

DEFINISANJE MEĐUZAVISNOSTI PARAMETARA PROCESA PREČIŠĆAVANJA OTPADNIH VODA U INDUSTRIJI CELULOZE I PAPIRA

DEFINING THE INTERDEPENDENCE OF WASTE WATER TREATMENT PROCESS PARAMETERS IN THE PULP AND PAPER INDUSTRY

Doc. dr. Vehid Birdahić
V. prof. dr. Nusret Imamović
Univerzitet u Zenici, Mašinski fakultet,
Zenica

mr. sc. Armina Čamić
Natron-Hayat d.o.o.

REZIME

U radu su prikazani rezultati analize parametara prečišćavanja otpadnih voda na postrojenju za prečišćavanje u tvornici Natron-Hayat Maglaj. Otpadne vode koje nastaju u tvornici podvrgavaju se prečišćavanju prije ispuštanja u površinski vodorecipient. Za postizanje mjerodavnih podataka, koje se koriste za proračun potrebnih parametara procesa obrade otpadnih voda, sproveden je postupak uzorkovanja pri čemu je utvrđen sadržaj: biološke potrošnje kisika-BPK₅, hemijske potrošnje kisika-HPK, ukupne suspendirane materije-USM, ukupnog azota - N_{uk}, ukupnog fosfora - P_{uk}. Za prikupljene podatke o parametrima prečišćavanja izvršena je regresiona analiza sa grafičkim prikazom i analiza varijanse, te definisana regresiona jednačina. Sistem za tretman otpadnih voda ove fabrike zadovoljava uvjete Uredbe o uslovima ispuštanja otpadnih voda u okoliš i sisteme javne kanalizacije (Službene novine FBiH broj 26/20). Na osnovu datih statističkih analiza, konstatovano je da sa povećanjem biološke potrošnje kisika-BPK₅ i ukupnog azota N_{uk} dolazi do povećanja hemijske potrošnje kisika-HPK, dok sa povećanjem sadržaja fosfora P_{uk}, i ukupne suspendirane materije-USM u otpadnoj vodi, vrijednost hemijske potrošnje kisika-HPK se smanjuje.

Ključne riječi: otpadne vode, parametri prečišćavanja, regresiona jednačina

ABSTRACT

The paper presents the results of the analysis of wastewater treatment parameters at the treatment plant in the Natron-Hayat Maglaj factory. The waste water generated in the factory is subjected to purification before discharge into the surface water receiver. In order to obtain authoritative data, which are used to calculate the necessary parameters of the wastewater treatment process, a sampling procedure was carried out, in which the content was determined: biological oxygen consumption-BPK₅, chemical oxygen consumption-HPK, total suspended matter-USM, total nitrogen-N_{uk}, total phosphorus-P_{uk}. For the collected data on purification parameters, a regression analysis was performed with a graphical display and variance analysis, and a regression equation was defined. The waste water treatment system of this factory fully meets the requirements of the Regulation on conditions for discharge of waste water into the environment and public sewage systems (Official Gazette of FBiH No. 26/20). Based on the given statistical analyses, it was concluded that with an increase in biological consumption of oxygen-BPK₅ and total nitrogen N_{uk}, there is an increase in chemical consumption of oxygen-HPK, while with an increase in the content of phosphorus P_{uk}, and total suspended matter-USM in wastewater, the value of chemical consumption of oxygen-HPK decreases.

Key words: wastewater, treatment parameters, regression equation.

