- Predsednik: Doc. dr. Gorazd Urbanič  
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo
- Član: Prof. dr. Mihael Jožef Toman  
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo
- Član: Prof. dr. Jana Zagorc – Končan  
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Katedra  
za kemijsko, biokemijsko in ekološko inženirstvo

Datum zagovora: 16.07.2007

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Podpisana se strinjam z objavo svoje naloge v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddala v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Maša Hojnik

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Dd  
DK UDK - vrstilec  
KG biorazgradljivost, Zahn-Wellens test, odpadne vode  
KK 504.4:628.35(043.2) = 863  
AV HOJNIK, Maša  
SA TOMAN, Mihael Jožef (mentor)  
KZ SI-1000 Ljubljana, Večna pot 111  
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo  
LI 2007  
IN BIORAZGRADLJIVOST NEKATERIH ODPADNIH VODA  
TD Diplomsko delo (univerzitetni študij)  
OP VII, 44 str., 14 sl., 43 vir  
IJ sl  
JI sl/en  
AI

Celovita določitev biorazgradljivosti odpadnih vod je nepogrešljiva pri določanju njihove nevarnosti in vpliva na okolje. Z določitvami lastnosti odpadnih vod zmanjšamo vpliv le-teh na površinske vode na najmanjšo možno mero. Določanje biorazgradljivosti odpadnih vod je povezano s številnimi problemi, saj so odpadne vode mešanice snovi, med katerimi lahko nastopijo različne interakcije. Številne snovi, ki pridejo v okolje so strupene ali pa postanejo nevarne z akumulacijo ali bioakumulacijo, zato je njihova razgradnja v bolj enostavne snovi ali celo anorganske produkte pozitiven proces. Poseben problem predstavlja tudi variacija sestave odpadne vode, predvsem industrijske. Obstaja več pristopov k vrednotenju biorazgradljivosti odpadnih vod, najbolj pa se uveljavlja pristop na osnovi kombinacij pristopa k celotni odpadni vodi (WEA) in pristopa k posameznim komponentam. Biološko razgradljivost smo ugotavljali s pomočjo standardne metodologije: Zahn – Wellens testa. Zahn – Wellens test je metoda vrednotenja biorazgradnje in odstranjevanja organskih snovi, mešanic kemikalij ali odpadnih voda, ki so v testnem mediju edini vir hrane in energije za aerobne mikroorganizme. Metodo smo preizkusili na povsem različnih odpadnih vodah. Odpadne vode iz tekstilne industrije so se izkazale kot dobro razgradljive, med tem ko so se izcedne vode iz deponije izkazale za težje razgradljive odpadne vode.

## KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dd  
DC UDK - vrstilec  
CX biodegradability, Zahn-Wellens method, waste water  
CC 504.4:628.35(043.2) = 863  
AU HOJNIK, Maša  
AA TOMAN, Mihael Jožef (supervisor)  
PP SI-1000 Ljubljana, Večna pot 111  
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Biology  
PY 2007  
TI BIODEGRABILITY OF SOME WASTE WATER  
DT Graduation Thesis ( University studies)  
NO VII, 44 p., 14 fig., 43 lit.  
LA sl  
AL sl/en  
AB

Evaluation of biodegradability of wastewaters is essential in their hazard and risk assessment. With proper wastewater characterisation , the hazardous impact to surface wastewater can be minimised. There are many conceptual and analytical problems concerning evaluation of biodegradability of wastewater due to possible interaction between their constituents. Many synthetic molecules discharged into various environments are directly toxic or become hazardous following accumulation or bioaccumulation. Because mineralization results in the total destruction of the parent compound and its conversion to inorganic products, such processes are beneficial. The changeable composition of wastewaters as a consequence of various industrial processes is also of great importance. Many approaches to assessment of biodegradability of wastewaters exist. Nowadays a combination of whole effluent approach (WEA) and single substances approach (SSA).

Evaluation of biodegradability was established with using the standard static test: Zahn – Wellens method. The biodegradation of water-soluble organic compounds or wastewater ingredients by aerobic microorganisms is determined using a static aqueous test system. The test mixture contains an inorganic medium, activated sludge as a mixed inoculum and an organic test compound as the sole source of carbon and energy other than the sludge. We use this method on various wastewaters. Biodegradability of wastewaters from textile industry and slaughter houses is very good, but biodegradability of wastewaters from dumping-places is low.

## KAZALO VSEBINE

Ključna dokumentacijska informacija.....	III
Key words documentation.....	IV
Kazalo vsebine.....	V
Kazalo slik.....	VI
Okrajšave in simboli.....	VII
<b>1 UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Namen.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 Hipoteza.....</b>	<b>2</b>
<b>2 PREGLED OBJAV.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Odpadne vode.....</b>	<b>3</b>
2.1.1 Industrijske odpadne vode.....	3
<b>2.2 Čiščenje odpadnih vod.....</b>	<b>5</b>
2.2.1 Aerobno biološko čiščenje odpadne vode.....	5
<b>2.3 Biorazgradljivost odpadne vode.....</b>	<b>6</b>
2.3.1 Vplivi na biorazgradnjo.....	6
2.3.2 Cepivo.....	7
2.3.3 Metode za določanje biorazgradljivosti.....	7
<b>3 MATERIAL IN METODE.....</b>	<b>10</b>
<b>3.1 Opis Zahn-Wellens testa.....</b>	<b>10</b>
3.1.1 Namen testa.....	10
3.1.2 Princip.....	11
3.1.3 Testno okolje.....	11
3.1.4 Reagenti.....	11
3.1.5 Aparature.....	13
3.1.6 Postopek.....	16
3.1.7 Izvedba testa.....	17
3.1.8 Izračun in podajanje rezultatov.....	19
<b>4 REZULTATI.....</b>	<b>20</b>
<b>4.1 Test biorazgradnje.....</b>	<b>21</b>
<b>4.2 Biorazgradnja natrijevega benzoata.....</b>	<b>22</b>
<b>4.3 Biorazgradnja odpadne vode iz tekstilne industrije.....</b>	<b>23</b>
<b>4.4 Biorazgradnja odpadne vode iz klavnice.....</b>	<b>28</b>
<b>4.5 Biorazgradljivost izcednih vod iz deponij.....</b>	<b>32</b>
<b>5 RAZPRAVA IN SKLEPI.....</b>	<b>39</b>
<b>6 POVZETEK.....</b>	<b>42</b>
<b>7 VIRI.....</b>	<b>44</b>

## ZAHVALA

Slika 1: Teoretični primer krivulje biorazgradnje odpadne vode.....	8
Slika 2: Shema aparature pri Zahn-Wellens testu.....	13
Slika 3: Kivete z reagenti in vzorci v reaktorju.....	15
Slika 4: Reakcijske posode na magnetnih mešalih.....	17
Slika 5: Krivulja razgradnje natrijevega benzoata.....	21
Slika 6: Krivulja razgradnje odpadne vode iz tekstilne industrije – vzorec A.....	23
Slika 7: Krivulja razgradnje odpadne vode iz tekstilne industrije – vzorec B.....	24
Slika 8: Krivulja razgradnje odpadne vode tekstilne industrije – vzorec C.....	25
Slika 9: Krivulja razgradnje odpadne vode iz klavnice – vzorec A.....	28
Slika 10: Krivulja razgradnje odpadne vode iz klavnice – vzorec B.....	29
Slika 11: Krivulja razgradnje izcedne odpadne vode iz deponije – vzorec A.....	33
Slika 12: Krivulja razgradnje izcedne odpadne vode iz deponije – vzorec B.....	34
Slika 13: Krivulja razgradnje izcedne odpadne vode iz deponije – vzorec C.....	35
Slika 14: Krivulja razgradnje izcedne odpadne vode iz deponije – vzorec D.....	36

## OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

ČN	čistilna naprava
BPK <sub>5</sub>	biokemijska potreba po kisiku v 5 dneh (mg/l)
KPK	kemijska potreba po kisiku (mg/l)





## 1 UVOD

Celovita določitev biorazgradljivosti snovi in odpadnih vod je nepogrešljiva pri določanju njihove nevarnosti in vpliva na okolje. Z določitvami lastnosti odpadnih vod lahko izberemo najustreznejši način čiščenja, določimo najbolj nevarne komponente v vodi in tako posredno vplivamo na spremembe tehnoloških postopkov. Zmanjšamo tudi vpliv odpadnih vod na površinske vode na najmanjšo možno mero, (Žgajnar-Gotvajin in Zagorc-Končan, 1999).

Določanje biorazgradljivosti odpadnih vod je povezano s številnimi problemi, saj so odpadne vode mešanice snovi, med katerimi nastopijo različne interakcije. Kompleksnost in spremenljivost sta tipični lastnosti skoraj vsake odpadne vode. Ta omejuje popolno poznavanje odpadne vode, ker celovite fizikalno-kemijske analize zaradi visokih stroškov ter tehničnih in analitskih omejitev praktično ni mogoče izvesti, niti ni smiselna.

Ker je biorazgradnja ključen način odstranjevanja organskih polutantov iz naravnega vodnega okolja, je poznavanje obsega in hitrosti biorazgradnje odpadnih vod pomembno. Številne snovi, ki pridejo v okolje, so strupene, ali pa postanejo nevarne z akumulacijo ali bioakumulacijo, zato je njihova razgradnja v bolj enostavne snovi ali celo anorganske produkte pozitiven proces, ( Žgajnar-Gotvajin in Zagorc-Končan, 2001).

Biorazgradljivost je torej biološka transformacija organskih snovi v posamezne komponente in je pomemben proces pri odstranjevanju večine organskih snovi iz biosfere. Biorazgradnja pomeni pretvorbo organskih snovi pod vplivom mikrobiološke aktivnosti v stranske produkte, anorganske komponente, ogljikov dioksid in vodo. Ko za neko snov pravimo, da je biološko razgradljiva, to običajno pomeni, da se lahko mineralizira. K težje razgradljivim snovem štejemo snovi, katerih razgradnja poteka le pod določenimi pogoji; med obstojne snovi pa spadajo tiste, ki jih organizmi ne morejo razgraditi.

Biorazgradnja organskih snovi z vidika okolja ni vedno pozitiven proces, saj med razgradnjo lahko iz nestrupene dobro razgradljive snovi nastanejo številni strupeni in obstojni produkti, ( Žgajnar-Gotvajin in Zagorc-Končan, 1996). Zato je kompleksno poznavanje mehanizma biorazgradnje snovi pomembno pri vrednotenju njenega vpliva na okolje, v katerem pričakujemo, da se bo pojavila.

### 1.1 NAMEN

Namen mojega diolomskega dela je na različnih odpadnih vodah ugotoviti stopnjo in hitrost biološke razgradljivosti in s tem ugotoviti sposobnost samočiščenja teh odpadnih voda v vodnih ekosistemih in čistilnih napravah.

Biološko razgradljivost smo ugotavljali s pomočjo standardne metodologije: Zahn – Wellens testa. Preizkusili smo ga na različnih odpadnih vodah in sicer z odpadnimi vodami iz tekstilne industrije, z odpadno vodo iz klavnice in z izcedno vodo iz deponij.

### 1.2 HIPOTEZA

Opadne vode komunalnega značaja in razgradljive industrijske odpadne vode, ki so hitro razgradljive, lahko negativno vplivajo na vodotok in delovanje čistilne naprave, če so koncentrirane.

## **2 PREGLED OBJAV**

### **2.1 ODPADNE VODE**

Odpadne vode so tiste vode, ki se po uporabi ali kot posledica onesnaženja odvajajo v vodo neposredno ali po kanalizaciji.

Odpadne vode delimo na:

- komunalne, ki nastajajo v gospodinjstvu, objektih v javni rabi, to so tudi sanitarne vode.
- industrijske, ki nastajajo v industriji, obrtnih dejavnostih, kmetijskih dejavnostih, sem spadajo tudi hladilne vode.
- padavinske, ki kot posledica padavin spirajo utrjene površine in odtekajo v okolje, (Roš, 2001).

