

**ODRŽAVANJE TEHNOLOŠKIH PARAMETARA U FUNKCIJI  
STEPENA EFIKASNOSTI PREČIŠĆAVANJA OTPADNIH VODA NA  
POSTROJENJU U GRADU SREBRENİK**

**MAINTENANCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE  
EFFICINECY OF WASTEWATER TREATMENT ON PLANT IN TOWN  
OF SREBRENİK**

**Mr. Nusret Imamović, dipl.inž.maš.  
V.prof.dr. Šefket Goletić  
R. prof.dr. Sabahudin Ekinović  
Univerzitet u Zenici, Mašinski fakultet Zenica**

**REZIME**

*Jedan od najraširenijih postupaka je aerobno biohemijsko prečišćavanje otpadnih voda sa aktivnim muljem. Obrada otpadne vode s aktivnim muljem izrazito je složen fizikalni, kemijski i biološki proces. Nestalnost sastava i protoka otpadne vode, te vremenski promjenjive reakcije mješovite kulture mikroorganizama uvjetuju njegovu nelinearnost i nestacionarnost. S tim u skladu, razumijevanje tog procesa je otežano, njegovo optimalno vođenje, kao i održavanje radnih parametara, te definisanje stepena efikasnosti prečišćavanja otpadnih voda na postrojenjima koja bi odražavala približno realno stanje reprezentativnog stepena prečišćavanj . Optimalno vođenje procesa je kompleksan zadatak, ali pravilno izrađen matematički model (statistički) stepena efikasnosti prečišćavanja otpadnih voda može dati doprinos u pojednostavljenju definisanja reprezentativnog i efikasnog stepena efikasnosti prečišćavanja za cijelo postrojenje. Na tom fonu je težište ovog rada, koji tretira definisanje statističkog stepena efikasnosti prečišćavanja otpadnih voda aerobnih biohemijskih procesa na postrojenju u Sreberniku.*

**Ključne riječi:** *prečišćavanje otpadnih voda, hemijska potrošnja kisika, stepen efikasnosti prečišćavanja, parametri kvaliteta otpadnih voda.*

**ABSTRACT**

*One of the most frequently used procedures is aerobic biochemical wastewater treatment with activated sludge. Wastewater treatment with activated sludge is a complex physical, chemical and biological process. Variability in the composition and flow rate of the wastewater, as well as temporal variation of the reaction of a mixed culture of microorganisms make this process non-linear and non-stationary. Accordingly, understanding of this process is difficult, its optimal management and maintenance of technological parametars, as well as defining of the level of wastewater treatment efficiency in plants that would reflect a roughly realistic state of the representative treatment level. The optimum process management is a complex task, but correctly developed mathematical model (in statistical terms) of the wastewater treatment efficiency may contribute to simplification of the defining of representative and efficient treatment level for the entire plant. That is the focus of this paper, which is addressing the defining of the statistical level of municipal wastewater treatment efficiency of biochemical processes on plant in Srebrenik.*

**Key words:** *wastewater treatment, chemical oxygen demand, treatment efficiency level, wastewater quality parameter*

## 1. UVOD

Čovjek i njegove aktivnosti, uz demografski razvoj i urbanizaciju, te intenzivnu industrijalizaciju, ugrožavaju prirodni kvalitet vode. Prečišćavanje otpadnih voda predstavlja postupke i procese kojima se vrši smanjenje prisutnog zagađenja do onih količina ili koncentracija s kojima prečišćene otpadne vode ispuštene u prirodne vodne sisteme postaju neopasne za život i ljudsko zdravlje i ne uzrokuju neželjene promjene u okolini, što je propisano normama dobre prakse i legislativom u datoj oblasti za određeni tip vodotoka. Na osnovu karakteristika kvaliteta otpadnih voda, koje se prate monitoringom na postrojenjima za prečišćavanje, prije i nakon procesa biohemijske obrade definiše se stepen prečišćavanja po pojedinim indikatorima kvaliteta vode [1, 2, 3].

