

# Unapređenje gospodarenja tehničkim sustavima u rafineriji nafte

---

Ranilović, Milovan

Scientific master's theses / Magistarski rad

2007

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:686444>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-23**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

UNAPREĐENJE GOSPODARENJA  
TEHNIČKIM SUSTAVIMA U RAFINERIJU NAFTE

MAGISTARSKI RAD

Dr.sc. IVO ČALA , izv. prof.

MILOVAN RANILOVIĆ, dipl. ing.

ZAGREB, 2006. god.

## I - PODACI ZA BIBLIOGRAFSKI KARTICU :

UDK: **658.58**

Ključne riječi: **održavanje, kvar, pouzdanost, postupak,  
rafinerija nafte, rotacioni strojevi, brtvenice**

Znanstveno područje : **TEHNIČKE ZNANOSTI**

Znanstveno područje: **Strojarstvo**

Institucija u kojoj je rad izrađen: **INA Rafinerija nafte Sisak**

Mentor rada: **dr. sc. Ivo Čala, izv. prof.**

Broj stranica: **152**

Broj slika: **57**

Broj tablica: **53**

Broj korištenih bibliografskih jedinica: **19**

Datum obrane: **30. 01. 2007.**

Povjerenstvo:

**Dr.sc. Nikola Šakić, red.prof.** – predsjednik povjerenstva

**Dr.sc. Ivo Čala, izv.prof.** – voditelj magistarskog rada

**Dr.sc. Niko Majdandžić, red.prof.** - Strojarskog fakulteta u

Slavonskom Brodu – član povjerenstva

Institucija u kojoj je rad pohranjen: **Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb**



Zagreb, 11.05.2006.

## Zadatak za magistarski rad

Kandidat: *Milovan Ranilović, dipl. ing. strojarstva*

Naslov zadatka: **Unapređenje gospodarenja tehničkim sustavima u rafineriji nafte**

### Sadržaj zadatka:

Svjetska istraživanja na području troškova održavanja postrojenja u naftnoj industriji pokazuju mnogo manje vrijednosti nego što je to kod nas. Posebno, vrijednosti svjetskih troškova održavanja u naftnoj industriji kreću se do 2,6 % od vrijednosti instaliranih tehničkih sustava (TS), odnosno oko 1,5 % od vrijednosti prodanih proizvoda. U našim rafinerijama ti troškovi održavanja su više nego trostruko veći. Razmatranje troškova održavanja, njihovih uzroka i otklanjanje njihovog nastanka, usmjerava na analizu zastoja TS i interpretaciju tih rezultata.

U ovom će se radu pratiti i obraditi zastoji TS, utvrditi njihovi uzroci, te dati prijedlog za poboljšanje postojećeg stanja i smanjenje zastoja i troškova održavanja. Na temelju tih rezultata potrebno je definirati opći postupak gospodarenja TS u rafinerijama nafte. U radu je potrebno:

- Dati uvodne napomene o procesima u rafinerijama nafte,
- Opisati stanje gospodarenja TS u rafineriji nafte,
- Opisati djelatnost i trendove u održavanju i gospodarenju TS,
- Obraditi sve podatke o zastojima i kvarovima TS u rafineriji kroz duže vremensko razdoblje,
- Analizirati prikupljene podatke i interpretirati dobivene rezultate,
- Predložiti poboljšanja gospodarenja TS u rafineriji nafte,
- Provesti ekonomsko vrednovanje predloženog rješenja,
- Predložiti opći postupak gospodarenja TS u naftnoj industriji

Tema ovog rada biti će razrađena na primjeru instaliranih TS u jednoj rafineriji nafte.

Zadatak zadan: 20.06.2006.

Rad predan:

Mentor:

Dr. sc. Ivo Čala, izv. prof.



Predsjednik Odbora za  
poslijediplomske studije:

Dr. sc. Tomislav Filetin, red. prof.

Voditelj smjera:

Dr. sc. Nikola Šakić, red. prof.

### III - ZAHVALA

- Zahvaljujem se na stručnoj pomoći, poticaju i potpori mentoru uzoru i velikom čovjeku, profesoru dr.sc. Ivi Čala, izv.prof.
- Zahvaljujem se na pomoći u prikupljanju i tehničkoj obradi podataka kolegama iz STSI d.o.o. Integrirani tehnički servisi - Zagreb i INA – Industrija nafte d.d. Zagreb – Rafinerija nafte Sisak,
- Zahvaljujem se obitelji (supruzi Sanji i sinovima Borjanu i Darjanu) na potpori, pomoći i razumijevanju.



## IV. SADRŽAJ

I	Podaci za bibliografsku karticu . . . . .	2
II	Zadatak za magistarski rad . . . . .	3
III	Zahvala . . . . .	4
IV	Sadržaj . . . . .	5
V	Predgovor . . . . .	7
VI	Sažetak . . . . .	8
VII	Ključne riječi . . . . .	10
VIII	Popis oznaka . . . . .	11
IX	Popis slika . . . . .	12
X	Popis tablica . . . . .	15
1.	UVOD . . . . .	18
1.1.	Cilj istraživanja . . . . .	18
1.2.	Uvodno o rafinerijskoj preradi nafte . . . . .	18
1.3.	Stanje u promatranoj rafineriji nafte . . . . .	22
1.4.	Stanje održavanja u promatranoj rafineriji nafte . . . . .	24
2.	ODRŽAVANJE . . . . .	29
2.1.	Uvodne napomene . . . . .	29
2.2.	Kvar . . . . .	34
2.3.	Strategija održavanja . . . . .	41
2.4.	Upravljanje održavanjem . . . . .	45
2.5.	Tipovi održavanja . . . . .	47
2.6.	Tehnologije održavanja . . . . .	58
2.7.	Uspoređivanje održavanja . . . . .	62
3.	SNIMANJE PODATAKA ZA ISTRAŽIVANJE . . . . .	64

4.	ANALIZA PRIKUPLJENIH PODATAKA .....	78
4.1.	Općenito o prikupljenim podacima .....	78
4.2.	Zastoji postrojenja .....	78
4.3.	Kvarovi TS .....	83
4.4.	Kvarovi rotacijskih strojeva .....	88
4.5.	Kvarovi na procesnim vezama .....	93
4.6.	Kvarovi rotacijskih strojeva na procesnim vezama .....	97
4.7.	Kvarovi samo rotacijskih strojeva .....	101
4.8.	Ukupni podaci o kvarovima rotacijskih strojeva .....	104
4.9.	Brtvenice .....	107
5.	PRIJEDLOG POBOLJŠANJA .....	112
6.	EKONOMSKI EFEKTI .....	125
6.1.	Troškovi kvara rotacijskih strojeva .....	126
6.2.	Troškovi zastoja postrojenja .....	127
6.3.	Troškovi zastoja nastali na procesnim vezama .....	128
6.4.	Ukupni troškovi zastoja rotacijskih strojeva .....	129
6.5.	Isplativost poboljšanja .....	130
7.	PRIJEDLOG POSTUPKA GOSPODARENJA TS .....	134
8.	ZAKLJUČAK .....	145
9.	LITERATURA .....	148
10.	ŽIVOTOPIS .....	151

## V - PREGOVOR

Rafinerije nafte prerađuje sirovu naftu sa ciljem izdvajanja derivata nafte za industrijske potrebe i široku potrošnju. U procesu se koriste brojni, složeni i skupi TS, koji su izloženi zahtjevnim uvjetima u eksploataciji. Održavanje TS je izuzetno složen zadatak i zahtjeva multidisciplinarno izučavanje procesa i mehanizama djelovanja unutar i oko tih procesa, kako bi se zadovoljili zadani ciljevi – optimalizacija procesa održavanja i korištenja TS, te minimiziranje troškova. Održavanje TS mora biti sastavni dio procesa proizvodnje tijekom cjelokupnog životnog ciklusa. Ne postaji jednostavno i jedno „najbolje“ rješenje sustava održavanja. To je živi sustav, koji se mora stalno dograđivati i usavršavati. Visoka cijena investicija u TS i zahtjev za neprekinutim procesom proizvodnje tijekom duljeg vremenskog razdoblja zahtijevaju da održavanje bude ne samo dobro, već vrhunsko, ali ne preskupo.

Zadnjih dvadeset godina u rafinerijama nafte u Hrvatskoj nije bilo značajnijih investicijskih ulaganja u nova postrojenja, a rafinerija u Sisku bila je zahvaćena i ratnim djelovanjima što je pred održavanje postavilo dodatne zahtjeve, ali kvalitetno rukovanje i održavanje TS je omogućila rad postrojenja i u takvim uvjetima. Ipak, dugogodišnjim radom na održavanju i promatranjem načina rada uočavaju se i neki nedostaci, problemi i nedorečenosti. To otvara mogućnosti unapređenja održavanja.

Želja je ukazati na neke od uočenih nedostataka sa ciljem njihovog otklanjanja, te poboljšanja postojećeg stanja. Cilj nije, niti je to moguće, rješavanje svih problema održavanja, već pokušaj da se na bazi promatranja, prikupljanja i obrade podataka, te iskustva i stečenih znanja ukaže na neke od mogućnosti poboljšanja, koje uvijek postoje. To je tek jedan mali kamenčić u mozaiku koje se zove održavanje TS u rafinerijama nafte. Prava vrijednost rada došla bi do izražaja kada bi on poslužio kao podloga pri izboru novih TS ili konstrukcijskih rješenja za nove TS na postrojenjima koja će se instalirati u budućnosti ili pri usvajanju novih koncepcija održavanja u rafinerijama nafte, te primjenom postupka unapređenja gospodarenja TS u rafinerijama nafte ostvariti poboljšanja u radu TS te uštede u održavanju i poslovanju.



# **UNAPREĐENJE GOSPODARENJA TEHNIČKIM SUSTAVIMA U RAFINERIJI NAFTE**

MAGISTARSKI RAD

## **VI - SAŽETAK**

Održavanje TS u rafineriji nafte je vrlo složen i zahtjevan zadatak. Potrebno je primjenjivati najsuvremenije koncepcije i tehnike održavanja kako bi se postigli optimalni učinci održavanja i povoljni ekonomski efekti. U radu je dan pregled koncepcija održavanja i spoznaja o održavanju uključujući i najnovije trendove daljnjeg razvoja održavanja. Dana je i analiza stanja održavanja rafinerije nafte u Sisku, te osvrt na mogućnosti primjene navedenih spoznaja o održavanju u konkretnom slučaju.

Određivanje i korištenje suvremenih značajki TS kao što su: raspoloživost i pouzdanost TS, u praksi omogućava donošenje argumentiranih odluka za upravljanje održavanjem i uopće proizvodnim procesom. Prikupljeni su podaci o zastojima tijekom razdoblja od 1999. godine do polovice 2005 godine (6.5 godina), te je napravljena njihova obrada i analiza.

Na temelju dobivenih rezultata analize, definiran je najznačajniji uzročnik na koji se može djelovati u cilju poboljšanja stanja. Za otklanjanje uzročnika kvarova, osmišljeno je i predloženo tehničko rješenje koje daje poboljšanje postojećeg stanja. Na kraju su razmotreni ekonomski efekti koji se ostvaruju primjenom prijedloga poboljšanja. Prikazan je pregled potrebnih investicija, troškova prije i nakon poboljšanja, te ostvarene uštede i period povrata investicije.

Na temelju ovih spoznaja, čitav postupak je poopćen i napravljen je algoritam postupka za unapređenje gospodarenja TS u rafinerijama nafte, a postoje mogućnosti njegove primjene i u industriji općenito.

# **PROMOTION MANagements TECHNICAL SYSTEMS IN OIL REFINERY**

MASTER'S THESIS

## **VI - A B S T R A C T**

Maintenance of TS in oil refinery is a very complex and demanding task. It is necessary to apply the most up-to-date concepts and techniques of maintenance in order to achieve optimal effect in maintenance and favorable economic effects.

In the work the overview of maintenance works and cognitions about the maintenance including the newest trends of further development of maintenance are provided. The analysis of states of maintenance for the case Oil refinery in Sisak is provided, and overview of possibilities of quoted cognitions use about the maintenance in the concrete case.

Determining and use of contemporary TS characteristics such as availability and reliability of TS, makes possible the bringing reasonable decisions for the management maintenance in practice and the production process in general. Data about interruptions throughout the period from 1999 to 2005 (6.5 years) have been gathered, processed and analyzed.

On the basis of the obtained analysis results, the key cause that can be improved has been defined. Hereby the technical solution has been suggested for improving the present condition. And in the end economic effects resulting with the application of this solution have been taken into account. Review of necessary investments, costs prior and after improvements have been presented as well as realized savings and the period of returns of investment.

On the basis of these results whole procedure has been generalized and has been made the algorithm of procedure for the promotion management TS in oil refinery, and there is possibility of its use in all industry.

## **VII KLJUČNE RIJEČI :**

- 1 Održavanje
- 2 Kvar
- 3 Pouzdanost
- 4 Postupak
- 5 Rafinerija nafte
- 6 Rotacijski stroj
- 7 Brtvenice

## **VII KEY WORDS :**

- 1 Maintenance
- 2 Failure
- 3 Reliability
- 4 Procedure
- 5 Oil refinery
- 6 Rotating machinery
- 7 Stuffing box

## VIII - POPIS OZNAKA

<b>OZNAKA</b>	<b>NAZIV (hrvatski i engleski)</b>
<b>TS</b>	Tehnički sustav (Technical system)
<b>LCC</b>	Life Cycle Cost (Troškovi tijekom životnog vijeka)
<b>PM</b>	Preventive Maintenance (Preventivno održavanje)
<b>PDM</b>	Predictive Maintenance (Predvidivo održavanje)
<b>TPM</b>	Total Productive Maintenance (Sveukupno učinkovito održavanje)
<b>TPEM</b>	Total Productive Equipment Management (Sveukupno učinkovito upravljanje imovinom)
<b>RCM</b>	Reliability Centered Maintenance (Održavanje usmjereno na pouzdanost)
<b>CMMS</b>	Computerized Maintenance Management Systems (Računalom podržano upravljanje održavanjem)
<b>OEE</b>	Overall Equipment Effectives (Koncept sveukupne efikasnosti)
<b>TQM</b>	Total Quality Management (Sveukupno upravljanje kvalitetom)
<b>JIT</b>	Just-in-time (U pravo vrijeme)
<b>BCM</b>	Business Centered Maintenance (Održavanje usmjereno na poslovanje)
<b>RBI</b>	Risk Based Inspection (Kontrola na temelju rizika)
<b>SVIK</b>	Srednje vrijeme između kvarova ( Mean time between failures-MTBF)

## IX - POPIS SLIKA

<b>RB</b>	<b>Slika br.</b>	<b>NAZIV</b>
1	1.1.	Shematski prikaz tijeka procesa prerade nafte (A. Destilacija)
2	2.1.	Vrste održavanja
3	2.2.	Utjecaj pojedinih struka na ukupne troškove životnog vijeka TS
4	2.3.	Grubi dijagram tijeka procesa održavanja
5	2.4.	Trendovi u održavanju
6	2.5.	P – F krivulja kvarova
7	2.6.	Povijesni pregled razvoja spoznaje o distribuciji kvarova
8	2.7.	Uvjetovanost vjerojatnosti kvartova
9	2.8.	Grafički prikaz nastanka kvarova tipa «A»
10	2.9.	Grafički prikaz nastanka kvarova tipa «B»
11	2.10.	Grafički prikaz nastanka kvarova tipa «C»
12	2.11.	Grafički prikaz nastanka kvarova tipa «D»
13	2.12.	Grafički prikaz nastanka kvarova tipa «E»
14	2.13.	Grafički prikaz nastanka kvarova tipa «F»
15	2.14.	Frekvencija učestalosti kvarova tijekom vremena eksploatacije
16	2.15.	Utjecaj dijelova životnog vijeka TS na troškove
17	2.16.	Prikaz odnosa troškova i intervala održavanja
18	2.17.	Prikaz ovisnosti ulaganja i posljedica
19	2.18.	Prikaz svih utjecajnih elemenata na definiranje izbora tj. odgovarajuće strategije održavanja
20	2.19.	Životni vijeka TS
21	2.20.	Pravilo uspjeha i neuspjeha
22	2.21.	Razvoj o održavanju tijekom vremena
23	2.22.	Razvoj pristupa i koncepcija održavanja
24	2.23.	Osnovni stupovi TPM

<b>RB</b>	<b>Slika br.</b>	<b>NAZIV</b>
25	2.24.	Prikaz planskog održavanja
26	2.25.	Pregled RCM procesa
27	2.26.	Ekspertni sustav
28	2.27.	Blok dijagram tijeka poslova održavanja na popravku
29	2.28.	Dijagram tijeka donošenja odluke o vrsti održavanja.
30	3.1.	Shema povezanosti procesa u INA Rafineriji nafte u Sisku
31	3.2.	Histogramski prikaz rada i zastoja atmosferske destilacije
32	3.3.	Histogramski prikaz rada i zastoja Vakuum destilacije
33	3.4.	Histogramski prikaz rada i zastoja FCC
34	3.5.	Histogramski prikaz rada i zastoja Unifininga KP-2
35	3.6.	Histogramski prikaz rada i zastoja Unifininga KP-4
36	3.7.	Histogramski prikaz rada i zastoja Unifininga KP-5
37	3.8.	Histogramski prikaz rada i zastoja Katalitičkog reforminga
38	3.9.	Histogramski prikaz rada i zastoja Obrade plina KP-4
39	3.10.	Histogramski prikaz rada i zastoja Obrade plina KP-6
40	3.11.	Histogramski prikaz rada i zastoja Kokinga
41	3.12.	Histogramski prikaz rada i zastoja Kalcinacije
42	4.1.	ABC analiza podataka o ukupnom broju zastoja postrojenja prema vrstama
43	4.2.	ABC analiza podataka o ukupnom trajanju zastoja postrojenja po vrstama
44	4.3.	ABC analiza podataka o ukupnom broju kvarova i grupa TS gdje su kvarovi nastali
45	4.4.	ABC analiza podataka o ukupnom trajanju kvarova i grupa TS gdje su kvarovi nastali
46	4.5.	ABC analiza podataka o broju kvarova rotacijskih strojeva po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su kvarovi nastali

<b>RB</b>	<b>Slika br.</b>	<b>NAZIV</b>
47	4.6.	ABC analiza podataka o trajanju kvarova rotacijskih strojeva po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su kvarovi nastali
48	4.7.	ABC analiza podataka o broju kvarova na procesnim vezama po grupama TS gdje su nastali kvarovi
49	4.8.	ABC analiza podataka o trajanju kvarova TS na procesnim vezama po grupama TS gdje su nastali kvarovi
50	4.9.	ABC analiza podataka o broju kvarova na procesnim vezama izazvanih kvarom rotacijskih strojeva po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su nastali kvarovi
51	4.10.	ABC analiza podataka o trajanju kvarova na procesnim vezama izazvanih kvarom rotacijskih strojeva po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su nastali kvarovi
52	4.11.	ABC analiza podataka o broju kvarova rotacijskih strojeva po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su nastali kvarovi
53	4.12.	ABC analiza podataka o trajanju kvarova rotacijskih strojeva po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su nastali kvarovi
54	4.13.	Presjek jednostavne mehaničke brtvenice
55	4.14.	Shematski prikaz tekućeg filma na mehaničkoj brtvenici
56	5.1.	Shema ugradnje ciklonskog separatora krutih čestica sa ispiranjem brtvenih površina
57	7.1.	Shematski prikaz prijedloga postupka unapređenja gospodarenja TS



## X - POPIS TABLICA

<b>RB</b>	<b>Tablica br.</b>	<b>NAZIV</b>
1	1.1.	Parametri procesa prerade nafte
2	1.2.	Preradbeno postrojenja u rafineriji nafte u Sisku
3	1.3.	Troškovi održavanja u odnosu na vrijednost prodanih proizvoda na godinu
4	1.4.	Troškovi održavanja na godinu u odnosu na vrijednost instaliranih TS
5	2.1.	Prednosti i nedostaci vlastitog i vanjskog održavanja
6	3.1.	Uzroci zastoja vakuum destilacije u 2002. godini
7	3.2.	Uzroci zastoja atmosferske destilacije (ukupno)
8	3.3.	Uzroci zastoja vakuum destilacije (ukupno)
9	3.4.	Uzroci zastoja FCC-a (ukupno)
10	3.5.	Uzroci zastoja Unifininga KP-2 (ukupno)
11	3.6.	Uzroci zastoja unifininga KP-4 (ukupno)
12	3.7.	Uzroci zastoja unifininga KP-5 (ukupno)
13	3.8.	Uzroci zastoja Katalitičkog reforminga (ukupno)
14	3.9.	Uzroci zastoja Obrade plina KP - 4 (ukupno)
15	3.10.	Uzroci zastoja Obrade plina KP - 6 (ukupno)
16	3.11.	Uzroci zastoja Kokinga (ukupno)
17	3.12.	Uzroci zastoja Kalcinacije (ukupno)
18	4.1.	Podaci sa ukupnom broju zastoja po postrojenjima po vrsti
19	4.2.	Odnos broja i vrste zastoja
20	4.3.	Podaci sa ukupnom trajanju zastoja postrojena po vrsti
21	4.4.	Odnos trajanja i vrste zastoja
22	4.5.	Broj kvarova TS po grupama TS gdje su kvarovi nastali
23	4.6.	Odnos broja kvarova TS i grupa TS gdje su kvarovi nastali

<b>RB</b>	<b>Tablica br.</b>	<b>NAZIV</b>
24	4.7.	Trajanje kvarova TS po grupama TS gdje su kvarovi nastali
25	4.8.	Odnos trajanja kvarova TS i uzroka gdje su kvarovi nastali
26	4.9.	Broj kvarova rotacijskih strojeva za svako postrojenje po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su kvarovi nastali
27	4.10.	Odnos broja kvarova rotacijskih strojeva i dijelova rotacijskih strojeva gdje su kvarovi nastali
28	4.11.	Trajanje kvarova rotacijskih strojeva za svako postrojenje po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su kvarovi nastali
29	4.12.	Odnos trajanja kvarova rotacijskih strojeva po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su kvarovi nastali
30	4.13.	Broj kvarova na procesnim vezama po grupama TS gdje su kvarovi nastali
31	4.14.	Odnos broja kvarova na procesnim vezama po grupama TS gdje su kvarovi nastali
32	4.15.	Trajanje kvarova na procesnim vezama po grupama TS gdje su kvarovi nastali
33	4.16.	Odnos trajanja kvarova na procesnim vezama po grupama TS gdje su kvarovi nastali
34	4.17.	Broj kvarova na procesnim vezama izazvanih kvarom rotacijskih strojeva po dijelu rotacijskih strojeva gdje su kvarovi nastali
35	4.18.	Odnos broja kvarova na procesnim vezama izazvanih kvarom rotacijskih strojeva po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su kvarovi nastali
36	4.19.	Trajanje kvarova na procesnim vezama izazvanih kvarom rotacijskih strojeva po dijelu rotacijskih strojeva gdje su kvarovi nastali

<b>RB</b>	<b>Tablica br.</b>	<b>NAZIV</b>
37	4.20.	Odnos trajanja kvarova na procesnim vezama izazvanih kvarom rotacijskih strojeva po dijelovima gdje su nastali
38	4.21.	Broj kvarova rotacijskih strojeva po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su kvarovi nastali
39	4.22.	Odnos broja kvarova rotacijskih strojeva po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su kvarovi nastali
40	4.23.	Trajanje kvarova rotacijskih strojeva po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su kvarovi nastali
41	4.24.	Odnos trajanja kvarova rotacijskih strojeva po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su kvarovi nastali
42	4.25.	Ukupni broj kvarova brtvenica i posljedice tih kvarova
43	4.26.	Udio broja kvarova brtvenica rotacijskih strojeva u ukupnom broju po posljedicama kvarova
44	4.27.	Ukupno trajanje kvarova brtvenica rotacijskih strojeva i posljedice tih kvarova
45	4.28.	Udio trajanja kvarova brtvenica na rotacijskih strojeva u ukupnom trajanju po posljedicama kvarova
46	4.29.	Kvarovi mehaničkih brtvenica
47	5.1.	Ključni podaci za ukupne zastaje izazvane kvarom rotacijskih strojeva
48	5.2.	Pregled rotacijskih strojeva na kojima je preporučljivo ugraditi ciklonske separatore
49	5.3.	Očekivano smanjenje broja kvarova brtvenica
50	5.4.	Očekivani broj kvarova po grupama
51	5.5.	Podaci o smanjenju broja zastoja prouzročenih kvarom brtvenica rotacijskih strojeva
52	5.6.	Učinak prijedloga poboljšanja na SVIK
53	6.1.	Smanjenje trajanje zastoja uslijed kvarova brtvenica

# 1. UVOD

## 1.1. Cilj istraživanja:

Razmatrano je stanje održavanja u naftnoj industriji, učinkovitost i uspješnost tog održavanja i to na primjeru rafinerije nafte. Pri tome su istraživani zastoji postrojenja za preradu nafte, sa naglaskom na kvarovima TS, uzrocima kvarova i mogućnostima smanjenja broja i trajanja tih kvarova.

Cilj je smanjivanje broja i trajanja zastoja rada postrojenja za preradu nafte.

Istraživanje se bazira na obradi podataka o zastojima i kvarovima TS u rafineriji nafte u Sisku. Provodi se kroz određivanje i korištenje nekih od značajki TS, kao što su raspoloživost i pouzdanost.

Na temelju tih podataka cilj je donošenje odluke o unapređenju održavanja i tako utjecati na smanjivanje broja i trajanje kvarova TS, te zastoja postrojenja što je direktno povezano s troškova održavanja i ukupnog poslovanja.

Osim toga razmatrani su i novi trendovi u oblasti održavanja s osvrtom na mogućnost njihove primjene na konkretnom primjeru.

## 1.2. Uvodno o rafinerijskoj preradi nafte

Na početku se mora naglasiti da će se koristiti uobičajena terminologija u naftnoj industriji, jer neki izrazi nemaju odgovarajući prijevod na hrvatski jezik, a jednim dijelom takvi izrazi i ne postoje.

Nafta je sirovina koja služi kao baza za razvoj cijelog niza drugih industrija. Mnoštvo je proizvoda koji se dobivaju njezinom preradom i upotrebljavaju kao gotovi proizvodi ili kao sirovina za neku drugu industriju. Naftu čovjek poznaje nekoliko tisućljeća i kroz povijest ju je upotrebljavao u razne svrhe : medicina, građevinarstvo, rasvjeta, gorivo, ratno sredstvo (grčka vatra) itd. Danas najveću primjenu derivati

nafte imaju kao goriva i maziva u suvremenoj industriji, kao sirovina u petrokemijskoj industriji, u proizvodnji deterdženata, amonijaka, sumpora i raznih drugih proizvoda.

Sirova nafta je tekućina smeđe-zelena-crne boje. Po svom kemijskom sastavu je vrlo složena smjesa raznih ugljikovodikovih spojeva. Redoviti pratioci ugljika i vodika u nafti su sumpor, dušik i kisik. Sadržaj lakih frakcija (benzini, petrolej i plinsko ulje) i količina sumpora su ono što prvenstveno određuje vrijednost nafte. Nafta se crpi iz zemlje bušotinama na naftnim poljima (nalazištima) i zatim se doprema u rafinerije nafte naftovodima, tankerima, teglenicama ili željezničkim cisternama na preradu. Nafta se uglavnom sastoji od ugljikovodika koji su parafinske, aromatske i naftenske strukture. Struktura određuje tip nafte, a različiti tipovi nafte zahtijevaju i posebne postupke prerade, određuju njihov slijed i za to potrebna TS, kao i materijale za izradu TS itd.

Rafinerije nafte su postrojenja za preradu nafte. U njima se toplotnim i kemijskim postupcima iz nafte izdvajaju različiti naftni derivati koji imaju široku primjenu u industriji i svakodnevnom životu ljudi. Za proizvodnju derivata iz nafte u pravilu se koriste samo kontinuirani procesi. Postupke prerade nafte obično razvrstavamo na [1] :

- Primarne – koji ne mijenjaju ni veličinu ni strukturu molekula ugljikovodika u nafti (to su procesi separacije fizikalnim operacijama : destilacija, apsorpcija, ekstrakcija, adsorpcija, kristalizacija i dr.)
- Sekundarni – koji kemijski mijenjaju veličinu i tip molekule ugljikovodika u nafti, (to su termičko i katalitičko krekiranje, hidrokrekiranje, reformiranje, izomerizacija, polimerizacija, alkilacija, hidrodesulfurizacija i sl.)
- Petrokemijski – iz derivata nafte dobivaju se sintetski plin, olefini i smjese aromata, koji su sirovine za dobivanje etilena, propilena, polietilena, plastičnih masa itd.

Osnovni princip prerade nafte je primarna prerada nafte – atmosferskom i vakuum destilacijom, pri čemu se toplotnim djelovanjem mijenja udio ugljikovodika u nafti, a derivati izdvajaju kao frakcije. Kako se tim postupcima ne mogu dobiti dovoljne količine, a često ni željena kvaliteta proizvoda (derivata nafte) pribjegava se tzv. sekundarnim metodama. Kod sekundarnih postupaka se kemijskim i toplotnim djelovanjem mijenja struktura ugljikovodika i tako dobivaju željeni derivati. Zbog toga se sekundarni procesi prerade nafte (*Creaking, Reforming, itd.*), vrlo često nazivaju i

kemijska prerada nafte. Primarni procesi prerade nafte nisu principijelno doživjeli bitne izmjene od samih početaka prerade nafte, dok se kod sekundarnih tehnologija stalno usavršava i povećava broj procesa prerade. Sve veću primjenu imaju katalitički procesi koji omogućavaju preradu različitih sirovina, daju veći stupanj iskoristivosti uz optimalne uvjete te smanjuju vrijeme kemijskih reakcija. Uključivanje sve većeg broja procesa sekundarne prerade nafte dovelo je do sve složenijeg rada u tehnologiji prerade nafte i potrebe povezivanja tehnoloških procesa primarne i sekundarne prerade u tehnološke cjeline.

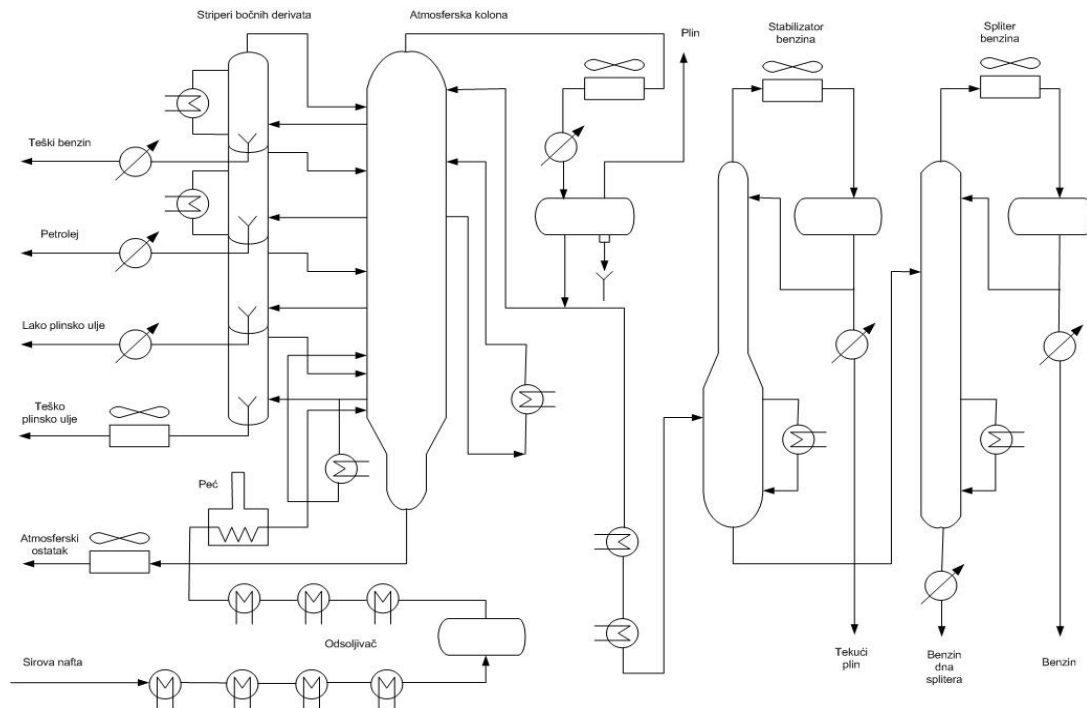
Više je načina klasifikacije rafinerija nafte. U osnovi kod svih podjela to ovisi o tipu nafte i željenom asortimanu proizvoda. Prema dubini prerade koja se ostvaruje u rafinerijama nafte, prema S. Baarnu razlikujemo slijedeća četiri tipa rafinerija nafte:  
[1]

- A - Najjednostavniji tip rafinerije nafte sa atmosferskom destilacijom i katalitičkim krekingom,
- B - Složeni tip rafinerije nafte sa kompletnom primarnom i sekundarnom preradom nafte,
- C - Kompleksni tip rafinerije nafte koji uz kompletnu primarnu i sekundarnu preradu nafte ima i proizvodnju mazivih ulja,
- D - Petrokemijski tip rafinerije nafte sa proizvodnjom petrokemijskih produkata iz derivata nafte.

Atmosferska destilacija je postupak separacije sastojaka nafte. Zagrijavanjem se omogućuje da lakše komponente isparavaju i zatim odvojeno ukapljaju, a ostaje teži ostatak, koji se izdvaja na dnu kolone. Kao rezultat destilacije sirova nafta se razdvoji na više ili manje sastavnih dijelova, čiji sastav se razlikuje od sastava početne smjese.

Za normalan rad rafinerijskih postrojenja za rafinerijsku preradu nafte potrebno je osigurati stalne i pouzdane izvore te dobavu odgovarajućih količina i kvalitete : vode, vodene pare, električne energije i komprimiranog zraka, te raznih aditiva itd.. Pored toga u sastavu rafinerije nafte mogu biti i pogoni tzv. tercijarnih djelatnosti u kojima se proizvode i/ili dorađuju pojedini produkti koji se javljaju kao nusprodukti pri rafinerijskoj preradi nafte i naftnih derivata, npr. vodik, sumpor, ugljik, razne kiseline, destilirana voda, razni sprejevi, dodaci motornim gorivima i sl.

Osnovni proces naftne prerade je destilacija. Osnovni proces prerade nafte može se prikazati shematski na slijedeći način , kao na slici 1.1.



**Slika 1.1. – Shematski prikaz tijeka procesa prerade nafte (A. Destilacija) [1]**

Za odvijanje procesa prerade nafte koristi se razna TS. Najčešće se susreću i smatraju standardnim TS u preradi nafte : rezervoari za uskladištenje nafte i njezinih produkata, cijevi i cijevna armatura, tlačne posude, odsoljivači, procesne peći, kolone, reaktori, uređaji za izmjenu topline, separatori, uređaji za filtriranje, centrifuge, miješalice, pumpe, turbine, kompresori, ventilatori i sl.

Osim toga tu su i drugi TS koji su neophodni za odvijanje procesa, ali nisu specifični samo za rafinerijsku preradu nafte, kao što su : čelične i druge konstrukcije, elektro opreme i instalacije, mjerna i regulacijska oprema i instalacije, transportna sredstva i uređaji, građevinski objekti i instalacije.

Iz samog nabrojanja očita je obimnost i raznovrsnost rafinerijskih TS. Kada se tome pridodaju zahtjevni parametri procesa koji se odvijaju u tim postrojenjima (tlak, temperatura, agresivnost medija i sl.) logički slijedi da je i održavanje rafinerijske opreme složen i zahtjevan zadatak.



### 1.3. Stanje u promatranoj rafineriji nafte

Razmatranja se temelje na primjeru rafinerije nafte u Sisku. Prema tipu rafinerijske prerade, promatrana rafinerija nafte koncipirana je kao kombinacija rafinerija tipa B i D, tj. kao složeni tip rafinerije nafte sa kompletnom primarnom i sekundarnom preradom nafte, te proizvodnjom dijela petrokemijskih produkata (aromata) iz derivata nafte.

Parametri (tlak i temperatura) ovisno o procesu variraju, a za procese na postrojenjima promatrane rafinerije nafte kreću se kako je to prikazano u tablici 1.1. :

**Tablica 1.1. Parametri procesa prerade nafte**

Proces	Tlak (bar)	Temperatura (°C)
Atmosferska destilacija	1	360
Vakuum destilacija	0,9	500
Fluid catalytic creaking	60	750
Unifining	60	250
Obrada plina	30	350
Koking	3	400
Kalcinacija	1	1350
Bitumen	3	300

Promatrana rafinerija nafte raspolaže i vlastitim energetsom kompleksom sa postrojenjima za dobavu i pripremu vode te obradu otpadnih voda, proizvodnju i distribuciju komprimiranog zraka, pare i električne energije.

Projektirani preradbeni kapaciteti rafinerije nafte u Sisku do 1990. godine bili su preko 6 milijuna tona primarne prerade nafte godišnje, što je znatno više od potreba gravitacijskih tržišta.

Rafinerija nafte u Sisku je stoga reprofilirana i sada kapaciteti njene primarne prerade nafte godišnje iznosi oko 2 – 2,3 milijuna tona.

U tablici 1.2. prikazana su postrojenja za preradu nafte koji čine promatranu rafineriju nafte s njihovim projektnim kapacitetima.

**Tablica 1.2. Preradbeno postrojenja rafinerije nafte u Sisku**

Oznaka	Naziv postrojenja za preradu nafte	Projektni kapacitet (t / god)
P 1	Atmosferska destilacija KP-6	4.000.000
P 2	Vakuum destilacija	850.000
P 3	Fluid catalytic creaking (FCC)	470.000
P 4	UNIFINING KP-2	170.000
P 5	UNIFINING KP-4	150.000
P 6	UNIFINING KP-5	690.000
P 7	Katalitički reforming	680.000
P 8	Obrada plina KP-4	31
P 9	Obrada plin KP-5	72.000
P 10	Koking	266.000
P 11	Kalcinacija	67.000
P 12	Postrojenje aromata	420.000
P 13	Bitumen	330.000

Proizvodni program promatrane rafinerije nafte obuhvaća slijedeće proizvode : suhi plin, tekući naftni plina, mlazno gorivo, petrolej, specijalni benzini, motorni benzini, Diesel gorivo, lož ulje, bitumen i petrolkoks.

Kako se može vidjeti proizvodni program promatrane rafinerije nafte obuhvaća proizvode od plina do bitumena i «petrolkoks». Petrolkoks je specifičnost proizvodnog programa rafinerije nafte u Sisku, koji ima primjenu u izradi četkica elektromotora obloga elektroda i sl.

Postrojenja za preradu nafte u promatranoj rafineriji nafte koncipirana su kao kombinirana postrojenja. Kombinirano postrojenje objedinjuju rad više procesnih postrojenja koja su povezana logičkim slijedom prerade nafte i naftnih derivata.

Svako postrojenje vrši samo jednu vrstu prerade nafte npr. atmosfersku destilaciju, kreking, koking, kalcinaciju i sl.

Pojedina postrojenja mogu raditi neovisno o radu matičnog kombiniranog postrojenja, pri čemu se logički ukomponiraju u proces prerade nafte sa postrojenjima nekog drugog kombiniranog postrojenja. To rafineriji nafte daje veću fleksibilnost kod udovoljavanja promjenljivih zahtjeva na tržištu u pogledu asortimana proizvoda, te smanjuje osjetljivost rafinerijskih postrojenja na promjenu kvalitete i tipa ulazne sirovine, a daje i izvjesne pogodnosti kod izvršavanja aktivnosti održavanja rafinerijskih TS.

Postrojenja za završnu obradu derivata čine organizacijski zasebnu cjelinu i nisu obuhvaćena u razmatranjima. Sva energetska postrojenja i postrojenje za preradu aromata također su izuzeta iz razmatranja, te je ova rafinerija nafte promatrana samo kao tipična složena rafinerija za preradu nafte tipa B.

Kako postrojenje za obradu bitumena u većem dijelu promatranog razdoblja nije radilo, ni ono nije uvršteno u razmatranja.

#### **1.4. Snimanje stanja održavanja u promatranoj rafineriji nafte**

Rafinerije nafte u Sisku se gradila i razvijala tijekom dugog vremenskog perioda od davne 1923. godine do 1986. godine. Nakon toga nije bilo izgradnje novih postrojenja, ali su parcijalno vršene izmjene TS, rekonstrukcije itd.

U promatranoj rafineriji nafte susreće se sa slijedećim problemima, koji nisu uobičajeni u naftnoj industriji u svijetu :

## **A. Sustav mjera i normi**

U naftnoj industriji općenito, pa samim time i u rafinerijama nafte široka je primjena Anglo-saksonskih mjernih jedinica (inch, pound itd.), a uz to se kod nas normalno primjenjuje i međunarodni sistem mjernih jedinica.

Primjenjuju se i različite norme po kojima je izvršena standardizacija pojedinih dijelova i sklopova TS.

Tako se u svakoj rafineriji nafte i naftnoj industriji kod nas susreću za naftnu industriju uobičajene američke norme (ASA, ASTM itd.), zatim DIN, JUS, HRN i sada najnovije EN.

To u praksi dovodi do toga da je nemoguće izvršiti međusobnu zamjenu pojedinih dijelova standardiziranih po različitim normama i različitom sustavu mjernih jedinica.

Stoga je neophodno na skladištu imati veći broj različitih zamjenskih dijelova, pa i kada su u pitanju vrlo jednostavni dijelovi (vijci, cijevi i sl.).

To na kraju neminovno rezultira povećanjem troškova održavanja i cjelokupnog poslovanja u rafinerije nafte u Sisku.

## **B. Proizvođači TS**

U promatranoj rafineriji nafte prisutan je veliki broj različitih proizvođača TS. To je posljedica velikog broja različitih TS koja se koriste u rafinerijskoj preradi nafte. Međutim, i kod TS istog tipa, u rafineriji nafte u Sisku susreće se veliki broj različitih proizvođača.

Tako ima preko šezdeset proizvođača pumpi, dvadesetak proizvođača elektromotora, desetak proizvođača cijevi i cijevnih armatura itd. Čak i samo nabiranje proizvođača pojedinih vrsta TS instaliranih u promatranoj rafineriji nafte i za dobre poznavatelje (specijaliste) za tu vrstu TS zahtjevan je posao, što samo po sebi govori i složenosti organiziranja održavanja za te TS.

Uz to i kod istih proizvođača vrlo je malo ili nimalo međusobno zamjenljivih dijelova, sklopova i/ili kompletnih strojeva, i kod TS istih ili bliskih tehničko-tehnoloških karakteristika.

### C. Konceptijska rješenja

U promatranoj rafineriji nafte ima i različitih konceptijskih pristupa rješavanju problema. Očiti primjer je sustav regulacijske tehnike. U starom dijelu rafinerije nafte u Sisku (izgrađenom do 1971. god.) regulacija se bazirala na pneumatici, a u novom dijelu (izgrađeno nakon 1971. god.) za regulaciju je primijenjena elektronika.

Pred održavatelje TS promatrane rafinerije nafte postavljaju se uz uobičajene i neki dodatni zahtjevi. To su problemi koji proizlaze iz primjene različitih sustava mjernih jedinica i normi, prisustva velikog broja različitih proizvođača TS, različitih konceptijskih rješavanja, te uz sve to i starosti svih postrojenja i instaliranih TS u promatranoj rafineriji nafte.

Radi povećanja sigurnosti i potrebe za podizanjem pouzdanosti rada pojedinih ključnih mjesta u procesu prerade nafte primjenjuje se pasivna veza ili rad više istih TS, tj. ugradnja dva ili više identična TS koji realiziraju taj dio procesa.

Najčešći primjer pasivne veze TS u procesnoj industriji susreće se kod rotacijskih strojeva (pumpi, kompresora i sl.). To značajno podiže pouzdanost rada, jer u slučaju kvara jednog rotacijskog stroja uključuje se u rad slijedeći rotacijski stroj (npr. druga odnosno treća pumpa).

U procesnoj industriji najvažniji zahtjev je održati proces prerade neprekinutim u što duljem vremenskom razdoblju. To znači : rad bez zastoja, odnosno sa što manje zastoja i to po mogućnosti planskih zastoja, jer svaki zastoj, a naročito oni neplanirani uzrokuju velike gubitke u proizvodnji, ali izazivaju i dodatna oštećenja TS koji nisu bili uzrok zastoja.

U cilju pronalaženja najpovoljnijeg rješenja u promatranoj rafineriji nafte učinjene su reorganizacije održavanja u više navrata, međutim sam koncept održavanja nije značajnije mijenjan, u primjeni je plansko održavanje.

Plansko održavanje ima pet modula (vidi sliku 2.25), ali u rafinerijama nafte nisu svi jednako zastupljeni.

Preventivni dio održavanja odvija se ciklički kroz vremenski planirane godišnje remonte tj. generalne popravke, u manje - više fiksnim terminima.

Podmazivanje, uglavnom rotacijskih strojeva, je uglavnom riješeno konstrukcijom samih rotacijskih strojeva i odvija se automatski, uz periodične

kontrole stanja mazivih ulja. Ostali TS (elevatori, tračni transporter i slično) podmazuju se periodično. Ova dva modula preventivnog održavanja spadaju u cikličko održavanje, tj. odvijaju se u određenim ciklusima..

Preventivni pregledi TS se odvijaju po planu dijagnostičkih snimanja stanja TS (ultrazvuk, vibrodijagnostika i druge nerazorne metode ispitivanja). Na temelju ovih pregleda u jednom dijelu je moguća primjena održavaju po stanju.

Između remonata po potrebi se intervenira korektivno.

