

Vesna Tomulić, Dubravko Draženović

ISSN 0350-350X

GOMABN 43, 2 , 121-133

Stručni rad/Professional paper

UDK 665.644.26-933.6

## METODA PRAĆENJA RADA POSTROJENJA FLUID KATALITIČKI KREKING

### Sažetak

Na postrojenju FCC iz vakuum plinskog ulja proizvodi se ukapljeni naftni plin, benzin oktanske vrijednosti 93 oktana, katalitičko ulje i dekantirano ulje. Najvažniji proizvod FCC procesa je benzin, pa zaključujemo da se ovim procesom od sirovine sa vrlo visokim vrelištem dobivaju proizvodi nižih vrelišta i većih komercijalnih vrijednosti. FCC proces se sastoji od dva dijela: reaktorsko – regeneratorski dio za koji možemo reći da je “srce” postrojenja jer se u njemu odvijaju reakcije krekiranja u fluidiziranom sloju katalizatora, i dijela za frakcionaciju gdje se produkti krekiranja odvajaju i šalju na daljnju obradu. Rad FCC-a zahtjeva stalno pokretanje kliznih ventila na strani regeneriranog katalizatora, istrošenog katalizatora i dimnog plina. Postavne vrijednosti se održavaju upravljanjem tlakovima, diferencijalnim tlakovima i temperaturama u procesu. Pokretanje kliznih ventila se održava sustavom hidrauličkog ulja. Kako se krekiranje u potpunosti odvija u reaktoru važna nam je dobra kontrola temperature u riseru reaktora.

Za nadzor i upravljanje procesa koristi se distributivi kontrolni sustav (DCS) koji automatski drži postrojenje u najpovoljnijem režimu rada vodeći računa da se ne prelaze dozvoljeni parametri opterećenja opreme (tlak, temperatura, brzina strujanja itd.) čime se produžuje njen vijek trajanja i smanjuju troškovi održavanja. Osnova DCS je komunikacijska mreža poznata kao “Local Control Network” koja direktno povezuje uređaje koji omogućavaju sljedeće funkcije:

- Sučeljenje čovjek – stroj
- Sučeljenje prema Windows NT i drugim operacijskim sustavima
- Akvizicija procesnih podataka i analiza
- Napredno vođenje (advanced control )
- Sučeljenje prema drugim procesnim mrežama

DCS omogućuje implementaciju širokog spektra upravljačkih strategija od najjednostavnijih do najkompleksnijih, olakšavajući na taj način praćenje i vođenje procesa.

U Rafineriji nafte Rijeka razvijen je tzv. monitoring service, metoda sustavnog praćenja rada postrojenja FCC. Ona se temelji na objedinjavanju procesnih podataka dobivenih direktno putem DCS-a, putem laboratorijskih analiza i izračunavanjem. Svi ti podaci objedinjeni u spreadsheetu Microsoft Excella pružaju kompletnu sliku cjelokupnog procesa, a njihov grafički prikaz omogućuje praćenje trendova te donošenje ispravnih poslovnih odluka.

## MONITORING SERVICE OF FLUID CATALYTIC CRACKING PLANT

### Abstract

Liquefied petroleum gas (LPG), 93-octane gasoline, catalytic oil and slurry are produced from vacuum gas oil (VGO) at the FCC plant. The most important product is gasoline, so we can say this proces gives, from crude oils with very high boiling point, products with low boiling point and higher comercial value. FCC process has two sections: reactor-regenerator section which is "heart" of this plant, because there reaction of fluid catalytic cracking proceed, and main column section, where cracking reactions products separate and forward on to further processing .The FCC operation demands permanent slide valves movement on regenerated catalyst side, spent catalyst and flue gas. Set points upkeep controlling pressure, differential pressure and temperatures in process. The movement of slide valves is maintained by system of hydraulic oils. Cracking reaction is completelly finished in reactor, so good temperature control in a reactor riser is very important. Process is controled and managed by distribution control system (DCS) which automatically keeps a plant in most favourable operating regime. The basic of DCS is comunicate network:" Local Control Network" , which directly makes contact with devices that enable the following functions:

- Interface man – machine
- Interface towards Windows NT and other operation systems
- Aquisition of process data and analyses
- Advance control
- Interface towards other process networks

DCS enables implementation of wide spectrum of managing strategies, so makes the process of monitoring and managing much easier.

