

# Analiza hidrauličkog dijela sustava prerade nafte Rafinerije nafte Rijeka

---

**Stanić, Erik**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:946150>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-21**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



**SVEUČILIŠTE U RIJECI**  
**TEHNIČKI FAKULTET**  
**Sveučilišni diplomski studij strojarstva**

Diplomski rad

**ANALIZA HIDRAULIČKOG DIJELA SUSTAVA PRERADE**  
**NAFTE RAFINERIJE NAFTE RIJEKA**

Rijeka, studeni 2020.

Erik Stanić  
0069057382

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**  
**TEHNIČKI FAKULTET**  
**Sveučilišni diplomski studij strojarstva**

Diplomski rad

**ANALIZA HIDRAULIČKOG DIJELA SUSTAVA PRERADE**  
**NAFTE RAFINERIJE NAFTE RIJEKA**

Mentor: prof.dr.sc. Goran Gregov

Rijeka, studeni 2020.

Erik Stanić  
0069057382

## **IZJAVA**

Izjavljujem da sam ovaj diplomski rad pod naslovom “Analiza hidrauličkog dijela sustava prerade nafte Rafinerije nafte Rijeka” izradio samostalno koristeći dosad stečena znanja tijekom studiranja i rada uz savjete i stručnu pomoć prof.dr.sc. Gorana Gregova, te uz pomoć navedene literature.

Erik Stanić

---

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentoru doc. dr .sc. Goranu Gregovu koji mi je sa svojim savjetima pomagao prilikom izrade ovog diplomskog rada.

Također, veliku zahvalu želim iskazati direktoru tvrtke „Hidel d.o.o.“ dipl.ing. I. Štajduharu, kao i svim zaposlenicima, jer su mi omogućili aktivno sudjelovanje u reviziji hidrauličkog sustava na postrojenju Rafinerije nafte Rijeka tijekom 2019. godine.

Erik Stanić

---



## Sadržaj

<b>1. Uvod .....</b>	<b>8</b>
<b>2. Proces katalitičkog kreiranja .....</b>	<b>9</b>
<b>3. Hidraulički sustav u procesu katalitičkog kreiranja .....</b>	<b>12</b>
<b>3.1. Princip rada hidrauličkog sustava .....</b>	<b>12</b>
<b>3.2. Hidraulički agregati.....</b>	<b>14</b>
3.2.1. Princip rada.....	15
3.2.2. Hidraulička pumpa.....	16
3.2.3. Elektromotor.....	17
3.2.4. Spremnik ulja i filter .....	18
3.2.5. Radna tekućina .....	20
<b>3.3. Hidrauličke upravljačke jedinice kliznih ventila .....</b>	<b>21</b>
3.3.1. Upravljački sklop ventila .....	24
3.3.2. Elektronički kontroler .....	25
3.3.3. Hidraulički akumulatori .....	26
3.3.4. Hidraulički cilindri.....	27
<b>4. Revizija hidrauličkog sustava procesa katalitičkog krekinga .....</b>	<b>30</b>
4.1. Revizija hidrauličkog agregata.....	30
4.2. Revizija hidrauličkih upravljačkih jedinica kliznih ventila.....	34
<b>5. Kontrolni proračun hidrauličkog sustava FCC-a .....</b>	<b>37</b>
<b>6. Zaključak .....</b>	<b>45</b>
<b>7. Literatura .....</b>	<b>46</b>
<b>8. Popis slika.....</b>	<b>47</b>
<b>9. Popis tablica .....</b>	<b>48</b>
<b>10. Sažetak .....</b>	<b>49</b>
10.1. Abstract.....	49

## 1. Uvod

Rafinerija nafte Rijeka svojim je radom započela još davne 1883. godine, da bi 1981. godine kao prva na ovim područjima bila modernizirana sofisticiranim sustavom prerade nafte procesom fluid katalitičkog krekiranja (FCC). Da bi takav sustav mogao besprijekorno funkcionirati potrebno je brzo i kvalitetno upravljanje njegovim sastavnim komponentama.

Pri kontroliranju procesa fluid katalitičkog krekiranja značajnu ulogu imaju klizni (zasunski) ventili koji se nalaze na ukupno pet lokacija postrojenja FCC-a. Njihova uloga je da u traženom trenutku omogućavaju strujanje plinova unutar reaktorsko – regeneratorskog dijela procesa te da propuštaju produkte krekiranja na daljnju obradu.

Pomak kliznih ventila ostvaruje se djelovanjem tlaka ulja unutar hidrauličkih cilindara, to jest - korištenjem hidraulike osigurava se upravljanje sustavom sa sigurne udaljenosti.

Cilj ovog diplomskog rada je analizirati postojeći hidraulički sustav na procesu katalitičkog krekiranja postrojenja Rafinerije nafte Rijeka, detaljno objasniti proces revizije hidrauličkog sustava koji se odvija svakih četiri godine te provesti kontrolni proračun glavnih komponenata hidrauličkog sustava.



*Slika 1-1 Rafinerija nafte Rijeka*



## 2. Proces katalitičkog kreiranja

Procesi prerade nafte mogu se podijeliti na primarne i sekundarne procese. Prilikom prerade nafte primarnim putem, u koji spadaju destilacija (atmosfera ili vakuum destilacija), apsorpcija, adsorpcija, stripiranje i ekstrakcija, molekulama ugljikovodika ne mijenja se ni veličina ni struktura.

Sekundarnim procesima prerade nafte dolazi do promjene veličine ili vrste molekule, stoga razlikujemo nekoliko različitih načina prerade nafte sekundarnim putem:

1. Cijepanje većih molekula u manje
  - a. Toplinsko kreiranje (Koking, Visbreaking)
  - b. **Katalitičko kreiranje (FCC)**
  - c. Hidrokreiranje
2. Pregradnja molekula
  - a. Reformiranje (Platforming)
  - b. Izomerizacija
3. Povećanje molekulske mase
  - a. Alkilacija
  - b. Oligomerizacija
4. Obrada vodikom
  - a. Hidrodesulfurizacija, Hidrodenitrifikacija
  - b. Zasićenje = veza (olefini)

U ovom diplomskom radu analizirat će se hidraulički sustav na jedinici fluid katalitičkog kreiranja (FCC) na postrojenju Rafinerije nafte Rijeka.



*Slika 2-1 Hidraulički cilindar spojen na klizni ventil*

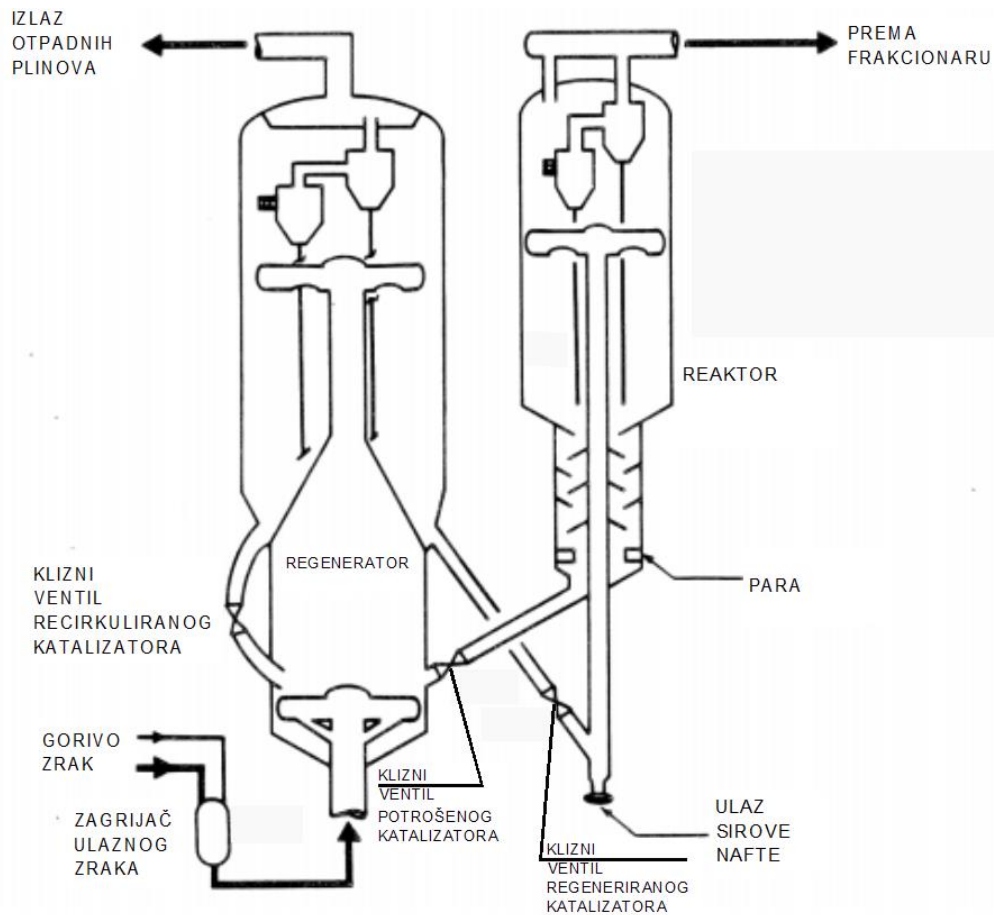
Fluid katalitičko krekiranje je proces kojemu je cilj konverzija teških sirovina nafte u lakše, vrijednije produkte kao što su benzin, olefini plinovi i ostali produkti. Ovaj princip prerade nafte zamijenio je termičko krekiranje iz razloga što se kao produkt FCC-a dobiva benzin višeg oktanskog broja, a nusprodukti su olefini plinovi koji su vrijedniji od plinova dobivenih termičkim krekiranjem.

Ulazna sirovina FCC-a je nafta kojoj je temperatura vrelišta pri atmosferskom tlaku oko 340°C, a relativna molekularna masa od 200 do 600. To su najčešće plinska ulja ili vakuumska ulja.

Fluid katalitičko krekiranje je proces koji razgrađuje dugolančane molekule ugljikovodičnih tekućina koje imaju visoko vrelište, na mnogo kraće molekule i to na način da se sirovina pri visokoj temperaturi i umjerenom tlaku dovodi u kontakt s katalizatorom.