TS u rafinerijama nafte su izloženi visokim temperaturama i tlakovima, a nerijetko i agresivnosti medija sa kojima su u doticaju (kiseline, lužine, aditivi i sl.).

Radni vijek TS u rafinerijama nafte procjenjuje na 12 do 20 godina, ovisno o vrsti TS. [2] Kako je vidljivo iz naprijed navedenog sva postrojenja u promatranoj rafineriji nafte starija su od 20 godina.

Sama ta činjenica da TS u promatranoj rafineriji nafte i danas vrše svoju funkciju govori pohvalno o radu onih djelatnika koji njima rukuju, a naročito onih koji brinu o održavanju tih TS. Međutim to ima svoju cijenu, a ta cijena je visoka..

U naftnoj industriji u svijetu godišnji troškovi održavanja se kreću do 2,6 % od vrijednosti instaliranih TS, odnosno troškovi održavanja su oko 1,5 % od vrijednosti prodanih proizvoda. [3]

U promatranoj rafineriji nafte situacija je nešto drugačija. Podaci o postotku godišnjih troškova održavanja od vrijednosti prodanih proizvoda na godinu prikazani su u tablici 1.3.

**Tablica 1.3. – Troškovi održavanja u odnosu na vrijednost prodanih proizvoda na godinu**

Godina	1999	2000	2001	2002	2003
Odnos troškova održavanja i vrijednosti prodanih proizvoda (%)	4,63	5,31	7,43	4,28	4,91

Kako se vidi iz tablice 1.3. podaci o postotku troškova održavanja od vrijednosti prodanih proizvoda imaju značajna odstupanja od svjetskih normi.

Ti postoci imaju vrlo visoke financijske vrijednosti. Podaci o postotku troškova održavanja od vrijednosti instaliranih TS prikazani su u tablici 1.4.

**Tablica 1.4. – Troškovi održavanja na godinu u odnosu na vrijednost instaliranih TS**

Godina	1999	2000	2001	2002	2003
Odnos troškova održavanja i vrijednosti instaliranih TS (%)	11,56	17,32	23,41	9,86	12,74

Podaci o postotku troškova održavanja od vrijednosti instaliranih TS, prikazani su u tablici 1.4. i drastično odstupaju od svjetskih rezultata.

Ova odstupanja postotka troškova održavanja mogu se tumačiti jednim dijelom kao posljedica niske obračunske vrijednosti TS. Uslijed starosti i amortizacije TS njihova trenutna knjigovodstvena vrijednost je vrlo mala.

S druge strane, novi zamjenski dijelovi su relativno skupi i to u međusobnom odnosu rezultira visokim vrijednostima. Tome u prilog govori i smanjenje postotka udjela u troškovima nakon 2001. godine, kada je jedan dio najstarijih kombiniranih postrojenja isključen iz kalkulacija.

S druge strane javlja se sličan učinak obzirom na nizak postotak iskorištenih kapaciteta i proizvedenih gotovih proizvoda (derivata nafte).

Ali takvi pokazatelji sigurno nisu posljedica isključivo tehnike izračuna. Stoga se ne mogu zanemariti ovako visoki postotni udjeli održavanja u troškovima.

Razmatranje troškova održavanja, njihovih uzroka i njihovo otklanjanje usmjerava ka praćenju zastoja postrojenja i TS te analizu tih rezultata.

Praćenje zastoja postrojenja i utvrđivanje njihovih uzroka, vodi do utemeljenog prijedloga za poboljšanje postojećeg stanja i smanjenje zastoja i troškova održavanja. Rafinerija nafte u Sisku je uzeta kao primjer tipične rafinerije za preradu nafte sa kompletnom primarnom i sekundarnom preradom nafte.

Međutim, neovisno o izgrađenim postrojenjima i instaliranim kapacitetima, rafinerija nafte u Sisku nije radila sa svim postrojenjima i maksimalnim korištenjem postojećih kapaciteta. To je uvjetovano različitim utjecajima : stanje na tržištu, stanje TS , poslovnim odlukama itd.

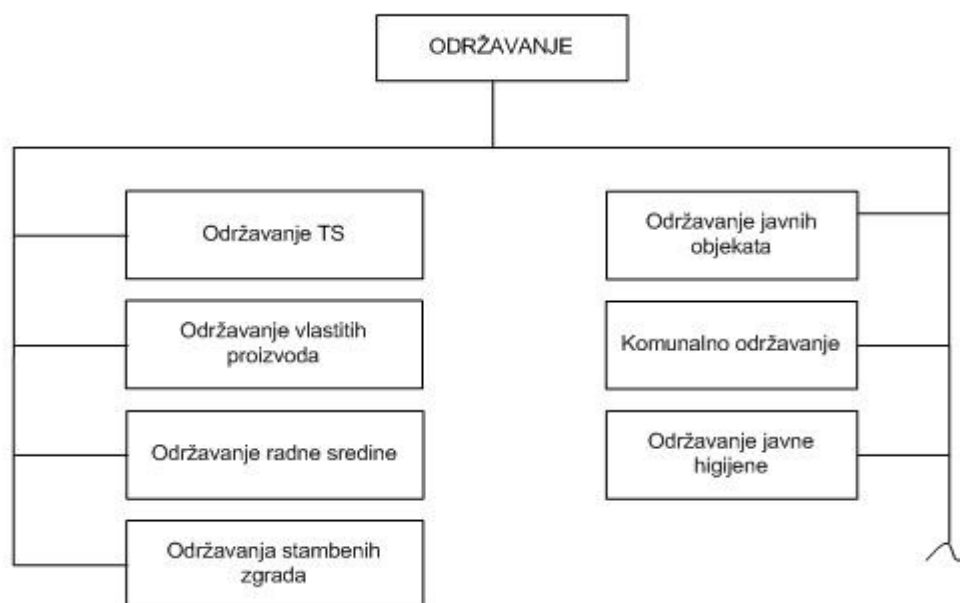
U razmatranjima nisu uzimana postrojenja koja u promatranom razdoblju veći dio vremena nisu radila. Sva razmatranja su rađena na tipičnom procesnom postrojenju za preradu nafte, tj. na tipičnoj rafineriji nafte, tipa B.



## 2. ODRŽAVANJE

### 2.1. Uvodne napomene

Termin održavanje (*maintenance, instandhaltung, manutenzione*) rabi se za opisivanje raznih zahvata koji podupiru osnovnu funkciju tehničkih i drugih sustava. Samo održavanje u običnom i svakodnevnom životu prisutno je na svakom koraku oko nas. Tako su na primjer na slici 2.1. prikazane neke od uobičajenih djelatnosti održavanja.[4]



Slika 2.1. – Vrste održavanja

Tu je svakako na prvome mjestu održavanje TS, kao najsloženija djelatnost, koja je, kada se radi o TS u procesnoj industriji, jedna od najznačajnijih funkcija.

Cilj svake moderne industrije je da proizvede određena količina proizvoda, koja se definira planom, a uz odgovarajuće troškove. Da bi se ostvario cilj svake

industrije potrebni su odgovarajući resursi, među kojima značajno mjesto imaju i TS potrebni za izvršenje procesa proizvodnje.

Da bi TS bili u stanju vršiti traženu funkciju pod danim uvjetima i u zadanom vremenu potrebno je njihovo održavanje u odgovarajućem stanju.

Svijest o potrebi održavanja TS prisutna je od samih početka razvoja TS. Međutim nedovoljno je formirana svijest o značaju održavanja, a održavanje se često promatra izolirano, neovisno o drugim bitnim elementima životnog ciklusa TS.

Aktivnost održavanja u početku razvoja industrije je bila stihijska i netemeljita, kao uostalom i sama proizvodnja. Razvojem proizvodnih procesa, te primjenom mehanizacije i povećanjem broja strojeva u upotrebi nameće se potreba i za ozbiljnijem i temeljitijem, te nadasve ekonomičnijem pristupu održavanju.

U modernom smislu riječi o održavanju (u Europi) se počinje govoriti tek nakon drugog svjetskog rata. Tada se uviđa da nije dovoljan samo popravak, kada je kvar nastupio, već treba i predvidjeti njegovu pojavu.

Održavanje je kombinacija svih tehničkih, administrativnih i poslovnih postupaka tijekom vijeka trajanja nekog elementa s ciljem zadržavanja ili vraćanja elementa u stanje u kojem može izvršavati zahtijevanu funkciju. [HRN EN 13306]

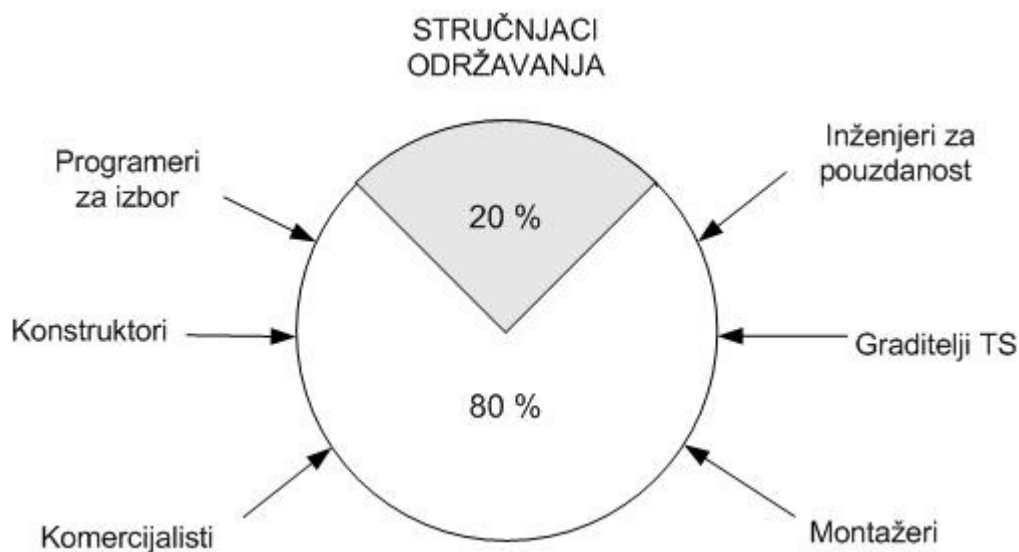
U kemijskoj industriji i proizvodnji energije (rafinerije nafte svakako spadaju u tu grupu), održavanje je najvažnija funkcija proizvodnje.

Održavanje se često naziva i proizvodnja kapaciteta obzirom da se često kao proizvod održavanja navodi raspoloživi kapacitet Osnovni cilj održavanja je sačuvati funkciju TS, te izbjegavati posljedice kvara na TS. Ciljevi održavanja koji su određeni i prihvaćeni kao aktivnosti održavanja mogu obuhvaćati raspoloživost, smanjenje troškova, kvalitetu proizvoda, očuvanje okoliša, sigurnost. U svakom slučaju ciljevi moraju biti SMART [5] :

<b>Simple</b>	–	jednostavni
<b>Measurable</b>	–	mjerljivi
<b>Achievable</b>	–	dostižni
<b>Reliable</b>	–	pouzdana
<b>Time specific</b>	–	vremenski određeni

Radi velikih problema u eksploataciji vršena su istraživanjima kojima je utvrđen utjecaj pojedinih struka na ukupne troškove životnog vijeka TS.

Prikaz rezultata tih istraživanja je na slici 2.2.[4]



**Slika 2.2. - Utjecaj pojedinih struka na ukupne troškove životnog vijeka TS**

Vidljivo je da su za 80 % ukupnih troškova održavanja «krivci» stručnjaci koji sudjeluju na poslovima stvaranja i izgradnje TS, od projektiranja do prodaje TS kupcu, tj. korisniku.

Sigurno je da bi održavatelji na osnovi postojećih iskustava mogli mnogo pomoći u izboru kvalitetnoga proizvođača, vrste ili tipa TS i drugog, kako bi poslije za vrijeme eksploatacije bilo manje zastoja i kvarova. Dakle održavanje možemo promatrati kao složenu aktivnost, koja ima nekoliko razina.

Strategija održavanja je način upravljanja koji se primjenjuje kako bi se ostvarili ciljevi održavanja.[ HRN EN 13306]

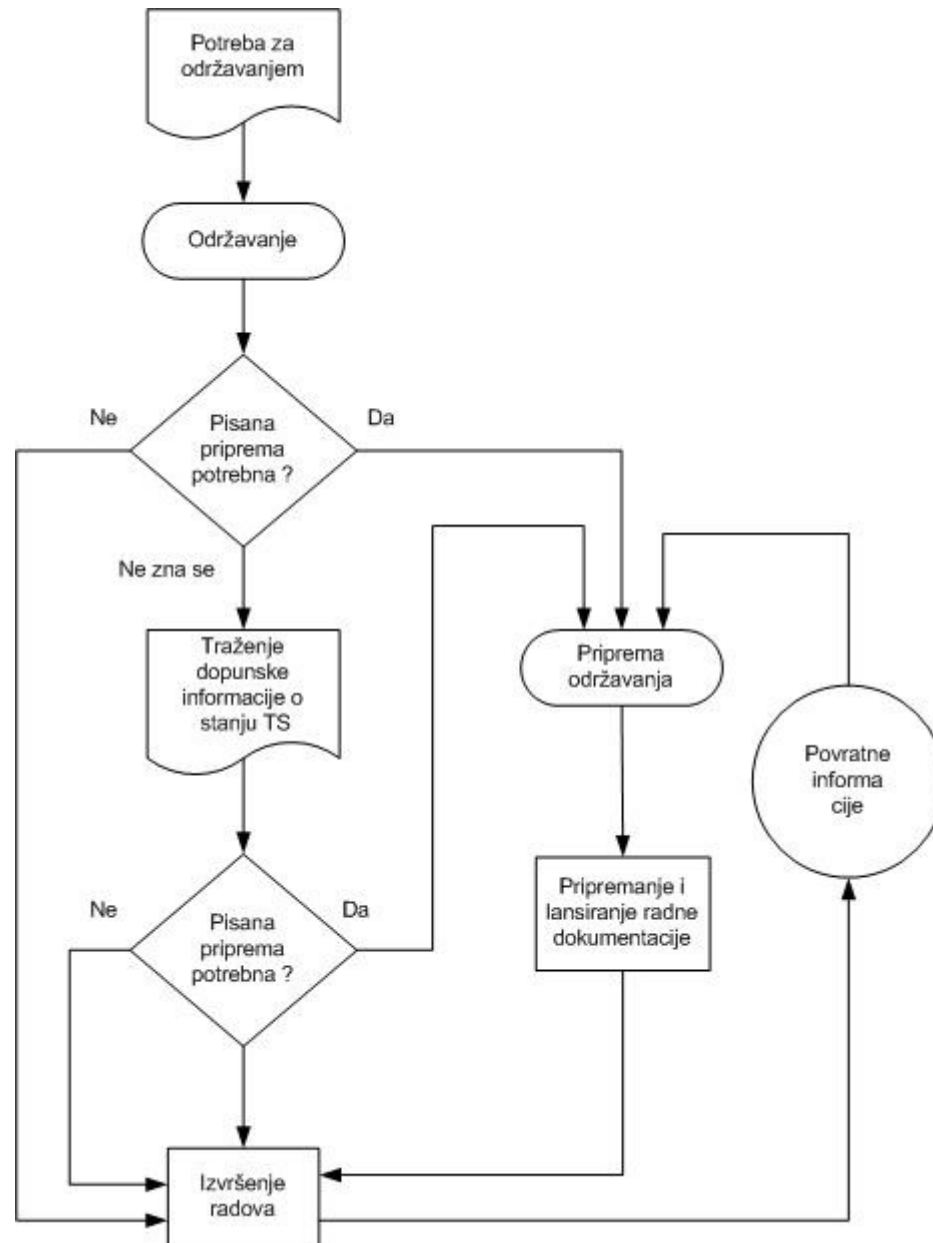
Upravljanje održavanjem obuhvaća sve aktivnosti upravljanja koje utvrđuju ciljeve, strategije i odgovornosti održavanja uz njihovo provođenje putem planiranja, kontrole i nadzora održavanja, poboljšavanja metoda u organizaciji uključujući gospodarska stajališta.[HRN EN 13306]

Nakon definiranja strategije održavanja, tj. određivanja pristupa održavanju određenih TS, potrebno je definirati i tehnološke procese održavanja, kako bi se postigao cilj zacrtan odgovarajućom strategijom održavanja.[4]

Pri tome se misli na razradu tehnologija održavanja, poznate principe izvođenja snimanja kvarova i samih popravaka, dijagnostika različitih parametara

kojima se definira stanje TS, reparaturne tehnologije za popravak polomljenih ili oštećenih dijelova, te podmazivanje i antikoroziivna zaštita itd.

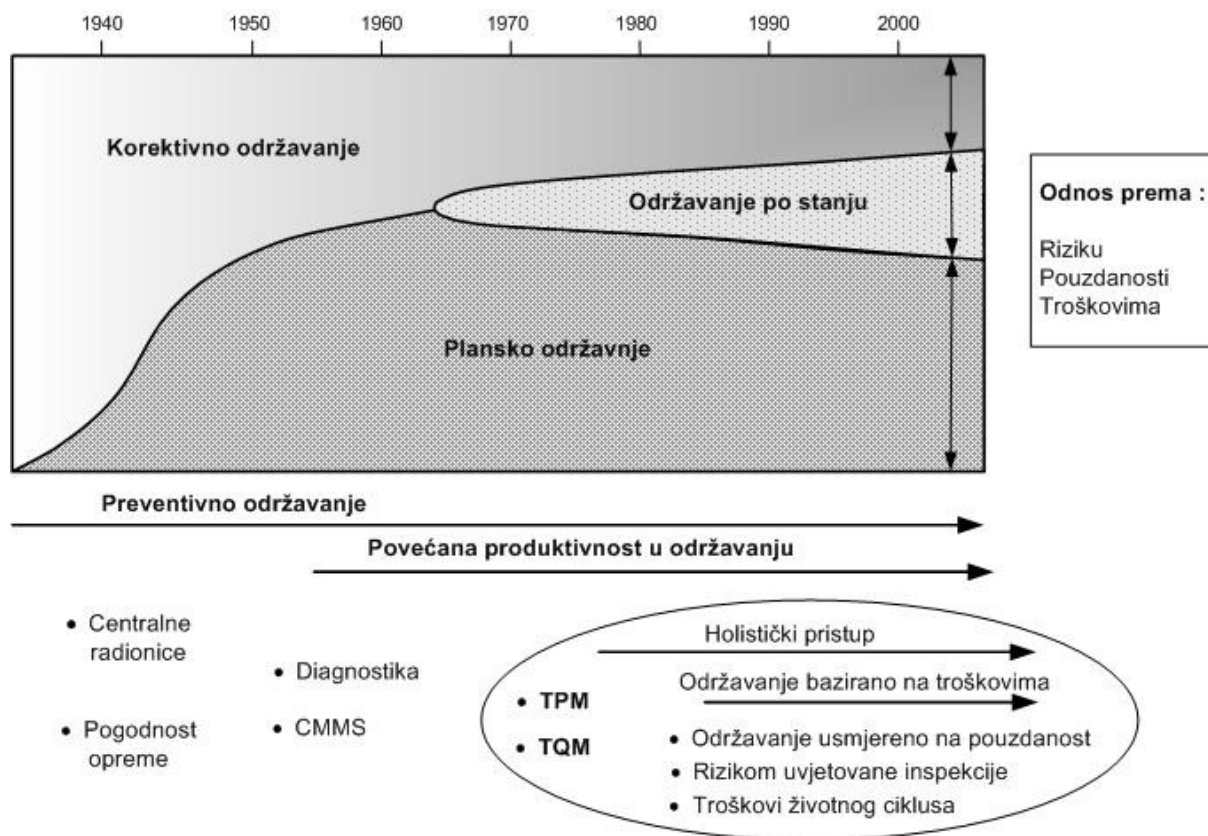
Grubi dijagram tijeka procesa održavanja prikazan je na slici 2.3. [4]



Slika 2.3. – Grubi dijagram tijeka procesa održavanja

Pristupi održavanju (filozofija, strategija, načina upravljanja) kao i metode održavanja razvijali su se tijekom vremena i usavršavaju se i danas.

Na slici 2.4. prikazani su trendovi u održavanju, prema viđenju Industrial Maintenance, VATEH presentation za STSI d.o.o., Zagreb, 2003.



Slika 2.4.– Trendovi u održavanju

Koji god pristup održavanju primjenjivali za korisnika TS je uvijek važna kvaliteta TS. Poznato je da se značajke kvalitete opreme dijele na klasične i suvremene. U skupinu klasičnih značajki spadaju [4] :

- Funkcionalnost - značajka, koja se ostvaruje za vrijeme projektiranja TS,
- Tehnologičnost – značajka na koju se djeluje za vrijeme proizvodnje TS – što jeftinija proizvodnja – veća tehnologičnost,
- Eksploatabilnost - značajka koja se ostvaruje za vrijeme korištenja TS, a ovisi o troškovima pogonske energije, održavanja i zastoja.

Od suvremenih značajki kvalitete TS najčešće su u upotrebi :

- Raspoloživost (*availability*) – odnos ispravnog rada TS i ukupnog kalendarskog vremena,
- Pouzdanost (*reliability*) – vjerojatnost da će neki TS (element ili uređaj) zadovoljavajuće raditi unutar predviđenog vremenskog intervala uz

definirane radne uvjete. Razlikujemo tri vrste pouzdanosti (projektirana, ostvarena i eksploatacijska). Ovdje se govori o eksploatacijskoj.

Pri izračunavanju pouzdanosti potrebno je poštivati tri elementa:

1. Utvrditi kriterij za odlučivanje radi li TS ili ne,
2. Utvrditi uvjete iskorištenja,
3. Utvrditi vrijeme u kojem se želi odrediti pouzdanost,

Da bi se osigurala visoka pouzdanost potrebno je smanjiti kvarove TS.

Kvar (*failure*) je «*neprijatelj broj 1*» održavanja. On uzrokuje zastoje, prouzrokuje dodatna oštećenja TS koji nisu bili primarno u kvaru, a iz tog proizlaze troškovi koji su krajnje mjerilo uspješnosti ili neuspješnosti održavanja.

## 2.2. Kvar

Kvar je prestanak sposobnosti nekog elementa da izvrši zahtijevanu funkciju. [HRR EN 13306]

Kvarom smatramo promjenu stanja TS ili njegovih sastavnih dijelova, koje smetaju ili onemogućavaju funkciju TS ili su opasne za okoliš. [4]

Ima više podjela kvarova prema različitim kriterijima. Razlikuju se :

- Primarni kvar nije uzrokovan (izravno ili neizravno) kvarom ili pogreškom drugog elementa,
- Sekundarni kvar je uzrokovan (izravno ili neizravno) kvarom ili pogreškom drugog elementa,
- Potencijalni kvar je fizičko stanje TS koje ukazuje da je nastajanje kvara počelo
- Skriveni kvar je onaj kvar koji nije uočljiv dok se funkcije TS obavljaju.
- Kritični kvar u potpunosti onemogućuju funkciju TS ili su opasni za okoliš
- Nekritični kvar smanjuje učinak ili kvalitetu rada TS, u dozvoljenim granicama

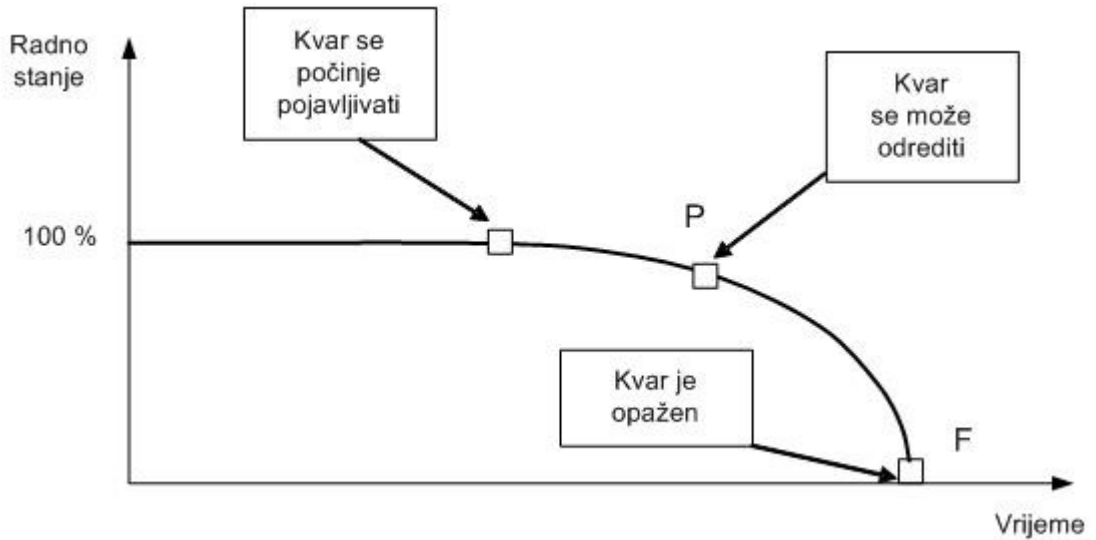
Ovisno o posljedicama koje izazivaju na TS razlikuju se [4] :

- Sigurnosni kvarovi - ugrožavaju osoblje i TS (uključujući i okoliš)
- Operativni kvarovi - rezultiraju gubitkom proizvoda i troškovima popravka

- Ne-operativni kvarovi - rezultiraju troškovima popravka

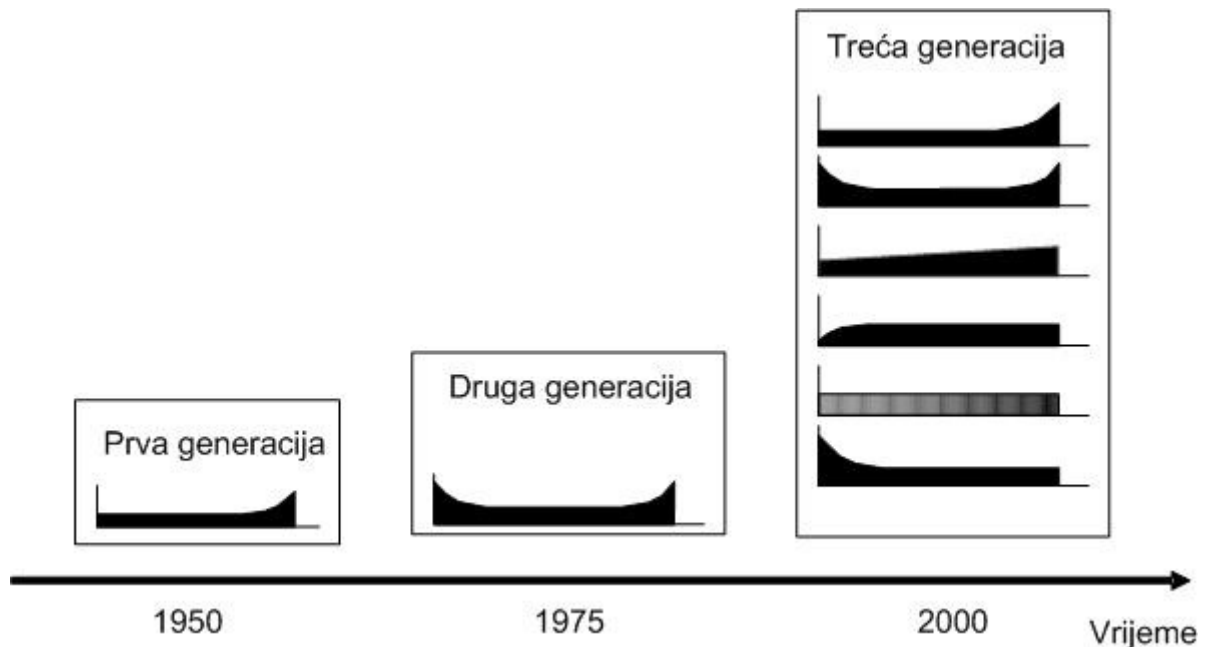
Dobro je da se većina kvarova ne razvija trenutno i može ih se predvidjeti.

Prikaz krivulje nastanka kvara vidimo na slici 2.5.[7]



Slika 2.5. – P – F krivulja kvarova

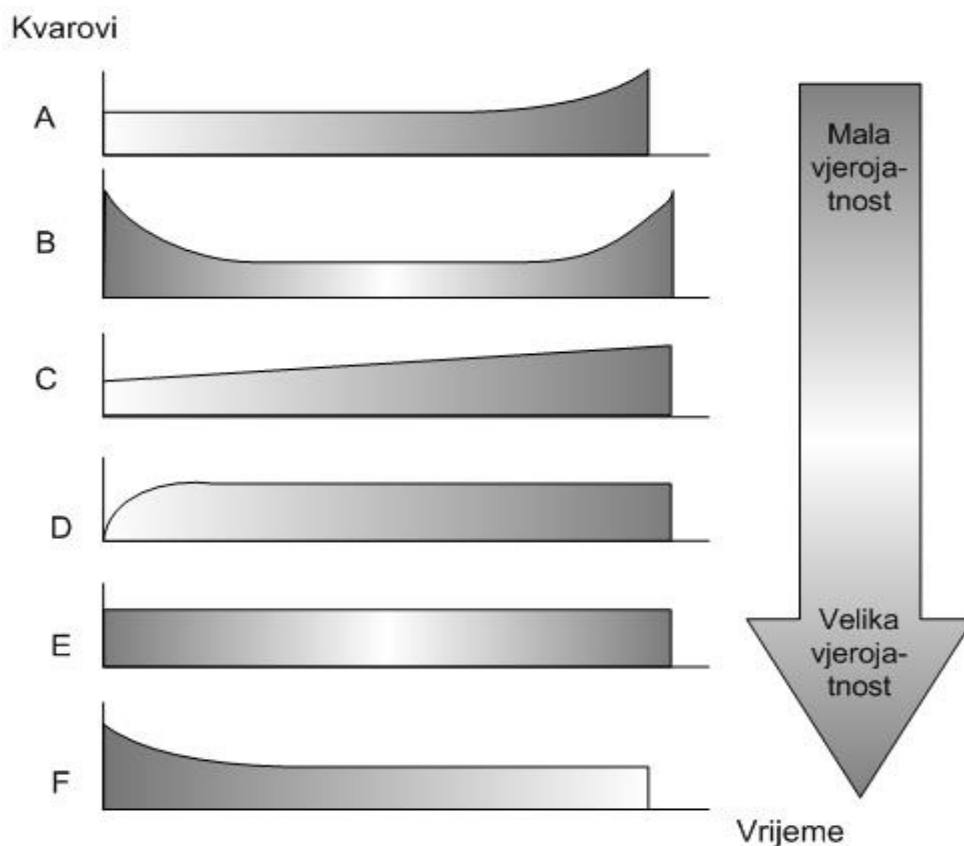
Spoznaje o kvarovima i distribuciji kvarova su se mijenjale tijekom vremena, i taj povijesni pregled vidimo na slici 2.6.[7]



Slika 2.6. – Povijesni pregled razvoja spoznaje o distribuciji kvarova

Tehnički gledano potrebno je razumjeti kako kvarovi nastaju i na bilo koji način pokušati to spriječiti. Broj kvarova u zadanom vremenskom razdoblju (ili jedinicama uporabe) nazivamo učestalost kvarova. Distribucija kvarova je odnos između vjerojatnosti kvara i starosti TS.

Uvjetovanost vjerojatnosti kvarova prikazana je na slici 2.7.[6]



**Slika 2.7. – Uvjetovanost vjerojatnosti kvartova**

Moderne spoznaje o distribuciji kvarova obuhvaćaju slijedećih šest tipičnih slučajeva raspodjele [6]:

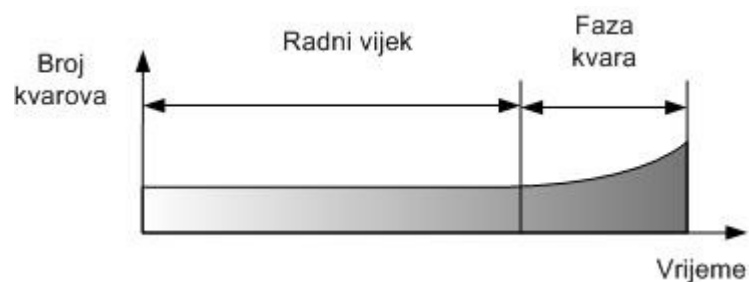
- A. Stalna vjerojatnost kvarova koja završava dotrajalošću (abrazija)
- B. Kada kvarova (Povećana vjerojatnost početnih i kvarova zbog istrošenosti)
- C. Polagano povećavanje vjerojatnosti kvara (zamor materijala)
- D. Niska vjerojatnost kvara za nove TS i naglo povećanje do stalne vrijednosti
- E. Stalna vrijednost kvara tijekom radnog vijeka TS
- F. Početna velika vjerojatnost kvarova i smanjuje se na konstantnu razinu



Kvarove tipa «A» - „starosne“ (*Worst old*) karakterizira da su to :

- Vremenski uvjetovani kvarovi
- Drastično rastu u određenoj točki upotrebe
- U krajnosti to je kvar svih mehanizama
- Efikasno je održavanje sa ustaljenim vremenskim intervalima
- Primjeri obuhvaćaju ventilatore, drobilice, radne staze i tračnice

Na slici 2.8. prikazan je grafički prikaz nastanka kvarova tipa «A».

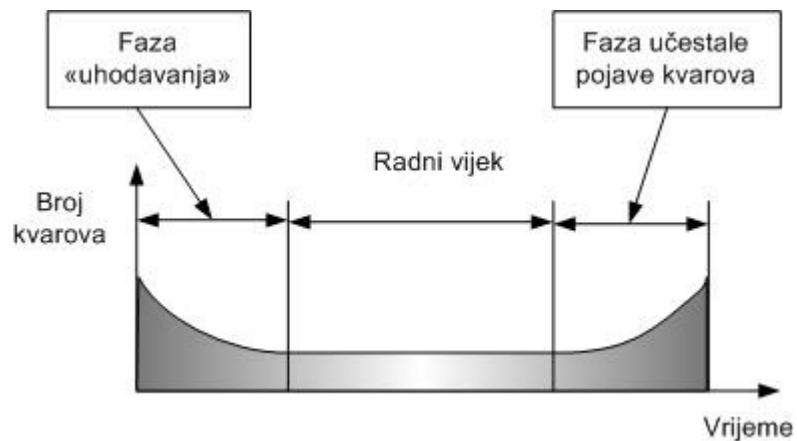


Slika 2.8. - Grafički prikaz nastanka kvarova tipa «A»

Kvarove tipa «B» - „kada kvarova“ (*Bathtub*) karakterizira :

- Velika vjerojatnost kvarova na početku i na kraju životnog ciklusa
- To je kombinacija kvarova tipa F i kvarova tipa A
- Održavanje je uvjetovano različitim periodima životnog ciklusa
- Tipičan primjer su elektromehanički sustavi

Na slici 2.9. prikazan je grafički prikaz nastanka kvarova tipa «B».

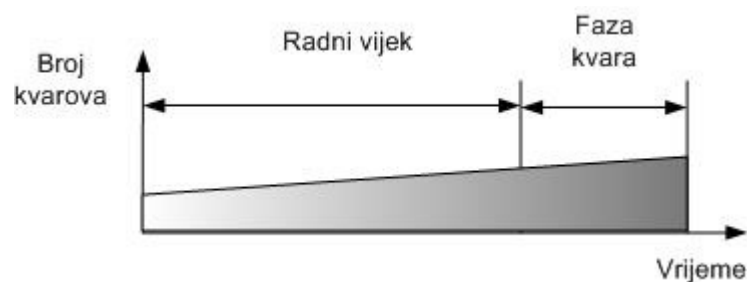


Slika 2.9. - Grafički prikaz nastanka kvarova tipa «B»

Kvarove tipa «C» - „progresivne“ (*Slow Aging*) karakterizira :

- Vjerojatnost nastanka kvara raste s vremenom
- Uzrokovani su korozijom i puzanjem
- Uobičajeni su kod TS koja su u doticaju sa produktima
- Koristi se taktika zamjene dijelova ili obnove TS
- Primjer su cijevi, šamot, gume, konstrukcije, spojke itd.

Na slici 2.10. prikazan je grafički prikaz nastanka kvarova tipa «C».

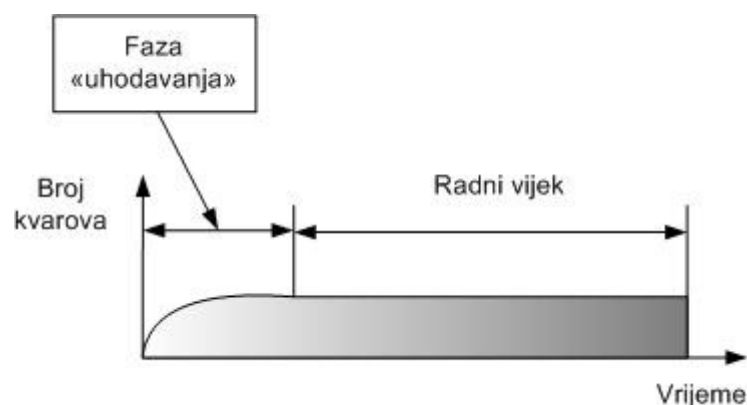


Slika 2.10. - Grafički prikaz nastanka kvarova tipa «C»

Kvarovi tipa «D» - „novo je najbolje“ (*Best New*) karakterizira :

- Kvarovi nisu vremenski uvjetovani, osim na početku životnog ciklusa
- Održavanje bazirano na vremenski ustaljenim intervalima je neuspješno
- Kao s slučajevima mehanizama, najbolja je taktika prema stanju
- Hidraulika i pneumatika uobičajeni su primjeri

Na slici 2.11. prikazan je grafički prikaz nastanka kvarova tipa «D».

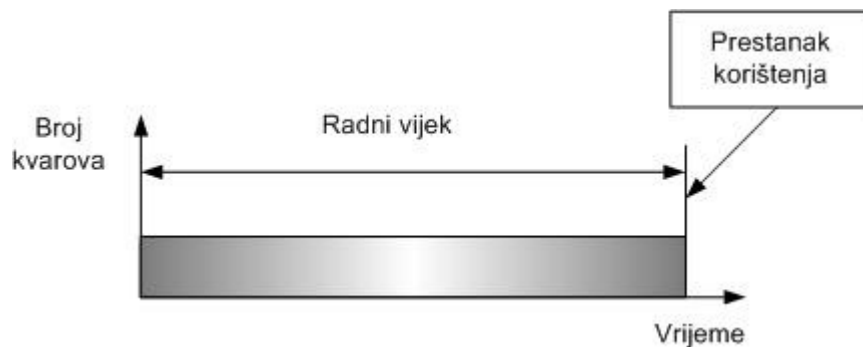


Slika 2.11. - Grafički prikaz nastanka kvarova tipa «D»

Kvarovi tipa «E» - „stalne“ (*Constant*) karakterizira :

- Slučajni kvarovi, vremenski nisu uvjetovani
- Kompleksni sustavi : elektronički, električni, mehanički
- Održavanje bazirano na vremenski rutinskim postupcima je neuspješno
- Kuglični ležajevi su klasični primjer

Na slici 2.12. prikazan je grafički prikaz nastanka kvarova tipa «E».

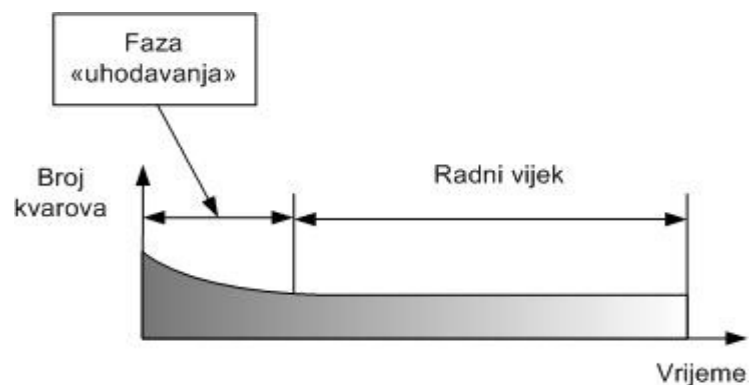


Slika 2.12. - Grafički prikaz nastanka kvarova tipa «E»

Kvarovi tipa «F» - „početni“ (*Worst New*) karakterizira :

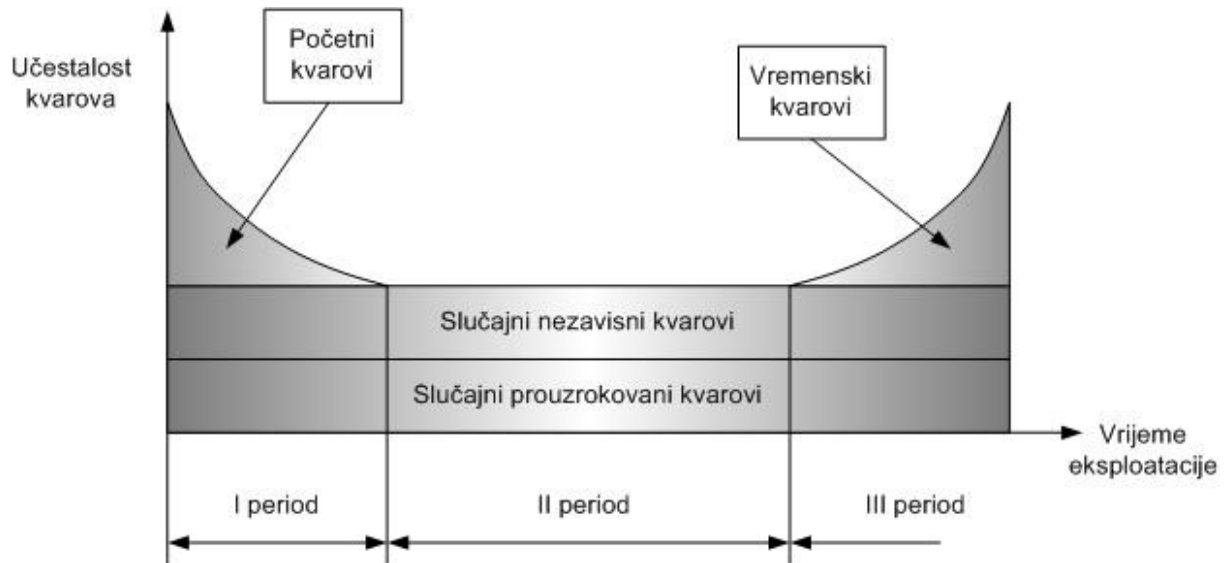
- Najviše kvarova mehanizama za kompleksna postrojenja
- Vjerojatnost kvara opada s vremenom, vjerojatno uslijed konstrukcije, proizvodnje, izgradnje ili upravljanja
- Problem dječjih bolesti, rutinsko održavanje igra minornu ulogu
- Elektronika, avijacija, visoko kompleksna (integrirana) postrojenja

Na slici 2.13. prikazan je grafički prikaz nastanka kvarova tipa «F».



Slika 2.13. - Grafički prikaz nastanka kvarova tipa «F»

Sve naprijed navedeno može se prikazati objedinjeno kao na slici 2.14., gdje je prikazana je frekvencija učestalosti kvarova tijekom vremena eksploatacije. (4)



**Slika 2.14. - Frekvencija učestalosti kvarova tijekom vremena eksploatacije**

Frekvencija kvarova tijekom vremena eksploatacije ima tri karakteristična perioda :

- I period – razdoblje uhadavanja,
- II period – razdoblje normalne eksploatacije
- III period – razdoblje vremenskih kvarova

U prvom se razdoblju, analizirajući kvarove ispod krivulje, pojavljuju dvije vrste kvarova. Jedno su kvarovi uhadavanja (početni kvarovi), a drugo slučajni kvarovi, koji se još dijele na dvije podskupine (slučajni ovisni ili uzrokovani i slučajni neovisni kvarovi).

Razdoblje normalne eksploatacije ima približno jednaku frekvenciju kvarova i obuhvaća slučajne ovisne i slučajne neovisne kvarove, a intenzitet je konstantan.

U trećem razdoblju uz slučajne kvarove se pojavljuju i vremenski kvarovi.

Može se zaključiti da su slučajni kvarovi konstanta za cijelo vrijeme trajanja eksploatacije i da se istim intenzitetom pojavljuju tijekom sva tri karakteristična razdoblja eksploatacije. Početni kvarovi nastaju kao posljedica loše konstrukcije, loše izabranog materijala, loše površinske ili toplinske obrade itd. Slučajni ovisni kvarovi nastaju zbog nemara, nepažnje i neznanja rukovatelja i održavatelja. Slučajni

neovisni kvarovi nastaju zbog previda u završnoj kontroli dijelova ili TS, pojavljuju se slučajno i čestu u obliku havarije. Vremenski kvarovi se pojavljuju u zadnjem razdoblju eksploatacije i nastaju kao posljedica starenja TS. Najčešće je to starenje materijala, korozija, zamor, trošenje, povećanje zračnosti itd.

Može se reći da je održavanje rat. Neprijatelji su kvarovi, oštećenja i posljedica svih vrsta neplaniranih događaja. Iz navedenog je jasno da kvar nije obično direktno uvjetovan vremenom ili korištenjem, nije ga lako predvidjeti, te da održavanje bazirano na kapitalnim remontima i vremenski određenim zamjenama nije najbolje rješenje i često može biti preskupo. [8]

Prema dosadašnjim iskustvima, te na temelju dugogodišnjeg praćenja kvarova TS na procesnim postrojenjima može se reći da su u procesnoj industriji slabo izraženi početni kvarovi. Obzirom na starost instaliranih TS na postrojenjima INA RNS, sada su očekivano najčešći vremenski kvarovi.

U INA RNS sada su najčešće prisutni kvarovi tipa A – vremenski kvarovi, te donekle tipa C – lagani porast broja kvarova tijekom vremena.