#### **2.1.1 Industrijske odpadne vode**

Količina in lastnosti industrijskih odpadnih vod so odvisne od tipa industrije in vrste industrijskih procesov. V slovenskem prostoru obstaja veliko tipov industrij in nekatere odpadne vode so zaradi svoje posebne značilnosti zajete tudi v posebno zakonodajo, ki trenutno zajema okoli štirideset različnih tipov odpadnih vod, kot so npr. odpadne vode iz:

- proizvodnje, predelave in obdelave tekstilnih vlaken,
- proizvodnje usnja in krzna,
- proizvodnje rastlinskih in živalskih olj in maščob,
- proizvodnje, predelave in konzerviranja mesa ter proizvodnje mesnih izdelkov,
- predelave mleka in proizvodnje mlečnih izdelkov,
- proizvodnje piva in slada,
- proizvodnje celuloze.

V diplomskem delu smo uporabili odpadne vode iz:

#### Tekstilne industrije

Tekstilna industrija zajema sledeče procese: sprejem in pretvorbo vlaken; pretvorbo vlaken v sukanec, nitko ali tkanino, pretvorbo sukanca v blago ali sorodne produkte; barvanje in zaključevanje teh materialov v različnih stopnjah proizvodnje.

Izdelava tekstila zahteva precejšnje količine vode za proizvodni proces. Največ vode je potrebno za barvanje in zaključne operacije. Glede na nastali volumen in sestavo odpadne vode sodi tekstilna industrija med največje onesnaževalce med vsemi vejami industrije, (Sen in Demirer, 2003).

#### Odpadna voda iz klavnice

Klavnice so relativno velik porabnik vode. Ker so odplake iz klavnice sorazmerno obremenjene, je nujno, da se tudi odpadne vode klavnic malih kapacitet projektno obdelajo in izvedejo ločeno. Tako se mora tehnološka kanalizacija posebej obdelati, glede na število glav živine, ki jo zakoljejo na leto. Tako moramo izpuste odpadne vode iz klavnice prilagoditi Zakonskim predpisom in omejitvam za izpuste odpadne vode UL RS Št.10/16.02.1999 (Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadnih vod iz objektov za proizvodnjo, predelavo in konzerviranje mesa ter proizvodnjo mesnih izdelkov).

#### Izcedna voda iz deponije

V deponiji se odvijajo različni biološki, kemični in fizikalni procesi, ki vplivajo na sestavo izcedne vode in produkcijo plina. Med faktorje, ki vplivajo na sestavo izcedne vode, sodijo tudi zgradba deponije, vrsta smeti, ki se na njej odlagajo in količina vode, ki pronica skozi deponijo, ( Isidori in sod., 2003).

## 2.2 ČIŠČENJE ODPADNIH VOD

Cilj vodnega gospodarstva je visoka kvaliteta vseh naravnih vod. Odpadne vode je potrebno čistiti, da zmanjšamo tveganje za zdravje z najmanjšo možno mero in sicer z upravljanjem z vodami.

Čiščenje odpadne vode na čistilni napravi poteka v treh stopnjah:

Primarno čiščenje obsega predvsem mehanske procese precejanja in usedanja delcev. Na primarni stopnji čiščenja se lahko razgradi do 30% organskih snovi, prisotnih v odpadni vodi.

Sekundarna stopnja čiščenja vključuje predvsem biokemijske procese razgradnje. Cilj postopkov sekundarnega čiščenja je zmanjšati količino vseh organskih snovi v vodi. Glede na to ali mikroorganizmi razgrajujejo organske snovi v prisotnosti ali odsotnosti kisika, razlikujemo: aerobno biološko čiščenje in anaerobno biološko čiščenje.

Terciarno čiščenje pomeni odstranjevanje nutrientov. Uporaba te stopnje je v veliki meri odvisna od uspešnosti čiščenja predhodnjih stopenj. Potrebna je takrat, kadar želimo odstraniti oz. zmanjšati količino določenih snovi v efluentu pred izpustom v naravno okolje, (Urbanič in Toman, 2003).

### 2.2.1 Aerobno biološko čiščenje odpadne vode

V aerobnih bioloških postopkih organizmi biokemijsko razgradijo organske snovi in v končni fazi oksidirajo do anorganskih. Torej je aerobno biološko čiščenje posnemanje naravnega biološkega samočiščenja, značilnega za naravne vodne ekosisteme. V naravi je biološko samočiščenje popolno, saj sodelujejo vse glavne skupine organizmov (primarni producenti, porabniki in razgrajevalci).

Na sekundarni stopnji v bioloških čistilnih napravah ni primarnih producentov, zato je čiščenje nepopolno. Očiščena voda je razbremenjena le organskih snovi, vsebuje pa nutrienete. Izpust z nutrienti bogate vode v odvodnik lahko v stoječih vodah povzroči evtrofikacijske procese in s tem sekundarno onesnaženje. Zato za zmanjšanje količine nutrientov pri čiščenju odpadnih voda uporabljajo tudi terciarno stopnjo čiščenja.

Nosilci aerobnega biološkega čiščenja so organizmi oziroma aktivna biomasa. Razlikujemo dva tipa biomase glede na to dva tipa bioloških čistilnih naprav: naprave z razpršeno biomaso in naprave s priraslo biomaso.

### 2.3 BIORAZGRADLJIVOST ODPADNE VODE

Biorazgradnja je za večino organskih snovi najbolj pogost način odstranjevanja iz okolja. Ko govorimo o biorazgradljivosti moramo ločiti dva pojma: biorazgradnja in mineralizacija. Splošno lahko rečemo, da biorazgradnja pomeni splet reakcij, v katerih sodelujejo mikroorganizmi, ki povzročijo spremembo v strukturi organske snovi. Ta sprememba je lahko minimalna ali pa organska snov popolnoma razpade v vodo, ogljikov dioksid in anorganske komponente. Ko pride do kakršnekoli spremembe v strukturi izhodiščne molekule zaradi delovanja mikroorganizmov, govorimo o biorazgradnji, če pa snov popolnoma razpade, govorimo o mineralizaciji. Za mineralizacijo je značilno, da se del organske snovi porabi za endogeno respiracijo, del ogljika izhodiščne organske molekule pa se vgradi v novo biomaso.

Biorazgradnja lahko poteka aerobno, v prisotnosti molekularnega kisika ali pa anaerobno, brez prisotnosti kisika. Mehanizem anaerobne razgradnje ni identičen aerobni razgradnji. Poteka v drugačnih fizikalno – kemijskih razmerah, z drugimi mikroorganizmi in prevladujejo drugačni produkti, (Žgajnar-Gotvajn, 1998).

#### 2.3.1 Vplivi na biorazgradnjo

S poznavanjem hitrosti in sposobnosti biorazgradnje snovi in odpadnih voda, lahko ocenimo njihovo primernost za biološko čiščenje ali pa napovemo njihovo obnašanje v naravi.

Hitrost biorazgradnje odpadnih vod je odvisna od številnih dejavnikov, (Urbanič in Toman, 2003):

- 1) Fizikalno – kemijskih (temperatura, topnost organskih snovi, koncentracija raztopljenega kisika in pH).
- 2) Bioloških (starost mikroorganizmov, čas in način adaptacije in strupenost snovi).

3) Kemijskih (velikost molekule, dolžina in moč intramolekularnih vezi, število in pozicija substituent, stereokemija).

### **2.3.2 Cepivo**

Mikroorganizme, ki jih dodajamo v teste biorazgradljivosti, imenujemo cepivo. Pomemben je njihov vir, količina in predhodna obdelava:

Aklimatizacija (pomeni, da mikroorganizmi živijo v takšnih pogojih, v kakršnih bodo v testu tudi razgrajevali določeno snov).

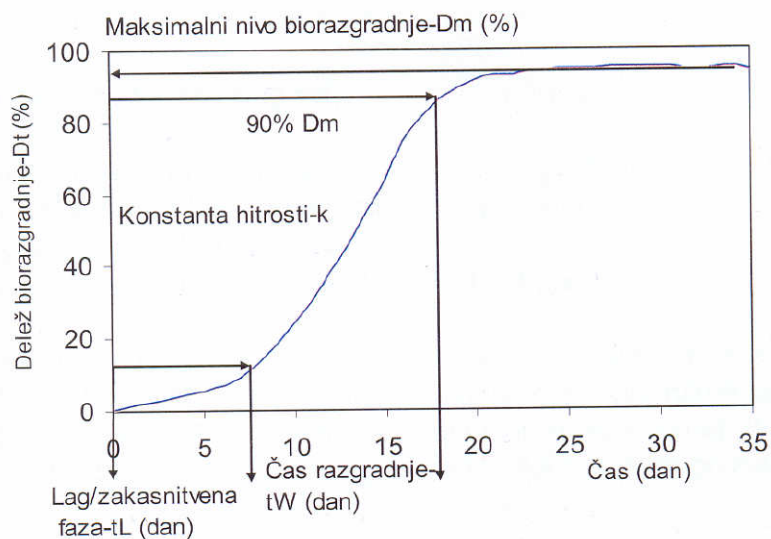
Adaptacija (pomeni, da so bili mikroorganizmi ves čas v stiku s snovjo, ki jo želimo razgraditi).

Kot vir cepiva se pri standardnih testih uporablja aktivno blato iz aerobne komunalne čistilne naprave, ki mora obratovati pod konstantnimi razmerami.

### **2.3.3 Metode za določanje biorazgradljivosti**

Sposobnost biorazgradnje odpadnih vod se določa z različnimi metodami. Testi se delijo na izbirne teste, teste za določanje potencialne biorazgradljivosti in simulacijske teste.

Biorazgradnjo odpadne vode predstavimo v obliki krivulje, ki predstavlja delež biorazgradnje (%) v odvisnosti od časa (slika1):



**Slika 2: Teoretični primer krivulje biorazgradnje odpadne vode**

Iz krivulje (slika 1) odčitamo parametre, ki karakterizirajo biorazgradnjo in nam povedo, če je neka snov lahko biorazgradljiva.

Ti faktorji so:

zakasnitveni čas – lag faza ( $t_L$ , dan) je čas od začetka poskusa do takrat, ko biorazgradnja doseže 10% teoretične vrednosti.

čas razgradnje ( $t_W$ , dan) je čas od konca zakasnitvenega časa do takrat, ko biorazgradnja doseže 90% maksimalne stopnje razgradnje.

maksimalna stopnja razgradnje (%) je končni delež biorazgradnje (%) odpadne vode po koncu testa (Žgajnar-Gotvajn, 1998).

### 2.3.3.1 Test za določanje potencialne biorazgradljivosti

Testi za določanje potencialne biorazgradljivosti so testi, pri katerih je koncentracija mikroorganizmov približno tako visoka kot tista v biološki čistilni napravi.



Med te vrste testov sodi tudi statični Zahn – Wellens test. Rezultate testa predstavimo v obliki krivulje razgradnje, kjer na absciso nanašamo čas v dnevih in na ordinato delež biorazgradnje.

Za snov velja, da je potencialno biorazgradljiva, če se v 28 dneh razgradi več kot 70%. Če pa se snov razgradi manj kot 20% lahko rečemo, da je potencialno nerazgradljiva, kar pomeni, da obstaja velika verjetnost, da se pri običajnih pogojih v okolju ni sposobna razgrajevati in da se lahko akumulira.

### **3 MATERIAL IN METODE**

Namen eksperimentalnega dela je bil na različnih odpadnih vodah ugotoviti stopnjo in hitrost biološke razgradljivosti.

Biološko razgradljivost smo ugotavljali s pomočjo standardne metodologije: Zahn – Wellens testa. Preizkusili smo ga na povsem različnih odpadnih vodah.

Ovrednotili smo biorazgradljivost natrijevega benzoata – kot referenčno raztopino in biorazgradljivost različnih tipov odpadnih vod. Tako smo zagotavljali biološko razgradljivost pri tekstilnih odpadnih vodah, izcednih vodah iz deponij in izcedne vode iz klavnice.

#### **3.1 OPIS ZAHN-WELLENS TESTA**

Zahn-Wellens test, je test za določanje potencialne razgradljivosti, kar pomeni, da z njim testiramo biorazgradljivost na prvem nivoju oziroma potencialno biorazgradljivost.

##### **3.1.1 Namen testa**

Z Zahn-Wellens testom določamo aerobno biorazgradljivost organskih snovi, njihovih mešanic in odpadnih vod v vodnem mediju.

Pogoji opisani v metodi ustrezajo optimalnim pogojem za doseganje maksimalne stopnje biorazgradnje, zato metoda spada v skupino testov za določanje potencialne biorazgradljivosti.