Postrojenje FCC-a na Urinju je projektirano po UOP tehnologiji i možemo reći da se sastoji od dva kruga. Prvi krug je reaktorsko - regeneratorski krug u kojemu se odvija reakcija krekiranja u fluidiziranom sloju katalizatora. Katalizator je u današnje vrijeme na bazi zeolita, te se zagrijava na oko 650°C nalazi u bubnju u koji se putem mlaznica unutar bubnja dovodi prethodno zagrijana sirovina. Prilikom kontakta, vrući katalizator isparava sirovinu te na taj način ubrzava reakciju krekiranja teških dugolančanih molekula ugljikovodika na kratke i lakše produkte kao

što su primjerice benzin, LPG i dizel. Smjesa ubačenih ugljikovodika i katalizatora struji vertikalno po bubnju te se pomoću ciklonskog separatora razdvaja. Ugljikovodici koji nisu reagirali s katalizatorom (slobodni ugljikovodici) odvođe se u sustav rektifikacije uz pomoć kliznog ventila gdje se separiraju na loživo ulje i teško loživo ulje, dizel, te na laka ciklička goriva koja se koriste u mlaznom gorivu. Prilikom interakcije katalizatora i sirove nafte dolazi do taloženja koks koji smanjuje aktivnost katalizatora te ga odvođi u regenerator. Iz regeneratora uz pomoć komprimiranog zraka (zrak + kisik) katalizator se ponovo uzdiže u bubnju zbog povećanja temperature prilikom izgaranja koks u struji komprimiranog zraka, te na taj način se katalizator regenerira za sljedeći ciklus.

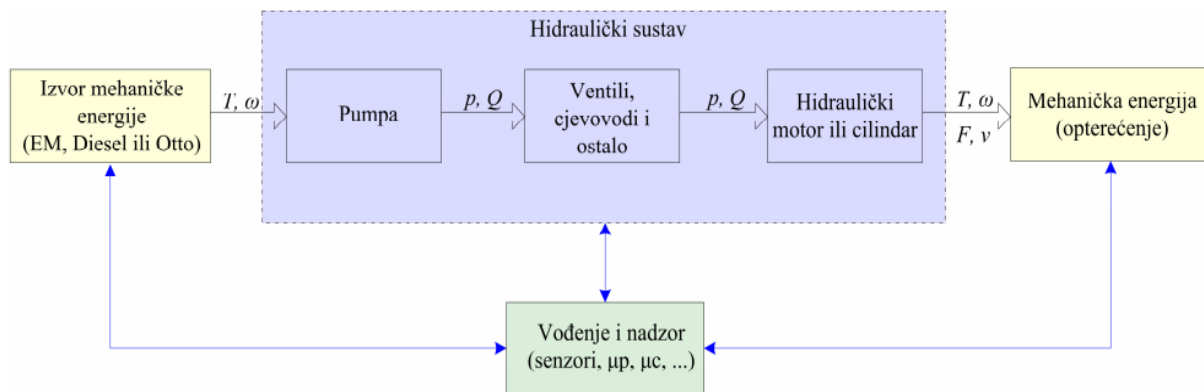


Slika 2-2 Pozicije kliznih ventila u procesu FCC-a

### 3. Hidraulički sustav u procesu katalitičkog kreiranja

#### 3.1. Princip rada hidrauličkog sustava

Hidraulički sustav ulaznu kinetičku energiju na vratilu pumpe pretvara u energiju sadržanu u gibajućoj tekućini koja se djelovanjem hidrauličkih cilindara pretvara u mehanički rad pomicanja kliznih ventila. Uz pravilno vođenje i upravljanje hidrauličkim sustavom, omogućeno je obavljanje mehaničkog rada uz djelovanje hidrauličke sile.



Slika 3-1 Pretvorba hidrauličke energije u rad

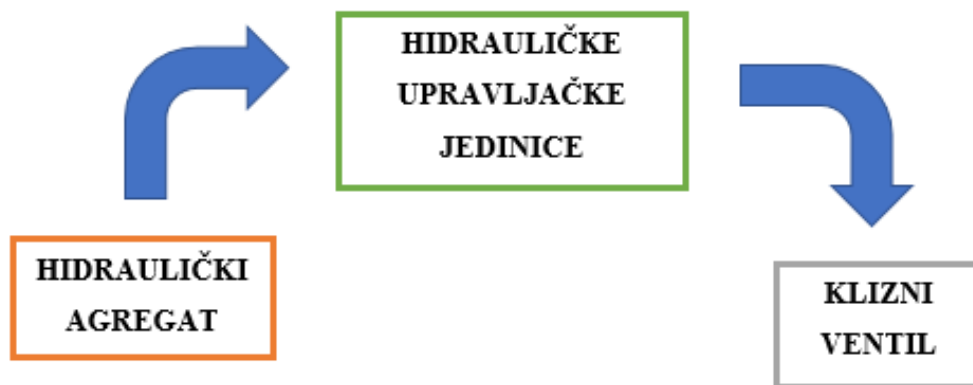
Unutar bubnja u kojemu se odvija kreiranje sirove nafte nalaze se klizni ventili koji služe za kontrolirano strujanje regeneriranog katalizatora i istrošnog katalizatora, te za ispuštanje dimnih plinova iz procesa. Klizni zasunski ventili nalaze se na obodu bubnja i upravljani su od strane centralnog računala koji konstantno prati sve parametre procesa i omogućuje kontrolirano otvaranje i zatvaranje ventila po određenim razinama bubnja. Na bubnju se nalazi ukupno pet zasunskih ventila čiji se pomak izvršava aktiviranjem određenih hidrauličkih cilindara koji se nalaze po jedan na svakom kliznom ventilu, to jest po jedan ventil na svakoj od pet razina FCC-a.

Klizni ventili mogu se podijeliti na sljedeći način:

- **SI 1** – ventil regeneriranog katalizatora
- **SI 2** – ventil potrošenog katalizatora
- **SI 3** – ventil recirkuliranog katalizatora
- **SI 4** – ventil recirkulacije otpadnih plinova
- **SI 5** – ventil otpadnih plinova

Sila kojom se ostvaruje pomak pladnja unutar kliznog ventila unutar bubnja savladana je hidrauličkom energijom. Hidraulički agregati koji savladavaju potreban tlak smješteni su unutar pogona FCCU-a (Fluid Catalytic Cracking Unit). Potreban hidraulički rad pumpe ostvaruje se pretvorbom električne energije elektromotora.

Na svakoj razini bubnja osiguran je pristup zasunskom ventilu za potrebe održavanja i servisiranja, te za njihovo ručno upravljanje. Ventilima se može ručno upravljati zakretanjem kotača koji je spojen pretvornikom linearnog pomaka na osovinu kliznog ventila.



Slika 3-2 Redoslijed djelovanja hidraulikog sustava



### 3.2. Hidraulički agregati

Hidraulički agregat je kompaktno sabirno mjesto koje se sastoji od elektromotora, hidrauličke pumpe, spremnika ulja sa pripadajućom opremom/komponentama, te sustava upravljačkih ventila kojima se hidraulički agregat povezuje sa odlaznim cjevovodom (tlačnim cjevovodom) i povratnim vodom.



*Slika 3-3 Hidraulički agregat*

U postrojenju FCC-a Rafinerije nafte Rijeka nalaze se dva odvojena hidraulička agregata, od kojih svaki pogoni određene klizne ventile, to jest opskrbljuje s radnim medijem hidrauličke jedinice. Prvi hidraulički agregat opskrbljuje hidrauličke jedinice koje upravljaju ventilima regeneracijskog, potrošenog i recirkulacijskog katalizatora (SI 1, SI 2, SI 3), dok je drugi hidraulički agregat odgovoran za hidrauličke jedinice ventila recirkulacije otpadnih plinova (SI 4) i ventila ispuštanja otpadnih plinova (SI 5).

### 3.2.1. Princip rada

Jedinice hidrauličkih agregata nalaze se u prizemlju postrojenja FCC-a, a njihov je zadatak snabdijevanje akumulatora hidrauličkih jedinica (HCU-a) sa radnim medijem koji služi za obavljanje rada hidrauličkih cilindara. Elektromotor elastičnom spojkom povezane hidrauličke pumpe konstantno okreće nazivnom brzinom od  $1450 \text{ n}^{-1}$ .

Tlačeni medij to jest hidrauličko ulje HFC46, kao što je prikazano hidrauličkom shemom u prilogu 1, po izlazu iz pumpe ulazi u ventilni sklop u kojemu prije svega dolazi na nepovratni ventil kojime se osigurava protok medija u zadanome smjeru, a po izlazu iz nepovratnog ventila ulazi u visokotlačni filter u kojemu se odvajaju onečišćenja veća od  $2 \mu\text{m}$ .

Zbog zahtjeva za mogućnost izmjene filtera dok je jedna od pumpi u aktivnoj funkciji izvršavanja rada, na ventilnom sklopu se nalaze slavine za zatvaranje dotoka ulja u filter kako bi se isti mogao promijeniti bez prekida procesa prerade nafte. Također, visokotlačni filteri na sebi imaju mehanički pokazivač zaprljanosti. Ukoliko je uložak filtera zaprljan, tlak u filteru raste te se pomiče kazaljka manometra diferencijalnog tlaka iz zelenog područja u crveno, što označava zaprljanost filtera.

Ventili za ograničavanje tlaka koji se nalaze unutar ventilnog sklopa odgovorni su za kontroliranje maksimalnog dopuštenog tlaka sustava, koji je različit od radnog tlaka pumpe. Ventili za ograničavanje tlaka reguliraju se ručno, po jedan na svakoj strani upravljačkog sklopa (manifolda), te je svaki od njih povezan na jednu pumpu i kontrolira njezin tlak. Tlak pri kojemu se ventil za ograničavanje tlaka otvara postavljen je na način da iznosi 10% više od radnog tlaka na koji je postavljena hidraulička pumpa na njezinom izlazu.

Ukoliko je tlak u sustavu prevelik, ventil za ograničavanje tlaka se otvara i propušta ulje natrag u spremnik ulja putem povratnog cjevovoda između ventilnog sklopa i spremnika. Tlak pri kojemu se ventil za ograničavanje tlaka otvara iznosi 105-110 bar.