*In RNR we have developed monitoring service, the method that systematically follows operation of FCC plant. It is based on integration of DCS process data, laboratory data, and calculation data, which are collected in Microsoft Excell spreadsheet, in order to give complete illustration of the whole process. Graphic charts enable trend monitoring and making correct business decisions.*

## UVOD

Proces katalitičkog krekiranja otkrio je 1936. godine E.J.Houdry. Ustanovio je da alumosilikatne gline ubrzavaju reakcije krekiranja teških frakcija nafte, dajući pri tome dobre prinose na benzinskoj frakciji. Ustanovljeno je i da katalizator ne ostaje nepromijenjen tijekom reakcije već se vrlo brzo deaktivira zbog taloženja koksa na njegovu površinu. Kontroliranim spaljivanjem koksa katalizator ponovno postaje aktivan. Proces katalitičkog krekiranja u fluidiziranom sloju (FCC) prvi put se primjenjuje u industrijskom procesu 1942. godine. Na procesnoj jedinici FCC, iz vakuumske plinske ulje, vrelišta 380-550°C, proizvodi se skupljeni naftni plin, benzin oktanske vrijednosti 93 oktana, katalitičko ulje, dekantirano ulje, koks, i loživi plin. Najvažniji proizvod FCC procesa je benzin s vrelištem do 220°C, pa zaključujemo da se ovim procesom od sirovine sa vrlo visokim vrelištem dobivaju proizvodi nižih vrelišta i većih komercijalnih vrijednosti.

U Rafineriji nafte Rijeka razvili smo tzv. monitoring service, metodu sustavnog praćenja rada postrojenja FCC. Ona se temelji na objedinjavanju procesnih podataka dobivenih direktno putem DCS-a, podataka naknadno dobivenih putem laboratorijskih analiza, te podataka dobivenih kompjutorskim izračunavanjem. Svi ti podaci objedinjeni u spreadsheetu Microsoft Excella pružaju kompletnu sliku cjelokupnog procesa, a njihov grafički prikaz omogućuje praćenje trendova te donošenje ispravnih poslovnih odluka.

## OPIS PROCESA

Postrojenje FCC izrađeno je po UOP tehnologiji. Distribuirani kontrolni sustav (DCS) omogućuje vođenje procesa u najpovoljnijem režimu rada prema postavljenim upravljačkim veličinama vodeći računa da se ne prelaze dopušteni parametri opterećenja opreme. FCC proces se sastoji od dva dijela: reaktorsko – regeneratorski dio za koji možemo reći da je “srce” postrojenja jer se u njemu događaju reakcije krekiranja u fluidiziranom sloju katalizatora, i dijela za frakcionaciju gdje se produkti krekiranja odvajaju i šalju na daljnju obradu. Reaktor i regeneratorski dio međusobno povezani cijevnim sustavom i tvore krug kontinuirane cirkulacije regeneriranog i deaktiviranog katalizatora. Kombinirana sirovina (svježa sirovina + recirkulirajući tok) i para dovode se “optimix” distributorom preko četiri ulaza u donji dio risera reaktora. Na samom dnu risera reaktora uvodi se ST para (kroz bajonet mlaznicu) dok se regenerirani katalizator uvodi bočno iz regeneratorskog dijela. Krekiranje sirovine (200 – 280°C) započinje neposredno nakon kontakta s vrućim

regeneriranim katalizatorom u uzlaznoj cijevi (riser). Pri tome dolazi do vrlo brzog prijenosa topline i naglog isparavanja sirovine. Smjesa uljnih para i katalizatora uzdiže se riserom i izlazi u reaktorski prostor, gdje se ugljikovodici odvajaju od katalizatora ciklonskim separatorima. Reakcije krekiranja nastavljaju se sve dok se uljne pare ne odvoje od katalizatora u reaktoru. Ciklonski separatori uklanjaju povučeni katalizator i vraćaju ga u gustu fazu reaktora. Reaktorske pare – krekirani proizvodi odlaze s vrha sekundarnih ciklona prema frakcionatoru. Iz reaktora, katalizator pada u striper katalizatora, koji je smješten tako da okružuje riser reaktora, klizeći prema uzdižućoj pari za stripiranje. Para mora vratiti uljne pare koje je katalizator povukao sa sobom. Tijekom krekiranja dolazi do nastajanja koksa na katalizatoru. Koksom zaposjednut katalizator nakon prolaska kroz striper katalizatora prolazi kroz "standpipe" reaktora – izlaznu cijev na dnu koje se nalazi klizni ventil. Stupac katalizatora u cijevi proizvodi dovoljan tlak da prevlada razliku tlaka između reaktora i regeneratora omogućavajući tok kroz ventil. Kliznim ventilom upravlja regulator razine u reaktoru. U standpipe je ugrađena i rastezljiva spojnica (kompenzator) radi prilagođavanja relativnog širenja reaktora i regeneratora.

U regeneratoru se obnavlja katalitička aktivnost deaktiviranog katalizatora spaljivanjem koksa nataloženog na njemu u prisutnosti zraka i vrućeg recirkuliranog katalizatora. Zrak osigurava zračna puhaljka koja ga tlačí kroz zračnu rešetku na dnu regeneratora. Egzotermnim izgaranjem koksa u struji zraka (oko 650°C) nastaju dimni plinovi bogati CO<sub>2</sub> koji zajedno sa katalizatorom izlaze na vrhu risera regeneratora u prostor regeneratora. Preko ciklonskih separatora deaktivirani katalizator se odvaja od dimnih plinova u gusti sloj katalizatora a dimni plinovi (upravljani kliznim ventilom) odlaze prema CO boileru odnosno dimnjaku. Nešto katalizatora odlazi s dimnim plinovima u atmosferu i predstavlja gubitak katalizatora. Vrući katalizator napušta regeneratore kroz "standpipe" regeneratore spojen s dnom risera reaktora. Na "standpipe" regeneratore je ugrađen klizni ventil. Ovim kliznim ventilom upravlja regulator temperature u reaktoru. On također sadrži kompenzator radi prilagođavanja dilatacija risera.

