

# Ekstrakcijska desulfurizacija FCC benzina sulfolanom i furfuralom

T. Adžamić, K. Sertić-Bionda, Z. Zoretić

IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK

U ovom radu istražila se mogućnost odsumporavanja FCC benzina metodom kapljevinske ekstrakcije pomoću dva otapala (sulfolan i furfural). Eksperimenti su se proveli u svrhu određivanja najučinkovitijeg otapala s obzirom na procesne parametre; temperaturu, vrijeme ekstrakcije i omjer otapalo / FCC benzin, te se ispitalo utjecaj stupnjeva ekstrakcije na količinu zaostalog sumpora u uzorku nakon procesa ekstrakcije. Dobiveni rezultati pokazuju da se niži sadržaj sumpora postigao u uzorcima koji su bili podvrgnuti ekstrakciji sulfolanom pri temperaturi od 50 °C i omjerima otapalo / FCC benzin iznad 2. Navedeni rezultati su se potvrdili statističkom analizom procesa ekstrakcijske desulfurizacije sulfolanom upotrebom 2<sup>3</sup> cjelovitog faktorskog plana. Maksimalna učinkovitost ekstrakcijske desulfurizacije se ostvarila pri višim vrijednostima temperature i omjera otapalo / FCC benzin, dok je vrijeme u istraživanom području vrijednosti imalo najmanje utjecaja na mjerenu količinu sumpora u uzorku. Najmanji udio sumpora u uzorku FCC benzina nakon procesa ekstrakcijske desulfurizacije sulfolanom iznosio je 196 mg kg<sup>-1</sup> i dobiven je pri višim nivoima temperature, omjera sulfolan / FCC benzin i vremena trajanja procesa. Razvijen je i testiran empirijski model koji se može upotrijebiti za predviđanje količine sumpora nakon procesa ekstrakcije sulfolanom u opisanom sustavu.

*Ključne riječi:* kapljevinska ekstrakcija, FCC benzin, desulfurizacija, sulfolan, furfural, matematičko modeliranje

## UVOD

Poznata je činjenica da prisutnost sumporovih spojeva u motornim gorivima ima niz negativnih posljedica, kako na okoliš (povećanje štetnih emisija u atmosferu), tako i na učinkovitost i vijek trajanja motora, te uređaja za pročišćavanje ispušnih plinova. Sadašnje EU ograničenje količine sumpora u motornim gorivima iznosi 10 mg kg<sup>-1</sup> i vrijedi od 2009. godine.<sup>4</sup>

Motorni benzin nastaje miješanjem (engl. *blending*) nekoliko vrsta benzinskih frakcija, prvenstveno dobivenih konverzijskim, sekundarnim procesima prerade nafte, posebice katalitičkim krekiranjem, reformiranjem i alkilacijom i u manjem obimu, izomerizacijom i polimerizacijom, te drugim procesima. FCC (Fluid Catalytic Cracking) benzin je jedna od temeljnih komponenti motornog benzina, uz iznimno visok doprinos ukupnoj količini sumpora u motornom benzinu od čak 98%, što je razlog nužnosti uklanjanja sumpora iz FCC benzina.<sup>7</sup>

Općeprihvaćena metoda uklanjanja sumporovih spojeva u ugljikovodičnim gorivima je katalitička hidrodiesulfurizacija (HDS) kojom se uklanja sumpor iz goriva pretvorbom u sumporovodik. HDS proces je vrlo učinkovit za uklanjanje dijela prisutnih sumporovih spojeva prvenstveno tiola, sulfida i disulfida, ali je manje učinkovit za tiofene i njegove derivate. Također, da bi se dobio produkt veće čistoće, primjenjujući postojeću tehnologiju hidroobradbe, potrebno je povećati volumen katalizatora ili reaktorski volumen što značajno smanjuje ekonomičnost postupka. Iz navedenih razloga nameće se potreba uvođenja, kao i šire primjene različitih novih procesa uklanjanja sumporovih spojeva, kao nadopuna postojećem HDS procesu. Obećavajuće

metode uklanjanja sumporovih spojeva su adsorpcija, ekstrakcija, oksidacijska ekstrakcija, te membranski i biokemijski procesi.<sup>6,12,15</sup>