Povratni cjevovod ulja koje je obavilo rad ulazi u spremnik ulja hidrauličkog agregata. Unutar spremnika ulja nalazi se odvojeni hidraulički sustav koji služi za pročišćavanje ulja koje se nalazi u spremniku. Sustav internog pročišćavanja hidrauličkog ulja koje se nalazi u spremniku uključuje se ručno od strane operatera RNR-a te je potrebno da operater, provjerom prethodno spomenutih pokazivača zaprljanosti visokotlačnih filtera koji se nalaze na ventilnom sklopu, uključi sustav filtriranja hidrauličkog ulja unutar spremnika.

### 3.2.2. Hidraulička pumpa

Svaki hidraulički agregat opremljen je sa po dvije pumpe iz sigurnosnih razloga. Naime, jedna pumpa u hidrauličkom agregatu je dovoljna za zadovoljavanje potrebnih protoka i savladavanje tlaka cijelog sustava FCC-a, no ukoliko bi došlo do kvara na pumpi sustav bi ostao bez radne tekućine, što može uzrokovati prekid rada sustava. Upravo se iz toga razloga u sustavu nalazi sekundarna pumpa koja u bilo kojem trenutku može preuzeti ulogu glavne pumpe.



*Slika 3-4 Hidraulička pumpa "Parker PVP16"*

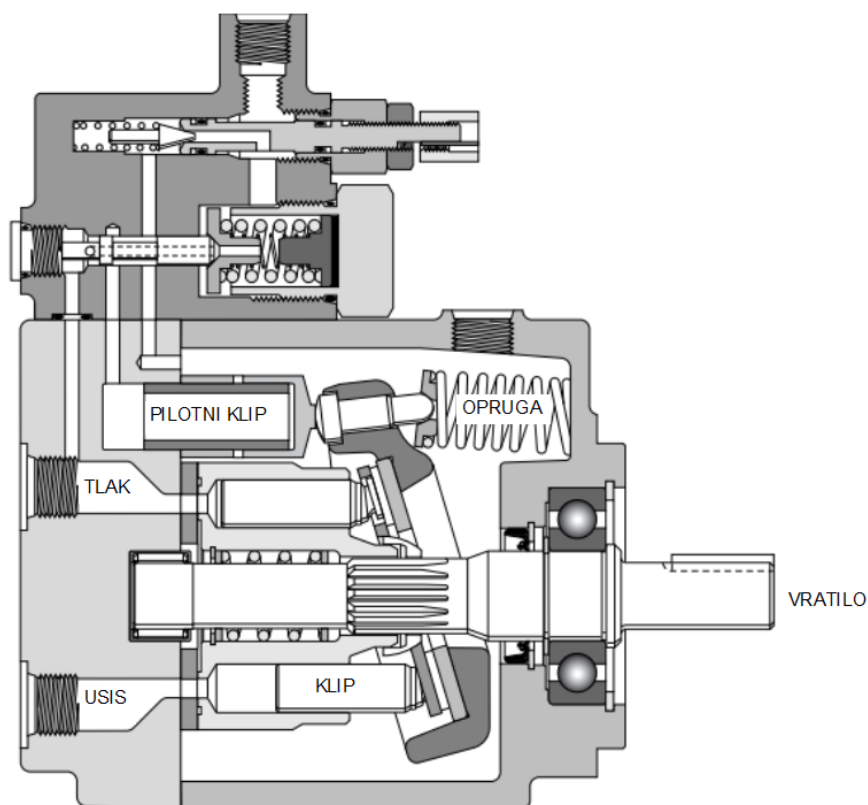
Sustav je opremljen klipno-aksijalnim pumpama s nagnutom pločom proizvođača „Parker“ modela „PVP16“.

Varijabilni protok omogućuje rad pumpe sa manjim opterećenjem. Hidraulički sustav FCC-a je projektiran na način da se ulje potrebno za hidraulički prijenos snage koristi iz akumulirane energije koja je pohranjena u hidrauličkim akumulatorima. Stoga, zadatak pumpe je konstantno nadopunjavanje/snabdjevanje hidrauličkih akumulatora. Ukoliko je hidraulički akumulator pun, pumpi se automatski smanjuje protok te on iznosi onoliko koliko je potrebno za nadomjestiti unutarnje gubitke pumpe. Ukoliko se akumulator isprazni, ploča na varijabilnoj pumpi se zakreće i trenutno daje maksimalan mogući protok, kako bi se hidraulički akumulator određene hidrauličke jedinice napunio uljem i time pripremio za ponovni prijenos hidrauličke snage.



Na grafovima možemo očitati karakteristične vrijednosti pumpe dane od strane proizvođača za radni tlak od 92 bar i protok od 22.5 l/min.

Na samim pumpama se nalazi ventil za ograničavanje tlaka koji je podešen na 100 bar, iako bi sama pumpa mogla konstantno savladavati tlak od preko 220 bar.



Slika 3-5 Presjek klipno aksijalne pumpe i njezini dijelovi

### 3.2.3. Elektromotor

Elektromotor koji pokreće hidrauličku pumpu američkog je proizvođača „Brook Hansen“. Motor je nazivne snage 4 kW pri broju okretaja od 1450 1/min. Hidraulička pumpa je povezana elastičnom spojkom sa elektromotorom. U hidrauličkom agregatu nalaze se ukupno četiri elektromotora, po dva u svakom hidrauličkom agregatu, te svaki pokreće jednu pumpu. Važno je napomenuti kako su elektromotori unutar jednog hidrauličkog agregata zbog sigurnosti pogona priključeni na različiti izvor električne energije. Na taj način se dodatno smanjuje vjerovatnost ostanka bez napajanja i prekid rada sustava rafinerije, sve u svrhu povećanja faktora sigurnosti.



*Slika 3-6 Elektromotor hidrauličkog agregata*

#### 3.2.4. Spremnik ulja i filter

Spremnici ulja nalaze se u hidrauličkim agregatima. Zapremnine su po 400 l svaki, a opremljeni su sa sustavom filtriranja ulja koji se nalazi na stražnjoj strani spremnika, te sa izmjenjivačem topline koji služi za zagrijavanje ulja ukoliko je okolna temperatura niska. Zagrijavanjem ulja smanjuje mu se viskoznost, te se osigurava da radna tekućina nije zaleđena. Ukoliko je ulje zaprljano, operater ručno uključuje sustav pročišćavanja ulja u spremniku.

Sustav se sastoji od:

- Elektromotor 0.25 kW
- Zupčasta pumpa
- Filter
- Cijevovod

Ulje se sa dna spremnika pomoću pumpe šalje u visokotlačni filter kojemu je zadatak odstraniti sve nečistoće iz ulja. Čestice veličine veće od 5  $\mu\text{m}$  se zadržavaju na filteru, dok se ostatak radne tekućine vraća s gornje strane natrag u spremnik ulja.

Na spremniku ulja se nalazi odzračnik koji je potreban iz razloga što se prilikom aktiviranja akumulatora u spremnik povratnim cjevovodom dovodi određena količina ulja koja utječe na volumen u spremniku. Povećanjem količine tekućine u spremniku potrebno je smanjiti količinu zraka, te se zrak ispušta kroz odzračnik. Prilikom rada pumpe hidrauličkog agregata u svrhu punjenja hidrauličkih akumulatora jedinica zasunskih ventila, volumen ulja unutar spremnika se smanjuje, stvara se podtlak, te kroz odzračnik ulazi okolni zrak. Važno je napomenuti kako se u odzračniku nalazi filter krutih čestica kako prilikom ulaska okolnog zraka u spremnik nebi došlo do zaprljanja radnog medija nečistoćama iz okoline.

Hidrauličko ulje se unutar spremnika održava na konstantnoj temperaturi koja iznosi oko 60°C. Za održavanje zadane temperature ulja na raspolaganju su indukcijski grijači koji se nalaze na stražnjoj stranici spremnika ulja, te za hlađenje izmjenjivač topline voda – ulje.



*Slika 3-7 Spremnik ulja hidrauličkog agregata*

### 3.2.5. Radna tekućina

Sustav Rafinerije nafte Rijeka radi sa hidrauličkom tekućinom "INA HFC 46". Vatrootporna hidraulička tekućina na bazi vode i glikola se koristi iz sigurnosnih razloga kako prilikom propuštanja radne tvari u okolini postrojenja nebi došlo do njezinog zapaljenja. Posljedica korištenja ovakve radne tekućine je trošenje raznih komponenti hidrauličkog sustava, ukoliko se održavanje ne provodi unutar propisanih intervala. Najčešće se posljedica prisustva vode manifestira na igličastim ležajevima pumpe koji se zbog prisutnosti vode prekomjerno troše.

Svojstva	INA Hidrafluid HFC 46	Metoda
Kinematička viskoznost pri 40 °C, mm <sup>2</sup> /s	46	ISO 3104
Tecište, °C	-40	ISO 3016
Rezerve alkalija, ml 0,1 N HCl/50g	62	ASTM D 1121
pH vrijednost pri 25 °C	9,6	ASTM D 1287
Sadržaj vode, mas. %	36,0	7. Luksemburško izvješće

Tablica 3-1 Svojstva hidrauličkog ulja "INA HFC 46"