Izbor procesa i tehnologije prečišćavanja najprije zavisi od porijekla i karakteristika otpadne vode, planiranog poboljšanja i zahtjevanog kvaliteta ispuštene vode, zahtjevanog kvaliteta prečišćene vode, odnosno stepena prečišćavanja, kojeg je neophodno ostvariti radi ispunjavanja zakonskih propisa. Stepen obrade otpadnih određen je parametrima kvaliteta otpadnih voda prije i nakon procesa obrade na postrojenju za prečišćavanje otpadnih voda. Tu ovisnost moguće je matematički iskazati i opisati nivoe zavisnosti i rang uticaja parametara kvaliteta otpadnih voda [4, 5, 6].

Od interesa u ovom radu je predočiti stepen prečišćavanja otpadnih voda sistema sa aktivnim muljem na postrojenju za prečišćavanje otpadnih voda grada Srebrenika.

## 2. DEFINISANJE I ANALIZA STEPENA EFIKASNOSTI PREČIŠĆAVANJA

### 2.1. Klasični stepen efikasnosti prečišćavanja

U ovom razmatranju, stepen efikasnosti prečišćavanja pojedinih polutanata (zagađenja) mjerljivih parametara kvaliteta voda, predstavljen matematički, izražava odnos količine uklonjenog zagađenja iz vode prema ukupnoj ulaznoj količini zagađenja. Shodno tome, mogu se definisati pojedini stepeni prečišćavanja za srednje vrijednosti pojedinih parametara. Stepen efikasnosti uklanjanja određenog polutanata iz otpadne vode može se izraziti jednačinom (1):

$$\eta_x = 1 - \frac{X_{iz}}{X_{ul}} 100\% \quad \dots(1)$$

gdje je:

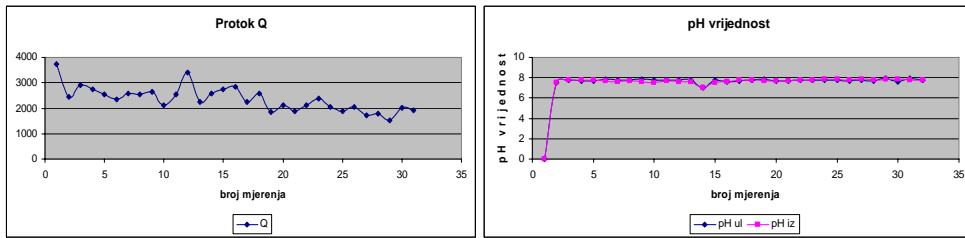
$\eta_x$  - Stepen efikasnosti prečišćavanja određenog polutanta;

$X_{ul}$  - Količina polutanata u otpadnoj vodi na ulazu u postrojenje;

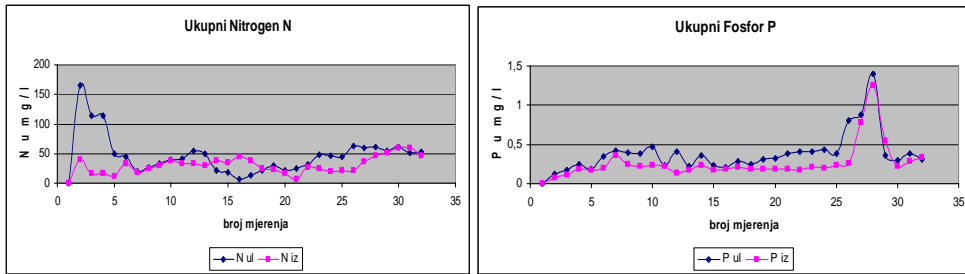
$X_{iz}$  - Količina polutanata u otpadnoj vodi na izlazu iz postrojenja [2,7,8,9].

