

# REMONT PARNE TURBINE

---

Ćakić, Zoran

Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:941204>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-13**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

# REMONT PARNE TURBINE

---

Ćakić, Zoran

Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:941204>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2023-02-14**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
SPECIJALISTIČKI DIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA

ZORAN ČAKIĆ

# **REMONT PARNE TURBINE**

DIPLOMSKI RAD

KARLOVAC, 2021 godina.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
SPECIJALISTIČKI DIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA

ZORAN ČAKIĆ

**OVERHAUL OF THE STEAM  
TURBINE**

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Doc. Dr. Sc. TIHOMIR MIHALIĆ, dipl. Ing.

KARLOVAC, 2021 godina.

## **IZJAVA**

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija, posla i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svom mentoru Doc. Dr. Sc. Tihomiru Mihaliću na savjetima i pomoći za pisanje ovog rada.

U Karlovcu, lipanj 2021. godine

Zoran Ćakić

## SAŽETAK

Ovim radom obuhvaćen je remont parne turbine, ali samo njezine dvije glavne komponente. Pod glavnim komponentama misli se na rotor i stator(dijafragme) parne turbine. Ovaj rad se pretežno temelji na do sada stečenom radnom iskustvu. Također radom su obuhvaćene inspekcije koje se obavljaju na ovim komponentama kao i načini zaštite od erozije.

Ovdje se isto tako mogu vidjeti neki nesvakidašnji slučajevi koji se događaju tijekom rada turbine, te koji nisu uključeni u početna planiranje i opseg posla.

Provedene radnje koje su poduzete na navedenim komponentama turbine tijekom remonta su;

1. vizualna inspekcija rotora i statora,
2. dimenzijska kontrola rotora i statora,
3. reparaturni popravci na statorskim lopaticama,
4. izmjena reda lopatica na rotoru,
5. tokarenje rotora na radilištu.

Ključne riječi: parna turbina, rotor, stator

## **SUMMARY**

This thesis describe overhaul of the steam turbine but only two major components. Major components of the steam turbine are rotor and stator. This thesis is mostly based on working experience gained so far. And also contain inspections which are performed on some components as well as ways of erosion protection.

Here you can also see some unusual cases which happen during operation of steam turbine, and which are not included in itinerary plans and scope of work.

The list of actions taken on turbine components during overhaul are;

1. visual inspection of rotor and stator,
2. dimension control of rotor and stator,
3. fixing stator blades,
4. replacing one stage of rotor blades,
5. rotor machining on site.

Key words: steam turbine, rotor, stator

**SADRŽAJ**

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	III
POPIS OZNAKA.....	V
1. UVOD .....	1
2. TEORETSKE OSNOVE.....	4
2.1 Djelovanje sile toka na rotorske lopatice .....	4
2.2 Stupanj reaktivnosti turbinskog stupnja .....	8
2.3 Dijafragme.....	10
2.3.1. Aksijalno pozicioniranje.....	12
2.3.2. Radijalno pozicioniranje .....	12
2.3.3. Zračnost na centralnom klinu i aksijalnim klinovima.....	15
2.4. Turbinski rotor .....	17
2.4.1. Karakteristike turbinskih rotora.....	19
2.5. Erozijska .....	21
2.5.1. Zaštita od erozije premazima .....	23
2.5.2. Učinkovitost zaštitnog sloja .....	25
3. POSTAVKA ZADATKA.....	27
4. RAZRADA ZADATKA .....	28
3.1. Vizualna inspekcija i repariranje dijafragmi .....	28
3.2 Inspekcije na rotoru .....	37
3.3. Izmjena zadnjeg reda lopatica.....	43
3.4 Tokarenje rotora na radilištu.....	49
3.5. Mehanička zaštita lopatica od erozije.....	53
3.5.1. Priprema utora na lopatici .....	53
3.5.2. Montaža novih umetaka .....	54
4. ZAKLJUČAK.....	56



