

Nikola Dupor, Branko Pastuović, Ivan Ivaniš, Nikola Kukić

ISSN 0350-350X

GOMABN 45, 6, 369-383

Stručni rad/Professional paper

UDK 665.658.62 : 661.961.61 : 665.666.42 : 665.658.62.013.5 : 665.733 : 665.752

## REKONSTRUIRANA POSTROJENJA U FUNKCIJI POBOLJŠANJA KVALITETE PROIZVODA

### Sažetak

*Europske norme za motorne benzine i dizelsko gorivo traže značajne promjene postojećih rafinerijskih shema u smislu implementacije novih procesnih jedinica (uglavnom MHC/HDS, proizvodnja vodika), kako bi se udovoljili zahtjevi tržišta i zaštite okoliša.*

*Položaj INA Rafinerije nafte Sisak glede navedenih zahtjeva dodatno je otežan zbog dugogodišnjeg zastoja u razvoju, tj. nemogućnosti investiranja. Da bi se djelomično ublažile posljedice i dostigla tehnološka razina za zadovoljenje traženih zahtjeva kvalitete, Rafinerija nafte Sisak je svoje razvojne programe koncipirala u dvije faze djelovanja, i to:*

- 1. Rekonstrukcija i revitalizacija postojećih procesnih jedinica.*
- 2. Izgradnja novih procesnih jedinica za proizvodnju visoko oktanske benzinske komponente, te obradu srednjih destilata.*

*Rekonstrukcija i revitalizacija postojećih procesnih jedinica djelomično rješava probleme proizvodnje motornih benzina i dizelskog goriva prema zahtjevima EN normi do izgradnje novih neophodnih procesa.*

*U svrhu poboljšanja kvalitete proizvoda u Rafineriji nafte Sisak su izvedene sljedeće rekonstrukcije:*

- Sekcija 300 Platforming u HDS plinskih ulja.*
- Sekcija 500 Unifining benzina u HDS plinskih ulja i koksnog benzina.*
- Vakuum destilacija.*
- Sulfolan u SULF-X za HDS FCC benzina.*

*Prikazani su učinci izvedenih rekonstrukcija na poboljšanje prinosa i kvalitete motornih benzina i dizelskog goriva.*

## PLANTS RECONSTRUCTED AIMING TO IMPROVE PRODUCT QUALITY

### *Abstract*

*European standards for motor gasoline and diesel fuel require major changes of the existing refinery outlays in the sense of implementing new process units (mostly MHC/HDS, hydrogen production), in order to meet both market and environmental requirements.*

*The situation of the Refinery Sisak in terms of the above requirements has been rendered even more difficult due to a several-years development stagnation, i.e. lack of investments. In order to at least partially mitigate the consequences and achieve technological level for the meeting of the required quality requirements, the Refinery Sisak has conceived its development programs in two phases of action, as follows:*

- 1. Reconstruction and revitalization of the existing process units, having no other technological alternatives.*
- 2. Construction of new process units for the production of high octane gasoline component, and the processing of medium distillates.*

*Reconstruction and revitalization of the existing process units partially solves the problems of producing motor gasoline, diesel fuel and fuel oil according to the requirements of EN standards until the construction of new indispensable processes. For the purpose of improving the quality of products at the Refinery Sisak, the following reconstructions have been undertaken:*

- Section 300 platforming in HDS of gas oils,*
- Section 500 unfining gasoline in HDS of gas oils and coke gasoline,*
- Vacuum distillation,*
- Sulpholane into sulf-X for desulfurization of FCC gasoline.*

*The paper presents the effects of the undertaken reconstructions on improving the yield and quality of motor gasoline, diesel fuel and fuel oil.*

## Uvod

Raspoloživom tehnologijom Rafinerija nafte Sisak ne može proizvoditi motorne benzine i dizelsko gorivo prema zahtjevima EN normi. Ograničavajuće značajke su sadržaj sumpora, benzena i aromata u motornim benzinima, te sumpora u dizelskom gorivu i loživim uljima.

Planiranim razvojnim programima Rafinerija nafte Sisak će navedene kritične parametre u cijelosti riješiti nakon realizacije tzv. „Velikih projekata“, odnosno modernizacije rafinerije (MHC/HDS, Steam Reforming, HDS FCC benzina, Izomerizacija, Modernizacija kokinga, Sumpor/Amin).

Kao prijelazno rješenje do realizacije „Velikih projekata“ Rafinerija nafte Sisak je izvela navedene rekonstrukcije čime su stvorene mogućnosti za djelomičnu proizvodnju goriva sukladno zahtjevima EU normi.

## Rekonstrukcija sekcije 300 Platforming u HDS plinskih ulja

### Povijest

Platforming proces je izgrađen na osnovi Baznog projekta UOP-a od 1961. godine i Detaljnog projekta Foster Wheelera od 1962. Postrojenje je krenulo u rad 1964.