U procesnoj industriji, naročito u rafinerijama nafte, kada kvarova je slabo izražena u I periodu - razdoblje uhodavanja, obzirom na uobičajenu kvalitetu instaliranih TS, ali je izrazita u III periodu – razdoblje vremenskih kvarova. II period je korigiran i sukladan progresivnom rastu broja kvarova prema tipu C.

### **2.3. Strategija održavanja**

Najviša razina održavanja odnosi se na strategiju održavanja (*Maintenance Strategy*). Strategiju utvrđuje rukovodstvo održavanja u skladu s tri glavna kriterija [5]

1. Osigurati raspoloživost TS za obavljanje tražene funkcije uz najpovoljnije troškove,
2. Razmotriti sigurnosne zahtjeve koje prema TS moraju ispunjavati i održavatelji i osoblje korisnika, a po potrebi njihov utjecaj na okoliš,
3. Ostvariti izdržljivost TS i/ili kakvoću usluga, uz razmatranje troškova.

Strategija održavanja direktno utječe na troškove održavanja. Mora biti jasno da :

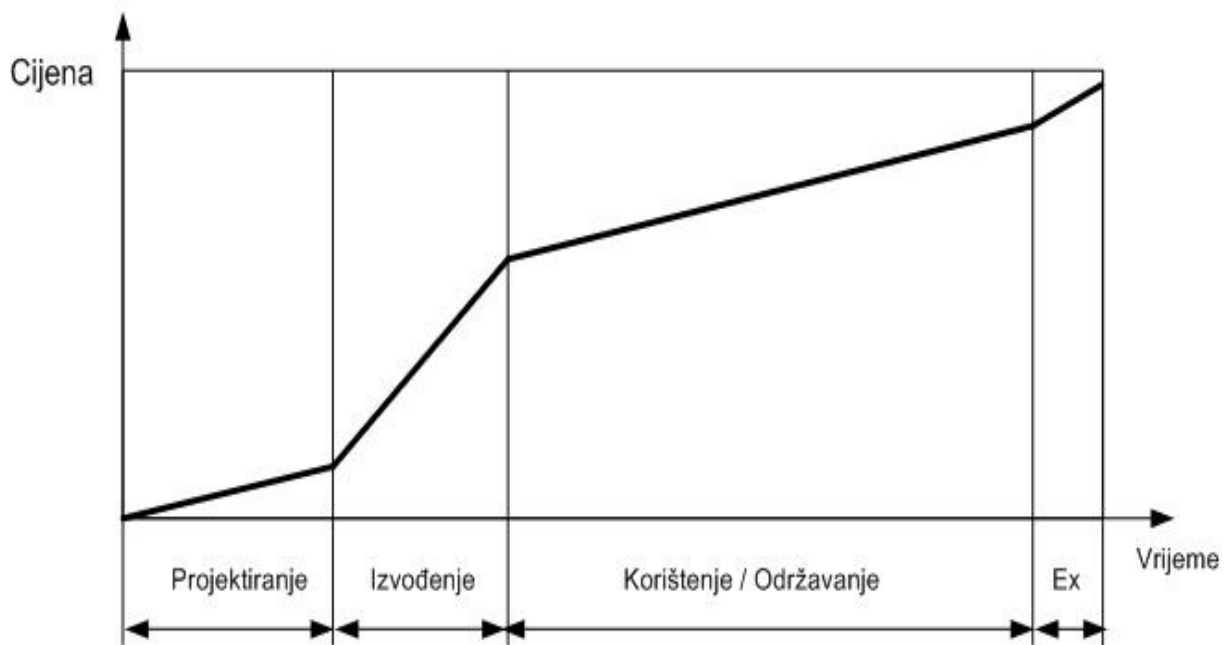
**ODRŽAVANJE SE NE MOŽE IZBJEĆI.**

Održavanje se može samo odgoditi i onda zato kasnije platiti više.

Troškovi u vijeku trajanja su svi troškovi koji nastaju tijekom vijeka trajanja nekog elementa. [HRN EN 13306]

Najveći dio troškova životnog ciklusa TS je prikriven u lošoj kvaliteti, izgubljenom kapacitetu, zaštiti okoliša, sigurnosnim rizicima, otpadu, smanjenju performansi, gubitku ugleda i sl., dok samo manji dio troškova nastaje od radne snage, materijala, vanjskih servisa, projekata itd.

Na slici 2.15. prikazan je utjecaj dijelova životnog vijeka TS na troškove :



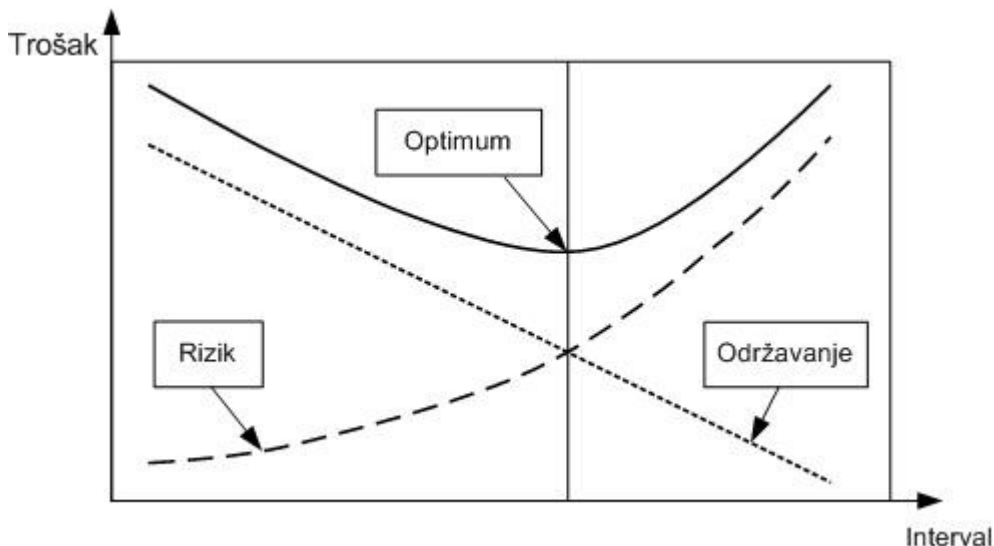
**Slika 2.15. - Utjecaj dijelova životnog vijeka TS na troškove**

Troškovi životnog ciklusa počinju nastajati i rasti sa projektiranjem da bi intenzivan rast nastao pri izvođenju.

Tijekom korištenja i pratećeg održavanja troškovi primjereno rastu, a završavaju sa isključivanjem TS iz procesa rada i njihovim uklanjanjem sa instalirane lokacije, uz eventualno saniranje okoliša.

Troškovi ovise i o intervalima održavanja, a to je usko povezano i sa rizikom, tj. sa razinom pouzdanosti TS.

Prikaz odnosa troškova i intervala održavanja vidimo na slici 2.16. [5]

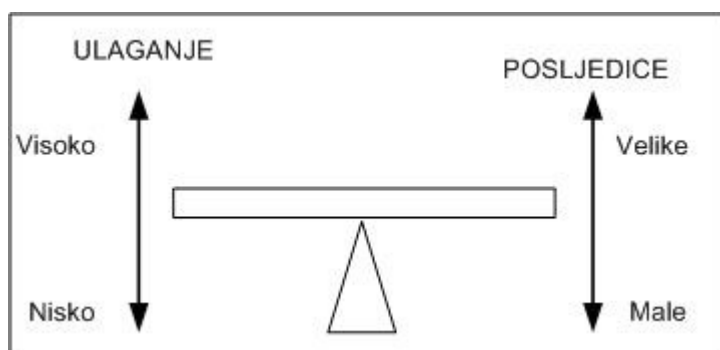


**Slika 2.16. - Prikaz odnosa troškova i intervala održavanja**

Povećanjem intervala između intervencija održavanja očito je da direktni troškovi održavanja padaju, ali se zato jako povećava rizik od iznenadnih kvarova i tako nastali indirektni troškovi. Stoga je potrebno odrediti optimum te uz prihvatljivi rizik doći do što duljih intervala intervencija održavanja.

U procesnoj industriji, a poglavito u slučaju rafinerije nafte, intervali su uvjetovani i nekim dodatnim zahtjevima, koji nisu direktno povezani sa održavanjem TS (osiguravanje proizvodnju u željenom kalendarskom razdoblju npr. turistička sezona, sezona poljoprivrednih radova isl.), ali i zahtjevima koji su više ili manje vezani uz uvjete održavanja npr. izbjegavanje remontnih radova tijekom zime i sl.

Kvaliteta i učinkovitost održavanja u direktnoj su vezi sa ulaganjima u održavanje TS. Ovisnost ulaganja u održavanje i posljedica takvog održavanja prikazana je na slici 2.17. [5]



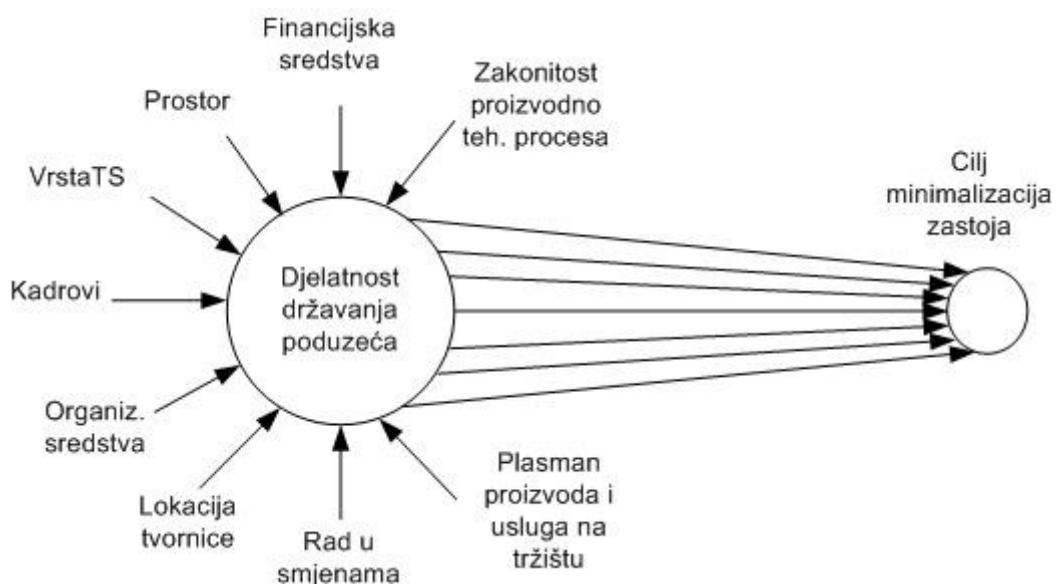
**Slika 2.17. – Prikaz ovisnosti ulaganja i posljedica**

Niska ulaganja dovode do velikih negativnih posljedica po TS i njihovog vlasnika, što rezultira i odgovarajućim negativnim financijskim efektima. Vrijedi i suprotno, visoka ulaganja u održavanje rezultiraju malim negativnim posljedicama po TS i njihovog vlasnika.

Kada je procesna, a naročito industrija nafte u pitanju tu se mora naglasiti da neželjene posljedice mogu biti katastrofalne, te se smanjivanjem ulaganja u održavanje ne smije dovesti u opasnost pouzdanost rada TS te izazvati opasnosti od požara i eksplozije, ali i neželjenih zastoja, jer su neplanirani zastoji u procesnoj industriji izuzetno skupi .

Bitno je pronaći optimalnu mjeru ulaganja u održavanje, jer ono nije samo sebi svrha. Nakon izvjesne razine ulaganje u održavanje može imati kao rezultat samo dodatni trošak, dok se razina pouzdanosti TS povećava samo neznatno. Svaka kompanija definira i raspravlja poslovnu strategiju, i ono što može primijeniti u održavanju. Osnovni zadatak održavatelja je smanjenje zastoja TS, s težnjom da oni budu nula. Ključne aktivnosti održavanja moraju biti usmjerene na povećanje slijedećih značajki : raspoloživosti, ekonomičnosti i sigurnosti, a zanemariti sve ostale koje ne spadaju u ove kategorije

Na slici 2.18. dan je prikaz svih utjecajnih elemenata na definiranje izbora, tj. odgovarajuće strategije održavanja. [4]



**Slika 2.18. - Prikaz svih utjecajnih elemenata na definiranje izbora, tj. odgovarajuće strategije održavanja**



Nakon svega navedenog postavlja se pitanje izbora najprimjerenijeg oblika održavanja. Pri donošenju takve odluke treba znati odrediti osnovni cilj, a on je : rad bez zastoja i optimalan potrošak svih potrebnih resursa.

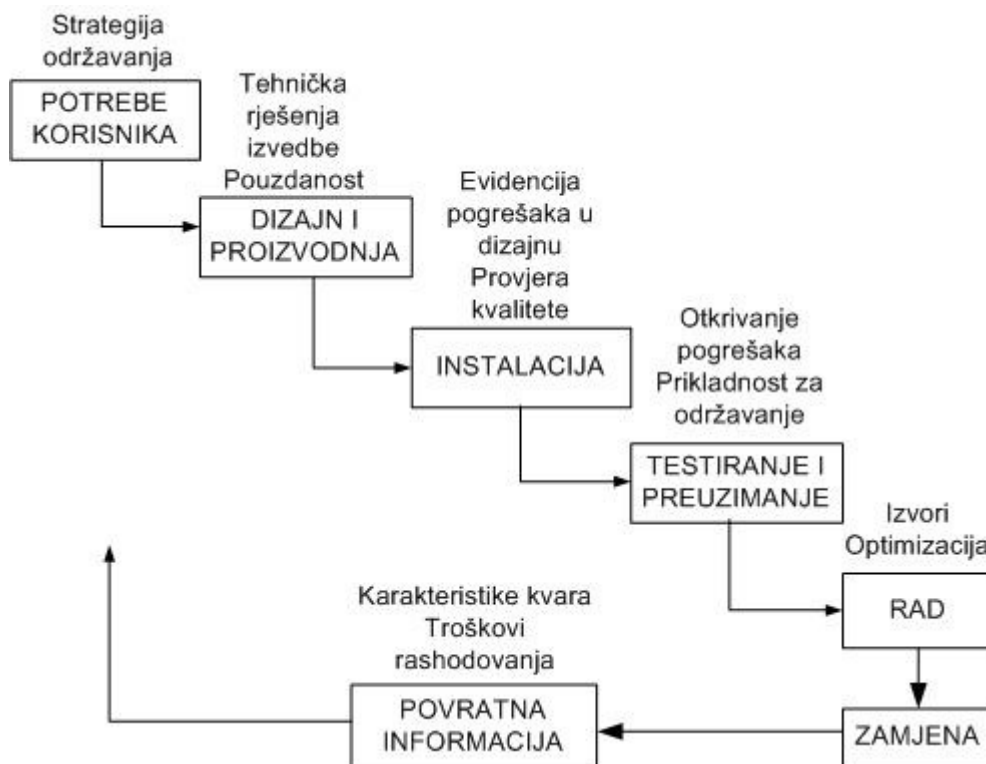
## 2.4. Upravljanje održavanjem

Postoje i druge definicije upravljanja održavanjem osim one koja je dana u HRN EN 13306. Jedna od njih glasi :

Upravljanje održavanjem znači prema postojećoj strategiji održavanja organizirati, nadzirati i dokumentirati radove održavanja (bez samog izvođenja radova održavanja) [8]

Osnovna filozofija i princip koji prati ispravan pristup upravljanju održavanjem je stalno zadovoljavanje korisnikovih potreba . Prvi put, svaki put i uz najniži trošak.

Osnovni ciljevi su sačuvati funkciju TS i izbjegavati posljedice kvarova na TS. Na slici 2.19. prikazan je životni vijek TS.[5]



Slika 2.19. – Životni vijek TS

Potrebe korisnika prati politika održavanja, dok projektiranje i vrsta proizvodnje određuju tehnička rješenja. Tijekom instalacije TS uočavaju se pogreške prethodnih faza (prvenstveno projektiranja) i provjerava planirana kvaliteta.

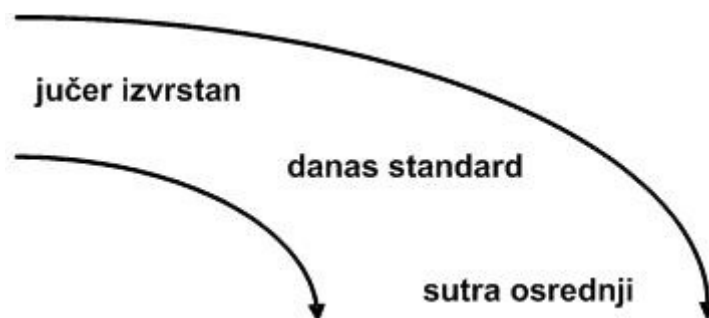
Tijekom testiranja i preuzimanja uočavaju se pogreške na TS i utvrđuje pogodnost za održavanje, što je jako bitno za fazu eksploatacije. Kroz period rada TS dolazi se do spoznaja o novim mogućnostima unapređenja i prilagodbe TS potrebama korisnika ali i održavatelja.

Nakon zamjene dijelova analizom kvarova i njihovih značajki, te primjenom stečenih znanja, možemo utjecati na troškove održavanja i na kraju odlučiti o pravom trenutku otpisa TS. Uglavnom troškove životnog ciklusa određuje: projektiranje, nabava, projekt, financije i osoblje.[5]

Upravljanje održavanjem podrazumijeva :

- Upravljanje TS (ostvarujemo očuvanjem funkcije TS, obnovom TS, produženjem korisnog životnog vijeka TS, zamjenom TS)
- Planiranje i pripremu održavanja
- Upravljanje sredstvima
- Analizu izvedbe

Stalni razvoj i napredak tehnike i tehnologije doveo je do toga da nema stajanja na trenutno dobrim rezultatima. Mora se stalno ići naprijed i unapređivati svoja znanja, tehnike i sposobnosti, jer pravilo uspjeha je, prikaz na slici 2.20.[9]



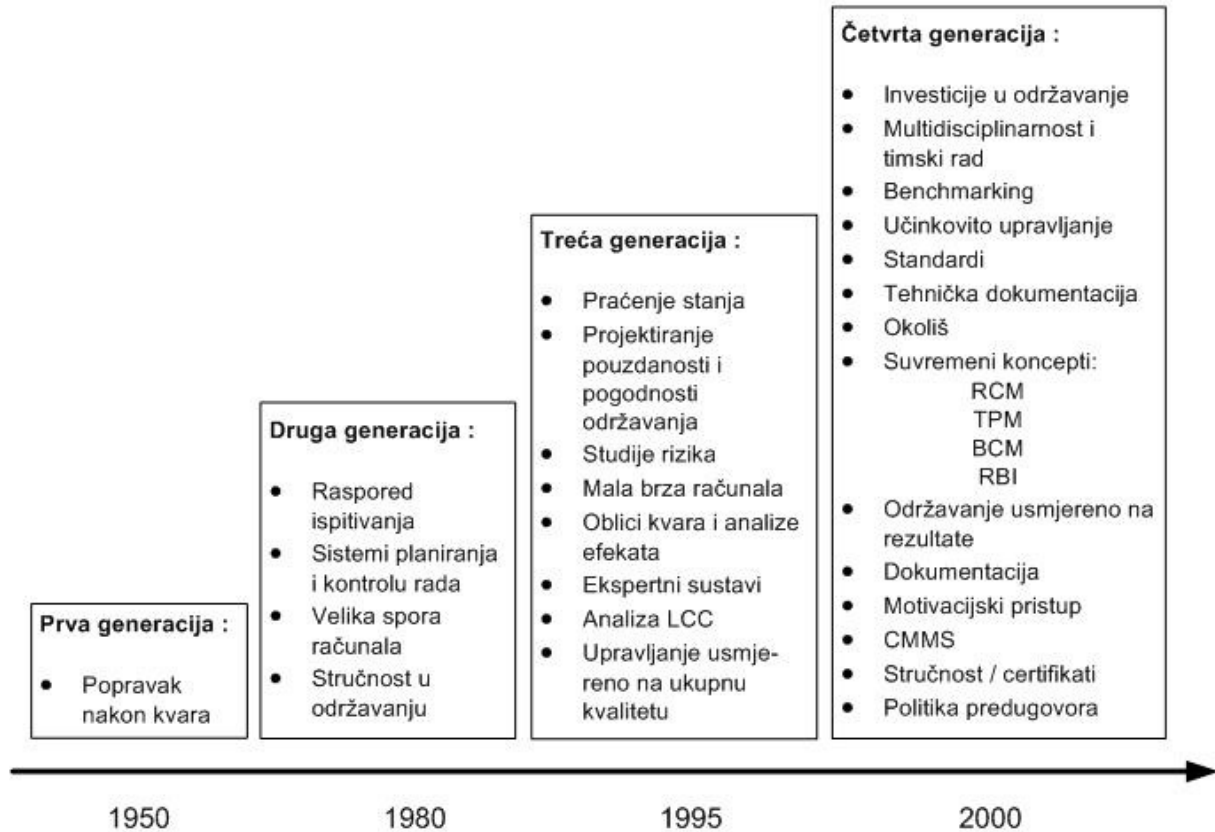
Slika 2.20. – Pravilo uspjeha i neuspjeha

Ovo pravilo nas upućuje i obvezuje na stalno usavršavanje i razvoj svih svojih potencijala, jer će nas u protivnom konkurencija preteći i naše vrhunske rezultate uskoro pretvoriti u prosječne. To se u potpunosti odnosi i na održavanje općenito, pa i na održavanje u procesnoj industriji.

## 2. 5. Tipovi održavanja

Tijekom vremena spoznaje o održavanju su se mijenjale i razvijale.

Razvoj održavanja prikazan je na slici 2.21.[18]



Slika 2.21. – Razvoj održavanja tijekom vremena

Postoji više različitih tipova održavanja, a to su:

1. Korektivno održavanje se provodi nakon prepoznavanja pogreške s ciljem da se određeni element dovede u stanje u kojem može izvoditi zahtijevanu funkciju. [HRN EN 13306]
2. Preventivno održavanje se provodi u unaprijed određenim intervalima ili u skladu sa propisanim kriterijima i s ciljem smanjivanja vjerojatnosti kvara ili ograničenja funkcije elementa. [HRN EN 13306]
3. Predvidivo održavanje je održavanje prema stanju kod kojega se želi eliminirati probleme uzrokovane nastankom kvara neposredno prije nego nastane kvar, a provodi se na temelju prognoze dobivene analizom i

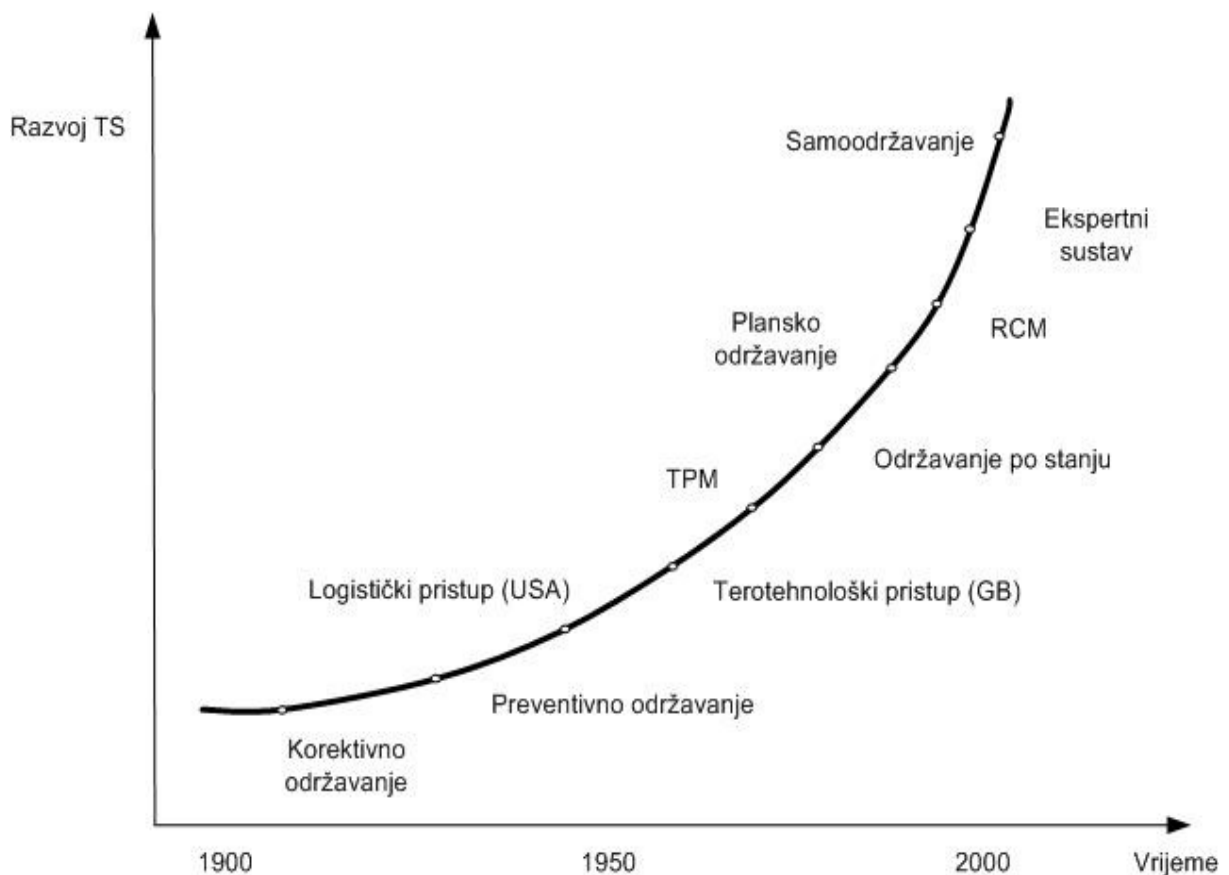
procjenom značajnih parametara koji ukazuju na dotrajalost elementa.[HRN EN 13306]

4. Proaktivno održavanje je održavanje kod kojega se želi eliminirati probleme prije nego započne proces mehanizma kvara. [HRN EN 13306]

Razvojem tehnoloških sustava od početka XX stoljeća traženo je rješenje da TS budu u funkciji i da traju što dulje.

Uz navedene pristupe i koncepcije postoji i veliki broj modela održavanja različitih istraživačkih i konzultantskih tvrtki, a tendencije su ka uvođenju predvidivog održavanja (*Predictive Maintenance*), a najnovije težnje su usmjerene na proaktivno održavanje (*Proactive Maintenance*)

U svijetu je razvijen čitav niz pristupa, koncepcija i modela održavanja, a najznačajniji su pristupi održavanju prikazani na slici 2.22. [4]



Slika 2.22. – Razvoj pristupa i koncepcija održavanja

1. Korektivni pristup održavanju (*Corrective Maintenance*) najstariji je oblik i svodi se niz zahvata održavanja koji se izvode nakon što je došlo do kvara. W. M. J. Geraerds (Nizozemska) taj pristup naziva „čekaj i vidi“. Danas se ovaj pristup rabi samo za nevažne tj. pomoćne TS, kod kojih zastoje ne utječe izravno na proizvodni proces.[4]

2. Preventivni pristup održavanju (*Preventive Maintenance*) se provodi u Americi nakon Drugog svjetskog rata. U osnovi tog pristupa jeste obavljanje radova održavanja prema zacrtanome planu prije nego što nastane kvar, odnosno zastoje. Stručnjaci održavanja obavljaju niz zahvata, koji trebaju biti dogovoreni sa pripremom proizvodnje kako bi određeni TS bio obustavljen radi potrebne preventive. H. Grothus je uz pomoć velikog broja stručnjaka izradio katalog svih pozicija i sklopova, s preporukama što se u određenim ciklusima treba preventivno raditi na TS.[4]

Preventivno održavanje obuhvaća slijedeće aktivnosti održavanja [11] :

- Preventivne periodične preglede
- Traženje i otklanjanje slabih mjesta na TS
- Kontrolne preglede
- Tehničku dijagnostiku
- Planirane popravke (male, srednje i velike)

Ovim se pristupom angažiraju velika sredstva (materijal, rezervni dijelovi i stručnjaci održavanja) i potrebno je često plansko zaustavljanje TS, što je na visokoproduktivnim strojevima i procesnim postrojenjima neprihvatljivo. Iz Amerike se ovaj pristup proširio po cijelome svijetu i bio je podloga svim kasnijim suvremenim koncepcijama održavanja.[4]

3. Logistički pristup održavanja (*Logistics Engineering*) razvijen Americi (B. Blanshard) otprilike u isto vrijeme kada i terotehnoški pristup u Europi. Korijeni ovog pristupa vezani su za vojsku i logističku potporu vojnim akcijama. U ovom slučaju radi se o logističkoj potpori proizvodnji tj. instaliranim TS, koja se promatraju : od prvih ideja kod projektiranja, u samoj proizvodnji, te na kraju u uporabi TS. Kroz taj dugi proces osnovna je ideja učiniti sve u prve dvije faze kako bi TS bio za održavanje i imao visok stupanj pouzdanosti, a sve radi učinkovite i ekonomične eksploatacije. [4]

Logistika predstavlja inženjerski pristup problemima održavanja TS od njihovog idejnog nastajanja do konačnog rashodovanja, sa interakcijom svih čimbenika koji se pojavljuju u tom vremenskom periodu.[12]

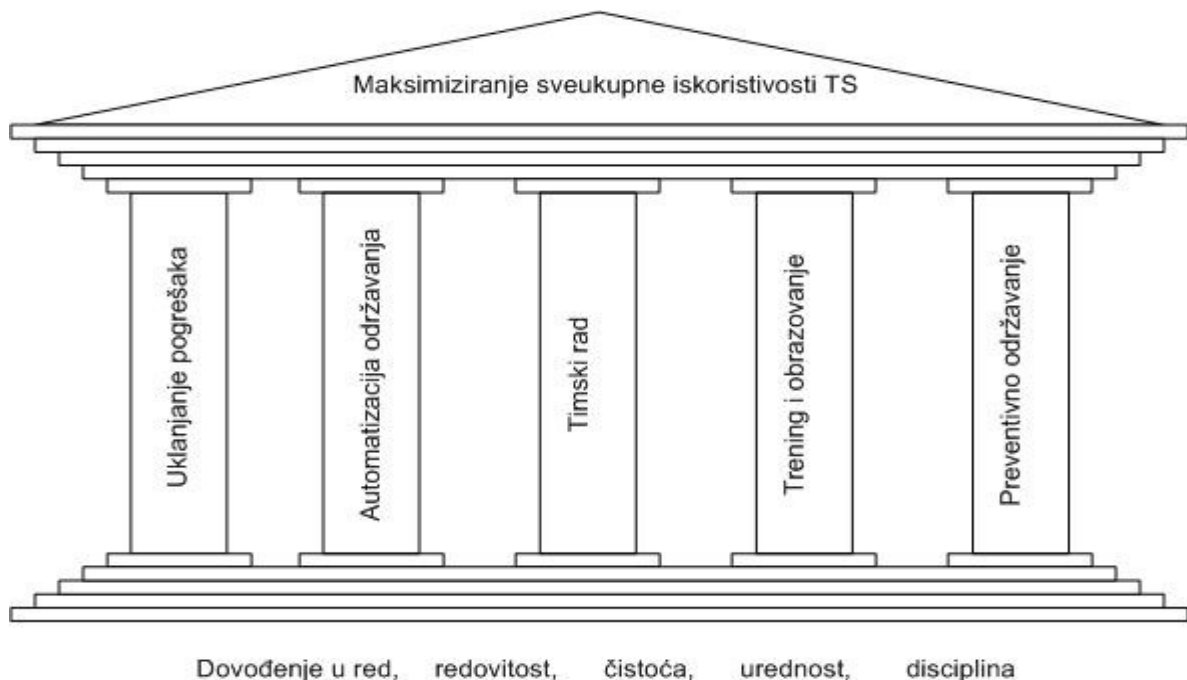
Logistika se često definira kao vještina i znanost upravljanja, inženjerstva i tehničkih aktivnosti vezanih na zahtjeve, projektiranja i osiguravanja resursa opskrbe i održavanja TS radi podrške ciljeva, planova i operacija i predstavlja zbroj svih dijelova životnog ciklusa TS potrebnih da se osigura efikasna i učinkovita podrška

4. Koncept terotehnologije (*Terotechnology*) napravio je Dennis Parkes iz V. Britanije početkom 70-ih godina.[4]

Terotehnologija obuhvaća djelatnosti od projektiranja, izrade, odnosno nabave TS , montaže i pripreme za eksploataciju, održavanje, modernizaciju do izdvajanja TS iz procesa proizvodnje. [13]

5. TPM tj. cjelovito učinkovito održavanje (*Total Productive Maintenance*) razvilo se početkom 70-ih godina dvadesetog stoljeća po ideji S .Nakajime (Japan) i počelo se primjenjivati u visokoautomatiziranoj i masovnoj proizvodnji – automobilska industrija Toyota. Francuzi (tvornica automobila Renault) 80-ih godina uvode TPM i smanjuju zastoje 20 do 30 %.[4]

Na slici 2.23. prikazani su stupovi na kojima počiva TPM [10]



**Slika 2.23. - Osnovni stupovi TPM**

TPM se često definira kao "produktivno održavanje uključujući totalno sudjelovanje". Da bi bio učinkovit TPM mora uvijek biti proveden na najširoj bazi

kompanije uz potpunu podršku radnika i uključivanje rukovodstva. TPM je baziran na tri grupe principa [10] :

1. Tehnike održavanja
  - Preventivno održavanje
  - Predvidivo i održavanje po stanju
  - Produktivno održavanje i redukcija troškova
  - Ekipiranje rukovodstva
  - Cijena životnog ciklusa
2. Sveukupno kvalitetno upravljanje (TQM)
3. Pravovremenost (Just-in-time)

TPM je sustav utemeljen na konceptu vlasništva i potpunoj integraciji proizvodnje i održavanja. Glavni pokretač TPM-a je koncept sveukupne efikasnosti TS (OEE). Strategija raspodjeljuje brigu o efikasnosti TS na sve zaposlene u organizaciji bez obzira na njihovu osnovnu funkciju, iskustvo ili specijalnost.[6]

6. TPEM - Sveukupno učinkovito upravljanje imovinom (*Total Productive Equipment Management*) je poseban oblik TPM-a. Razvio ga je E. H. Hartman. TPEM je više od održavanja, težište je na upravljanju TS. Uposlenici lakše prihvaćaju i lakše prilagođavaju svojim potrebama i prioritetima.[14]

7. Održavanje po stanju (*Condition based Maintenance*) nastaje 70-ih godina XX stoljeća, kao određeni sustavni pristup zahvaljujući razvoju elektrotehnike i potrebnih instrumenata, koji omogućuju mjerenje niza parametara bitnih za ocjenjivanje stanja TS, te temeljem toga donošenje odluke o potrebnim zahvatima održavanja.[4]

Održavanje po stanju je preventivno održavanje koje se sastoji od praćenja rada i parametara i naknadnih radnji. Praćenje rada i parametara može se planirati prema zahtjevu ili kontinuirano. [HRN EN 13306]

Kako se stvarno stanje TS mijenja tijekom vremena to znači da izmjereno stanje odgovara samo tom trenutku, te je potrebno periodično ili kontinuirano praćenje stanja TS kako bi smo utvrdili da li se promatrani parametri TS nalaze u željenim granicama i kakvi su trendovi njihovih promjena.

Na temelju toga se procjenjuje kolika je vjerojatnost i duljina očekivanog ispravnog rada te donosi odluka o daljnjem radu TS ili se sprovodi neka od aktivnosti održavanja (zamjena, popravak i sl.).

Izbor perioda dijagnostičkih mjerenja je važan za dobivanje valjanih parametara za ocjenu stanja. Period može biti fiksna, ali se može i mijenjati ovisno o potrebi. Kada se utvrdi da u nekoliko uzastopnih mjerenja nema značajnijih promjena to je znak da mjerenja mogu biti i sa duljim periodom ponavljanja, dok se kod brzih promjena i ključnih TS ti periodi mogu i skraćivati prema potrebi.

Prognoziranje stanja TS ostvaruje se različitim matematičkim metodama (analitički itd.).

Strategije održavanja prema stanju možemo podijeliti u dvije grupe :

- Održavanje prema stanju s kontrolom parametara i
- Održavanje prema stanju s kontrolom razine pouzdanosti

Dakle može se reći da je održavanje prema stanju dijagnostički proces koji nam omogućava utvrđivanje stanja TS i planiranje aktivnosti održavanja na temelju stvarnog stanja TS. Tako produžujemo koristan rad TS i smanjujemo neplanirane zastoje.

Da bi smo uveli program održavanja po stanju nužno je [11] :

- Posjedovati potrebne instrumente i metode
- Imati pripremljeno osoblje
- Imati pogodnu organizaciju
- Da komponente i TS budu raspoloživi za inspekciju

Subjektivne metode dijagnostike

- Akustična ispitivanja –buka, šum,
- Vizualne kontrole
- Taktilna ispitivanja
- Ispitivanje mirisa

Objektivne metode dijagnostike

- Kontrola toplinskog stanja –mjerenje temperature
- Kontrola trošenja pozicija i sklopova
- Metoda vibracija i buke
- Ispitivanja korozije
- Kontrola broja okretaja
- Kontrola protoka
- Kontrola tlaka, snage itd.



8. Planirano održavanje (*Scheduled Maintenance*) je koncepcija razrađena je na temelju konzultacija sa g. D. Parkerom i terotehnoške podloge u BS (Britanski standard). Često se susreće u praksi. Stručnjacima održavanja preostaje da osim korektivnog izaberu neki od modula preventive, prikaz na slici 2.24. [4] :



**Slika 2.24. – Prikaz planskog održavanja**

Plansko održavanje je održavanje koje se provodi sukladno utvrđenom rasporedu ili prema utvrđenom broju elemenata upotrebe. [HRN EN 13306]

9. RCM tj. održavanje usmjereno na pouzdanost (*Reliability Centered Maintenance*) se temelji na razvijanju aktivnosti održavanja i perioda njihovog izvršavanja korištenjem velikog broja funkcija u različitim sustavima.

Na slici 2.25. prikazana je pregled RCM procesa [6] :



**Slika 2.25.- Pregled RCM procesa**

Pouzdanost je sposobnost elementa da zahtijevanu funkciju izvodi u zadanim uvjetima unutar zadanog vremenskog intervala. [HRN EN 13306]

RCM je proces koji koristi određene korake održavanja kako bi osigurao da svaki TS ili imovina funkcionira sukladno očekivanjima. RCM osigurava osnovne korake (funkcija, kvarovi, efekti kvara, posljedice kvara i proaktivni poslovi) kako bi TS funkcionirali sukladno očekivanjima.

U RCM-u tvornica je razdijeljena na njene kritične komponente, od kojih je svaka predmet daljnjeg FMEA pristupa (*Failure Mode & Effect Analysis*) tj. analiza modela i efekata kvarova. Prema rezultatima analiza se usmjeravaju daljnja djelovanja održavanja i proizvodnje.[7]

Cilj RCM-a je usmjeriti resurse na aktivnosti i procese koji imaju direktan utjecaj na pouzdanost TS u cjelini i izbjeći bespotrebne napore (i troškove) održavanja. Osnovni koraci RCM odgovaraju na pitanja vezana uz TS i njihove [7] :

- Funkcije
- Kvarove
- Efekte kvarova
- Posljedice kvarova
- Nastanke kvarova
- Preventivne poslove
- Proaktivne poslove

RCM povećava :

- Sigurnost TS
- Raspoloživost i pouzdanost
- Kvalitetu
- Životni vijek TS
- Efikasnost održavanja

RCM 2 (prošireni) [12] :

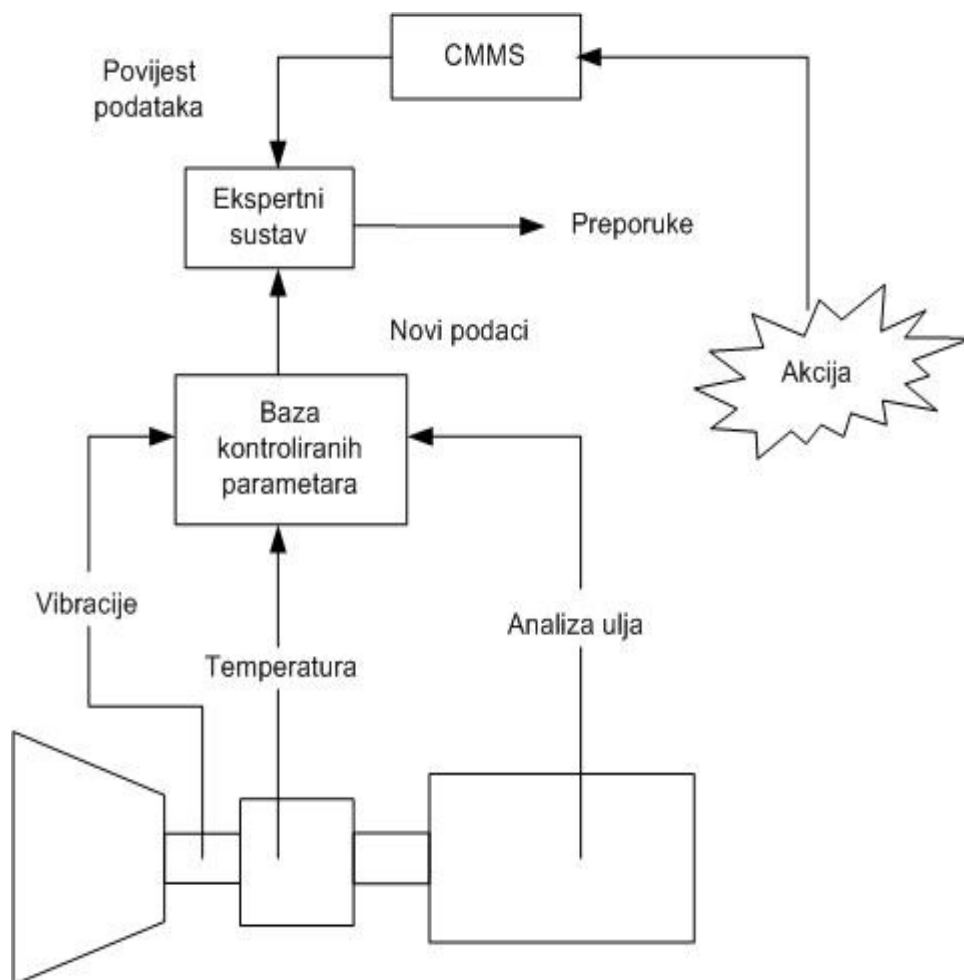
- Povećava očuvanje okoliša
- Smanjuje posljedice ljudskih pogrešaka
- Daje važnost timskom radu
- Olakšava odlučivanje
- Smanjuje ovisnost o zaposlenicima

10. Ekspertni sustavi (*Expert Systems*) se zasnivaju na "hranjenju" računala znanjem, prema određenoj shemi, čime se stvara podloga umjetnoj inteligenciji. Ekspertni sustav je, računalni sustav sa sposobnošću hardvera i softvera da donosi samostalno odluke. Vrhunski sustavi održavanja imaju dijagnostiku koja uključuje [6]:

- Praćenje vibracija, podmazivanja, termografije i analizu tih podataka
- CMMS koji objedinjuje kompletan sustav
- Ekspertni sustav zasnovana na tehnologiji praćenja stanja sa preporučenim kretanjima dijagnostičkih parametara

Ekspertni sustav će raditi prema postavljenim pravilima, koristeći se tehnikom postavljanja pitanja i odgovora koji se baziraju na dijagnostičkim mjerenjima. Eksperti tijekom vremena proširuju spoznaje i nadopunjuju bazu podataka ekspertnih sustava kako bi oni bolje i učinkovitije obavili svoju zadaću.

Na slici 2.26. prikazan je primjer ekspertnog sustava. [6]



Slika 2.26. - Ekspertni sustav

Ekspertni sustav sastavljen je od modula, i to (15) :

- Modul za pripremu podataka
- Modul referentnih podataka TS
- Programski modul

11. Samoodržavanje kao koncept predstavlja najrazvijeniju razinu funkcije održavanja u potpuno automatiziranoj tvornici sa vrhunskim stupnjem automatizacije. Taj koncept je najbliži budućnosti, a sastoji se od jednog ili više ekspertnih sustava

Nagli razvoj informacijskih sustava nameće potrebu njihovog korištenja i daje brojne pogodnosti korisnicima. Računalom podržano upravljanje održavanjem (CMMS - Computerized Maintenance Management Systems) je jedan od alata u održavanju za bolji tok informacija i olakšavanje procesa donošenja odluka. [17]

CMMS je koncipiran modularno, a moduli obuhvaćaju :

- Identifikaciju TS
- Radne upute uprave
- Planiranje i raspoređivanje
- Preventivno održavanje
- Popis kontrola
- Povijest TS
- Rad
- Cijene i proračun (budžet)

Dodatnu pogodnost naročito kod prikupljanja podataka daje korištenje «bar koda» i u najnovije vrijeme RDS (Radio detection system) sustava.

12. Vanjske usluge (*Outsourcing*), koncept gdje se održavanje povjerava (ugovara) sa specijaliziranim tvrtkama, a koristi se za specifične i specijalizirane zadatke, bolje upravljanje, planiranje i raspored rada i radnih procesa, upravljanje dijelovima procesa (naručivanje, unapređivanje i skrb), ponovni razvoj i primjenu procesa te brigu nad TS sa zajedničkom raspoloživosti.

Razlog za korištenje vanjskih usluga može biti smanjenje troškova, specijalistička znanja, dokumentacija, alati, rezervni dijelovi i materijal, zakoni i regulativa, dinamika posla, rijetka korištena znanja i vještine, rutinske aktivnosti i neključne aktivnosti.