Metoda je uporabna za organske snovi, njihove mešanice in odpadne vode:

- topne pri testnih pogojih;
- nehlapne ali tiste, pri katerih je parni tlak pri testnih pogojih zanemarljiv;
- ki se s penjenjem ne izgubljajo iz testne raztopine;
- ki ne zavirajo delovanja testnih mikroorganizmov pri izbrani testni koncentraciji.

### **3.1.2 Princip**

Zahn-Wellens metoda je metoda vrednotenja biorazgradnje in odstranjevanja organskih snovi, mešanic kemikalij ali odpadnih voda, ki so v testnem mediju edini vir hrane in energije za aerobne mikroorganizme.

Zahn-Wellens test je šaržni test s spranim aktivnim blatom in relativno visoko koncentracijo testne snovi. Delamo v steklenih čašah, mešamo in prezračujemo. Vzoredno z vzorcem delamo tudi slepi test (brez vzorca), s katerim spremljamo dogajanje v testnem mediju in fizikalno-kemijsko kontrolo, če pričakujemo, da se bo testna snov razgrajevala na fizikalno kemijski način. Predhodno ali vzoredno s testiranjem vzorca naredimo test s standardno kemikalijo (dobro razgradljiva, nestrupena snov), s katerim preverimo aktivnost uporabljenih mikroorganizmov.

V rednih časovnih intervalih odvezemamo vzorce iz testne raztopine za KPK in specifične analize in na podlagi dobljenih podatkov ovrednotimo končno in primarno biorazgradnjo testne snovi.

### **3.1.3 Testno okolje**

Test poteka na difuzni svetlobi ali v temi, pri konstantni temperaturi med 20 in 25°C in prostoru, kjer ni hlapov, strupenih za mikroorganizme.

### **3.1.4 Reagenti**

Testni medij

Testni medij je medij, ki vsebuje potrebne elemente in minerale za optimalno delovanje aerobnih mikroorganizmov. Pripravimo ga tik pred uporabo in sicer želeno količino, tako da 1000 ml testnega medija vsebuje:

10 ml/l raztopine a

1 ml/l raztopin b, c in d

Za pripravo mineralnih raztopin uporabljamo kemikalije analitske čistosti in destilirano vodo, ki vsebuje manj kot 2 mg/l DOC ( raztopljenega organskega ogljika).

#### Raztopina A

V 1000 ml merilno bučko zatehtamo naslednje količine trdnih kemikalij:

kalijev dihidrogenfosfat ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )	8,5 g
dikalijev hidrogenfosfat ( $\text{K}_2\text{HPO}_4$ )	21,75 g
natrijev hidrogenfosfat dihidrat ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ )	33,4 g
amonijev klorid ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ )	0,5 g

Raztopimo in dopolnimo do 1000 ml z destilirano vodo.

Za kontrolo uporabnosti smo merili pH raztopine in če ni bil okoli 7,4 smo pripravili svežo raztopino.

#### Raztopina B

V 1000 ml merilno bučko zatehtamo naslednje količine trdnih kemikalij:

magnezijev sulfat heptahidrat ( $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ )	22,5 g
--	--------

Raztopimo in dopolnimo do 1000 ml z destilirano vodo.

#### Raztopina C

V 1000 ml merilno bučko zatehtamo naslednje količine trdnih kemikalij:

kalcijski klorid dihidrat ( $\text{CaCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$ )	36,4 g
--	--------

Raztopimo in dopolnimo do 1000 ml z destilirano vodo.

#### Raztopina D

V 1000 ml merilno bučko zatehtamo naslednje količine trdnih kemikalij:

železov (III) klorid heksahidrat ( $\text{FeCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}$ )	0,25 g
---	--------

Raztopimo in dopolnimo do 1000 ml z destilirano vodo.

Ta raztopina smo pripravili sveže pred uporabo oziroma smo ji dodali 1 ml koncentrirane klorovodikove kisline ( $\text{HCl}$ ), da preprečimo precipitacijo.

Raztopina natrijevega hidroksida

Raztopimo natrijev hidroksid (NaOH) v destilirani vodi, da dobimo raztopino koncentracije 0,1 mol/l do 0,5 mol/l.

Raztopina klorovodikove kisline

Raztopimo klorovodikovo kislino (HCl) v destilirani vodi, da dobimo raztopino koncentracije 0,1 mol/l do 0,5 mol/l.

Raztopina živosrebrovega klorida

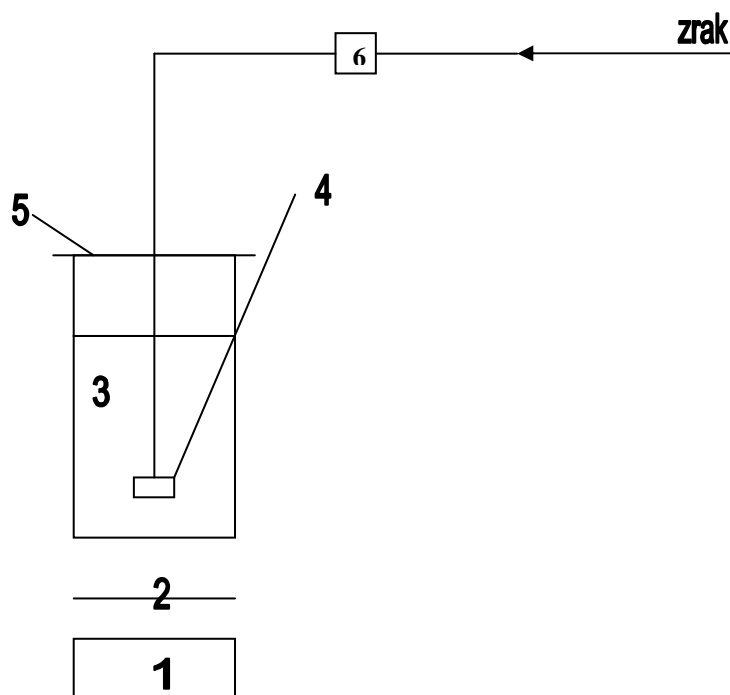
Raztopimo 1 g živosrebrovega (II) klorida ( $\text{HgCl}_2$ ) v 100 ml destilirane vode.

### **3.1.5 Aparature**

Pri delu uporabljamo klasično laboratorijsko opremo in sicer:

Laboratorijska steklovina

Erlenmajerice volumna 2 l opremljene z magnetnimi mešali, ki zagotavljajo homogeno mešanje in pokrovi, ter steklenimi fritami, skozi katere vpihujemo zrak, s katerim vsebino erlenmajeric prezračujemo. Zrak ne sme vsebovati organskega ogljika in strupenih hlapov. Dobro je, če zrak pred uporabo nasitimo z vodnimi hlapi, da se izognemo izgubam zaradi izhlapevanja.



Slika 2: Shema aparature pri Zahn-Wellens testu

Deli testne aparature pri Zahn-Wellens testu:

- 1 – magnetno mešalo
- 2 – azbestna ploščica (preprečuje gretje testne raztopine)
- 3 – steklena erlenmajerica (  $V = 2\text{ l}$  )
- 4 – porozna frit
- 5 – pokrov
- 6 - plinoizpiralka

Merilna oprema

Merilna oprema mora imeti zadostno občutljivost za meritve kemijske potrebe po kisiku.

Meritve KPK se izvajajo po metodi v skladu z ISO 15705:2002, z reagenti za merilno območje 0-1500 mg/l O<sub>2</sub>.

### Centrifuga in naprave za filtriranje

Centrifuga in naprave za filtriranje s papirnatimi filtri (modri trak) ali membranskimi filtri (velikost por 0,2 – 0,45  $\mu\text{m}$ ), ki prepuščajo organski ogljik do minimalne stopnje.

### Določanje kemijske potrebe po kisiku (KPK)

Potek biorazgradnje smo spremljali z analizo kemijske potrebe po kisiku, ki spada k sumarnim parametrom s katerimi merimo, kolikšen delež snovi se je med biorazgradnjo mineraliziral v ogljikov dioksid, vodo in različne anorganske komponente. Za spremljanje biorazgradnje je metoda določevanja KPK primerna zato, ker je enostavno izvedljiva in dovolj natančna.

Kemijsko potrebo po kisiku smo določali v skladu s standardom ISO 15705:2002. Ta metoda podaja postopek za določanje empirične vrednosti KPK, z uporabo pred pripravljenih reagentov v posebnih kivetah in spektrofotometričnim merjenjem po oksidaciji v reaktorju. S to metodo določamo KPK v koncentracijah od 4 – 40 mg/l O<sub>2</sub> in od 40 – 1500 mg/l O<sub>2</sub> v odpadnih vodah.



Slika 3: Kivete z reagenti in vzorci v reaktorju

### 3.1.6 Postopek

#### Vzorčevanje in vzorci

Pri vzorčevanju se uporablja PE (polietilen) embalaža. Embalaža izdelana iz PE ima dobro nosilnost in odpornost na lom (te lastnosti v večini obdrži tudi pri zelo nizkih temperaturah). Polimerni materiali so kemijsko zelo stabilni, mehansko trdni, fleksibilni, higiensko neoporečni in lahki, ter zato primerni za embaliranje vode.

Analize je potrebno izvesti v najkrajšem možnem času. Kadar so meritve predstavljene do 48 ur, hranimo vzorce pri 4 °C v temnih in tesno zaprtih posodah. Če izvedba analize ni možna v tem času je potrebno vzorce hraniti pri -18 °C.

Testni medij se pripravi sveže pred uporabo. Rastopine A, B, C in D (z dodatkom HCl) se lahko shranijo do 6 mesecev v hladilniku.



## Priprava cepiva

V čistilni napravi ( v našem primeru ČN Celje) iz aeracijskega bazena vzamemo vzorec aktivnega blata (1 l). Zajeto blato premešamo in večkrat zapored speremo z vodovodno vodo, da speremo prisotno organsko onesnaženje. Pred uporabo mu določimo koncentracijo in ga po potrebi še koncentriramo z usedanjem, tako da je volumen dodanega blata za doseg želene koncentracije v testni posodi minimalen. S tem se izognemo vnosu neznanega onesnaženja v testno raztopino.

## Slepi test

Vsebuje testni medij in aktivno blato brez vzorca.

## Kontrola cepiva

Vsebuje testni medij, aktivno blato in dobro razgradljivo komponento - standard ( natrijev benzoat), z začetnim KPK okoli 1000 mg/l.

### 3.1.7 Izvedba testa

Pripravimo naslednje reakcijske posode:

Erlenmajerico **Ft**, ki vsebuje:

500 ml testnega medija

500 ml vzorca – ali manj, če je KPK vzorca večji kot 2000 mg/l

aktivno blato, količino prilagodimo glede na začetno meritev KPK ( Za KPK 100 mg/l se uporabi 0,2 g/l suspendiranih trdnih snovi in za KPK 1000 mg/l se uporabi 1 g/l v končni mešanici. Za koncentracije med 100 mg/l in 1000 mg/l se uporabijo vmesne koncentracije aktivnega blata).

Uravnavamo pH na  $7 \pm 0,5$  z NaOH ali HCl

Erlenmajerico **Fb** za slepi test, ki teče vzporedno z vsako testno serijo in vsebuje:

1000 ml testnega medija

aktivno blato v enaki koncentraciji kot v testu z vzorcem

Erlenmajerico **Fc**, v kateri preverimo aktivnost dodanega cepiva in vsebuje:

1000 ml testnega medija z dodatkom ustrezne količine raztopine standarda, tako bo KPK okoli 1000 mg/l.

aktivno blatov takšni količini, da je koncentracija enaka tisti v testu.

Erlenmajerico **Fs**, za kontrolo fizikalno-kemijske razgradnje, ki vsebuje:

500 ml testnega medija

500 ml vzorca

10 ml raztopine  $\text{HgCl}_2$ , če je koncentracija  $\text{HgCl}_2$  v raztopini 100 mg/l.

Pripravljene raztopine v testnih posodah prezračujemo in mešamo.



Slika 4: Reakcijske posode na magnetnih mešalnih

Med testom spremljamo pH in ga s HCl ali NaOH vzdržujemo v nevtralnem območju  $7 \pm 0,5$ . Spremljamo in uravnavamo tudi temperaturo in koncentracijo kisika.