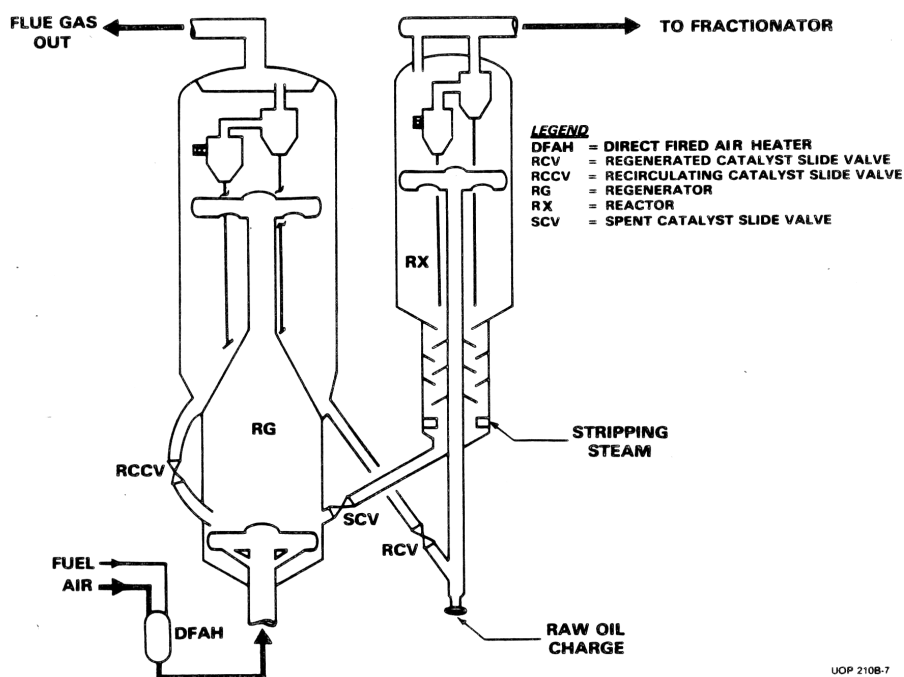
Tlak u reaktoru regulira se tlakom u akumulatoru vršnog proizvoda frakcionatora. Razlika tlaka između reaktora i regeneratora općenito se bira takvom da približno izjednači pad tlaka kroz klizne ventile. Recirkulacijom vrućeg katalizatora unutar regeneratora osigurava se najniža temperatura za izgaranje koksa. Pokretanje kliznih ventila se održava sustavom hidrauličkog ulja. Rad FCC-a zahtijeva stalno pokretanje kliznih ventila na strani regeneriranog katalizatora, istrošenog katalizatora i dimnog plina.

Postavne vrijednosti (setpoints) se održavaju upravljanjem tlakovima, diferencijalnim tlakovima i temperaturama u procesu. Kako se krekiranje u potpunosti odvija u riseru važna nam je dobra kontrola temperature u riseru reaktora. Krecking je kontroliran vremenom zadržavanja sirovine na određenoj temperaturi i tlaku.

Pare iz reaktora, preko transfer voda, odlaze u dno frakcionatora gdje se tuširaju velikim količinama dekantiranog ulja. U frakcionatoru dolazi do razdvajanja proizvoda na dekantirano ulje sa dna frakcionatora, katalitičko ulje i teško katalitičko

ulje sa bočne strane te na pare koje sa vrha frakcionatora odlaze u sabirnu posudu V3 u kojoj dolazi do razdvajanja faza. U ispučenom dijelu sabirne posude V3 skuplja se voda koja se tlači u sekciju stripera otpadnih voda, iznad nje nestabilizirani benzin se tlači u sekciju koncentracije plina a nekondenzirana para, nazvana mokri plin, odlazi na usis prvog stupnja kompresora koji je šalje u sekciju koncentracije plina u V5. Svrha sekcije koncentracije plina je da se mokri plin i nestabilizirani benzin razdvajaju na loživi plin, ukapljeni plin i benzin.<sup>1</sup>

Slika 1: Sekcija reaktor – regeneratorski  
Figure 1: Reactor-regenerator section