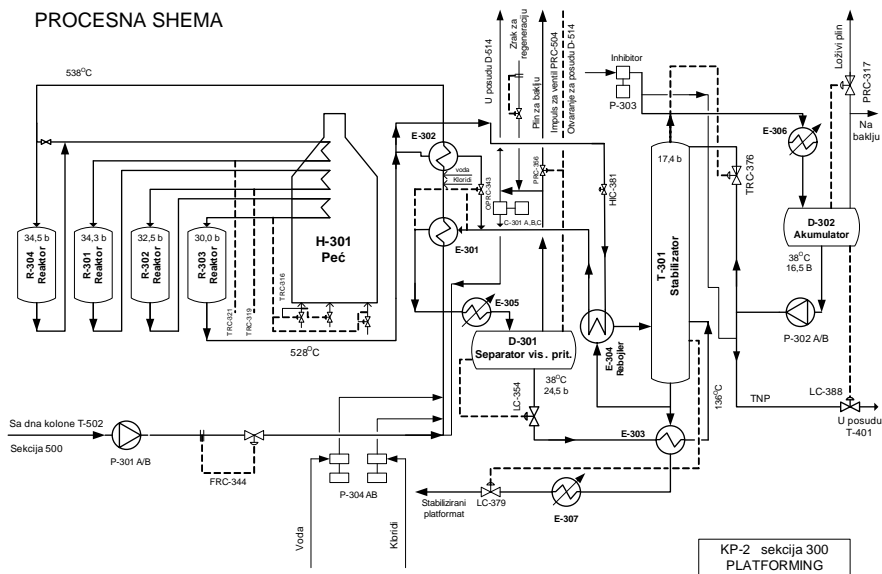
Osnovna svrha postrojenja jest da se nisko oktanski benzin prevede u visoko oktanski benzin (IOB 70 u IOB do 96).

Kapacitet postrojenja je 22 m<sup>3</sup>/h, odnosno 132000 t/g.

Sirovina je benzin dna splitera, granica destilacije 80 –180 °C.

Tlak u reaktorima cca 34 bara. Temperatura u reaktorima cca od 500 – 520 °C.

Slika 1: Procesna shema Platforminga



## Rekonstrukcija Platforminga u HDS plinskih ulja

Preliminarna i Investicijska studija, te Feasibility studija izrađene su 2002. godine, a 2003. je izrađen Izvedbeni projekt.

Postrojenje je krenulo u rad 2004. godine.

Kapacitet postrojenja je 35 m<sup>3</sup>/h, odnosno 240000 t/godišnje.

Postrojenje se sastoji od 3 serijski vezana reaktora, punjena katalizatorom tvrtke Haldor-Topsoe tipa TK-574.

Sirovina za ovo postrojenje je plinsko ulje specifične težine 0,8457 i granica destilacije 183 – 392 °C. Sadržaj sumpora u sirovini je 0,8 % m/m.

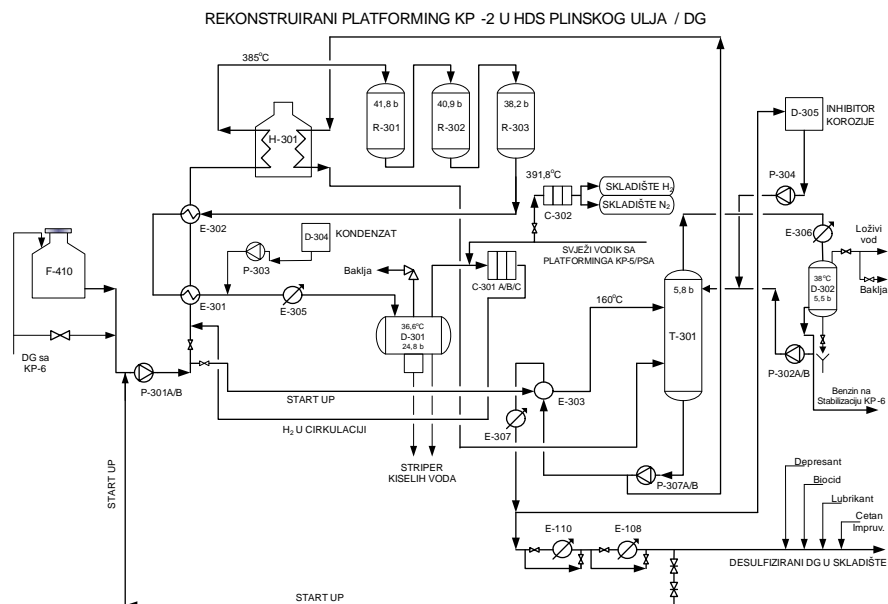
Svrha procesa je da se hidro obradom sadržaj sumpora smanji ispod 100 ppm.

Postrojenje radi pod tlakom od 50 bara i ulaznom temperaturom od 323 – 368 °C.

Izvršena je također modernizacija instrumentacije :

- U polju pneumatska zamijenjena elektronskom
- U sali-FOXBORO DCS

Slika 2: Procesna shema HDS-a plinskih ulja



Ukupni troškovi rekonstrukcije iznosili su cca 3,0 mil. USD

Efekti rekonstrukcije:

- cca 200000 t/g plinskog ulja sa 100 ppm sumpora,
- komponenta za proizvodnju dizelskog goriva EURODIZEL 350 ppm sumpora.