Vzorci odvezemamo v rednih časovnih intervalih med testom. Kot vzorec vzeti na začetku testa ( $t = 0$ ), označimo vzorec, ki ga vzamemo  $3 \pm 0,5$  ure po začetku testa. S tem se izognemo napaki zaradi morebitne adsorpcije vzorca na aktivno blato in stene posode. Vedno vzamemo najmanjšo množino vzorca za KPK ali specifične analize. Vzorce pred analizo filtriramo in analiziramo takoj ali zamrzujemo pri  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Če se je razgradnja končala že pred 28 dnevom (okoli 70%), lahko test zaključimo. Če pa se razgradnja začne proti koncu testa, test podaljšamo do konca biorazgradnje.

### 3.1.8 Izračun in podajanje rezultatov

Biorazgradljivost ocenimo kot delež odstranjenega KPK testne snovi v določenem času ( $D_t$ ) po enačbi:

$$D_t = (1 - (\rho_{cTt} - \rho_{cBt} / \rho_{cT1} - \rho_{cB1})) \times 100 \quad \dots(1)$$

$D_t$  je biorazgradljivost v %

$\rho_{cTt}$  je izmerjen KPK v mg/l, v času  $t_1$  v posodi  $F_T$

$\rho_{cBt}$  je izmerjen KPK v mg/l, v času  $t_1$  v posodi  $F_B$

$\rho_{cT1}$  je izmerjen KPK v mg/l, v času  $t$  v posodi  $F_T$

$\rho_{cB1}$  je izmerjen KPK v mg/l, v času  $t$  v posodi  $F_B$

#### **4 REZULTATI**

Namen eksperimentalnega dela je bil uvesti in preizkusiti Zahn-Wellens test za testiranje biorazgradnje različnih odpadnih vod v aerobni čistilni napravi.

Potek biorazgradnje čiste organske snovi in odpadne vode smo ocenjevali z Zahn-Wellens testom za določanje potencialne biorazgradljivosti z aklimatiziranimi in neadaptiranimi mikroorganizmi.

Zahn-Wellens test smo izvedli s čisto organsko snovjo, v našem primeru z natrijevim benzoatom, za katerega vemo, da je dobro razgradljiva snov, obenem nestrupen in med biorazgradnjo ne tvori intermediatov. Tako smo z natrijevim benzoatom ocenili aktivnost uporabljenga cepiva – aktivnega blata.

Različne odpadne vode so se že v nultem nivoju testiranja izkazale za zelo različno razgradljive. Odpadne vode iz tekstilne industrije in klavnice kot dobro razgradljive, medtem ko so se izcedne vode iz deponij izkazale za težje razgradljive odpadne vode.

Potek biorazgradnje vseh testnih snovi smo spremljali s KPK analizo.

#### 4.1 TEST BIORAZGRADNJE

Zahn-Wellens test smo izvedli v 2 litrskih steklenih erlenmajericah s pokrovi s konstantnim mešanjem in prezračevanjem testnih raztopin. Teste smo izvedli z neadaptiranim in aklimatiziranim cepivom, ki smo ga vzeli iz aeracijskega bazena ČN Celje. Vzporedno z vzorcem smo naredili slepi test ( brez vzorca), s katerim smo spremljali razgradnjo testnega medija. Potek razgradnje testne raztopine in odpadnih vod smo spremljali s KPK analizo.

Med potekom Zahn-Wellens testa smo redno merili temperaturo in pH v testnih raztopinah. Med vsemi testi je bila temperatura vseh testnih raztopin  $20\pm 3$  °C, saj smo teste izvajali v termostatanem prostoru.

Med biorazgradnjo testiranih snovi ( natrijevega benzoata in vseh odpadnih vod) opazimo rahel padec pH, ko je hitrost biorazgradnje največja. Kljub padcu pH, ki po koncu razgradnje naraste na začetno vrednost, ni bilo potrebno uravnavati pH s kislino ali bazo, saj ni padel iz nevtralnega območja, ki ga določa uporabljen standard.

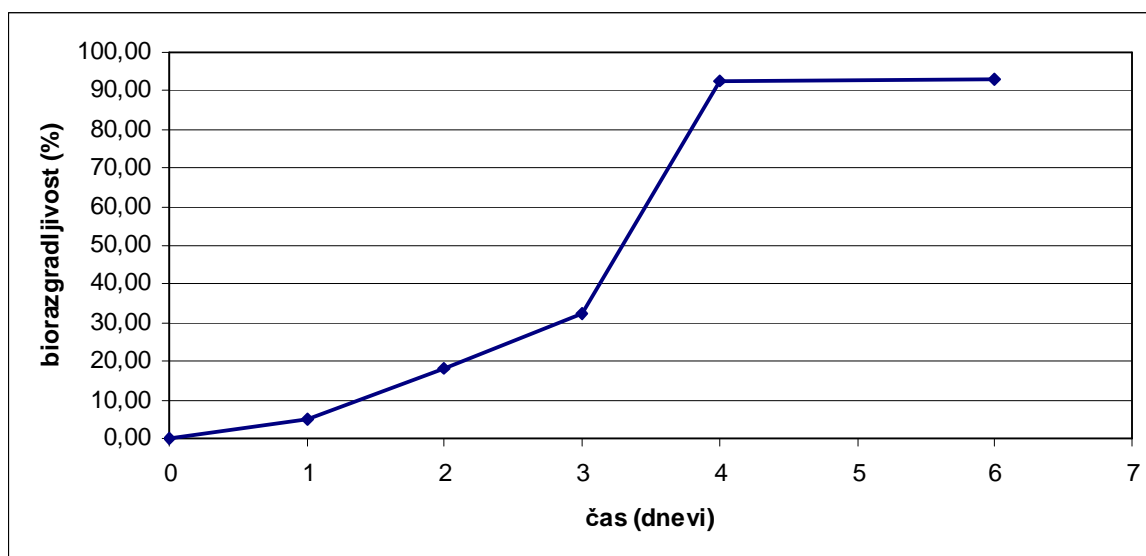
Pogoji ( pH in temperatura) v slepih testih se bistveno niso spreminjali.

## 4.2 BIORAZGRADNJA NATRIJEVEGA BENZOATA

Natrijev benzoat je primer dobro razgradljive snovi.

Z Zahn-Wellens testom smo z natrijevim benzoatom ocenili aktivnost mikroorganizmov.

Potek biorazgradnje smo spremljali s KPK analizo in procent biorazgradnje izračunali po enačbi /1/.



Slika 5: Krivulja razgradnje natrijevega benzoata

Iz krivulje biorazgradnje natrijevega benzoata lahko odčitamo naslednje rezultate:

zakasnitveni čas = 1 dan

maksimalna stopnja razgradnje = 93 %

čas razgradnje = 2,5 dni

Rezultati biorazgradnje natrijevega benzoata kažejo, da so bili uporabljeni mikroorganizmi iz aktivnega blata ČN Celje zadostno aktivni, ker je biorazgradnja v 14 dneh višja kot 70 %, kar navaja uporabljena standardna metoda za validacijo testa (Standard –EN ISO 9888).

#### 4.3 BIORAZGRADNJA ODPADNE VODE IZ TEKSTILNE INDUSTRIJE

Pred pričetkom testa smo najprej izvedli nekaj analiz surove odpadne vode iz tekstilne industrije:

vzorec A ( št. X)

pH = 7,7

KPK = 1124 mg/l

BPK<sub>5</sub> = 520 mg/l

vzorec B (št. 21)

pH = 7,5

KPK = 1280 mg/l

BPK<sub>5</sub> = 570 mg/l

vzorec C ( št. 594)

pH = 7,6

KPK = 1190 mg/l

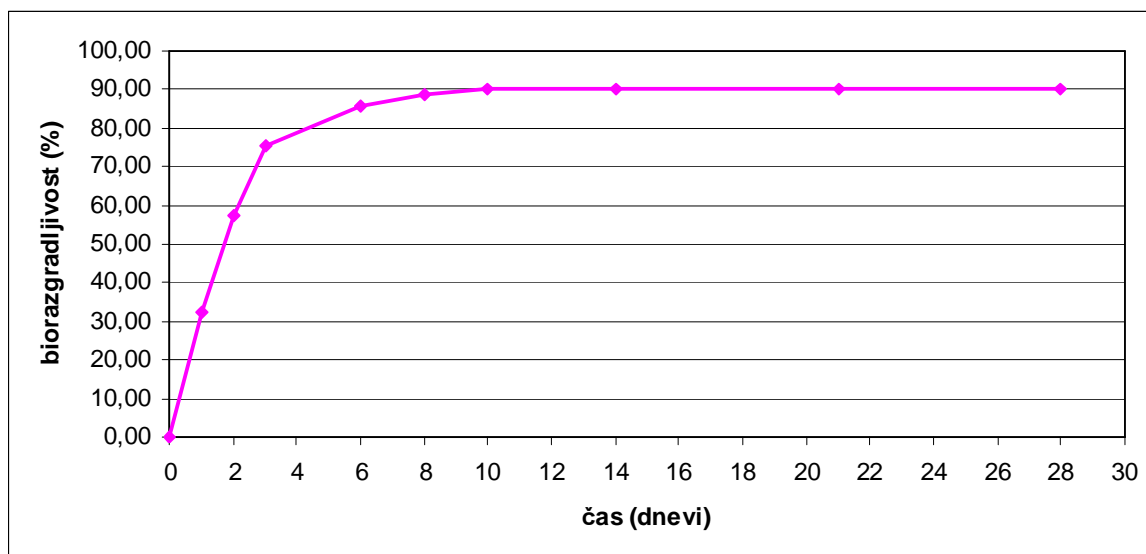
BPK<sub>5</sub> = 570 mg/l

Iz rezultatov vidimo, da gre za industrijsko odpadno vodo, ki se giblje v območju nevtralnega pH. Razmerje med BPK<sub>5</sub>/KPK je prva ocena biorazgradljivosti odpadne vode. Tako je odpadna voda v vzorcu A na osnovi izračuna BPK<sub>5</sub>/KPK v petih dneh 46 % biorazgradljiva, odpadna voda v vzorcu B 44 % biorazgradljiva in v vzorcu C v petih dneh 47 % biorazgradljiva.

Med potekom Zahn-Wellens testa smo glede na potek testa spremljali temperaturo in pH, ki sta občasno variirala vendar v območju dovoljenega.

Redno smo tudi odvzemali vzorce in izmerili KPK vrednosti, ki smo jih uporabili pri izračunu biorazgradljivosti po enačbi /1/.

Zahn-Wellens test pri odpadnih vodah tekstilne industrije se je zaključil po 28 dneh.



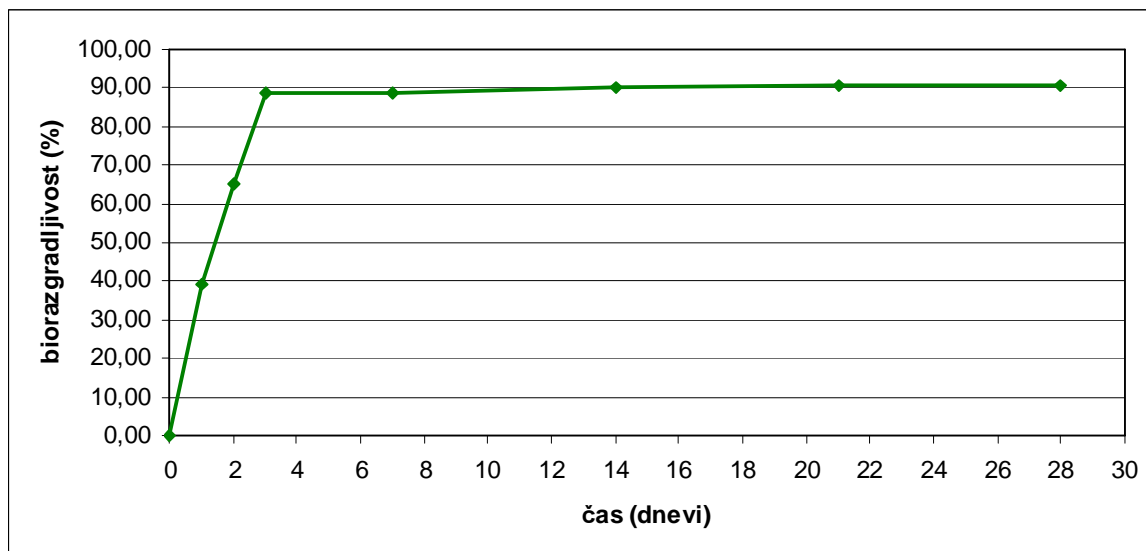
**Slika 6: Krivulja razgradnje odpadne vode iz tekstilne industrije – vzorec A**

Krivulja na sliki 6 nam prikazuje potek razgradnje odpadne vode iz tekstilne industrije. Razvidna je hitra in enakomerna razgradnja odpadne vode iz tekstilne industrije. Lag oziroma zakasnitvena faza v tem primeru ni dobro razvidna, kajti biorazgradnja se je začela hitro. Čas razgradnje (od zaključka lag faze pa do doseženega nivoja približno 90 % celotne razgradnje) je v tem vzorcu 6 dni, kar je lepo razvidno iz poteka krivulje. Maksimalna biorazgradnja je v tem vzorcu pri 90 %.