Nestabilizirani benzin iz V3 se pumpa jednim dijelom u *primarni apsorber* kao siromašno ulje za apsorpciju a jednim dijelom u visokotlačnu posudu V5 u kojoj dolazi do razdvajanja na vodenu, tekuću i plinovitu fazu. Vodena faza se odvodi u vršne pare izlaza frakcionatora radi ispiranja u vodi topivih korozivnih sastojaka, plinovita faza odlazi u *primarni apsorber* gdje dolazi u kontakt sa nestabiliziranim benzinom koji ima zadatak da ukloni komponente ukapljenog plina i teže. Tekuća faza odlazi u *striper kolonu* gdje se uklanjaju  $C_1, C_2$  i  $H_2S$ . Plinovi sa vrha *striperske*

odlaze nazad u visokotlačnu posudu V5, dok sa dna kondenzirani ugljikovodici odlaze u *debutanizer*. Zadatak *debutanizera* je da odvoji ukapljeni plin od benzinske frakcije. Stabilizirani benzin sa dna *debutanizera* odlazi u postrojenje Merox benzina na rafinaciju a ukapljeni plin sa vrha u postrojenje Merox ukapljenog plina na rafinaciju.<sup>1</sup>

Sa dna *primarnog apsorbera* benzinska frakcija bogata komponentama apsorbiranih iz struje plina odvodi se u visokotlačnu posudu V5. Plinovi sa vrha *primarnog apsorbera* odlaze u *sekundarni apsorber* gdje dolaze u kontakt sa katalitičkim uljem sa FCC. Plin sa vrha *sekundarnog apsorbera* koji se naziva *suhi ili loživi plin*, odlazi na postrojenje za obradu plina aminom ili u sustav rafinerijskog loživog plina. Sa dna sekundarnog apsorbera katalitičko ulje obogaćeno lakšim ugljikovodicima odlazi nazad u frakcionator.<sup>2</sup>

## UPRAVLJAČKI SUSTAV

Za nadzor i upravljanje procesa koristi se distribuirani kontrolni sustav (DCS).

Kada se tome još doda napredno vođenje (AC) koje je u pripremi, mogu se postići optimumi dnevnih operacija. Česte promjene procesnih uvjeta u kompleksnom procesu punom međusobnih ovisnosti traže sofisticirane upravljačke sustave nužnim. DCS omogućuje da se na njega ugradi i napredno vođenje s optimalizacijom kada se može ostvariti rad prema izabranoj upravljačkoj strategiji za dato razdoblje i u određenom procesnom okruženju, uzimajući u obzir tržišne zahtjeve. To predstavlja put ka unapređenju profita.

DCS, uz napredno vođenje, automatski drži postrojenje u najpovoljnijem režimu rada vodeći računa da se ne prelaze dopušteni parametri opterećenja opreme (tlak, temperatura, brzina strujanja, itd.) čime se produžuje njezin vijek trajanja i smanjuju troškovi održavanja.

### DCS (distributed control system)

Da budu konkurentne, rafinerije moraju stalno povećavati kvalitetu proizvoda, smanjivati troškove, brzo odgovarati na zahtjeve tržišta, a postrojenja moraju biti fleksibilna. DCS omogućuje opstanak na tržištu. Distribuirano vođenje znači raspodjelu vođenja na više mikroprocesora umjesto na jedno računalo, tj. kvar na jednom elementu sustava ne utječe na vođenje ostalih elemenata sustava. Da bi se analogni mjerni signali mogli obrađivati u DCS, moraju se pretvoriti u digitalne, pomoću digitalnih mjernih pretvornika. DCS se sastoji od mikroprocesorskih digitalnih regulatora smještenih blizu procesa, komunikacijske mreže, monitora, tastature, disketne jedinice i uređaja za tiskanje. Nadzor procesa obavlja se preko monitora, odgovarajućim prikazom procesnih veličina i grafičkim prikazima tehnološkog procesa. Svi događaji u procesu i sustavu skladište se u historijskom modulu (History module). U slučaju kakvog kvara, gubitka temperature, tlaka, razine, protoka, na monitoru se mjesto kvara odmah locira i poduzimaju se koraci za njegovo otklanjanje. Pretpostavka da sustav radi dobro jest da su informacije, koje

sustav prima, kvalitetne. To znači da instrumentacija u polju treba biti pouzdana. Paralelno s DCS, u pripremi je tzv. napredno vođenje (AC) koje donosi najveću dobit. Svi procesni podaci u realnom vremenu dostupni su na ekranima osobnih računala svih rukovodećih i upravljačkih struktura rafinerije. Postrojenje je optimalno vođeno uz minimalni utrošak energije, maksimalnu kvalitetu proizvoda i minimalno zagađivanje okoline, a rukovodstvo na osnovi kvalitetnih i u realnom vremenu dobivenih informacija može donositi optimalne odluke.