Preporučljivo je kada je potrebno koristiti vanjske usluge za to koristiti minimalan broj tvrtki koje mogu osigurati pouzdanu, sigurnu, kvalitetnu i ekonomičnu uslugu. Ako je to moguće treba težiti sklapanju dugoročnih ugovora, ali pri tome cijena ne treba biti presudna, iako je dominantan kriterij izbora. Pri tome koristiti sustav stimuliranja kroz nagrade i kazne.

Svjetski pokazatelji udjela troškova vanjskih usluga u troškovima ukupnog održavanja, te prednosti i nedostaci vlastitog i vanjskog održavanja, kao i njihov udio u troškovima održavanja prikazani su u tablici 2.1. [16]

**Tablica 2.1. - Prednosti i nedostaci vlastitog i vanjskog održavanja**

Održavanje	Prednosti	Nedostaci	Udjel u troškovima
Vlastito	+ Poznavanje pogona + Brzina odziva + Privrženost tvrtki + Kompletno poznavanje problema	- Stalno zaposlenje - Obuka i dodatno obrazovanje - Efikasnost - Troškovi RD/TM i alata	64 %
Vanjsko	+ Fleksibilnost + Vještina i iskustvo + Alati i obuka + Angažiranje prema potrebi	- Vrijeme odziva - Povjerenje - Važnost korisnika - Rizici u slučaju incidenta - Poslovne tajne	36 %

Održavanje rafinerija nafte, kao i kod svih složenih TS zahtijeva korištenje vanjskih usluga. Ekonomski efekti i karakter poslova i zadataka diktiraju omjer korištenja vanjskih usluga u konkretnom slučaju.

Primjena i mogućnosti primjene nekih od navedenih tipova održavanja u rafineriji nafte u Sisku su različite.

Korektivno održavanje ima svoju primjenu u održavanju promatrane rafinerije nafte i najpovoljnije je za neke TS. Plansko održavanje je u primjeni kao osnovni tip održavanja u rafinerija nafte u Hrvatskoj. Djelomično se koristi preventivno i

održavanje po stanju, pri čemu su već sada u primjeni i dobro su razvijeni i razrađeni postupci i metode preventivnih i dijagnostičkih pregleda TS.

Logistički sustav održavanja i terotehnologija su već zastarjeli koncepti, pa bi njihova primjena naišla na prevelike otpore u primjeni, neovisno o tome što i dalje imaju svoje dobre strane i sigurno bi dali neke nove pozitivne pomake. TPM je koncept primjereniji automobilskoj industriji, ali bi se neka njegova načela i pristupi mogli iskoristiti u održavanju promatrane rafinerije nafte. TPEM bi također mogao biti na sličan način koristan kada bi se primijenio u promatranoj rafineriji nafte.

Vjerojatno najveći zamah razvoju održavanja u promatranoj rafineriji nafte mogao bi biti u primjeni RCM-a. Pouzdanost kao centralna karakteristika RCM-a je posebno značajna u procesnoj, a nadasve u rafinerijskoj i naftnoj industriji. Ekspertni sustav bi se u rafineriji nafte u Sisku moglo, u prvoj fazi, pokušati uvesti za pojedine kapitalne strojeve npr. parna turbina i generator i sl., a kasnije proširivati i na druge TS, ovisno o iskustvima i rezultatima.

## **2.6. Tehnologije održavanja**

Nakon definiranja strategije održavanja, tj. određivanja pristupa održavanju TS, potrebno je definirati i tehnološke procese održavanja (*maintenance technology*), kako bi se postigao cilj zacrtan odgovarajućom strategijom održavanja.[4]

Pri tome se misli na razradu tehnologija održavanja, poznate principe izvođenja snimanja kvarova i samih popravaka, dijagnostika različitih parametara kojima se definira stanje TS, reparaturne tehnologije za popravak polomljenih ili oštećenih dijelova, te podmazivanje i antikorozivna zaštita itd.

Razrada samog pristupa odgovarajućim tehnološkim procesima održavanja za svaki TS obično se odvija u četiri faze :

1. Obrada podloga za projektiranje tehnologija održavanja
2. Razrada općih principa tehnologije održavanja odgovarajućih TS
3. Pristupi i metode tehnologije održavanja
4. Razrada specifičnosti u tehnologiji održavanja

Za definiranje pristupa projektiranju tehnologije održavanja potrebne su određene podloge, a one se razlikuju za nova ili za već korištena TS. Za projektiranje tehnologije održavanja potrebno je znati i posjedovati slijedeće :

- Dokumentaciju proizvođača opreme
- Poznavati sve informacije o funkcioniranju TS
- Poznavanje uvjeta uporabe (režim rada, okolina, rukovatelji i sl.)
- Poznavanje proizvodnih mogućnosti TS (kapacitet i kvaliteta rada)
- Poznavanje planskog vijeka uporabe

Uz ovo se može razraditi tehnologija održavanja, ali je potrebno prije toga poznavati i opće principe tehnologije održavanja. To su opća i posebna znanja o održavanju, raspoloživi instrumenti, oprema i alati kojima se to može učiniti.

Za izradu tehnologije održavanja nekog popravka potrebno je, uz prije napomenute podatke, poznavati slijedeće.[4]

- Sustav uočavanja kvara (npr. način uočavanja slabih mjesta)
- Metode dijagnostike kvara (vizualna, tekstilna, akustična, ultrazvuk itd.)
- Postojeće metode otklanjanja kvara i slabih (kritičnih) mjesta na TS,
- Najjednostavniji način rastavljanja TS,
- Razinu rastavljanja TS u odnosu na dijagnosticirani kvar tj. planirane aktivnosti (čišćenje, podmazivanje, izmjena pozicija i sklopova itd.)
- Način sastavljanja TS ako ima nekih posebnosti,
- Način ispitivanja funkcionalnosti postavljenih TS.

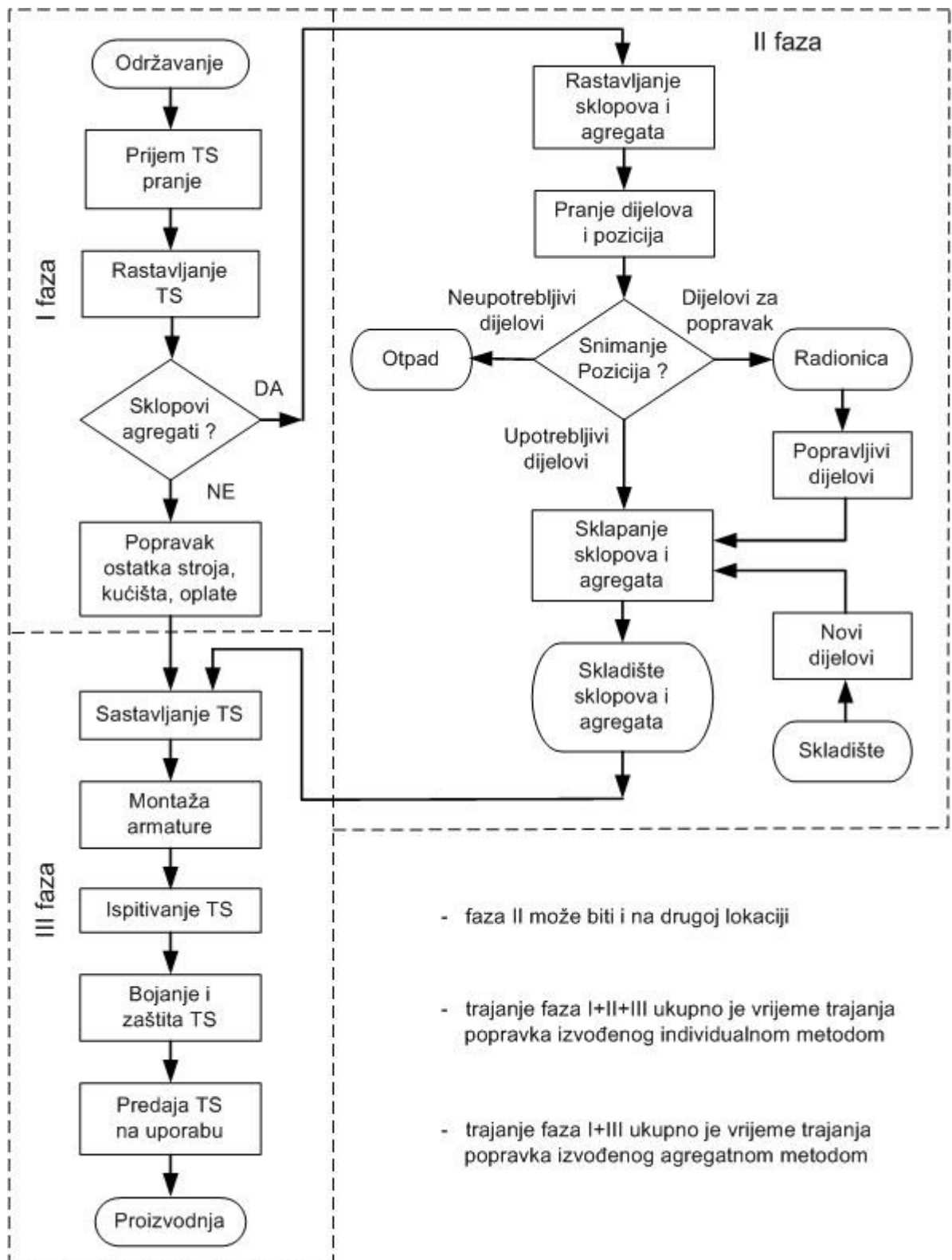
Općenito promatrano postoje dva principa pristupu održavanja, koji definiraju odnos održavatelja prema TS, i to [4] :

- K TS (k opremi, k objektu-stroju) gdje "održavanje" dolazi na lice mjesta,
- Od TS, gdje se TS demontiraju i transportiraju na lokaciju gdje održavatelji imaju najpovoljnije uvjete za realizaciju aktivnosti održavanja.

Uz ova dva pristupa postoje još i dvije metode održavanja, i to .

- Individualna metoda održavanja, koja se rabi kod velikih popravaka ili planskih zahvata, a počinje nakon zaustavljanja i pripreme postrojenja (pranje i sl.). Obično se ovako izvode radovi generalnih popravaka,
- Agregatna ili skupna metoda održavanja, koja znatno skraćuje vrijeme zastoja postrojenja zbog kvarova. To je ostvareno na način da se pojedine aktivnosti vremenski preklapaju (u vrijeme trajanja I i III faze odvijaju se i aktivnosti II faze).

Na slici 2.27. prikazan je blok dijagram tijeka poslova održavanja na popravku sa tri karakteristične faze [4]



Slika 2.27. - Blok dijagram tijeka poslova održavanja na popravku



Tehnologija održavanja ima i svoje specifičnosti koje nastaju iz slijedećih razloga [4] :

- Različite podloge
- Više načina izvođenja
- Malog broja istih strojeva
- Različitih proizvođača
- Godine instaliranja itd.

Treba spomenuti i slijedeće aktivnosti tehnologije održavanja :

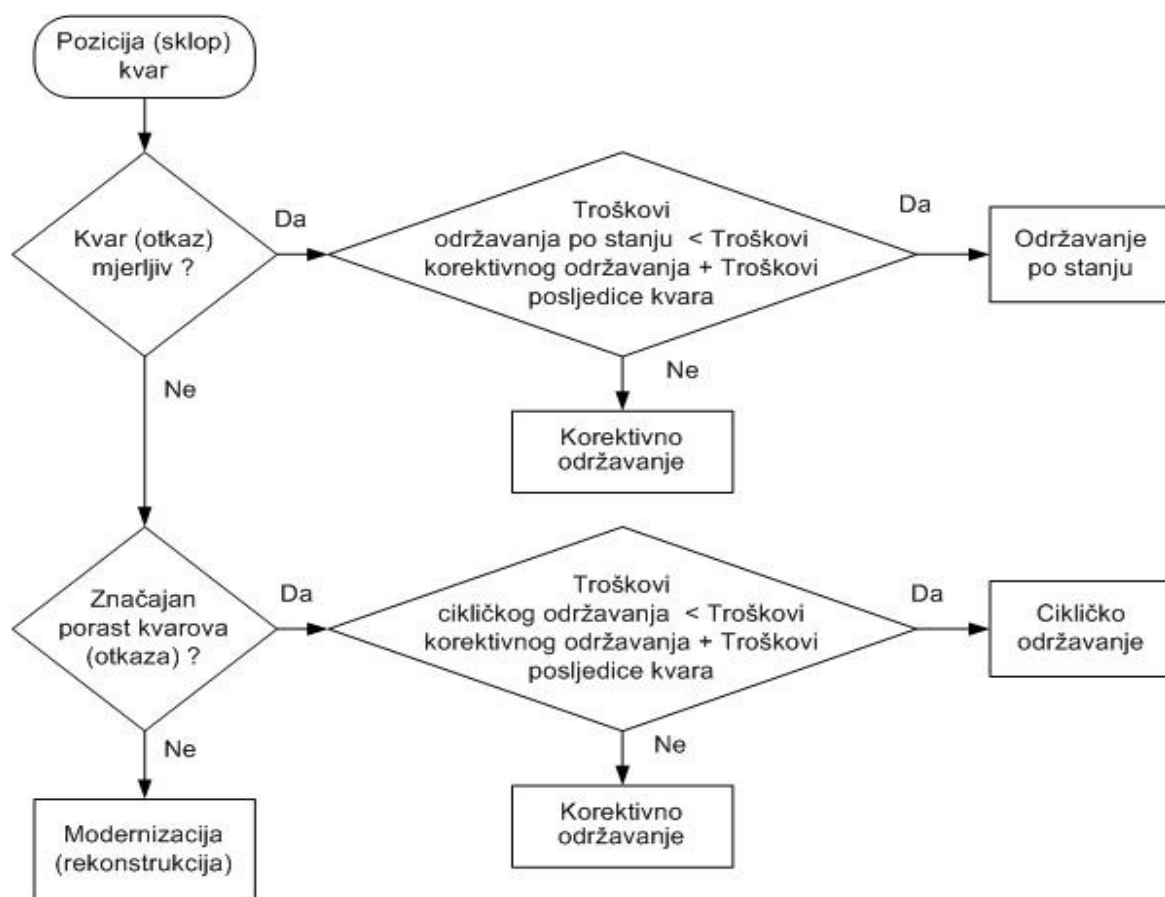
- Dijagnostika u održavanju
- Reparaturne tehnologije održavanja
- Podmazivanja TS
- Antikorozivne zaštite TS

Na slici 2.29. prikazan je blok dijagram tijeka poslova održavanja na popravku sa tri karakteristične faze [4]

Najčešće primjenjivane tehnologije i metode u popravcima polomljenih i istrošenih dijelova jesu [4] :

- Zavarivanje (spajanje polomljenih dijelova)
- Navarivanje (dodatak tvrdog i žilavijeg materijala na radne površine izložene trošenju),
- Metalizacija (pojačanje površinskog sloja)
- Nanošenje električnom iskrom
- Elektrolitsko nanošenje
- Elektromehanička obrada
- Metalock postupak (spajanje polomljenih dijelova)
- Tehnike lijepljenja (npr.: "Belzona" – "tekući metal")
- Patentirane tehnike za reparaturna zavarivanja, npr.: "Castolin + Eutectic"
- Nanošenje materijala na površine dijelova tehnikama Plasma spraying a i Flame spraying a, itd.

Odluka o vrsti održavanja može se donijeti dosta jednostavno uzimajući u obzir troškove poduzeća vezane na održavanje i eksploataciju. Na slici 2.28. prikazan je dijagram tijeka donošenja odluke o vrsti održavanja. [4]



Slika 2.28. - Dijagram tijeka donošenja odluke o vrsti održavanja.

Ovakvim pristupom moguće je odrediti aktivnosti održavanja koje je ekonomski najprihvatljivije izvršavati primjenom kojeg tipa održavanja uz primjenu adekvatnog tipa održavanja.

## 2.7. Uspoređivanje održavanja

Osnovni koncept i filozofija benchmarkinga poznati su jako dugo. U knjizi "Umijeće ratovanja" Sun Tzu kaže :

*"Kada znaš i sebe i druge, nisi nikada u opasnosti; kada znaš sebe, ali ne i druge, imaš polovicu šansi pobijediti; a kada ne znaš ni sebe niti druge u opasnosti si u svakoj bitki."*

Uspoređivanje (*Benchmarking*) održavanja je alat koji uspoređuje organizaciju i njene performanse sa vanjskim standardima i iskustvima. – i utjecati na otklanjanje uočenih propusta. [8]

«Benchmarking» nam daje informacije koje možemo koristiti za povećanje efikasnosti, povećanje produktivnosti, osiguravanje kvalitete, smanjenje cijene i povećanje brzine. [8]

Osnovna filozofija nakon uspoređivanja je :

- Znati vlastitu organizaciju, oboje snagu i slabosti
- Znati koje industrije se odlikuju izvrsnim procesom održavanja uključujući stručnost vodstvo u sektoru i ostalo
- Postaviti izazovne ciljeve, uklopiti najbolju praksu
- Mjeriti rezultate i nastojati stalno težiti boljim performansama

«Benchmarking» proces je strukturiran na slijedeći način [8] :

- Prepoznavanje oblasti za unapređivanje
- Razumijevanje procesa koji trebamo unaprijediti
- Usredotočiti se na osnovne korisnike i procese koji ostvaruju izvrsne rezultate u najvažnijim oblastima rada

«Benchmarking» proces provodimo kroz slijedeće korake [8] :

1. Razumjeti svoju organizaciju. Analiza mogućnosti korištenja pokazatelja za mjerenja,
2. Odrediti partnera. Tko je najbolji? Kompanija sa čijim parametrima ćemo se uspoređivati
3. Analiza razlika. Istovrsna usporedba («jabuke» s «jabukama») koristeći aktualni pogled na kalkulacije i izvor podataka
4. Razvoj i primjena unapređenja. Plan je razvijanje prilagodbe i primjena informacija u unapređenju organizacije i izrada drugih poboljšanja,
5. Ocjena i vrednovanje rezultata. Promatra se utjecaj poboljšanja kroz izabrane pokazatelje. Rezultat mora biti vidljiv u funkcionalnim i financijskim pokazateljima tj. u profitu kompanije.
6. Početi ponovo. Nastavak usavršavanja na slijedećim poljima i početak procesa iz početka.

Kako bi se osiguralo stalno usavršavanje održavanja potrebno je taj proces stalno unapređivati. Osnovni cilj je raditi bolje - brže - jeftinije.

### 3. SNIMANJE PARAMETARA ZA ISTRAŽIVANJE

Da bi došli do određenih spoznaja o održavanju potrebno je kroz određeno razdoblje prikupiti podatke o radu postrojenja i pripadajućih TS. Praćenje rada postrojenja i pripadajućih TS u rafineriji nafte, kao i u svim dobro organiziranim procesnim industrijama je organizirano kroz evidentiranje bitnih parametara procesa i događaja važnih za procese i TS.

U tim evidencijama se vode i podaci o zastojsima, radovima na TS i/ili njihovoj kontroli. Evidencije se vode na svim postrojenjima, ali i uz tzv. kapitalne strojeve (npr. kompresore, turbine i sl.), pri čemu se periodično u pravilnim vremenskim intervalima u njih upisuje trenutno stanje praćenih parametara.

Uz te i takve detaljne evidencije na svakom postrojenju se vode i knjige zapažanja za čitavo postrojenje u kojima se evidentiraju najvažniji podaci na razini čitavog KP, odnosno onog dijela koji je trenutno u pogonu. Za dijelove postrojenja koji su trenutno van funkcije evidentiraju se eventualne aktivnosti i njihov napredak ili se samo konstatira da je taj dio postrojenja izvan funkcije.

Pored toga u svim radionicama održavanja, tehničkoj i operativnoj pripremi također se vode odgovarajuće evidencije o radovima na strojevima i postrojenju, odnosno, njihovim kvarovima, zamijenjenim dijelovima izvršenim kontrolama i sl. Sva ta dokumentacija dobar je izvor za prikupljanje podataka koji su neophodni za realizaciju istraživanja. Iz tih evidencija su prikupljeni podaci o zastojsima po sekcijama i uzroci tih zastoja.

Podaci su prikupljeni u razdoblju od 1999. godine do 2005. godine i evidentirani na način kako je to prikazano u tablici 3.1. U tablicama je prikazan broj zastoja, datum nastanka, te opis uzroka njihovog nastajanja, kao i vrijeme trajanja zastoja. Na kraju svakog tabličnog prikaza zastoja vidi se i ukupno vrijeme trajanja zastoja za tu godinu i ukupno vrijeme ispravnog rada.

Sumirani podaci su prikazani na kraju kao ukupno vrijeme trajanja zastoja i ukupno vrijeme ispravnog rada za svako postrojenje za promatrano razdoblje.

U tablici 3.1. prikazani su podaci za postrojenje vakuum destilacije i promatranu 2002. godinu rada.

**Tablica 3.1. – Uzroci zastoja vakuum destilacije u 2002. godini**

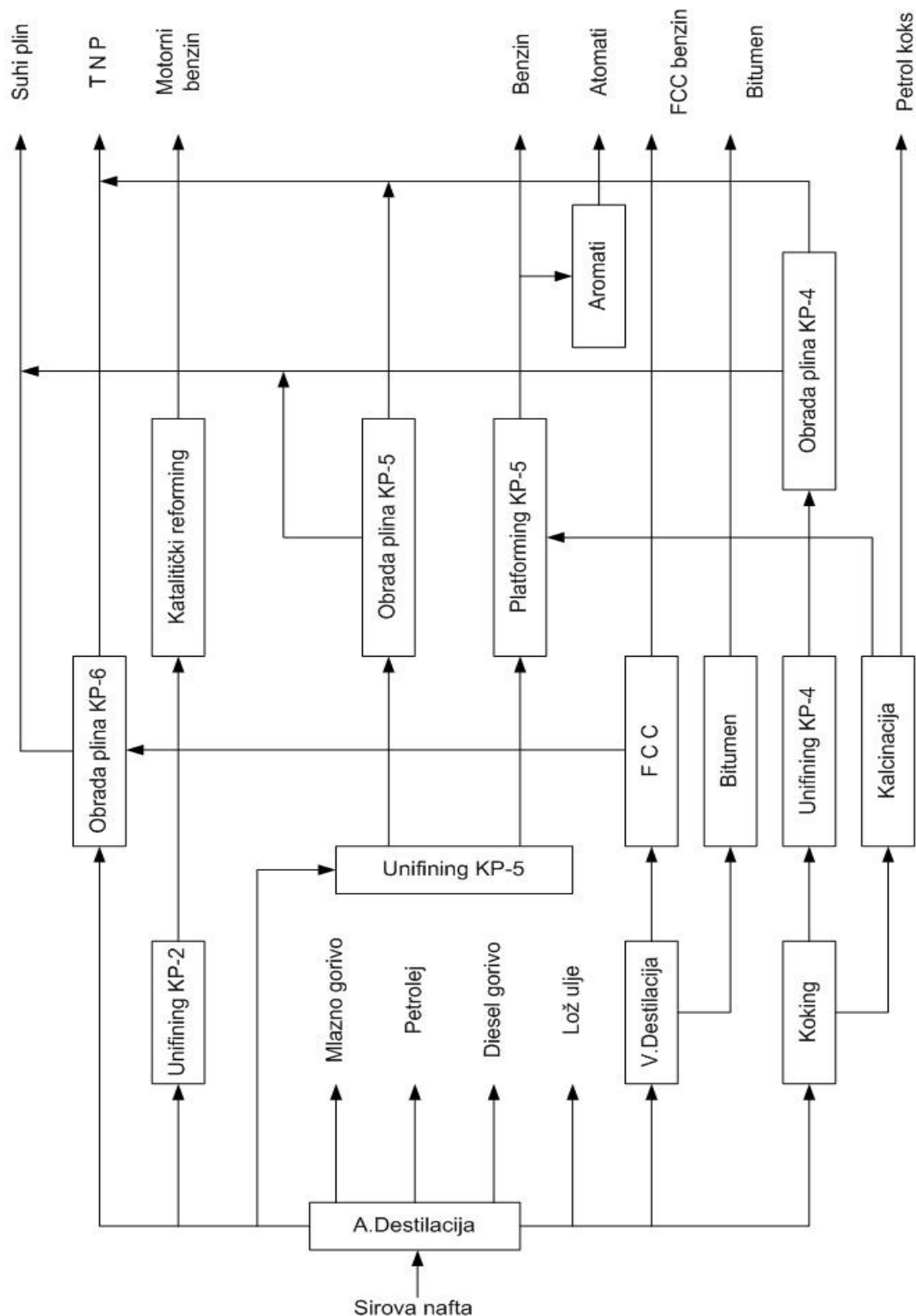
Redni broj	Datum zastoja	<i>RAZLOG OBUSTAVE</i>	Vrijeme stajanja (h)	Vrijeme ispravnog rada (h)
1	14.sij	Propuštanje u cijevnom kanalu	139,1	
2	22.sij	Ispad elektro-energetskog sustava.	31,5	
3	25.vel	Tehnološki razlozi i kvar izmjenjivača	252,0	
4	29.ožu	Propuštanje na dnu kolone	251,4	
5	10.svi	Čeka se LO iz domaće sirovine	20,3	
6	16.lip	Cirkulacija zbog sirovine	17,8	
7	17.lip	Nalog Uprave proizvodnje.	343,5	
8	12.srp	Nalog Uprave proizvodnje.	276,0	
9	25.srp	Propuštanje dna kolone	27,9	
10	11.kol	Nalog Uprave proizvodnje.	114,0	
11	18.kol	Cirkulacija zbog čekanja na sirovine	23,6	
12	05.ruj	Cirkulacija zbog čekanja na sirovine	65,2	
13	23.ruj	Nalog Uprave proizvodnje.	36,0	
14	29.ruj	Nalog Uprave proizvodnje.	45,7	
15	22.lis	Neispravna instrumentacija na koloni	114,0	
16	30.lis	Remont	1.503,5	
UKUPNO (h) :			3.261,6	5.498,4

Po istom principu su evidentirani i podaci za sva druga postrojenja i svaku godinu u promatranom vremenskom razdoblju.

Ukupni podaci su prikazani u tablicama za svako postrojenje kako slijedi. Uz to su dati i histogramski prikazi tih rezultata. U tablicama za svako postrojenje zastoji su razvrstani na one izazvane kvarom i ostale uzročnike, uz prikaz vremena ispravnog rada. Proces jednog postrojenja u promatranj rafineriji nafte se ne mogu odvijati neovisno od rada drugih postrojenja. Pojedini procesi su «izvor» sirovine za

naredni proces te tako međusobno uvjetuju rad onog drugog (nedostatak sirovine ili nemogućnost potrošnje ili skladištenja gotovih proizvoda).

Povezanost procesa u INA RNS je prikazana shematski na slici 3.1.



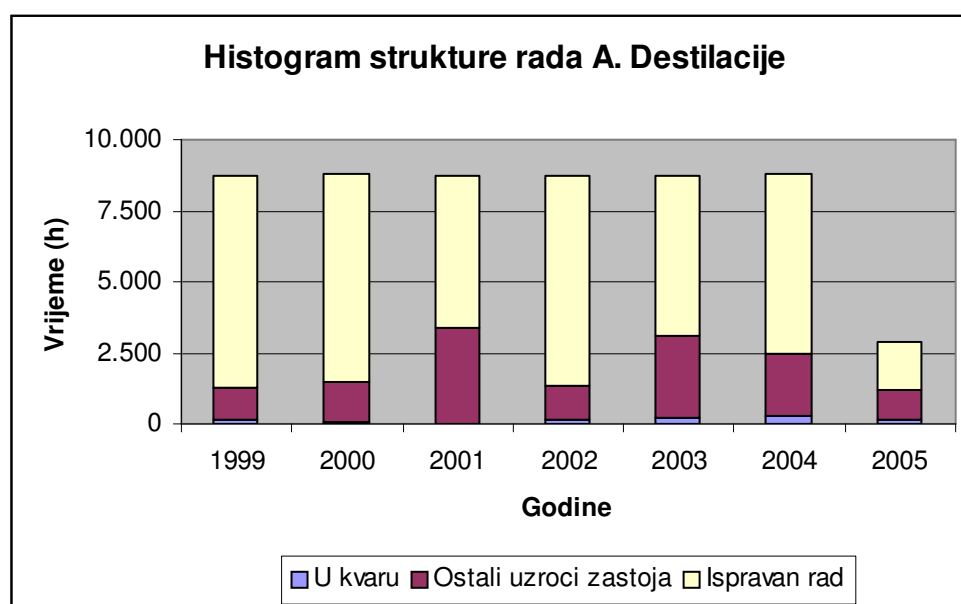
Slika 3.1. – Shema povezanosti procesa u rafineriji nafte u Sisku

## Atmosferska destilacija

U tablici 3.2 prikazani su ukupni podaci o uzrocima zastoja u radu, u satima (h), procesa atmosferske destilacije, a na slici 3.2 dan je histogramski prikaz, u razdoblju od 1999. godine do 2005. godine,

**Tablica 3.2. – Uzroci zastoja atmosferske destilacije (ukupno) :**

Godina	Kvar TS (h)	Ostali uzroci (h)	Ispravan rad (h)
1999	120,0	1.125,4	7.514,6
2000	88,8	1.391,3	7.303,9
2001	0,0	3.402,7	5.357,3
2002	130,7	1.173,3	7.456,0
2003	207,6	2.869,3	5.683,2
2004	312,1	2.154,3	6.317,6
2005	164,9	1.041,7	1.673,4
Ukupno (h):	1.024,1	13.157,9	41.306,0



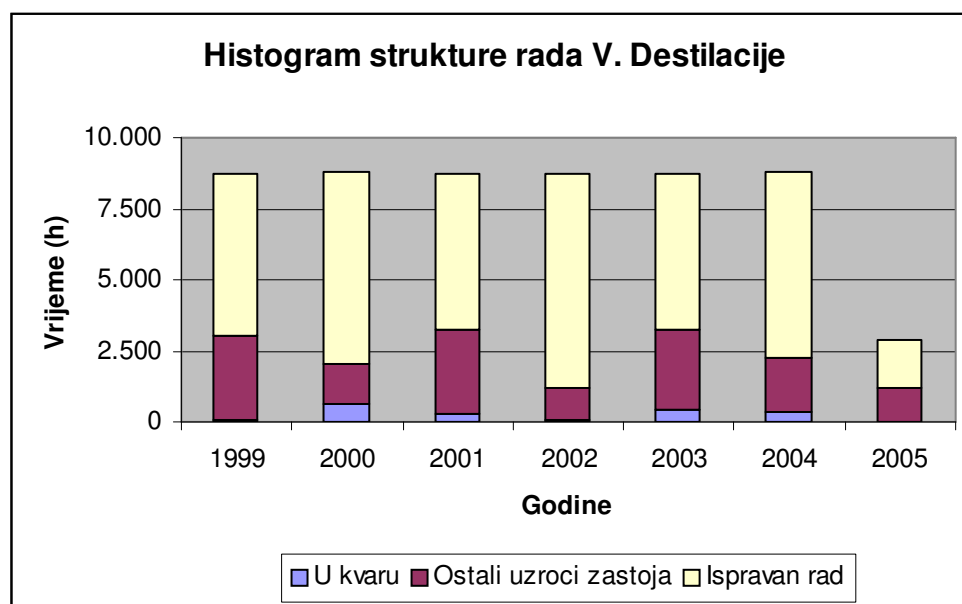
**Slika 3.2. - Histogramski prikaz rada i zastoja atmosferske destilacije**

## Vakuum destilacija

U tablici 3.3 prikazani su ukupni podaci o uzrocima zastoja u radu, u satima (h), procesa vakuum destilacije, a na slici 3.3 dan je histogramski prikaz, u razdoblju od 1999. godine do 2005. godine,

**Tablica 3.3. – Uzroci zastoja vakuum destilacije (ukupno)**

Godina	Kvar TS (h)	Ostali uzroci (h)	Ispravan rad (h)
1999	72,0	2.923,2	5.764,8
2000	652,8	1.388,2	6.743,0
2001	289,9	2.918,9	5.551,2
2002	67,6	1.160,7	7.531,7
2003	418,5	2.843,1	5.498,4
2004	368,3	1.887,7	6.528,0
2005	0,0	1.194,3	1.685,7
Ukupno (h):	1.869,1	14.316,1	39.302,8



**Slika 3.3. – Histogramski prikaz rada i zastoja Vakuum destilacije**

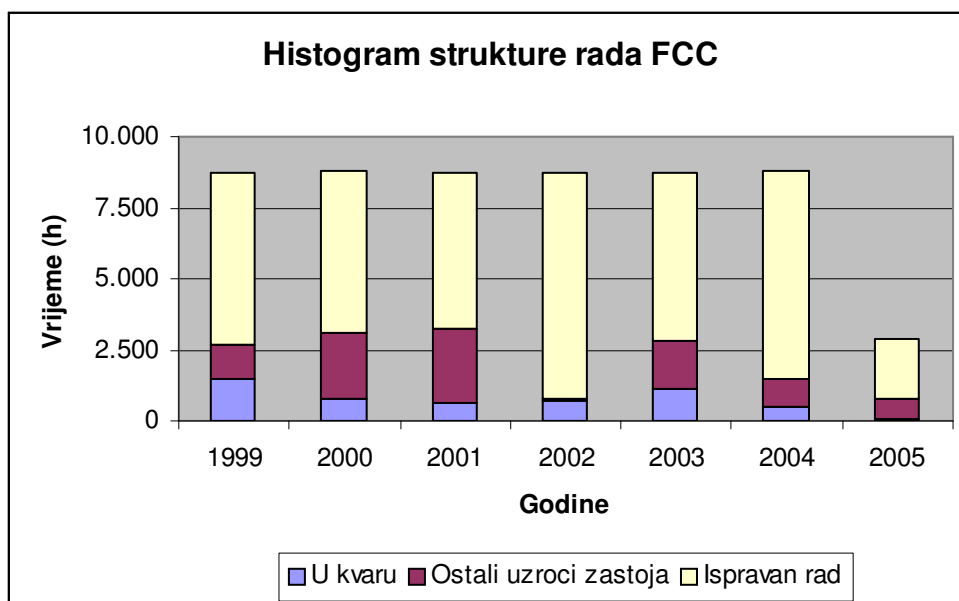


## FCC (Fluid Catalytic Cracking)

U tablici 3.4 prikazani su ukupni podaci o uzrocima zastoja u radu, u satima (h), procesa FCC, a na slici 3.4 dan je histogramski prikaz, u razdoblju od 1999. godine do 2005. godine.

Tablica 3.4. – Uzroci zastoja FCC-a (ukupno)

Godina	Kvar TS (h)	Ostali uzroci (h)	Ispravan rad (h)
1999	1.502,7	1.192,8	6.064,5
2000	775,7	2.327,2	5.681,1
2001	617,1	2.602,2	5.540,8
2002	676,7	83,6	7.999,7
2003	1.104,0	1.708,2	5.947,8
2004	499,9	978,9	7.305,2
2005	84,7	673,5	2.121,8
Ukupno (h):	5.260,8	9.566,4	40.660,9



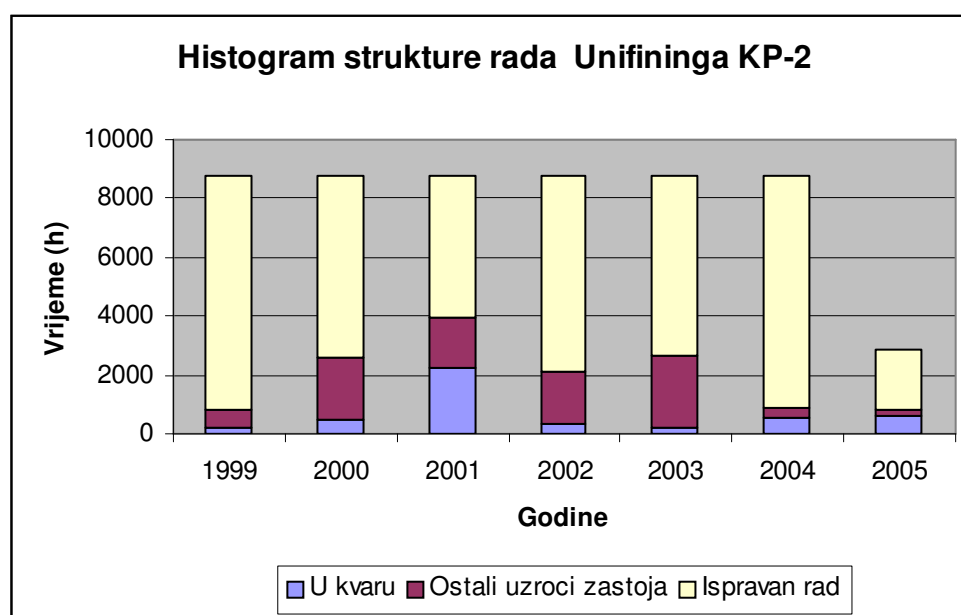
Slika 3.4. – Histogramski prikaz rada i zastoja FCC

## Unifining KP-2

U tablici 3.5 prikazani su ukupni podaci o uzrocima zastoja u radu, u satima (h), procesa unifininga KP-2, a na slici 3.5 dan je histogramski prikaz, u razdoblju od 1999. godine do 2005. godine.

**Tablica 3.5. – Uzroci zastoja Unifininga KP-2 (ukupno)**

Godina	Kvar TS (h)	Ostali uzroci (h)	Ispravan rad (h)
1999	228,3	602,2	7.929,6
2000	455,1	2.119,4	6.209,5
2001	2.246,3	1705,0	4.808,8
2002	330,1	1.748,6	6.681,4
2003	185,7	2.497,5	6.076,8
2004	551,4	315,4	7.917,2
2005	628,6	193,1	2058,3
Ukupno (h):	4.625,5	9.181,2	41.681,5



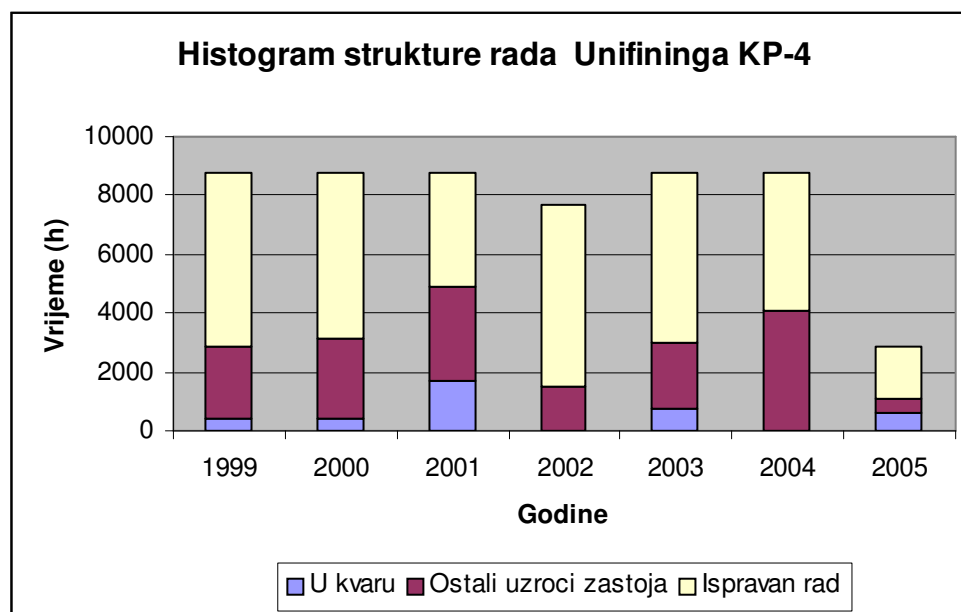
**Slika 3.5. – Histogramski prikaz rada i zastoja Unifininga KP-2**

## Unifining KP-4

U tablici 3.6 prikazani su ukupni podaci o uzrocima zastoja u radu, u satima (h), procesa Unifininga KP-4, a na slici 3.6 dan je histogramski prikaz, u razdoblju od 1999. godine do 2005. godine.

**Tabela 3.6. – Uzroci zastoja unifininga KP-4 (ukupno)**

Godina	Kvar TS (h)	Ostali uzroci (h)	Ispravan rad (h)
1999	400,9	2.470,5	5.888,6
2000	425,0	2.695,4	5.663,6
2001	1.710,6	3207,7	3.841,8
2002	1.050,0	1469,5	6.240,5
2003	728,8	2.247,2	5.784,0
2004	24,9	4.064,2	4.694,9
2005	592,5	506,9	1.780,6
Ukupno (h):	4.932,7	16.661,4	33.893,9



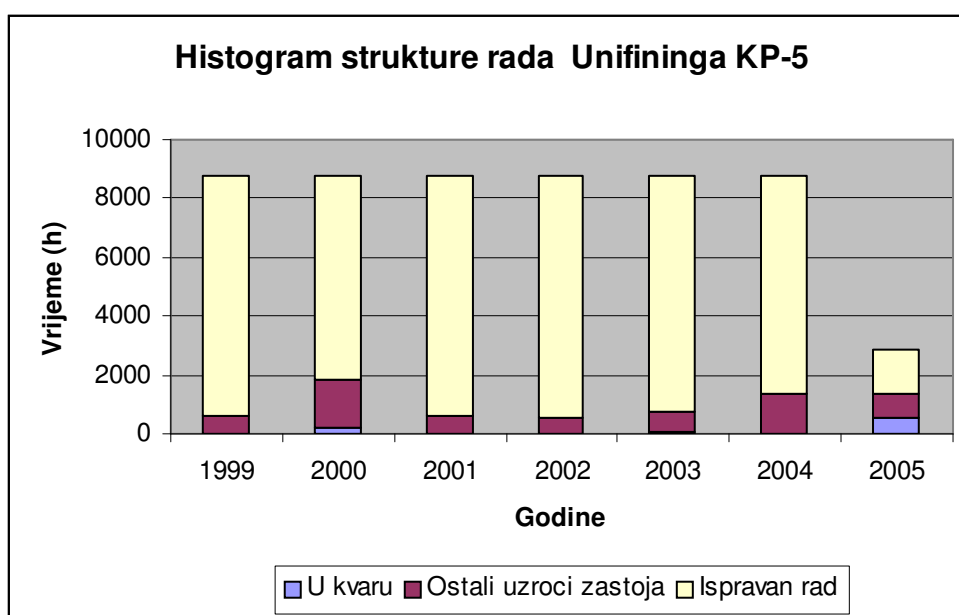
**Slika 3.6. – Histogramski prikaz rada i zastoja Unifininga KP-4**

## Unifining KP - 5

U tablici 3.7. prikazani su ukupni podaci o uzrocima zastoja u radu, u satima (h), procesa unifininga KP-5, a na slici 3.7 dan je histogramski prikaz, u razdoblju od 1999. godine do 2005. godine.

**Tablica 3.7. – Uzroci zastoja unifininga KP-5 (ukupno)**

Godina	Kvar TS (h)	Ostali uzroci (h)	Ispravan rad (h)
1999	0,0	618,0	8.142,0
2000	189,6	1.624,0	6.970,4
2001	0,0	584,4	8.175,6
2002	0,0	518,3	8.241,7
2003	49,5	731,7	7.978,8
2004	0,0	1343,6	7.440,4
2005	511,4	816,3	1.552,3
Ukupno (h):	750,5	6.236,3	49.352,4



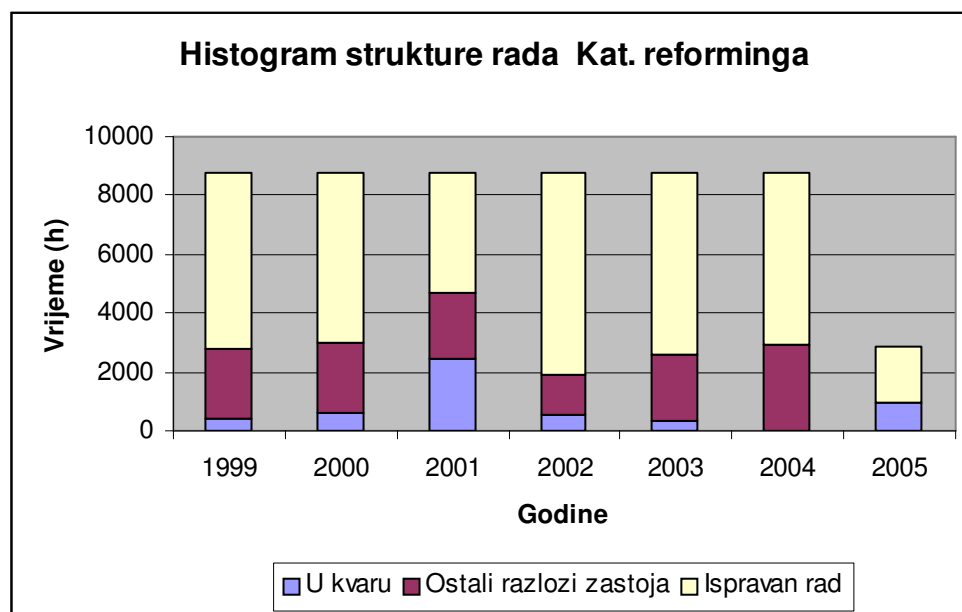
**Slika 3.7. – Histogramski prikaz rada i zastoja Unifininga KP-5**

## Katalitički reforming

U tablici 3.8 prikazani su ukupni podaci o uzrocima zastoja u radu, u satima (h), procesa katalitičkog reforminga, a na slici 3.8 dan je histogramski prikaz, u razdoblju od 1999. godine do 2005. godine.