Analize surove odpadne vode in izračun razmerja  $BPK_5/KPK$  nam je prikazal dobro razgradljivo odpadno vodo in sicer v tem vzorcu 46 % v petih dneh.

Sam potek Zahn-Wellens testa nam je to potrdil, kajti čas biorazgradnja je približno 6 dni in to v 80 %.



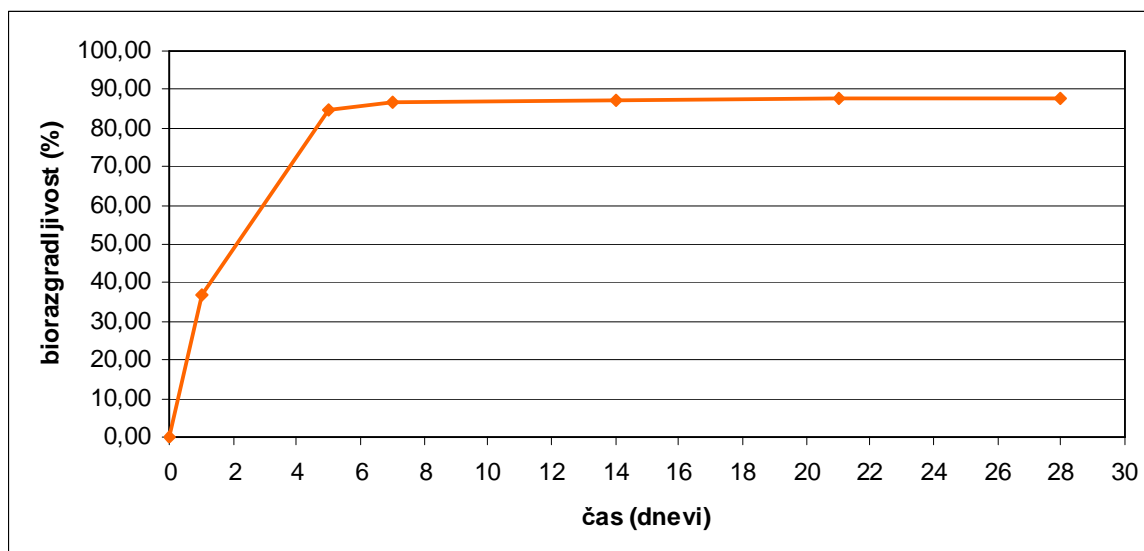


**Slika 7: Krivulja razgradnje odpadne vode iz tekstilne industrije – vzorec B**

Krivulja na sliki 7 nam prikazuje potek razgradnje odpadne vode iz tekstilne industrije. Razvidna je hitra razgradnja odpadne vode. Lag oziroma zakasnitvena faza tudi v tem primeru ni dobro razvidna, kajti biorazgradnja se je začela hitro in takoj. Čas razgradnje je 2,5 dni. Maksimalna biorazgradnja je tudi v tem vzorcu 90 %.

Analize surove odpadne vode in izračun razmerja  $BPK_5/KPK$  nam je prikazal dobro razgradljivo odpadno vodo in sicer v tem vzorcu 44 % v petih dneh.

Sam potek Zahn-Wellens testa nam je to potrdil, kajti čas biorazgradnje je približno 2,5 dni in to 80 %.



Slika 8: Krivulja razgradnje odpadne vode tekstilne industrije – vzorec C

Krivulja na sliki 8 nam prikazuje potek razgradnje odpadne vode iz tekstilne industrije. Razvidna je hitra razgradnja odpadne vode. Tudi v tem primeru zakasnitvena faza ni dobro razvidna, kajti biorazgradnja se je začela hitro. Tega vzorca žal v prvih dneh razgradnje nismo pogosteje merili, tako da nam potek med 1. in 5. dnem ni natančneje poznan. Iz grafikona je opazno, da je čas biorazgradnje že končan 5. dne, saj je dosežen nivo 90% maksimalne razgradnje, ki v vzorcu C znaša 87 %.

Analize surove odpadne vode in izračun razmerja  $BPK_5/KPK$  nam je prikazal dobro razgradljivo odpadno vodo in sicer 47 % v petih dneh.

Sam potek Zahn-Wellens testa nam je to potrdil, kajti čas biorazgradnja je približno 5 dni in to v 80 %.

Rezultati analiz surove odpadne vode iz tekstilne industrije so pokazali, da je ta tip odpadnih vod verjetno dobro razgradljiv. Tako smo lahko iz razmerja BPK<sub>5</sub>/KPK, ki je znašal med 44 % in 47 % lahko sklepali, da je večji del prisotnih organskih snovi dobro biološko razgradljivih.

Rezultati Zahn-Wellens testa, ki smo jih dobili na koncu, so nam le še potrdili naša pričakovanja biorazgradljivosti. Tako lahko rečemo, da so odpadne vode iz tekstilne industrije dobro in hitro biorazgradljive, v testnih vzorcih okoli 90 %.

Dobljeni rezultati so tudi v skladu z Uredbo o emisiji snovi pri odvajanju odpadnih vod iz objektov in naprav za proizvodnjo, predelavo in obdelavo tekstilnih vlaken (Uradni list RS, št. 35/96). V uredbi so določene mejne vrednosti za iztok v vode in za iztok v kanalizacijo. Za iztok v vode je mejna vrednost KPK ocenjena na 200 mg/l in velja, če je v mesečnem povprečju analize 24-urnega reprezentativnega vzorca izhaja, da je vrednost za KPK v surovi tehnološki odpadni vodi na vtoku v biološko stopnjo čistilne naprave večja od 1350 mg/l, velja namesto mejne vrednosti KPK mejna vrednost za učinek čiščenja industrijske čistilne naprave, ki ne sme biti manjši od 80 %. Učinek čiščenja se v tem primeru izračunava kot povprečna vrednost razmerja 24-urnih obremenitev odpadne vode, merjeno s KPK, na vtoku in iztoku čistilne naprave.

Za iztok v kanalizacijo pa ni predvidena mejne vrednosti, je pa iztok tehnološke odpadne vode iz virov onesnaženja dovoljen, če je biološka razgradljivost tehnološke odpadne vode najmanj 70 %. Tem vrednostim ustrezajo tudi naši vzorci.

V novi Uredbi o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz naprav za proizvodnjo, predelavo in obdelavo tekstilnih vlaken ( Uradni list RS, št. 7/2007) pa je predviden parameter tudi biorazgradljivost in sicer 70 % pri neposrednem odvajanju v vodo. Pri odvajanju v javno kanalizacijo, pa je dovoljeno odvajanje odpadne vode, če je stopnja biološke razgradljivosti odpadne vode, izražena z vrednostjo KPK ali TOC, najmanj 70 odstotkov stopnje biološke razgradnje komunalne odpadne vode na komunalni čistilni napravi.

#### 4.4 BIORAZGRADNJA ODPADNE VODE IZ KLAVNICE

Pred pričetkom testa smo najprej izvedli nekaj analiz surove odpadne vode iz klavnice:

vzorec A ( 711)

pH = 8,2

KPK = 4150 mg/l

BPK<sub>5</sub> = 2800 mg/l

vzorec B (62)

pH = 8,1

KPK = 3650 mg/l

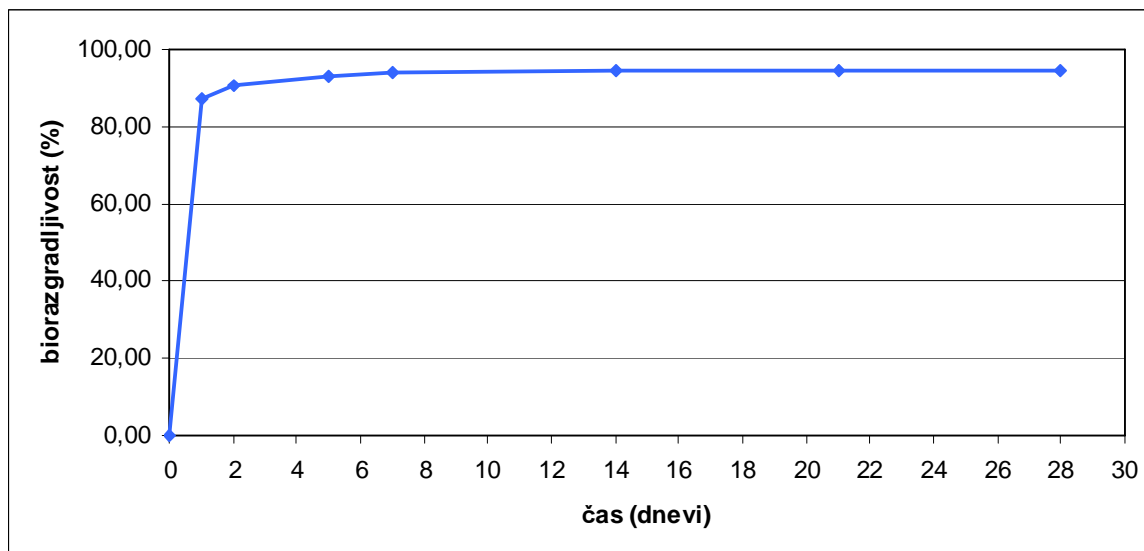
BPK<sub>5</sub> = 2200 mg/l

Iz rezultatov vidimo, da gre za odpadno vodo, ki se giblje v območju pH 8. Razmerje med BPK<sub>5</sub>/KPK je prva ocena biorazgradljivosti odpadne vode. Tako je odpadna voda v vzorcu A na osnovi izračuna BPK<sub>5</sub>/KPK v petih dneh 67 % biorazgradljiva in odpadna voda v vzorcu B 60 % biorazgradljiva.

Med potekom Zahn-Wellens testa smo glede na potek testa spremljali temperaturo in pH, ki sta občasno variirala vendar v območju dovoljenega.

Redno smo tudi odzimali vzorce in izmerili KPK vrednosti, ki smo jih uporabili pri izračunu biorazgradljivosti po enačbi /1/.

Zahn-Wellens test pri odpadnih vodah iz klavnice se je zaključil po 28 dneh.