## PARAMETRI PROCESA

Zbog velikog broja varijabli navedene su neke značajnije nezavisne varijable:

- temperatura reaktora
- temperatura predgrijane sirovine
- protok sirovine u reaktor
- omjeri recirkulacije
- aktivnost svježeg katalizatora/selektivnost
- mod CO ili CO<sub>2</sub>, tj da li se koks spaljuje potpuno do CO<sub>2</sub> ili do CO

Zavisne varijable:

- temperatura regeneratora
- omjer cirkulacije katalizatora (CCR)
- konverzija
- količina dodanog zraka u regeneratore
- IOB, MOB
- iscrpci proizvoda

## LABORATORIJSKE ANALIZE

Analize ravnotežnog katalizatora:

Kemijska svojstva	Fizička svojstva
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %wt	PSD -105,%
Re <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %wt	PSD -80,%
Na, %wt	PSD -60,%
Fe, %wt	PSD-40,%
Ugljik, %wt	APS, μm
Ni, ppm	SA, m <sup>2</sup> /g
V, ppm	ABD, kg/m <sup>3</sup>
	FST, %wt

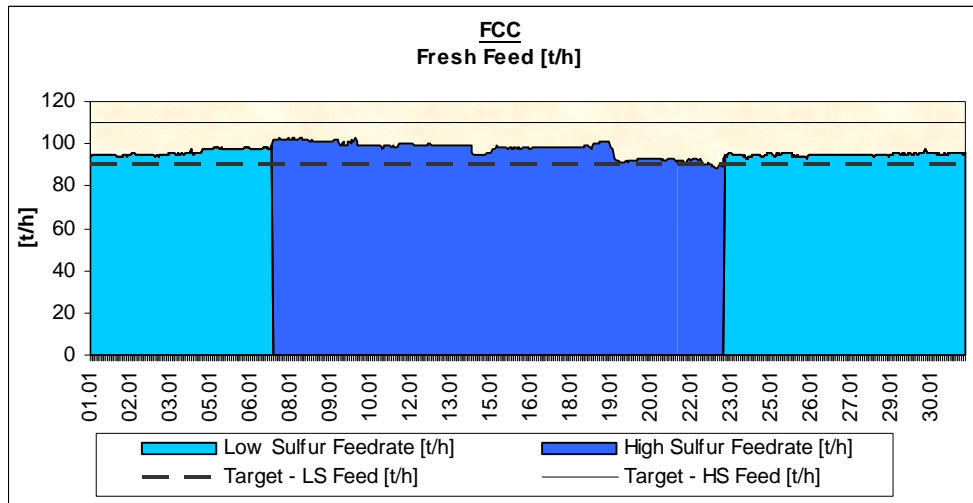
### FCC potrebne laboratorijske analize

	Sirovina	Loživi plin	UNP	Benzin	Katalitičko ulje	Dekantirano ulje	Dimni plin
Gustoća/Density	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Destilacija/Distillation [°C]	✓			✓	✓	✓	
Conradson Carbon [% wt]	✓				✓	✓	
Sumpor/Sulfur [% wt]	✓		✓	✓	✓	✓	

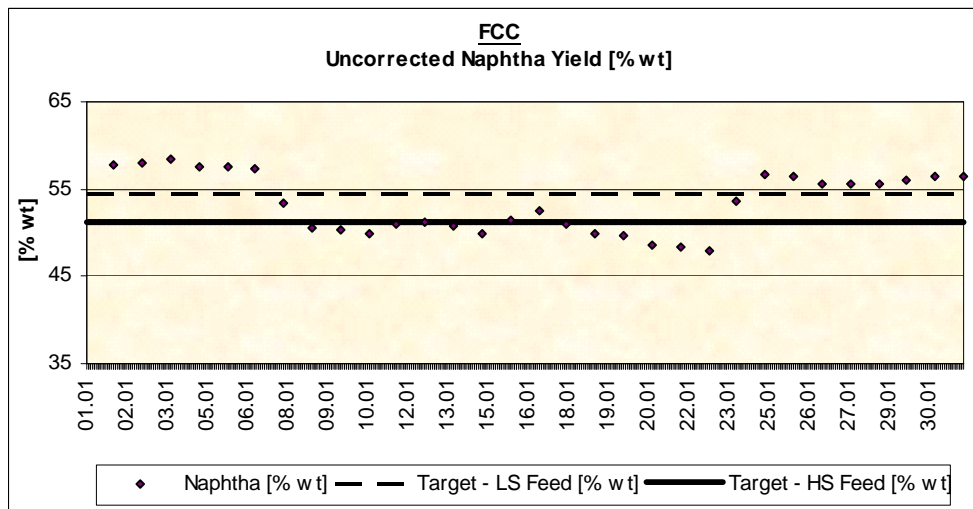
Dušik/Nitrogen [mg/kg]	✓			✓	✓	✓	
Refractive Index	✓			✓	✓		
Ni [ppm wt]	✓					✓	
Na [ppm wt]	✓					✓	
Cu [ppm wt]	✓					✓	
Fe [ppm wt]	✓					✓	
V [ppm wt]	✓					✓	
Viskoznost/Viscosity 40°C (mm²/s)					✓		
Viskoznost/Viscosity 50°C (mm²/s)	✓					✓	
Viskoznost/Viscosity 100°C (mm²/s)	✓					✓	
A, O, P+N [% vol]				✓			
Boja/Color				✓	✓		
IOB/RON				✓			
MOB/MON				✓			
RVP [bar a]			✓	✓			
Plamište/Flash Point [°C]					✓	✓	
Bromni broj/Bromine No				✓	✓		
Cetane Index					✓		
Stinište/Pour Point [°C]					✓		
Vodik/Hydrogen [%vol -%wt]		✓					
Metan/Methane [% vol -%wt]		✓					
Etan/Ethane [% vol - % wt]		✓	✓				
Eten/Ethene [% vol - % wt]		✓					
Propan/Propane[% vol -%wt]		✓	✓				
Propen/Propene[% vol -%wt]		✓	✓				
n-Butane [% vol - % wt]		✓	✓				
i-Butane [% vol - % wt]		✓	✓				
Butene [% vol - % wt]		✓	✓				
i-Pentane [% vol - % wt]		✓	✓				
n-Pentane [% vol - % wt]		✓	✓				
Pentene [% vol - % wt]		✓	✓				
Hexane + [% vol - % wt]		✓					
H <sub>2</sub> S [% vol]		✓	✓				
CO <sub>2</sub> [% vol]		✓					✓
CO [% vol]		✓					✓
Kisik/Oxygen [% vol]		✓					✓
Dušik(Nitrogen [% vol]		✓	✓				✓