---

LITERATURA .....57

## POPIS SLIKA

Slika 1. Heronova kugla [1].....	1
Slika 2. Aksijalna turbina s jednim stupnjem [6].....	3
Slika 3. Projekcija cilindričnog presjeka turbinskog stupnja [6].....	4
Slika 4. Prikaz kontrolne površine abcd [6].....	6
Slika 5. Ekspanzija u h-s dijagramu [6].....	8
Slika 6. General Electric - parna turbina velike snage [3].....	9
Slika 7. Osnovni dijelovi dijafragme.....	11
Slika 8. Primjer lučne opruge [3].....	13
Slika 9. Oslonac za vješanje bez opruge [3].....	14
Slika 10. Nagnječenje aksijalnog klina.....	15
Slika 11. Mjerni protokol za utvrđivanje aksijalne zračnosti [3].....	16
Slika 12. Navarivanje centralnog utora.....	17
Slika 13. Podjela rotora prema načinu izrade [4].....	19
Slika 14. Rotor niskog i srednjeg tlaka.....	20
Slika 15. Rotor visokog tlaka.....	21
Slika 16. Oštećenje uzrokovano krutim česticama.....	22
Slika 17. Prikaz postupka visokobrzinskog plamenog naštrcavanja [5].....	24
Slika 18. Pištolj za visokobrzinsko plameno naštrcavanje [5].....	24
Slika 19. Prikaz plazma naštrcavanja [5].....	25
Slika 20. Plazmeno naštrcavanje u praksi [5].....	25
Slika 21. Utvrđivanje veličine oštećenja.....	29
Slika 22. Pukotina na zavaru lopatice i unutarnjeg prstena dijafragme.....	29
Slika 23. Pogled na pukotinu s donje strane.....	30
Slika 24. Isječak iz NDT izvještaja [3].....	31
Slika 25. Erozija na brtvenoj površini dijafragme.....	32
Slika 26. Indikacija pukotine na korijenu lopatice.....	32
Slika 27. Izrezivanje oštećenih dijelova.....	33
Slika 28. Početak navarivanja lopatice.....	33
Slika 29. Završetak navarivanja.....	34
Slika 30. Pogled na donju stranu zavara nakon brušenja.....	35
Slika 31. Lopatica nakon restauracije.....	36
Slika 32. Završna provjera penetrantima nakon popravka.....	36
Slika 33. Vrste oštećenja 1.....	38

Slika 34. Vrste oštećenja 2 .....	38
Slika 35. Oštećenja i inspekcije [3] .....	39
Slika 36. Erozija na zadnjem redu lopatica niskotlačnog rotora .....	40
Slika 37. Mjerenje stupnja istrošenosti lopatice [3] .....	40
Slika 38. Mjerni protokol provjera ravnosti spojke [3].....	41
Slika 39. Mjerni protokol za promjer rukavca na rotoru [3].....	42
Slika 40. Rezanje spojnog dijela na vrhovima lopatica .....	43
Slika 41. Izbijanje klinova .....	44
Slika 42. Izgled noge zadnjeg reda lopatica .....	44
Slika 43. Mjerni protokol za promjere klinova [3] .....	45
Slika 44. Demontaža starih lopatica .....	46
Slika 45. Razlika između površina ovisno o sredstvu koje se koristi za pjeskarenje.....	47
Slika 46. Prikaz utora na disku rotora, nakon pjeskarenja staklom.....	47
Slika 47. Osiguranje klinova od ispadanja .....	48
Slika 48. Završno ispitivanje penetrantima, bez indikacija .....	49
Slika 49. Pukotina na rotoru.....	49
Slika 50. Provjera nakon prvog koraka tokarenja .....	50
Slika 51. Postojanje pukotine nakon drugog koraka .....	51
Slika 52. Konačni izgled konture tokarenja .....	51
Slika 53. NDT nakon tokarenja konačne konture - bez indikacija .....	51
Slika 54. Isječak iz NDT izvještaja [3] .....	52
Slika 55. Priprema lopatice za umetak [3].....	53
Slika 56. Prikaz postupka lemljenja [3] .....	54
Slika 57. Prikaz lopatice nakon zalemljenog umetka [3] .....	55
Slika 58. Oblici umetaka (štitova) [3] .....	55
Slika 59. Priprema lopatica za lemljenje i zalemljeni umetak prije brušenja [3] .....	55

