

BRANISLAV A. RADOVANOVIĆ
NATALIJA D. DIVJAK

NIS–Rafinerija nafte Pančevo,
Pančevo

STRUČNI RAD

665.61 +66.02/.09:519.876.5

SIMULACIJA DELA POSTROJENJA ZA KATALITIČKO KREKOVANJE

Za potrebe modernizacije postrojenja za katalitičko krekovanje u fluidizovanom sloju (FCC) u NIS–Rafineriji nafte Pančevo (NIS–RNP) izvršena je simulacija glavnog frakcionatora i gasnog postrojenja korišćenjem procesnog simulatora SimSci PRO/II sa PROVISION grafičkim korisničkim interfejsom (verzija 5). Osnovni model je urađen za originalne projektne uslove – sirovina vakuum gasno ulje (VGO) dobijeno od sirove nafte Kirkuk – pri maksimalnoj proizvodnji benzina (letnja varijanta rada FCC). Po završetku izrade, model je testiran pomoću kako projektnih, tako i test–run podataka sa postrojenja. Pokazalo se da su ostvareni rezultati solidni, tj. da se definisani model može koristiti za predskazivanje prinosa za različite opsege kapaciteta i VGU dobijenog od različitih sirovih nafte.

Pomoću PRO/II softvera [1] može da se simulira mnoštvo različitih tehnoloških procesa, zahvaljujući velikim bazama podataka sa osobinama supstanci, termodinamičkim metodama, tehnološkim operacijama i kinetikama hemijskih reakcija. Upotreba ovog izuzetno kompleksnog programa je veoma jednostavna zahvaljujući specijalnom grafičkom korisničkom interfejsu, PROVISION, jer se procesna šema direktno crta, a podaci neophodni za proračun unose pomoću ogovarajućih okvira za unos podataka (dialog box).

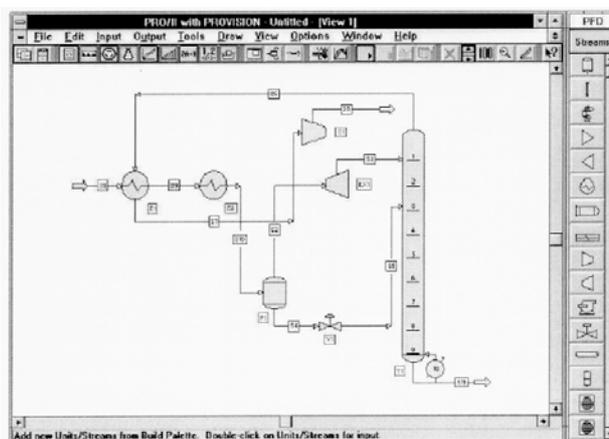
Do pre nekoliko godina, kreiranje simulacionih modela realizovalo se unošenjem odgovarajućih programskih naredbi, pri čemu je bilo potrebno znati njihovo značenje, sintaksu i semantiku. Ovo je znatno otežavalo rad, a vreme potrebno za ovladavanje simulatorom je bilo dugo. Ovde treba napomenuti da PROVISION ima ulogu "posrednika" između programa i korisnika, jer simulaciju kreiranu grafičkim putem, svodi na skup programskih naredbi, koje program dalje jedino prepoznaje. S druge strane, PROVISION omogućava da se starije simulacione tekstualne datoteke, kreirane u vreme dok nije bilo ovog korisničkog interfejsa, "pretvore" u grafičke procesne šeme, koje se odmah mogu i štampati.

Procesna šema se kreira jednostavnim prevlačenjem ikonica sa PFD (Proces Flow Diagram) palete na radnu površinu, a zatim se tako uneta oprema povezuje odgovarajućim linijama koje predstavljaju tokove.

OSNOVNE KARAKTERISTIKE POSTROJENJA KATALITIČKOG KREKINGA U FLUIDIZOVANOM SLOJU [2]

Postrojenje katalitičkog krekkinga u fluidizovanom sloju (FCC) Rafinerije nafte Pančevo projektovano je za

Adresa autora: B. Radovanović, NIS–Rafinerija nafte Pančevo,
Spoljnostarčevačka bb, 26000 Pančevo
Rad primljen: Decembar 10, 2000.
Rad prihvaćen: Februar 16, 2001.



Slika 1. Izgled procesne šeme sa unetom opremom i tokovima
Figure 1. Process Flow Diagram with units and streams

preradu 3 kt/dan (1.000 kt/godišnje) teškog vakuum gasnog ulja (VGO) koje potiče iz sirove nafte "Kirkuk".

Licencor katalitičke sekcije je firma "Texaco Development Corporation", a kompletan inženjering uradila je inženjering kuća "Foster Wheeler". Dizajn konvertorske sekcije karakterišu dva rajzera ("cevna reaktora"), za svežu i recikličnu sirovinu.

Postrojenje je projektovano za zimski (1) i letnji (2) režim rada, kada se ostvaruje:

- (1) maksimalna proizvodnja dizela, odnosno
- (2) maksimalna proizvodnja benzinskih (lakših) frakcija nafte

Proizvodi reaktorske sekcije DC–2301 (po projektu) su prikazani u tabeli 1.