Metoda ekstrakcije temelji se na većoj topljivosti sumporovih spojeva i aromata prema nearomatima u odgovarajućem polarnom otapalu. Proces ekstrakcije, odnosno procesni parametri procesa, ovisе o upotrijebljenom otapalu, te njihov odabir mora uzimati u obzir činjenicu da se proces ekstrakcije može uspješno odvijati samo u dvofaznom području sustava. Upravo zato, učinkovitost procesa ekstrakcije ovisi o pravilnom izboru otapala, što znači kompromis između njegove selektivnosti i kapaciteta, kao i ostalih svojstava, uključujući ograničenja s obzirom na ekološke i toksikološke zahtjeve.<sup>2,3,8,13,14,16,17,18</sup>

U naftnoj industriji furfural (C<sub>5</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub>) i sulfolan (C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>O<sub>2</sub>S) se komercijalno koriste za ekstrakcijsko izdvajanje aromatskih komponenti iz naftnih frakcija.<sup>1,5,9,10</sup> Kako se sumpor u nafti većinom nalazi u obliku aromatskih spojeva<sup>4</sup>, spomenuta otapala zanimljivi su kandidati za primjenu u procesima ekstrakcijskog odsumporavanja FCC benzina.

Planiranje eksperimenta (engl. *Design of Experiments*, DOE) je statistička metoda kojom se, između ostalog, može bolje objasniti neki proces, modelirati proces, poboljšati efikasnost procesa, te poboljšati kvaliteta proizvoda.<sup>13</sup> DOE omogućava dobivanje podataka o međudjelovanju faktora i o načinu kako cijeli sustav funkcionira, a do takvih podataka ne može se doći kada se eksperimentira variranjem vrijednosti jednog faktora, dok se ostali održavaju na konstantnim vrijednostima. Prednost DOE je i mogućnost prikazivanja na koji način međusobno povezani faktori reagiraju u širokom

rasponu vrijednosti, a da nije potrebno neposredno ispitivati sve moguće kombinacije. DOE se primjenjuje kao metoda kojom se vrijednosti dobivene mjerenjem opisuju pomoću matematičkih jednadžbi. Ove jednadžbe služe kao model kojim se predviđa što će se desiti provođenjem procesa za bilo koju kombinaciju vrijednosti. S takvim modelima je moguće optimizirati kritične faktore i odrediti najbolju kombinaciju vrijednosti.<sup>11</sup>

U ovom radu istražena je mogućnost uklanjanja aromatskih sumporovih spojeva iz frakcije FCC benzina s točkom vrelišta do 155 °C s furfuralom i sulfolanom kao ekstrakcijskim otapalima. Ispitan je utjecaj procesnih parametara na učinkovitost procesa ekstrakcije u svrhu odabira učinkovitijeg otapala. Statistička obrada podataka dobivenih procesom ekstrakcijskog odsumporavanja provedena je 2<sup>3</sup> faktorskim planom eksperimenta sa tri parametra. Odredio se utjecaj svakog pojedinog parametra, kao i njihovi međeutjecaji na učinkovitost izdvajanja sumpora, te je razvijen matematički opis procesa.

## EKSPERIMENTALNI DIO

### Materijali

Uzorak FCC benzina dobiven je od INA d.d. Rafinerija nafte Sisak. Najvažnija fizikalno kemijska svojstva uzorka FCC benzina prikazana su u Tablici 1.

Za istraživanje utjecaja furfurala (Riedel de Haën, R.G) koristila se samo bezbojna frakcija izdvojena nakon destilacije pod sniženim tlakom u struji dušika. Sulfolan analitičke čistoće nabavljen je od Sigma–Aldrich.

### Opis postupka

Ispitivanje procesa izdvajanja sumpora iz FCC benzina provedeno je na poluautomatskoj aparaturi za šaržnu ekstrakciju. Osnovni dijelovi aparature prikazani su na Slici 1. Aparatura je namijenjena za izvedbu eksperimenata šaržne ekstrakcije u temperaturnom području od 0 do 100 °C pri atmosferskom tlaku. Eksperiment započinje povezivanjem aparature sa računalom i postavljanjem zadanih vrijednosti parametara pomoću računalnog programa. Prethodno određeni volumeni FCC benzina i otapala stavljaju se u za to predviđene posude i termostatiraju na željenu temperaturu, nakon čega se kapljevine pomiješaju. Proces započinje pokretanjem miješala na 700 okr./min i prekida se automatski istekom zadanog vremena. Proces ekstrakcije je ispitivan u temperaturnom području od 20