**POPIS OZNAKA**

Oznaka	Opis	Mjerna jedinica
$F$	sila toka	N
$F_u$	radijalna komponenta sile toka	N
$F_a$	aksijalna komponenta sile toka	N
$R$	sila reakcije	N
$\dot{m}$	maseni protok	kg/s

## 1. UVOD

Kako je čovječanstvo raslo i razvijalo se tako je i potreba za energijom rasla. Jedna od najbitnijih energija za razvoj bila je električna energija. Kako je rasla potreba za električnom energijom tako su se razvijali i načini sve veće proizvodnje električne energije. Tako su u glavnu ulogu došle turbine kao strojevi koji služe za pogon električnog generatora. [1]

Jedna od prvih parnih turbina bila je tzv. Heronova kugla čiji zapisi potiču od 120 godina prije nove ere.



Slika 1. Heronova kugla [1]

Kao što je vidljivo na slici (Slika 1) kugla koristi reakcijsko djelovanje pare da bi se rotirala.

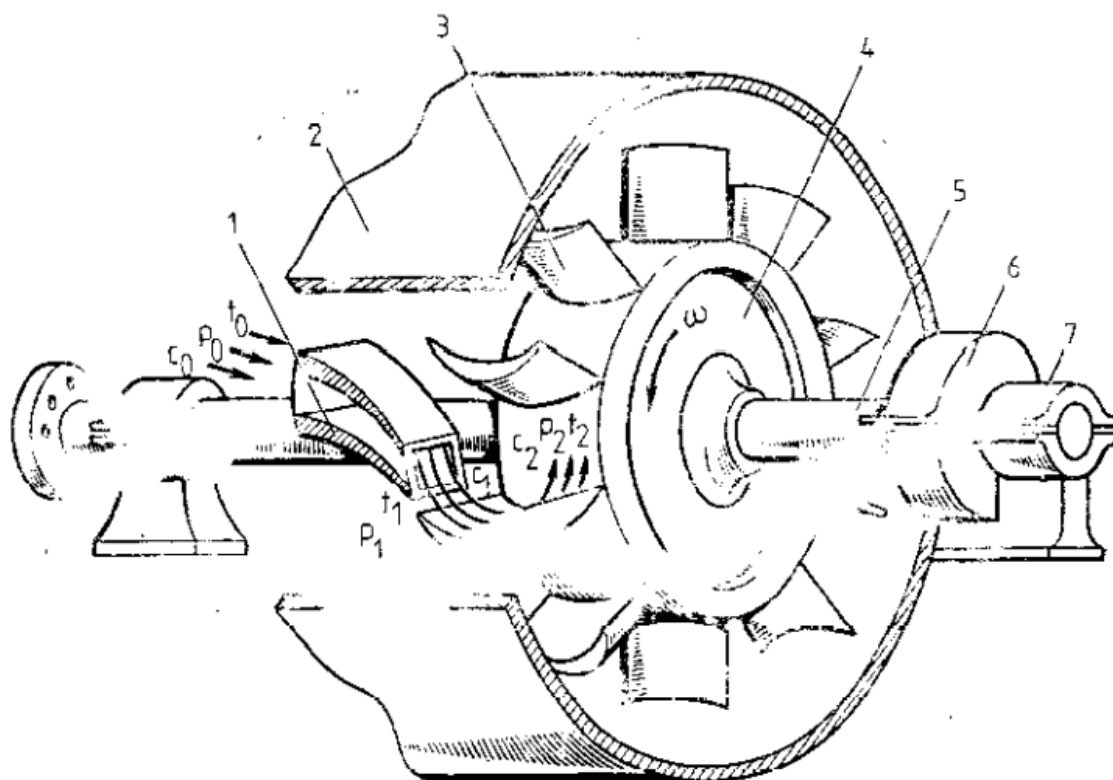
Princip rada parne turbine temelji se na iskorištavanju toplinske energije pare te pretvaranju iste u mehanički rad. Vodena para je najučestaliji mediji koji se koristi kao pogonsko gorivo. Para nastaje u parnom kotlu ili nuklearnom reaktoru. [2]