Tablica 3.8. – Uzroci zastoja Katalitičkog reforminga (ukupno)

Godina	Kvar TS (h)	Ostali uzroci (h)	Ispravan rad (h)
1999	438,4	2.326,5	5.995,1
2000	587,7	2.412,8	5.783,6
2001	2.427,3	2.285,0	4.047,6
2002	562,8	1.339,0	6.858,3
2003	345,8	2.215,9	6.198,3
2004	0,0	2.955,1	5.828,9
2005	928,0	0,0	1952,0
Ukupno (h):	5.290,0	13.534,3	36.663,8



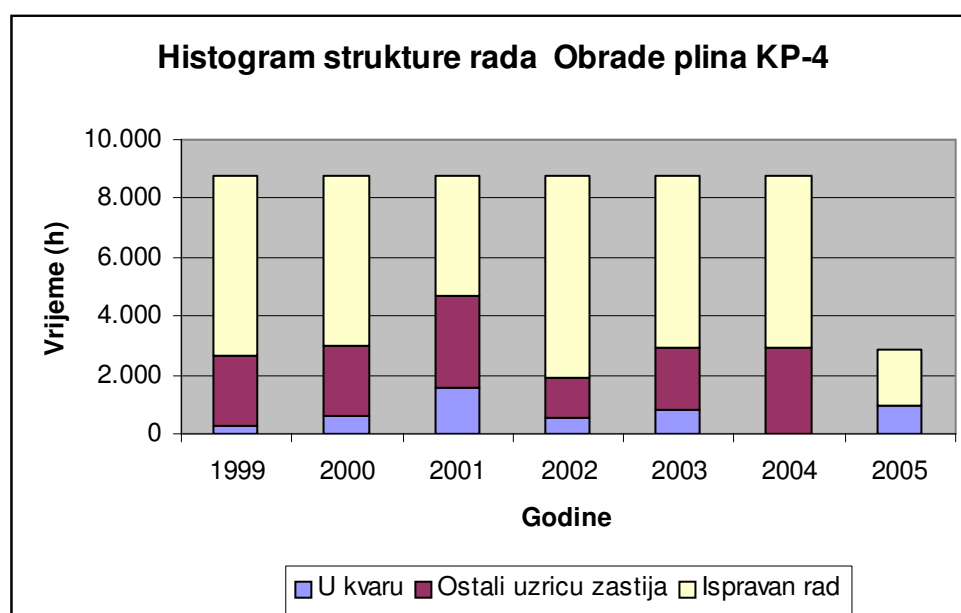
Slika 3.8. – Histogramski prikaz rada i zastoja Katalitičkog reforminga

## Obrade plina KP - 4

U tablici 3.9. prikazani su ukupni podaci o uzrocima zastoja u radu, u satima (h), procesa obrade plina KP-4, a na slici 3.9 dan je histogramski prikaz, u razdoblju od 1999. godine do 2005. godine.

Tablica 3.9. – Uzroci zastoja Obrade plina KP - 4 (ukupno)

Godina	Kvar TS (h)	Ostali uzroci (h)	Ispravan rad (h)
1999	253,4	2.420,5	6.086,1
2000	587,7	2.412,8	5.783,6
2001	1.552,3	3.158,2	4.049,5
2002	552,8	1.339,0	6.868,3
2003	847,1	2.080,4	5.832,5
2004	0,0	2.955,1	5.828,9
2005	928,0	0,0	1.952,0
Ukupno (h):	4.721,3	14.366	36.400,9



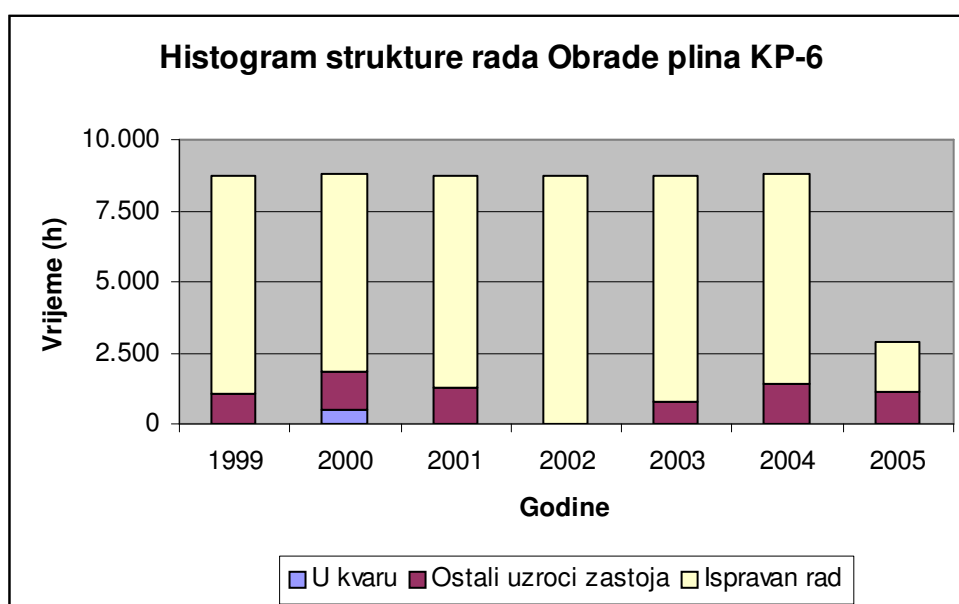
Slika 3.9. – Histogramski prikaz rada i zastoja Obrade plina KP-4

## Obrade plina KP - 6

U tablici 3.10. prikazani su ukupni podaci o uzrocima zastoja u radu, u satima (h), procesa obrade plina KP-6, a na slici 3.10 dan je histogramski prikaz, u razdoblju od 1999. godine do 2005. godine.

**Tablica 3.10. – Uzroci zastoja Obrade plina KP - 6 (ukupno)**

Godina	Kvar TS (h)	Ostali uzroci (h)	Ispravan rad (h)
1999	0,0	1.087,5	7.672,6
2000	463,2	1.389,4	6.931,5
2001	0,0	1.270,0	7.490,0
2002	0,0	6,9	8.753,2
2003	0,0	774,6	7.985,4
2004	0,0	1.405,5	7.378,5
2005	0,0	1.093,3	1.786,7
Ukupno (h):	463,2	7.027,2	47.997,9



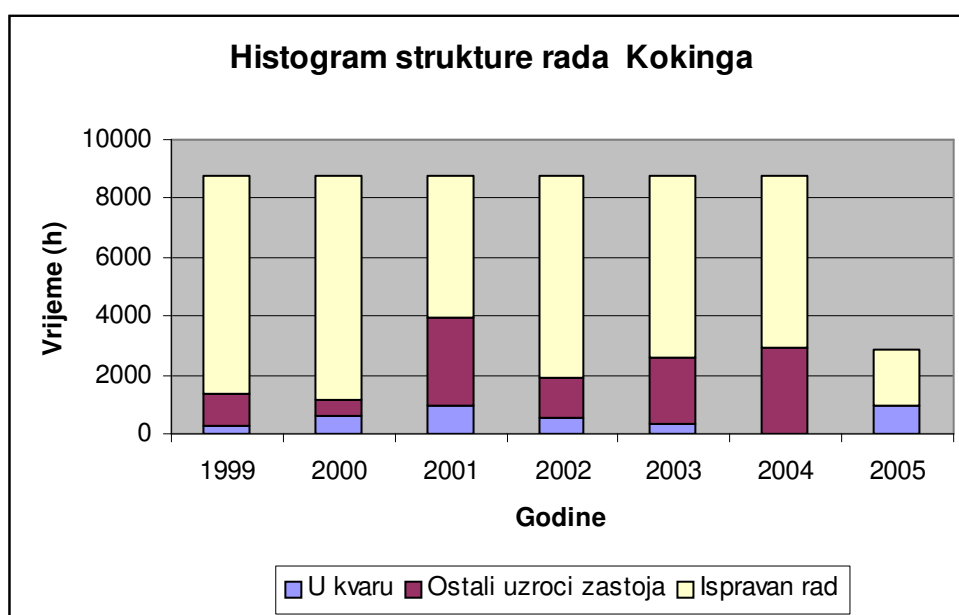
**Slika 3.10. – Histogramski prikaz rada i zastoja Obrade plina KP-6**

## Koking

U tablici 3.11. prikazani su ukupni podaci o uzrocima zastoja u radu, u satima (h), procesa kokinga, a na slici 3.11 dan je histogramski prikaz, u razdoblju od 1999. godine do 2005. godine.

Tablica 3.10. – Uzroci zastoja Kokinga (ukupno)

Godina	Kvar TS (h)	Ostali uzroci (h)	Ispravan rad (h)
1999	252,4	1.139,6	7.368,0
2000	587,8	540,7	7.655,6
2001	955,0	3.021,4	4.783,6
2002	562,8	1.332,0	6.865,2
2003	345,8	2.215,9	6.198,3
2004	0,0	2.955,1	5.828,9
2005	928,0	0,0	1.952,0
Ukupno (h):	3.631,8	11.204,7	40.651,6



Slika 3.11. – Histogramski prikaz rada i zastoja Kokinga

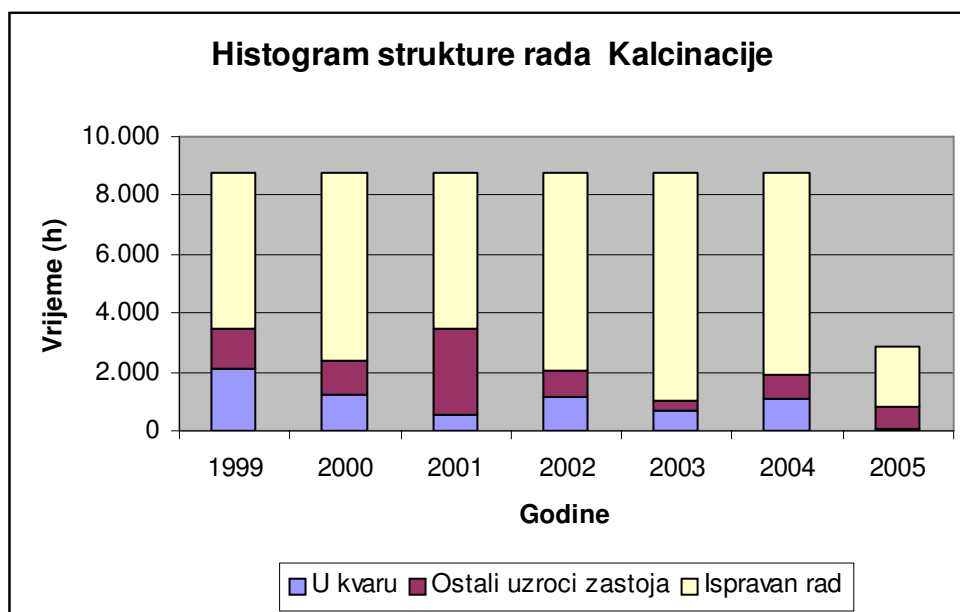


## Kalcinacija

U tablici 3.12. prikazani su ukupni podaci o uzrocima zastoja u radu, u satima (h), procesa kalcinacije, a na slici 3.12 dan je histogramski prikaz, u razdoblju od 1999. godine do 2005. godine.

Tablica 3.12. – Uzroci zastoja Kalcinacije (ukupno)

Godina	Kvar TS (h)	Ostali uzroci (h)	Ispravan rad (h)
1999	2.081,3	1.374,9	5.303,8
2000	1.232,2	1.181,5	6.370,3
2001	565,7	2.927,2	5.267,2
2002	1.134,3	901,3	6.724,4
2003	677,4	372,6	7.710,0
2004	1.105,2	795,5	6.883,3
2005	38,7	746,2	2.095,1
Ukupno (h):	6.834,8	8.299,2	40.354,1



Slika 3.12. – Histogramski prikaz rada i zastoja Kalcinacije

## **4. ANALIZA PRIKUPLJENIH PODATAKA**

### **4.1. Općenito o prikupljenim podacima**

Podaci o zastojima postrojenja u rafineriji nafte prikupljeni su kontinuirano tijekom vremenskog razdoblja od 1999. god. do polovice 2005. god. Obrađena je velika količina podataka za promatrano razdoblje od 1999. do polovice 2005. godine. Prikaz svih podataka koji su prikupljeni učinio bi rad ekstremno obimnim i nepreglednim. Prikazani podaci su plod pretraživanja i odabira potrebnih podataka iz velike količine podataka procesnih evidencija i izvještaja te dokumentacije o radu na održavanju TS. Prikupljeni podaci su obrađeni tj. grupirani i razvrstani po postavljenim kriterijima, kako bi se dobilo na preglednosti i učinkovitosti. U prvom koraku podjela je napravljena prema postrojenjima i vrstama zastoja. Daljnji tijek razmatranja usmjeren je na zastoje izazvane kvarovima, jer su kvarovi ono na što održavatelji mogu najefikasnije djelovati. Analiza je nastavljena praćenjem najveće i najznačajnije grupe kvarova, kako bi se došlo do "izvora" problema. Postupak je proveden praćenjem broja kvarova i trajanja izazvanih kvarovima TS i njegovih elemenata.

### **4.2. Zastoji postrojenja**

Da bi se došlo do potrebnih spoznaja o stanju TS i njihovog održavanja potrebno je izvršiti analizu podataka prikupljenih kroz određeno razdoblje rada postrojenja i pripadajućih TS. Analizu rada postrojenja i pripadajućih TS u rafineriji nafte, izvršiti će se na slijedeći način. Podatke će se razvrstati prema vrsti nastanka zastoja grupirajući ih u tri grupe, i to :

- Tehnološki zastoji
- Planirani zastoji
- Zastoji uslijed kvarova TS

Tehnološki zastoji su uzrokovani tehnološkim zahtjevima, a to je najčešće :

- Poslovna politika,
- Nedostatak sirovine,
- Nestanak energenata,
- Udovoljavanje tržišnim zahtjevima i sl.

Planirani zastoji obuhvaćaju planirane popravke i druge aktivnosti održavanja prema utvrđenom planu (remonti ili generalni popravci i sl.).

Kvarovi TS uzrokuje neplanirane zastoje koji su uzrokovani kvarom nekog TS bez čijeg normalnog funkcioniranja nije moguće odvijanje daljnjeg procesa prerade ili je njegovo daljnje odvijanje opasno po sigurnost TS, ljudi i okoliša. U tablici 4.1 prikazani su podaci sa ukupnim brojem zastoja po postrojenjima i vrsti zastoja.

**Tablica 4.1 - Podaci sa ukupnom broju zastoja po postrojenjima i vrsti**

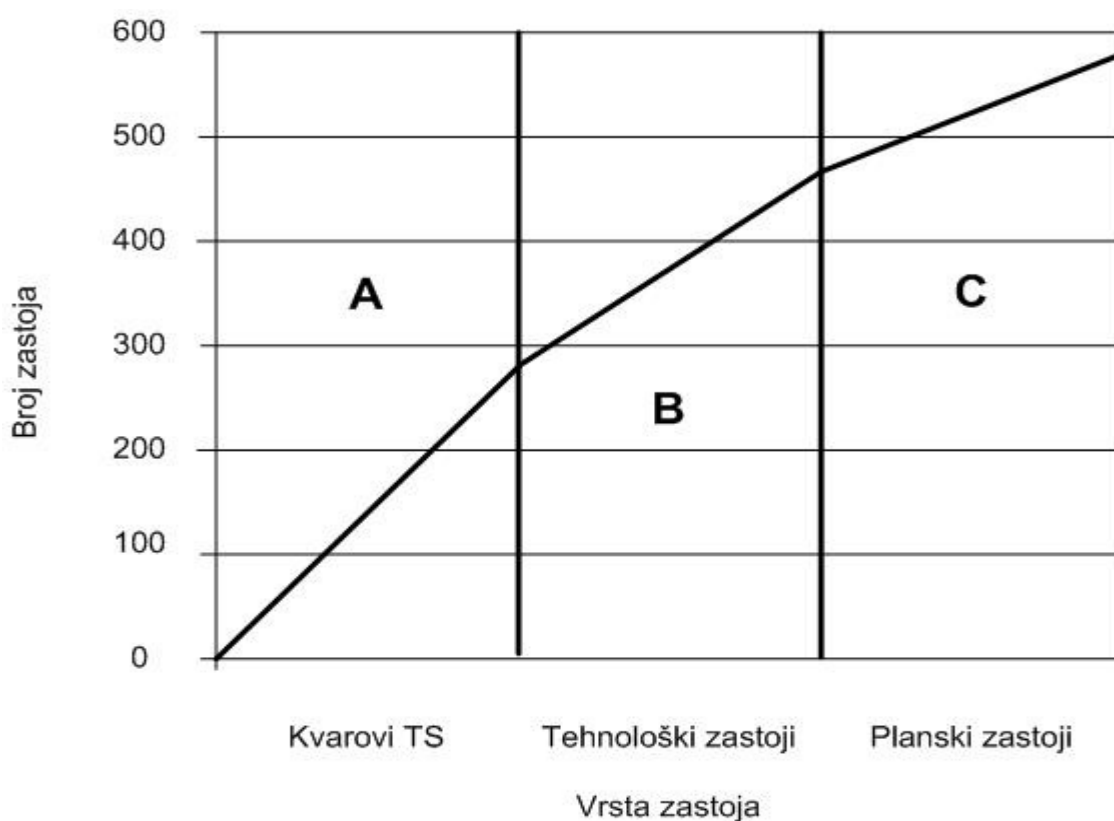
Postrojenje	BROJ ZASTOJA			
	Tehnološki	Planirani	Kvarovi TS	Ukupno
P 1	41	5	9	55
P 2	44	5	14	63
P 3	16	7	47	70
P 4	6	7	32	45
P 5	9	11	46	66
P 6	1	2	4	7
P 7	9	9	24	42
P 8	9	10	25	44
P 9	10	1	1	12
P 10	11	9	22	42
P 11	14	8	50	72
UKUPNO	170	74	274	518

U tablici 4.2 prikazan je odnos broja i vrsta zastoja.

**Tablica 4.2 - Odnos broja i vrste zastoja**

ODNOS BROJA ZASTOJA		
Kvarovi TS	Tehnološki	Planirani
52,9%	32,8%	14,3%

Na slici 4.1 prikazana je ABC analiza podataka o ukupnom broju zastoja postrojenja prema vrstama.



**Slika 4.1 - ABC analiza podataka o ukupnom broju zastoja postrojenja prema vrstama**

Iz navedenih podataka u tablicama 4.1. i 4.2. te ABC analize zaključujemo :

U promatranom vremenskom razdoblju javlja se veliki broj kvarova i u ukupnom broju oni uzrokuju 52,9 % zastoja. Veliki udio otpada i na tehnološke uzroke zastoja s udjelom od 32,8 %. Planirani uzroci zastoja su sa najmanjim udjelom od 14.3 %. U tablici 4.3 prikazani su podaci sa ukupnim trajanjima zastoja (u satima) postrojenja po uzrocima zastoja.

**Tablica 4.3 - Podaci sa ukupnom trajanju zastoja postrojenja po vrsti**

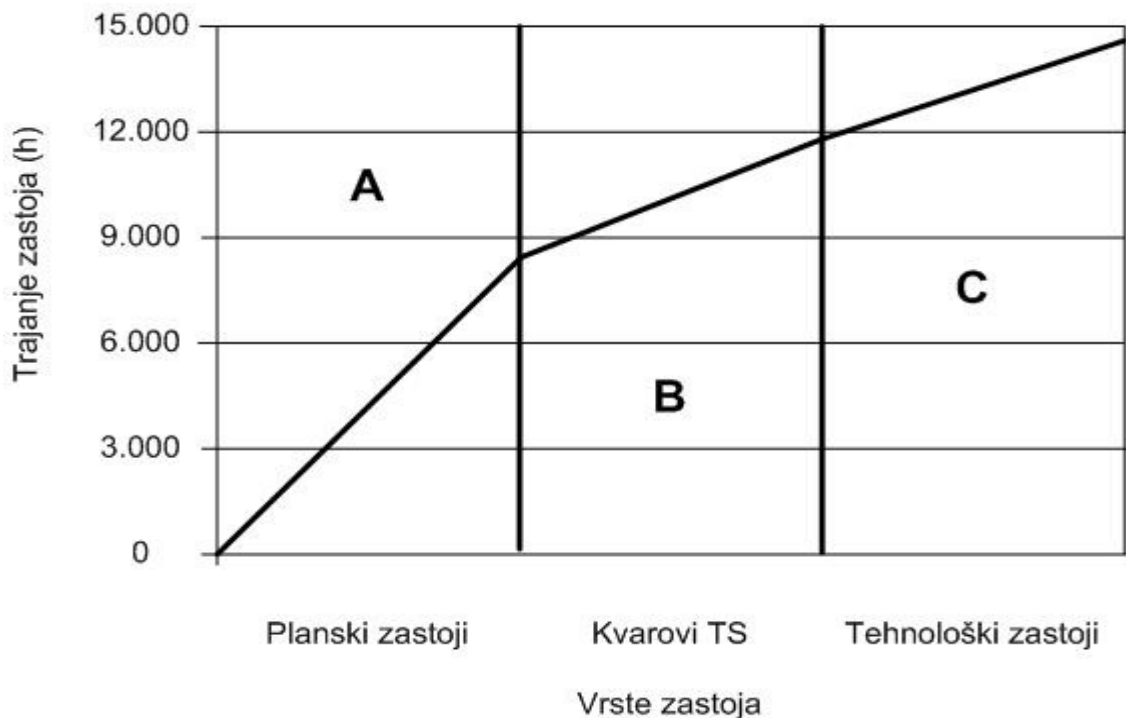
Postrojenje	TRAJANJE ZASTOJA (h)			
	Tehnološki	Planirani	Kvarovi TS	Ukupno
P 1	7.799,5	5.348,4	1.024,1	14.172,0
P 2	7.901,8	6.414,3	1.869,1	16.185,2
P 3	1.970,8	7.595,5	5.260,8	14.827,2
P 4	762,1	8.419,1	4.625,4	13.806,5
P 5	2.070,0	14.591,4	4.932,7	21.594,1
P 6	614,1	2.355,7	750,5	3.106,2
P 7	2.372,6	11.161,7	5.290,0	18.824,2
P 8	2.444,1	11.921,9	4.721,3	19.087,2
P 9	1.836,5	673,5	463,2	2.973,2
P 10	5.818,9	5.385,8	3.631,7	14.836,4
P 11	1.984,9	6.314,4	6.834,6	15.133,9
UKUPNO (h)	35.575,1	80.181,5	39.403,4	154.546,0

U tablici 4.4 prikazan je odnos trajanja i vrste zastoja

**Tablica 4.4 - Odnos trajanja i vrste zastoja**

ODNOS TRAJANJA ZASTOJA		
Planirani	Kvarovi TS	Tehnološki
49,0%	26,8%	24,2%

Na slici 4.2 prikazana je ABC analiza podataka o ukupnom trajanju zastoja postrojenja po vrstama.



**Slika 4.2 - ABC analiza podataka o ukupnom trajanju zastoja postrojenja po vrstama**

Iz navedenih podataka u tablicama 4.3. i 4.4. te ABC analize zaključuje se da je u promatranom vremenskom razdoblju trajanje zastoja nastalih kao posljedica planiranih zastoja najznačajniji uzrok i u ukupnom trajanju zastoja oni sudjeluju sa 49 % u ukupnom trajanju zastoja, dok su kvarovi TS sa 26,8 % i tehnološki razlozi sa 24,2 % skoro podjednako zastupljeni u trajanju zastoja.

Iz svega navedenog u prethodnim tablicama i ABC analizi zaključuje se da su u promatranom vremenskom razdoblju kvarovi na TS imali vrlo značajan utjecaj na ukupne zastoje u radu TS i to prvenstveno na broj zastoja, ali je značajan i utjecaj i na njihovo trajanje. To je očekivano, obzirom na starost postrojenja i relativno česte obustave kojih je u promatranom razdoblju bilo čak 518, neovisno o razlozima.

Poznato je da tijekom svake obustave (neovisno o njenom razlogu) može doći, i vrlo često i dolazi do oštećenja i onih TS koja su do tada radili ispravno. Tako je nakon svakog zastoja postrojenja potrebno izvršiti provjeru ispravnosti TS prije novog kretanja postrojenja. To normalno povećava troškove održavanja.

Možemo zaključiti da svaki zastoj, pa i onaj zbog tehnoloških razloga, ima negativan utjecaj na održavanje i uzrokuje dodatne aktivnosti održavanja i tako manje ili više povećava cijenu održavanja, a samim tim i ukupne troškove. Kako su

kvarovi značajno zastupljeni kao uzrok zastoja, a oni su najpodložniji utjecaju održavatelja u daljnjim razmatranjima ćemo se posvetiti analizi nastanka kvarova, kako bi smo na temelju toga iznašli mogućnosti smanjenja njihovog utjecaja na ukupne zastoje, a tako i na cijenu održavanja.

### **4.3. Kvarovi TS**

Kako je utvrđeno, da su kvarovi područje na kome je sa pozicije održavanja moguće najefikasnije djelovati posvećena je pažnja razmatranju nastalih kvarova.

Razmatrajući nastale kvarove dolazi se do potrebe podjele TS u karakteristične grupe. Grupe se formiraju prema tipovima TS.

Grupe TS za koje su razmatrani nastali kvarovi su :

- Rotacijski strojevi
- Izmjenjivači topline
- Procesne peći
- Kolone i posude
- Cijevi i cijevne armature
- Procesne veze

Tu je dodana i grupa pod nazivom procesne veze koja obuhvata zastoje na promatranom postrojenju, a koji su posljedica kvara nastalog na TS na nekom drugom postrojenju, sa kojim je promatrano postrojenje procesno povezano. Razmatranje grupe procesnih veza biti će izvršeno zasebno, kako bi se utvrdili utjecaji tih kvarova na zastoje rada TS.

U grupu rotacijski strojevi spadaju sva TS koja imaju rotirajuće elementa kao glavnu komponentu, tj. strojevi kao što su : pumpe, kompresori, turbine itd.

U grupu izmjenjivači topline svrstani su svi TS u kojima se vrši izmjena topline između dva medija, neovisno o njihovoj konstrukciji, ali koji nemaju vlastiti izvor topline tj. plamenike koji stvaraju toplinu izgaranjem goriva ili druge tipove grijača.

U grupu procesnih peći spadaju peći u kojima se zagrijavaju naftni derivati koji su sirovina u procesima rafinerijske prerade nafte.

U grupu kolone i posude svrstane su sve posude neovisno o dimenzijama, konstrukciji i položaju ugradnje. Tu spadaju sve kolone, posude, reaktori i sl.

Grupa cijevi i cijevnih armatura obuhvaća cijevi izvan naprijed navedenih grupa, te cijevne zatvarače, sigurnosne ventile, dišne ventile, kondenzne lonce itd.

Podjelu po grupama TS je moguće napraviti i na drugačiji način, ali je izabran baš ovaj, jer je to uobičajena podjela TS u održavanju TS u rafinerijama nafta.

U tablici 4.5 prikazani su brojčano kvarovi TS na svakom postrojenju, po grupama TS gdje su kvarovi nastali.

**Tablica 4.5 – Broj kvarova TS po grupama TS gdje su kvarovi nastali**

Postrojenje	BROJ KVAROVA TS						Ukupno
	Rotacijski strojevi	Procesne peći	Izmjenjivači topline	Kolone i posude	Cijevi i armature	Procesne veze	
P 1	2	0	3	0	4	0	9
P 2	2	0	1	3	5	3	14
P 3	17	0	8	2	20	0	47
P 4	13	2	2	5	0	10	32
P 5	20	0	5	7	3	11	46
P 6	0	0	2	0	1	1	4
P 7	4	0	5	2	2	11	24
P 8	3	0	3	2	1	16	25
P 9	0	0	0	1	0	0	1
P 10	5	1	3	3	7	3	22
P 11	27	17	1	2	3	0	50
UKUPNO	93	20	33	27	46	55	274

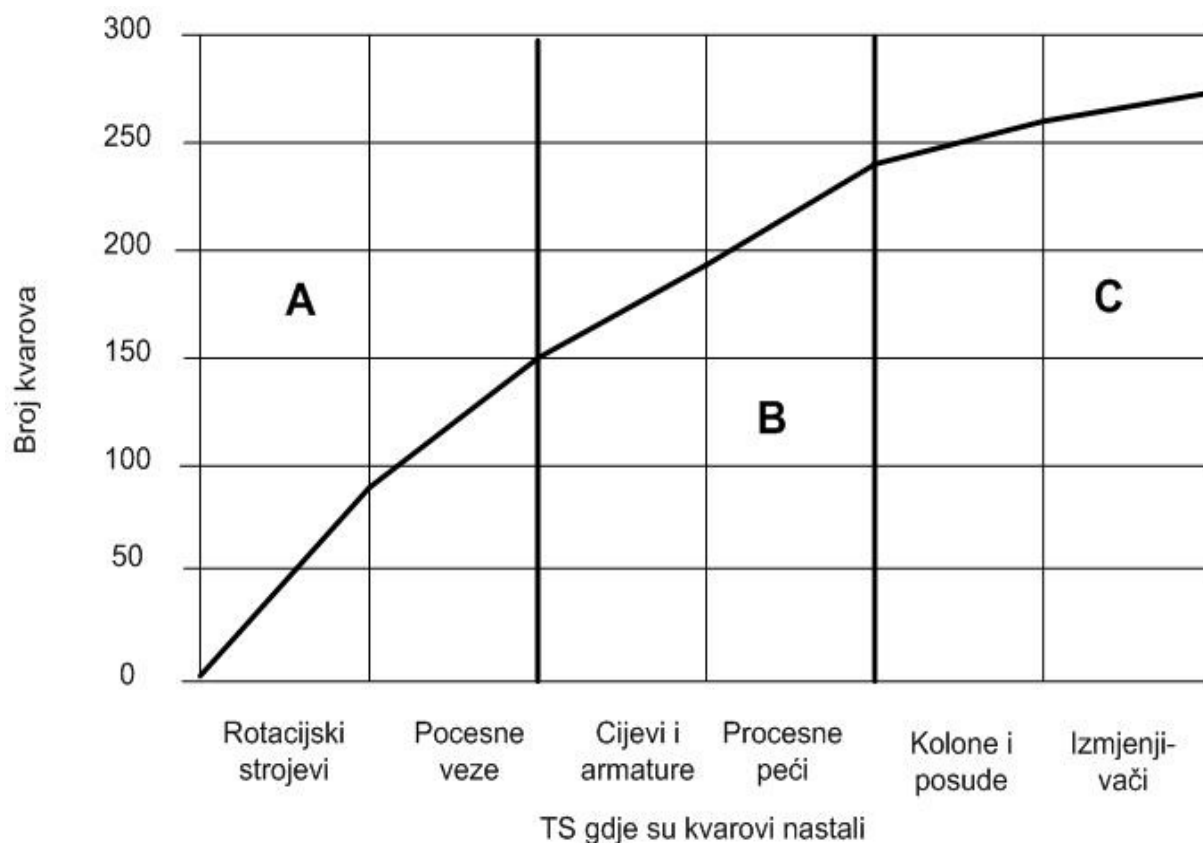
U tablici 4.6 prikazan je odnos broja kvarova po grupama TS gdje su nastali.



**Tablica 4.6 – Odnos broja kvarova TS i grupa TS gdje su kvarovi nastali**

ODNOS BROJA KVAROVA TS					
Rotacijski strojevi	Procesne veze	Cijevi i armature	Procesne peći	Kolone i posude	Izmjenjivači topline
33,9%	20,1%	16,8%	12,0%	9,9%	7,3%

Na slici 4.3 prikazana je ABC analiza podataka o ukupnom broju kvarova sa zastojsima postrojenja i grupama TS gdje su nastali kvarovi.



**Slika 4.3 - ABC analiza podataka o ukupnom broju kvarova i grupa TS gdje su kvarovi nastali**

Analizirajući podatke iz tablica 4.5. i 4.6. te ABC analize kvarova dolazimo do slijedećih zaključaka:

Najčešće se javljaju kvarovi rotacijskih strojeva. Njihova zastupljenost u ukupnom broju kvarova je 33,9 %. Slijedeći po značaju su kvarovi nastali na procesnim vezama, tj. kvarovi TS uzrokovani uslijed pojave kvarova na nekom drugom postrojenju, ali zbog procesne povezanosti to izaziva i zastoje na promatranom postrojenju. Ove kvarove se promatra u grupi sa ostalim kvarovima, a ne kao tehnološke jer su oni u svojoj osnovi posljedica kvara nekog TS. Procesne veze su zastupljene u ukupnom broju kvarova sa 20,1 %. Kvarovi na cijevima i cijevnim armaturama zastupljeni su ukupnom broju kvarova sa 16,8 %. Značajnu zastupljenost imaju još i kvarovi nastali na procesnim pećima i zastupljeni su ukupnom broju kvarova sa 12 %. U tablici 4.7 prikazano je trajanje kvarova (u satima) na svakom postrojenju prema grupama TS gdje su kvarovi nastali

**Tablica 4.7 – Trajanje kvarova TS po grupama TS gdje su kvarovi nastali**

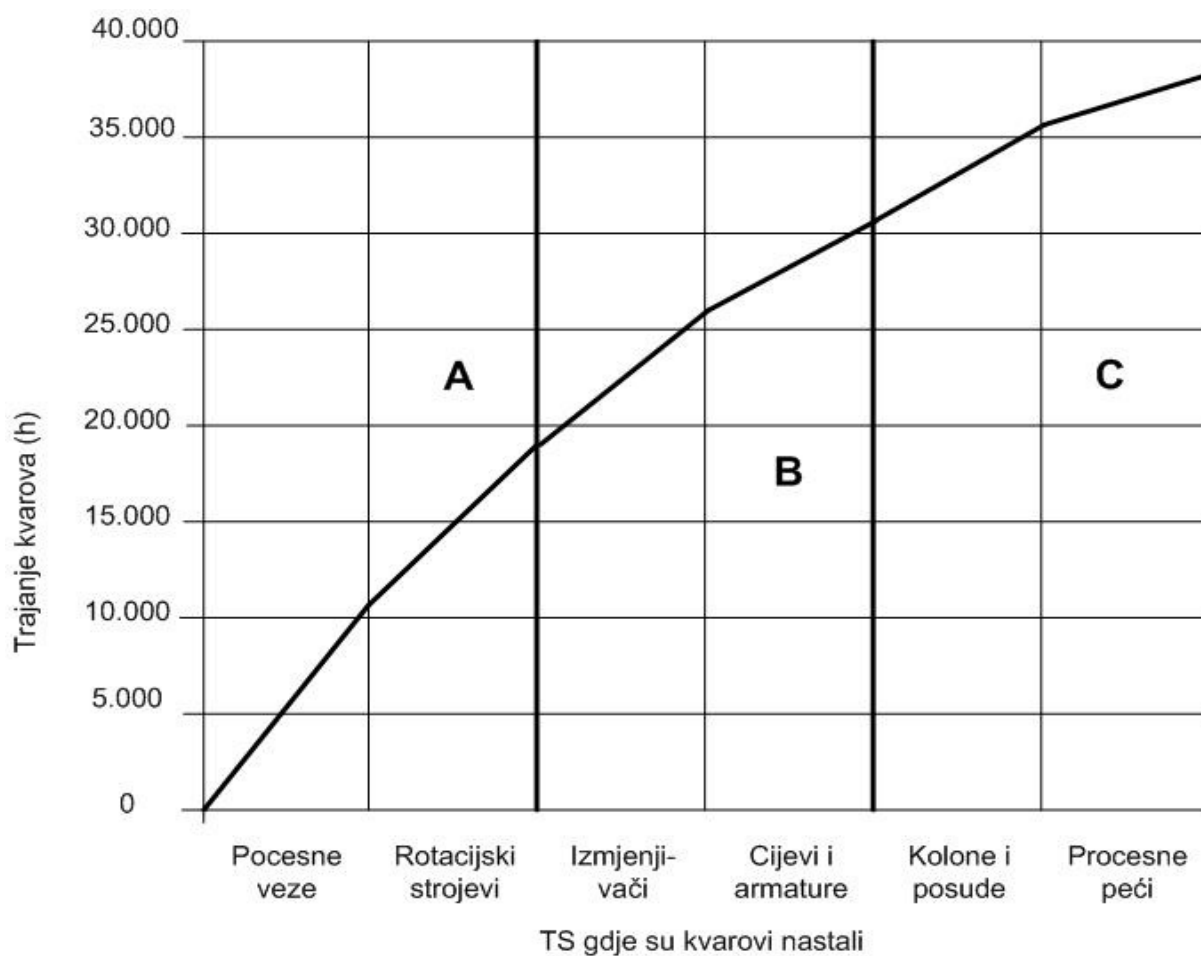
Postrojenje	TRAJANJE KVAROVA TS (h)						Ukupno
	Rotacijski strojevi	Procesne peći	Izmjenjivači topline	Kolone i posude	Cijevi i armature	Procesne veze	
P 1	126,7	0,0	534,3	0,0	363,1	0,0	1.024,1
P 2	131,2	0,0	336,7	747,4	469,0	184,8	1.869,1
P 3	579,4	0,0	1.951,2	146,0	2.584,3	0,0	5.260,8
P 4	853,3	216,2	341,8	481,2	0,0	2.732,9	4.625,4
P 5	1.266,0	0,0	831,3	599,3	145,4	2.090,8	4.932,7
P 6	0,0	0,0	511,4	0,0	49,5	189,6	750,5
P 7	884,8	0,0	990,7	215,3	104,2	3.095,1	5.290,0
P 8	691,5	0,0	821,7	215,3	44,0	2.948,8	4.721,3
P 9	0,0	0,0	0,0	463,2	0,0	0,0	463,2
P 10	990,8	334,5	536,2	371,8	806,7	591,8	3.631,7
P 11	2.332,7	3.680,5	24,0	453,4	344,0	0,0	6.834,6
UKUPNO (h)	7.856,3	4.231,2	6.879,2	3.692,8	4.910,1	11.833,8	39.403,5

U tablici 4.8 prikazani su odnosi trajanja kvarova i grupa TS gdje su kvarovi nastali

**Tablica 4.8 – Odnos trajanja kvarova TS po grupama TS gdje su kvarovi nastali**

ODNOS TRAJANJA KVAROVA TS					
Procesne veze	Rotacijski strojevi	Cijevi i armature	Procesne peći	Kolone i posude	Izmjenjivači topline
30,0%	19,9%	17,5%	12,5%	10,7%	9,4%

Na slici 4.4 prikazana je ABC analiza podataka o ukupnom trajanju kvarova po grupama TS gdje su kvarovi nastali.



**Slika 4.4 - ABC analiza podataka o trajanju kvarova po grupama TS gdje su kvarovi nastali**

Analizirajući podatke iz tablica 4.7. i 4.8., te ABC analize kvarova dolazi se do slijedećih zaključaka:

Najdulje su trajali kvarovi nastali kao posljedice procesnih veza i to u ukupnom trajanju zastoja iznosi 30 %.

Slijede kvarovi rotacijskih strojeva sa udjelom od 19,9 %.

Kvarovi na izmjenjivačima topline imaju udio od 17,5 %.

Primjećuje se da se izmjenjivači ne javljaju sa značajnim udjelom broja kvarova, ali njihovi kvarovi su dugotrajni. To je stoga što je sam postupak popravaka izmjenjivača relativno dugotrajan.

Svi TS su u značajnom postotku zastupljeni u trajanju kvarova.

Procesne peći imaju udio u ukupnom trajanju kvarova od 12,5 %, a zastoji uslijed kvarova kolona i posuda su zastupljeni sa 10,7 %, dok procesne peći imaju udio od 9.4 %.

Uočljivo je da su kvarovi rotacijskih strojeva vrlo značajno zastupljeni i po broju i trajanju, stoga će se analizi kvarova rotacijskih strojeva posvetiti posebna pažnja. Na temelju toga pronašle bi se mogućnosti smanjenja njihovog utjecaja na ukupne kvarove i zastoje, a tako i na cijenu održavanja.

#### **4.4. Kvarovi rotacijskih strojeva**

Već je uočeno da su zastoji izazvani kvarovima rotacijskih strojeva vrlo značajni i po broju i trajanju, stoga će se izvršiti analizu pojave kvarova po elementima i dijelovima rotacijskih strojeva.

Na slijedeći način je napravljena podjela na karakteristične dijelove rotacijskih strojeva :

- Brtvenice
- Ležajevi
- Rotorski sklop
- Stacionarni elementi

U tablici 4.9 prikazani su brojčano zastoji svakog postrojenja izazvani kvarom rotacijskih strojeva po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su nastali kvarovi.

**Tablica 4.9 – Broj kvarova rotacijskih strojeva za svako postrojenje po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su nastali**

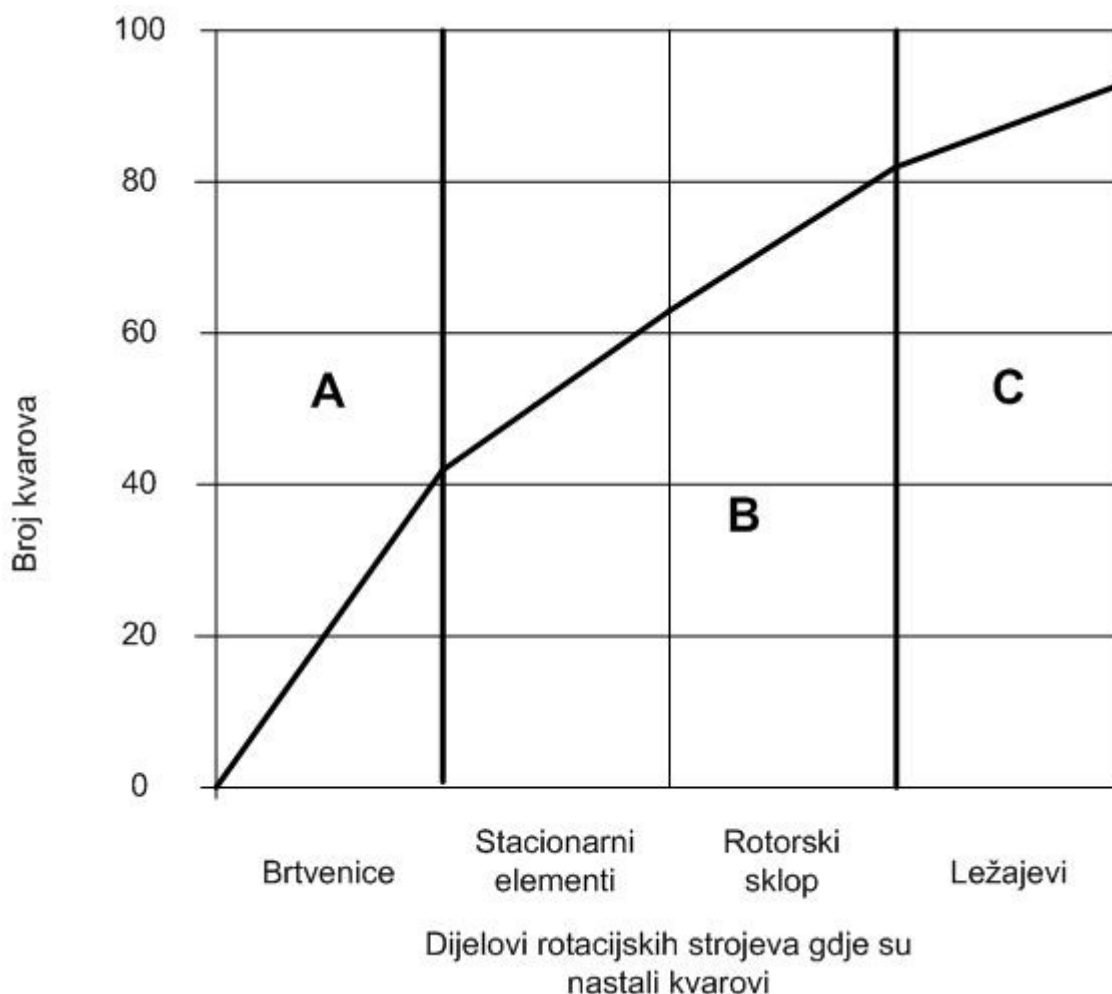
Postrojenje	BROJ KVAROVA ROTACIJSKIH STROJEVA				
	Brtvenice	Ležajevi	Rotorski sklop	Stacionarni elementi	Ukupno
P 1	2	0	0	0	2
P 2	2	0	0	0	2
P 3	1	1	0	15	17
P 4	11	0	2	0	13
P 5	19	0	0	1	20
P 6	0	0	0	0	0
P 7	3	0	0	1	4
P 8	3	0	0	0	3
P 9	0	0	0	0	0
P 10	3	0	0	2	5
P 11	1	9	12	5	27
UKUPNO	45	10	14	24	93

U tablici 4.10. prikazani su odnos broja kvarova rotacijskih strojeva prema dijelovima rotacijskih strojeva gdje su nastali kvarovi

**Tablica 4.10. – Odnos broja kvarova rotacijskih strojeva po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su nastali kvarovi**

ODNOS BROJA KVARA ROTACIJSKIH STROJEVA			
Brtvenice	Stacionarni elementi	Rotorski sklop	Ležajevi
48,4%	25,8%	15,1%	10,8%

Na slici 4.5 prikazana je ABC analiza podataka o ukupnom broju kvarova rotacijskih strojeva po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su nastali kvarovi.



**Slika 4.5 - ABC analiza podataka o broju kvarova rotacijskih strojeva po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su nastali kvarovi**

Analizirajući podatke i tablica 4.9. i 4.10. te ABC analize zaključuje se da se najčešće javljaju kvarovi na rotacijskim strojevima kao posljedica kvara brtvenica.