do 70 °C, omjerima otapalo/FCC benzin 0,2 do 6 i ekstrakcijskim vremenima od 5 to 40 minuta. Nakon ekstrakcije uzorak je ostavljen stajati najmanje 8 sati kako bi se osiguralo potpuno odvajanje faza. Kako uzorak benzina nakon ekstrakcije sadrži relativno velike količine zaostalog sulfolana, a time i povećani udio ukupnog sumpora zbog sastava sulfolana, potrebno je njegovo ispiranje. Ispiranje je provedeno sa destiliranom vodom u omjeru 1:1 pri temperaturi od 25 °C i 700 okr./min, u trajanju od 15 minuta, nakon čega je uzorak ostavljen 24 sata prije analize sumpora. Učinkovitost ekstrakcije praćena je mjerenjem količine zaostalog sumpora nakon procesa u uzorku FCC benzina standardnom metodom valno disperzivne rendgenske fluorescencijske spektrometrije zraka (XR) (HRN EN ISO 20884).

### Statistička analiza

Planiranje eksperimenta je statistička metoda kojom se unaprijed zadanim načinom prikupljanja podataka, omogućuje analiza i statistička obrada tih podataka s ciljem dobivanja vrijednih zaključaka o ponašanju istraživanog sustava. Faktorski plan je koristan alat za istraživanje utjecaja više parametara jer omogućuje dobivanje podataka o međudjelovanju faktora i o načinu kako cijeli sustav funkcionira. Do takvih podataka ne može se doći kada se eksperimentira variranjem vrijednosti jednog faktora dok se ostali održavaju na konstantnim vrijednostima. Modeliranje procesa šaržne kapljevine ekstrakcije sulfolanom provedeno je primjenom 2<sup>3</sup> faktorskog plana u koji uključuju eksperimente sa svim kombinacijama faktora i njihovih nivoa za svako pojedino ispitivanje i za ponovljena ispitivanja unutar eksperimenta. 2<sup>3</sup> faktorski plan sadrži 18 eksperimenata u kojima su mijenjani 3 parametra (temperatura, vrijeme i omjer otapalo / FCC benzin) na dva nivoa (+1 za višu vrijednost i -1 za nižu vrijednost). 2<sup>3</sup> faktorski plan sa stvarnim i kodiranim vrijednostima parametara, te rezultatima su prikazani u Tablici 2. Eksperimenti su provedeni nasumično prema razvijenom planu kako bi se omogućila ponovljivost i smanjila standardna greška. Statistička analiza dobivenih podataka načinjena je uz pomoć računalnog programa Design-Expert, tvrtke Stat-Ease, Inc.

## REZULTATI I RASPRAVA

U radu su ispitivani utjecaji procesnih parametara: temperature, vremena procesa ekstrakcije i omjera otapalo / FCC benzin (O/S), te utjecaj stupnjeva ekstrakcije na sadržaj sumpora u FCC benzinu nakon procesa ekstrakcije. Rezultati su prikazani Slikama 2. do 5. Nakon odabira pogodnijeg otapala, napravljen je 2<sup>3</sup> faktorski plan eksperimenta, a rezultati su prikazani Slikama 6. do 9. i Tablicama 2. i 3. Nakon ekstrakcije sulfolanom bilo je potrebno ukloniti zaostali sulfolan u rafinatu, što je provedeno ispiranjem sa destiliranom vodom.

### Utjecaj temperature

Povećanjem temperature ekstrakcijskog sustava smanjuje se dvofazno područje (heterogenost), te se smanjuje gustoća kapljevine i takvi uvjeti povećavaju

Tablica 1. Fizikalno kemijska svojstva FCC benzina	
Svojstvo	Vrijednost
IOB (Istraživački oktanski broj)	90,8
Gustoća pri 20 °C (kg m <sup>-3</sup> )	710,6
Ukupni sumpor (mg kg <sup>-1</sup> )	760
Kinetička viskoznost pri 40 EC (mm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )	0,5579
Destilacijsko područje (EC):	
Početak	39,8
50%	78,31
95%	39,41
Kraj	49,9