1. UVOD

Otpadne vode iz industrije celuloze i papira sadrže hemikalije koje se koriste u procesu dobijanja papira (celulozna vlakna, otopljeni lignin iz drveta, sumporna jedinjenja i velike količine organskog zagađenja). Sadrže veliku količinu čvrstih tvari, koje ako se ne prečišćavaju, a ispuštaju se u rijeke, vrlo brzo prekriju dno rijeka uništavajući riblji i akvatični svijet koji ovisi o hrani s dna rijeke [1]. Otpadne vode u industriji celuloze i papira nastaju u različitim dijelovima postrojenja, a razlikuju se crne i bijele otpadne vode. Crne otpadne vode potiču iz procesa proizvodnje celuloze, a najveće količine nastaju nakon pranja celulozne mase i tamno smeđe su boje. Obojenost im potiče uglavnom od prisustva lignina, a ta boja utiče na nemogućnost procesa fotosinteze akvatičnih biljaka. Otpadne vode iz sektora papira nazivaju se bijele vode. Uloga koju voda ima kao reaktant, rastvarač, sredstvo za kuhanje i sredstvo za pranje dobijene celuloze, ukazuje na prisustvo vode u skoro svim fazama procesa proizvodnje celuloznih vlakana. U skladu s principima održivog razvoja, industrija celuloze i papira mora da se suoči sa strogom zakonskom regulativom o zaštiti okoliša koja podrazumijeva racionalizaciju potrošnje sirovina, vode, energije i hemikalija, uz minimalne negativne uticaje na okoliš. Krajnji cilj, racionalna potrošnja vode i minimalan uticaj na prirodne vodotoke, prema dosad rađenim istraživanjima može se ostvariti povećanjem stepena zatvorenosti kružnih tokova vode i primjenom savremenih metoda za prečišćavanje otpadnih voda. [2] Biološka potrošnja kisika-BPK₅, hemijska potrošnja kisika-HPK i sadržaj suspendovanih materija-USM su najčešći kriterijumi zagađenosti otpadnih voda. Količina nerazgrađive organske tvari u vodi je hemijska potrošnja kisika-HPK. To je masena koncentracija kisika utrošena za oksidaciju otopljene i raspršene tvari u određenim uvjetima, ekvivalentna je količini potrošenog oksidacijskog sredstva. Izražava se u mg/l O₂. Biološka potrošnja kisika je ona količina kisika koja je potrebna da se razgradi organska tvar pomoću mikroorganizama. S obzirom da se razgradnja organske tvari odvija duže vrijeme, uvedena je petodnevna biološka potrošnja kisika-BPK₅. [3] Kriterijumi zagađenosti služe za procjenu štete koju bi neprečišćene otpadne vode izazvale u recipijentu i za izbor načina prečišćavanja. Zadatak prečišćavanja otpadnih voda je da se ukloni zagađenje otpadne vode do te mjere da se obrađena otpadna voda može ispuštati u recipijent bez štetnih posljedica.

2. TRETMAN OTPADNIH VODA U TVORNICI NATRON-HAYAT MAGLAJ

Osnovne karakteristike otpadnih voda iz industrije celuloze i papira prikazane su u Tabeli 1. Ove otpadne vode mogu imati varijabilan karakter, kako po količini tako i po kvalitetu. Rezultati su obrađeni i predstavljeni kao prosječne vrijednosti svih izmjerenih vrijednosti emisijskih veličina u mjerenom periodu, preračunati na normalne uvjete i referentni sadržaj kisika O₂, R = 17%. (Tabela 1). Kompletna metodologija mjerenja, izbor mjerne opreme, izvođenje mjerenja kao i obrada mjernih rezultata izvršena je u skladu sa BAS ISO/IEC 17025:2017.

Tabela 1. Karakteristike otpadnih voda industrije celuloze i papira [4]