Proizvodi reaktorske sekcije se uvode u glavni frakcionator, čiji su proizvodi:

- vršni gasoviti i tečni produkti (loživi gas, propilen, propan, C₄ frakcija, ukupni krekovani benzin), koji se šalju na razdvajanje na postrojenju za obradu gasova, S–2500;

- lako ciklično gasno ulje (LCGO), koje se dalje obrađuje na postrojenju za HDS LCGO, S–2400;

Tabela 1. Projektne vrednosti proizvoda reaktorske sekcije
Table 1. Design values of conversion section products

Naziv proizvoda	Zimski režim, %	Letnji režim, %	Prosečan radni, %
Loživi gas	1,62	4,27	5,25
Propilen	2,99	3,06	4,20
Propan	0,65	1,96	3,00
C ₄ frakcija	8,10	9,18	9,13
Ukupni krekovani benzin	33,28	53,67	50,79
Lako ciklično gasno ulje	44,44	18,64	17,81
Dekantirano ulje (proizvod dna frakcionatora)	3,23	3,42	4,12
Koks	5,69	5,80	5,70
Ukupno	100,00	100,00	100,00

- proizvod dna frakcionatora, koji se upućuje u skladište i koristi u namešavanju mazuta.

Postrojenje S-2500 projektovano je da daje sledeće proizvode:

- loživi gas, koji se koristi kao gorivo za rafinerijske peći i kotlove;
- propilen, koje upućuje u skladište kao gotov proizvod;
- propan, koji se upućuje u skladište i koristi se za namešavanje propan-butan smeše;
- C₄ frakciju, koja se upućuje na alkilaciju, S-2600, kao sirovina za proizvodnju benzina;
- laki krekovani benzin, koji se upućuje na "meroks" lakog krekovanog benzina, S-2750, pa u skladište;
- teški krekovani benzin, koji se upućuje na "meroks" teškog krekovanog benzina, S-2850, a zatim skladišti.

FORMULISANJE I TESTIRANJE MODELA

Cilj prve faze u razradi modela bio je da se oformi što vernija replika postojećeg postrojenja za FCC, a koja će poslužiti kao polazna osnova za kasnije poređenje određenih modifikacija radnih uslova FCC. U tu svrhu, korišćene su projektne vrednosti iz operativnog uputstva za letnji slučaj rada FCC kada se ostvaruje maksimalna proizvodnja benzina. S obzirom da su u uputstvu dati parametri produkata, bilo je potrebno sintetizovati ulaz u frakcionator namešavanjem u fleš posudi svih izlaznih tokova, datih u projektnoj dokumentaciji, na pritisku i temperaturi izlaza iz reaktora. Takođe, u operativnom uputstvu nije bilo sastava struje međufaznog cikličnog gasnog ulja (MCGO). Problem je rešen tako što je ovaj sastav dobijen interpolacijom između sastava dekanatnog i lakog cikličnog gasnog ulja.

Radi što boljeg iskorišćenja vremena i računarskih resursa, glavni frakcionator (kolone DA-2301, 2302 i 2303) i postrojenje za obradu gasova (S-2500) su na početku razvoja modela nezavisno analizirani. Prvo je analiziran glavni frakcionator, jer su njegovi tokovi na

izlazu zapravo ulaz u postrojenje obrade gasova. Pri tome, morao se razrešiti problem sastava "posnog"¹⁾ i "bogatog"²⁾ apsorpcionog ulja koje ulazi, odnosno izlazi iz apsorbera DA-2501. Ovaj tok predstavlja deo lakog cikličnog gasnog ulja (LCGO) i za njega nisu postojali neophodni podaci. Problem je rešen, tako što je za početak, ceo LCGO tok aproksimiran "pamparaundom"³⁾, a razlika u sastavu između "posnog" i "bogatog ulja", koju čine laki ugljovodonici, preuzeta je iz postojeće simulacije sličnog postrojenja za obradu gasova, koje je predstavljeno kao veštački tok. Tek kada su za oba modela dobijeni zadovoljavajući rezultati pristupilo se njihovom objedinjavanju. Tom prilikom, kompleksan tok struje LCGO je precizno definisan, a veštački tok, za kojim više nije bilo potrebe, izbačen je iz naredne faze razrade modela.

U modelu nisu simulirane sekcije prečišćavača loživog gasa i C₃-C₄ frakcije, tj. kolona za uklanjanje H₂S iz lož gasa i TNG-a, zbog nepostojanja adekvatnih modula za proračun. Umesto toga, iskorišćen je modul "stream simulator" (manipulator toka), pomoću kojeg je uklonjen H₂S iz odgovarajućih tokova. Uprošćena šema data je na slikama 2, 3 i 4.

Testiranje i fino podešavanje modela je obavljeno poređenjem temperatura, pritiska, molskih masa i sastava najvažnijih struja, a rezultati su dati u Tabeli 2.