### 2.2. Ponašanje populacije pojedinih parametara za posmatrana mjerenja

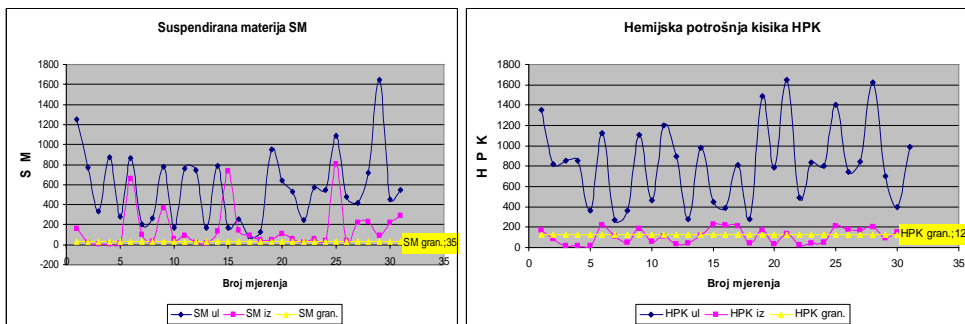
Prema propisanim metodama mjerenja i uzimanja uzoraka otpadne vode prije i nakon prečišćavanja na postrojenju za prečišćavanje u Srebreniku, te na unaprijed pripremljenim mjestima, izvršena su potrebna mjerenja (statističkih neophodnih 31 uzorak) parametara kvaliteta otpadnih voda [10, 11, 12]. Dobiveni rezultati mjerenja su prikazani grafički slikama 1-3.



Slika 1. Grafički prikazi ulazno-izlaznih parametara kvaliteta otpadnih voda  $Q$  i  $pH$ .



Slika 2. Grafički prikazi ulazno-izlaznih parametara kvaliteta otpadnih voda za  $N$  i  $P$



Slika 3. Grafički prikazi ulazno-izlaznih parametara kvaliteta otpadnih voda  $SM$  i  $HPK$  sa graničnim vrijednostima [13,14,15,].

### 2.3. Korelacijsko-regresiona veza pri definisanju stepena efikasnosti prečišćavanja

Nakon utvrđivanja ranga promjenljivih u sljedećoj Tabeli 1. prikazan je pregled posmatranih promjenljivih prema jačini uticaja gdje je zavisno promjenjiva, hemijska potrošnja kisika, radi lakše interpretacije podataka označena sa  $y$  [13,14,15,].

Tabela 1. Pregled posmatranih promjenljivih prema jačini uticaja  $POV-S 1$ .

	SM	N	Q	P	pH	$y$
Ulaz	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	-
Izlaz	$X_1$	$X_2$	$X_4$	$X_3$	$X_5$	-

Prilikom ocjenjivanja adekvatnosti regresione jednačine koristi se F-test, gdje se za stepen slobode ( $df_{REG}$ , i  $df_{REZ}$ ) i prag značajnosti  $\alpha = 0,05$  je potrebno zadovoljiti uvjet dat jednačinom 2. [16, 17, 18]:

$$F_{RAC} > F_{TAB} \quad \dots (2)$$

Za navedeni prag značajnosti  $\alpha = 0,05$  i stepen slobode  $df_{REG} = 5$ ,  $df_{REZ} = 25$  uzima se tablična vrijednost  $F = 2,60$ , a računaska vrijednost iznosi  $F_0 = 3,3165$ , pa je prema tome ispunjen gornji uvjet ( $F_{RAČ} = 3,3165 > F_{TAB} = 2,60$ ). Prema tome, model proste linearne regresije HPK je adekvatan. Iz navedenog, kao adekvatna regresiona jednačina 3. za hemijsku potrošnju kisika može uzeti:

$$HPK_{S, ul} = -1657,69 + 0,64459 SM_{ul} + 0,8548 N_{ul} - 0,063 Q + 125,796 P_{ul} + 281,5037 pH_{ul} \quad \dots (3)$$

Regresiona jednačina 3. predstavlja hemijsku potrošnju kisika HPK koja raste sa povećanjem suspendirane materije  $SM_{ul}$  ( $x_1$ ), nitrogena  $N_{ul}$  ( $x_2$ ), fosfora  $P_{ul}$  ( $x_4$ ) i  $pH_{ul}$  vrijednosti ( $x_5$ ), na postrojenju za obradu otpadne vode, dok se smanjuje sa porastom protoka ( $Q$ - ranga uticaja  $x_3$ ). Model proste linearne regresije HPK je adekvatan. Iz navedenog, kao i kompletne metodologije analize varijanse se kao adekvatna regresiona jednačina za hemijsku potrošnju kisika može uzeti (4):

$$HPK_{S, iz} = -331,708 + 0,2146 SM_{iz} + 1,2083 N_{iz} + 49,434 P_{iz} + 0,0064 Q + 44,8635 pH_{iz} \quad \dots (4)$$

Regresiona jednačina 4. predstavlja hemijsku potrošnju kisika HPK koja raste sa povećanjem vrijednosti svih razmatranih nezavisno promjenjivih.