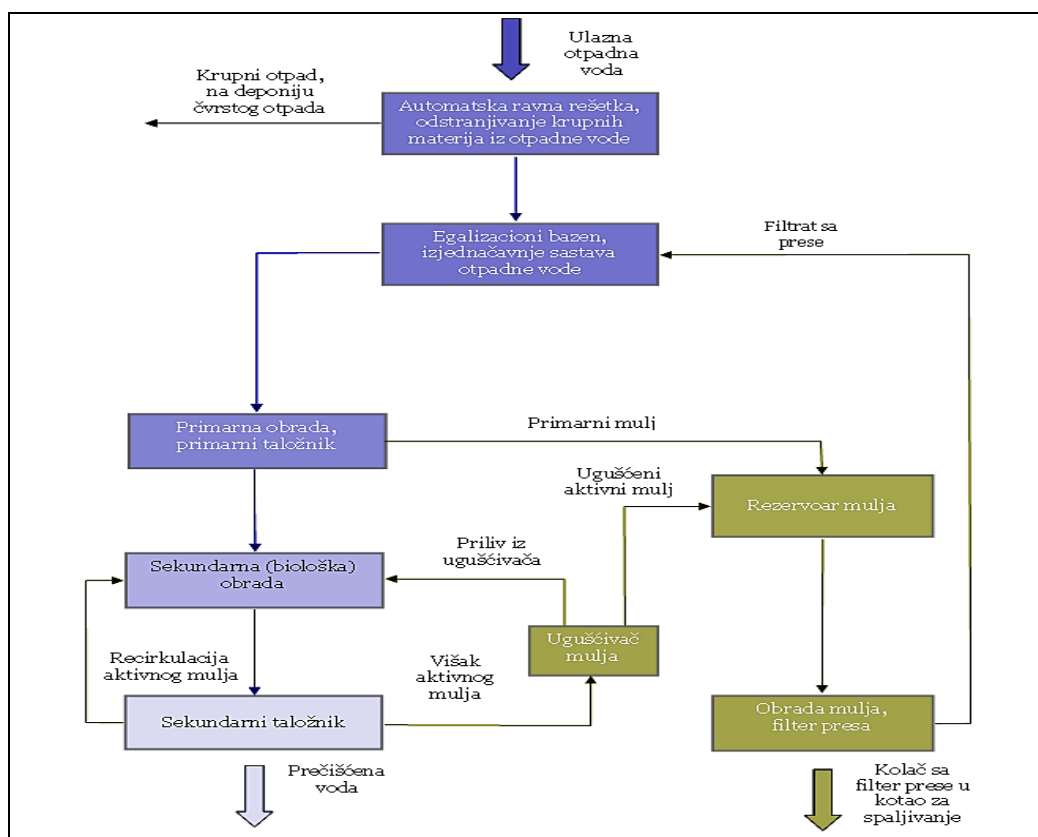
Karakteristike zagađenja	Crne vode	Bijele vode	Ukupno
Protok	18000 m ³ /dan	22000 m ³ /dan	40000 m ³ /dan
BPK ₅	7000-12000 kg/dan	3000-6000 kg/dan	10000-18000 kg/dan
HPK	14000-35000 kg/dan	6000-13000 kg/dan	20000-48000 kg/dan
SM	35000-7000 kg/dan	6000-13000 kg/dan	9500-20000 kg/dan
Max BPK ₅	700 mg/dm ³	350 mg/dm ³	
Max HPK	2000 mg/dm ³	750 mg/dm ³	
Max SM	400 mg/dm ³	750 mg/dm ³	

Tretman otpadne vode u tvornici „Natron - Hayat“ d.o.o. Maglaj se sastoji od:

- primarne obrade,

- sekundarne obrade,
- tercijarne obrade (po potrebi) i
- obrade mulja, što je prikazano na Slici 1.

Otpadna voda se pušta kroz automatsku ravnu rešetku. Materijal koji se zadrži na rešetki se uklanja automatskim grabljama do kontejnera za otpad, a odatle odlazi na deponiju čvrstog otpada. Poslije prolaska otpadne vode kroz automatsku ravnu rešetku otpadna voda dolazi u egalizacioni bazen gdje se vrši izjednačavanje sastava otpadnih voda putem dvije potapajuće mješalice, mjerenje pH vrijednosti ulazne otpadne vode i korekcija pH vrijednosti tj. doziranje kiseline ili baze i vrši se doziranje koagulanta aluminijum sulfata, $Al_2(SO_4)_3$. Uloga koagulanta je kao prvo, da neutrališe negativno naelektrisane čestice, a potom da ih na sebe adsorbira stvarajući tako uslove za njihovo brže taloženje. Zatim se otpadna voda putem pumpi prebacuje iz egalizacionog bazena u primarni taložnik i odvija se primarna obrada. U primarnom taložniku koji je radijalne izvedbe dodaje se kao flokulant anijonski polielektrolit. Istaložene čestice iz primarnog taložnika odstranjuju se kao ugušćeni mulj pod nazivom „primarni mulj“. Primarni mulj se crpi pomoću dvije potopne pumpe koje su smještene na sami zgrtač mulja i koje neprestano kruže po dnu primarnog taložnika i one rade periodično. Voda se prelivom dalje odvodi u kanal gdje se dodaju nutrijenti, željezo sulfat- $FeSO_4$ i natrijum hipohlorit- $NaClO$ [4]. Otpadna voda zatim stiže na biološku obradu u prvi aeracioni bazen. Biološko prečišćavanje zasniva se na aktivnosti kompleksne mikroflora, koja u toku svog životnog ciklusa usvaja organske i mali dio neorganskih materija koje čine zagađenje otpadne vode, koristeći ih za održavanje životnih aktivnosti i za stvaranje novih ćelija [1].