TESTIRANJE MODELA POMOĆU PROJEKTNIH PODATAKA

Model je testiran uz pomoć projektnih podataka za najvažnije tokove. Poređeni su kako hemijski sastavi, tako i fizičke karakteristike najvažnijih tokova.

Poređenje fizičkih osobina

Od 96 analiziranih podataka (masenog protoka, temperature, pritiska, molske mase ili standardne gustine, za tokove u parnoj odnosno tečnoj fazi), samo kod pet podataka je relativna greška veća ili jednaka 5%. To su: protok tečnog produkta frakcionatora (-8,2%), protok sirovog benzina ka apsorberu DA-2501 (-8,7%), protok i temperatura parnog produkta apsorbera DA-2501 (6,8%, odnosno 5,0%) i protok parnog produkta vrha detanizera DA-2502 (-6,2%). Ovaj rezultat je izuzetan i pokazuje da su vrlo tačno predskazane fizičke osobine tokova (Tabela 2).

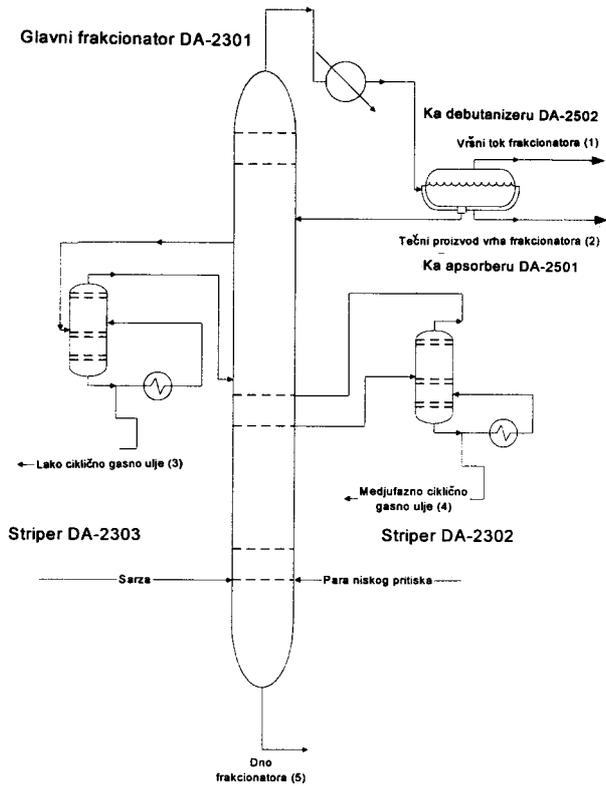
Poređenje sastava

Kao što se vidi iz tabele 3, predskazivanje sastava daje veće razlike nego određivanje fizičkih osobina pojedinih tokova (Tabela 2). Ovo se može delimično objasniti prirodom analiziranih veličina. Naime, reč je o molskim procentima, kod kojih nekada malo apsolutno odstupanje daje veliko relativno odstupanje, i obrnuto. Tako, na

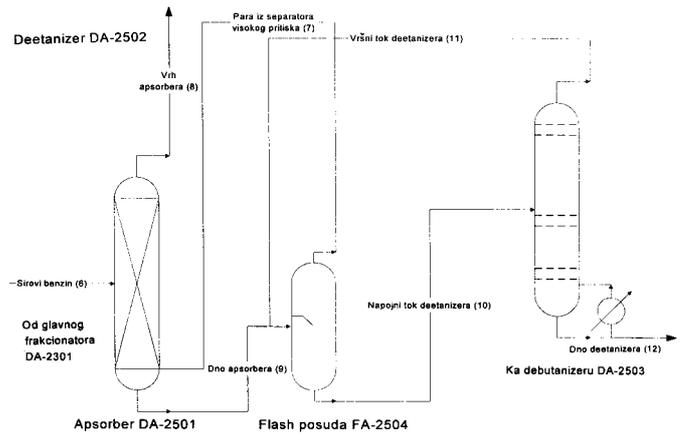
1) "posno" ulje: siromašno apsorpciono ulje (dizelska frakcija koja služi za uklanjanje lakih komponenti)