Zagrijavanjem vode nastaje vodena para što se očituje porastom temperature i tlaka na razine iznad okolišnih vrijednosti. Pri ulasku pare u turbinu dolazi njene ekspanzije, tj. porasta obujma uz pad tlaka i temperature. Ekspanzijom se također ubrzava tok pare te se tako ubrzani tok koristi za stvaranje obodne sile na rotoru. Najprije se potencijalna energija pare pretvara u kinetičku energiju mlaza pare. Nakon toga uporabom kinetičke energije pare na obodu rotora dolazi do njegove rotacije te pretvaranja mehaničke energije u mehanički rad. [2]

U kanale statorskih lopatica ulazi para s tlakom  $p_0$  i temperaturom  $t_0$ . Kako je prikazano na slici (slika 2.) ulazni tlak  $p_0$  je viši nego tlak  $p_2$  na izlazu iz turbine, te iz tog razloga para ima potencijalnu energiju koja se može pretvoriti u mehanički rad. U statorskim kanalima para ekspandira od tlaka  $p_0$  na ulazu na tlak  $p_1$  na izlazu. Tijekom ekspanzije dolazi do porasta brzine. Ako na početku ekspanzije imamo brzinu  $c_0$  iz slike (slika 2.) vidljivo je da se brzina povećala na  $c_1$ . Tako dolazi do pretvorbe potencijalne u kinetičku energiju. [6]

Prilikom prolaska pare kroz rotorske kanale para mijenja svoj smjer te tako nastali tok pare djeluje silom na rotorske lopatice prisiljavajući rotor na rotaciju. Na taj način dolazi do pretvorbe kinetičke energije pare u mehanički rad. [6]

Para prilikom prolaska kroz turbinu ima neku količinu gibanja (masa  $\times$  brzina) koja je vektorska veličina. Promjenom veličine mase, brzine ili smjera brzine dolazi do promjene količine gibanja. Gledajući drugi Newtonov zakon, sila koja je potrebna za izvođenje takve promjene proporcionalna je promjeni količine gibanja. Promjenom količine gibanja dobiva se sila čija tangencijalna komponenta djeluje na rotorske lopatice, te se tako dobiva okretni moment na izlazu vratila. [6]



Slika 2. Aksijalna turbina s jednim stupnjem [6]

## 2. TEORETSKE OSNOVE

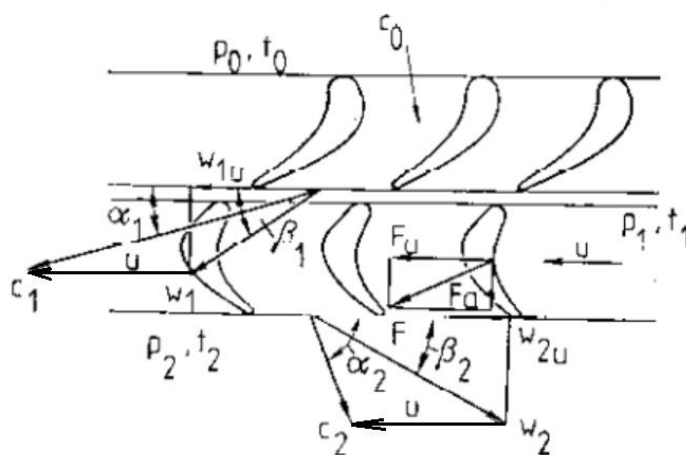
### 2.1 Djelovanje sile toka na rotorske lopatice

Para može strujati kroz turbinu aksijalno to znači paralelno s osi rotora ili radijalno odnosno okomito na os rotora. Najveći udio zauzimaju turbine aksijalnog tipa. [6]