Slika 1. Blok dijagram prikaza obrade otpadnih voda

Zatim iz prvog aeracionog bazena se raspoređuje u drugi i treći aeracioni bazen. Voda iz aeracionih bazena odlazi u sekundarni taložnik. Voda preko preliva iz sekundarnog taložnika odlazi u rezervoar prečišćene vode, odakle se ispušta u rijeku Bosnu. Primarni mulj se odvodi direktno u rezervoar mulja, dok mulj nastao u sekundarnoj obradi tkz. aktivni mulj jednim dijelom se vraća u prvi aeracioni bazen, a drugi dio tkz. višak aktivnog mulja se odvodi na ugušćivač mulja, a potom u rezervoar mulja. Miješani primarni mulj i višak aktivnog mulja se šalju na trakastu filter presu gdje se vrši dehidracija mulja. U svrhu postizanja boljih efekata dehidracije prije filter prese miješani mulj se tretira sa katijonskim polielektrolitom. Kolač dobijen na filter presi se potom šalje na kotao za spaljivanje.

2.1. Prikupljanje podataka uzorkovanjem

S ciljem dobivanja vjerodostojnih i mjerodavnih podataka, koje se koriste za proračun potrebnih parametara procesa obrade otpadnih voda te dimenzioniranje postrojenja kojima se tretman sprovodi, kao i za kvalitetno povezivanje ulazno-izlaznih parametara procesa, neophodno je izvršiti pravilno provođenje uzorkovanja. Uzimanje uzoraka vode vrši se na taj način da se prije sipanja vode u flašu koja je prethodno oprana i isprana destilovanom vodom, voda sa mjesta s kojeg se uzima uzorak najprije promiješa, a zatim se s različitih dijelova i dubina u flašu uspe određen volumen vode. Uzorkovanje je vršeno u toku 10 dana. U kompozitnim uzorcima određuju se sljedeći parametri:

- BPK₅- biološka potrošnja kisika, mg O₂/l,
- HPK-hemijska potrošnja kisika, mg O₂/l,
- Ukupne suspendirane materije-USM, mg/l,
- Ukupni azot- N_{uk}, mg/l,
- Ukupni fosfor- P_{uk}, mg/l.

U Tabeli 2. prikazani su parametri sirove otpadne vode: HPK, BPK₅, USM, vrijednost N_{uk} i P_{uk} sadržanog u vodi, mjerene tokom 10 dana na ulazu u postrojenje za prečišćavanje otpadne vode tvornice Natron-Hayat. Komparirajući vrijednosti parametara sirove otpadne vode prema Uredbi o uslovima ispuštanja otpadnih voda u okoliš i sisteme javne kanalizacije (Službene novine FBiH broj 26/20), može se konstatovati da sistem za tretman otpadnih voda ove fabrike zadovoljava propisane uvjete. Nakon utvrđivanja ranga promjenljivih, također je prikazan pregled posmatranih promjenljivih prema jačini uticaja.