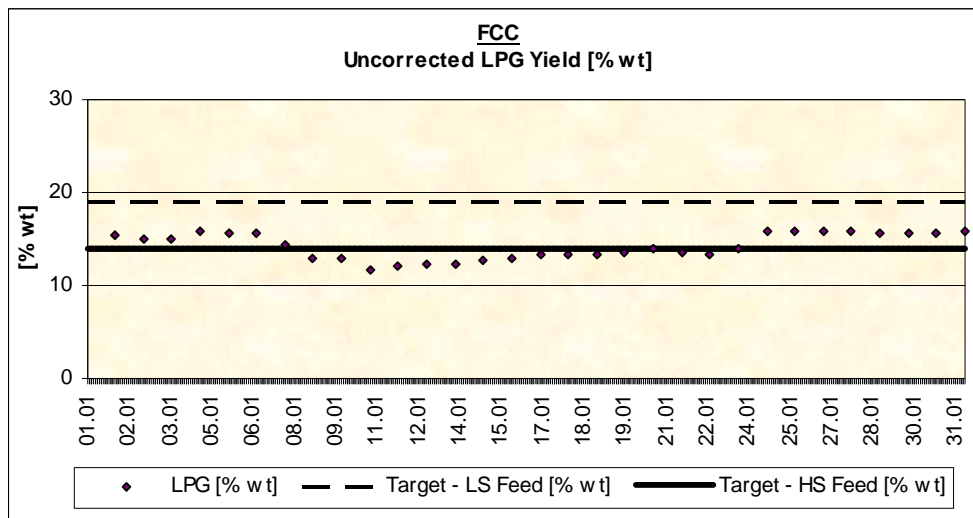
Grafikon 1: Prikaz prerade šarže u određenom vremenskom razdoblju



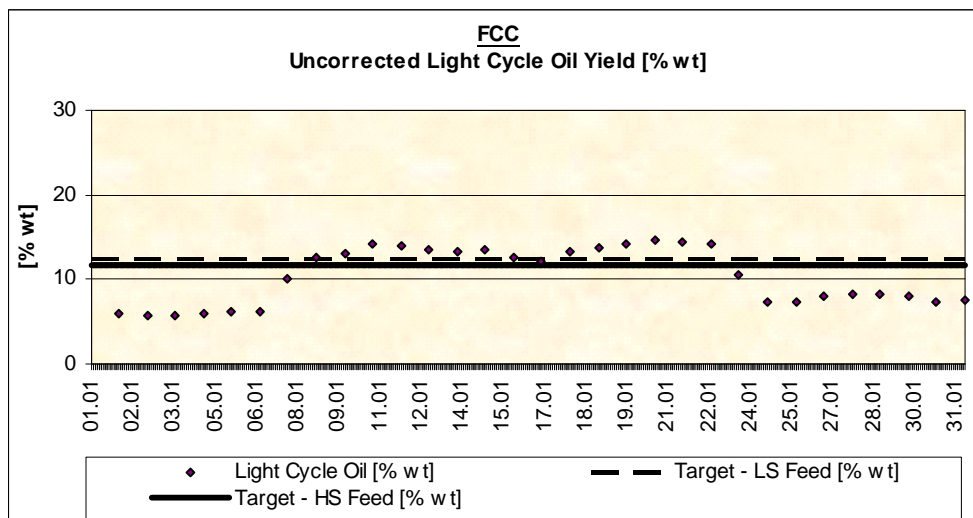
Grafikon 2: Prikaz iscrpka benzina u određenom vremenskom razdoblju