## Rekonstrukcija sekcije 500 Unifininga benzina u HDS plinskih ulja i koksno benzina

### Povijest

Postrojenje za hidrodesulfurizaciju smjese benzina dna splitera i koksno benzina je izgrađeno na osnovi Baznog projekta UOP-a iz 1964. godine.

Postrojenje je krenulo u rad 1967. godine.

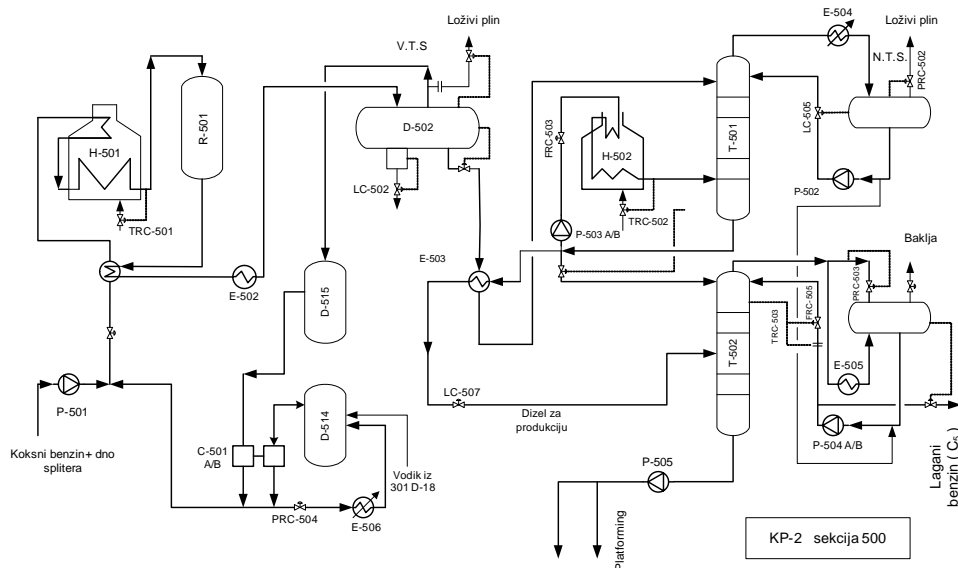
Osnovna svrha postrojenja je bila uklanjanje metala, sumpora, nezasićenih ugljikovodika i dušika iz sirovine za Platforming proces.

Kapacitet postrojenja je 27 m<sup>3</sup>/h, odnosno 163000 t/godišnje.

Omjer namješavanja smjese je bio 6 dijelova dna splitera i 1 dio koksno benzina.

Postrojenje je radilo pod tlakom od 50 bara i temperaturom od 370 °C.

Slika 3: Procesna shema Unifininga benzina



## Rekonstrukcija Unifininga benzina u HDS plinskih ulja i koksno benzina

Tvrtnka Haldor-Topsoe je 1998. godine izradila Bazni projekt i Feasibility studiju.

Izvedbeni projekt je izrađen 2003. godine.

Postrojenje je krenulo u rad 2004. godine.

Kapacitet postrojenja je 40 m<sup>3</sup>/h, odnosno 270.000 t/godišnje.

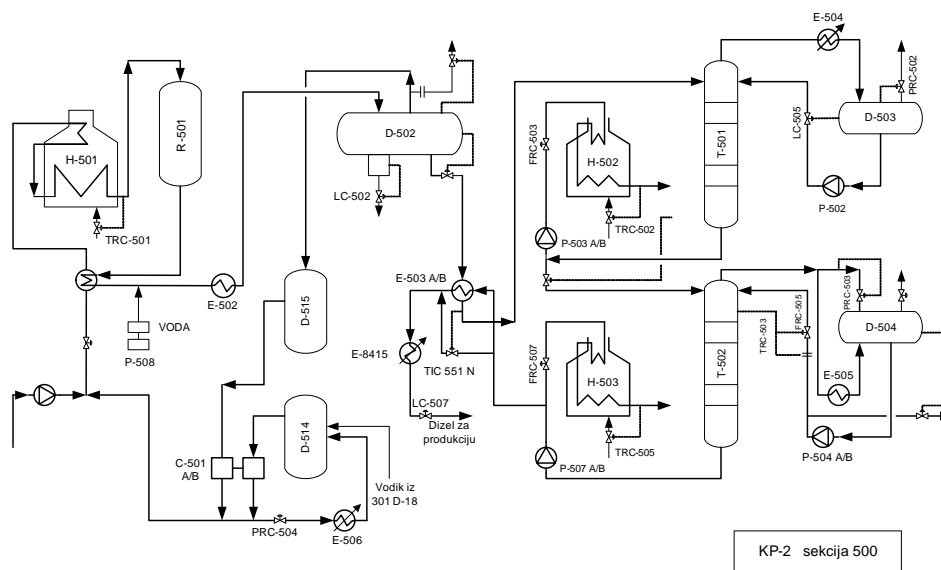
Glavni dio postrojenja je reaktor, punjen katalizatorom tvrtke Haldor-Topsoe, TK-574. Sirovina za postrojenje je 34 m<sup>3</sup>/h atmosferskog lakog plinskog ulja (ALPU) i 6 m<sup>3</sup>/h koksno benzina ili 50 m<sup>3</sup>/h čistog ALPU.