Tablica 2. 2<sup>3</sup> faktorski plan i rezultati

Br.	Stvarna vrijednost			Kodirana vrijednost			S <sub>i, exp</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	
1	30	30	4	-1	+1	+1	214
2	30	30	2	-1	+1	-1	295
3	50	30	2	+1	+1	-1	293
4	50	30	4	+1	+1	+1	196
5	30	30	4	-1	+1	+1	206
6	30	10	4	-1	-1	+1	294
7	30	10	4	-1	-1	+1	198
8	30	30	2	-1	+1	-1	283
9	30	10	2	-1	-1	-1	410
10	50	30	2	+1	+1	-1	311
11	30	10	2	-1	-1	-1	512
12	50	30	4	+1	+1	+1	206
13	50	10	4	+1	-1	+1	204
14	50	10	4	+1	-1	+1	308
15	50	10	2	+1	-1	-1	304
16	50	10	2	+1	-1	-1	357

učinkovitost procesa ekstrakcije. Iz rezultata na Slici 2 koja prikazuje ovisnost količine sumpora o temperaturi procesa vidljivo je da se maksimalan učinak ekstrakcije sumporovih spojeva sulfolanom postiže pri temperaturi od 50 °C i iznosi 526 mg kg<sup>-1</sup> sumpora. Kako u našem sustavu dolazi do smanjenja učinkovitosti ekstrakcije na temperaturama iznad 50 °C, može se pretpostaviti egzotermnost procesa (Van't Hoffov zakon). Pri ispitivanju utjecaja temperature na ekstrakciju furfuralom, vidljivo je da povećanje temperature negativno utječe na učinkovitost uklanjanja sumpora, iako je taj utjecaj slabo naglašen, te se vrijednosti sumpora zaostalog nakon ekstrakcije kreću oko 430 mg kg<sup>-1</sup>. Zbog toga se može pretpostaviti da temperatura nema značajnijeg utjecaja na ekstrakciju furfuralom. Daljnja ispitivanja utjecaja procesnih parametara na učinkovitost ekstrakcije provedena su pri temperaturi od 50 °C iz razloga što je pri toj temperaturi dobivena najveća učinkovitost za ekstrakciju sulfolanom.

### Utjecaj vremena

Ispitivanjem utjecaja 5 različitih vremena trajanja procesa (Slika 3) može se vidjeti da je optimalno vrijeme

procesa 10 minuta, kad je zaostala najmanja količina sumpora u procesu ekstrakcije i za sulfolan i furfural. Daljnjim povećanjem vremena ekstrakcije do 40 minuta dolazi do smanjenja učinkovitosti procesa, odnosno do povećanja količine zaostalog sumpora za 12 mg kg<sup>-1</sup> u odnosu na vrijednost dobivenu u vremenu trajanja od 10 minuta, što se može objasniti procesom reekstrakcije.

### Utjecaj omjera otapalo / FCC benzin

Na Slici 4. prikazan je povoljan utjecaj povećanja omjera sulfolan / FCC na učinkovitost izdvajanja sumporovih spojeva. Zabilježeno je povećanje učinkovitosti procesa ekstrakcije do omjera 4 u kojem je zaostala količina sumporovih spojeva bila 314 mg kg<sup>-1</sup>. Daljnje povećanje omjera nije imalo značajnijeg utjecaja. Povećanjem omjera furfural / FCC benzin također povećavamo učinkovitost izdvajanja sumpora, ali u nešto manjoj mjeri nego sulfolanom. Pokazalo se da se količina izdvojenog sumpora od omjera 0.2 do 1 smanjivala, odnosno najveća učinkovitost procesa od 443 mg kg<sup>-1</sup> zaostalog sumpora dobivena je za omjer od 1. Daljnje povećanje omjera nije imalo značajnijeg utjecaja.

### Utjecaj stupnjeva ekstrakcije

Ovim istraživanjem dokazano je da stupnjevi ekstrakcije povećavaju učinkovitost izdvajanja sumpora sulfolanom i furfuralom. Proveden je eksperiment sa 6 stupnjeva ekstrakcije (svaki u trajanju od 10 minuta pri 50 °C), te je za sulfolan postignuto smanjenje koncentracije sumpora sa početnih 760 mg kg<sup>-1</sup> na 83 mg kg<sup>-1</sup> nakon 6. stupnja, dok je za furfural vrijednost zaostalog sumpora nakon 6. stupnja ekstrakcije iznosila 350 mg kg<sup>-1</sup> (Slika 5).