#### 2.4. Matematički model statističkog stepena efikasnosti prečišćavanja

Matematički stepena efikasnosti prečišćavanja otpadnih voda (jednačina 5.) na postrojenjima za prečišćavanje izražen preko hemijske potrošnje kisika (HPK), predstavlja odnos količine uklonjenog HPK i količine  $HPK_{ul}$ , koja je izmjerena na ulazu otpadne vode u postrojenje za obradu otpadnih voda kao:

$$\eta_{HPK} = \frac{HPK_{uk}}{HPK_{ul}} = \frac{HPK_{ul} - HPK_{iz}}{HPK_{ul}} = 1 - \frac{HPK_{iz}}{HPL_{ul}} \cdot 100\% \quad \dots (5)$$

gdje je:

- $\eta_{HPK}$  - Stepen efikasnosti uklanjanja HPK,
- $HPK_{uk}$  - Količina uklonjenog HPK tokom procesa obrade,
- $HPK_{ul}$  - Količina HPK izmjerena na ulazu u postrojenje za obradu otpadne vode,
- $HPK_{iz}$  - Količina HPK izmjerena na izlazu iz postrojenja, a prije ispuštanja u vodotok.

Uvrštavanjem izmjerenih vrijednosti za bilo koju tačku mjerenja dobija se, stepen uklanjanja HPK u procentima. Isto tako, u izraz 5. uvrštavanjem izraza za hemijsku potrošnju kisika (HPK) na ulazu i izlazu iz razmatranog postrojenja aerobno biohemijske obrade otpadnih voda sa aktivnim muljem, a koja je izražena u funkciji drugih izmjerenih parametra kvaliteta vode daje sveukupni, reprezentativni i precizniji stepen efikasnosti prečišćavanja. Na ovaj način definiše se statistički stepen efikasnosti obrade razmatranog aerobnog biohemijskog procesa sa aktivnim muljem na postrojenju za obradu otpadnih voda grada Srebrenik.

Teorijski stepen efikasnosti obrade otpadnih voda na postrojenjima za obradu se kreće između 0-1. Za vrijednost 0, nemamo uklanjanje određenog zagađenja (postrojenje kao protočna stanica). Za vrijednost 1, imali bismo potpuno uklanjanje određenog polutanata iz otpadne vode (idealno postrojenje).

Stepen efikasnosti obrade otpadnih voda na postrojenju u Srebreniku dat je sljedećom jednačinom (6):

$$\eta_{POV-S} = 1 - \frac{HPK_{S,iz}}{HPK_{S,ul}} \quad \dots (6)$$

Uvrštavanjem regresione jednačine za  $HPK_{S,iz}$  na izlazu postrojenja i  $HPK_{S,ul}$  na ulazu otpadne vode u postrojenje, dobijene statističkom analizom dobija se statistički stepen efikasnosti obrade otpadnih voda grada Srebrenika dat jednačinom 7:

$$\eta_{POV-S} = 1 - \frac{(-331,708 + 0,2146 SM_{iz} + 1,2083 N_{iz} + 49,434 P_{iz} + 0,0064 Q + 44,8635 pH_{iz})}{-1657,69 + 0,64459 SM_{ul} + 0,8548 N_{ul} + 0,063 Q + 125,796 P_{ul} + 281,5037 pH_{ul}} \quad \dots (7)$$