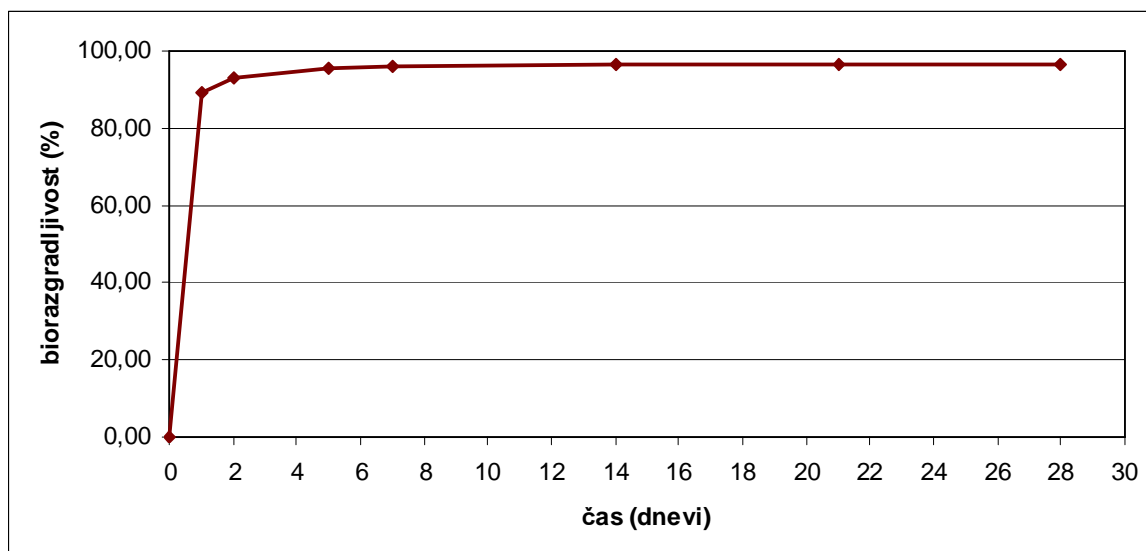


Slika 9: Krivulja razgradnje odpadne vode iz klavnice – vzorec A

Krivulja na sliki 9 nam prikazuje potek razgradnje odpadne vode iz klavnice. Razvidna je zelo hitra in enakomerna razgradnja odpadne vode, kar je bilo za tak tip vode tudi pričakovano. Lag oziroma zakasnitvena faza v tem primeru ni dobro razvidna, kajti biorazgradnja se je začela hitro. Čas razgradnje - od zaključka lag faze pa do doseženega nivoja približno 90 % celotne razgradnje, je v tem vzorcu 5 dni, kar je lepo razvidno iz grafikona. Maksimalna biorazgradnja je v tem primeru pri 95 %.

Analize surove odpadne vode in izračun razmerja  $BPK_5/KPK$  nam je prikazal dobro razgradljivo odpadno vodo in sicer v tem vzorcu 67 % v petih dneh.

Sam potek Zahn-Wellens testa nam je to potrdil, kajti čas biorazgradnje je približno 5 dni in to v 93 %.



Slika 10: Krivulja razgradnje odpadne vode iz klavnice – vzorec B

Krivulja na sliki 10 nam prikazuje potek razgradnje odpadne vode iz klavnice, ki vsebuje veliko hitro razgradljivih organskih snovi. Razvidna je hitra razgradnja odpadne vode. Lag oziroma zakasnitvena faza tudi v tem primeru ni dobro razvidna, kajti biorazgradnja se je začela hitro in takoj. Čas razgradnje je 3 dni. Maksimalna biorazgradnja je tudi v tem vzorcu 97 %.

Analize surove odpadne vode in izračun razmerja  $BPK_5/KPK$  nam je prikazal dobro razgradljivo odpadno vodo in sicer v tem vzorcu 60 % v petih dneh.

Sam potek Zahn-Wellens testa nam je to potrdil, kajti čas biorazgradnje je približno 3 dni in to 94 %.

Rezultati analiz surove odpadne vode iz klavnice so pokazali, da je ta tip odpadnih vod zelo dobro razgradljiv. Tako smo lahko iz razmerja  $BPK_5/KPK$ , ki je znašal med 60 % in 67 % lahko sklepali, da je večji del prisotnih organskih snovi zelo dobro biološko razgradljivih.

Rezultati Zahn-Wellens testa, ki smo jih dobili na koncu, so nam le še potrdili naša pričakovanja biorazgradljivosti. Tako lahko rečemo, da so odpadne vode iz klavnic dobro in hitro biorazgradljive.

Dobljene rezultate smo primerjali z Uredbo o spremembah in dopolnitvah uredbe o emisiji snovi pri odvajanju odpadnih vod iz objektov za proizvodnjo, predelavo in konzerviranje mesa ter proizvodnjo mesnih izdelkov (Uradni list RS, št. 110/2001) in ugotovili, da obstaja mejna vrednost za iztok v vode in sicer pri merjenju KPK; katerega najvišja dovoljena vrednost je 120 mg/l in ugotovili, da naši testni vzorci ustrezajo določbam uredbe, kajti končni KPK je znašal 27 mg/l oziroma v vzorcu B 33 mg/l. Biorazgradljivost odpadne vode v tej uredbi ni omenjena.

Mejne vrednosti ima tudi pH in sicer med 6,5 in 9,0.

#### 4.5 BIORAZGRADLJIVOST IZCEDNIH VOD IZ DEPONIJ

Pred pričetkom testa smo najprej izvedli nekaj analiz surove izcedne vode iz deponij:

vzorec A ( št. 644)

pH = 6,7

KPK = 740 mg/l

BPK<sub>5</sub> = 60 mg/l

vzorec B (št.692)

pH = 6,5

KPK = 230 mg/l

BPK<sub>5</sub> = 15 mg/l

vzorec C (št.731)

pH = 6,5

KPK = 400 mg/l

BPK<sub>5</sub> = 50 mg/l

vzorec D (št. 24)

pH = 6,6

KPK = 800 mg/l

BPK<sub>5</sub> = 70 mg/l

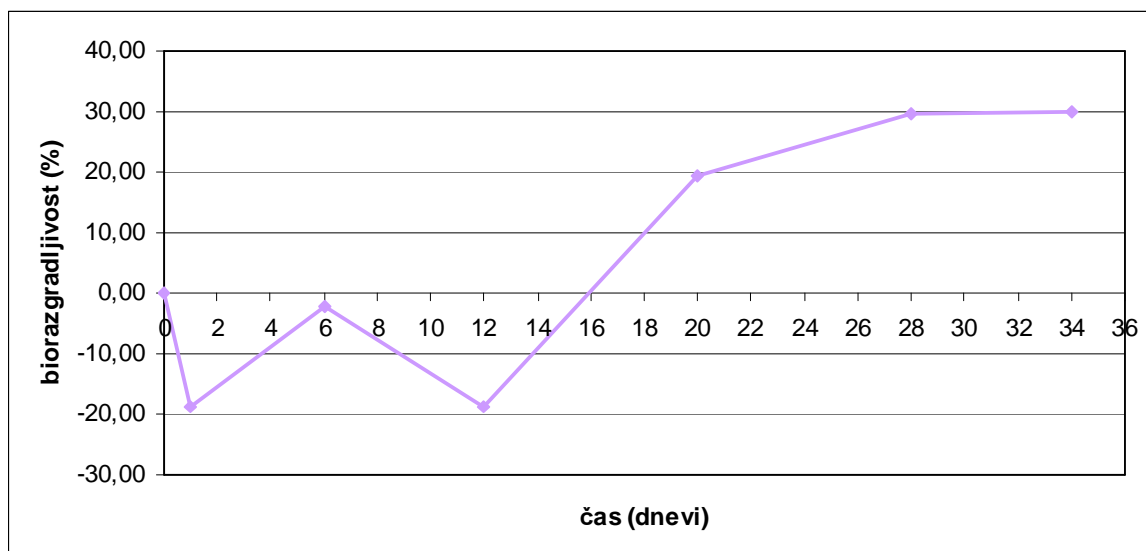


Iz rezultatov vidimo, da gre za izcedno odpadno vodo, ki se giblje v območju pH 6,5 – 6,8. Razmerje med BPK<sub>5</sub>/KPK je prva ocena biorazgradljivosti odpadne vode. Tako je izcedna odpadna voda v vzorcu A na osnovi izračuna BPK<sub>5</sub>/KPK v petih dneh 9 % biorazgradljiva, izcedna odpadna voda v vzorcu B 6 % biorazgradljiva, izcedna odpadna voda v vzorcu C 12 % biorazgradljiva in v vzorcu D 9 % biorazgradljiva v petih dneh.

Med potekom Zahn-Wellens testa smo glede na potek testa spremljali temperaturo in pH, ki sta občasno variirala vendar v območju dovoljenega.

Redno smo tudi odvzemali vzorce in izmerili KPK vrednosti, ki smo jih uporabili pri izračunu biorazgradljivosti po enačbi /1/.

Zahn-Wellens test pri izcednih odpadnih vodah iz deponij se je zaključil po 34 dneh.

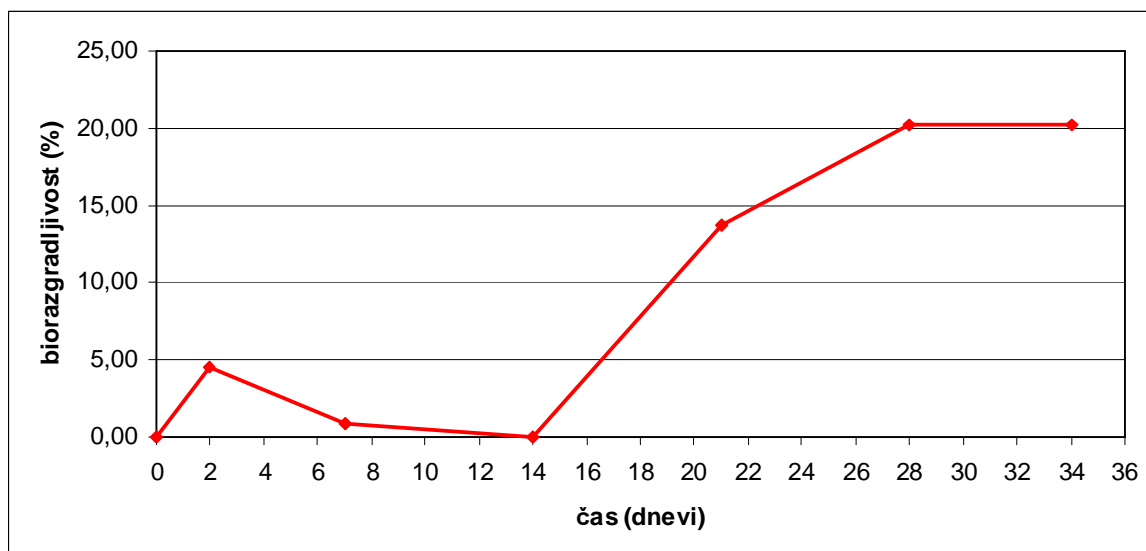


**Slika 11: Krivulja razgradnje izcedne odpadne vode iz deponije – vzorec A**

Krivulja na sliki 11 nam prikazuje potek razgradnje izcedne odpadne vode iz deponije, ki vsebuje slabo razgradljive organske snovi. Razvidna je počasna razgradnja izcedne odpadne vode. Lag oziroma zakasnitvena faza je razvidna, vendar ni čisto značilna. Čas razgradnje je 13 dni. Maksimalna biorazgradnja je tudi v tem vzorcu 30 %.

Analize surove izcedne odpadne vode in izračun razmerja  $BPK_5/KPK$  nam je prikazal slabo razgradljivo odpadno vodo in sicer v tem vzorcu 9 % v petih dneh.

Sam potek Zahn-Wellens testa nam je potrdil, da je izcedna odpadna voda slabo razgradljiva, kajti čas biorazgradnje je približno 13 dni in to 26 %.

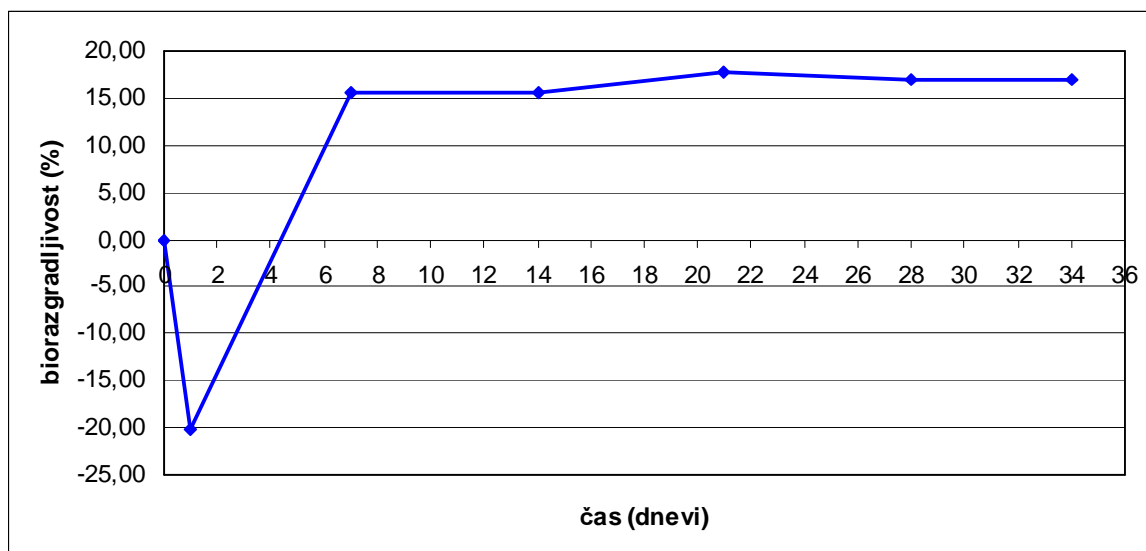


**Slika 12: Krivulja razgradnje izcedne odpadne vode iz deponije – vzorec B**

Krivulja na sliki 12 nam prikazuje potek razgradnje izcedne odpadne vode iz deponije, ki vsebuje slabo razgradljive organske snovi. Razvidna je počasna razgradnja izcedne odpadne vode. Lag oziroma zakasnitvena faza je razvidna, vendar ni značilna. Čas razgradnje je 15 dni. Maksimalna biorazgradnja je tudi v tem vzorcu 20 %.