### Statistička analiza

Cilj statističke analize bio je odrediti najutjecajnije parametre u procesu uklanjanja sumporovih spojeva iz FCC benzina procesom šaržne ekstrakcije. Sa odabranim 2<sup>3</sup> faktorskim planom objašnjen je i kvantificiran utjecaj 3 odabrana parametra (temperatura, vrijeme i omjer sulfolan / FCC benzin), kao i njihov međnutjecaj na odziv provedbom 18 eksperimenata. Dobiveni rezultati omogućili su dobivanje matematičkog opisa procesa ekstrakcijskog uklanjanja sumporovih spojeva za opisani sustav.

Tablica 3. Prikaz utjecaja pojedinačnih parametara i njihovih međudjelovanja na količinu sumpora; validacija modela i koeficijenta (ANOVA)

Izvor	Efekt prema S-razdiobi (-)	Doprinos parametra (%)	Suma kvadrata (-)	Stupnjevi slobode (-)	Vrijednost najmanjih kvadrata (-)	F-vrijednost (-)	F-test (-)
X <sub>1</sub>	-29,625	3,57	3 510,56	1	3 510,56	36,98	0,0003
X <sub>2</sub>	-72,125	21,19	20 808,06	1	20 808,06	219,18	< 0,0001
X <sub>3</sub>	-117,625	56,38	55 342,56	1	55 342,56	582,94	< 0,0001
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	31,625	4,07	4 000,56	1	4 000,56	42,14	0,0002
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	30,625	3,82	3 751,56	1	3 751,56	39,52	0,0002
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	27,625	3,10	3 052,56	1	3 052,56	32,15	0,0005
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	-41,625	7,06	6 930,56	1	6 930,56	73,00	< 0,0001
Model	-	-	97 396,44	7	13 913,78	146,56	< 0,0001
Ukupno	-	-	98 155,94	15	-	-	-
Ostatak	-	-	759,50	8	94,94	-	-

Kako je sulfolan prethodnom analizom dokazan kao učinkovitije ekstrakcijsko sredstvo, provedeni su eksperimenti ekstrakcije sulfolanom prema zadanom 23 faktorskom planu. Rezultati provedenih eksperimenata prikazani su u Tablici 2. Upotrebom dobivenih rezultata izračunate su vrijednosti utjecaja parametara, sume kvadrata, stupnjeva slobode i testova potvrde valjanosti modela koje su prikazane u Tablici 3. Statističkom analizom dokazano je da svi parametri utječu na odziv procesa što se vidi iz prikaza F-testa čije su vrijednosti za ispitivane parametre i njihove međuutjecaje ispod 0,05, dok F-vrijednost modela od 146,56 dokazuje signifikantnost dobivenog modela i označuje tek 0,01% šanse da su dobivene vrijednosti rezultat drugih utjecaja. Višestupnjevatom regresijskom analizom dobivenih eksperimentalnih podataka, obavljenom pomoću programske podrške Design-Expert, dobiven je matematički opis uklanjanja sumporovih spojeva šaržnom ekstrakcijom sulfolanom u opisanoj aparaturi, te je prikazan preko statističkog modela ( $S_{i,exp}$ ) sa kodiranim vrijednostima i tehnološkog modela ( $S_{i,cal}$ ) sa stvarnim vrijednostima.

$$S_{i,exp} = 286,56 - 14,81 X_1 - 36,06 X_2 - 58,81 X_3 + 15,81 X_1 X_2 + 15,31 X_1 X_3 + 13,81 X_2 X_3 - 20,81 X_1 X_2 X_3$$

$$S_{i,cal} = 1487,00 - 21,72 T - 39,05 t - 314,18 O/S + 0,78 T t + 5,69 T O/S + 9,70 t O/S - 0,20 T t O/S$$

Iz prikaza vrijednosti svih doprinosa (Tablica 3) i dobivenih modela vidljivo je da najveći utjecaj na proces ekstrakcije ima omjer sulfolan / FCC benzin, nakon čega slijedi vrijeme, te temperatura pri kojoj se provodi proces, dok su međuutjecaji parametara manje izraženi.

R<sup>2</sup> vrijednosti modela iznosile su 0,99 što dokazuje odlično slaganje sa eksperimentalno dobivenim rezultatima. Još jedan prikaz usporedbe eksperimentalno i računski dobivenih rezultata količine sumpora nakon procesa ekstrakcije prikazan je Slikom 6., gdje pravac prikazuje vrijednosti dobivene modelom, te je vidljivo tek malo odstupanje eksperimentalno dobivenih vrijednosti. Iz svega navedenog može se zaključiti da se dobiveni model može upotrijebiti za opisivanje šaržnog procesa ekstrakcije sumporovih spojeva sa sulfolanom.