Kada se govori o kvalitetu otpadne vode, na postrojenjima za obradu otpadnih voda, a u cilju definisanja statističkog stepena prečišćavanja, prvenstveno se to odnosi na prikazana mjerenja ulazno-izlaznih parametara realnog postrojenja u Srebreniku sa svim svojim tehničko-tehnološkim, organizacijskim i finansijskim aspektima rada, poteškoćama i nedostacima. To također obuhvata ljudske resurse, opremljenost laboratorija, te prostorne kapaciteta koji su neophodni za nesmetan rad postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda. S obzirom na navedeno, sam stepen efikasnosti prečišćavanja izražen u funkciji mjerljivih parametara kvaliteta otpadnih voda na postrojenju za prečišćavanja daje sliku rada postrojenja za ograničene parametre i faktore procesa, dok je svaki od parametara koji nisu mjereni niti analizirani, nisu isključivi, beznačajni i niti zanemarljivi [17, 18, 19]. Prema tome, razmatranje stepena efikasnosti prečišćavanja se ograničava za samo navedene izmjerene ulazno-izlazne parametre kvaliteta otpadnih voda na postrojenju za prečišćavanje, te njihov uticaj na mjereni HPK, kao reprezent koji se uklanja uz istovremena manja ili veća odstupanja drugih parametara procesa, gdje se preko njega definiše statistički stepen efikasnosti prečišćavanja. To znači da, na ovako postavljen stepen efikasnosti prečišćavanja, za date uslove, utiču samo mjereni parametri (manje ili više signifikantni) bez umanjavanja značaja drugih (nemjerljivih parametar).

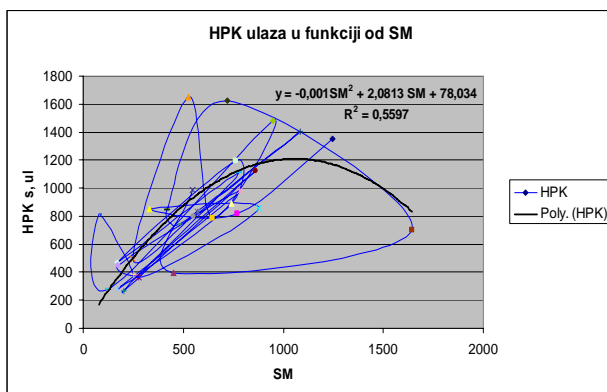
## 2.5. Signifikantnost parametara regresije

Konsultujući tabelu za Student-ovu t-raspodjelu, odnosno njenu kritičnu vrijednost  $t_{(0,05, 25)} = 2,06$ , te njena usporedba sa vrijednostima studentovog testa za pojedine parametre prema iz rezultata analize varijanse na osnovu kriterija  $|t_{ob}| > t_k$  može se izvršiti ocjena značajnosti, odnosno signifikantnosti parametara regresije (od  $b_0$  do  $b_5$ ). Prema tome, samo je parametar  $b_1 = 3,291$  signifikantan, dok su preostali nesignifikantni [13, 14, 15]:

$$|t_{ob1}| > t_k \quad \dots (8)$$

Budući da je parametar regresije značajan samo za uticajni faktor SM (suspendirane materije), nadalje se razmatra uticaj  $SM_{ul}$  na  $HPK_{ul}$ , odnosno dat će se odgovarajuća funkcija ovisnosti između  $HPK_{ul}$  i  $SM_{ul}$  sa najvećim koeficijentom determinacije  $R^2$ . Nakon što su predstavljene sve moguće funkcije ovisnosti  $HPK_{ul}$  na ulazu otpadne vode u postrojenje za prečišćavanje od  $SM_{ul}$  sa odgovarajućim koeficijentima determinacije, odabire se najveći koeficijent determinacije je  $R^2 = 0,5597$ , za jednačinu 9. prikazanu na Slici 4. bez odsječka (Intercept = 0) za koji je utvrđeno da je signifikantan (t-testom,  $t_{bo} > t_k$ , tj.  $3,19 > 2,052$ ) za korelaciju faktora  $SM_{ul}$ ,  $(N \times P)_{ul}^3$  i  $(Q \times pH)_{ul}^3$  iznosi  $b_0 = 469,841$ .