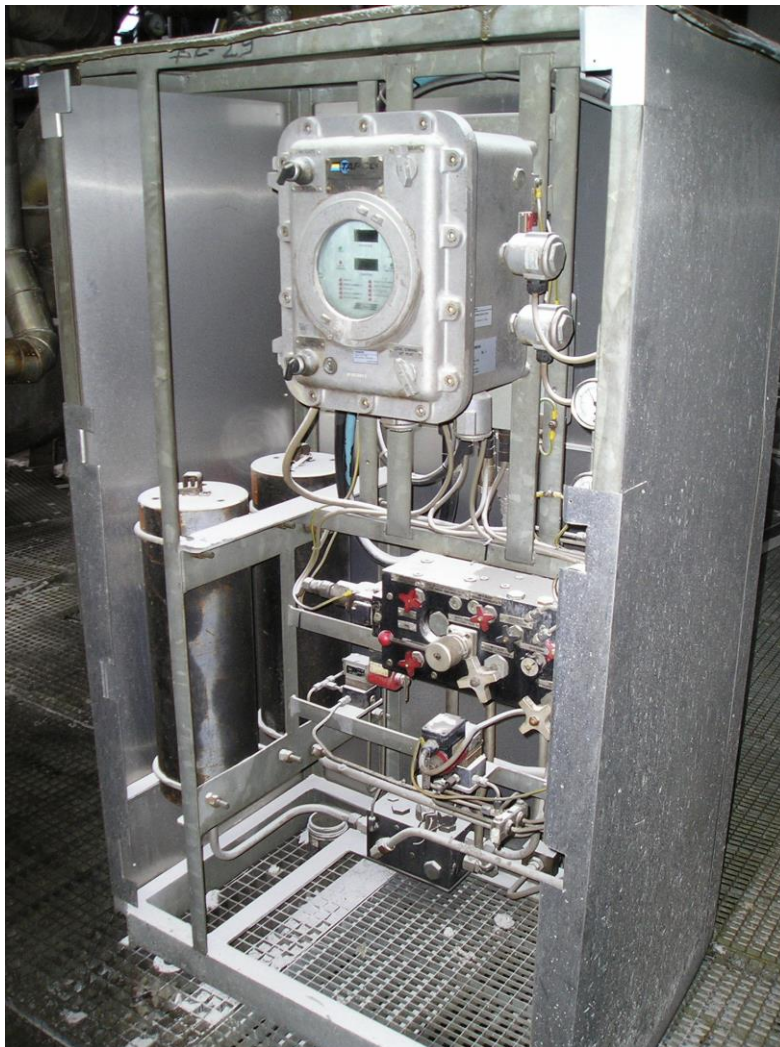
### 3.3. Hidrauličke upravljačke jedinice kliznih ventila

Na pogonu prerade nafte Rafinerije nafte Rijeka, to jest na procesu fluid katalitičkog kreiranja, nalazi se ukupno pet kliznih ventila čiji se položaj, odnosno pomak unutar bubnja regulira uz pomoć horizontalno položenih hidrauličkih cilindara povezanih sa osovinom ventila.

Radna tekućina, odnosno hidrauličko ulje koje je dopremljeno iz hidrauličkih agregata ulazi u upravljački ventil hidrauličke jedinice kliznog ventila, kao što je prikazano shemom u prilogu 4.

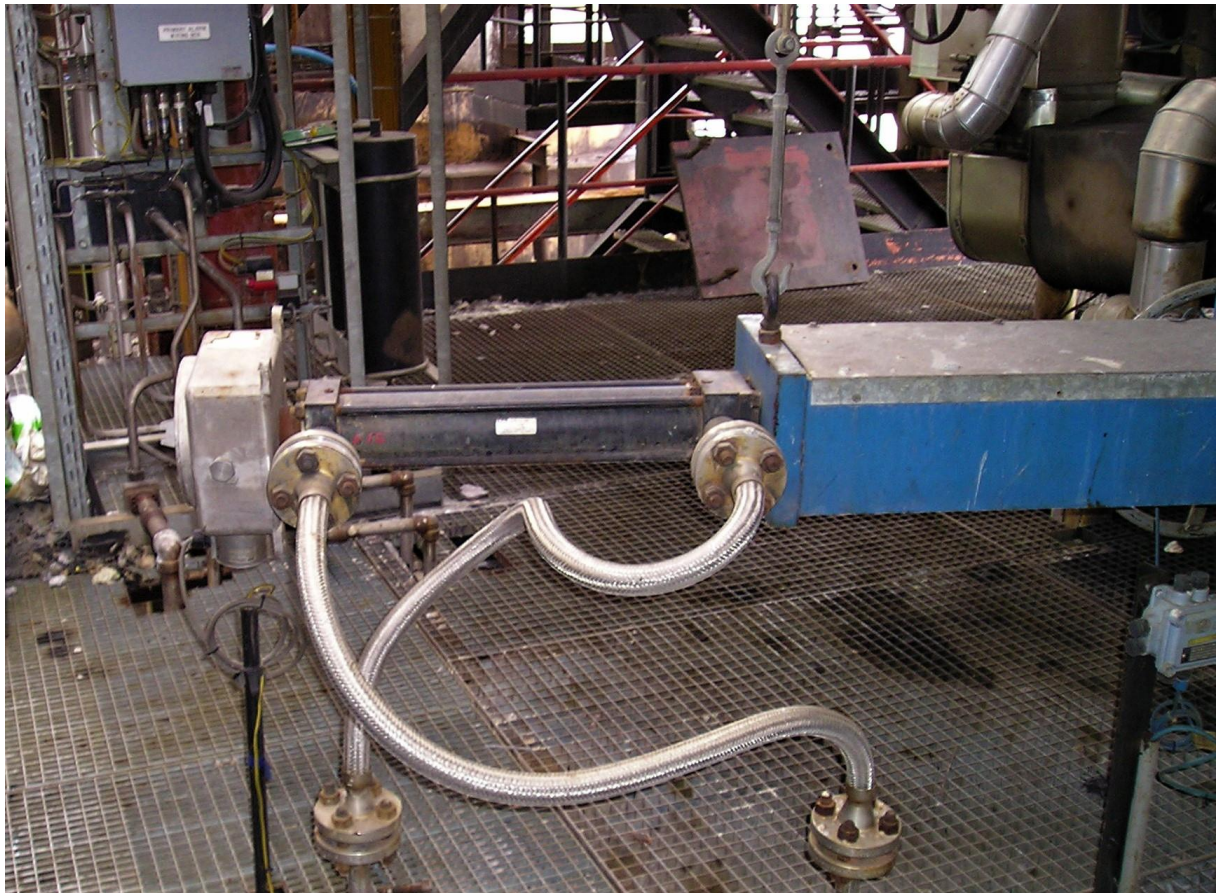
Hidraulički cilindri povezani su dijelom fiksnim i fleksibilnim cijevima sa centralnom hidrauličkom jedinicom svakog kliznog ventila.

Komponente hidrauličkih jedinica nalaze se na otvorenome te kako bi se zaštitile od vanjskih utjecaja okoline smještene su metalni ormar prikazan slikom 3-7.



*Slika 3-8 Hidraulička jedinica kliznih ventila*

Elektromagnetski ventil (EMV) koji se nalazi na upravljačkom ventilu hidrauličke jedinice služi za propuštanje ulja u C1 ili C2 cjevovode koji su povezani s dvoradnim hidrauličkim cilindrom određenog zasunskog ventila. EMV-om osigurano je daljinsko upravljanje sustavom iz centralne kontrolne sobe koja se nalazi u blizini pogona FCC-a. Naime, hidraulički cilindri zasunskih ventila opremljeni su senzorom pomaka, koji konstantno očitava točan postotak izvučenosti cilindra. Pomoću Tapco elektroničkog kontrolera s kojime je senzor povezan, a koji se nalazi u svakoj hidrauličkoj jedinici, očitava se točna vrijednost otvorenosti (%) određenog kliznog ventila. Paralelno s elektromagnetskim ventilom povezan je ručni razvodni ventil. Ručni razvodni ventil je spojen na isti cjevovod kao i elektromagnetski ventil, a njegova je uloga upravljanje radom hidrauličkih cilindara ukoliko je električni dio sustava neispravan.



*Slika 3-9 Hidraulički cilindar i hidraulička jedinica (u pozadini)*



Unutar upravljačkog ventila nalaze se još kočni ventili i igličasti ventili (crni uvijek zatvoreni, crveni otvoreni kada sustav radi) koji služe za izoliranje dotične centralne jedinice od ostalih centralnih jedinica koje su snabdjevane iz istog hidrauličkog agregata. Također, igličasti ventili se nalaze na izlazu iz hidrauličkih akumulatora kako bi se oni mogli servisirati, bez ugrožavanja procesa prerade.

Uloga kočnih ventila koji se nalaze unutar upravljačkog ventila hidrauličke jedinice je da osiguravaju konstantan položaj cilindra. Naime, zbog nesavršenosti brtvljenja unutar elektromagnetnog i ručnog razvodnog ventila, moglo bi se dogoditi da se nakon određenog vremena dogodi neželjeni nekontrolirani pomak cilindra. Samim pomakom cilindra dogodila bi se i promjena otvorenosti kliznog ventila koja bi ugrozila cijeli proces prerade nafte.

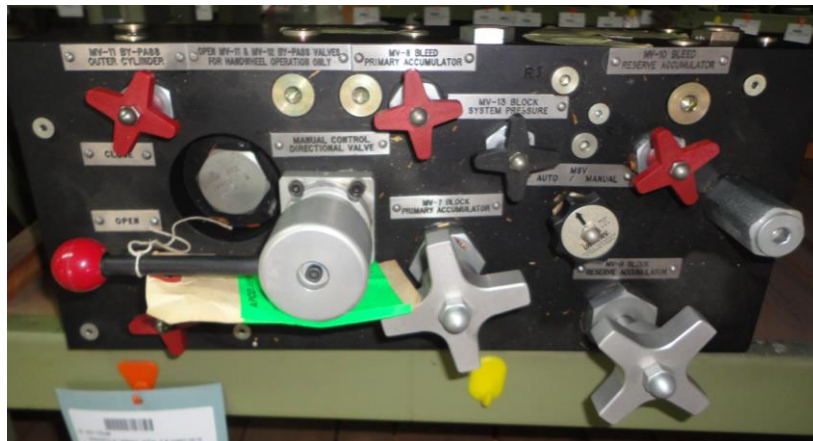


*Slika 3-10 Hidraulički akumulatori unutar hidrauličkih jedinica*

Unutar hidrauličke jedinice nalaze se hidraulički akumulatori prikazani slikom 3-9, koji su uz pomoć kontrolnog ventila povezani sa hidrauličkim agregatom. Ulje koje se doprema iz hidrauličkog agregata služi za konstantno održavanje potrebne količine ulja u akumulatorskim spremnicima, jer se upravo ulje skladišteno u akumulatorima koristi za obavljanje rada hidrauličkih cilindara.