2) "bogato" ulje: apsorpciono ulje obogaćeno C₃ i C₄ frakcijom

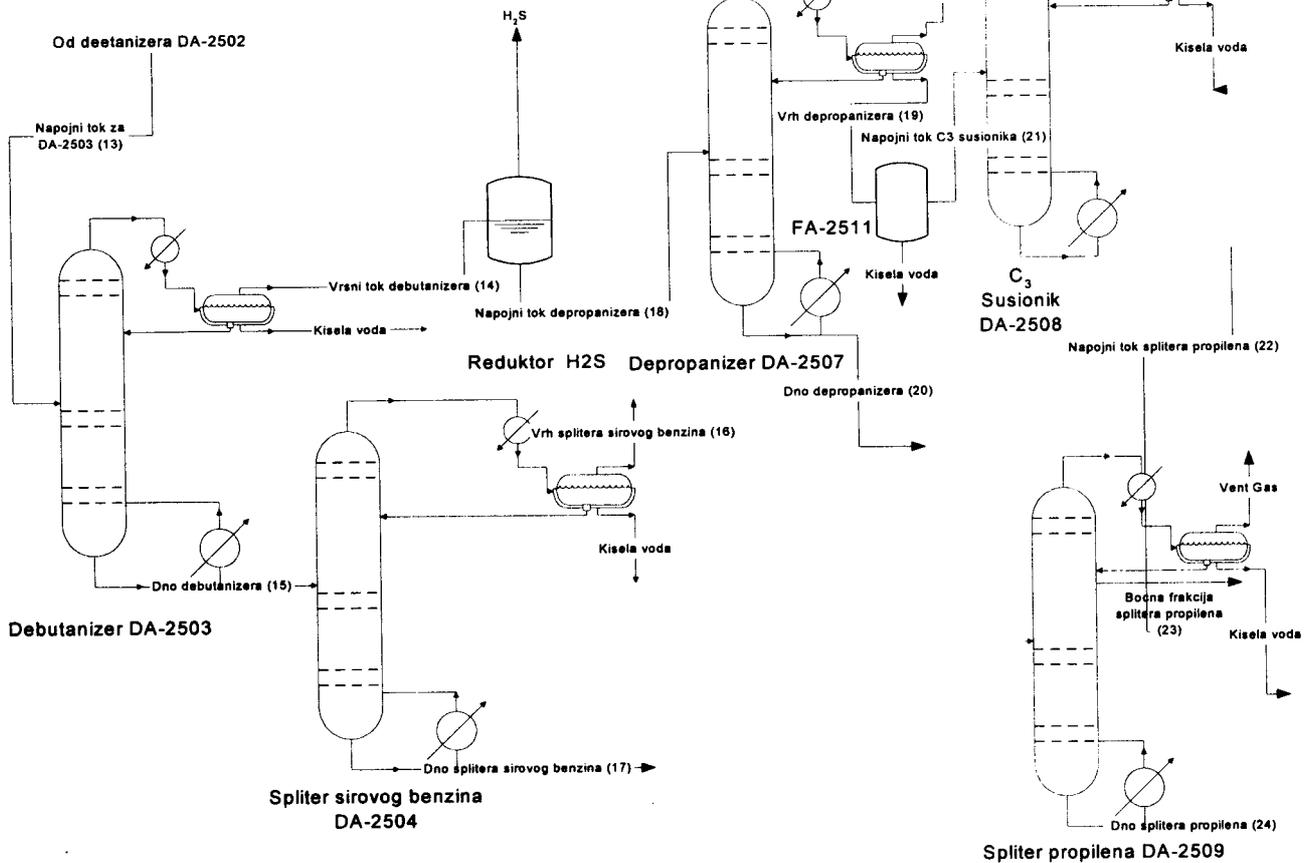
3) "pumparound": cirkulacioni refluks



Slika 2. Glavni frakcionator DA-2301
Figure 2. Main Fractionator DA-2301



Slika 3. Apsorber DA-2501 i deetanizer DA-2502
Figure 3. Absorber DA-2501 and Deethanizer DA-2502



Slika 4. Debutanizer DA-2503, Naphta Splitter DA-2504, Depropanizer DA-2507, C3 Drier DA-2508 and Propylene Splitter DA-2509
Figure 4. Debutanizer DA-2503, Naphta Splitter DA-2504, Depropanizer DA-2507, C3 Drier DA-2508 and Propylene Splitter DA-2509

Tabela 2. Testiranje modela pomoću projektnih podataka – poređenje fizičkih osobina tokova
 Table 2. Model testing against design data – comparison of stream properties