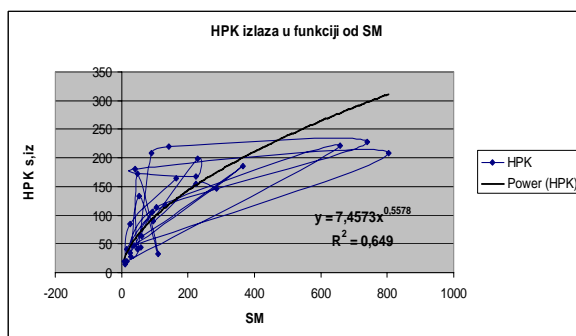
$$HPK_{s,ul} = -0,001 SM_{ul}^2 + 2,0813 SM_{ul} + 78,034 \quad \dots (9)$$



Slika 4. Usvojena funkcija ovisnosti  $HPK_{ul}$  od  $SM_{ul}$  [13, 14, 15]

Parametar regresije za izlaz značajan samo za uticajni faktor  $SM_{iz}$ , te se u skladu s tim, razmatra se uticaj  $SM_{iz}$  na  $HPK_{iz}$ , odnosno dat će se odgovarajući funkcija ovisnosti između  $HPK_{iz}$  i  $SM_{iz}$  sa najvećim koeficijentom determinacije  $R^2$ . Nakon što su predstavljene sve moguće funkcije ovisnosti  $HPK_{iz}$  na izlazu otpadne vode iz postrojenja za prečišćavanje od  $SM_{iz}$  sa odgovarajućim koeficijentima determinacije, odabire se funkcija sa najvećim koeficijentom determinacije je  $R^2 = 0,649$ , za jednačinu (10) prikazanu na Slici 5. Značajniji parametar regresije za razmatrane faktore kvaliteta otpadnih voda na izlazu iz postrojenja je utvrđen kao signifikantan (t-testom,  $t_{b0} > t_k$ , tj.  $3,52 > 2,052$ ) za korelaciju faktora  $SM_{iz}$ , ( $N \times P$ )<sub>iz</sub><sup>3</sup> i ( $Q \times pH$ )<sub>iz</sub><sup>3</sup> i iznosi  $b_0 = 74,85$ . Budući da su svi ostali parametri nesigifikantni takav pristup ne daje pouzdanije rezultate u odnosu na već postavljeni statistički model za  $HPK_{s,iz}$  i  $HPK_{s,ul}$  odnosno stepen efikasnosti prečišćavanja [13, 14, 15].

$$HPK_{s,iz} = 7,4573 SM_{iz}^{0,5578} \quad \dots (10)$$



Slika 5. Usvojena funkcija ovisnosti  $HPK_{iz}$  od  $SM_{iz}$

Matematički model stepena prečišćavanja otpadnih voda grada Srebrenika nakon verifikacije t-testom da je jednačinom 11. i naziva se korigirani stepen efikasnosti prečišćavanja [13, 14].

$$\eta_{t,POV-s} = 1 - \frac{7,4573 SM_{iz}^{0,5578}}{(-0,001 SM_{ul}^2 + 2,0813 SM_{ul} + 78,034)} \quad \dots (11)$$

### 3. ZAKLJUČAK

Obrada otpadne vode s aktivnim muljem izrazito je složen fizikalni, hemijski i biološki proces. Nestalnost sastava i protoka otpadne vode te vremenski promjenjive reakcije mješovite kulture mikroorganizama uvjetuju njegovu nelinearnost i nestacionarnost. S tim u skladu, razumijevanje tog procesa je otežano, kao i njegovo optimalno vođenje, te definisanje stepena efikasnosti prečišćavanja otpadnih voda na postrojenju u Sreberniku koji bi odražavao približno realno stanje reprezentativnog stepena prečišćavanja. Optimalno vođenje procesa je kompleksan zadatak, ali pravilno izrađen matematički model (statistički model) stepena efikasnosti obrade otpadnih voda može dati doprinos u pojednostavljenju definisanja reprezentativnog stepena efikasnosti prečišćavanja za cijelo postrojenje. Definisan i analiziran statistički model stepena efikasnosti prečišćavanja otpadnih voda sa aktivnim muljem, pripada skupini empirijskih modela. Ovakvi modeli imaju svoje prednosti koje se ogledaju u aplikativnoj metodi statističke analize ("Black box" modeli), jednostavniji su, ne zahtijevaju poznavanje procesa, i najčešće daju bolje rezultate, dok im se kao mana može pripisati zahtjev za velikim brojem eksperimentalnih podataka (utrošak vremena i finansijskih sredstava). U okviru ovog rada na aerobnim biohemijskim procesima sa aktivnim muljem u Sreberniku uzet je statistički neophodan uzorak od 31 mjerenja, i influenta i efluenta. Izvršena su mjerenja ulazno-izlaznih pokazatelja kvaliteta voda kao neophodnih elemenata za ocjenu uspješnosti prečišćavanja otpadnih voda. Jedan dio parametra se direktno veže za uklanjanje zagađenja iz otpadnih voda dok drugi parametri odražavaju potrebno stanje za optimalno vođenje samog procesa i značajan uticaj na konačne produkte prečišćavanja (željeni kvalitet efluenta usklađen sa prijemnikom i propisanim kvalitetom efluenta). Ovakav stepen efikasnosti prečišćavanja je sveobuhvatniji, pouzdaniji i na osnovu prosječnih vrijednosti dobivenih mjerenjima numerički veći, jer se eliminiše mjerenje nesignifikantni parametri, a time smanjuju troškovi manipulacije i utroška energije i hemijskih reagensa u procesu monitoringa na postrojenju. Korigirani stepen efikasnosti prečišćavanja nastaje eliminacijom nesignifikantni parametara regresijskog modela hemijske potrošnje kisika. Time se statistički stepen efikasnosti prečišćavanja određuje za najuticajnije parametre po značajno kraćem postupku.