### 3.3.1. Upravljački sklop ventila

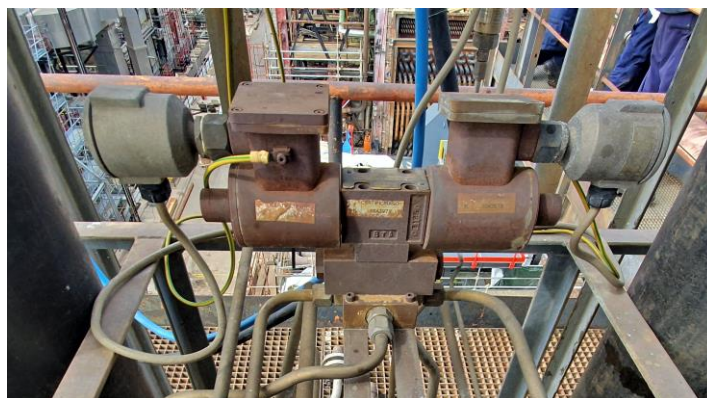
Upravljački sklop hidrauličke jedinice je sabirno mjesto u koje ulaze priključci radne tekućine koja je dopremljena hidrauličkoj jedinici iz hidrauličkih agregata. Iz nje izlaze cijevovodi kojima se radna tekućina dovodi do hidrauličkih aktuatora na zasunskim ventilima, te se u upravljačkom sklopu nalaze razvodni ventili odgovorni za upravljanje hidrauličkim aktuatorom.



Slika 3-11 Upravljačka jedinica ("manifold")

- Elektromagnetni ventil

Osnovni princip rada elektromagnetnog ventila je definiran pomicanjem razvodnog klipa unutar ventila vanjskim djelovanjem naizmjenične struje koja magnetskom silom pomiče klip u željenu stranu. Pomicanje razvodnog klipa EMV u slučaju nužde može se izvršiti ručno, mehaničkim djelovanjem na klip s bočne strane magneta.



Slika 3-12 Elektromagnetni ventil



### 3.3.2. Elektronički kontroler

Elektronički kontroler u hidrauličkoj jedinici kliznih ventila sabirno je mjesto informacija o položaju ventila unutar bubnja.

U elektronički kontroler ulaze:

- parametri senzora položaja hidrauličkog cilindra,
- tražena vrijednost položaja koju definiraju operateri u kontrolnoj sobi
- odstupanje položaja cilindra od tražene vrijednosti

Kontroler zatim automatizirano proračunava koliki je potreban pomak cilindra i u kojem smjeru. Ukoliko je potrebno smanjiti otvorenost kliznog ventila, elektronički kontroler daje signal elektromagnetskom ventilu koji se nalazi na sklopu upravljačkog ventila hidrauličke jedinice, te se kroz ventil propušta ulje u cijevovod C1 čime se pritvara otvor kliznog ventila.



Slika 3-13 Elektronički kontroler

### 3.3.3. Hidraulički akumulatori

Hidraulički akumulatori su od velike važnosti za hidraulički sustav. Općenito, za akumulatore možemo reći da su spremnici hidrauličke energije, te se u ovome slučaju radi o akumulatorima sa plinom, to jest hidropneumatskim akumulatorima. Akumulirana radna tekućina stoji na raspolaganju za ostvarivanje pomaka aktuatora kliznog ventila, odnosno hidrauličkog cilindra. Ukoliko se energija iz akumulatora potroši za rad hidrauličkog aktuatora ventila, automatizirano se javlja potreba za nadomjestak potrošene energije, te se u hidrauličkoj pumpi zakreće ploča i započinje punjenje akumulatora. Po završetku pumpa prelazi u neutralni položaj u kojemu ne ostvaruje protok.



*Slika 3-14 Hidraulički akumulatori*

Konstruktivski gledano, radi se o klipnim hidropneumatskim akumulatorima koji su punjeni sa 9.5 l dušika tlaka 41 bar za akumulatore kliznih ventila regeneracije (SI 1) i potrošenog katalizatora (SI 2), te ventila ispušnih dimnih plinova (SI 5). Akumulatori hidrauličkih jedinica kliznih ventila recirkulacije katalizatora (SI 3) te ventila povrata dimnih plinova (SI 4) punjeni su sa 18 l dušika tlaka 41 bar. Predpunjenjem akumulatora dušikom povećava se njegova ukupna potencijalna energija, te se osigurava dovoljna količina radne tekućine koja pokreće

aktuator kliznog ventila. Također, u akumulatoru se pohranjuje dovoljna količina radne tekućine koju može nadomjestiti pumpa za vrijeme maksimalnog protoka, a jedna od uloga hidrauličkih akumulatora je i ublažavanje hidrauličkih udara koji nastaju u sustavu. Unutar akumulatora se s jedne strane nalazi dušik, a s druge strane je radna tekućina koja je dopremljena iz hidrauličkog agregata. Klip unutar akumulatora odvaja radne tvari, te ulaskom ulja s donje strane akumulatora, klip se pomiče vertikalno prema gore savladavajući silu koju mu predstavlja tlak plina s gornje strane klipa.

#### 3.3.4. Hidraulički cilindri

Cilindri kao neizostavni elementi hidraulike i pneumatike omogućavaju jednostavnu i efikasnu pretvorbu hidrauličke energije u linearno gibanje.

Hidraulički cilindri na pogonu Rafinerije nafte Rijeka proizvođača „Parker“, model „2HX“ izvedeni su kao dvoradni (rad u oba smjera). Unutar šuplje klipnjače hidrauličkog cilindra nalazi se induktivni indikator pomaka, pomoću kojega se, uz pravilno kalibriranje sustava hidrauličke jedinice, može znati postotak otvorenosti kontroliranog kliznog ventila koji je precizan do 1 mm.

Navedeni hidraulički cilindri spadaju u najkvalitetnije i najotpornije hidrauličke cilindre na tržištu.



*Slika 3-15 "Parker 2HX" hidraulički cilindar*

Glavni elementi hidrauličkih cilindara su:

- Košuljica
- Klip
- Klipnjača
- Vodicica
- Brtve

Brtvila u hidrauličkom sustavu FCC-a proizvedena su od visokokvalitetnih materijala, točnije radi se o politetrafluoetilenskim (PTFE) brtvama u koje je dodano 40% bronce kako bi brtve bile daleko otpornije na temperaturu i habanje u odnosu na klasična poliuretanska (PU) brtvila. Tablicom 3-2 prikazana je usporedba vrijednosti maksimalnog tlaka i temperature brtvila koja se nalaze u hidrauličkim cilindima RNR, te istih takvih brtvila izvedenih od poliuretanskog materijala. Primjetno je da vrijednost maksimalnog tlaka kojega brtva može savladati iznosi 600 bar, te je istovremeno maksimalna radna temperatura povećana za 40%. Upravo zbog boljeg podnošenja temperaturnih opterećenja PTFE brtvila u odnosu na PU, ona su izabrana za ovakav hidraulički sustav kojemu je radni tlak nešto manji od 100bar.

Materijal	Maksimalna temp., °C	Maksimalni tlak, bar
PTFE	140	600
PU	100	250

Tablica 3-2 Maksimalna temperatura i tlak za brtveni materijal

Klipnjače hidrauličkih cilindara na pogonu Rafinerije nafte Rijeka su kromirane i brušene, dok je košuljica cilindra honovana.

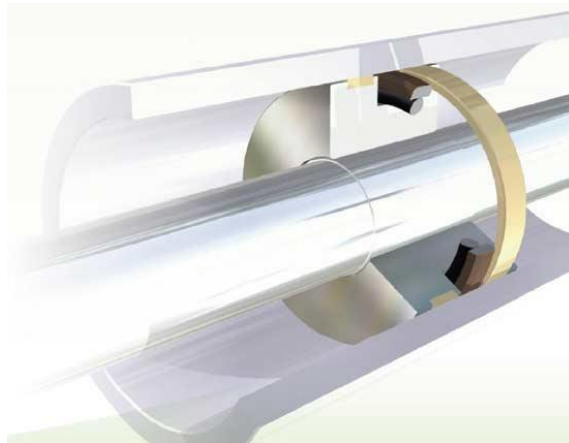
Nazivne dimenzije cilindara dane su tablicom 3-3.

Redni broj zasunskog ventila	Promjer klipnjače $d$ , mm	Promjer košuljice $D$ , mm	Hod klipa $L$ , mm	Vrijeme otvaranja $t$ , s	Brzina klipa $v$ , m/s
SI 1	34,93	82,55	431,80	5,00	0,07
SI 2	34,93	82,55	400,05	5,00	0,07
SI 3	34,93	82,55	476,25	5,00	0,07
SI 4	44,45	101,60	1854,20	60,00	0,0041
SI 5	34,93	34,93	254,00	5,00	0,39

Tablica 3-3 Veličine hidrauličkih cilindara "Parker 2HX"

Na slici 3-12 prikazane su brtve hidrauličkog klipa u presjeku. Zlatne boje prikazan je klizač koji se nalazi na klipu kako bi osigurao pravilan hod klipa unutar cilindra. Materijal od kojega se izrađuju takvi prstenovi je polioksimetilen (POM) koji ima vrlo veliku krutost i omogućava nisko trenje.

Brtva koja se suprotstavlja tlaku je od prethodno spomenutog politetrafluoretilena, a kako bi se osigurao njen stalni kontakt po unutarnjem obodu cilindra, ispod nje se nalazi gumena brtva (NBR) koja je kružnog poprečnog presijeka.



*Slika 3-16 Presjek hidrauličkog cilindra i klipnih elemenata*

Hidraulički cilindri su povezani s hidrauličkom jedinicom fleksibilnim cijevima prikazanim na slici 3-14. Cijevi su izrađene od inox materijala kako bi im se povećala otpornost na vanjske utjecaje kojima su izložene.



*Slika 3-17 Fleksibilne hidrauličke cijevi "PFXG Ansi"*

## 4. Revizija hidrauličkog sustava procesa katalitičkog krekinga

Revizija sustava propisana je i obavezna minimalno svakih četiri godine, te je posljednja revizija hidrauličkog sustava na pogonu Rafinerije nafte Rijeka izvršena 2019. godine. Unutar revizije potrebno je pregledati sve komponente hidrauličkog sustava, neovisno o njihovoj ispravnosti, kako bi se osigurao njihov pravilan rad tokom sljedećeg četverogodišnjeg perioda. Komponente hidrauličkih agregata i jedinica demontiraju se sa lokacije i dopremaju u tvrtku „Hidel d.o.o.“ gdje se temeljito ispituje njihova ispravnost.