Svrha rada postrojenja jest da se hidrodesulfurizacijom sumpor smanji na manje od 50 ppm i da se istovremeno obavi zasićenje olefina u koksno benzinu.

Sirovina za postrojenje je smjesa koksno benzina (44 –144 °C) i ALPU (gustoća 0,849 kg/cm<sup>3</sup>, granice destilacije 226-377 °C, sadržaj sumpora 0,6 % m/m).

Postrojenje radi pod tlakom od 60 bara i ulaznom temperaturom od 323 - 368°C.

Slika 4: Procesna shema HDS-a atmosferskog lakog plinskog ulja i koksno benzina



### Vodik – PSA jedinica

Opskrbljivanje vodikom ovog postrojenja kao i rekonstruiranog Platforminga u HDS plinskih ulja provodi se preko PSA jedinice za pročišćavanje vodika rafinerijskih plinskih tokova bogatih vodikom.

UOP bazni projekt 2003. godine.

Stavljena u rad u ožujku 2005.

Ukupna investicija 700.000 USD.

Čistoća vodika 99,9 vol. %.

Kapacitet 8.100 Nm<sup>3</sup>/h.

Iskorištenje 50% (nema kompresora).

Efekti rekonstrukcije:

- koksni benzin (vrh kolone T-502)

gustoća,  $\text{kg/cm}^3$  0,712

količina sumpora, ppm 20

- odsumporeno ALPU (dno T-502)

ASTM destilacija,  $^{\circ}\text{C}$  225 – 365

gustoća,  $\text{kg/cm}^3$  0,850

količina sumpora, < 50 ppm

- Rekonstrukcija omogućava proizvodnju dizelskog goriva EURODIZEL 50 ppm sumpora cca 200.000 t/g.

## Rekonstrukcija vakuum destilacije

Povijest

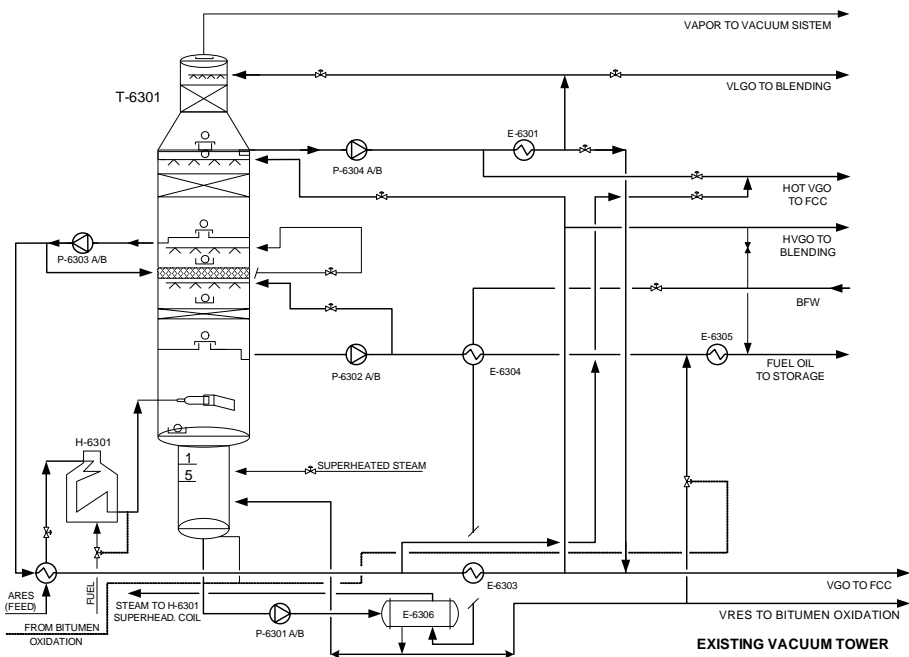
Bazni projekt: UOP 1976. godine.

Detaljni projekt: INA – inženjering 1976.

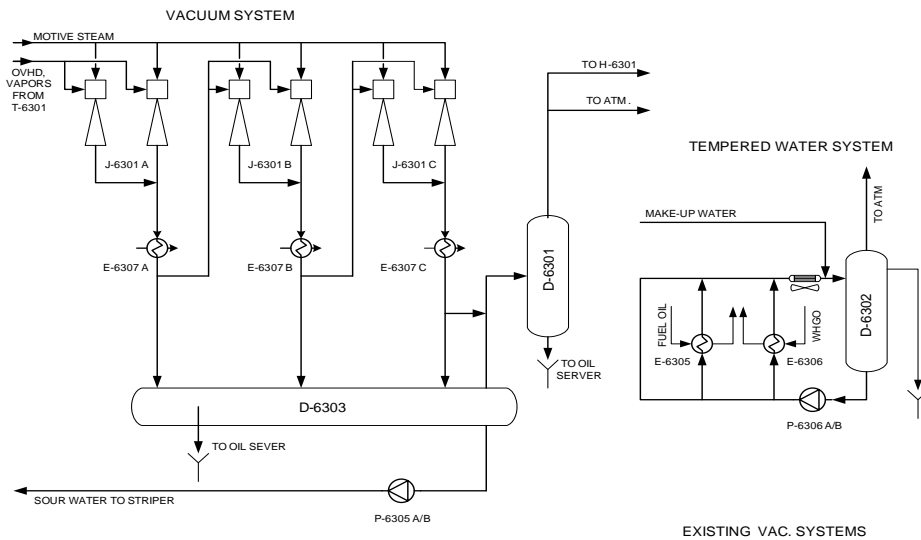
Postrojenje je u radu od 1980.