Udjelom od 48,4 % u ukupnom broju kvarova brtvenice su najzastupljeniji uzročnik kvarova rotacijskim strojevima. Slijedeći uzroci kvarova su stacionarni elementi rotacijskih strojeva s udjelom od 25,8 %. Sve grupe imaju značajan utjecaj na broj kvarova rotacijskih strojeva. Rotacijski strojevi imaju udio od 15,1 %, a zanimljivo je da se kvar na ležajevima rotacijskih strojeva javlja kao uzrok kvara tek sa 10,8 %. Iz ovoga možemo zaključiti da su brtvenice izuzetno osjetljiv dio

rotacijskih strojeva, dok je briga o ležajevima dobra te oni nisu među glavnim uzrocima kvarova rotacijskih strojeva.

Što se tiče stacionarnih elemenata rotacijskih strojeva kvarovi se javljaju uglavnom kao posljedica začepljenosti usisnih sita.

U tablici 4.11. prikazano je trajanje (u satima) kvarova rotacijskih strojeva po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su nastali kvarovi

**Tablica 4.11. – Trajanje kvarova rotacijskih strojeva za svako postrojenje po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su nastali kvarovi**

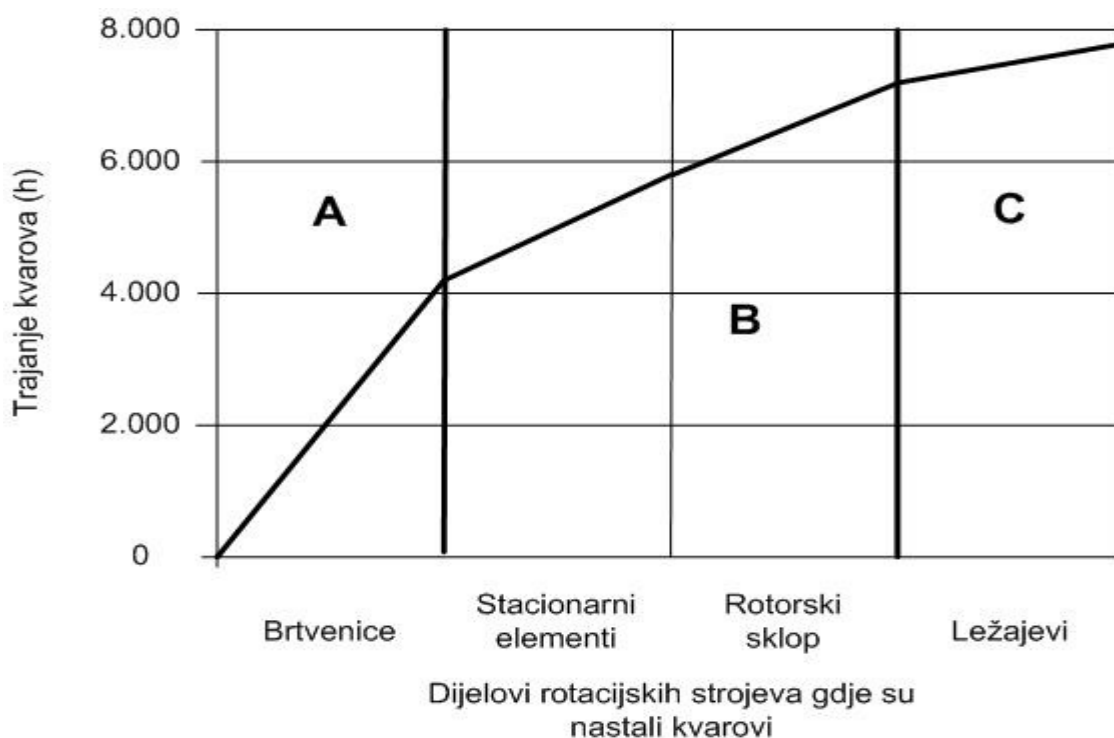
Postrojenje	TRAJANJE KVAROVA ROTACIJSKIH STROJEVA (h)				
	Brtnice	Ležajevi	Rotorski sklop	Stacionarni elementi	Ukupno
P 1	126,7	0,0	0,0	0,0	126,7
P 2	131,2	0,0	0,0	0,0	131,2
P 3	84,7	0,4	0,0	494,3	579,4
P 4	822,7	30,6	0,0	0,0	853,3
P 5	1.060,7	0,0	0,0	205,3	1.266,0
P 6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
P 7	691,5	0,0	0,0	193,3	884,8
P 8	691,5	0,0	0,0	0,0	691,5
P 9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
P 10	691,5	0,0	0,0	299,3	990,8
P 11	50,5	1.353,2	720,2	208,8	2.332,7
UKUPNO (h)	4.351,0	1.384,2	720,2	1.401,0	7.856,4

U tablici 4.12. prikazani su odnosi broja kvarova rotacijskih strojeva po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su nastali kvarovi

**Tablica 4.12. – Odnos broja kvarova rotacijskih strojeva po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su nastali kvarovi**

ODNOS TRAJANJA KVAROVA ROTACIJSKIH STROJEVA			
Brtvenice	Stacionarni elementi	Rotorski sklop	Ležajevi
55,4%	17,8%	17,6%	9,2%

Na slici 4.6 prikazana je ABC analiza podataka o ukupnom trajanju kvarova rotacijskih strojeva po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su nastali kvarovi .



**Slika 4.6 - ABC analiza podataka o trajanju kvarova rotacijskih strojeva po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su nastali kvarovi**

Analizirajući podatke i tablica 4.11. i 4.12. te ABC analize zaključuje se :

Najveći udio u ukupnom trajanju kvarova rotacijskih strojeva posljedica je kvarova brtvenica, i to čak s udjelom od 55,4 % u ukupnom trajanju kvarova rotacijskih strojeva. Slijedeći kao uzroci kvarova javljaju se stacionarni elementi rotacijskih strojeva s udjelom od 17,8 %.



Njima uz bok su rotorski sklopovi sa skoro podjednakom udjelom od 17,6 %. Zanimljivo je da se kvarovi na ležajevima rotacijskih strojeva javljaju tek sa udjelom od 10,8 % u ukupnom vremenu kvarova rotacijskih strojeva. Može se zaključiti da su podaci o trajanju kvarova podudarni sa njihovim brojem te da su brtvenice izuzetno osjetljiv dio rotacijskih strojeva kod trajanja kvarova.

#### 4.5. Kvarovi na procesnim vezama

Uočljivo je da su kvarovi tzv. procesnih veza vrlo značajni i po broju i trajanju, stoga će se za njih izvršiti analiza po mjestima nastanka, i to promatrajući karakteristične grupe TS. Podjela u grupe je napravljena kako je to već naprijed navedeno kod razmatranja svih uzroka kvarova na postrojenjima.

U tablici 4.13. prikazani su brojačano kvarovi izazvani procesnim vezama prema TS gdje su nastali kvarovi.

**Tablica 4.13. – Broj kvarova na procesnim vezama po grupama TS gdje su nastali**

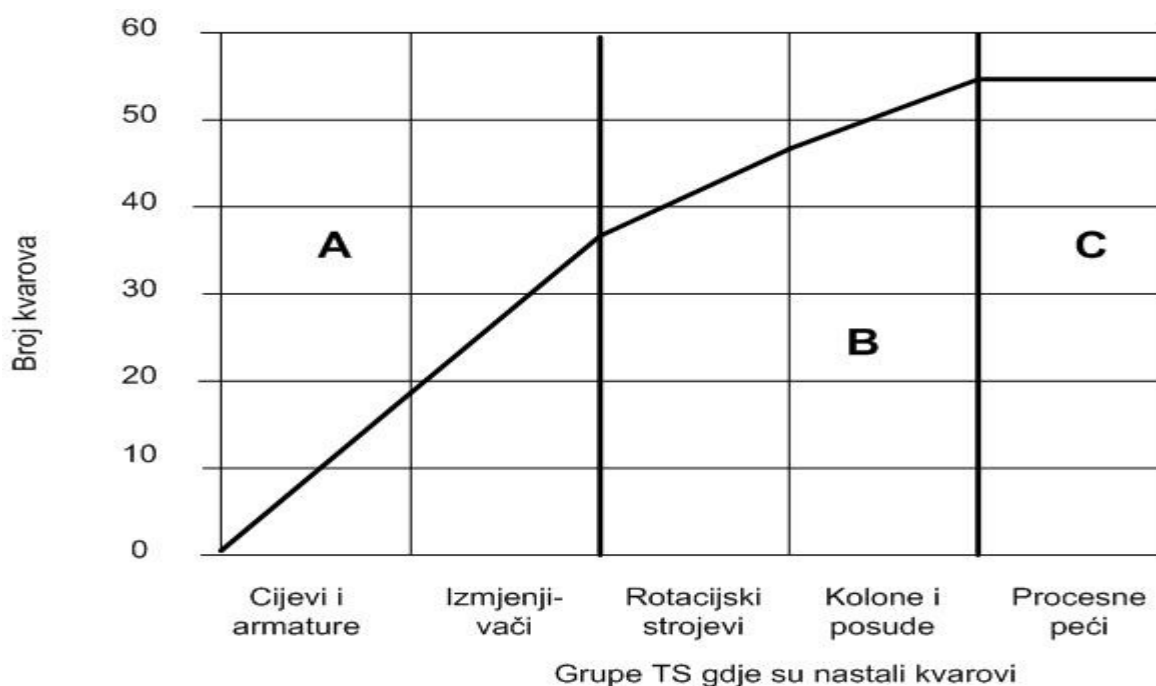
Postrojenje	BROJ KVAROVA TS (PV)					
	Rotacijski strojevi	Procesne peći	Izmjenjivači topline	Kolone i posude	Cijevi i armature	Ukupno
P 1	0	0	0	0	0	0
P 2	0	0	1	1	1	3
P 3	0	0	0	0	0	0
P 4	3	0	2	3	2	10
P 5	2	0	4	2	3	11
P 6	0	0	0	0	1	1
P 7	3	0	2	1	5	11
P 8	3	0	5	1	7	16
P 9	0	0	0	0	0	0
P 10	0	0	3	0	0	3
P 11	0	0	0	0	0	0
UKUPNO	11	0	17	8	19	55

U tablici 4.14. prikazani je odnos broja kvarova na procesnim vezama po TS gdje su nastali kvarovi.

**Tablica 4.14. – Odnos broja kvarova na procesnim vezama po grupama TS gdje su nastali kvarovi**

ODNOS BROJA KVAROVA TS NA PROCESNIM VEZAMA				
Cijevi i armature	Izmjenjivači topline	Rotacijski strojevi	Kolone i posude	Procesne peći
34,5%	30,9%	20,0%	14,5%	0,0%

Na slici 4.7 prikazana je ABC analiza podataka o ukupnom broju kvarova na procesnim vezama po grupama TS gdje su nastali kvarovi .



**Slika 4.7 - ABC analiza podataka o broju kvarova na procesnim vezama po grupama TS gdje su nastali kvarovi**

Analizirajući podatke i tablica 4.13. i 4.14. te ABC analize zaključuje se da se kao kvarovi na procesnim vezama najčešće javljaju kvarovi na cijevima i cijevnim armaturama i to sa udjelom od po 34,5 %.

Slijede izmjenjivači topline sa udjelom od 30,9%, dok su kvarovi rotacijskih strojeva zastupljeni u udjelu od 20,0 % u ukupnom broju kvarova na procesnim vezama. Zanimljivo je da se procesne peći ne javlja kao uzrok nijednog kvara kod procesnih veza.

Očekivano je da su cjevovodi i cijevne armature najznačajniji uzročnik kvarova na procesnim vezama. Cjevovodi i cijevne armature su veza između postrojenja to je očekivano da su oni najčešći uzrok kvarova na procesnim vezama.

U tablici 4.15. prikazano je trajanje kvarova na procesnim vezama po grupama TS gdje su nastali kvarovi

**Tablica 4.15. – Trajanje kvarova na procesnim vezama po grupama TS gdje su nastali kvarovi**

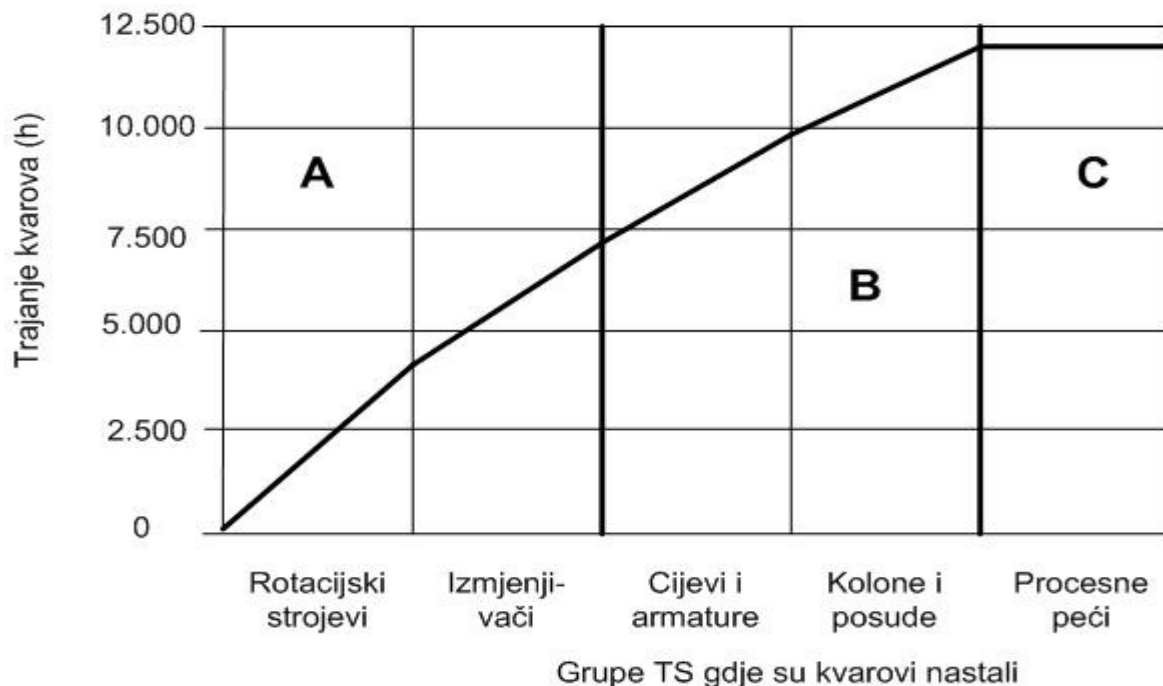
Postrojenje	TRAJANJE KVAROVA TS (h)					
	Rotacijski strojevi	Procesne peći	Izmjenjivači topline	Kolone i posude	Cijevi i armature	Ukupno
P 1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
P 2	0,0	0,0	31,6	27,9	184,8	184,8
P 3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
P 4	256,5	0,0	628,6	1.579,3	268,5	2.732,9
P 5	805,4	0,0	776,5	191,2	317,7	2.090,8
P 6	0,0	0,0	0,0	0,0	189,6	189,6
P 7	1.796,0	0,0	471,8	124,5	702,8	3.095,1
P 8	989,7	0,0	811,0	124,5	1.023,6	2.948,8
P 9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
P 10	0,0	0,0	591,8	0,0	0,0	591,8
P 11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
UKUPNO (h)	3.847,6	0,0	3.311,3	2.047,4	2.687,0	11.833,8

U tablici 4.16. prikazan je odnos trajanja kvarova (u satima) na procesnim vezama po grupama TS gdje su nastali kvarovi.

**Tablica 4.16. – Odnos trajanja kvarova na procesnim vezama po grupama TS gdje su nastali kvarovi**

ODNOS TRAJANJA KVAROVA TS NA PROCESNIM VEZAMA				
Rotacijski strojevi	Izmjenjivači topline	Cijevi i armature	Kolone i posude	Procesne peći
32,4%	27,8%	22,6%	17,2%	0,0%

Na slici 4.8 prikazana je ABC analiza podataka o ukupnom trajanju kvarova na procesnim vezama po grupama TS gdje su nastali kvarovi.



**Slika 4.8 - ABC analiza podataka o trajanju kvarova TS na procesnim vezama po grupama TS gdje su nastali kvarovi**

Analizirajući podatke i tablica 4.15. i 4.16. te ABC analize zaključuje se :

Najčešći kvarovi na procesnim vezama su oni na rotacijskim strojevima s udjelom od 32,4 %. Izmjenjivači topline slijede sa udjelom od 27,8 %. Slični su kvarovi na cijevima i cijevnim armaturama sa udjelom od po 22,6 %. u ukupnom trajanju kvarova na procesnim vezama. Uz manja odstupanja sve grupe TS imaju

značajan utjecaj na broj i trajanje kvarova na procesnim vezama, izuzev procesnih peći. Utjecaj rotacijskih strojeva na kvarove je najznačajniji. Kod procesnih veza je također značajan utjecaj rotacijskih strojeva po broju, a najznačajniji po trajanju.

Razmotriti će se uzroci kvarova rotacijskih strojeva kod procesnih veza.

#### 4.6. Kvarovi rotacijskih strojeva na procesnim vezama

Kvarovi rotacijskih strojeva vrlo su značajni uzročnici po broju i najznačajniji po trajanju kvarova na procesnim vezama. Stoga će se sada razmotriti i kvarove rotacijskih strojeva na procesnim vezama i izvršiti analiza promatrajući karakteristične dijelove rotacijskih strojeva. Podjela na grupe dijelova rotacijskih strojeva je ista kao i u prethodnom razmatranju. U tablici 4.17. prikazani su brojčano kvarovi na procesnim vezama svakog postrojenja izazvani kvarom dijela rotacijskih strojeva po dijelu rotacijskih strojeva gdje su nastali kvarovi.

**Tablica 4.17. – Broj kvarova na procesnim vezama izazvanih kvarom rotacijskih strojeva po dijelu rotacijskih strojeva gdje su nastali kvarovi**

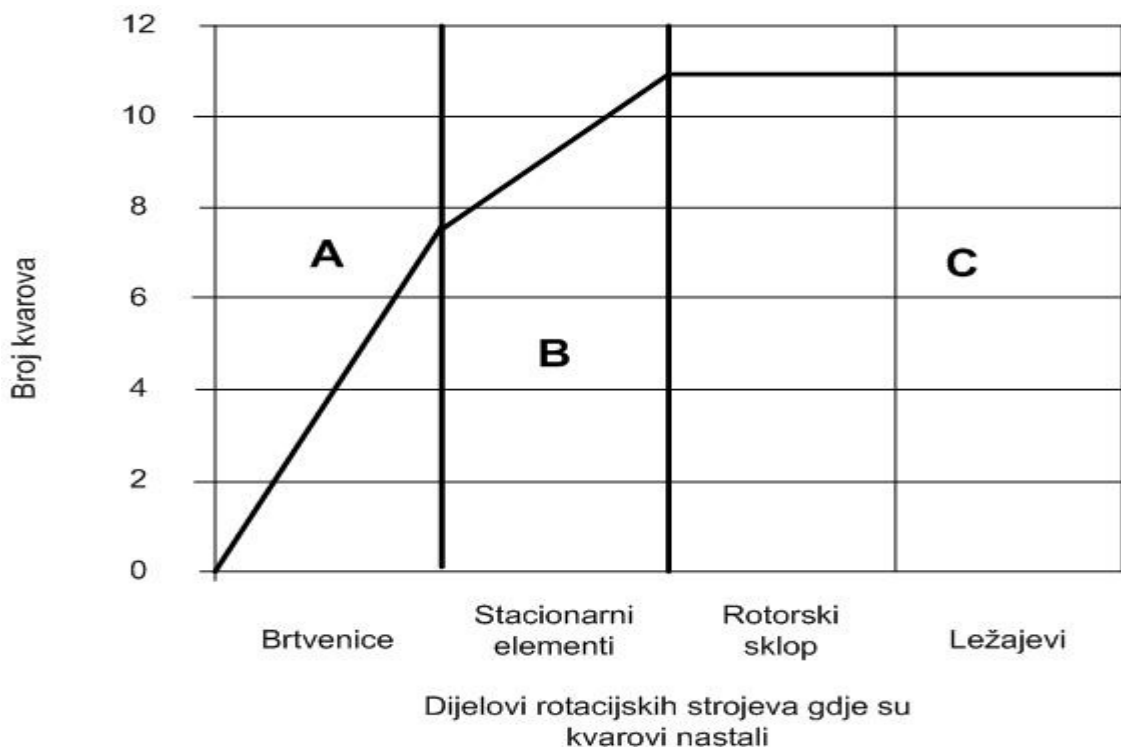
Postrojenje	KVAROVA ROTACIJSKIH STROJEVA				
	Brtvenice	Ležajevi	Rotorski sklop	Stacionarni elementi	UKUPNO
P 1	0	0	0	0	0
P 2	0	0	0	0	0
P 3	0	0	0	0	0
P 4	2	0	0	1	3
P 5	2	0	0	0	2
P 6	0	0	0	0	0
P 7	3	0	0	0	3
P 8	1	0	0	2	3
P 9	0	0	0	0	0
P 10	0	0	0	0	0
P 11	0	0	0	0	0
UKUPNO	8	0	0	3	11

U tablici 4.18. prikazani su odnosi broja kvarova na procesnim vezama izazvanih kvarom rotacijskih strojeva po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su nastali kvarovi.

**Tablica 4.18. – Odnos broja kvarova na procesnim vezama izazvanih kvarom rotacijskih strojeva po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su nastali kvarovi**

ODNOS BROJA KVAROVA ROTACIJSKIH STROJEVA			
Brtvenice	Stacionarni elementi	Rotorski sklop	Ležajevi
72,7%	27,3%	0,0%	0,0%

Na slici 4.9 prikazana je ABC analiza podataka o ukupnom broju kvarova na procesnim vezama izazvanih kvarom rotacijskih strojeva po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su nastali kvarovi.



**Slika 4.9 - ABC analiza podataka o broju kvarova na procesnim vezama izazvanih kvarom rotacijskih strojeva po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su nastali kvarovi**

Analizirajući podatke i tablica 4.17. i 4.18. te ABC analize zaključuje se :

Najčešće se javljaju kvarovi rotacijskih strojeva na procesnim vezama kao posljedica kvara brtvenica, i to čak u udjelu od 72,7 % u ukupnom broju kvarova.

Kao uzroci kvarova značajnima se javljaju još i stacionarni elementi rotacijskih strojeva s udjelom od 27,3 %. Iz ovoga možemo zaključiti da su brtvenice izuzetno osjetljiv dio rotacijskih strojeva. Što se tiče stacionarnih elemenata rotacijskih strojeva zastoji nastaju uglavnom kao posljedica začepjenosti usisnih sita.

U tablici 4.19. prikazano je trajanje (u satima) na procesnim vezama izazvanih kvarom rotacijskih strojeva po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su nastali kvarovi.

**Tablica 4.19. – Trajanje kvarova na procesnim vezama izazvanih kvarom rotacijskih strojeva po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su nastali kvarovi**

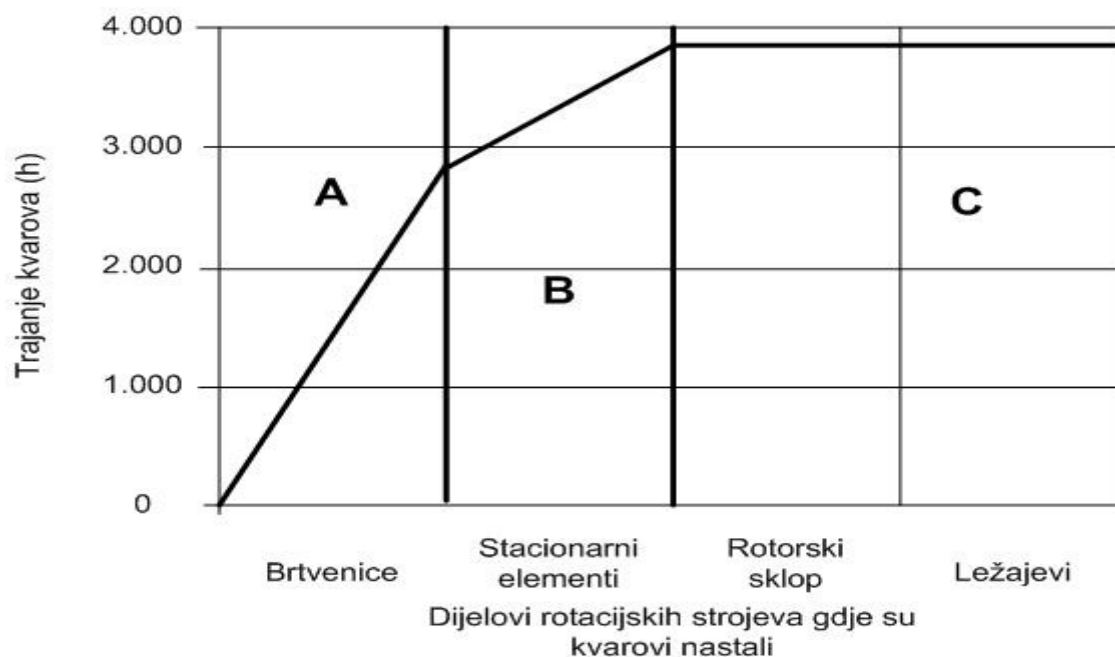
Postrojenje	KVAROVI RS PO TRAJANJU (h)				
	Brtvenice	Ležajevi	Rotorski sklop	Stacionarni elementi	Ukupno
P 1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
P 2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
P 3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
P 4	189,5	0,0	0,0	67,0	256,5
P 5	805,4	0,0	0,0	0,0	805,4
P 6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
P 7	1.018,0	0,0	0,0	873,0	1.796,0
P 8	736,0	0,0	0,0	253,5	989,7
P 9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
P 10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
P 11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
UKUPNO (h)	2.749,9	0,0	0,0	1.193,5	3.943,4

U tablici 4.20. prikazan je odnos trajanja kvarova izazvanih kvarom rotacijskih strojeva i dijelova rotacijskih strojeva gdje su nastali kvarovi na procesnim vezama.

**Tablica 4.20. – Odnos trajanja kvarova na procesnim vezama izazvanih kvarom rotacijskih strojeva po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su nastali kvarovi**

ODNOS TRAJANJA KVAROVA			
Brtvenice	Stacionarni elementi	Rotorski sklop	Ležajevi
71,5%	28,5%	0,0%	0,0%

Na slici 4.10 prikazana je ABC analiza podataka o ukupnom trajanju kvarova na procesnim vezama izazvanih kvarom rotacijskih strojeva po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su nastali kvarovi.



**Slika 4.10 - ABC analiza podataka o trajanju kvarova na procesnim vezama izazvanih kvarom rotacijskih strojeva po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su nastali kvarovi**

Analizirajući podatke i tablica 4.19. i 4.20. te ABC analize zaključuje se :  
Najveći udio u ukupnom trajanju kvarova rotacijskih strojeva posljedica kvara brtvenica, i to čak u udjelu od 71,5 % u ukupnom trajanju kvarova.

Kao značajni uzroci kvarova javljaju se još i stacionarni elementi rotacijskih strojeva s udjelom od 28,5 % u ukupnom vremenu zastoja izazvanih kvarom rotacijskih strojeva.



#### 4.7. Kvarovi samo rotacijskih strojeva

Kako bi se sagledali utjecaji kvarova rotacijskih strojeva na troškove održavanja razmotriti će se i kvarovi rotacijskih strojeva koji nisu za posljedicu imali zastoj postrojenja. Izvršiti ćemo analizu po dijelovima rotacijskih strojeva, i to je promatrajući karakteristične dijelove rotacijskih strojeva. Podatke o kvarovima rotacijskih strojeva uzeti su iz evidencije radnih naloga o popravcima rotacijskih strojeva u rafineriji nafte.

U tablici 4.21. prikazani su brojčano kvarovi rotacijskih strojeva prema dijelovima rotacijskih strojeva gdje su nastali kvarovi

**Tablica 4.21. – Broj kvarova rotacijskih strojeva po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su nastali kvarovi**

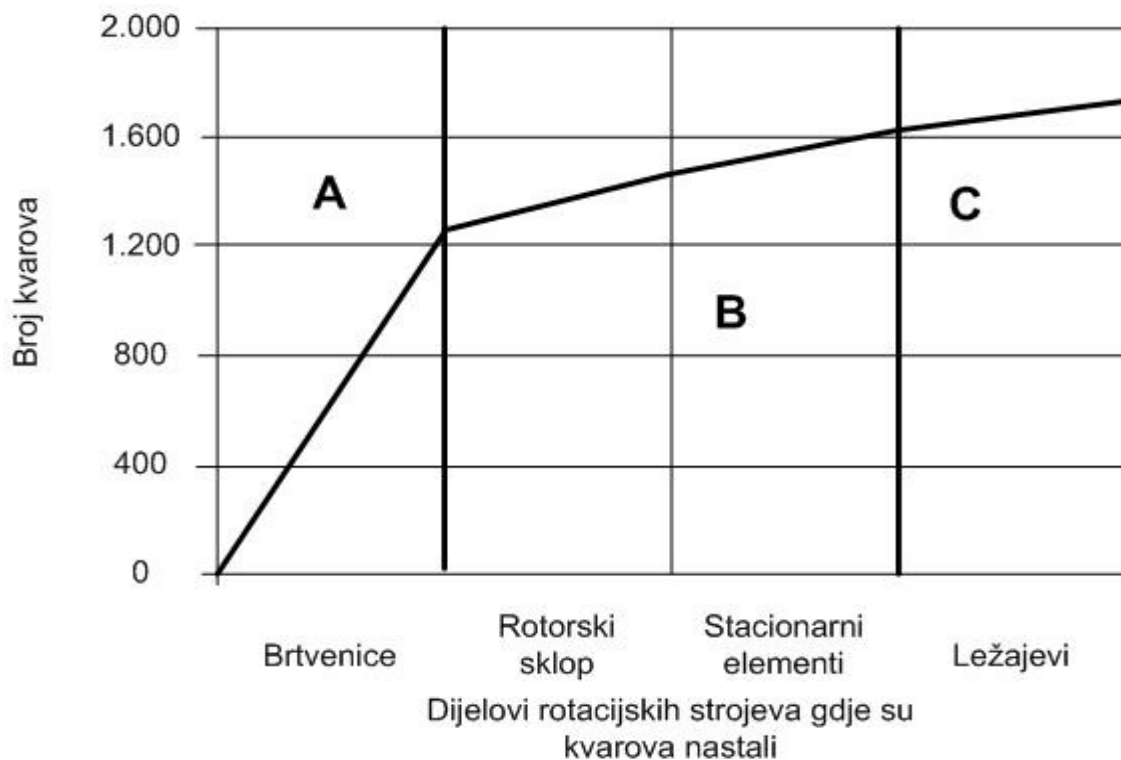
Postrojenje	BROJ KVAROVA				
	Brtvenice	Ležajevi	Rotorski sklop	Stacionarni elementi	UKUPNO
P 1	216	36	15	15	282
P 2	77	2	7	4	90
P 3	162	22	26	16	226
P 4	59	13	10	34	116
P 5	129	16	25	8	178
P 6	111	8	18	42	179
P 7	86	9	11	3	109
P 8	130	17	26	9	182
P 9	124	21	32	9	186
P 10	127	4	15	11	157
P 11	2	1	10	0	13
UKUPNO	1.223	149	195	151	1.718

U tablici 4.22. prikazani su odnosi broja kvarova rotacijskih strojeva po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su nastali kvarovi.

**Tablica 4.22. – Odnos broja kvarova rotacijskih strojeva po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su nastali kvarovi**

ODNOS KVAROVA RS PO BROJU			
Brtnenice	Rotorski sklop	Stacionarni elementi	Ležajevi
71,2%	11,4 %	8,8%	8,7%

Na slici 4.11 prikazana je ABC analiza podataka o ukupnom broju kvarova rotacijskih strojeva po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su nastali kvarovi



**Slika 4.11 - ABC analiza podataka o broju kvarova rotacijskih strojeva po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su nastali kvarovi**

Analizirajući podatke i tablica 4.21. i 4.22. te ABC analize zaključuje se da se najčešće javljaju kvarovi rotacijskih strojeva kao posljedica kvara brtnenica, i to čak u udjelu od 71,2 % u ukupnom broju kvarova rotacijskih strojeva.

Kvarovi rotorskog sklopa slijede s udjelom od 11,4 %. Ostali dijelovi su zastupljeni sa manje značajnim udjelom. Iz ovoga se može zaključiti da su brtvenice izuzetno osjetljiv dio rotacijskih strojeva. U tablici 4.23. prikazano je trajanje kvarova rotacijskih strojeva i dijelovima rotacijskih strojeva gdje su nastali kvarovi

**Tablica 4.23. – Trajanje kvarova rotacijskih strojeva po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su nastali kvarovi**

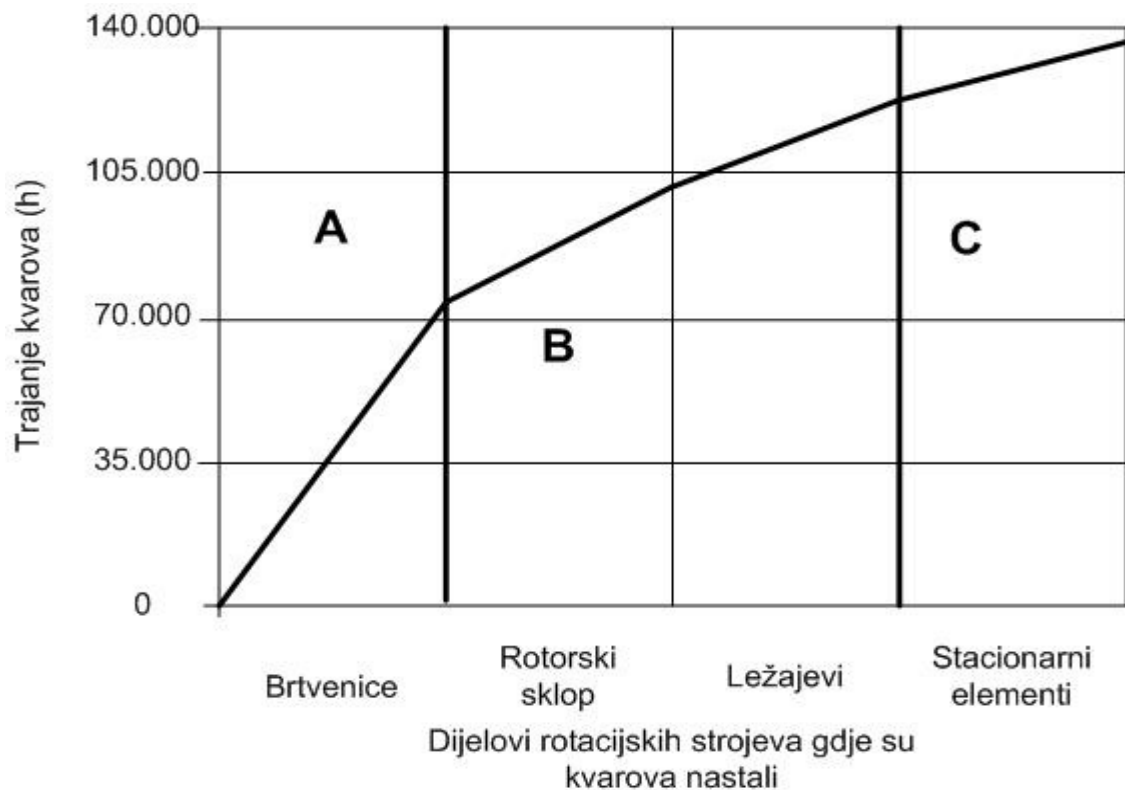
Postrojenje	KVAROVI RS PO TRAJANJU (h)				
	Brtvenice	Ležajevi	Rotorski sklop	Stacionarni elementi	UKUPNO
P 1	12.024,0	3.408,0	936,0	3.696,0	20.064,0
P 2	3.456,0	1.608,0	216,0	216,0	5.496,0
P 3	7.704,0	1.608,0	1.392,0	624,0	11.328,0
P 4	4.080,0	1.608,0	1.824,0	4.680,0	12.192,0
P 5	8.136,0	2.592,0	3.600,0	1.272,0	15.600,0
P 6	8.496,0	840,0	1.944,0	2.232,0	13.512,0
P 7	6.428,0	1.316,0	1.760,0	498,0	10.002,0
P 8	8.136,0	2.592,0	3.600,0	1.272,0	15.600,0
P 9	7.948,0	3.124,0	4.320,0	1.067,0	16.459,0
P 10	6.576,0	192,0	840,0	504,0	8.112,0
P 11	120,0	48,0	1.344,0	0,0	1.512,0
UKUPNO (h)	73.104,0	18.936,0	21.776,0	16.061,0	129.877,0

U tablici 4.24. prikazani su odnosi broja kvarova rotacijskih strojeva po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su nastali kvarovi

**Tablica 4.24. – Odnos trajanja kvarova rotacijskih strojeva po dijelova rotacijskih strojeva gdje su nastali kvarovi**

ODNOS KVAROVA RS PO TRAJANJU			
Brtvenice	Rotorski sklop	Ležajevi	Stacionarni elementi
56,3 %	16,8 %	14,6 %	12,4 %

Na slici 4.12 prikazana je ABC analiza podataka o ukupnom trajanju kvarova rotacijskih strojeva po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su nastali kvarovi.



**Slika 4.12 - ABC analiza podataka o trajanju kvarovima rotacijskih strojeva po dijelovima rotacijskih strojeva gdje su nastali kvarovi**

Analizirajući podatke i tablica 4.23. i 4.24. te ABC analize zaključuje se :

Najveći udio u ukupnom trajanju kvarova rotacijskih strojeva posljedica kvara brtvenica, i to u udjelu od 56,3 % u ukupnom trajanju kvarova rotacijskih strojeva .

Slijede kvarovi rotorskog sklopa s udjelom od 16,8 % u ukupnom vremenu trajanja kvarova rotacijskih strojeva. I ovdje se uočava da brtvenice imaju najveći udio u ukupnom vremenu trajanja kvarova rotacijskih strojeva, a koji ne uzrokuju zastoje na postrojenjima.

#### **4.8. Ukupni podaci o kvarovima rotacijskih strojeva**

Udružujući podatke o kvarovima rotacijskih strojeva koji su posljedica kvara na brtvenicama rotacijskih strojeva dolazi se do slijedećeg.

Udruženi su oni podaci koji su nastali direktno i oni podaci nastali na procesnim vezama. U tablici 4.25. prikazani su podaci o ukupnom broju kvarova prouzročenih kvarom brtvenica rotacijskih strojeva i posljedice tih kvarova.

**Tablica 4.25. – Ukupni broj kvarova brtvenica i posljedice tih kvarova**

Postrojenja	BROJ KVAROVA BRTVENICA			
	Rotacijski strojevi	Postrojenje	Procesne veze	Ukupno
P 1	216	2	0	218
P 2	77	2	0	79
P 3	162	1	0	163
P 4	59	11	2	72
P 5	129	19	2	150
P 6	111	0	0	111
P 7	86	3	3	92
P 8	130	3	1	134
P 9	124	0	0	124
P 10	127	3	0	130
P 11	2	1	0	3
UKUPNO	1.223	45	8	1.276

U tablici 4.26. prikazani su podaci o postotnom udjelu broja kvarova brtvenica rotacijskih strojeva u ukupnom broju kvarova po posljedicama.

**Tablica 4.26. – Udio broja kvarova brtvenica rotacijskih strojeva u ukupnom broju po posljedicama kvarova**

ODNOS BROJA KVAROVA BRTVENICA		
Rotacijski strojevi	Postrojenje	Procesne veze
95,9 %	3,5 %	0,6 %

Jasno je vidljivo da su najčešći kvarovi brtvenica koji imaju za posljedicu kvar samo rotacijskih strojeva, a koji ne uzrokuju zastoje postrojenja. U tablici 4.27. prikazani su podaci o ukupnom trajanju kvarova prouzročenih kvarom brtvenica rotacijskih strojeva po posljedicama.

**Tablica 4.27. – Ukupno trajanje kvarova brtvenica rotacijskih strojeva i posljedice tih kvarova**

Postrojenja	TRAJANJE KVAROVA BRTVENICA (h)			
	Rotacijski strojevi	Postrojenja	Procesne veze	Ukupno
P 1	12.024,0	126,7	0,0	12.150,7
P 2	3.456,0	131,2	0,0	3.587,2
P 3	7.704,0	84,7	0,0	7.788,7
P 4	4.080,0	822,7	189,5	5.092,2
P 5	8.136,0	1.060,7	805,4	10.002,1
P 6	8.496,0	0,0	0,0	8.496
P 7	6.428,0	691,5	1.018,0	8.137,5
P 8	8.136,0	691,5	736,0	9.563,5
P 9	7.948,0	0,0	0,0	7.948
P 10	6.576,0	691,5	0,0	7.267,5
P 11	120,0	50,5	0,0	170,5
UKUPNO (h)	73.104,0	4.351,0	2.749,9	80.204,9

U tablici 4.28. prikazani su podaci o postotnom udjelu trajanja kvarova po posljedicama u ukupnom trajanju kvarova prouzročenih kvarom brtvenica rotacijskih strojeva.

**Tablica 4.28. – Udio trajanja kvarova brtvenica rotacijskih strojeva u ukupnom trajanju po posljedicama kvarova**

ODNOS TRAJANJA KVAROVA BRTVENICA		
Rotacijski strojevi	Postrojenja	Procesne veze
91,2 %	5,4 %	3,4 %

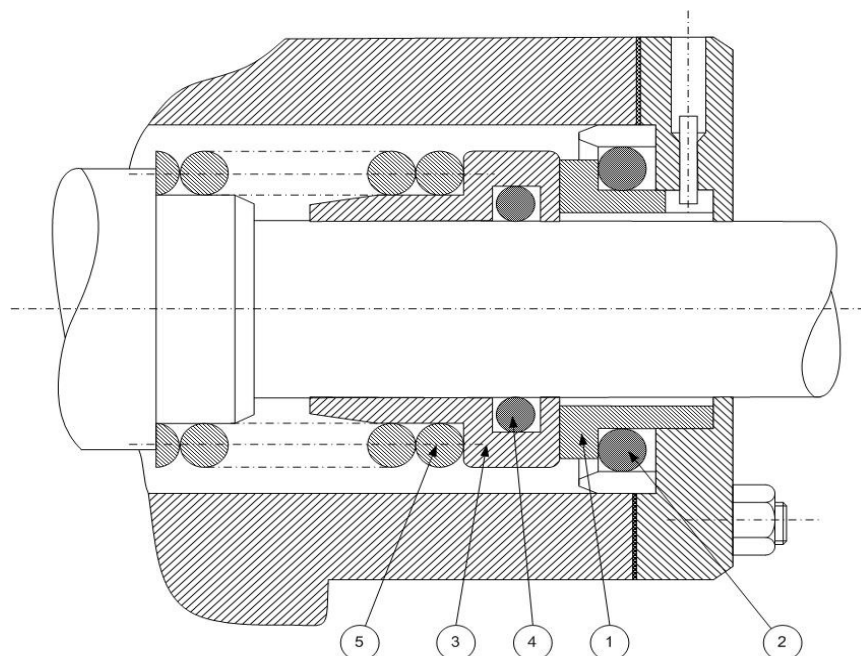
Odmah je uočljivo da je najznačajnije trajanje kvarova brtvenica koji uzrokuju kvar samo rotacijskih strojeva, a da pri tome to nema utjecaja na kvarove i zastoj postrojenja. Međutim kvarovi samih rotacijskih strojeva imaju najmanji utjecaj u troškovima održavanja, dok su kvarovi procesnih veza najutjecajniji na troškove održavanja.

Općenito govoreći može se zaključiti da su rotacijski strojevi vrlo često podložni kvarovima, a trajanje tako izazvanih zastoja je značajno.

#### 4.9. Brtvenice

Brtvenice su dijelovi rotacijskih strojeva za transport fluida koji imaju zadatak da osiguraju nepropusnost medija između stacionarnog i rotacionog dijela rotacijskih strojeva. Razlikujemo mehaničke brtvenice i tzv. meke brtvenice, odnosno brtvene pakete sa stišljivim materijalom - pletenicom. Mehaničke brtvenice se danas zamijenile u 90 % slučajeva upotrebu pletenica u kemijskim i petrokemijskim postrojenjima. Primjena mehaničkih brtvenica rotacijskih strojeva u rafinerijama nafte je skoro pravilo, samo iznimno se koriste meke brtvenice sa pletenicom.

Jedan jednostavni tip brtvenice i osnovni dijelovi prikazani su na slici 4.13.



Slika 4.13. – Presjek jednostavne mehaničke brtvenice

Mehaničke brtvenice se sastoje od pet osnovnih dijelova, i to :

1. Stacionarni brtveni prsten
2. Brtva stacionarnog prstena
3. Rotacioni brtveni prsten
4. Brtva rotacionog brtvenog prstena
5. Opruga

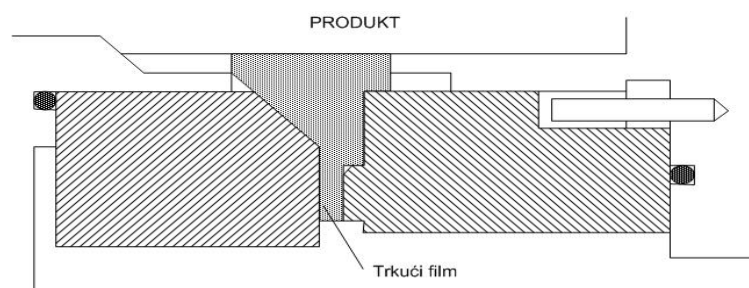
Napomena : Kod složenijih konstrukcija pojavljuju se i čahure mehaničke brtvenice, više opruga, brtvenih prstenova, brtvi itd.