### 4.1. Revizija hidrauličkog agregata

- Hidraulička pumpa

Revizija zapčinje demontažom pumpe sa svoje pozicije. Ukoliko se radi o redovnom servisu ili intervenciji, pumpa se zamjenjuje rezervnom pumpom koja se nalazi u skladištu rafinerije. Potrebno je pumpu odvojiti od elastične spojke koja povezuje vratilo elektromotora i pumpe te odspojiti cijevi dovoda i odvoda ulja s pumpe. Na slici 4-1 prikazana je pozicija pumpe unutar hidrauličkog agregata.



*Slika 4-1 Hidraulička pumpa i elektromotor*



Demontirana pumpa odvozi se u pogon tvrtke „Hidel d.o.o.“ gdje se detaljno pregledava na testnom stolu, dok joj se simuliraju uvjeti rada u pogonu.

Pri simulaciji pumpa se priključuje na elektromotor ekvivalentan onome u rafineriji, te se preciznim mjernim uređajima utvrđuju karakteristike pumpe. Mjerač protoka sa prigušnim ventilom u izlaznome vodu pumpe simulira rad pumpe pod opterećenjem, te daje precizne vrijednosti protoka, tlaka i temperature radne tekućine kroz pumpu. Pojava radne tekućine na vratilu pumpe sugerira na defektnu radijalnu brtvu vratila, te ukoliko je to problem potrebno je rastaviti pumpu i zamjeniti brtvu odgovarajućom novom, deklariranom od strane proizvođača pumpe.

Ukoliko se ustanovi da pumpa ne zadovoljava potrebne kriterije dobave i radnog tlaka koje prema uputi proizvođača mora ispuniti, potrebno je napraviti inspekciju unutrašnjosti pumpe.



*Slika 4-2 Prikaz rastavljene pumpe i njenih sastavnih dijelova*

Glavni dijelovi klipno - aksijalne pumpe „Parker PVP16“ su prikazani slikom 4-2:

- Kućište
- Cilindarski bubanj (cilindar sa klipovima)
- Razdjelna ploča
- Ventili za regulaciju protoka
- Ventil za ograničavanje tlaka

Ukoliko postoje problemi na cilindarskom bubnju djelova klipno – aksijalne pumpe, mala je vjerovatnost njezina popravka, te je potrebno promijeniti defektne dijelove ili zamijeniti cijelu pumpu. Prilikom rada pumpe, ovaj tip problema manifestira se velikim vibracijama u radu i/ili slabim do nikakvim protokom radne tekućine. Ako se prilikom inspekcije ustanovi da je problem u razdjelnoj ploči (usis – tlak), moguća je reparacija ploče. Najčešće se radi o mikro zazorima na razdjelnoj ploči koji dovode do povećanog unutarnjeg propuštanja pumpe, smanjenja izlaznog tlaka i povećanog zagrijavanja radne tekućine unutar pumpe, pa tako i tekućine cijelog hidrauličkog sustava.

Poliranjem razdjelne ploče kao što je prikazano slikom 4-2, moguće je sanirati ogrebotine i zazole po njezinoj površini , te na taj način pumpu dovesti do funkcionalnog stanja.



*Slika 4-3 Proces poliranja razdjelne ploče*

Pravilnim poliranjem površina razdjelne ploče gubi sjaj i postaje matirana kao što je prikazano na slici 4-3.



*Slika 4-4 Razdjelna ploča nakon poliranja*



Ovaj problem se teško detektira u samome radu pumpe u hidrauličkom agregatu postrojenja rafinerije nafte, već ga je moguće zapaziti jedino prilikom rastavljanja pumpe.

Ukoliko dođe do prevelikog zazora između klipova i cilindra bubnja, koji dovodi do povećanog unutrašnjeg propuštanja te time smanjuje volumetrijsku efikasnost pumpe, potrebno je izmijeniti cijeli cilindarski bubanj (slika 4-5).



*Slika 4-5 Cilindarski bubanj*

- Spremnik ulja i filteri

Revizija spremnika ulja vrši se na lokaciji RNR-a, dok se pripadajući dijelovi spremnika kao što su filteri, grijači i hladnjaci ulja, pregledavaju u servisu tvrtke Hidel. Radni fluid se ispušta iz sustava zbog izmjene, a simbolična količina se šalje na testiranje kako bi se utvrdio mogući pad kvalitete od prethodne izmjene. Unutrašnjost spremnika se ispiru posebnim tekućinama kako

bi se utvrdilo stanje oplakivanih površina. Također, uklanjaju se svi cijevovodi kojima su povezane komponente unutar spremnika zbog njihovog ispiranja. Ulje koje se doprema povratnim cijevovodom do spremnika prolazi kroz niskotlačni filter, koji se zamjenjuje novim prilikom revizije i servisa.

- Ventilski sklop

Ventilni sklop se uklanja sa pozicije i doprema u servis. Unutar sklopa se nalazi visokotlačni filter koji je potrebno promijeniti, te dva nepovratna ventila koja se preventivno otvaraju i pregledavaju. Demontažom sastavnih dijelova ventilnog sklopa dobiva se uvid u njegovu unutrašnjost, te je moguća inspekcija i početak pročišćavanja vodova unutar sklopa. Ispiranje se vrši posebnom tekućinom koja odstranjuje masnoće, a zatim se komprimiranim zrakom ispuhuje zaostala tekućina i veće čestice prljavštine koje mogu narušiti kvalitetu rada sklopa.

#### **4.2. Revizija hidrauličkih upravljačkih jedinica kliznih ventila**

- Hidraulički akumulatori

Akumulatori su cilindrične posude koje konstrukcijski gledano, na gornjoj i donjoj strani imaju čepove, čijom je demontažom moguće pristupiti unutrašnjosti. Klip koji se nalazi u akumulatoru izveden je sa dvostrukim O-ring brtvama koje održavaju radne medije na svojim stranama.

Ukoliko klipna brtva počinje propuštati, radni mediji se počinju miješati, a radni medij većeg tlaka prolazi defektnim zazorima kroz brtvu na drugu stranu klipa. Stoga, ulje koje je pod većim tlakom ulazi u gornju komoru klipa, a plin se kroz sistem izbaci na odušku spremnika ulja. Posljedica defekta akumulatora je usporeni rad sustava, no zato je u svakoj hidrauličkoj jedinici po jedan rezervni akumulator koji se uključuje u rad pomoću kontrolnog ventila (control manifold) smještenog unutar hidrauličke jedinice. Prilikom otvaranja i inspekcije hidropneumatskih akumulatora na postrojenju RNR-a, u više navrata je primjećen defekt na košuljici akumulatora. Naime, zbog hidrauličkih udara prilikom kojih tlak može naglo porasti do čak 4 puta od radnog tlaka sustava, klip na mjestu na kojemu se dogodio udar radijalno po obodu proširi košuljicu. Ukoliko se cilindrička košuljica proširi onemogućeno je kvalitetno

brtvljenje klipa akumulatora te postoji izvjesna vjerovatnost mješanja plina i ulja. Plin prilikom punjenja akumulatora uljem prelazi na stranu ulja te preko spremnika odlazi u atmosferu. Takav hidraulički akumulator više nije u mogućnosti kvalitetno obavljati rad, te ga je potrebno zamjeniti novim ili strojnom obradom izraditi novu košuljicu akumulatora.



*Slika 4-6 Ispitivanje hidrauličkih akumulatora*

- Upravljački sklop ventila

Upravljački sklop ventila demontira se sa hidrauličkih jedinica svakog kliznog ventila, te se dopremaju u servis. Relativno kompleksan sklop ventila potrebno je rastaviti na način da se svaki podelement sklopa iz njega izvadi, pregleda i prebrtvi. Unutar upravljačkog ventila nalaze se podelementi upravljačkog sustava kao što su nepovratni ventili, ventili za ograničavanje tlaka, razvodni ventili za ručno i daljinsko upravljanje.

- Revizija hidrauličkih cilindara

Hidraulički cilindri kliznih ventila demontiraju se sa lokacije RNR-a. Prije samog rastavljanja hidrauličkih cilindara i pregledavanja stanja njihovih komponenti, u servisu se svaki cilindar ispituje na radnome stolu. Priključivanjem cilindara na testni hidraulički agregat tvrtke Hidel d.o.o. cilindre se ispituje na propuštanje. Postepenim povećanjem tlaka i izvlačenjem klipa do krajnjih položaja (klip uvučen/klip izvučen) simulira se opterećenje. U tom trenutku je cilindre moguće vizualno ispitati zbog vanjskih propuštanja koja su vidljiva na izlazu klipnjače iz košuljice cilindra, što sugerira na propuštanje brtvi vodilice, te na spoju vodilice i hidrauličke košuljice – propuštanje O-ring brtve na vodilici. Također, moguće je provjeriti i unutarnje propuštanje klipa, prilikom kojeg bi ulje iz manje komore preljevalo preko klipne brtve u veću površinu, te bi se manifestirano neželjenim pomakom klipa u smjeru prema van. Bitno je napomeniti kako se ovo testiranje izvršava zbog provjere dosadašnje ispravnosti rada sustava te se po završetku testiranja cilindri rastavljaju kako bi se pristupilo njihovoj unutrašnjosti u svhu izmjene kompleta brtvila.

Komplet brtvila uključuje klipnu brtvu, brtvu brisača vodilice klipnjače, tlačnu brtvu vodilice klipnjače, te se nabavlja od istog proizvođača („Parker“).

Slika 4-5 prikazuje tlačnu provjeru hidrauličkog cilindra kliznog ventila prilikom revizije 2019.godine.



*Slika 4-7 Tlačna provjera hidrauličkog cilindra*

## 5. Kontrolni proračun hidrauličkog sustava FCC-a

U ovome poglavlju provesti će se proračun hidrauličkog sustava na temelju poznatih vrijednosti postojećeg sustava kako bi se dokazao njegov ispravan rad.

Proračun se temelji na vrijednostima koje su izmjerene mjernim uređajima protoka i tlaka sustava u radu, te vrijednostima definiranih od strane pojedinih proizvođača hidrauličke opreme.

Poznate karakteristike pumpe:

$$Q_{spec} = 16 \text{ cm}^3$$

$$n = 1450 \text{ okr/s}$$

$$\mu_{hm} = 0,98$$

$$\mu_v = 0,97$$

$$\Delta p = 92 \text{ bar}$$

Specifični protok pumpe definira količinu ulja koja prolazi kroz nju u jednom okretu vratila, dok teorijski protok pumpe prikazuje količinu ulja definiranu preko broja okretaja elektromotora koji pokreće vratilo hidrauličke pumpe.