Analize surove izcedne odpadne vode in izračun razmerja  $BPK_5/KPK$  nam je prikazal slabo razgradljivo odpadno vodo in sicer v tem vzorcu 6 % v petih dneh.

Sam potek Zahn-Wellens testa nam je potrdil, da je izcedna odpadna voda slabo razgradljiva, kajti čas biorazgradnje je približno 15 dni in to 18 %.

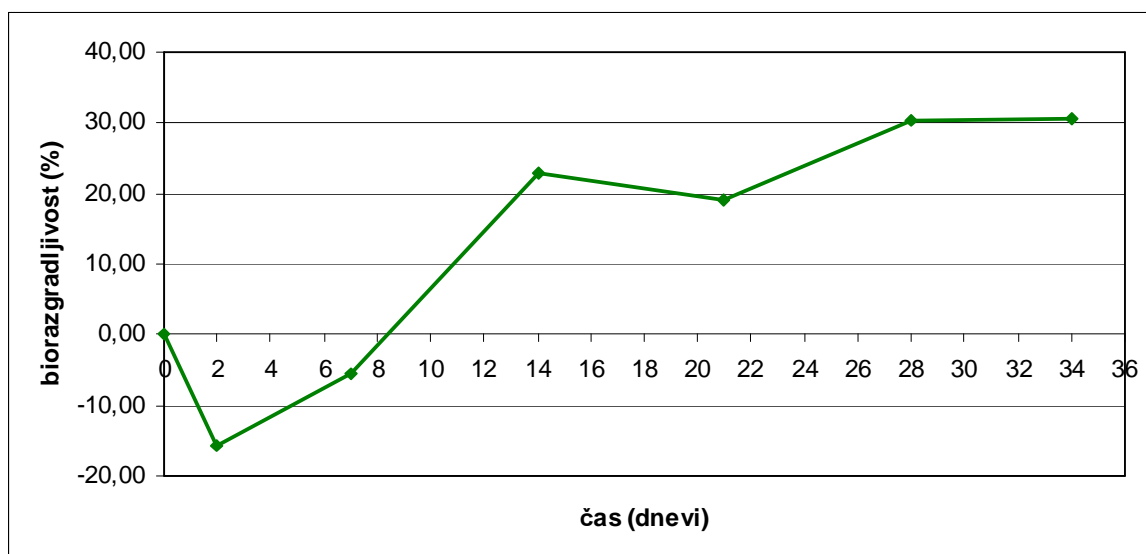


Slika 13: Krivulja razgradnje izcedne odpadne vode iz deponije – vzorec C

Krivulja na sliki 13 nam prikazuje potek razgradnje izcedne odpadne vode iz deponije, ki vsebuje slabo razgradljive organske snovi. Razvidna je počasna razgradnja izcedne odpadne vode. Lag oziroma zakasnitvena faza v tem primeru ni razvidna, kajti večina razgradnje je potekla takoj oziroma v 10-ih dneh. Čas razgradnje je 13 dni. Maksimalna biorazgradnja je tudi v tem vzorcu 18 %.

Analize surove izcedne odpadne vode in izračun razmerja  $BPK_5/KPK$  nam je prikazal slabo razgradljivo odpadno vodo in sicer v tem vzorcu 12 % v petih dneh.

Sam potek Zahn-Wellens testa nam je potrdil, da je izcedna odpadna voda slabo razgradljiva, kajti čas biorazgradnje je 13 dni in to približno 16 %.



Slika 14: Krivulja razgradnje izcedne odpadne vode iz deponije – vzorec D

Krivulja na sliki 14 nam prikazuje potek razgradnje izcedne odpadne vode iz deponije, ki vsebuje slabo razgradljive organske snovi. Razvidna je počasna razgradnja izcedne odpadne vode. Lag oziroma zakasnitvena faza je razvidna, in traja 4 dni. Čas razgradnje je 22 dni. Maksimalna biorazgradnja je tudi v tem vzorcu 30 %.

Analize surove izcedne odpadne vode in izračun razmerja  $BPK_5/KPK$  nam je prikazal slabo razgradljivo odpadno vodo in sicer v tem vzorcu 9 % v petih dneh.

Sam potek Zahn-Wellens testa nam je potrdil, da je izcedna odpadna voda slabo razgradljiva, kajti čas biorazgradnje je 22 dni in to približno 27 %.

Rezultati analiz surove izcedne odpadne vode iz deponij so pokazali, da je ta tip odpadnih vod verjetno slabo razgradljiv. Tako smo lahko iz razmerja BPK<sub>5</sub>/KPK, ki je znašal med 6 % in 12 % lahko sklepali, da je večji del prisotnih organskih snovi slabo biološko razgradljivih.

Rezultati Zahn-Wellens testa, ki smo jih dobili na koncu, so nam le še potrdili naša pričakovanja biorazgradljivosti. Tako lahko rečemo, da se izcedne odpadne vode iz deponij slabše in počasneje razgrajujejo. Kajti voda, ki pronica čez na deponiji odložene odpadke, skupaj z vlago, ki je v odpadkih prisotna že od njihovega odlaganja, tvori deponijsko izcedno vodo, ki vsebuje številne snovi. Poleg komponent, ki izvirajo neposredno iz odpadkov, so v izcedni vodi lahko prisotni tudi razni razgradni produkti, ki so posledica različnih (bio)procesov v sami deponiji. Te snovi imajo lahko številne, okolju in ljudem škodljive lastnosti, kot so strupenost, kancerogenost in obstojnost, lahko pa sodijo tudi v skupino snovi, ki vplivajo na hormonski sistem organizmov. Sestava izcedne vode je v veliki meri pogojena s starostjo deponije, tipom odpadkov, načinom zasutja in predobdelave odpadkov in fizikalno-kemijskimi pogoji na deponiji. Tu je posebej velikega pomena padavinski režim, ki poleg količine vlage v odloženih odpadkih, regulira koncentracijo snovi v izcedni vodi in njeno količino.

V Uredbi o emisiji snovi pri odvajanju izcedne vode iz odlagališč odpadkov ( Uradni list RS, št.07/00) je predvidena tudi biorazgradljivost kot omejitveni faktor in sicer pri iztoku izcedne vode v kanalizacijo. Tu je predvidena 75 % biorazgradljivost, vendar ta mejna vrednost za biološko razgradljivost velja za izcedne vode, katerih parameter KPK ne presega 300 mg/l.

Mejna vrednost za KPK, ki jo predvideva imenovana uredba za iztok neposredno v vode ali v tla pa je 200 mg/l za nova odlagališča in 300 mg/l za obstoječa odlagališča.

Pri našem testu je kot edina takšna izcedna odpadna voda, za katero velja uredba, izcedna voda vzorca B. Vendar je njena biorazgradljivost zelo slaba, saj je maksimalna stopnja biorazgradnje 20 %, vendar pa končni KPK biorazgradnje znaša 101 mg/l, kar pa ustreza Uredbi o emisiji snovi pri odvajanju izcedne vode.

## 5 RAZPRAVA IN SKLEPI

Čeprav je za določanje biorazgradljivosti posameznih kemikalij na voljo več standardiziranih testov in je sama metodologija testiranja jasno opisana, se vedno pogosteje soočamo s problemom karakterizacije biorazgradljivosti mešanic kemikalij (kot so npr. industrijski iztoki). Probleme povzroča dejstvo, da so industrijski iztoki največkrat mešanice kemikalij z delno ali popolno nepoznano sestavo in tudi ob natančne poznavanju sestave iztoka ne moremo predvideti možnih antagonističnih in sinergističnih interakcij med posameznimi sestavinami iztoka.

Tradicionalno je bilo razmerje  $BPK_5/KPK$  edini parameter, ki karakterizira razpoložljivost kompleksnih mešanic za razgradnjo (Nyholm, 1996). Izkazalo se je da to ni najboljši kriterij. Potrebno je nadaljnje testiranje biorazgradljivosti celotnega iztoka.

V diplomskem delu smo s pomočjo standardne metode Zahn-Wellens testa poskušali karakterizirati biorazgradljivost različnim odpadnim vodam in sicer odpadni vodi iz tekstilne industrije, odpadni vodi iz klavnice in izcednim odpadnim vodam iz deponij. Določali pa smo tudi biorazgradljivost natrijevega benzoata.

Natrijev benzoat je primer dobro biološko razgradljive snovi in smo ga uporabili kot standardno snov za oceno aktivnosti uporabljenih mikroorganizmov. Test se smatra za pravilen oziroma so testni mikroorganizmi dovolj aktivni, če se standardna snov v 14 dneh 70% mineralizira (Standard – EN ISO 9888). Navedeno stopnjo biorazgradnje smo dosegli pri izvedenem testu z natrijevim benzoatom, zato lahko potrdimo, da so bili uporabljeni mikroorganizmi med testom dovolj aktivni.

Iz rezultatov analiz surove odpadne vode in poteka Zahn-Wellens testa smo ovrednotili biorazgradljivost posameznega tipa odpadne vode.

Odpadna voda iz tekstilne industrije nam je že izračun razmerja  $BPK_5/KPK$  prikazal dobro razgradljivo odpadno vodo in sicer med 44 % in 47 % biorazgradnje v petih dneh. Zahn-Wellens test pri odpadnih vodah tekstilne industrije smo zaključili po 28 dneh, saj so se testni vzorci razgradili do približno 90 %.

V novi Uredbi o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz naprav za proizvodnjo, predelavo in obdelavo tekstilnih vlaken (Uradni list RS, št. 7/2007) je predviden parameter tudi biorazgradljivost in sicer 70 % pri neposrednem odvajanju v vodo, kateremu popolnoma ustrezajo naši testni vzorci odpadne vode iz tekstilne industrije.

Odpadna voda iz klavnice nam je že izračun razmerja  $BPK_5/KPK$  prikazal dobro razgradljivo odpadno vodo in sicer med 60 % in 67 % biorazgradnje v petih dneh. Zahn-Wellens test pri odpadnih vodah iz klavnice smo zaključili po 28 dneh, saj so se testni vzorci razgradili do približno 95 %.

Dobljene rezultate smo primerjali z Uredbo o spremembah in dopolnitvah uredbe o emisiji snovi pri odvajanju odpadnih vod iz objektov za proizvodnjo, predelavo in konzerviranje mesa ter proizvodnjo mesnih izdelkov (Uradni list RS, št. 110/2001) in ugotovili, da obstaja mejna vrednost za iztok v vode in sicer pri merjenju  $KPK$ , kateri pa ustrezajo naši testni vzorci.

Izcedna odpadna voda iz deponij nam je že izračun razmerja  $BPK_5/KPK$  prikazal slabo razgradljivo odpadno vodo in sicer med 6 % in 12 % biorazgradnje v petih dneh. Zahn-Wellens test pri izcednih odpadnih vodah iz deponij smo zaključili po 34 dneh, saj je biorazgradnja pri teh vzorcih potrebovala več časa, da je dosegla maksimalno stopnjo razgradnje in sicer med 18 % in 30 %.