Kapacitet postrojenja je 850.000 t/g.

Slika 5: Procesna shema vakuum destilacije prije rekonstrukcije



Slika 6: Shema vakuum sustava prije rekonstrukcije



Faza I rekonstrukcije:

Bazni projekt Koch – Glitsch 2003.

Bazni projekt vakuum sustava: Boc Edwards 2003.

Kapacitet: 850.000 t/g.

Izvedeno 2005. godine.

Ciljevi rekonstrukcije:

Povećanje iscrpka na plinskim uljima i postizanje zadovoljavajuće kvalitete.

Smanjenje iscrpka vakuum ostatka i postizanje zadovoljavajuće kvalitete.

Zamjena dotrajalog vakuum sustava s modernim sustavom.

Priprema sekcije za sljedeću fazu kada se planira povećanje kapaciteta.

Povećanje sigurnosti u radu.

Izvedene preinake:

Popuna s novim iznutricama vakuum kolone.

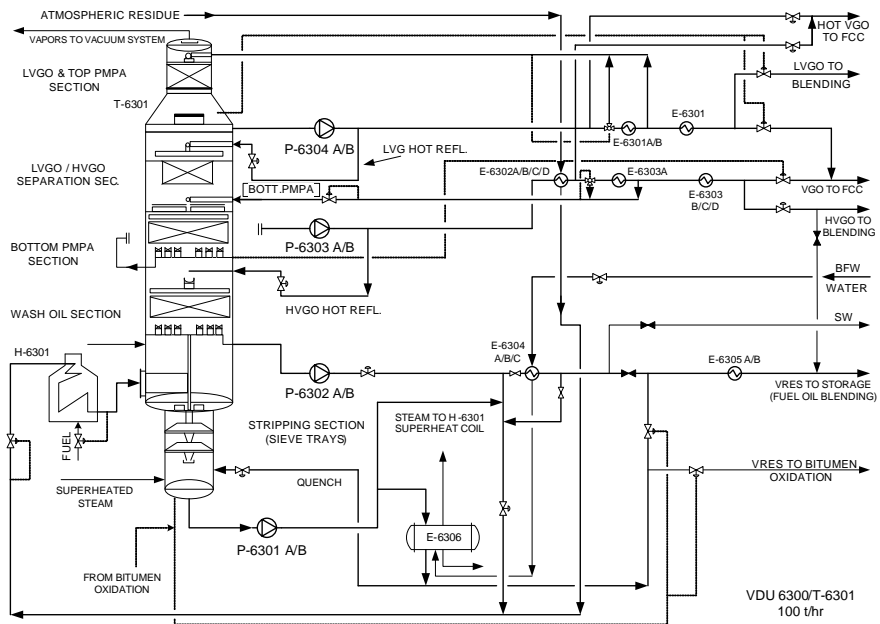
Ugradnja novih distributora.

Ugradnja novog vakuum sustava.

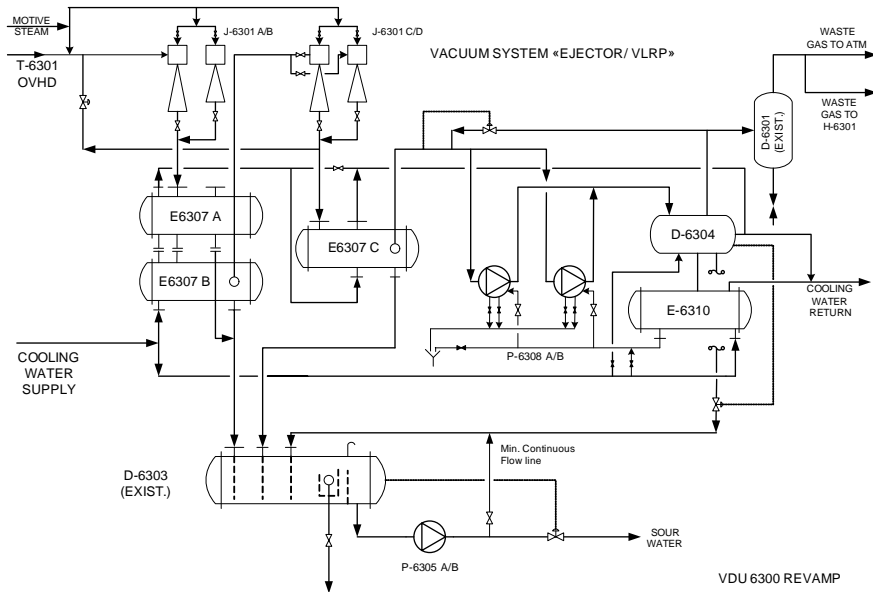
Modificirana oprema / cjevovodi.