Tabela 2. Izmjerene vrijednosti otpadne vode sa pregledom promjenljivih po jačini uticaja

Mjerenje	BPK ₅ sirove vode (mg O ₂ /l)	USM sirove otpadne vode (mg O ₂ /l)	N _{uk} (mg/l)	P _{uk} (mg/l)	HPK, sirove otpadne vode (mg O ₂ /l)
-	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	y
1	152,5	584	0,05	0,05	656
2	222,5	428	0,08	0,05	1072
3	152,5	346	0,05	0,02	672
4	162,5	316	0,03	0,05	400
5	120	98	0	0,02	336
6	159	544	0,05	0,02	584
7	152	216	0,07	0,05	816
8	185	500	0,05	0,02	860
9	192,5	569	0,05	0,02	883
10	152,5	350	0,05	0,02	670

U nastavku rada zavisno promjenljiva, hemijska potrošnja kisika, će se radi lakše interpretacije podataka označavati sa HPK.

3. STATISTIČKA OBRADA PODATAKA PRIMJENOM LINEARNE REGRESIONE ANALIZE

3.1. Parametri linearne regresione analize

Nakon analitičkih izračunavanja iz razloga preglednosti, prema rezultatima obrade podataka za regresiju, dat je prikaz koeficijenata svih parametara regresije koji će poslužiti kao osnov za konačni izraz regresione jednačine. Evidentno je ovdje kako pojedini parametri procesa ovisno od predznaka i vrijednosti koeficijenta utiču na zavisnu varijablu tj. HPK.

Tabela 2. Parametri linearne regersije

R. br.	Index uključene varijable	b ₀ Slobodni član	b ₁ BPK ₅	b ₂ N _{uk}	b ₃ P _{uk}	b ₄ USM
1	X ₁	-393,382	6,5923	-	-	-
2	X ₁ ,X ₂	-165,897	3,51257	5852,72	-	-
3	X ₁ ,X ₂ ,X ₃	-103,283	3,40291	6668,549	-2614,74	-
4	X ₁ ,X ₂ ,X ₃ ,X ₄	-108,234	3,80155	6925,836	-2990,32	-0,1548

3.2. Rezultati analize varijanse

Iz analize prikazane u Tabeli 4. se može utvrditi koja će regresiona jednačina biti optimalna što se može steći uvidom u sumu kvadrata i veličinu standardnih grešaka. Iz tabele se vidi da podaci pod rednim brojem 4. i 5. imaju razlike između regresione i rezidualne sume kvadrata najmanje, što govori u korist kvaliteta regresije.

Tabela 4. Rezultati analize varijanse

R. br.	Index uključene varijable	Regresiona suma kvadrata	Rezidualna suma kvadrata	Koeficijent determinacije	Koeficijent korelacije	Standardna greška
1	X ₁	311083	139157,9	0,690926	0,831219	131,8891
2	X ₁ ,X ₂	385687,2	64553,69	0,856624	0,92554	96,03102
3	X ₁ ,X ₂ ,X ₃	398273,9	51967	0,88458	0,940521	93,06539
4	X ₁ ,X ₂ ,X ₃ ,X ₄	401811,9	48429,04	0,892437	0,944689	98,41651

Rezultati provedene linearne regresione analize su za svaku promjenljivu prikazani u obliku tri tabele i putem odgovarajućih dijagrama. Tabele se sastoje tri dijela:

- Parametri povezanosti zavisne i nezavisnih varijabli,
- Rezultati testa značajnosti koeficijenata višestruke regresije između zavisne HPK i četiri nezavisne varijable BPK₅, N_{uk}, P_{uk} i USM (ANOVA),
- Koeficijenti zavisnosti regresione jednačine.

Rezidual predstavlja odstupanje ili nepodudarnost stvarnih podataka i modelskih podataka u regresionoj jednačini, a sredina kvadrata reziduala čini pogrešku. U Tabeli 5. evidentno je da koeficijent determinacije kao mjera relativne reprezentativnosti povezanosti zavisne HPK i četiri nezavisne varijable BPK₅, N_{uk}, P_{uk} i USM ima vrijednost od 0,892 a korigovni koeficijent determinacije nešto manju vrijednost od 0,806. Također, standardna greška procjene ove zavisnosti ima vrijednost od 98,416 i ona govori o preciznosti zavisnosti, tj. koliko prosječno griješimo ako bismo na osnovu linearne kombinacije nezavisnih predviđali rezultat zavisne varijable.