Uredba o emisiji snovi pri odvajanju izcedne vode iz odlagališč odpadkov (Uradni list RS, št.07/00), predvideva biorazgradljivost kot omejitveni faktor in sicer pri iztoku izcedne vode v kanalizacijo. Tu je predvidena 75 % biorazgradljivost, vendar ta mejna vrednost za biološko razgradljivost velja za izcedne vode, katerih parameter  $KPK$  presega 300 mg/l. Naše rezultate smo z omenjeno uredbo lahko primerjali le glede na omejitveni faktor  $KPK$  in sicer, se je končni  $KPK$  gibal od 100 mg/l do 240 mg/l in tako ustreza uredbi pri iztoku neposredno v vode.



Določanje biorazgradljivosti odpadnih vod je povezano s številnimi problemi, saj so odpadne vode mešanice snovi, med katerimi nastopijo različne interakcije in pogosto so te mešanice snovi toksične. Takšne odpadne vode pogosto predstavljajo problem pri izbiri načina čiščenja, kajti neposredno biološko čiščenje za takšne vode ni primerno zaradi vsebnosti strupenih snovi, slabe biorazgradljivosti in visokih obremenitev biološkega sistema. V takšnih primerih se biološko čiščenje kombinira s katero od fizikalno-kemijskih ali kemijskih metod, saj lahko odstranimo strupene in nerazgradljive snovi, ali pa jih pretvorimo v obliko sprejemljivo za mikroorganizme v biološki čistilni napravi.

Kompleksnost in spremenljivost sta tipični lastnosti skoraj vsake odpadne vode. Ta omejuje popolno poznavanje odpadne vode, ker celovite fizikalno-kemijske analize zaradi visokih stroškov ter tehničnih in analitskih omejitev praktično ni mogoče izvesti, niti ni smiselna.

Cilj upravljanja z vodami je visoka kvaliteta vseh voda. Odpadne vode je potrebno čistiti, da zmanjšamo tveganje za zdravje z najmanjšo možno mero, da zaščitimo pitne, podtalne in površinske vode.

V Uredbi o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih vod v vode in javno kanalizacijo ( Uradni list RS, št.47/05), so mejne vrednosti za biorazgradljivost oziroma biološko razgradljivost opredeljene pri odvajanju v javno kanalizacijo in sicer se mejna vrednost parametra določi za obratovanje posamezne naprave v okoljevarstvenem dovoljenju, če je količina industrijske odpadne vode, ki se odvaja iz naprave, večja od 5 % vse odpadne vode, ki se čisti na čistilni napravi. Pri običajnem razredčevanju odpadne vode na čistilni napravi mora biti stopnja biološke razgradljivosti, izražena z vrednostjo KPK ali TOC, najmanj 80 % stopnje razgradnje odpadnih vod na čistilni napravi.

Rezultati testov biorazgradnje odpadnih vod omogočajo napoved vpliva snovi na okolje v katerem se pojavijo, so v pomoč pri izbiri načina čiščenja posamezne odpadne vode in hkrati uporabni pri reševanju že obstoječih okoljskih problemov.

## 6 POVZETEK

Odpadne vode so tiste vode, ki se po uporabi ali kot posledica onesnaženja odvajajo v vodo neposredno ali po kanalizaciji. V diplomskem delu smo uporabili industrijske odpadne vode in sicer odpadno vodo iz tekstilne industrije, odpadno vodo iz klavnice in izcedno odpadno vodo iz deponij.

Določanje biorazgradljivosti odpadnih vod je povezano s številnimi problemi, saj so odpadne vode mešanice snovi, med katerimi nastopijo različne interakcije. Kompleksnost in spremenljivost sta tipični lastnosti skoraj vsake odpadne vode. Zato je celovita določitev biorazgradljivosti snovi in odpadnih vod nepogrešljiva pri določanju njihove nevarnosti in vpliva na okolje. Z določitvami lastnosti odpadnih vod lahko izberemo najustreznejši način čiščenja, določimo najbolj nevarne komponente v vodi in tako posredno vplivamo na spremembe tehnoloških postopkov.

Cilj vodnega gospodarstva je visoka kvaliteta vseh naravnih vod. Odpadne vode je potrebno čistiti, da zmanjšamo tveganje za zdravje z najmanjšo možno mero, da zaščitimo pitne, podtalne in površinske vode.

Biorazgradnja je za večino organskih snovi najbolj pogost način odstranjevanja iz okolja. Ko govorimo o biorazgradljivosti moramo ločiti dva pojma: biorazgradnja in mineralizacija. Ko pride do kakršnekoli spremembe v strukturi izhodiščne molekule zaradi delovanja mikroorganizmov, govorimo o biorazgradnji, če pa snov popolnoma razpade, govorimo o mineralizaciji. Hitrost biorazgradnje odpadnih vod je odvisna od številnih dejavnikov: fizikalno-kemijskih, bioloških in kemijskih.

Zahn-Wellens test, je test za določanje potencialne razgradljivosti, kar pomeni, da z njim testiramo biorazgradljivost na prvem nivoju oziroma potencialno biorazgradljivost. Z Zahn-Wellens testom določujemo aerobno biorazgradljivost organskih snovi, njihovih mešanic in odpadnih vod v vodnem mediju. Pogoji opisani v metodi ustrezajo optimalnim pogojem za doseganje maksimalne stopnje biorazgradnje, zato metoda spada v skupino testov za določanje potencialne biorazgradljivosti. Je tudi metoda vrednotenja biorazgradnje in odstranjevanja organskih snovi, mešanic kemikalij ali odpadnih voda, ki so v testnem mediju edini vir hrane in energije za aerobne mikroorganizme. V rednih časovnih intervalih odvezemamo vzorce iz testne raztopine za KPK in specifične analize in

na podlagi dobljenih rezultatov ovrednotimo končno in primarno biorazgradnjo testne snovi.

Zahn-Wellens test smo izvedli s čisto organsko snovjo, v našem primeru z natrijevim benzoatom, za katerega vemo, da je dobro razgradljiva snov, obenem nestrupen in med biorazgradnjo ne tvori intermediatov. Tako smo z natrijevim benzoatom ocenili aktivnost uporabljenega cepiva . Različne odpadne vode so se že v ničelnem nivoju testiranja izkazale za zelo različno razgradljive. Odpadne vode iz tekstilne industrije in klavnice kot dobro razgradljive, medtem ko so se izcedne vode iz deponij izkazale za težje razgradljive odpadne vode.

Odpadna voda iz tekstilne industrije nam je že izračun razmerja  $BPK_5/KPK$  prikazal dobro razgradljivo odpadno vodo in sicer med 44 % in 47 % biorazgradnje v petih dneh. Zahn-Wellens test pri odpadnih vodah tekstilne industrije smo zaključili po 28 dneh, saj so se testni vzorci razgradili do približno 90 %.

Odpadna voda iz klavnice nam je že izračun razmerja  $BPK_5/KPK$  prikazal dobro razgradljivo odpadno vodo in sicer med 60 % in 67 % biorazgradnje v petih dneh. Zahn-Wellens test pri odpadnih vodah iz klavnice smo zaključili po 28 dneh, saj so se testni vzorci razgradili do približno 95 %.

Izcedna odpadna voda iz deponij nam je že izračun razmerja  $BPK_5/KPK$  prikazal slabo razgradljivo odpadno vodo in sicer med 6 % in 12 % biorazgradnje v petih dneh. Zahn-Wellens test pri izcednih odpadnih vodah iz deponij smo zaključili po 34 dneh, saj je biorazgradnja pri teh vzorcih potrebovala več časa, da je dosegla maksimalno stopnjo razgradnje med 18 % in 30 %.

Rezultati testov biorazgradnje odpadnih vod omogočajo napoved vpliva snovi na okolje v katerem se pojavijo, so v pomoč pri izbiri načina čiščenja posamezne odpadne vode in hkrati uporabni pri reševanju že obstoječih okoljskih problemov.

## 7 VIRI

- Bratuž D. 2004. Karakterizacija biorazgradljivosti industrijskih odpadnih vod. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FKKT
- Čuš S. 1997. Primerjava testov za oceno biorazgradljivosti odpadnih vod. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FKKT
- EN ISO 9888. European standard-Water quality-Evaluation of ultimate aerobic biodegradability of organic compounds in aqueous medium – Static test ( Zahn-Wellens method) (ISO 9888:1999): 11 str.
- Isidori M., Lavorgna M., Nardeli A., Parella A., 2003. Toxicity identification evaluation of leachates from municipal solid waste landfill: a multispecies approach. *Chemosphere*, 52: 85-94.
- Kurnik Đonlagić J. 2001. Tehnološke vode in odplake, Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo: 78 str.
- Nyholm N. 1996. Biodegradability characterization of mixtures of chemical contaminants in wastewater- the utility of biotests. *Water Sci. Tech.* 33, 6: 195-206.
- Roš M. 2001. Biološko čiščenje odpadne vode. Ljubljana, GV založba: str. 54.
- Sen S., Demirel G.N., 2003. Anaerobic treatment of real textile wastewater with a fluidized bed reactor. *Water Research*, 37: 1868-1878.
- Urbanič G., Toman M. J. 2003. Varstvo celinskih voda. Ljubljana, Študentska založba: str. 94
- Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadnih vod iz objektov in naprav za proizvodnjo, predelavo in obdelavo tekstilnih vlaken. Ur.l.RS št. 35/96
- Uredba o emisiji snovi pri odvajanju izcedne vode iz odlagališč odpadkov. Ur.l.RS št. 7/2000
- Uredba o spremembah in dopolnitvah uredbe o emisiji snovi pri odvajanju odpadnih vod iz objektov za proizvodnjo, predelavo in konzerviranje mesa ter proizvodnjo mesnih izdelkov. Ur.l. RS št. 110/2001
- Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih vod v vode in javno kanalizacijo. Ur.l. RS št: 47/2005

Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz naprav za proizvodnjo, predelavo in obdelavo tekstilnih vlaken. Ur.l. RS št. 7/2007

Vesilind P. A., Morgan S.M.2004. Introduction to Environmental Engineerig. 2. ed., London, Thomson Learning: 475 str.

Zagorc-Končan J., Žgajnar-Gotvajn A., Roš M., Drolc A. 2006.Vaje iz ekološkega inženirstva. Ponatis 3. razširjena izdaja 2001. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FKKT: 66 str.

Žgajnar-Gotvajn A. 1998. Metodologija vrednotenja kemikalij odpadnih vod v vodnem mediju-doktorska dezertacija. Ljubljana,Univerza v Ljubljani, FKKT: 162 str.

Žgajnar Gotvajn A., Zagorc-Končan J. 1999. Določanje biorazgradljivosti odpadne vode s stabilizacijskimi študijami. Slovenski kemijski dnevi 1999, Maribor 23-24 sept.1999. Glavič P., Brodnjak-Vončina D.(ur.). Maribor, FKKT: 298 – 303.

Žgajnar Gotvajn A., Zagorc-Končan J. 2001. Nov pristop k določanju biorazgradljivosti kemikalij v površinskih vodah. Slovenski kemijski dnevi 2001, Maribor 20-21 sept.2001. Glavič P., Brodnjak-Vončina D.(ur.). Maribor, FKKT: 381 – 387.

Žgajnar Gotvajn A., Zagorc-Končan J. 1996. Vrednotenje biorazgradljivosti kemikalij in odpadnih voda z vidika industrijske proizvodnje. Vodni dnevi 96. Roš M.(ur.). Bled, SDZV: 60 – 70.



## **ZAHVALA**

Prof. dr. Mihaelu Jožefu Tomanu, univ. dipl. biol. se najlepše zahvaljujem za mentorstvo in vsestransko pomoč.

Zahvaljujem se tudi Kseniji Bošnjak, univ.dipl. inž. kem. tehn. in vsem zaposlenim v sanitarno-kemijskem laboratoriju, na Oddelku za zdravstveno ekologijo Zavoda za zdravstveno varstvo Celje, za vso pomoč in nasvete pri izvajanju laboratorijskih analiz.

Nenazadnje, gre zahvala vsem domačim, ki so mi vsa študijska leta izkazovali razumevanje in podporo.

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
Oddelek za biologijo

Maša Hojnik

**BIORAZGRADLJIVOST NEKATERIH ODPADNIH  
VODA**

Diplomsko delo  
Univerzitetni študij

Ljubljana, 2007