Naziv toka	Opis	Faza	Osobine	Protok tona/h	Temperatura °C	Pritisak bar(ga)	Molska masa	Standardna gustina tona/m ³
OVHD VAP (1)	Vršni tok fracionatora	Para	Po projektu	43.0	46.1	0.58	45.2	
			Po proračunu	42.0	46.1	0.58	45.5	0.571
			Odstupanje (%)	-2.4	0.0	0.00	0.6	
OVHDPD (2)	Tečni proizvod vrha fracionatora	Tečnost	Po projektu	53.9	46.1	0.58		0.762
			Po proračunu	49.5	46.1	0.58	99.3	0.747
			Odstupanje (%)	-8.2	0.0	0.00		-1.993
LCGOPD (3)	Lako ciklično gasno ulje	Tečnost	Po projektu	23.3	274.3	1.13		0.916
			Po proračunu	23.3	262.7	1.13	170.6	0.893
			Odstupanje (%)	0.0	-4.2	0.00		-2.504
ICGOPD (4)	Međufazno ciklično gasno ulje	Tečnost	Po projektu	52.4	360.1	1.20	0.945	
			Po proračunu	52.4	345.8	1.20	224.4	0.954
			Odstupanje (%)	0.0	-4.0	0.00		0.997
BOTDRAW (5)	Dno fracionatora	Tečnost	Po projektu	4.3	354.4	1.27		1.03
			Po proračunu	4.2	355.0	1.27	257.1	0.992
			Odstupanje (%)	-3.1	0.2	0.00		-3.715
RAWGASOLINE (6)	Sirovi benzin ka apsorberu DA-2501	Tečnost	Po projektu	54.2	37.8	16.23		0.761
			Po proračunu	49.5	37.8	16.23	99.4	0.747
			Odstupanje (%)	-8.7	0.0	0.00		-1.865
HPSEPVAP (7)	Para iz separatora visokog pritiska	Para	Po projektu	20.5	43.2	16.47	31.6	
			Po proračunu	19.5	43.2	16.47	31.5	0.495
			Odstupanje (%)	-4.8	0.0	0.00	-0.3	
ABSOVHD (8)	Vršni tok apsorbera DA-2501	Para	Po projektu	6.4	52.8	15.89	22.5	
			Po proračunu	6.8	55.5	15.89	23.1	0.423
			Odstupanje (%)	6.8	5.0	0.00	2.9	
ABSBTMS (9)	Dno apsorbera DA-2501	Tečnost	Po projektu	64.1	59.5	16.42		0.724
			Po proračunu	64.1	59.9	16.07	83.5	0.717
			Odstupanje (%)	0.0	0.7	-2.13		-1.019
FDDEETH (10)	Napojni tok deetanizera DA-2502	Tečnost	Po projektu	102.1	43.2	16.99		0.667
			Po proračunu	101.1	43.2	16.99	70.2	0.669
			Odstupanje (%)	-1.0	0.0	0.00		0.330
DEETHOVHD (11)	Vršni tok deetanizera DA-2502	Para	Po projektu	16.4	56.3	16.99	37.2	
			Po proračunu	15.4	55.4	16.99	36.9	0.542
			Odstupanje (%)	-6.2	-1.6	0.00	-0.7	
DEETHBTMS (12)	Dno deetanizera DA-2502	Tečnost	Po projektu	85.7	134.5	17.17		0.699
			Po proračunu	85.7	140.8	17.17	83.7	0.699
			Odstupanje (%)	0.0	4.6	0.00		-0.063
FD-DA-2503 (13)	Napojni tok debutanizera DA-2503	Smeša	Po projektu	85.7	162.1	12.54	83.7	
			Po proračunu	85.7	162.1	12.54	83.7	0.699
			Odstupanje (%)	0.0	0.0	0.00	0.0	
PDC3C4 (14)	Vršni tok debutanizera DA-2503	Tečnost	Po projektu	17.6	51.9	11.83		0.563
			Po proračunu	17.6	51.8	11.83	51.6	0.557
			Odstupanje (%)	0.0	-0.2	0.00		-1.092
DBNAPHTHA (15)	Dno debutanizera DA-2503	Tečnost	Po projektu	68.1	190.7	12.71		0.744
			Po proračunu	68.1	196.9	12.71	99.7	0.748
			Odstupanje (%)	0.0	3.3	0.00		0.501
LIGHTNAPHTHA (16)	Vrh splitera sirovog benzina DA-2504	Tečnost	Po projektu	12.2	45.0	1.04		0.639
			Po proračunu	12.2	44.8	1.04	72.5	0.647
			Odstupanje (%)	0.0	-0.4	0.00		1.266
HEAVYNAPHTHA (17)	Dno splitera sirovog benzina DA-2504	Tečnost	Po projektu	55.9	129.7	1.72		0.772
			Po proračunu	55.9	132.4	1.72	108.6	0.774
			Odstupanje (%)	0.0	2.1	0.00		0.259
FD-DA-2507 (18)	Napojni tok depropanizera DA-2507t	Tečnost	Po projektu	19.1	62.2	19.73		0.559
			Po proračunu	19.1	62.2	19.73	52.2	0.557
			Odstupanje (%)	0.0	0.0	0.00		-0.397

Tabela 2. nastavak

Naziv toka	Opis	Faza	Osobine	Protok tona/h	Temperatura °C	Pritisak bar(ga)	Molska masa	Standardna gustina tona/m ³
C3MIX (19)	Vrh depropanizera DA-2507	Tečnost	Po projektu	6.0	51.3	19.07		0.516
			Po proračunu	6.0	51.9	19.07	43.2	0.517
			Odstupanje (%)	0.0	1.2	0.00		0.141
C4 (20)	Dno depropanizera DA-2507	Tečnost	Po projektu	13.1	105.8	20.03		0.581
			Po proračunu	13.1	106.4	20.03	57.7	0.577
			Odstupanje (%)	0.0	0.6	0.00		-0.641
FD-DA-2508 (21)	Napojni tok C3 sušionika	Tečnost	Po projektu	6.0	37.8	20.55		0.516
			Po proračunu	6.0	37.8	20.55	43.2	0.517
			Odstupanje (%)	0.0	0.0	0.00		0.141
C3DRY (22)	Napojni tok splitera propilena DA-2509	Tečnost	Po projektu	5.9	55.4	20.72		0.517
			Po proračunu	5.9	55.8	20.72	43.2	0.517
			Odstupanje (%)	0.0	0.7	0.00		-0.042
PROPYLENE (23)	Bočna frakcija splitera propilena DA-2509	Tečnost	Po projektu	3.4	51.3	20.05		0.521
			Po proračunu	3.4	51.2	20.06	42.2	0.521
			Odstupanje (%)	0.0	-0.2	0.05		-0.062
PROPANE (24)	Dno splitera propilena DA-2509	Tečnost	Po projektu	2.4	61.9	20.87		0.511
			Po proračunu	2.4	62.7	20.87	44.7	0.511
			Odstupanje (%)	0.0	1.4	0.00		0.053