Princip na kojem se zasniva funkcija mehaničkih brtvenica je brtvljenje tekućine pod pritiskom pomoću dvije perfektno ravne površine dovedene u dodir jedna nasuprot drugoj.

Pri tome je jedna površina nepomična, a druga se okreće zajedno sa vratilom. Naravno, između brtvenih površina mora postojati tekući film, kako bi se smanjio koeficijent trenja i postigao dovoljan tlak potreban da se održi tekući film stabilnim.

Stojeći brtveni prsten postavljen je elastično na fiksni dio poklopca brtvenice, a rotirajući brtveni prsten postavljen je elastično na vratilu. Prigon jednog rotirajućeg brtvenog prstena na stacionarni brtveni prsten je ostvaren porugom. Tako rotacioni brtveni prsten elastično rotira sa vratilom preko opruge, a opruga ujedno daje početni pritisak između površina dvaju brtvenih prstenova.

Da bi mehanička brtvenica ispravno funkcionirala potrebno je da se između brtvenih površina održi tekući film čija debljina ovisi o tipu tekućine (mediju), njenom viskozitetu i tlaku kojem je izložena. Pritisak opruge služi samo kao garancija da će površine brtviti kada je hidraulički tlak jednak nuli (uglavnom na početku rada), i da se ostvari stisak između brtvenih prstenova. Na slici 4.14. prikazan je shematski prikaz tekućeg filma na mehaničkoj brtvenici



**Slika 4.14. - Shematski prikaz tekućeg filma na mehaničkoj brtvenici**



Da bi se održao tekući film između brtvenih površina, mora se ostvariti balans tlakova koji žele otvoriti brtvenicu i onih koji je žele držati zatvorenom, tj. mora biti zadovoljena nejednakost :

$$B * (p_1 + p_2) / 2 < p_i + p_m - p_r - p_f$$

Gdje je :

$B$  – Brtvena površina

$p_1$  – tlak kojeg se brtvi

$p_2$  – tlak na vanjskoj strani

$p_i$  – hidraulički tlak

$p_m$  – potisak opruge

$p_r$  – potisak uzrokovan trenjem brtvenih površina

$p_f$  – potisak od tekućeg filma

Da bi se tekući film održao između brtvenih površina, osim kontrole tlaka u brtvenom kućištu i tlaka para kod temperature pumpanja, potrebno je i da su brtveni prsteni izrađeni od odgovarajućeg materijala, koji je u stanju odvesti što veći dio topline stvorene trenjem brtvenih površina.

Materijali od kojih se izrađuju stacionarni prsteni su : stelit, keramika, silicijev karbid, volframov karbid ili krom-oksidi, a rotacioni prstenovi se izrađuju od grafita, volfram karbida ili ugljika, a ponekad i teflona.

Pri tome grafiti mogu biti pomiješani sa bakrom, olovom, antimonom, staklom, fenolskim ili drugim smolama.

Raspon parametara za koje je moguća primjena mehaničkih brtvenica, ovisi o tipu mehaničkih brtvenica, a uobičajeno je slijedeći :

Tlak - od nule do 70 bara

Temperatura - od – 100 C do 400 C


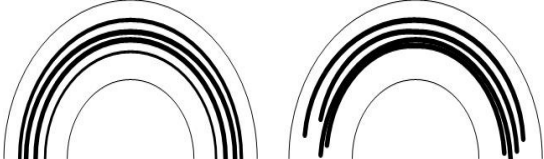
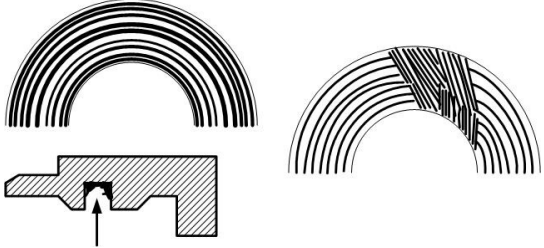
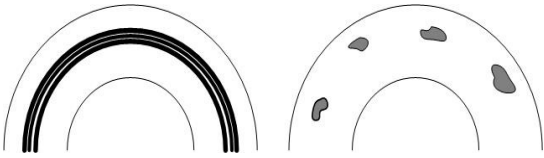
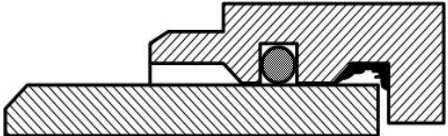
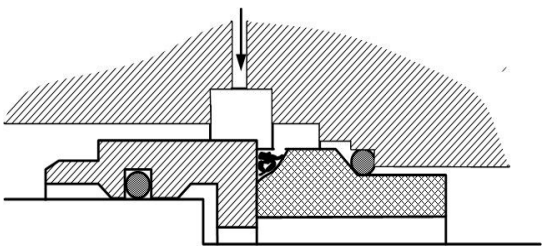
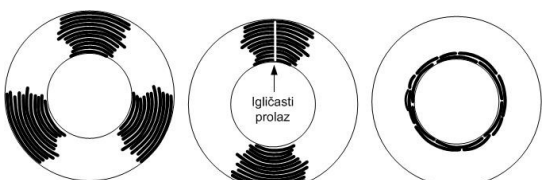
Zbog zahtjeva da se primjenjuju u različitim uvjetima (režimima) rada ponekad je potrebno osigurati hlađenje i/ili ispiranje brtvenica.

To se obično postiže radnim medijem, a u iznimnim slučajevima se osigurava i neovisni medij (voda ili neki drugi).

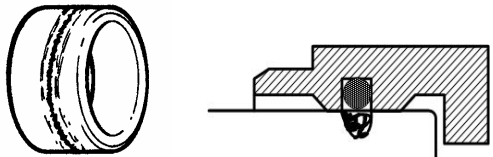
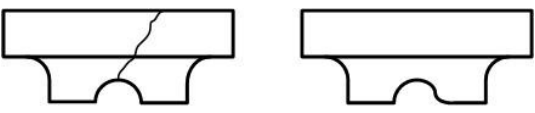
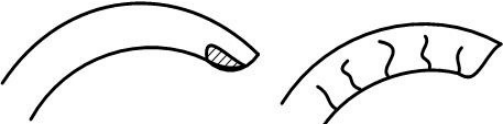
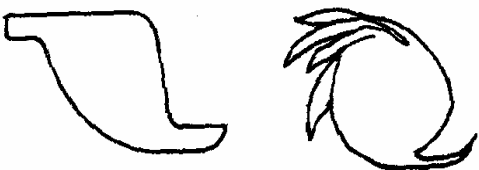

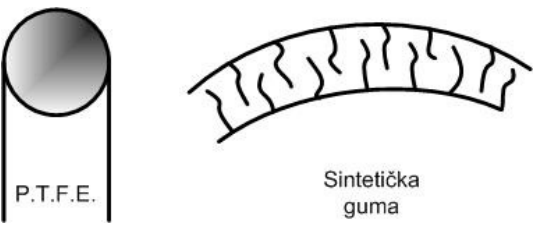
Kvarovi mehaničkih brtvenica su posljedica različitih uzroka.

Tipični kvarovi mehaničkih brtvenica prikazani su u tablici 4.29.

Tablica 4.29. – Kvarovi mehaničkih brtvenica

VRSTE KVAROVA MEHANIČKIH BRTVENICA		
Isparavanje u brtvenici		Nastaju poprečne pukotine, koncentrični zarezi na brtvenim površinama stacionarnog i rotacionog prstena
Rad na suho		Nastaju koncentrični krugovi na brtvenim površinama stacionarnog i rotacionog prstena
Krute čestice u mediju		Nastaju koncentrični krugovi i druga oštećenja na brtvenim površinama stacionarnog i rotacionog prstena
Koksanje medija		Medij prelazi u petrolkoks i taloži se na dijelove brtvenice
Kristalizacija unutar brtvenice		Stvaraju se naslage koje se lijepe na brtvene površine stacionarnog i rotacionog prstena
Erozija ugljenog prstena		Uslijed mehaničkog trošenja ugljenog prstena dolazi do njegovog oštećenja
Ne-paralelnost brtvenih površina		Nastaje pojačano neravnomjerno trošenje ugljenog prstena na pojedinim mjestima

Tablica broj 4.29. – Kvarovi mehaničkih brtvenica (nastavak)

VRSTE KVAROVA MEHANIČKIH BRTVENICA		
Oštećenja čahure i vratila		Nastaju kružni utori na vanjskoj strani čahure brtvenice ili samog vratila rotacionog stroja
Oštećenje brtvenog prstena		Puknuće brtvenog prstena uslijed udara ili netočne montaže
Oštećenje opruge		Puknuće opruge uslijed preopterećenja
Oštećenja brtvi A		Brtve se mogu oštetiti uslijed preopterećenja
Oštećenja brtvi B		Brtve se mogu oštetiti ako nisu točno predviđenih dimenzija ili uslijed djelovanja agresivnih medija
Oštećenja brtvi C	 P.T.F.E.                      Sintetička guma	Brtve se mogu oštetiti uslijed visoke temperature

Analizom podataka dolazi se do zaključka da je najčešći slučaj oštećenja mehaničkih brtvenica rotacijskih strojeva u rafinerijama nafte zbog pojavljivanja krutih čestica na brtvenim površinama. Taj uzročnik se javlja u preko 80 % slučajeva kvarova na brtvenicama. Ostali uzročnici kvarova brtvenica pojedinačno niti jedan ne prelaze statistički značajnu vrijednost od 5 %.

## 5. PRIJEDLOG POBOLJŠANJA

Postrojenja za rafinerijsku preradu nafte su vrlo skupa investicija. Njihov rad je isplativ ako se za to osiguraju preduvjeti, pri tome se misli prvenstveno na kontinuirani rad u dužem vremenskom razdoblju.

Da bi to osigurali potrebno je slijedeće :

- Odgovarajuća ispravna TS za odvijanje procesa na postrojenju
- Odgovarajuće količine sirovine (nafte ili naftnih derivata)
- Neophodni energenti (el. energija, para, plin i sl.)
- Neophodne kemikalije i sl. (kisljine, lužine, aditiva i sl.)
- Osposobljeni kadrovi za vođenje procesa prerade
- Održavanje TS (vlastito ili vanjsko)

U prethodnim poglavljima, vidi se da su ovi preduvjeti ostvareni u promatranjoj rafineriji nafte. Rad postrojenja je pod neposrednim utjecajem tržišta i zadovoljavanja promjenljivih tržišnih potreba u pogledu količine, kvalitete, asortimana kao i dinamike isporuke naftnih derivata.

Tako se događa da su instalirani kapaciteti povremeno nedovoljni za povećanu potražnju, ili su pak preveliki za malu potražnju na tržištu. To dovodi do toga da je iskoristivost instaliranih kapaciteta nedovoljna.

Znajući sve to u rafineriji nafte uprava, proizvodnja i održavatelji dogovaraju planirane termine generalnih popravaka (remonti) koji udovoljavaju navedenim zahtjevima. To je uglavnom jednom godišnje u vrijeme kada su tržišni zahtjevi na najnižoj razini, a nema zapreka ili otežanih okolnosti za izvođenje zahvata održavanja, npr. nisu niske vanjske temperature i sl.

Osim toga za manje neplanirane popravke koji zahtijevaju obustavu postrojenja, koriste se i termini tehnološki uvjetovanih zastoja, kako bi se izbjegle česte obustave postrojenja.

Nažalost, iz raznih razloga (poslovna politika, tržišni zahtjevi, dobava sirove nafte, rat i sl.) obustave postrojenja u promatranj rafineriji nafte, koje nisu posljedica kvara TS su bile česte.

Osim pristupa sa periodičkim generalnim popravcima preporučljivo je primijeniti još neke preventivne aktivnosti održavanja. Prije svega to je dijagnostika.

U promatranj rafineriji nafte dijagnostika ima značajnu ulogu u procesu održavanja. To se očitava prvenstveno na stanju ležajeva rotacijskih strojeva, koji su minoran uzročnik kvarova.

Stoga, uz već postojeće aktivnosti preventivnog održavanja treba pokrenuti akciju na uvođenju modernih pristupa. Tu se RCM izdvaja kao logičan mogući izbor.

Takav pristup bi mogao dati dobre rezultate, jer bi definiranjem ključnih TS i uzroka njihovih kvarova, mogli utjecati na njihovu pouzdanost pravovremenim akcijama održavatelja.

Takvim pristupom održavanja ostvarili bi se pozitivni učinci održavanja, koji su vrlo bitni, a u naftnoj industriji vezani su prvenstveno uz sigurnost postrojenja, pouzdanost i raspoloživost TS, zaštitu okoliša, životni vijek TS itd.

Nezaobilazna je i korektivna komponenta održavanja, koja se javlja kao nadopuna – korektiv nepreciznosti u planiranju i preventivi.

Poznato je da zbog parametara rada, složenosti i broja korištenih TS na svakom postrojenju, pri svakoj obustavi postrojenja, nastaje kvar na većem ili manjem broju TS, iako su ona tijekom rada postrojenja funkcionirala ispravno. To znači da sve obustave postrojenja, bez obzira na uzrok, dodatno povećavaju troškove održavanja.

Kada se postrojenja obustavljaju radi popravaka, potrebno je dovesti radne parametre medija u "normalno" stanje, tj. izjednačiti tlak i temperaturu sa okolinom ili što bliže toj vrijednosti i obustaviti protok.

Mnogi mediji, koji se koriste u procesu su agresivni i štetni za zdravlje ljudi pri dodiru ili kod udisanja njihovih para.

Osim toga, obzirom da su mediju u procesima prerade nafte i naftnih derivata zapaljivi i eksplozivni potrebno je osigurati da ne dođe do požara ili eksplozije tijekom rada održavatelja i doticaja ljudi sa tim medijima. To obično znači da se mora izvršiti evakuacija (odstranjivanje) tih medija iz unutrašnjosti TS, te ispiranje i neutralizacija unutrašnjosti TS.

U slučaju da to nije moguće izvesti u potpunosti neophodno je radove izvoditi uz primjenu odgovarajućih općih i osobnih sredstava zaštite.

Potrebno je onemogućiti i eventualni dotok otrovnih i štetnih medija, te zapaljive ili eksplozivne smjese iz svih okolnih TS, objekata, kanalizacije (tehnološka i oborinska) i sl., te po potrebi osigurati dodatne vatrozaštitne mjere i aktivnosti (vodena zavjesa, pjena i sl.).

Iz ovako kratkog presjeka pripremnih aktivnosti, jasno je da su proces obustave i pripreme postrojenja za popravak vrlo zahtjevni i dugotrajni. Tako i tzv. mali kvarovi mogu izazvati relativno dugo vremensko razdoblje zastoja postrojenja, dok se ne provede cjelokupan proces od obustave i pripreme postrojenja za izvođenje radova, popravak TS, priprema za kretanje (uklanjanje svih "blokada" medija i sl.) i kretanje postrojenja te dovođenje radnih parametara do procesom zahtijevanih veličina.

Za sve ove aktivnosti pripreme postrojenja potrebno je angažirati značajne ljudske i materijalne resurse. Kada su u pitanju ljudski resursi tu spadaju svi oni ljudi koji su potrebni da osiguraju provođenje procedura i mjera iz procesa proizvodnje, vatrozaštite i održavanja.

Za izvođenje pripremnih aktivnosti održavanja potrebni su određeni resursi. Od potrebnih materijalnih resursa izdvajaju se kao najvažniji :

- Para za ispiranje i neutralizaciju unutrašnjosti TS
- Dušik za neutralizaciju unutrašnjosti TS
- Pijesak za prekrivanje šahta i drugih otvora
- Skele i platforme za pristup otvorima na TS
- "Blindovi" za zatvaranje otvora na TS
- Voda, pjena, prah i druga vatrogasna sredstva
- Električna energija, komprimirani zrak i sl.
- Transportna sredstva, dizalice i sl.
- Uređaji, alati itd.

Kada govorimo o kvarovima TS i njihovom utjecaju na rad postrojenja, onda razlikujemo slijedeće slučajeve :

1. Kvar TS nema značajniji utjecaj na rad postrojenja  
(popravak izvršiti kod prve obustave)
2. Kvar TS je moguće popraviti bez obustave TS ili postrojenja

(privremena ukrućenja, stavljanje obujmica ili drugih naprava, korištenjem specijalnih masa i postupaka sa brzim djelovanjem i sl.)

3. Kvar TS zahtjeva smanjenje radnih parametara u procesu (smanjenje kapaciteta, temperature, tlaka, broja okretaja i sl.)
4. Kvar TS zahtjeva isključivanje iz procesa rada TS koje je u kvaru i uključivanje paralelno instaliranog TS (pumpe, kompresori i sl.)
5. Kvar TS je na dijelu postrojenja koji se može privremeno obustaviti  
Kako bi se izvršio popravak bez obustave rada čitavog postrojenja (sustav za doziranje aditiva i sl.)
6. Kvar TS utječe na obustavu postrojenja na kojem je instaliran
7. Kvar TS utječe na obustavu postrojenja na kojem je instaliran, a to izaziva i na obustavu drugih postrojenja.

Svaki od ovih stupnjeva uzrokuje i određenu razinu troškova kako održavanja, tako i gubitaka u neostvarenoj proizvodnji.

U prethodnim poglavljima praćeni su kvarovi TS i njihov utjecaj na zastoje postrojenja. Analizom i praćenjem glavnih uzročnika kvarova došlo se do zaključka da su rotacijski strojevi, odnosno brtvenice najčešći uzročnik obustava TS i postrojenja i da obustave postrojenja nastale nakon tog uzroka imaju ukupno najveći udio u zastojima postrojenja.

U dostupnoj dokumentaciji u rafineriji nafte evidentirane su tri grupe kvarova:

- Kvar TS koji uzrokuje obustavu tog TS,
- Kvar TS koji uzrokuje obustavu postrojenja,
- Kvar TS koji uzrokuje obustavu više postrojenja (procesna veza),

Ovakva struktura evidencije kvarova je usmjerila tijekom analize kvarova.

Kvarovi koji nisu značajni za rad postrojenja i kvarovi koji se mogu popraviti bez obustave rada TS nisu uobičajeni za rotacijske strojeve.

Kvarovi koji zahtijevaju smanjenje radnih parametara rotacijskih strojeva su prisutni, ali se obično u tim slučajevima pristupalo popravku TS, obzirom da većina rotacijskih strojeva u rafinerijama nafte ima pasivnu vezu, tj. još jedan, a nerijetko i dva identična rotacijska stroja. Stoga se, kada je to moguće, obzirom na stanje drugog rotacijskih strojeva, odmah pristupa popravku, te se tako ta vrsta kvara ne

izdvaja posebno u evidencijama. Kvarovi TS koji iziskuju obustavu dijela postrojenja nisu učestali na postrojenjima u promatranj rafineriji nafte.

Kada se analizira kvarove brtvenica može se zaključiti slijedeće :

1. Brtvenice su najčešći uzrok kvarova rotacijskih strojeva,
2. Brtvenice imaju najveći utjecaj na kvarove rotacijskih strojeva kada dolazi do obustave postrojenja
3. Brtvenice imaju najveći utjecaj i na kvarove povezane sa rotacijskim strojevima koji spadaju u procesne veze
4. Najčešći uzročnik kvarova brtvenica je dolazak krutih čestica na površine brtvenih prstenova brtvenice.
5. Učestalost kvarova brtvenica moguće je smanjiti sprečavanjem ili smanjenjem dolaska krutih čestica na brtvene površine prstenova i/ ili odstranjivanjem već dospjelih čestica
6. Sprečavanje i/ili smanjenje dolaska krutih čestica na brtvene površine prstenova , odnosno odstranjivanjem već dospjelih čestica sa brtvenih površina, moguć je ugradnjom separatora čestica i ispiranjem brtvenica čistim medijem
7. Svojim dimenzijama i učinkovitošću postavljene zahtjeve zadovoljio bi ciklonski separator krutih čestica s ispiranjem brtvenica čistim medijem

Ciklonski separatori koje treba ugraditi moraju biti kompaktnih dimenzija i cijevima su povezani sa usisom i tlakom rotacijskih strojeva.

Od separatora čisti medij ide na brtvenicu cijevima dimenzija 1" ili 3/4" ovisno o veličini rotacijskih strojeva.

Konstrukcija ciklonskih separatora je takva da ih je potrebno ugraditi na svaki rotacijski stroj pojedinačno neovisno da li je rotacijski stroj u pasivnoj vezi ili ne.

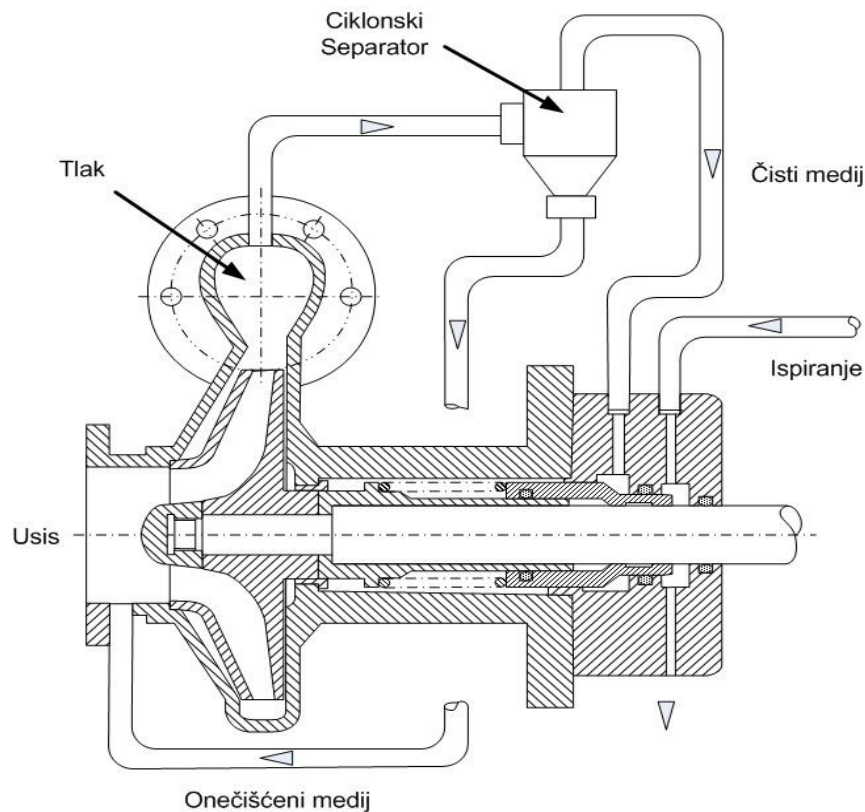
Ugradnja ciklonskih separatora na svim rotacijskim strojevima u promatranj rafineriji nafte bila bi najsigurniji način da se u najvećoj mjeri eliminira ovaj uzročnik kvarova brtvenica.

Međutim kako u promatranj rafineriji nafte na procesnim postrojenjima ima instalirano više stotina rotacijskih strojeva, ugradnja ciklonskih separatora na svim rotacijskim strojevima zahtijevala bi značajna ulaganja i puno vremena i rada na realizaciji tog zahtjeva.



Ugradnja ciklonskih separatora na svim rotacijskim strojevima bilo bi preveliko financijsko ulaganje, a rezultati najvjerojatnije ne bi bili puno bolji od slučaja ugradnje ciklonskih separatora samo na "kritičnim" mjestima tj. rotacijskim strojevima na kojima se učestalo pojavljuju kvarovi brtvenica uslijed dolaska krutih čestica na brtvene površine brtvenice.

Na slici 5.1. prikazana je shema primjera ugradnje ciklonskog separatora krutih čestica iz medija sa ispiranjem brtvenih površina.



**Slika 5.1. - Shema ugradnje ciklonskog separatora krutih čestica sa ispiranjem brtvenih površina**

Na temelju prikupljenih podataka zastoja postrojenja u razdoblju od 1999. godine do 2005. godine određeni su ključni parametri za postrojenja, kako bi se utvrdilo na kojim postrojenjima je najznačajniji utjecaj zastoja i gdje je najpotrebnije primijeniti prijedlog poboljšanja.

Iz tablice 5.1. vidljivi su ključni podaci za ukupne zastaje izazvane kvarom rotacijskih strojeva.

Tablica 5.1. – Ključni podaci za ukupne zastaje izazvane kvarom rotacijskih strojeva

Postrojenje	ZASTOJI (h)		Broj kvarova	Vrijeme ispravnog rada (h)	Raspolo- živost (%)	Koeficijent raspolo- živosti
	Zbog kvarova	Ostali razlozi				
P 1	253,4	126,7	2	41.189,3	78,5%	0,99
P 2	262,4	131,2	2	39.103,3	74,6%	0,99
P 3	664,1	84,7	20	39.734,8	75,7%	0,98
P 4	1865,5	1.012,2	15	40.093,6	78,1%	0,96
P 5	3132,1	1.866,1	20	34.802,7	69,7%	0,92
P 6	0,0	0,0	0	50.013,2	95,1%	1,00
P 7	2594,3	1.709,5	7	36.315,7	72,3%	0,93
P 8	2119	1.427,5	6	36.052,7	71,2%	0,94
P 9	0,0	0,0	0	52.075,6	99,0%	1,00
P 10	1682,3	691,5	5	40.303,5	77,9%	0,96
P 11	2383,2	50,5	27	39.415,0	75,0%	0,94
UKUPNO	14.956,3	7.100	104	449.099,4	78,8%	0,97

Ključni parametri izračunavamo kao :

$$\text{Raspoloživost} : R_k = (t_{ir} / (t_{ir} + t_z + t_o)) * 100$$

$$\text{Koeficijent raspoloživosti} : A_k = t_{ir} / (t_{ir} + t_z)$$

Gdje je :

$t_{ir}$  – vrijeme ispravnog rada

$t_o$  – Vrijeme zastoja zbog ostalih razloga

$t_z$  – Vrijeme zastoja zbog kvarova

Strojeva na kojima bi bilo preporučljivo ugraditi ciklonske separatore ima na svim postrojenjima promatrane rafinerije nafte, osim postrojenja za unifining i obradu plina.

Prijedlog ugradnje ciklonskih separatora i njihov raspored po postrojenjima je prikazan u tablici 5.2.

**Tablica 5.2 – Pregled rotacijskih strojeva na kojima je preporučljivo ugraditi ciklonske separatore**

Postrojenje	Kritična mjesta	Ukupno
P 1	3	6
P 2	2	4
P 3	2	4
P 4	1	2
P 5	2	4
P 6	1	2
P 7	1	2
P 8	1	2
P 9	1	2
P 10	2	4
P 11	0	0
UKUPNO	16	32

U promatranoj rafineriji nafte, kao i u svim rafinerijama nafte većina rotacijskih strojeva ima pasivnu vezu dva pa i više identična stroja u cilju povećanja pouzdanosti i raspoloživosti tj. smanjenja mogućnosti nastanka kvarom izazvanih obustava (zastoja) postrojenja.

Do obustava postrojenja kao posljedica kvara rotacijskih strojeva (izravno ili kroz procesne veze) dolazi uslijed intenzivnog nepredviđenog nastajanja kvarova na nekom od kritičnih mjesta te onda održavatelji nisu u mogućnosti osigurati da bar jedan od instaliranih strojeva bude raspoloživ. Uzroci su slijedeći :

- Ekstremno učestali kvarovi na određenom mjestu ugradnje
- Nedostatak odgovarajućih doknadnih dijelova za pravovremeni popravak
- Nedostatak potrebnog broja odgovarajućih održavatelja za popravak

Smanjenje učestalosti kvarova rotacijskih strojeva prvenstveno bi utjecalo na smanjenje, a vjerojatno i eliminaciju obustava nastalih uslijed tog uzroka (izravno ili kroz procesne veze). To bi imalo najveći utjecaj na smanjenje cijene održavanja vezanih uz rotacijske strojeve.

Jedna od osnovnih veličina kojima se prati stanje kvarova je srednje vrijeme između kvarova (SVIK). Srednje vrijeme između kvarova je funkcija broja i trajanja kvarova TS.. Pri tome je :

$$SVIK = 1 / k \sum_{i=1}^k t_i$$

Gdje je :

k – broj kvarova

t<sub>i</sub> – vrijeme između kvarova

Cilj je da SVIK bude što je moguće dulje tj. da su kvarovi što rjeđi i da traju što kraće. Predloženo poboljšanje ima upravo to za cilj.

Ugradnja ciklonskih separatora za odstranjivanje krutih čestica na brtvenim površinama prstenova brtvenica, neovisno o proizvođačima, dovela bi do smanjenja udjela krutih čestica u mediju od min 80 %, prema izjavama proizvođača.

U cilju utvrđivanja relevantnih pokazatelja proveden je eksperiment ugradnjom ciklonskog separatora na jednoj pumpi u promatranj rafineriji nafte.

Eksperimentom se pokušalo u stvarnim uvjetima na postrojenjima za preradu nafte provjeriti teorijska očekivanja, tj. potvrditi ili ih eventualno osporiti.

Došlo se do slijedećih rezultata.

Pumpa je u eksperimentalnom režimu sa ugrađenim ciklonskim separatorom radila 5487 sati.

Nakon pojave prvog kvara na brtvenici eksperiment je prekinut i nije bilo razumijevanja za njegov nastavak..

Eksperiment je izveden u relativno kratkom vremenskom razdoblju, bez potrebnih ponavljanja te prekinut mimo plana.

Prihvaćajući sva ta ograničenja dobiveni rezultati su primijenjeni u analizi učinka predloženog poboljšanja.

Iz eksperimenta se došlo do toga da je eksperimentalno utvrđeni SVIK za brtvenicu:

$$\text{SVIK}_{be} = 5487 / 1 = 5487 \text{ (h)}$$

Gdje je :

$\text{SVIK}_{be}$  –SVIK za brtvenicu ostvaren u eksperimentu.

U prethodnom razdoblju neposredno prije ugradnje ciklonskog separatora ista pumpa je radila između dva remonta 7648 sati uz pojavu 7 kvarova na brtvenicama. Iz toga dolazimo da je  $\text{SVIK}_b$  na brtvenicama promatrane pumpe :

$$\text{SVIK}_b = 7648 / 7 = 1092,6 \text{ (h)}$$

Gdje je :

$\text{SVIK}_b$  – SVIK za brtvenicu ostvaren u prethodnom jednogodišnjem razdoblju rada rotacijskih strojeva.

Uspoređivanjem SVIK-a i vremena rada u eksperimentu dolazi se od toga da dobiveni rezultati odgovaraju očekivanjima.

Eksperimentalno dobiveni rezultati pokazuju da je došlo do postotnog povećanja SVIK-a, tj. :

$$\eta = [1 - (\text{SVIK}_b / \text{SVIK}_{be})] * 100$$

$$\eta = [1 - (1092,6 / 5487)] * 100$$

$$\eta = 80,09 \text{ \%}$$

Iz ovoga se može zaključiti da je došlo do povećanja SVIK-a za brtvenicu na promatranoj pumpi u iznosu od cca 80 %.

Ovako dobiveni rezultati, obzirom na manjkavosti eksperimenta su nereprezentativni i mora ih se uzeti sa određenom rezervom.

Međutim, kako je eksperiment proveden i nema drugih pokazatelja na koje bi se moglo pozvati, daljnja razmatranja su napravljena bazirajući se na ovako dobivenim rezultatima.

Uzimajući ovu veličinu kao polazište moguće je odrediti smanjenje broja kvarova rotacijskih strojeva u rafineriji nafte.

To znači da bi se broj kvarova rotacijskih strojeva smanjio kako je to prikazano u tablici 5.3.

**Tablica 5.3. – Očekivano smanjenje broja kvarova brtvenica**

Postrojenje	Ukupni broj kvarova rotacijskih strojeva	Broj kvarova na rotacijskim strojevima za poboljšanje	Očekivani učinak poboljšanja	Očekivani ukupni broj kvarova rotacijskih strojeva
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
P 1	218	201	0,74	57
P 2	79	37	0,37	49
P 3	163	125	0,61	63
P 4	72	34	0,38	45
P 5	150	110	0,59	62
P 6	111	70	0,50	55
P 7	92	43	0,37	58
P 8	134	94	0,56	59
P 9	124	73	0,47	66
P 10	130	95	0,58	54
P 11	3	0	0,00	3
UKUPNO	1.276	69 %*	0,55*	571

Gdje je :

*a* – Podaci iz tablice 4.25. (ukupno kvarova)

*b* – Podaci o kvarovima za rotacijskih strojeva kod kojih se predlaže ugradnja separatora

*c* – Učinak poboljšanja na smanjenje kvarova  $c = (b/a) \times 0,8$

*d* – Očekivani ukupni broj kvarova nakon poboljšanja  $d = (1-c) \times a$

$c^* = d / a = 571/1273 = 0,55$

$d^* = (c^*/0,8) \times 100 = (0,55/0,8) \times 100 = 69 \%$ .

\* - (podaci su u tablicu uneseni nakon izračuna)

Broj kvarova rotacijskih strojeva ugradnjom ciklonskih separatora, očekivano bi se smanjio kako je to prikazano u tablici 5.4. po grupama

**Tablica 5.4. – Očekivani broj kvarova po grupama**

Postrojenja	BROJ KVAROVA BRTVENICA			
	Rotacijski strojevi	Zastoji postrojenja	Procesne veze	Ukupno
P 1	57	0	0	57
P 2	49	0	0	49
P 3	63	0	0	63
P 4	45	2	0	47
P 5	60	2	0	62
P 6	55	0	0	55
P 7	57	0	1	58
P 8	59	0	0	59
P 9	66	0	0	66
P 10	54	0	0	54
P 11	2	1	0	2
UKUPNO	565	5	1	571

U tablici 5.5. prikazani su podaci o smanjenju ukupnog broja zastoja prouzročenih kvarom brtvenica na rotacionim strojevima.

**Tablica 5.5. – Podaci o smanjenju broja zastoja prouzročenih kvarom brtvenica**

BROJ KVAROVA BRTVENICA					
Kvar rotacijskih strojeva		Zastoj postrojenja		Procesne veze	
Prije	Očekivano	Prije	Očekivano	Prije	Očekivano
1.223	565	45	5	8	1

Iz tablice 5.5. vidljivo je da će primjenom predloženog poboljšanja doći do smanjenja broja kvarova za cca 45,8 %. Najveći broj kvarova izazivao je zastoje u radu samo rotacijskih strojeva, dok su zastoji kroz procesne veze najmanje zastupljeni, ali je značaj tih zastoja zato izuzetno značajan..

Rezultati učinka predloženog poboljšanja na SVIK po postrojenjima dobiveni su uporabom vrijednosti iz tablice 4.27. i vidljivi su u tablici broj 5.6. :

**Tablica 5.6. – Učinak prijedloga poboljšanja na SVIK**

Postrojenje	SVIK prije poboljšanja (h)	SVIK nakon poboljšanja (h)	Učinak poboljšanja (%)
	<i>a</i>	<i>b</i>	$c=(b - a) / a$
P 1	4.130,60	4.466,76	8,1
P 2	2.620,19	2.726,59	4,1
P 3	847,10	908,41	7,2
P 4	1.263,08	1.317,95	4,3
P 5	721,15	771,49	7,0
P 6	9.870,48	10.337,75	4,7
P 7	1.466,55	1.527,88	4,2
P 8	1.400,03	1.490,74	6,5
P 9	23.998,95	24.653,63	2,7
P 10	1.767,46	1.885,67	6,7
P 11	791,26	791,26	0,0
UKUPNO	1.630,06	1.713,06	5,1

Iz tablice 5.6 vidljivo je postotno povećanje SVIK na svakom postrojenju i ukupno za rafineriju nafte. Prosječno poboljšanje SVIK za čitavu rafineriju nafte primjenom predloženog poboljšanja je 5,1 %, što se smatra i statistički značajnim.



## 6. EKONOMSKI EFEKTI

Analizirajući zastoje postrojenja za rafinerijsku preradu nafte i njihove uzroke došlo se do određenih pokazatelja i mogućih načina njihovog otklanjanja.

Utvrđeno je da su rotacioni strojevi najčešći uzročnik zastoja postrojenja, a kod rotacijskih strojeva kvarovi nastaju najčešće na brtvenicama.

Uzročnik kvara brtvenica, u najvećem broju slučajeva, je dolazak krutih čestica na brtvene površine prstenova mehaničkih brtvenica.

Otklanjanje tog problema je moguće ugradnjom ciklonskih separatora, što bi dalo određene efekte u smanjenju broja i trajanja zastoja TS, kao i samih postrojenja. To bi normalno rezultiralo adekvatnim financijskim smanjenjem troškova održavanja.

Smanjenje troškova obuhvaća slijedeće :

- Troškovi rada održavanja,
- Troškovi angažiranih strojeva, uređaja, alata i sl.
- Troškovi materijala i doknadnih dijelova
- Troškovi energije, kemikalija i sl.
- Troškovi nastalih obustavom i pratećim kvarovima
- Troškovi gubitaka uslijed neostvarene proizvodnje

Prema prijedlogu za smanjivanje broja kvarova brtvenica također je potrebno određeno financijsko ulaganje.

Financijsko ulaganje obuhvaća slijedeće :

- Troškove tehničkog rješenja (projekt, razrada i sl.)
- Troškove nabave potrebnih materijala i drugih TS
- Troškove radova kod ugradnje
- Troškovi angažiranih strojeva, uređaja i sl.

Razlika ovih troškova daje uštedu ostvarenu primjenom predloženog rješenja.

U daljnjem razmatranju prikazani su svi ovi troškovi i njihovi međusobni odnosi i ovisnosti, te rok u kojem se investicija vraća kroz ostvarene uštede primjenom predloženog poboljšanja.

## 6.1. Troškovi kvara rotacijskih strojeva

Jasno je da su najčešći kvarovi brtvenica koji imaju za posljedicu kvar rotacionih strojeva, ali koji ne uzrokuju zastoje postrojenja.

Prosječno trajanje popravka tog kvara iznosilo je :

$$T_{srs} = T_{rs} / N_{rs} = 73.104 / 1.223$$
$$T_{srs} = 59,8 \text{ (h)}$$

Troškove koji su nastali kvarom brtvenica rotacijskih strojeva možemo odrediti kao :

$$C_{rs} = T_{rs} \times C_{rs} + C_{sdd} \times N_{rs}$$
$$C_{rs} = 73.104 \times 72 + 4.250 \times 1.223$$
$$C_{rs} = 10.461.238 \text{ (kn)}$$

Očekivano ukupno trajanja kvarova rotacijskih strojeva nakon ugradnje ciklonskih separatora, na razini rafinerije nafte iznosilo bi :

$$T_{ors} = T_{srs} \times N_{urs} = 59,77 \times 565$$
$$T_{ors} = 33.772,5 \text{ (h)}$$

Iz toga proizlaze prosječni troškovi u iznosu od :

$$C_{ors} = T_{ors} \times C_r + C_{sdd} \times N_{ors}$$
$$C_{ors} = 33.772,5 \times 72 + 4.250 \times 565$$
$$C_{ors} = 4.832.869,4 \text{ (kn)}$$

Ugradnjom ciklonskih separatora došlo bi do smanjenja troškova u iznosu od :

$$C_1 = C_{rs} - C_{ors} = 10.461.238 - 4.832.869,4$$
$$C_1 = 5.628.368,6 \text{ (kn)}$$

Gdje je :

- $T_{rs}$  – Vrijeme zastoja rada rotacijskih strojeva
- $T_{srs}$  – Srednje vrijeme zastoja rada rotacijskih strojeva
- $T_{ors}$  – Očekivano vrijeme zastoja rada rotacijskih strojeva
- $C_{rs}$  – Trošak zastoja rada rotacijskih strojeva
- $C_{ors}$  – Očekivani trošak zastoja rada rotacijskih strojeva
- $C_r$  – Prosječna cijena sata rada na popravku rotacijskih strojeva
- $C_{sdd}$  – Prosječna cijena doknadnih dijelova koji se ugrađuju na rotacijskim strojevima pri popravku

- $N_{rs}$  – Broj obustava rotacijskih strojeva
- $N_{ors}$  – Očekivani broj obustava rotacijskih strojeva
- $C_1$  – Očekivano smanjenje troškova rotacijskih strojeva

## 6.2. Troškovi zastoja postrojenja

U prethodnom poglavlju se došlo do ukupnog vremena zastoja postrojenja uslijed kvarova rotacijskih strojeva. Sada se može odrediti i srednje vrijeme trajanja kvara tih zastoja:

$$T_{skp} = T_{kp} / N_{kp} = 4.351 / 45$$

$$T_{skp} = 96,7 \text{ (h)}$$

Troškove nastale uslijed zastoja postrojenja nakon kvara rotacijskih strojeva možemo odrediti kao:

$$C_{kp} = T_{kp} \times C_r + (C_{sdd} + C_{sokp}) \times N_{kp}$$

$$C_{kp} = 4.351 \times 72 + (4.250 + 82.750) \times 45$$

$$C_{kp} = 4.228.272 \text{ (kn)}$$

Očekivano ukupno trajanja zastoja postrojenja uslijed kvarova rotacijskih strojeva nakon ugradnje ciklonskih separatora, na razini rafinerije nafte iznosilo bi:

$$T_{ors} = T_{skp} \times N_{kp} = 96,7 \times 5$$

$$T_{ors} = 483,5 \text{ (h)}$$

Iz toga proizlaze prosječni troškovi u iznosu od :

$$C_{okp} = T_{ors} \times C_r + (C_{sdd} + C_{sokp}) \times N_{kp}$$

$$C_{okp} = 483,5 \times 72 + (4.250 + 82.750) \times 5$$

$$C_{okp} = 469.808 \text{ (kn)}$$

Ugradnjom ciklonskih separatora smanjili bi troškove zastoja postrojenja u iznosu od :

$$C_2 = C_{kp} - C_{okp} = 4.228.272 - 469.808$$

$$C_2 = 3.758.464 \text{ (kn)}$$

Gdje je :

- $T_{kp}$  – Vrijeme zastoja rada postrojenja
- $T_{skp}$  – Srednje vrijeme zastoja rada postrojenja
- $T_{okp}$  – Očekivano vrijeme zastoja rada postrojenja

- $C_{kp}$  – Trošak zastoja rada postrojenja
- $C_{okp}$  – Očekivani ukupni trošak zastoja rada postrojenja
- $C_{sokp}$  – Srednji očekivani trošak zastoja obustave jednog postrojenja
- $N_{kp}$  – Broj obustava postrojenja
- $N_{okp}$  – Očekivani broj obustava postrojenja
- $C_2$  – Očekivano smanjenje troškova zastoja rada postrojenja

### 6.3. Troškovi zastoja nastali na procesnim vezama

U prethodnom poglavlju došlo se do podataka o ukupnom vremenu zastoja uslijed kvarova brtvenica rotacijskih strojeva kroz procesne veze. Sada se može odrediti i srednje vrijeme trajanja kvara :

$$T_{spv} = T_{pv} / N_{pv} = 2.749,9 / 8$$

$$T_{spv} = 343,7 \text{ (h)}$$

Troškove koji su nastali uslijed zastoja nakon kvara rotacijskih strojeva kroz procesne veze možemo odrediti kao :

$$C_{pv} = T_{pv} \times C_r + (C_{sdd} + C_{sokp} + C_{sopv}) \times N_{pv}$$

$$C_{pv} = 2.749,9 \times 72 + (4.250 + 80.750 + 26.500) \times 8$$

$$C_{pv} = 1.023.992,8 \text{ (kn)}$$

Očekivano ukupno smanjenje trajanja zastoja nakon kvarova rotacijskih strojeva kroz procesne veze, nakon ugradnje ciklonskih separatora, na razini rafinerije nafte iznosilo bi :

$$T_{opv} = T_{spv} \times N_{pv} = 343,7 \times 1$$

$$T_{opv} = 343,7 \text{ (h)}$$

Iz toga proizlaze prosječni troškovi u iznosu od :

$$C_{opv} = T_{opv} \times C_r + (C_{sdd} + C_{sokp} + C_{sopv}) / N_{kp}$$

$$C_{opv} = 343,7 \times 72 + (4.250 + 80.750 + 26.500) / 1$$

$$C_{opv} = 140.308 \text{ (kn)}$$

Ugradnjom ciklonskih separatora došlo bi do smanjenja troškova u iznosu od :

$$C_3 = C_{pv} - C_{opv} = 1.023.992,8 - 140.308$$

$$C_3 = 883.684,8 \text{ (kn)}$$

Gdje je :

$T_{pv}$  – Vrijeme zastoja rada kroz procesne veze

$T_{skp}$  – Srednje vrijeme zastoja rada kroz procesne veze

$T_{okp}$  – Očekivano vrijeme zastoja rada kroz procesne veze

$C_{pv}$  – Trošak zastoja rada kroz procesne veze

$C_{opv}$  – Očekivani trošak zastoja rada kroz procesne veze

$C_{sopv}$  – Srednji očekivani trošak zastoja obustave kroz procesne veze

$N_{pv}$  – Broj obustava kroz procesne veze

$N_{opv}$  – Očekivani broj obustava kroz procesne veze

$C_3$  – Smanjenje troška zastoja rada kroz procesne veze

#### 6.4. Ukupni troškovi zastoja rotacijskih strojeva

Na temelju naprijed izračunatih troškova moguće je odrediti ukupne troškove zastoja rotacijskih strojeva izazvanih kvarovima brtvenica.