Tabela 5. Parametri povezanosti zavisne i nezavisnih varijabli [5]

Sažetak modela (Model Summary)				
Model	R	R ²	Korigovani R ²	Standardna greška procjene
1	0,944 ^a	0,892	0,806	98,416

a. Nezavisne varijable: BPK₅, N_{uk}, P_{uk} i USM
b. Zavisna varijabla: HPK, Posmatranja: 10.

Za dokazivanje statističke značajnosti a time i definisanja regresione jednačine i parametara koji figuriraju u istoj, važne su proračunate vrijednosti koje su date u Tabeli 6. i to su sume kvadrata, stepeni slobode, sredine kvadrata, vrijednost Fišerovog testa i p-vrijednost.

Tabela 6. Rezultati testa značajnosti koeficijenata višestruke regresije između zavisne HPK i četiri nezavisne varijable BPK_5 , N_{uk} , P_{uk} , USM [5]

ANOVA ^a						
Model	Suma kvadrata	Stepeni slobode d_f	Sredine kvadrata	F	Sig.	
1	Regression	401811,9	4	100453	10,37115	0,01226 ^b
	Residual	48429,04	5	9685,808		
	Total	450240,9	9			
a. Zavisna varijabla: HPK						
b. Nezavisne varijable: BPK_5 , N_{uk} , P_{uk} , USM						

Za postavljenu zavisnost zavisne i tri nezavisne varijable, stepeni slobode su $df_1=4$ i $df_2=5$, proračunata vjerovatnoća dobijanja ovolikog ili većeg F-statistika pod nultom hipotezom (H_0), tj. p-vrijednost se nalazi u koloni Sig. i iznosi $p=0,012$. Ova vjerovatnoća je manja od postavljenog praga značajnosti α koji iznosi $0,05$ odnosno $p=0,012 < \alpha=0,05$. Na ovaj način je dokazano da je predviđanje zavisne varijable HPK-Hemijska potrošnja kisika statistički značajno i da postoji opravdanost postavljanja zavisnosti za četiri definisane nezavisne varijable. U Tabeli 7. prikazane su proračunate vrijednosti koeficijenata zavisnosti varijabli. Ovdje su prikazane vrijednosti parcijalnih regresionih koeficijenata u koloni B, koji su vezani za nezavisno promjenjive. To su parcijalni regresioni koeficijenti za nezavisne varijable. U koloni t i Sig. date su vrijednosti statističkog t-testa i vjerovatnoća, tj. statistička značajnost parcijalnih regresionih koeficijenata.

Tabela 7. Koeficijenti zavisnosti regresione jednačine [5]

Model	Nestandardizirani koeficijenti		t	Sig.	95.0% Interval povjerenja za koeficijent B		
	B	Stand. greška			Donja granica	Gornja granica	
1	(Varijable)	-108,234	218,2822	-0,49584	0,6410	-669,346	452,8783
	BPK_5 (mg O_2 /l)	3,801557	1,740357	2,184355	0,0806	-0,67217	8,275286
	Ukupni N (mg/l)	6925,836	267,293	3,054672	0,0282	1097,574	12754,1
	Ukupni P (mg/l)	-2990,32	2376,41	-1,25833	0,2638	-9099,07	3118,441
	USM (mg O_2 /l)	-0,15487	0,256244	-0,60438	0,5719	-0,81357	0,503829

Prema podacima datim u koloni B Tabele 6., koeficijent -108,234 predstavlja odsječak na ordinati ili tzv. slobodni član, parcijalni regresioni koeficijent 3,801 je pozitivan i odnosi se na varijablu BPK_5 , koeficijent 6925,836 je pozitivan i odnosi se na varijablu N_{uk} , koeficijent --2990,32 je negativan i odnosi se na varijablu P_{uk} i koeficijent -0,15487 je negativan i odnosi se na varijablu USM. Kolona Sig. predstavlja p-vrijednost i prikazuje specifični doprinos svake nezavisne varijable predviđanju zavisne.