Prema tome, teorijski protok pumpe pri 1450 okr/min iznosi:

$$\begin{aligned} Q_{th} &= Q_{spec} \cdot n \\ Q_{th} &= 16 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1450}{60} \\ Q_{th} &= 3,866 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{th} &= 3,866 \cdot 10^{-4} \cdot 60000 \\ Q_{th} &= 23,2 \text{ l/min} \end{aligned}$$

Gdje je:

$$Q_{spec} = \text{specifični protok pumpe, cm}^3/\text{okr}$$

$$Q_{th} = \text{teorijski protok pumpe, l/min}$$

$$\mu_{hm} = \text{hidro-mehanički koeficijent iskoristivosti pumpe}$$

$$\mu_v = \text{volumetrički koeficijent iskoristivosti pumpe}$$

$\Delta p$  = radni tlak sustava

Stvarni protok pumpe uključuje unutarnje gubitke pumpe koji su dani od strane dobavljača i ovise o brzini okretaja. Volumetrički koeficijent iskoristivosti pumpe za 1450 okr/min iznosi  $\mu_v = 0,97$ . Stoga, stvarni protok pumpe je uvijek nešto manji.

Stvarni protok pumpe:

$$\begin{aligned} Q_{stv} &= Q_{th} \cdot \mu_v \\ Q_{stv} &= 23,2 \cdot 0,97 \\ Q_{stv} &= 22,504 \text{ l/min} \end{aligned}$$

Unutarnji gubici pumpe:

$$\begin{aligned} \Delta Q &= Q_{th} - Q_{stv} \\ \Delta Q &= 23,2 - 22,504 \\ \Delta Q &= 0,696 \text{ l/min} \end{aligned}$$

Hidraulička snaga pumpe za radni tlak sustava koji iznosi 92 bar:

$$\begin{aligned} P_h &= Q_{stv} \cdot \Delta p \\ P_h &= \frac{22,504}{60000} \cdot 92 \cdot 10^5 \\ P_h &= 3450,61 \text{ W} \\ P_h &= 3,450 \text{ kW} \end{aligned}$$

Pogonska snaga pumpe:

$$\begin{aligned} P_m &= \frac{P_h}{\mu_{hm} \cdot \mu_v} \\ P_m &= \frac{3,45}{0,98 \cdot 0,97} \\ P_m &= 3,6299 \text{ kW} \end{aligned}$$

Potrebna snaga za elektromotora:

$$P_{em} = \frac{P_m}{\mu_s}$$



$$P_{em} = \frac{3,6299}{0,95}$$

$$P_{em} = 3,8209 \text{ kW}$$

Temeljem proračunate potrebne snage elektromotora dokazano je da odabrani elektromotor „Brook Hansen“, nazivne snage 4 kW pri 1450 okr/min, zadovoljava potrebe hidrauličkog sustava.

Zadane dimenzije hidrauličkih cilindara za svaki klizni ventil dane su tablicom 5-1:

Redni broj zasunskog ventila	Promjer klipnjače $d$ , mm	Promjer košuljice $D$ , mm	Hod klipa $L$ , mm
SI 1	34,93	82,55	431,80
SI 2	34,93	82,55	400,05
SI 3	34,93	82,55	476,25
SI 4	44,45	101,60	1854,20
SI 5	34,93	34,93	254,00

Tablica 5-1 Dimenzije hidrauličkih cilindara

Slijedi proračun brzine hoda klipa, odnosno proračun brzine otvaranja kliznih ventila SI 1, SI 2, SI 3:

$$v_{1,2,3} = \frac{Q_{stv}}{A_{1,2,3}}$$

Prilikom čega su:

$v_{1,2,3}$  = brzine gibanja klipa, m/s

$A_{1,2,3}$  = površina hidrauličkog klipa, m<sup>2</sup>

$D_{1,2,3}$  = promjer hidrauličkog klipa, m

$$Q_{stv} = 22.504 \text{ l/min} = 0,000375 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A_{1,2,3} = \frac{D_{1,2,3}^2 \cdot \pi}{4} = \frac{0,08255^2 \cdot \pi}{4}$$

$$A_{1,2,3} = 0,005352 \text{ m}^2$$

Slijedi da brzina klipa iznosi:

$$v_{1,2,3} = \frac{0,000375}{0,005352}$$

$$v_{1,2,3} = 0,070065 \frac{m}{s}$$

Istim proračunom dobivene su vrijednosti površine klipova zasunski ventila SI 4 i SI 5:

$$A_4 = \frac{D_4^2 \cdot \pi}{4} = \frac{0,1016^2 \cdot \pi}{4}$$

$$A_4 = 0,00817 \text{ m}^2$$

Izračunatom površinom hidrauličkog klipa cilindra kliznog ventila SI 4 i prethodno ustanovljenim stvarnim protokom pumpe, moguće je odrediti brzinu otvaranja cilindra.

$$v_4 = \frac{Q_{stv}}{A_4} = \frac{0,000375}{0,00817}$$

$$v_4 = 0,04625 \frac{m}{s}$$

Površina klipa cilindra kliznog ventila SI 5:

$$A_5 = \frac{D_5^2 \cdot \pi}{4} = \frac{0,03493^2 \cdot \pi}{4}$$

$$A_5 = 0,000958 \text{ m}^2$$

Brzina klipa koji pokreće otvaranje kliznog ventila otpuštanja dimnih plinova iznosi:

$$v_5 = \frac{Q_{stv}}{A_5} = \frac{0,000375}{0,000958}$$

$$v_5 = 0,39133 \frac{m}{s}$$



Maksimalni tlak koji se pojavljuje u cilindrima definiran je ventilima za ograničavanje tlaka hidrauličkih agregata. Tlak otvaranja, to jest propuštanja radnog fluida iz tlačnog voda u povratni vod iznosi:

$$p_{max} = 105 \text{ bar} = 9,5 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

Stoga, radni tlak sustava iznosi oko 85 ÷ 90% definiranog tlaka ventila za ograničavanje tlaka što je što iznosi:

$$\Delta p = 92 \text{ bar} = 9,2 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

Pri tom tlaku, maksimalne sile koje pojedini cilindar može savladati dane su izrazom:

$$\begin{aligned} F_{1,2,3} &= \Delta p \cdot A_{1,2,3} \\ F_{1,2,3} &= 9,2 \cdot 10^6 \cdot 0,005352 \\ F_{1,2,3} &= 49238,4 \text{ N} = 49,2384 \text{ kN} \end{aligned}$$

Sila koju su cilindri kliznih ventila SI 1, SI 2, SI 3 u mogućnosti savladati iznosi nešto manje od 50kN, što je i više no dovoljno za pomicanje ventila unutar bubnja.

$$\begin{aligned} F_4 &= \Delta p \cdot A_4 \\ F_4 &= 9,2 \cdot 10^6 \cdot 0,00817 \\ F_4 &= 75164 \text{ N} = 75,164 \text{ kN} \end{aligned}$$

Najveću površinu klipa ima cilindar kliznog ventila SI 4 čiji je zadatak recirkulacija plinova te je za njegovo otvaranje potrebna najveća veća sila.

$$\begin{aligned} F_5 &= \Delta p \cdot A_5 \\ F_5 &= 9,2 \cdot 10^6 \cdot 0,0009582 \\ F_5 &= 8815,44 \text{ N} = 8,8154 \text{ kN} \end{aligned}$$

Zbog manje površine površine klipa u odnosu na ostale hidrauličke cilindre, klizni ventil SI 5 u mogućnosti je savladati najmanju silu.

Vrijeme otvaranja hidrauličkih cilindara važno je za kontroliranje samog procesa prerade nafte unutar bubnja FCC postrojenja. Stoga možemo primijetiti kako zasunski ventil SI 5, koji se nalazi na najvišoj razini bubnja sa zadaćom propuštanja dimnih plinova, ima najveću brzinu hoda klipa.

Proračunate vrijednosti hidrauličkih cilindara unesene su u tablici 5-2:

Redni broj zasunskog ventila	Površina klipa, $A$ , $m^2$	Maksimalna brzina hoda klipa $v$ , $m/s$	Maksimalna sila $F$ , $kN$
SI 1	0,005352	0,07006	49,2384
SI 2	0,005352	0,07006	49,2384
SI 3	0,005352	0,07006	49,2384
SI 4	0,00817	0,04625	75,164
SI 5	0,000958	0,39133	8,8154

Tablica 5-2 Proračunate vrijednosti hidrauličkih cilindara

Primjećujemo da na brzinu hoda klipa utječe njegova površina. Što je površina klipa veća, to je brzina izvlačenja klipa manja. Proporcionalno tome, što je veća površina klipa, to je veća i sila koju hidraulički cilindar može savladati za zadani radni tlak.

Volumen radnog fluida koji ispunjava prostor cilindra jednak je umnošku hoda cilindra i unutarnje površine cilindra. Vrijednosti su dane u tablici (xy), te je volumen hidrauličkog cilindra zasunskog ventila SI 1 jednak:

$$V_1 = A_{1,2,3} \cdot L_1$$

$$V_1 = 0,005352 \cdot 0,4318$$

$$V_1 = 2,311 \cdot 10^{-3} m^3$$

$$V_1 = 2,311 l$$

Volumen hidrauličkog cilindra zasunskog ventila SI2:

$$V_2 = A_{1,2,3} \cdot L_2$$

$$V_2 = 0,005352 \cdot 0,4$$

$$V_2 = 2,1408 \cdot 10^{-3} m^3$$

$$V_2 = 2,141 l$$

Analogno prikazanom proračunu, dobivene vrijednosti za preostale cilindre prikazane su u tablici 5-3:

Redni broj zasunskog ventila	Površina cilindra $A, m^3$	Duljina hoda klipa $L, m$	Volumen hidrauličkog cilindra $V, l$
SI 1	0,005352	0,4318	2,311
SI 2	0,005352	0,4	2,141
SI 3	0,005352	0,47625	2,549
SI 4	0,00817	1,8542	15,148
SI 5	0,000958	0,254	0,243

Tablica 5-3 Volumeni hidrauličkih cilindara

Cijevovod hidrauličkog sustava pogona FCC-a Rijeka izveden je sa fiksnim čeličnim cijevima i fleksibilnim pletenim čeličnim cijevima.