Slika 7: Procesna shema vakuum destilacije nakon rekonstrukcije



Slika 8: Shema vakuum sustava nakon rekonstrukcije



Efekti rekonstrukcije:

Iskorištenja

	prije m/m %	nakon rekonstrukcije m/m %
vakuum lako plinsko ulje	10,87	3,1
vakuum teško plinsko ulje	31,36	48,22
<b>ukupno plinska ulja</b>	<b>42,23</b>	<b>51,32 (+9%)</b>
crni destilat	5,17	5,55
<b>vakuum ostatak</b>	<b>52,15</b>	<b>42,69 (-9,5%)</b>

Ukupni troškovi rekonstrukcije 3,3 mil. USD

Efekti rekonstrukcije:

- Povećanje prinosa plinskih ulja za 9 m/m %.
- Smanjenje prinosa vakuum ostatka za 9,5 m/m %.
- Proizvodnja lakog vakuum plinskog ulja do 5 m/m % je komponenta za dizelsko gorivo.
- Povećanje sigurnosti rada postrojenja.
- Smanjenje potrošnje energije

Faza II rekonstrukcije (realizirat će se zajedno s «Velikim projektima»):

Povećanje kapaciteta procesne jedinice na 1250000 t/g.

Povećanje pouzdanosti u radu u skladu s najnovijim tehnološkim i ekološkim rješenjima i standardima te uvođenje naprednog vođenja.

Poboljšanje frakcionacije i omogućivanje dubljeg reza frakcija.

Priprema sirovine za blagi hidrokreking.

Planirane preinake

Rekonstrukcija peći

Nadopuna iznutrica kolone

Zamjena transfer voda

Zamjena distributora

Modernizacija instrumentacije

Modificiranje opreme / cjevovoda

### **Uklanjanje sumpora iz FCC benzina na SULF-X postrojenju**

SULF-X proces

Sulf-x proces su osmislili timovi UOP-a i INE.

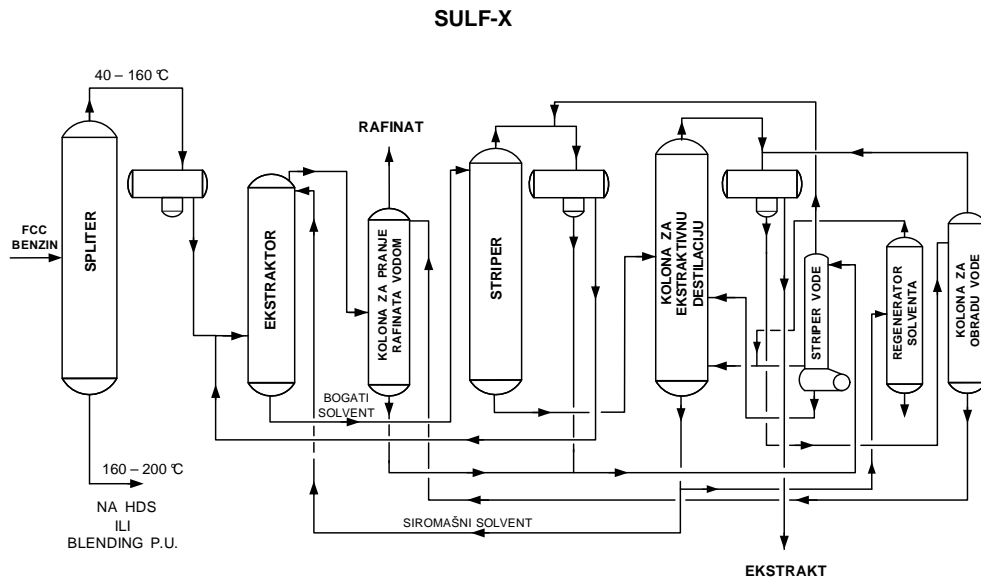
Prvo testiranje izvedeno je 2002. godine na rekonstruiranom Sulfolan postrojenju u Rafineriji nafte Sisak.

Sličan je sulfolan procesu, a razlika je u slijedećem:

- Sulfolan proces - ekstrakcija benzena i toluena iz reformata.
- Sulf-x proces - ekstrakcija sumpornih spojeva iz FCC benzina.

Sirovinu za Sulf-x proces čini stabilizirani FCC benzin.

Slika 9: Procesna shema SULF-X proces



Izvedene rekonstrukcije:

Prespoji za dodatno hlađenje toka sulfolana.

Razlog postizanja što niže temperature sulfolana zbog bolje ekstrakcije.

Prespoji za uključivanje u rad Sulf-x procesa kolone za dodatnu obradu vode.

Razlog je uklanjanje tiofenskog sumpora iz vode koja se vraća u proces.

Prespoji za grijanje stripera vode parom.

Razlog je što sulfolan u cirkulaciji ne daje dostatnu količinu topline.

Ugradnja regulacijskih grupa.

Jedna je na toku vode s vrha kolone za obradu vode.

Druga je na toku kondenzata iz rebojlera stripera vode.