Aksijalne turbine mogu se podijeliti na:

- akcijske turbine
- akcijsko-reakcijske turbine
- reakcijske turbine

Strujeći između lopatičnih kanala para djeluje na rotorske lopatice silom  $F$  kako je vidljivo na slici (slika 3.). Također se na istoj slici može vidjeti da veličina  $F$  odgovara sili toka na pojedinu lopaticu. Sila  $F$  se može rastaviti na dvije komponente. Komponenta  $F_u$  koja je smjer obodne brzine i koja daje okretni moment, te komponenta  $F_a$  koju preuzima aksijalni ležaj. [6]



Slika 3. Projekcija cilindričnog presjeka turbinskog stupnja [6]

Sila kojom tok pare djeluje na lopatice može se odrediti pomoću promjene količine gibanja koristeći pri tome Eulerovu jednadžbu:

$$\vec{F} = \dot{m}(\vec{w}_1 - \vec{w}_2) \quad (1.1)$$



gdje je  $\dot{m}$  maseni protok pare (kg/s),  $\vec{w}_1$  vektor relativne brzine na ulasku u rotorsku lopaticu, a  $\vec{w}_2$  vektor relativne brzine na izlasku iz rotorske lopatice. [6]

Ako dobivenu jednadžbu napišemo preko komponente obodne brzine dobit ćemo silu kojom tok pare djeluje na lopatice u smjeru rotacije: [6]

$$F_u = \dot{m}(w_{1u} - w_{2u}) \quad (1.2)$$

Slučaj u kojem se sila toka zakreće u kanalu rotorske lopatice naziva se akcijski, a sila koja se pri tome javlja akcijska sila. Prilikom akcijskog djelovanja ekspanzija pare se odvija samo u statorskim lopaticama, dok u rotorskim ne dolazi do ekspanzije. Također ne dolazi do pada tlaka na rotorskim lopaticama pa iz toga proizlazi da je tlak ispred i iza rotorskih lopatica jednak  $p_1 = p_2$ . U stvarnosti zbog gubitaka relativna brzina nije konstantna nego se smanjuje prema izlaznom presjeku. [6]

Slučaj u kojem sila toka ubrzava u kanalu rotorske lopatice je reakcijski, a sama sila koja se pri tome javlja reakcijska sila. Kod reakcijskog principa imamo ekspanziju u kanalima rotorskih lopatica kao i pad tlaka. Pa prema tome imamo sljedeću situaciju  $p_1 > p_2$  i  $|w_2| > |w_1|$ . [6]

U stvarnosti zbog prisutnosti gubitaka stvarni radi je manji od teorijskog. Da bi odredili stvarni rad koji para može dati potrebno je odrediti silu kojom tok pare djeluje na rotorske lopatice. Jednu komponentu te sile daje jednadžba (1.2) [6]

Ako jednadžbu (1.1) napišemo u diferencijalnom obliku kao:

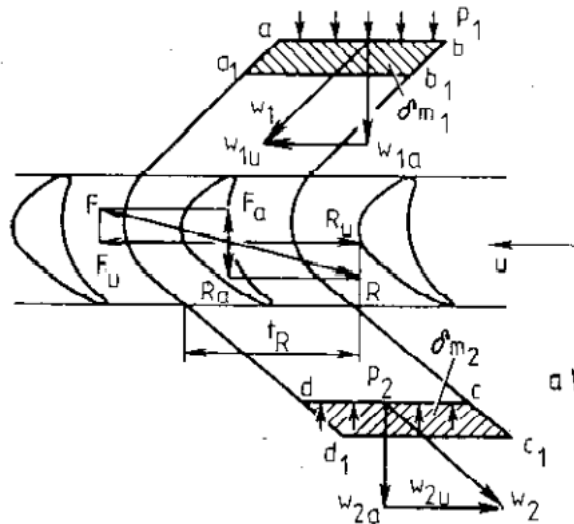
$$\frac{d}{dt} \times (\dot{m} \times \vec{w}) = \vec{R} \quad (1.3)$$

pri čemu je  $\dot{m} \times \vec{w}$  vektor količine gibanja, a  $\vec{R}$  glavni vektor vanjskih sila. [6]