Tabela 3. Testiranje modela pomoću projektnih podataka – poređenje sastava tokova

Table 3. Model testing against design data – comparison of stream compositions

Sastavi tokova																
Naziv toka (Faza)		ABSOVHD (Para)			LIGHTNAPHTHA (Tečnost)			C4 (Tečnost)			PROPYLENE (Tečnost)			PROPANE (Tečnost)		
Opis toka		Vršni tok apsorbera DA-2501t			Vrh splitera benzina DA-2504			Dno depropanizera DA-2507			Bočna frakcija splitera propilena DA-2509			Dno splitera propilena DA-2509t		
	Vrednost	Po proračunu	Po projektu	Odstupanje (%)	Po proračunu	Po projektu	Odstupanje (%)	Po proračunu	Po projektu	Odstupanje (%)	Po proračunu	Po projektu	Odstupanje (%)	Po proračunu	Po projektu	Odstupanje (%)
Temperatura	C	55.463	52.80	5.04	44.837	45.000	-0.36	106.433	105.800	0.60	51.221	51.300	-0.15	62.746	61.900	1.37
Pritisak	bar(ga)	15.890	15.89	0.00	1.040	1.040	0.00	20.030	20.030	0.00	20.060	20.050	0.05	20.870	20.870	0.00
Molska masa		23.142	22.50	2.86	72.540	72.700	-0.22	57.684	57.500	0.32	42.187	42.200	-0.03	44.701	44.400	0.68
Molski udeli komponenata/Odstupanje		% mol.	% mol.	%	% mol.	% mol.	%	% mol.	% mol.	%	% mol.	% mol.	%	% mol.	% mol.	%
H ₂ O		0.36	1.37	-73.43				0.00			0.00					
H ₂ S		18.03	13.23	36.28	0.00											
CO		0.81	0.84	-3.57												
CO ₂		1.05	1.09	-3.62				0.00			0.00					
N ₂		7.77	8.06	-3.57												
O ₂		0.04	0.04	-3.57												
METAN		27.76	28.79	-3.59												
ETAN		17.86	18.55	-3.71	0.00			0.00			0.00	0.1100	-97.97	0.00		
ETILEN		7.74	8.03	-3.65	0.00			0.00			0.00			0.00		
PROPAN		0.95	0.56	69.50	0.00			0.23	0.4400	-47.90	5.25	5.7200	-8.25	91.12	91.9700	-0.93
PROPILEN		2.28	3.84	-40.75	0.00			0.04	0.0600	-28.81	94.75	94.1700	0.62	3.89	4.3500	-10.53
BUTAN		0.03	0.04	-24.91	0.28	0.8700	-67.63	11.36	11.9500	-4.95	0.00			0.02	0.1700	-88.63
IJOBUTAN		0.22	0.14	54.32	0.09	0.7100	-87.15	54.90	51.1300	7.38	0.00			4.11	3.1800	29.33
1-BUTEN		0.06			0.13	1.3300	-90.59	19.11	21.4500	-10.93	0.00			0.46		
IJOBUTEN		0.04			0.07	0.3500	-81.42	12.64	14.6300	-13.64	0.00			0.40	0.3300	20.92
PENTAN		0.00			0.38	0.4600	-17.64	0.00						0.00		
IROPENTAN		0.06			55.29	59.7500	-7.47	1.57	0.3000	423.85				0.00		
1-PENTEN		0.02			22.98	26.4700	-13.17	0.16	0.0400	288.22				0.00		
H ₂		14.80	15.35	-3.57												
C6+		0.11	0.07	63.26	20.79	10.0600	106.62	0.00						0.00		
SUMA		100.00	100.00		100.00	100.00		100.00	100.00		100.00	100.00		100.00	100.00	

primer, za tok ABSOVHD (vršni tok tok apsorbera DA-2501), predskazana vrednost za butan je 0,03, a projektna 0,04%; apsolutna greška je mala (-0,01), ali je velika relativna greška (skoro 25%). S druge strane, za isti tok, predskazan sadržaj metana je za procenat manji od projektnog, ali s obzirom da je reč o većoj brojnoj vrednosti (27,76, odnosno 28,79%) relativna greška je samo -3,59%.

Od ukupno 39 analiziranih podataka, tri su sa greškom većom od $\pm 100\%$. Podataka sa greškom u intervalu $\pm (50 \div 100\%)$ ima 10, a sa greškom od $\pm (25 \div 50\%)$ ima 5 (Slika 5).