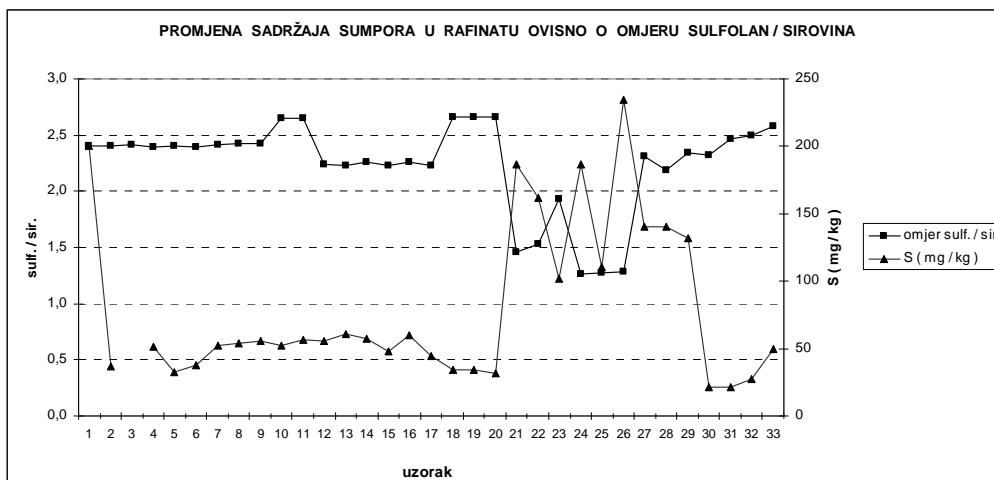
Testiranje procesa

Ciljevi provedenog testiranja:

Promjenom procesnih parametara utvrditi minimalni sadržaj sumpora u rafinatu.

Utvrđiti procesne parametre kod kojih će rafinat sadržavati 250/80 mg/kg sumpora (BMB EURO III / EURO IV)

Slika 10: Grafički prikaz promjene sadržaja sumpora u rafinatu ovisno o omjeru Sulfolan/sirovina



Ukupni troškovi rekonstrukcije iznosili su 40000 USD, a snosio ih je licencor – UOP.

Efekti rekonstrukcije:

Maksimalno postignuto odvajanje sumpora je cca 20 ppm u rafinatu.

Ekstrakt kao visoko oktanska komponenta se koristi za namješavanje MB prema INA NORMI (1000 ppm S)

Dno splitera FCC benzina (frakcija 160 – 200 °C) se dodaje u plinsko uljnu frakciju i služi za namješavanje LUEL.

Rafinerija može proizvesti cca 15.000 t/mj BMB EURO IV kvalitete.

### Spliter FCC benzina – novi projekt u fazi realizacije

Razlozi investiranja

FCC benzin se prema sadašnjem modelu rada Rafinerije nafte Sisak splitira na spliteru reformata koji radi 13 dana/mjesec u modu s reformarom i 13 dana/mjesec u modu s FCC benzinom.

Cilj rekonstrukcije

Osposobljavanjem još jednog splitera za splitiranje FCC benzina omogućilo bi se paralelno – kontinuirano splitiranje FCC benzina i reformata, te također kontinuiran rad Sulf-x procesa. Krajnji rezultat bio bi značajno povećanje proizvodnje BMB EURO IV kvalitete.

Ovakav model rada predstavlja prijelazno rješenje do izgradnje planirane jedinice za hidrodesulfurizaciju FCC benzina i stvaranja uvjeta za proizvodnju BMB EURO V kvalitete (10 ppm S).

Tablica 1: Proizvodnja motornih benzina u Rafineriji nafte Sisak sa i bez splitera FCC benzina na osnovi prerade 2,0 mil t/g

VRSTA MOTORNOG BENZINA	VARIJANTA 1 ( 1 spliter )	VARIJANTA 2 ( 2 splitera )
BMB EURO 95	15000 t/mj.	32000 t/mj.
S, ppm	50	50
AROMATI, v/v %	35	35
BENZEN, v/v %	1	1
BMB SUPER 95	25000 t/mj.	5000 t/mj.
S, ppm	600 - 800	300 - 500
AROMATI, v/v %	35	35
BENZEN, v/v %	5	5
MB 98 ( 0,15 Pb g/l )	5000 t/mj.	5000 t/mj.
S, ppm	500	500
AROMATI, v/v %	-	-
BENZEN, v/v %	5	5
MTBE	3000	2500
UKUPNO MOTORNI BENZINI	45000 t/mj.	42000 t/mj.

#### Planirana rekonstrukcija

Rekonstrukcije će se izvesti na postojećoj koloni u sklopu aromatskog kompleksa.

Planirana rekonstrukcija na aromatskom kompleksu može se brzo i bez većih troškova vratiti u početno stanje čime će se očuvati tehnološka cjelovitost jedinice za proizvodnju aromatskih ugljikovodika.

Procijenjeno ulaganje za rekonstrukciju iznosi 18000000,00 kn.

#### Efekti rekonstrukcije:

Povećanje proizvodnje BMB EURO 95 (50 ppm S) sa sadašnjih 30 % na 75 – 80 % uz zadržavanje proizvodnje dijela tržištu potrebnih količina benzina BMB Super 95 (500 ppm S) i MB 98 za BiH tržište.