Formula za promjenu količine gibanja mase radnog fluida koji se nalazi unutar granica površine abcd prema slici (slika 4.) za vrijeme dt glasi:

$$\frac{d}{dt} \times (\dot{m} \times \vec{w}) = \frac{\delta m}{dt} \times (\vec{w}_2 - \vec{w}_1) \quad (1.4)$$

gdje su  $\vec{w}_1$  i  $\vec{w}_2$  vektori brzina masa  $\delta m_1$  i  $\delta m_2$ , ako pri tome uzmemo malu promjenu vremena  $dt$  onda su to vektori brzina u presjecima  $ab$  i  $cd$ . [6]



Slika 4. Prikaz kontrolne površine abcd [6]

Sila reakcije profila  $\vec{R}$  je jednaka te suprotno usmijerna naspram sile toka  $\vec{F}$  kojom tok djeluje na rotorsku lopaticu što znači da je  $\vec{R} = -\vec{F}$ . Ako rastavimo vektore tih sila na aksijalne i obodne komponente dobit ćemo:  $R_u = -F_u$  i  $R_a = -F_a$ . [6]

U nastavku možemo vidjeti jednadžbu količine gibanja kao projekciju na smjer obodne brzine kako bi odredili komponentu obodne sile  $F_u$  kojom tok djeluje na rotorsku lopaticu. Za određivanje jednadžbe količine gibanja uzet ćemo u obzir jednadžbe (1.3) i (1.4) pa tako dobivamo: [6]

$$\frac{\delta m}{\delta t} \times (w_{2u} - w_{1u}) = R_u = -F_u \quad (1.5),$$

pri čemu su  $w_{1u}$  i  $w_{2u}$  projekcije relativnih brzina na ulazu i izlazu na smjer obodne brzine.

Ako uzmemo da je  $\dot{m}$  protok pare u 1 sekundi, a  $Z_R$  broj rotorskih lopatica onda dobivamo  $\frac{\delta m}{\delta t} = \frac{\dot{m}}{Z_R}$  što je masa pare koja prolazi kroz rotorski kanal u 1 sekundi. Ako ovu jednakost ubacimo u jednadžbu (1.5) dobivamo sljedeće: [6]

$$F_u = \frac{\dot{m}}{Z_R} \times (w_{2u} - w_{1u}) \quad (1.6)$$

U ovom slučaju sila  $F_u$  se odnosi na jednu lopaticu, ako bi zbrojili sile koje djeluju na sve lopatice čiji je zbroj  $Z_R$  onda dobivamo:

$$F_u = \dot{m} \times (w_{2u} - w_{1u}) \quad (1.7)$$

Da bi odredili  $F_u$  potrebno je uzeti u obzir smjer brzina  $w_{1u}$  i  $w_{2u}$ . Za pozitivan smjer uzima se smjer gibanja rotorskih lopatica, pri čemu je kod turbina obično slučaj da je  $w_{2u}$  komponenta negativna. [6]

Da bi se odredila aksijalna komponenta sile  $F_a$  odnosno djelovanje sile toka na lopaticu može se napisati jednačina količine gibanja kao projekcija na aksijalni smjer. Ako se uzme u obzir da na tok u aksijalnom smjeru djeluje sila reakcije  $R_a$  te vanjska sila koja nastaje razlikom tlaka na cilindrične površine u presjecima ab i cd (slika 4.), onda u tom slučaju imamo:

$$\frac{\delta m}{\delta t} \times (w_{2a} - w_{1a}) = R_a + l_R \times t_R \times (p_1 - p_2) \quad (1.8),$$

gdje su  $w_{1a}$  i  $w_{2a}$  projekcije relativnih brzina ispred i iza rešetke u aksijalnom smjeru, a  $l_R$  i  $t_R$  su visina i korak rotorske rešetke. [6]