### 4. LITERATURA

- [1] Hodolić, J., Stević, M., Budak, I., Vukelić, Đ., Mjerenje i kontrola štetnih komponenti u vodi, Zbornik radova Mjerenje i kontrola zagađenja, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, 2006.
- [2] Simičić, H., *Procesi obrade otpadnih voda*, JU Javna biblioteka Lukavac i NVO „Eko-zeleni“, Tuzla, 2002 godina.
- [3] Duncan, M., *Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries*, Earthscan, UK and USA in 2004.
- [4] Jahić, M., *Kondicioniranje voda*, Priprema vode za piće i prečišćavanje zagađenih voda, Književna zajednica „Drugari“, Sarajevo, 1990.
- [5] Matsuo, T., Hanaki, K., Takizawa, S., Satoh, H., *Advances in Water and Wastewater Treatment Technology*, Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 2001.
- [6] Vouk, D., Odabir optimalnog monitoringa sustava odvodnje, pročišćavanja i dispozicije otpadnih voda u ruralnim naseljima, Magistarski rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, oktobar 2006.
- [7] Jern, W.N.G., *Industrial Wastewater Treatment*, National University of Singapore, Imperial College, Press London, 2006.
- [8] Russel, L. D., *Practical Wastewater Treatment*, John Wiley & Sons, Inc, 2006.
- [9] Alley, E., Roberts, Water Quality Control, Handbook Second Edition, The McGraww-Hill Companies, 2007.

- [10] Imamović, N., Analiza stepena efikasnosti prečišćavanja otpadnih voda aerobnih biohemijskih procesa sa aktivnim muljem, magistarski rad, Mašinski fakultet Univerziteta u Zenici, april 2010.
- [11] Gray, N.F., *Biological of Wastewatr Teratment*, second edition, Uviversity of Dublin, Irland, 2004.
- [12] Mijatović, I., Matošić, M., Jakopopović, H., Crnek, V., *Osnovni parametri otpadnih voda*, Tehnologija vode, Biotehnološki fakultet u Zagrebu, 2007.
- [13] Ekinović, S., *Metode statističke analize u Microsoft Excelu*, Univerziteta u Zenica, Zenica, 2008.
- [14] Microsoft Excel, *Manual-Help*, Microsoft Office 2003.
- [15] Adamović, Ž., Sotirović, V., *Metodologija naučno-istraživačkog rada sa statistikom u Excel-u*, Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin", Univerzitet u Novom Sadu, Zrenjanin, 2005
- [16] Lazić, Ž., *Design of Experiments in Chemical Engineering*, Willey-VCH Verley GmbH & Co, Weinhein, ISBN 3-527-31142-4, Germany, 2004.
- [17] Wymer, J. Larry., *Statistical Framework for Recreation Water Quality Criteria and Monitoring*, Environmental protection Agency, John Willey & Sons, The Atrium, England, 2007.
- [18] Stanić, J., *Metode inženjerskih mjerenja*, Univerzitet u Beogradu, 1981.
- [19] Statistica 8.0., Manual-Help, proizvođača StatSOFT 2007.