## Zaključci

1. Sve izvedene rekonstrukcije bile su nužne jer one Rafineriji nafte Sisak omogućuju opstanak na tržištu.
2. Ovim rekonstrukcijama je Rafinerija nafte Sisak stvorila tehnološke uvjete za proizvodnju goriva prema zahtjevima EN normi (sumpor 50 ppm ) na sadašnjoj razini prerade od 2,0 mil. t/g.
  - BMB 95
    - 165.000 t/g (jedan splitter reformat/FCC benzin)
    - 352.000 t/g (dva splitera reformat/FCC benzin)
  - DIZELSKO GORIVO
    - 200.000 t/g.
3. Rekonstrukcije predstavljaju prijelazno razdoblje jer se na njima ne može graditi budućnost Rafinerije.
4. Nova postrojenja su nužnost:
  - SUMPOR I FAZA – rješavanje ekoloških problema
  - HDS FCC BENZINA – GRASS ROOT – proizvodnja BMB (sumpor 10 ppm )
  - IZOMERIZACIJA: GRASS ROOT – proizvodnja BMB (sumpor 10 ppm ) - DIP- PARISOM – DIH
  - REKONSTRUKCIJA KOKINGA – rješavanje proizvodnje loživih ulja prema EN normi ( sadržaj sumpora < 1 % m/m )
5. Veliki projekti predstavljaju jamstvo dugoročnog opstanka Rafinerije
  - MHC/HDS PLINSKIH ULJA
  - PROIZVODNJA VODIKA – STEAM REFORMING
  - SUMPOR II FAZA
  - REKONSTRUKCIJA VAKUUM DESTILACIJE II FAZA

### Literatura / References:

1. Investicijska studija „Rekonstrukcija Platforminga KP-2 u HDS plinskih ulja“ – Rafinerija nafte Sisak, Interna dokumentacija RNS – INDOK – Sisak (2002).
2. Feasibility studija „Rekonstrukcija Platforminga KP-2 u HDS plinskih ulja“ – moDeL Zagreb, Interna dokumentacija RNS – INDOK – Sisak (2002).
3. Izvedbeni projekt „Rekonstrukcija Platforminga KP-2 u HDS plinskih ulja“ – BJ process design Zagreb, Interna dokumentacija RNS – INDOK – Sisak (2003).
4. Feasibility studija, Bazni projekt „Rekonstrukcija Unifininga teškog benzina u HDS plinskih ulja i koksnog benzina“ - Haldor – Topsoe Lyngby, Danska, Interna dokumentacija RNS – INDOK – Sisak (1998).
5. Investicijska studija „Rekonstrukcija Unifininga teškog benzina u HDS plinskih ulja i koksnog benzina“ – Rafinerija nafte Sisak, Interna dokumentacija RNS – INDOK – Sisak (2001).

6. Izvedbeni projekt „Rekonstrukcija Unifininga teškog benzina u HDS plinskih ulja i koksnog benzina“ – BJ process design Zagreb, Interna dokumentacija RNS – INDOK – Sisak (2003).
7. Investicijska studija „Rekonstrukcija vakuum destilacije“ – Rafinerija nafte Sisak, Interna dokumentacija RNS – INDOK – Sisak (2002).
8. Bazni projekt „Rekonstrukcija vakuum destilacije“ – Koch Glitsch, Češka, Interna dokumentacija RNS – INDOK – Sisak (2003).
9. Bazni projekt „Vakuum sistema“ – „BOC EDWARDS“ - Engleska, Interna dokumentacija RNS – INDOK – Sisak (2003).
10. Sulf-x proces, UOP London, Engleska, Interna dokumentacija RNS – INDOK – Sisak (2001).
11. Gasoline Blend Study, UOP London, Engleska, Interna dokumentacija RNS – RIN – Sisak (2001).
12. Gasoline Blend Study, AXENS IFP Group Technologies, Francuska, Interna dokumentacija RNS – RIN – Sisak (2005).
13. Plan strateškog razvoja RNS 2003. do 2007. godine, Interna dokumentacija RNS – RIN – Sisak (2003).

UDK	Ključne riječi:	Key words:
665.658.62	HDS katalitička desulfurizacija	HDS catalytic desulfurization
661.961.61	PSA pročišćavanje vodika adsorpcijom pod tlakom	PSA Pressure Swing Adsorption
665.666.42	SULF X ekstrakcija tiofena sulfolanom iz FCC benzina	SULF X thiophene extraction by sulfolane from FCC gasoline
665.658.62	HDS katalitička desulfurizacija	HDS catalytic desulfurization
66.013.5	rekonstrukcija postrojenja	plant reengineering
665.733	motorni benzin	petrol
665.752	plinsko ulje	gasoil

**Autori / Authors:**

mr. Nikola Dupor, dipl. ing.; Branko Pastuović, dipl. ing.; Ivan Ivaniš, dipl. ing.; Nikola Kukić, dipl. ing.

INA – Industrija nafte d.d. Zagreb, SD Rafinerije i veleprodaja, Sektor za preradu nafte, Rafinerija nafte Sisak, A. Kovačića 1, 44000 Sisak

**Primljeno / Received:**

22.11.2006.