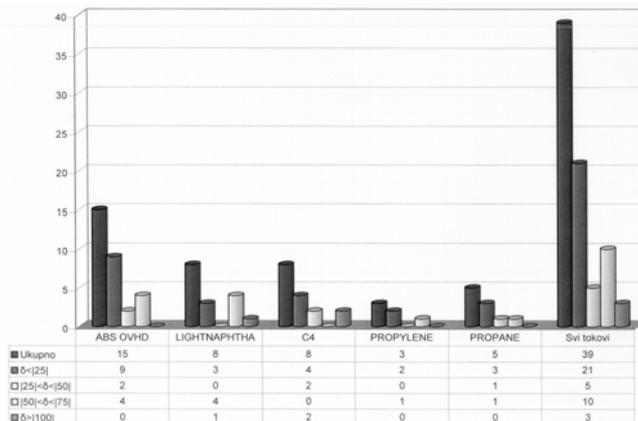
Formalno gledano, ovoliki opseg i razlike kod izračunatih podataka, deluje prilično obeshrabrujuće. Međutim, ako se rezultati pogledaju pažljivije, vidi se da je odstupanje u molskoj masi pouzdanije i zato je izabrano kao kriterijum uspešnosti predskazivanja (simulacije). Tako, kad se posmatraju navedene vrednosti dobijene simulacijom, rezultati su mnogo bolji, jer je samo kod toka ABSOVHD relativna greška veća od 1% po apsolutnoj vrednosti (2,86%), a kod ostale četiri (LIGHTNAPHTHA, C₄, PROPYLENE i PROPANE) rezultati se kreću u opsegu greške od 0,03 do 0,68%, po apsolutnoj vrednosti. Kao primer se može uzeti tok C₄, kod koje je greška molske mase 0,32%, a u kojoj beležimo najveća odstupanja u sastavu (424, odnosno 288% za izopentan, odnosno 1-penten). To je posledica činjenice da, kod komponente koje prevladavaju u C₄ frakciji, greške u sastavu ne prelaze 15% po apsolutnoj vrednosti.

REZULTATI TESTIRANJA MODELA POMOĆU TEST-RUN PODATAKA

Kada je ustanovljeno da model dobro predskazuje projektne parametre, pristupilo se analizi test-run podataka korišćenjem razvijenog modela. Test-run podaci su dobijeni korišćenjem vakuum gasnog ulja (VGO) dobijenog od nafte REB, za razliku od projekta, koji je urađen za VGO sirove nafte Kirkuk. Takođe, test-run podaci su dobijeni pri nepotpunom kapacitetu rada postrojenja (za 100 m³/h), dok su se projektni podaci odnosili na pun kapacitet od 138,8 m³/h. Dakle, ovim testom se može utvrditi da li model poseduje odgovarajuću fleksibilnost, tj. da li može uspešno da se primeni u rutinskim rafinerijskim analizama.

Poređenje sastava

Poređenje je izvršeno za 4 toka: vrh apsorbera DA-2501, dno depropanizera DA-2507 (C₄ smeša), propilen i propan (proizvodi splitera propilena DA-2509). I kod poređenja kvaliteta predskazivanja test-run podataka, poređenje sastava tokova pokazuje jako velike relativne greške čak i kada apsolutna odstupanja nisu velika (Tabela 4). Primer je predskazani sastav cis-2-butena na izlazu iz apsorbera: prema test-run podacima, ovog jedinjenja ima 0,18%, a predskazano je 0,02%; dakle, apsolutno odstupanje iznosi 0,16%, ali relativna greška je skoro 90%. S druge strane, za isti tok, metana ima

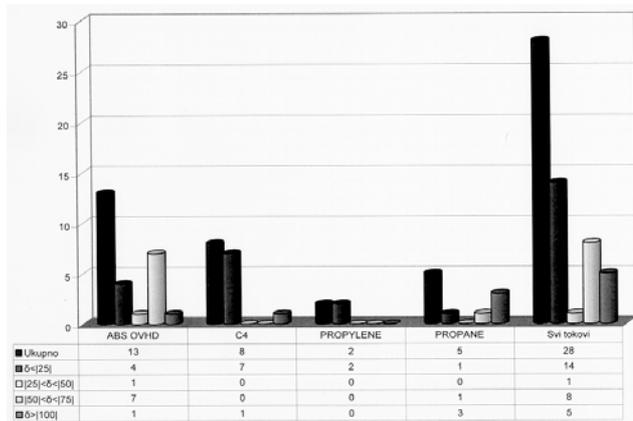


Slika 5. Broj relativnih grešaka po opsezima za struje – poređenje sa projektnim vrednostima sastava

Figure 5. Number of stream relative errors by magnitude – comparison of design compositions

1,35% manje predskazanog nego u test-run-u, a relativna greška je relativno mala i iznosi 3,7%.