3.3. Definisane višestruke linearne regresione jednačine

Prilikom ocjenjivanja adekvatnosti regresione jednačine koristi se Fišerov F-test, gdje se za stepen slobode (d_f REG, i d_f REZ) i prag značajnosti $\alpha = 0,05$ je potrebno zadovoljiti uvjet:

$$F_{RAC} > F_{TAB}$$

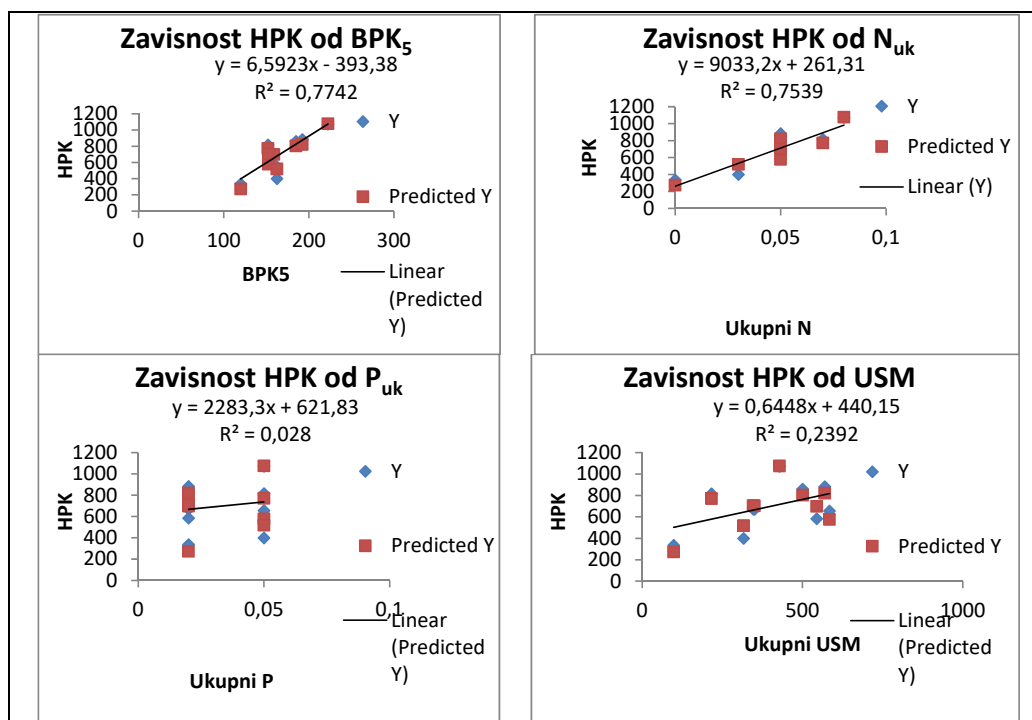
Za navedeni prag značajnosti $\alpha = 0,05$ i stepen slobode $d_f \text{ REG}=4$, $d_f \text{ REZ}=5$ imamo tabličnu vrijednost $F=5,19$, a računski iznosi $F_0 = 10,37$, pa je prema tome ispunjen gornji uvjet $F_{\text{RAČ}}=10,37 > F_{\text{TAB}} = 5,19$. Na osnovu proračunatih parcijalnih regresionih koeficijenata koji figuriraju u regresionoj jednačini i podacima iz Tabele 6., linearna regresiona jednačina se može prikazati u sljedećem obliku:

$$HPK = - 108,234 + 3,801 \times BPK_5 + 6925,836 \times N_{uk} - 2990,32 \times P_{uk} - 0,15487 \times USM$$

Definisana višestruka regresiona jednačina govori da sa povećanjem biološke potrošnje kisika (BPK_5), ukupnog azota- N_{uk} dolazi do povećanja hemijske potrošnje kisika-HPK, dok se povećanjem sadržaja fosfora- P_{uk} i ukupne suspendirane materije-USM u otpadnoj vodi, vrijednost HPK se smanjuje.