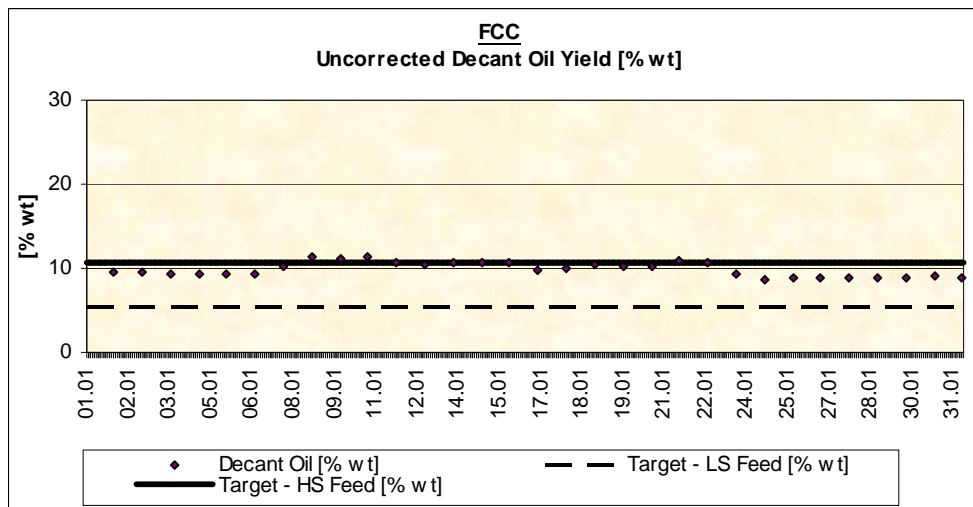
Grafikon 3: Prikaz iscrpka UNP-a u određenom vremenskom razdoblju



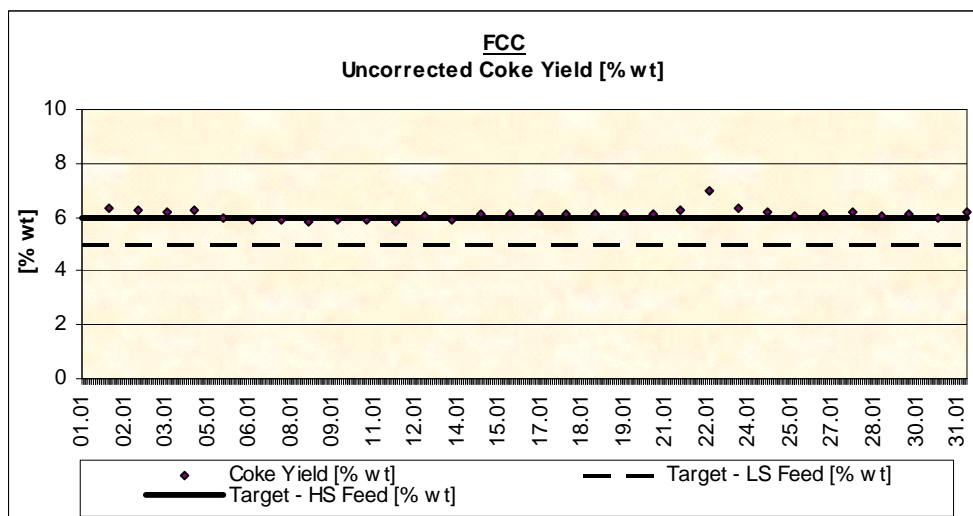
Grafikon 4: Prikaz iscrpka lakog katalitičkog ulja u određenom vremenskom razdoblju



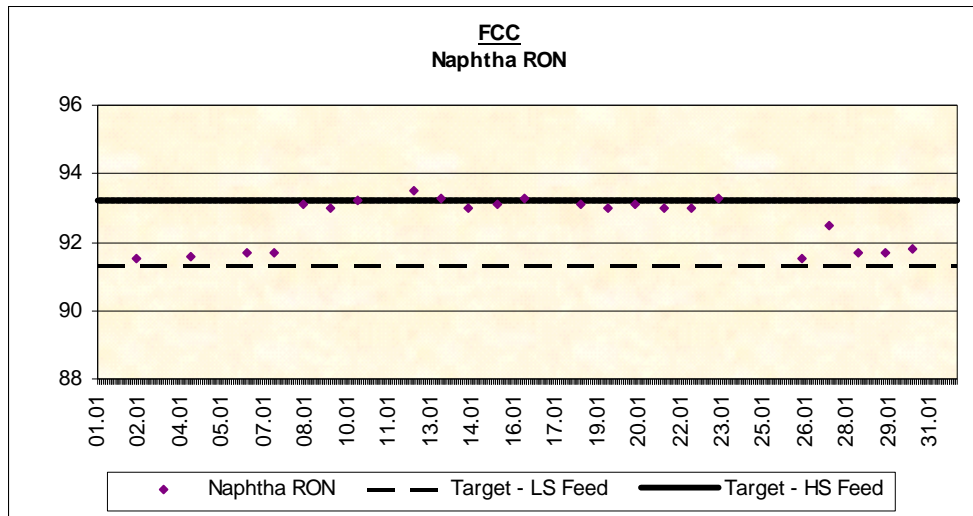
Grafikon 5: Prikaz iscrpka dekantiranog ulja u određenom vremenskom razdoblju