Nabava ulja od hidrauličkog agregata do hidrauličke jedinice kliznog ventila izvedena je s fiksnim cijevovodom, dok je doprema ulja od hidrauličke jedinice do hidrauličkih cilindara izvedena djelomično sa fiksnim, a dijelom sa fleksibilnim pletenim čeličnim cijevima.

Čelične cijevi ulja koje izlazi iz hidrauličkih agregata prema hidrauličkim jedinicama dimenzije su 1 ½“, što kad se pretvori u metričke veličine iznosi  $d_{cj} = 38,1 mm$

Brzina strujanja fluida unutar čelične cijevi dana je formulom:

$$v = \frac{4 \cdot Q_{stv}}{\pi \cdot d_{cj}^2}$$
$$v = \frac{4 \cdot 0,000375}{\pi \cdot 0,0381^2}$$
$$v = 0,329 \frac{m}{s}$$

Fleksibilne cijevi hidrauličkih cilindara su specijalne izrade i moraju zadovoljavati normu te su prethodno ispitane kako bi se dokazala njihova ispravnost. Kao takve, cijevi su iznimno otporne na vanjske utjecaje te zadovoljavaju potrebe Rafinerije nafte Rijeka.

Provedenim kontrolnim proračunom ustanovilo se da dobivene vrijednosti proračuna vrlo malo odstupaju od vrijednosti ispitanih mjernim uređajima prilikom kontroliranja rada hidrauličkog sustava.

Odabrane komponente hidrauličkog sustava sa sigurnošću mogu obavljati traženi mehanički rad otvaranja kliznih ventila.

## 6. Zaključak

Nakon provedene detaljne analize sustava možemo sa sigurnošću zaključiti da bez hidrauličkog sustava pogon Rafinerije nafte Rijeka, konkretnije sam proces prerade nafte FCC-a, nebi bio moguć. Proces prerade nafte FCC-a zahtjeva iznimnu točnost prilikom rada, stoga se kao najbolje rješenje kontroliranja procesa, odnosno kontroliranja kliznih ventila, odabire upravo hidraulički sustav. Jednostavnost i pouzdanost hidrauličkog sustava, zajedno sa sofisticiranim digitalnim upravljačkim jedinicama, predstavljaju najprecizniji oblik upravljanja procesom visokih sigurnosnih zahtjeva. Digitalni senzori pomaka hidrauličkih cilindara omogućavaju kontroliranje rada iz kontrolne sobe pri čemu je greška linearnog pomaka pojedinog ventila manja od 1%. Odabrane klipno-aksijalne pumpe sa varijabilnim protokom, produžuju vijek hidrauličkog agregata zbog smanjene potrošnje unutarnjih komponenti te omogućuju aktiviranje hidrauličkih cilindara pomoću energije koja je pohranjena u hidrauličkim akumulatorima, dok je hidraulička pumpa u stanju mirovanja.

Kako bi hidraulički sustav nesmetano radio, potreban mu je servis jednom godišnje kao i kompletna revizija u intervalu od četiri godine, što je za sustav takvog kapaciteta i visoke razine gospodarske isplativosti minorni trošak. Upravo iz tog razloga ovim smo radom prikazali kako je sigurnost vrlo bitan faktor prilikom projektiranja hidrauličkog sustava. Kontrolnim proračunom dokazane su kvaliteta i točnost izrade samog sustava, te je dokazana iznimna snaga koju može proizvesti isključivo hidraulički sustav.

## 7. Literatura

- [1] Siminiati, D.: „Uljna hidraulika“, Tehnički fakultet sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 2012.
- [2] PARKER, Series PVP Variable Volume Piston Pumps Catalog HY28-2662-CD/US, 2018
- [3] College of Earth and Mineral Sciences (Pennsylvania State University) - The John A. Dutton e-Education Institute, “Fluid Catalytic Cracking (FCC)”, s interneta, <https://www.e-education.psu.edu/fsc432/content/fluid-catalytic-cracking-fcc>, 10.07.2020.
- [4] Fluid katalitičko kreiranje, s interneta, [https://hr.wikipedia.org/wiki/Kreiranje#Fluid\\_kataliti%C4%8Dko\\_kreiranje](https://hr.wikipedia.org/wiki/Kreiranje#Fluid_kataliti%C4%8Dko_kreiranje), 08.07.2020.
- [5] Prof. dr. sc. Katica Sertić – Bionda: “Zaštita okoliša u preradbi nafte”, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, s interneta, [https://www.fkit.unizg.hr/download/repository/3.Predavanje\\_-\\_kat.\\_kreiranje\\_%28ZOPN-2012-2013%29.pdf](https://www.fkit.unizg.hr/download/repository/3.Predavanje_-_kat._kreiranje_%28ZOPN-2012-2013%29.pdf), 09.07.2020.
- [6] Prof. dr. sc. Katica Sertić – Bionda: “Procesi prerade nafte”, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, s interneta, [https://www.fkit.unizg.hr/download/repository/2\\_PREDAVANJE%5B1%5D.pdf](https://www.fkit.unizg.hr/download/repository/2_PREDAVANJE%5B1%5D.pdf), 10.07.2020.
- [7] Petrić J.: “Hidraulika i pneumatika, 1. dio: Hidraulika”, Fakultet strojarstva i brodogradnje sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2012.
- [8] Tomulić V., Draženović D.: “Metoda praćenja rada postrojenja - fluid katalitički kreking”, Goriva i maziva : časopis za tribologiju, tehniku podmazivanja i primjenu tekućih i plinovitih goriva i inženjerstvo izgaranja, Vol. 43 No. 2, 2004.
- [9] <http://www.tapcoenpro.com/> 06.05.2020.

## 8. Popis slika

Slika 1-1 Rafinerija nafte Rijeka.....	8
Slika 2-1 Hidraulički cilindar spojen na klizni ventil.....	10
Slika 2-2 Pozicije kliznih ventila u procesu FCC-a .....	11
Slika 3-1 Pretvorba hidrauličke energije u rad.....	12
Slika 3-2 Hidraulički agregat .....	14
Slika 3-3 Hidraulička pumpa "Parker PVP16".....	16
Slika 3-4 Presjek klipno aksijalne pumpe i njezini dijelovi.....	17
Slika 3-5 Elektromotor hidrauličkog agregata .....	18
Slika 3-6 Spremnik ulja hidrauličkog agregata .....	19
Slika 3-7 Hidraulička jedinica kliznih ventila.....	21
Slika 3-8 Hidraulički cilindar i hidraulička jedinica (u pozadini).....	22
Slika 3-9 Hidraulički akumulatori unutar hidrauličkih jedinica.....	23
Slika 3-10 Upravljačka jedinica ("manifold").....	24
Slika 3-11 Elektromagnetni ventil.....	24
Slika 3-12 Elektronički kontroler .....	25
Slika 3-13 Hidraulički akumulatori.....	26
Slika 3-14 "Parker 2HX" hidraulički cilindar .....	27
Slika 3-15 Presjek hidrauličkog cilindra i klipnih elemenata .....	29
Slika 3-16 Fleksibilne hidrauličke cijevi "PFXG Ansi".....	29
Slika 4-1 Hidraulička pumpa i elektromotor.....	30
Slika 4-2 Prikaz rastavljene pumpe i njenih sastavnih dijelova.....	31
Slika 4-3 Proces poliranja razdjelne ploče .....	32
Slika 4-4 Razdjelna ploča nakon poliranja.....	32
Slika 4-5 Cilindarski bubanj.....	33
Slika 4-6 Ispitivanje hidrauličkih akumulatora .....	35
Slika 4-7 Tlačna provjera hidrauličkog cilindra.....	36



## 9. Popis tablica

Tablica 3-1 Svojstva hidrauličkog ulja "INA HFC 46" .....	20
Tablica 3-2 Maksimalna temperatura i tlak za brtveni materijal .....	28
Tablica 3-3 Veličine hidrauličkih cilindara "Parker 2HX" .....	28
Tablica 5-1 Dimenzije hidrauličkih cilindara.....	39
Tablica 5-2 Proračunate vrijednosti hidrauličkih cilindara .....	42
Tablica 5-3 Volumeni hidrauličkih cilindara .....	43

## 10. Sažetak

U ovome radu prikazana je detaljna analiza hidrauličkog sustava pogona Rafinerije nafte Rijeka, tojest, hidraulički sustav koji kontrolira proces prerade nafte FCC-a.

Prilikom revizije 2019. godine provedena je detaljna analiza sustava te su provedena servisiranja pojedinih komponenti sustava prilikom kojih su nastali autentični materijali iz Rafinerije nafte Rijeka i servisne radionice tvrtke „Hidel d.o.o.“. Uz autentične fotografije, rad prati nacrtana dokumentacija koja uključuje sheme hidrauličkih agregata i hidrauličkih jedinica za upravljanje kliznim ventilima te pripadajuće dispozicijske nacрте. Cilj ovog rada bio je prikazati važnost hidrauličkog sustava pri navedenom procesu te potvrditi njegovu efikasnost i gospodarsku isplativost. S obzirom da proces prerade nafte FCC-a zahtjeva iznimnu preciznost u radu, kao najbolje riješenje kontroliranja procesa nudi se upravo hidraulički sustav.

Ključne riječi:

Prerada nafte, katalitičko krekiranje, hidraulički sustav

### 10.1. Abstract

This paper presents a detailed analysis of the hydraulic system of the Rijeka Oil Refinery, that is, the hydraulic system that controls the FCC oil refining process.

During the audit in 2019, a detailed analysis of the system was performed and servicing of individual components of the system was performed, during which authentic materials from the Rijeka Oil Refinery and the service workshop of the company "Hidel d.o.o." were created.

In addition to authentic photographs, the paper is accompanied by documentation that includes schemes of hydraulic power units and hydraulic control units for sliding valves operation and the corresponding disposition drawings. The aim of this paper was to show the importance of the hydraulic system in this process and to confirm its efficiency and economic viability. Since the FCC oil refining process requires exceptional precision in operation, the hydraulic system is offered as the best solution for controlling the process.

Keywords:

Oil refining, catalytic cracking, hydraulic system