Prvo se može odrediti očekivano smanjenje troškova uslijed zastoja izazvanih kvarovima brtvenica rotacijskih strojeva :

$$C_o = C_1 + C_2 + C_3$$

$$C_o = 5.628.368,6 + 3.758.464 + 883.684,8$$

$$C_o = 10.270.517,4 \text{ (kn)}$$

Ukupni troškovi uslijed zastoja izazvanih kvarovima brtvenica rotacijskih strojeva iznosili :

$$C = C_{rs} + C_{kp} + C_{pv}$$

$$C = 10.461.238 + 4.228.272 + 1.023.992,8$$

$$C = 15.713.502,8 \text{ (kn)}$$

Sada se može odrediti udio vrijednosti smanjenja troškova kvarova i zastoja rotacijskih strojeva i postrojenja nastalih ugradnjom ciklonskih separatora :

$$V = [C_o / (C + C_{cs})] \times 100$$

$$V = [10.270.517,4 / (15.713.502,8 + 1.040.000)] \times 100$$

$$V = 61,3 \%$$

Cijena ugradnje svih ciklonskih separatora

$$C_{cs} = C_{cs1} \times N_{cs} = 32.500 \times 32$$

$$C_{cs} = 1.040.000 \text{ (kn)}$$

Gdje je :

$V$  - Vrijednost postotka smanjenja troškova održavanja

$N_{cs}$  - Broj ugrađenih ciklonskih separatora

$C_{cs}$  - Cijena ugradnje svih ciklonskih separatora

$C_{cs1}$  - Cijena ugradnje jednog ciklonskog separatora

Za predloženo poboljšanje ugradnjom ciklonskih separatora za sve lokacije ugradnje predviđena je ugradnja na principu tipsko rješenje na svim mjestima ugradnje. Obzirom na neznatna odstupanja instalacija i separatora određena je prosječna pojedinačna cijena, koja obuhvaća cijenu materijala, uređaja i ugradnje, te dio cijene izrade tipskog projekta za ugradnju planiranog broja uređaja.

Sveukupna prosječna pojedinačna cijena za jedno mjesto ugradnje, a bazirano na predloženom broju mjesta ugradnje iznosi cca 32.500 (kn).

## 6.5. Isplativost poboljšanja

Može se odrediti smanjenje troškova ugradnjom 32 ciklonska separatora na 16 ključnih mjesta. Ulaganje od 1.040.000 kn, za ugradnju ciklonskih separatora ostvarujemo smanjenje ukupnih troškova održavanja nastalih obustavama rotacijskih strojeva u iznosu od 61,3 %, odnosno sa 15.713.502,8 kn smanjenje za 10.270.517,4 kn.

Tako bi prosječno za jednu godinu ostvareno smanjenje troškova održavanja iznosilo:

$$C_{g1} = C_o / N_{pr}$$

$$C_{g1} = 10.270.517,4 / 6,5$$

$$C_{g1} = 1.580.079,5 \text{ (kn)}$$

Vrijeme vjerojatnog povrata uložених sredstava u ugradnju ciklonskih separatora kroz uštede na smanjenju kvarova, bilo bi :

$$N_{pu} = C_{cs} / (C_{g1} / 12)$$

$$N_{pu} = 1.040.000 / (1.580.079,5 / 12)$$

$$N_{pu} \approx 8 \text{ mjeseci}$$

Gdje je :

$C_{g1}$  - Prosječna ušteda na godinu ugradnjom ciklonskih separatora

$N_{pr}$  - Broj godina (6,5) u promatranom vremenskom razdoblju

$N_{pu}$  - Vrijeme povrata uloga u ugradnju ciklonskih separatora

Kako su dobiveni rezultati teorijski, a obzirom na sve prihvaćene aproksimacije, ne može se tvrditi sa sigurnošću da bi povrat bio za točno računski utvrđenih 8 mjeseci.

Ugradnja ciklonskih separatora izvršila bi se na 16 ključnih mjesta na rotacijskim strojevima u rafineriji nafte. To znači da je potrebno ugraditi ukupno 32 kom. ciklonskih separatora. Može se tvrditi da bi se ugradnjom ciklonskih uz ukupno ulaganje od 1.040.000 kn, moglo očekivati da se ostvari povrat ulaganja kroz smanjenje troškova održavanja, već tijekom prve godine eksploatacije.

Ugradnjom ciklonskih separatora smanjio bi se ukupnim broju kvarova brtvenica za očekivanih 69 %, (tablice 5.3.). Kako kvarovi brtvenica imaju udio od 71.2 % (tablica 4.22.) u broju kvarova rotacijskih strojeva, to bi očekivano smanjenje broja kvarova rotacijskih strojeva ( $V_{rs}$ ) predloženim poboljšanjem iznosilo :

$$V_{rs} = (69 \times 71,2) / 100$$

$$V_{rs} \approx 49,1 \%$$

Udio broja kvarova rotacijskih strojeva u ukupnom broju zastoja izazvanih kvarovima iznosi 33,9 % direktno (tablica 4.6.) i kroz procesne veze još 4,4 % (udio od 20 % broja kvarova kroz procesne veze - tablica 4.14.) što ukupno iznosi 38,3 %. Tako se dolazi do toga da se predloženim rješenjem smanjuje broj zastoja ( $V_z$ ) u iznosu od :

$$V_z = (49,1 \times 38,3) / 100$$

$$V_z \approx 18,8 \%$$

Kvarovi su u ukupnom broju uzrokom 52,9 % (tablica 4.2.) svih zastoja, te prijedlog poboljšanja na ukupan broj zastoja utječe u iznosu od :

$$V_u = (18,8 \times 52,9) / 100$$

$$V_u \approx 10 \%$$

Tako se dolazi do vrijednosti od 10 % smanjenja ukupnog broja zastoja primjenom predloženog rješenja, što nikako nije zanemarivo.

U trajanju ugradnjom ciklonskih separatora smanjilo bi se trajanje zastoja uslijed kvarova brtvenica kako je to pokazano u tablici 6.1. :

**Tablica 6.1. - Smanjenje trajanje zastoja uslijed kvarova brtvenica**

Trajanje		Ukupno (h)
<i>a</i>	Prije poboljšanja	80.204,9
<i>b</i>	Nakon poboljšanja	34.599,7
Udio (b/a)		43,1 %

Iz tablice 6.1. slijedi da je smanjenje trajanja kvarova brtvenica (*K*) :

$$K = 100,0 \% - 43,1 \%$$

$$K = 56,9 \%$$

Kako kvarovi brtvenica imaju udio od 56,3 % (tablica 4.24.) u trajanju kvarova rotacijskih strojeva, to bi očekivano smanjenje trajanja kvarova rotacijskih strojeva (*P<sub>rs</sub>*) predloženim poboljšanjem iznosilo :

$$P_{rs} = (56,9 \times 56,3) / 100$$

$$P_{rs} \approx 32 \%$$

Udio broja kvarova rotacionih strojeva u ukupnom broju zastoja izazvanih kvarovima iznosi 30,0 % direktno (tablica 4.8.) i kroz procesne veze još 4,3 % (udio od 19,9 % od trajanja kvarova kroz procesne veze - tablica 4.8.), što u ukupnom iznosu čini 34,3 %. Tako se dolazi do toga da se predloženim rješenjem smanjuje broj zastoja (*P<sub>z</sub>*) u iznosu od :

$$P_z = (32 \times 34,3) / 100$$

$$P_z \approx 11 \%$$

Kvarovi su u ukupnom trajanju uzrokom su 26,8 % (tablica 4.4.) svih zastoja, te prijedlog poboljšanja na ukupan broj zastoja utječe u iznosu od (*P<sub>u</sub>*) :

$$P_u = (11 \times 26,8) / 100$$

$$P_u \approx 3 \%$$



Tako se dolazi do vrijednosti od 3 % smanjenja ukupnog trajanja zastoja primjenom predloženog rješenja. Dakle može se zaključiti da će prijedlogom poboljšanja doći do smanjenja od 10 % ukupnog broja zastoja ili 3 % ukupnog trajanja zastoja.

Broj zastoja je statistički značajno smanjen, a udio trajanja smanjenja je relativno nizak, jer su trajanja tehnoloških, a pogotovu planiranih zastoja vrlo značajno zastupljena u ukupnom trajanju zastoja. Tako promatrano i ovakav postotak se može smatrati značajnim, tim prije kada je udio poboljšanja u smanjenju trajanja udjela kvarova rotacionih strojeva od 11 %, što je i statistički značajno.

Ekonomska analiza odnosi se samo na dio koji je vezan uz direktne troškove održavanja. Uvrštavanjem u kalkulacije i troškova izgubljene dobiti i ostalih troškova koji neminovno nastaju kod svake obustave postrojenja, jasno je da su ukupni ekonomski efekti još povoljniji.

## **8. PRIJEDLOG POSTUPKA UNAPREĐENJA GOSPODARENJA TS**

Postrojenja za rafinerijsku preradu nafte, sva procesna, ali i industrija općenito imaju stalnu težnju za smanjenjem troškova poslovanja. U sklopu tih ukupnih troškova značajno mjesto imaju i troškovi održavanja.

Postotak koji troškovi održavanja imaju u ukupnim troškovima poslovanja različit je ovisno o promatranoj vrsti industrije, ali čak i minimalne postotne udjele troškova uvijek je poželjno smanjiti kako bi se povećala konkurentnost na tržištu.

Struktura troškova održavanja obuhvaća troškove redovitog (planiranog) održavanja i troškove nastale uslijed nepredviđenih kvarova TS.

Planirano održavanje je podložno kontroli održavatelja i predvidivo je u mnogim elementima od učestalosti, trajanja, potrebnih resursa do troškova.

Neplanirani kvarovi su najnepoželjnija kategorija te je potrebno smanjiti ih na najmanju moguću mjeru ili ih potpuno eliminirati. Dobar put za ostvarivanje ovog cilja je otklanjanje uzroka njihovog nastajanja.

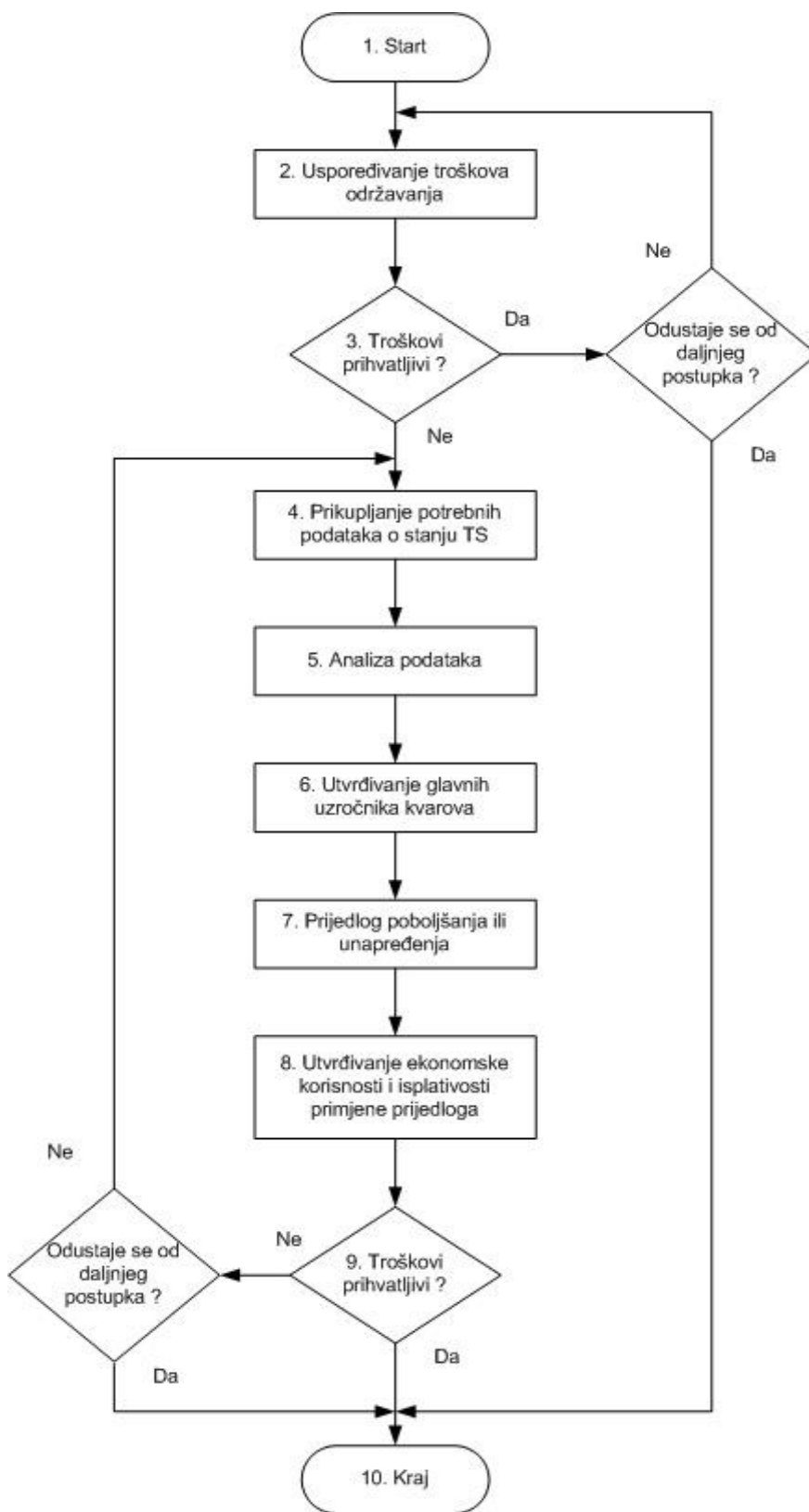
Postupak koji je primijenjen na otklanjanju neplaniranih kvarova TS na postrojenjima za rafinerijsku preradu nafte u konkretnom primjeru doveo je do utvrđivanja glavnog uzročnika najznačajnijih kvarova i time izazvanih troškova. Prijedlogom poboljšanja u promatranom primjeru prikazano je kako se može otkloniti neke od uzročnika kvarova i tako smanjiti troškove održavanja.

Primjenom istog postupka moguće je daljnje unapređivanje gospodarenja TS u rafinerijama nafte. Ponovljeni postupak bi doveo do novog najznačajnijeg uzročnika kvarova za koji bi se primjenom odgovarajućeg prijedloga poboljšanja moglo utjecati na daljnje smanjivanje kvarova i tako nastalih troškova.

Ovaj postupak je moguće primjenjivati dok neplanirani kvarovi ne dosegnu razinu prihvatljivosti tj. postanu ekonomski gledano kategorija od malog značaja.

Čitav postupak je moguće primijeniti i na druge procesne industrije, ali i na bilo koju industriju gdje se želi utjecati na smanjenje kvarova i time izazvanih troškova.

Shematski prikaz prijedloga postupka unapređenja gospodarenja TS prikazan je slici 7.1.



Slika 7.1. - Shematski prikaz prijedloga postupka unapređenja gospodarenja TS

Tijek odvijanja postupaka unapređenja gospodarenja TS je slijedeći :

1. Postupak gospodarenja TS je univerzalan i moguće ga je započeti u bilo kojem trenutku eksploatacije TS, bez posebnih ograničenja.

Postupak počinje nakon odluke vlasnika ili održavatelja TS da se želi ostvariti dobro ili bolje gospodarenje i praćenje troškova poslovanja, sa naglaskom na iznosima koji se izdvajaju za održavanje TS.

Postupak može početi i/ili nakon osvještavanja potrebe vlasnika ili održavatelja TS da su troškovi održavanja i/ili ukupnog poslovanja previsoki i javljanja potrebe da se ti troškovi smanje.

Poželjno je već u ovoj etapi provođenja postupka unapređenja gospodarenja TS formirati timove i odabrati stručnjake koji će provoditi čitav daljnji postupak unapređenja gospodarenja TS. Obvezatno je u timu za provođenje postupka unapređenja gospodarenja TS predvidjeti i osigurati sudjelovanje stručnjaka iz područja održavanja, a poželjno je angažirati i odgovarajuće stručne konzultante.

U ovoj fazi se prvenstveno treba donijeti odluka o pokretanju postupka za unapređenje gospodarenja TS i obaviti sve pripremne radnje (ekipiranje i sl.) za uspješno odvijanje daljnjih aktivnosti.

2. Troškovi svakog poslovnog sustava su takvi da su po paušalnoj ocjeni vlasnika uvijek previsoki, tj. takvi da je potrebno njihovo smanjivanje. Među prvima na udaru svih akcija smanjivanja troškova su izdvajanja za održavanje TS.

Međutim, pravu ocjenu stanja potrebno je utvrditi koristeći egzaktnu postupku ocjenjivanja visine troškova i usporediti uspješnost vlastitog poslovnog sustava sa okruženjem, ali i otkriti svoje slabosti i nedostatke te pronaći nove mogućnosti unapređenja postojećeg stanja.

Egzaktna ocjena u svakom konkretnom slučaju se dobiva tako da se troškovi eksploatacije TS uspoređuju sa relevantnim i istovrsnim međusobno usporedivim podacima o sličnim, srodnim i/ili sustavima koji su vodeći u određenom segmentu poslovanja.

"Benchmarking", kao provjereni proces uspoređivanja, se nameće kao najprihvatljiviji alat za rješavanje ovog zadatka.

"Benchmarking" polazi od postavke " Ako ne možeš mjeriti i uspoređivati, ne možeš upravljati" [19]

Uspoređivanje održavanja je najučinkovitije ako se ostvaruje na temelju istovrsnih ili identičnih pokazatelja uspješnosti. Razina za uspoređivanje može biti različita. Moguće se uspoređivati na razini kompanije, tvornica, pogona itd.

EFNMS je osnovao više radnih grupa od kojih jedna ima zadatak definirati indikatore uspješnosti djelovanja održavanja. Grupa "Benchmarking" ima zadatak predložiti pokazatelje uspješnosti u održavanju. Ovi pokazatelji su podijeljeni u pet grupa: ekonomija, organizacija, politika, sigurnost i okoliš. Za svaku grupu će biti utvrđeni najprikladniji pokazatelji uspješnosti u održavanju, te početi pratiti pokazatelje uspješnosti i analizirati neuobičajenu uspješnost poslovanja i mijenjati i dobro i loše.

Iako su ove aktivnosti EFNMS-a u tijeku to ne znači da se uspoređivanje ne može provoditi.

Usporedbe će možda biti teže, nepreciznije pa donekle i netočnije, ali to nikako nije razlog da se odustane od benchmarkinga. Uostalom uvijek se može uspoređivati sa vlastitim rezultatima iz prethodnog razdoblja. Svaki pokazatelj usporedbe može poslužiti kao poticaj za istraživanje i poboljšavanje postojećeg stanja.

Neki od najčešćih pokazatelja po kojima se vrši uspoređivanje su : [19]

- Osoblje na poslovima izravnog održavanja kao % ukupnog osoblja u postrojenju
- Procijenjena zamjenska vrijednost postrojenja po osoblju na poslovima izravnog održavanja
- Troškovi izvođača kao % ukupnih troškova održavanja

Nakon uspoređivanja troškova i vrijednosti iznosa koji se izdvajaju za održavanje, moguće je egzaktno utvrditi stanje određenog poslovnog sustava ili njegovog dijela i na taj način donijeti utemeljenu odluku o potrebu daljnjih aktivnosti, njihovom smjeru i o stupnju uspješnosti poslovanja i održavanja TS.

3. Na temelju provedenog postupka usporedbe donosi se odluka o daljnjim aktivnostima. Odluku donosi vlasnik TS u suradnji sa timom i/ili stručnjacima koji vode postupak unapređenja gospodarenja TS, a odluka može biti dvojaka.

Ako su pokazatelji takvi da trenutno stanje troškova zadovoljava, postupak se može prekinuti i nakon određenog vremenskog razdoblja ponoviti ili se jednostavno postupak odmah može zaključiti i odustati od daljnjih aktivnosti po ovom postupku.

Ipak, najčešći slučaj je da postoji nezadovoljstvo trenutnim troškovima, samo je pitanje stupnja tog nezadovoljstva.

To vodi do slijedećeg koraka i prikupljanja relevantnih podataka o stanju TS, tj. razdobljima njihovog rada te zastoja i kvarova.

4. Da bi se mogao provesti postupak unapređenja gospodarenja TS potrebno je prvo prikupiti sve relevantne podatke o stanju TS.

Već ranije formirati tim za provođenje postupka unapređenja gospodarenja TS mora odrediti koji podaci su potrebni za daljnju proceduru i u kom razdoblju vremena će biti prikupljeni ili praćeni ti podaci. Obično su to podaci o stanju rada TS, tj. to su podaci o :

- Broju kvarova TS,
- Trajanju kvarova TS,
- Broju i kvalifikaciji angažiranih održavatelja na otklanjanju kvarova i njihovih posljedica
- Vrijednosti ugrađenih doknadnih dijelova,
- Vrijednosti ugrađenih materijala,
- Vrijednosti utrošenih drugih resursa i sl.

Postupak prikupljanja podataka je moguće provesti tako da se koriste već zabilježeni podaci u prošlosti, ili se u zadanom razdoblju ciljano prikupljaju novi podaci za obradu.

Obrada podatka koji su već prikupljeni u prošlosti tijekom eksploatacije TS je podesna za TS koji su eksploatirani u nekom vremenskom razdoblju i o njihovom radu i stanju postoje pisane evidencije.

Ako se radi o novim TS ili TS za koje u prošlosti nisu vođene ili iz različitih okolnosti ne postoje evidencije o radu, zastojima, kvarovima i

troškovima vezanim uz to pristupa se prikupljanju potrebnih podataka u određenom vremenskom razdoblju.

Vremensko razdoblje se može odrediti po želji i potrebi korisnika i/ili održavatelja TS, ali je potrebno da to razdoblje bude dulje od jedne godine, a poželjno bi bilo da to bude tri do pet godina, jer se tako dobiju kvalitetniji podaci.

Ako je vremensko razdoblje prikupljanja podataka predugo može doći do gubitka smisla i smanjenja kvalitete podataka. Pri tome se ima u vidu i da je želja da se što prije dobiju odgovarajući podaci kako bi se došlo do spoznaja o stanju TS i financijskih izdvajanja za održavanje.

Ako je vremensko razdoblje prikupljanja podataka prekratko, postoji opasnost da nije moguće dobiti realno stanje pokazatelja.

Ako je moguć i/ili ostvaren direktan unos podatak u računalni sustav, to omogućuje kasniju lakšu obradu podataka.

5. Analiza prikupljenih podataka se provodi tako da se podaci prvo grupiraju. Grupiranje podataka se provodi kako bi se što prije i što lakše došlo do željenih rezultata.

Podjela na grupe se može ostvariti na različite načine. Važno je pažljivo odrediti grupe po kojima će se razvrstavati podaci i raditi daljnja analiza. Kako će se ta podjela izvršiti određuje tim za provođenje postupka unapređenja gospodarenja TS.

Neki od načina na koje je moguće izvršiti grupiranje su slijedeći, tj. grupiranje po:

- Karakterističnim vrstama TS,
- Uzrocima kvarova,
- Vremenu nastanka kvarova (smjene, dani u tjednu, godišnja doba i sl.),
- Lokacijama TS i sl.

Analiza grupiranjem podataka daje održavateljima informacije o najznačajnijim uzrocima i izvorima povećanih troškova eksploatacije i/ili održavanja TS.

Za ovu etapu provođenja postupka unapređenja gospodarenja TS bitno je da se ovaj zadatak povjeri stručnjacima specijalistima održavanja ili

timu stručnjaka u kojem trebaju neizostavno biti zastupljeni specijalisti održavanja.

Veličina timova i/ili broj stručnjaka održavanja ovisi različitim čimbenicima. Neki od najznačajnijih čimbenika su :

- Veličina promatranog poslovnog sustava,
- Broj i raznovrsnost TS koji se promatraju,
- Željeni intenzitet utjecaja na troškove,
- Raspoloživi resursi,
- Rokovi očekivanih rezultata provedenog postupka unapređenja gospodarenja TS i sl.

Ova etapa postupka unapređenja gospodarenja TS naročito je pogodna za primjenu računarske obrade podataka. Jednom uneseni podaci u računalo lako su dostupni i primjenom odgovarajućih programa moguća je željena obrada tih podataka.

Nije uvjet da je čitav postupak podržavan računalom, ali to značajno skraćuje vrijeme obrade i analize prikupljenih podataka.

6. Daljnjom analizom prikupljenih podataka se nastoji utvrditi glavne uzročnike kvarova. Analizom se određuju grupe koje imaju najznačajniji utjecaj, tj. kod kojih je najveći utrošak financijskih i drugih sredstava, vremena za popravak ili kod kojih su najučestalije pojave kvarova i sl. Za tako utvrđene najznačajnije grupe utvrđuju se istim postupkom najznačajniji utjecaji po podgrupama.

Postupak se provodi dok se ne dođe do konkretnog uzroka najčešćih i najznačajnijih podataka na koji se može utjecati.

Tim pristupom se određuje najznačajniji čimbenik nastanka uzroka kvarova, zastoja ili nečeg drugog ovisno o grupiranju i kriteriju odabira.

Postupak eliminacije dovodi do izbora najutjecajnijeg čimbenika na koje je moguće utjecati odgovarajućim aktivnostima.

Ovisno o vrsti podjele tj. grupiranju najznačajniji čimbenik može biti vezan na TS ili njegove dijelove, izvršitelje, tj. ljudske resurse, organizaciju rada ili neka druga za promatrani sustav bitna i od tima za provođenje postupka unapređenja gospodarenja TS prepoznata karakteristika promatranog sustava.



7. Kada se utvrdi najznačajniji uzročnik kvarova i/ili neki drugi za analizu značajni čimbenik potrebno je osmisliti odgovarajuće poboljšanja, koje ovisno o slučaju može biti:

- Tehničko,
- Organizacijsko
- Neko drugo poboljšanje

Poboljšanje ima za cilj utjecati na troškove i to djelovanjem na neki od čimbenika koji je direktno ili indirektno povezan sa troškovima, a neki od najznačajnijih čimbenika kojim bi se moglo utjecati na troškove su :

- Smanjenje broja i trajanja kvarova,
- Poboljšanje organizacije rada,
- Uvođenje novog koncepta održavanja,
- Neko drugo postupanje,

a sve u cilju poboljšanja postojećeg stanja i unapređenje rada i funkcioniranja TS, te smanjenja iznosa koji se izdvajaju za održavanje TS, ali i smanjenje ukupnih troškova poslovanja čitavog poduzeća, tj. kako bi se na kraju povećala dobit.

Osmišljavanje rješenja se može pokušati ostvariti unutar same organizacije vlastitim resursima ili se to može povjeriti specijaliziranoj konzultantskoj ustanovi ili osobi koji imaju iskustva i znanja za takvu vrstu poslova.

Najbolje je ako u timu već postoje stručnjaci koji imaju znanja za osmišljavanje prijedloga poboljšanja, ali moguće je za određene zadatke angažirati i stručnjake izvan tima, ako je to potrebno.

Razlog za korištenje postojećih resursa unutar poduzeća je baziran prvenstveno na tome da ti kadrovi već poznaju problematiku, nisu potrebna dodatna financijska sredstva za njihovo angažiranje na ovom poslu, motiviranost za pronalaženjem rješenja je veća nego kod vanjskih suradnika, stalno su prisutni i raspoloživi itd.

Međutim često se uz sve dobre strane unutarnjih resursa postavlja pitanje njihove osposobljenosti da sa uspjehom samostalno realiziraju traženu vrstu poslova, pogotovu kada su ti zadaci vrlo specijalizirani i specifični te vrlo složeni.

Angažiranje vanjskih konzultanata je korisno zato što:

- Konzultanti imaju bogato iskustvo i znanja u stručnom i organizacijskom pogledu, koja su stekli radom u raznim poduzećima,
- Konzultanti su prinuđeni pratiti suvremena dostignuća u svijetu i sami rade kao istraživači,
- Kod konzultanata, kao vanjskog čovjeka, nema «pogonskog sljepila» što omogućava objektivni pristup i uporniji su u insistiranju na pozitivnim rješenjima,
- «Tehnologija» uvođenja promjena i vještina rada s ljudima je predmet posebnog obrazovanja konzultanata, što omogućava racionalno izvođenje programa uvođenja novih metoda rada,
- Konzultanti sudjeluju s timom stručnjaka održavanja i ostalih, koji detaljno poznaju tehnologiju održavanja, pa su kao takvi i nositelji inovacija u poduzeću.

Izbor ovisi o veličini poduzeća i troškovima održavanja, mogućnostima i znanjima vlastitih kadrova itd.

8. Potrebno je za osmišljeno rješenje izvršiti ekonomsku analizu isplativosti i učinkovitosti predloženog poboljšanja.

Analiza se može simulirati na matematičkom ili nekom drugom modelu ili se nakon primjene tj. instaliranja, odnosno uvođenja predloženog poboljšanja registriraju ostvareni ekonomski rezultati.

Kada je to moguće dobro je napraviti, bar grubu, ekonomsku analizu očekivanih efekata prije realizacije prijedloga poboljšanja, kako bi se izbjegli nepotrebni troškovi ulaganja u rješenje koje eventualno neće imati odgovarajući ekonomski učinak.

Kada je to moguće dobro je i eksperimentalno provjeriti učinkovitost predloženog poboljšanja na manjem broju ili bar jednom slučaju, kako bi se moglo imati što jasniju sliku prije implementacije poboljšanja na čitav promatrani sustav.

To je iznimno bitno kod velikih sustava, skupih investicijskih zahtjeva za sveobuhvatnu i potpunu primjenu prijedloga poboljšanja i sl.

U svakom slučaju je poželjno i potrebno praćenjem rezultata na primijenjenom poboljšanju tijekom eksploatacije utvrditi stvarne ekonomske efekte predloženih i primijenjenih poboljšanja.

9. Utvrđeni novi troškovi se uspoređuju kako je to već navedeno u prethodnom postupku i ocjenjuje se njihova prihvatljivost za promatrani poslovni sustav.

Ekonomski pozitivan pomak ostvaren primijenjenim poboljšanjem ne mora uvijek zadovoljiti vlasnika i/ili održavatelje kako za ukupno zahtijevano ili za očekivano smanjenje troškova.

Nije moguće uvijek postići spektakularne rezultate i pomake, oni su prije iznimka nego pravilo. Međutim svaki pomak je vrijedan, koristan i poželjan.

Ponovljenim provođenjem postupka unapređenja gospodarenja TS ostvaruje se daljnje pronalaženje najznačajnijih čimbenika i primjenom novih poboljšanja ostvaruje se novo smanjenje troškova, odnosno ostvaruju se nove uštede.

Postupak unapređenja gospodarenja TS je moguće provoditi stalnim ponavljanjem navedenih koraka u procesu smanjenja kvarova i zastoja, ili drugih izabranih čimbenika. Pri tome je moguće koristiti već prikupljene podatke i/ili izvršene analize ili izraditi nove, nadopunjavati postojeće i sl.

10. Postupak unapređenja gospodarenja TS je moguće prekinuti u svakoj od njegovih faza provođenja.

Međutim prekidom postupka prije dolaska do spoznaje o stanju TS i utvrđivanja potrebe i mogućnosti za poboljšanjem nema koristi od do tada provedenog postupka i gubi se mogućnost eventualnih poboljšanja i ostvarivanja koristi od tih poboljšanja i samog postupka. Svi do tada prikupljeni podaci su neiskorišteni i čitav do tada provedeni postupak predstavlja samo trošak i gubitak vremena.

Postupak se može prekinuti nakon utvrđivanja zadovoljstva postignutim rezultatima primjene postupka i/ili odluke da se obustavlja dalje provođenje postupka iz bilo kojeg razloga.

Međutim potrebno je znati da konkurencija svakim danom postaje sve jača, učinkovitija i neprekidno radi na poboljšanju svoje konkurentnosti, te da trenutno zadovoljstvo ne znači da će održavanjem postojećeg stanja sutra ostvarivati zadovoljavajući rezultati.

Zadovoljstvo postignutim rezultatima ne mora značiti nužno i prestanak primjene postupka gospodarenja TS.

Dobro je nastaviti daljnje praćenje rada TS kako bi se zadržala željena razina troškova i/ili otkrili izvori novih neočekivanih troškova, nastalih uslijed starosti TS, promjene organizacije, fluktuacije kadrova ili nekih drugih razloga.

Čitav postupak je moguće ponavljati i utvrđivati nove uzroke i predlagati njihovo otklanjanje primjenom odgovarajućih poboljšanja i tako smanjivati troškove odnosno ostvarivati uštede.

Postupak unapređenja gospodarenja TS je primijenjen u slučaju jedne rafinerije nafte i kako je to naprijed prikazano to je očekivano dalo dobre rezultate.

Za očekivati je stoga da postupak unapređenja gospodarenja TS i u drugim rafinerijama nafte, naftnoj i općenito procesnoj industriji daje brze i dobre rezultate.

Postupak unapređenja gospodarenja TS je moguće primijeniti za bilo koje TS u bilo kojoj industriji, ali obzirom na količinu i kvalitetu podataka, sustavnost praćenja rada TS i značaj raspoloživosti TS za procesnu industriju osobito je pogodan za primjenu u toj vrsti industrije.

## 8. ZAKLJUČAK

Postrojenja za rafinerijsku preradu nafte su vrlo skupa investicija. Njihov rad ima visoku cijenu po jedinici vremena, ali zahvaljujući visokovrijednim produktima koji su traženi na tržištu i koriste se u ogromnim količinama, te dugotrajnom kontinuiranom radu, ostvaruju se pozitivni ekonomski rezultati.

Količina prodanih produkata uz odgovarajuću tržišnu cijenu daju visok profit. Uvjet za ostvarivanje dobrih tržišnih rezultata jednim dijelom leži i u kvalitetnom održavanju. Neophodna je primjena najnovijih dostignuća na polju održavanja TS kojima je moguće osigurati visoku pouzdanost i raspoloživost TS i tako utjecati na ekonomske rezultate.

Neophodno je, stoga, u održavanje rafinerijskih postrojenja uvesti nove spoznaje i pristupe održavanju, te tako utjecati na smanjenje kvarova i troškova održavanja. Od suvremenih pristupa održavanja kao prihvatljiv i primjenljiv u slučaju rafinerija nafte izdvaja se RCM. Na stupnju održavanja koji je u primjeni u INA RNS, RCM predstavlja logični slijed i napredak u održavanju. I novi trendovi u održavanju upućuju održavatelje u tom pravcu.

Na održavateljima TS je da osiguraju visoku raspoloživost i pouzdanost TS koja bi omogućila ostvarivanje neprekinutog rada.

Promatrajući primjer rafinerije nafte uočava se slijedeće :

- Promatrana rafinerija je sa dugom tradicijom u preradi nafte
- TS ugrađivani na postrojenjima rafinerije nafte su instalirani tijekom dugog vremenskog razdoblja u skladu sa razvojem rafinerije nafte. Pri tome je primijenjeno puno različitih tehnologija, standarda, koncepcija, proizvođača i tipova TS itd.
- Eksploatacijski i životni vijek TS instaliranih na postrojenjima promatrane rafinerije nafte je na njihovom samom kraju (po preporukama proizvođača), ali su TS još funkcionalni i sa prihvatljivom raspoloživosti,

- Postrojenja u postrojenjima rafinerije nafte su stara i iziskuju velike napore održavatelja kako bi se osigurali preduvjeti za njihov kontinuirani rad,
- Troškove održavanja su visoki, ali ne samo kao posljedica starosti TS,
- TS funkcioniraju ispravno zahvaljujući prvenstveno dobrom održavanju i pažnji pri rukovanju,
- Prostora za poboljšanje učinkovitosti održavanja i pored toga ima puno. To se bazira na velikom broju instaliranih TS, njihovoj raznovrsnosti, starosti, konstrukciji itd.
- U industriji nafte, obzirom na vrlo visoku cijenu instaliranih TS i mali postotci poboljšanja daju rezultate koji se mjere velikim ukupnim financijskim iznosima,
- U postrojenjima rafinerije nafte nužne su nove investicije radi osuvremenjivanja tehnologije.

Promatranjem rada postrojenja rafinerije nafte dolazi se do slijedećih zaključaka :

- Postrojenjima rafinerije nafte su povezana složenim vezama međusobno se prožimajući, nadopunjavajući i međusobno su ovisna u radu,
- Postrojenja se redovito jednom godišnje podvrgavaju generalnim popravcima (remontima) koji su kalendarski raspoređeni tako da osiguravaju "normalnu" opskrbu tržišta naftnim derivatima,
- Postrojenja se vrlo često obustavljaju iz tzv. tehnoloških razloga, što je usklađeno i usvojeno kao model rada promatrane rafinerije nafte (u promatranom razdoblju), a što ni u kom slučaju ne doprinosi boljem radu TS i smanjenju troškova održavanja,

Promatranjem rada TS u rafineriji nafte dolazi se do slijedećih zaključaka :

- TS instalirani u promatranj rafineriji nafte uzrokuju značajan broj neplaniranih zastoja
- Jedan od najčešćih uzročnika zastoja su kvarovi rotacijski strojevi,
- Kod rotacijskih strojeva najčešći uzročnik kvarova su brtvenice,
- Kod brtvenica najčešći uzročnik kvarova je pojava krutih čestica na površinama brtvenih prstenova,

- Moguće je utjecati na smanjenje ovako nastalih kvarova.

Iz analize se dolazi do prijedloga poboljšanja.

Prednost pri izboru pravca djelovanja imaju najčešći uzročnici kvarova, tj. oni koji izazivaju najčešće i najdulje zastoje potrebne za popravak kvarova.

Instaliranjem uređaja za odstranjivanje krutih čestica i ispiranje brtvenica moguće je ostvariti značajna poboljšanja u radu i ostvariti smanjenje broja kvarova i to do 11 %, te smanjenje trajanja tako nastalih zastoja za 3 % od ukupnog vremena trajanja zastoja.

Investicija u ovo poboljšanje, prema predviđanjima, vratila bi se kroz uštede nastale smanjenjem kvarova već tijekom jedne godine eksploatacije.

Zanimljivo je da ležajevi na rotacijskim strojevima u promatranoj rafineriji nafte nisu značajan uzročnik kvarova, što se može tumačiti kvalitetnim održavanjem u tom dijelu. To je posljedica primjene najnovijih spoznaja u održavanju u tom segmentu (vibrodijagnostika i sl.).

Međutim mnogu drugi TS i njihovi elementi nisu tako dobro održavani. To je posljedica zastoja u praćenju i primjeni najnovijih trendova u održavanju tijekom zadnjih desetak godina. Razlozi tome su različiti : rat, fluktuacija kadrova i sl., kao i stanje instaliranih TS, što obuhvata : starost, intenzivno trošenje i sl.

Neovisno o dobrim ekonomskim pokazateljima i efektima koji proizlaze iz predloženih rješenja i preporuka, stvari ne treba idealizirati. Pored ovdje razmotrenih postoji još čitav niz čimbenika koji utječu na održavanje, na TS u rafineriji nafte, kao i na sveukupno poslovanje rafinerije nafte.

Mnogi od tih faktora su višestruko značajniji od ovdje razmotrenih. Mnogi od tih faktora nisu u sferi utjecaja održavanja, pa čak ni rukovodstva (npr. cijena nafte, zahtjevi tržišta i sl.), te se tim i mnogim drugim sličnim faktorima održavatelji ne posvećuju jer na njih ne mogu utjecati.

Ono što održavatelji mogu je dati svoj doprinos u onom dijelu koji je njima poznat i podložan njihovom djelovanju.

Apsolutni financijski iznosi i kod najmanjih smanjenja postotaka troškova mogu imati velike apsolutne vrijednosti, zato se vrijedi potruditi i za te tzv. „male“ pomake, jer puno malih pomaka daje velike prvenstveno ekonomske efekte.

Na temelju konkretnog primjera osmišljen je opći postupak za gospodarenje TE u rafineriji nafte. Njegovom primjenom moguće je ostvarivati unapređenje postojećeg stanja i tako bolje gospodariti TS u rafineriji nafte.

Predloženi postupak za dobro gospodarenje TS može poslužiti za utvrđivanje najznačajnijih uzročnika kvarova i/ili troškova te za utvrđivanje načina njihovog smanjenje.

Postupak je moguće primijeniti i u drugim granama industrije, vjerojatno uz neke preinake i prilagodbe, ali to treba tek istražiti.

Ovaj rad može biti poticaj i da se krene u pravcu daljnjih poboljšanja u održavanju industrijskih procesnih postrojenja (prvenstveno u rafinerijama nafte), ili tek nastavi tamo gdje se u promatranoj rafineriji nafte stalo u jednom trenutku.

Također je želja ukazati na nove trendove u održavanju i potrebu i mogućnosti njihove primjene u rafinerijama nafte, prvenstveno u konkretnom slučaju u promatranoj rafineriji nafte.

Svaki pozitivan pomak u primjeni nekih od navedenih spoznaja pri investiranju u nove TS, koncepcije održavanja ili poboljšanja postojećih rješenja bio bi uspjeh i najveća vrijednost ovog rada.



## 9. LITERATURA

- [1] D. Širola, Oprema, strojevi i uređaji u naftno petrokemijskoj industriji, Školska knjiga, Zagreb, 1986.
- [2] A. Baldin, L. Furlanetto, Održavanje po stanju, Privredni pregled, Beograd, 1980.
- [3] A. Boldin, L. Furlanetto, A. Roversi, F. Turco, Priručnik za održavanje industrijskih postrojenja, OMO, Beograd, 1980.
- [4] Grupa autora, Inženjerski priručnik IP4, Proizvodno strojarstvo, Treći svezak, Organizacija proizvodnje, I. Čala, poglavlja 6 i 9, Školska knjiga, Zagreb, 2002
- [5] M. Jakovčić, Upravljanje održavanjem, Seminar i raspravljaonica, HDO, Opatija, 8. travanj 2003.
- [6] D. Campbell, UPTIME : Strategies for excellence in Maintenance Management, Productivity Press, Inc., Portland, Oregon, 1995.
- [7] J. Moubray, Reliability - centered Maintenance, Butterworth-Heinemann, Oxford, 1997.
- [8] J. Levitt, The Handbook of Maintenance Management, Industrial Press, Inc., New York, 1997.
- [9] T. Wireman, Developing performance indicators for Managing Maintenance, Industrial Press, Inc., New York, 1998.
- [10] S. Nakajama, Introducing to TPM - Total Productive Maintenance, Productivity Press, Inc., Cambridge, Massachusetts, 1988.
- [11] Ž. Ž. Adamović, M. S. Jeftić, Preventivno održavanje u mašinstvu, Građevinska knjiga, Beograd, 1988.
- [12] Ž. Adamović, Logistički sistem održavanja, Privredni pregled, Beograd, 1989.
- [13] E. Rejec, Terotehnologija, Informator, Zagreb, 1974.

- [14] E. H. Hartmann, Total Productive Maintenance, How to Successfully Install TPM in your Plant(s), Through the Unique TPEM Process, International TPM Institute, Inc., USA, 1998.
- [15] V. Vasiljević, Suvremeni sustavi za nadzor, zaštitu i dijagnostiku vibracija rotacijskih strojeva, 9.međunarodno savjetovanje Održavanje 2003, HDO, Opatija , 26.-28. svibnja 2003.
- [16] T. Wireman, World Class Maintenance Management, Industrial Press, Inc., New York, 1990.
- [17] T. Wireman, Computerized Maintenance Management System, Industrial Press, Inc., New York, 1994.
- [18] B. Aberšek, J. Flašker, VZDRŽEVANJE sistemi, strategije, procesi in optimiranje, Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Maribor, 2005.
- [19] F. Cooke, RADNA GRUPA EFMNS-a „BENCHMARKING“ „Ako ne možete mjeriti i uspoređivati, ne možete upravljati“, Održavanje i eksploatacija, 12/99, str. 5 do 16, UDK.658.58, HDO, Zagreb, 1999.

## 10. ŽIVOTOPIS

Milovan Ranilović, dipl.ing. rođen je 1959. godine u G. Klini, Kosovo, Srbija.

### *Školovanje:*

1973. završava osmogodišnju školu u Kosovskoj Mitrovici

1977. završava Srednju tehničku školu strojarskog smjera  
u Kosovskoj Mitrovici,

1982. diplomira na Tehničkom fakultetu u Prištini smjer strojarstvo,

### *Zaposlenje :*

1982. radi u INA RN Sisak na poslovima održavanja kao pripravnik, asistent šefa Strojbravarskog odjela, dežurni inženjer održavanja INA RNS, tehnolog preventive, šefa održavanja termoenergetskih postrojenja.

2002. transformacijom INA sva održavanja se izdvajaju u samostalnu tvrtku STSI d.o.o. u kojoj radi kao specijalista za tehnološko održavanje, inženjer u inženjeringu, inženjer primjene prodaje, a sada kao Koordinator tehnološke pripreme službe prodaje.

### *Ostalo:*

1990./1991. predavač na CUO «N. Veber» Sisak, u programu  
«Osposobljavanja učenika uz rad»

2001. položio je državni ispit i postao član Hrvatske komore arhitekata i inženjera u graditeljstvu (HKAIG), razred strojarstva.

## CURRICULUM VITAE

Milovan Ranilović, B.Sc., Was born 1959. in G. Klina, Kosovo, Serbia

### *School:*

1973. Elemental school finished in Kosovska Mitrovica,

1977. Technical school mechanical direction finished  
in Kosovska Mitrovica,

1982. Finish Technical collage in Prishtina and become mechanical engineer.

### *Work:*

1982. Began to work in INA RN Sisak in Maintenance business, as Trainee,  
Assistance of SBO chief, the on duty engineer maintenance INA RNS,  
Preventive Technologist, Chief of Maintenance term energetic plants.

2002. After transformation INA maintenance become independent company  
STSI d.o.o. in which he work as Technology Specialist, after that in  
Engineering department, after that as Sales manager, and now he is  
Coordinator for Sales department.

### *Rest:*

1990. /1991. He teaches at CUO»N. Veber» Sisak, in program  
"Teaching people during the work",

2001. Finish state certification, and become member of "*Hrvatska komora  
arhitekata i inženjera u graditeljstvu* " (HKAIG) Mechanical part