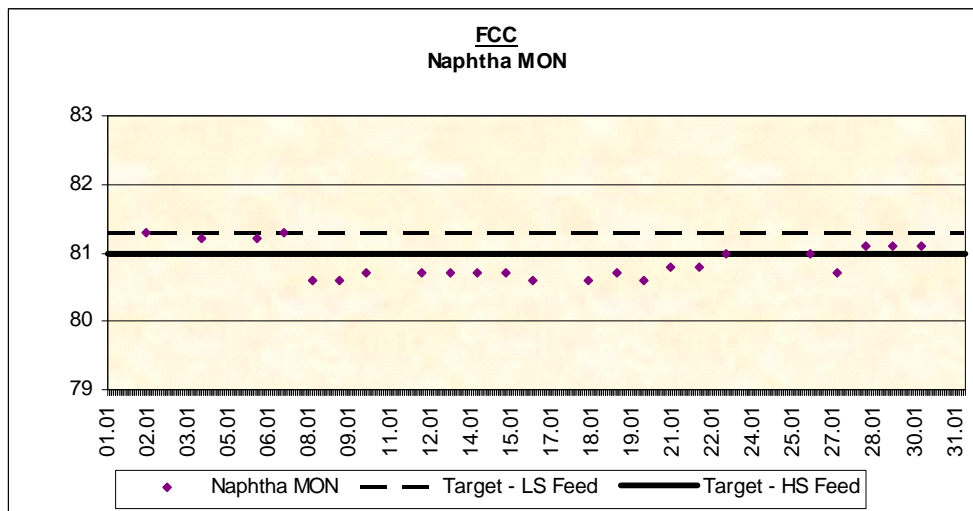
Grafikon 6: Prikaz iscrpka koksa u određenom vremenskom razdoblju



Grafikon 7: Prikaz istraživačkog oktanskog broja u određenom vremenskom razdoblju



Grafikon 8: Prikaz motornog oktanskog broja u određenom vremenskom razdoblju



## REZULTATI

Dobiveni laboratorijski podaci zajedno s procesnim podacima, dobivenim direktno putem DCS-a, unose se u kompjutorski model za izračunavanje materijalne i toplinske bilance. Preciznost dobivenih podataka prikazuje se zatvaranjem masene bilance unutar +/- 2% a topline kreiranja od 75-135 kcal/kg. Iz dobivenih podataka izrađuju se grafički prikazi (oko 50-ak) pomoću kojih uočavamo međuzavisnosti procesnih varijabli te kako njihove promjene utječu na kvalitetu i iscrpke proizvoda s obzirom na ciljeve koje smo postavili. Kako FCC frekventno mijenja tip sirovine (hidrotretirana- nehidrotretirana) koju prerađuje, samim tim se mijenjaju i procesni parametri. Praćenje promjena procesnih parametara olakšava vođenje procesa.

Iz prisutnih grafikona, od kojih zbog su velikog broja prikazani samo neki, vidljivo je kako se mijenjaju iscrpci pojedinih proizvoda s promjenom tipa sirovine (hidrotretirana-nehidrotretirana) te njihovo kretanje s postavljenim ciljevima za pojedine proizvode. Na osnovu provedenih analiza i zaključaka donose se daljnji planovi vezani za proizvodnju i kvalitetu proizvoda a u skladu s poslovnom politikom rafinerije.

## ZAKLJUČAK

Za postizanje optimalnih reakcijskih uvjeta bitno je znati da kontrola FCC procesa zahtjeva održavanje toplinske bilance, a to održavanje toplinske bilance zahtjeva kontrolu iznosa koksa. Kemizam katalitičkog kreiranja nije jednostavan i važnu ulogu igra dizajn katalizatora sa svojim parametrima koji kontroliraju aktivnost, selektivnost i kvalitetu benzina.

Osnovni ciljevi FCC postrojenja su iscrpak i kvalitetni proizvodi na koje utječe mnogo faktora koji s vremena na vrijeme podliježu promjenama. Općeniti razlog za promjenu ciljeva su sezonski zahtjevi proizvoda.

Dobiveni grafički prikazi omogućuju nam kvalitetno praćenje trendova iz kojih možemo donijeti nove odluke ovisne o ciljevima trenutne proizvodnje.

### Literatura / References:

1. Nenad Prijčić, *Fluid katalitički kreking-Priručnik za vođenje procesa i siguran rad*, Rijeka 1995, str.31-81
2. Petar Bakula, *Fluid katalitički kreking i koncentracija plina*, Rijeka, 1981, str. 20

ključne riječi:	key words:
665.644.26 fluid katalitički kreking FCC	fluid catalytic cracking FCC
66-933.6 distribuirani kontrolni sustav vođenja procesa	process control by DCS distributed control system

### Autori / Authors:

Vesna Tomulić, dipl.ing., Dubravko Draženović, dipl.ing.,  
INA Rafinerija nafte Rijeka, Urinj, Kostrena

### Primljeno / Received:

19.3.2004.