3.4. Grafički prikaz obrade podataka višestrukom regresijom

Na osnovu prikupljenih i obrađenih podataka o parametrima procesa prečišćavanja otpadnih voda na postrojenju za prečišćavanje u tvornici Natron-Hayat d.o.o. Maglaj, nadalje na Slici 2. su prikazani dijagrami višestruke regresije, odnosno ovisnosti hemijske potrošnje kisika-HPK kao zavisno promjenjive i pojedinih parametara procesa prečišćavanja otpadnih voda (BPK_5 , N_{uk} , P_{uk} , USM), kao nezavisno promjenjivih.



Slika 2. Dijagram regresije-ovisnosti HPK od pojedinih parametara procesa prečišćavanja [5,6]

4. ZAKLJUČAK

Prema rezultatima istraživanja zavisnosti parametara procesa prečišćavanja otpadnih voda na postrojenju tvornice Natron-Hayat Magalj, može se zaključiti sljedeće:

1. Prema definisanim nezavisno promjenjivim (BPK_s , N_{uk} , P_{uk} , USM) i njihovim uticajem na zavisno promjenjivu tj. hemijsku potrošnju kisika (HPK) u otpadnoj vodi utvrđeno je:

- povećanjem biološke potrošnje kisika (BPK_s) i ukupnog azota- N_{uk} dolazi do povećanja hemijske potrošnje kisika-HPK,
- povećanjem sadržaja fosfora- P_{uk} i ukupne suspendirane materije-USM u otpadnoj vodi, vrijednost HPK se smanjuje.

2. Za postavljenu međuzavisnost zavisne i nezavisnih varijabli, vjerovatnoća F-statistika pod nultom hipotezom (H_0), tj. proračunata p-vrijednost je $p=0,012$ je manja od postavljenog praga značajnosti α od 0,05, odnosno $p=0,012 < \alpha=0,05$. Tako je dokazano da je predviđanje zavisne varijable (HPK-hemijska potrošnja kisika) statistički značajno i da postoji opravdanost za ovakvo postavljanja zavisnosti za definisanu zavisnu i četiri nezavisne varijable.

3. Efikasnost uređaja za prečišćavanje otpadnih voda u tvornici „Natron-Hayat“ d.o.o Magalj zadovoljava uvjete Uredbe o uslovima ispuštanja otpadnih voda u okoliš i sisteme javne kanalizacije (Službene novine FBiH broj 26/20).

4. Za definisanu višestruku regresionu jednačinu za hemijsku potrošnju kisika-HPK, moguće je grafički prikazati međuzavisnosti zavisno promjenjive-HPK od pojedinih nezavisno promjenjivih (BPK_s , N_{uk} , P_{uk} , USM), koje su definisane u višestrukoj regresionoj jednačini.

5. LITERATURA

- [1] Halilović A.: Uticaj pranja celuloze, proizvedene po sulfatnom postupku, na kvalitet otpadnih voda i efikasnost prečišćavanja na uređajima za tretman otpadnih voda, Magistarski rad, Fakultet za metalurgiju i materijale, Zenica, 2016.
- [2] Buštalić I., Botonjić Š., Halilović A.: Pozitivni primjeri efikasnosti prečišćavanja otpadnih voda u fabrici „Natron-Hayat“ d.o.o. Magalj, Fakultet za metalurgiju i materijale, Univerzitet u Zenici, 2016.
- [3] Margeta J.: Oborinske i otpadne vode: teret onečišćenja, mjere zaštite. Split: Građevinsko-arhitektonski fakultet Split, 2007.
- [4] Mečević R.: Tehnološki projekat postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda u fabrici celuloze i papira, Stručni rad, Univerzitet u Banja Luci, 2009.
- [5] Ekinović, S.: Metode statističke analize u Microsoft Excelu, Mašinski fakultet u Zenici Univerziteta u Sarajevu, Zenica, 1997.
- [6] Microsoft Excel, Manual-Help, Microsoft Office.