Ovisnost sadržaja sumpora u rafinatu o procesnim parametrima prikazana je na Slikama 7. do 9. u obliku odzivnih površina određenog prostornog nagiba koje predstavljaju grafičku interpretaciju dobivenog matematičkog modela. Treba napomenuti da se analize prikazanih odzivnih površina odnose na slučajeve kada je treći faktor imao konstantnu vrijednost u centralnoj točki koja je bila za  $X_1 = 40$ ,  $X_2 = 20$ ,  $X_3 = 3$ . Iz prikazanih grafova vidljivo je da se maksimalna učinkovitost uklanjanja sumpora dobiva pri višim vrijednostima temperature i omjera, da vrijeme u ispitivanom području ima najmanji utjecaj, te da je najveća učinkovitost, uz pretpostavku linearnosti utjecaja, od 196 mg kg<sup>-1</sup> dobivena pri vrijednostima  $X_1 = 50$ ,  $X_2 = 30$  i  $X_3 = 4$ .

## ZAKLJUČAK

U ovom radu uspoređena je učinkovitost izdvajanja sumpora iz FCC benzina metodom kapljevinske

ekstrakcije upotrebom dva otapala: sulfolanom i furfuralom. Ispitan je utjecaj temperature, vremena, omjera otapalo / FCC i stupnjeva ekstrakcije na učinkovitost izdvajanja sumpora. Dobiveni rezultati pokazali su da je niži sadržaj sumpora postignut u uzorcima koji su bili podvrgnuti ekstrakciji sulfolanom pri temperaturi od 50 °C i omjerima otapalo / FCC benzin iznad 2, što je i potvrđeno statističkom analizom procesa upotrebom 2<sup>3</sup> cjelovitog faktorskog plana. Rezultati statističke analize pokazuju da je najveći utjecaj na učinkovitost procesa imao omjer sulfolan / FCC, zatim vrijeme i na kraju temperatura. Utjecaj međudjelovanja ovih parametara bio je manje izražen, ali ipak značajan. Najmanji udio sumpora u uzorku FCC benzina nakon procesa ekstrakcijske desulfurizacije sulfolanom iznosio je 196 mg kg<sup>-1</sup> i dobiven je pri temperaturi od 50 °C i omjeru otapalo / FCC benzin od 4 u vremenu trajanja procesa od 30 minuta. Razvijen je i testiran empirijski model koji se može upotrijebiti za predviđanje količine sumpora nakon procesa ekstrakcije sulfolanom u opisanom sustavu. Najmanja količina sumpora koja je ostvarena stupnjevatom ekstrakcijom iznosila je 83 mg kg<sup>-1</sup>, a postignuta je primjenom sulfolana pri temperaturi od 50 °C nakon 6 stupnjeva ekstrakcije. Navedena količina predstavlja 89,1 mas. % ukupnog sumpora iz početnog uzorka FCC benzina.

## POPIS SIMBOLA

$S_{i,exp}$	(mg kg <sup>-1</sup> )	eksperimentalno određeni udio ukupnog sumpora u rafinatu
$S_{i,cal}$	(mg kg <sup>-1</sup> )	izračunati udio ukupnog sumpora u rafinatu
$T$	(°C)	temperatura
$t$	(min)	vrijeme
$O/S$	(-)	omjer otapalo / FCC benzin po volumenu
$X_1$	(-)	kodirana vrijednost za temperaturu
$X_2$	(-)	kodirana vrijednost za vrijeme
$X_3$	(-)	kodirana vrijednost za omjer otapalo / FCC benzin
$R_2$	(-)	koeficijent korelacije



**Tamara Adžamić**, dipl. ing., Zavod za tehnologiju nafte i petrokemiju Fakulteta kemijskog inženjerstva i tehnologije, Sveučilište u Zagrebu

Dr. sc. **Katica Sertić-Bionda**, red. prof., Zavod za tehnologiju nafte i petrokemiju Fakulteta kemijskog inženjerstva i tehnologije, Sveučilište u Zagrebu

**Zdenko Zoretić**, dipl. ing. INA d.d. Rafinerija nafte Sisak

UDK : 665.664.2 : 665.73 : 665.666.4 : 665.662.3 : 519.876.2

665.664.2	karalitički kreking
665.73	FCC benzin
665.666.4	desulfurizacija
665.662.3	ekstrakcija
519.876.2	matematičko modeliranje