Od 28 analiziranih vrednosti, kod 14 je greška manja od 6%, kod 13 je greška veća od 50%, a jedan podatak je u opsegu između ovih vrednosti (Slika 6). Praktično, učinak je polovičan, mada kada se posmatraju zasebni tokovi, vidi se da je C₄ smeša najbolje predskazana, kod koje od osam komponenti sedam ne prelazi relativnu grešku od 2,2%, dok je samo kod propana velika relativna, a mala apsolutna greška. Tok propilena je takođe jako dobro predskazan (greška iznosi svega 0,3%), a tok propana relativno loše (sve komponente imaju visoke relativne greške osim propena, čija je greška 2,2%). No, kada se zna da je propen glavna komponenta ovog toka, onda je utisak o njegovom predskazivanju mnogo povoljniji. Konačno, kod vršnog toka apsorbera dobijeni su relativno dobri rezultati za komponente čiji je molski sastav veći od 10%. U celini uzev, ipak je značajan broj komponenti za ovaj tok sa visokim vrednostima greške.



Slika 6. Broj relativnih grešaka po opsezima za struje – poređenje sa test-run vrednostima sastava

Figure 6. Number of stream relative errors by magnitude – comparison of test-run compositions

Tabela 4. Testiranje modela pomoću test-run podataka – poređenje sastava tokova
Table 4. Model testing against test-run data – comparison of stream compositions

Sastavi tokova												
Naziv toka (Faza)	ABSOVHD (Para)			C4 (Tečnost)			PROPYLENE (Tečnost)			PROPANE (Tečnost)		
Opis toka	Vršni tok apsorbera DA-2501t			Dno depropanizera DA-2507			Bočna frakcija splitera propilena DA-2509			Dno splitera propilena DA-2509t		
Vrednost	Po pro-računu	Test-Run	Odstupanje (%)	Po pro-računu	Test-Run	Odstupanje (%)	Po pro-računu	Test-Run	Odstupanje (%)	Po pro-računu	Test-Run	Odstupanje (%)
Molski udeli komponenta/Odstupanje	% mol.	% mol.	%	% mol.	% mol.	%	% mol.	% mol.	%	% mol.	% mol.	%
H ₂ O	0.36	1.37	-73.43									
H ₂ S												
CO												
CO ₂	13.24	13.75	-3.71									
N ₂												
O ₂												
METAN	34.82	36.17	-3.73									
ETAN												
ETILEN	30.93	32.16	-3.82									
PROPAN	0.94	0.62	51.61	0.04	0.00	(-)	4.70	5.0000	-6.00	88.40	86.5000	2.20
PROPILEN	2.95	2.15	37.21				95.30	95.0000	0.32	4.00	12.9000	-68.99
BUTAN	0.02	0.17	-88.24	9.16	9.10	0.62				0.30	0.0001	(-)
I ZOBUTAN	0.13	0.55	-76.36	31.17	31.50	-1.05				5.20	0.5000	940.00
1-BUTENE				19.66	19.50	0.82						
I ZOBUTENE	0.12	0.65	-81.54	20.51	20.50	0.06						
CIS-2-BUTEN	0.02	0.18	-88.89	7.93	8.10	-2.12				1.00	0.1000	900.00
TRANS-2-BUTEN	0.02	0.37	-94.59	11.03	10.80	2.13						
1,3-BUTADIEN				0.49	0.50	-1.48						
H ₂	11.72	12.17	-3.70									
C5+	5.10	1.06	381.13									
SUMA	100.00	100.00		99.99	100.00		100.00	100.00		98.90	100.00	

ZAKLJUČAK

Kako se iz analize vidi, testiranje modela pomoću projektnih podataka pokazalo je da je model jako verna replika postojećeg postrojenja, dakle da je izbor procesnog simulatora pravilno izvršen i da su usvojene aproksimacije pri izradi modela opravdane. Što se tiče analize test-run podataka, dobijenih za rad postrojenja pri nepotpunom kapacitetu i za sirovinu različitu od projektne, rezultati nisu jednakog kvaliteta. To je upravo posledica relativno malog broja dostupnih podataka, pa se zato

možda ne može izvesti čvrst zaključak, pre svega zato što nedostaju fizičke osobine pojedinih tokova, koje su najmerodavnije. Ipak, i ovakva analiza test-run podataka ukazuje da model relativno dobro predskazuje izabran slučaj za simulaciju.

LITERATURA

- [1] PRO/II with PROVISION Tutorial Guide (1995), Simulation Sciences Inc. 601 S. Valencia Ave. Brea, California 92621
- [2] Interna dokumentacija NIS RNP

SUMMARY

(Professional paper)

PROCESS SIMULATION OF A PART OF AN FCC UNIT

Branislav A. Radovanović, Natalija D. Divjak,
NIS-Rafinerija nafte Pančevo, Pančevo

For the purpose of the NIS Oil Refinery Pančevo FCC unit modernisation, a simulation of the main fractionator and gas concentration unit has been performed. This simulation was performed using SimSci's PRO/II process simulator with PROVISION GUI, version 5. The base model was created for the original project specification – maximum gasoline production (summer FCCU operating variant) using vacuum gas oil (VGO) feedstock from Kirkuk crude oil. After its completion, the model was tested against both design and test-run operating data. It was shown that the simulating results are adequate, i.e. the model can be used to predict product yields for different throughputs and VGOs derived from other feedstocks than design.

Key words: FCC process simulator
• Technological process modelling •

Ključne reči: FCC procesni simulator
• Modelovanje tehnoloških procesa •