Ako bi kao i u prethodnom slučaju zamijenili  $\frac{\delta m}{\delta t}$  sa  $\dot{m}$  te uzimajući u obzir da je  $R_a = -F_a$  onda dobivamo jednačinu za jednu lopaticu koja glasi:

$$F_a = \frac{\dot{m}}{Z_R} \times (w_{1a} - w_{2a}) + l_R \times t_R \times (p_1 - p_2) \quad (1.9)$$

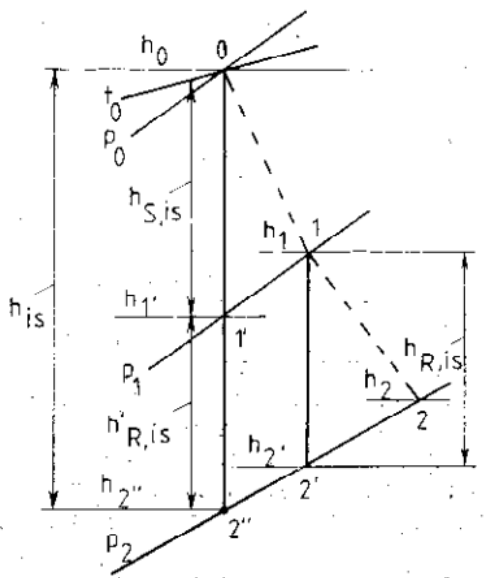
Uzimajući u obzir sve lopatice u stupnju dobivamo:

$$F_a = \dot{m} \times (w_{1a} - w_{2a}) + l_R \times t_R \times (p_1 - p_2) \quad (1.10)$$

Jednačbe koje su dobivene za izračun  $F_u$  odnosno  $F_a$  su Eulerove jednačbe. [6]

## 2.2 Stupanj reaktivnosti turbinskog stupnja

Na slici (Slika 5) može se vidjeti proces ekspanzije u h-s dijagramu kada se u turbinskom stupnju istovremeno koristi akcijski i reakcijski princip djelovanja sile toka na radni fluid. Također prema slici (Slika 5)  $p_0$  i  $t_0$  su parametri ispred statorskih lopatica, a  $p_1$  i  $p_2$  tlakovi iza statorskih i rotorskih lopatica. [6]



Slika 5. Ekspanzija u h-s dijagramu [6]

Razlika entalpija  $h_{is}$  od početka do kraja izentropole 0-2'' je potencijalna energija pare koja se u turbinskom stupnju može iskoristiti za dobivanje mehaničkog rada. Ta razlika između entalpija naziva se izentropski pad entalpije u turbinskom stupnju. Linija od 0-1 predstavlja stvarni proces ekspanzije u statorskim lopaticama dok linija od 0-1' predstavlja izentropski proces ekspanzije. Za razliku od idealnog procesa stvarni proces se odvija uz određene gubitke. Na kraju izentropske ekspanzije entalpija  $h_1$  je veća od  $h_{1'}$ , jer se određeni dio topline vraća pari. Razlika između entalpija  $h_0$  i  $h_{1'}$  naziva se izentropski pad entalpije u statorskim lopaticama. Taj dio energije se u sapnicama pretvara u kinetičku energiju te se koristi u akcijskim turbinama. [6]

Točka 1 na h-s dijagramu predstavlja kraj stvarnog procesa ekspanzije u statorskim lopaticama, ali isto tako predstavlja i početak ekspanzije u rotorskim lopaticama. Linija od 1-2' predstavlja izentropski proces ekspanzije u rotorskim lopaticama, a linija od 1-2 predstavlja stvarni proces. Razlika između entalpija  $h_1$  i  $h_2$ , naziva se izentropskim padom entalpije u rotorskim lopaticama te se ujedno taj pad entalpije koristi za povećanje brzine toka u kanalima rotorskih lopatica. [6]

Odnos između pada entalpije u rotorskim lopaticama i izentropskog pada stupnja naziva se stupanj reaktivnosti turbinskog stupnja, a može se opisati pomoću iduće formule: [6]

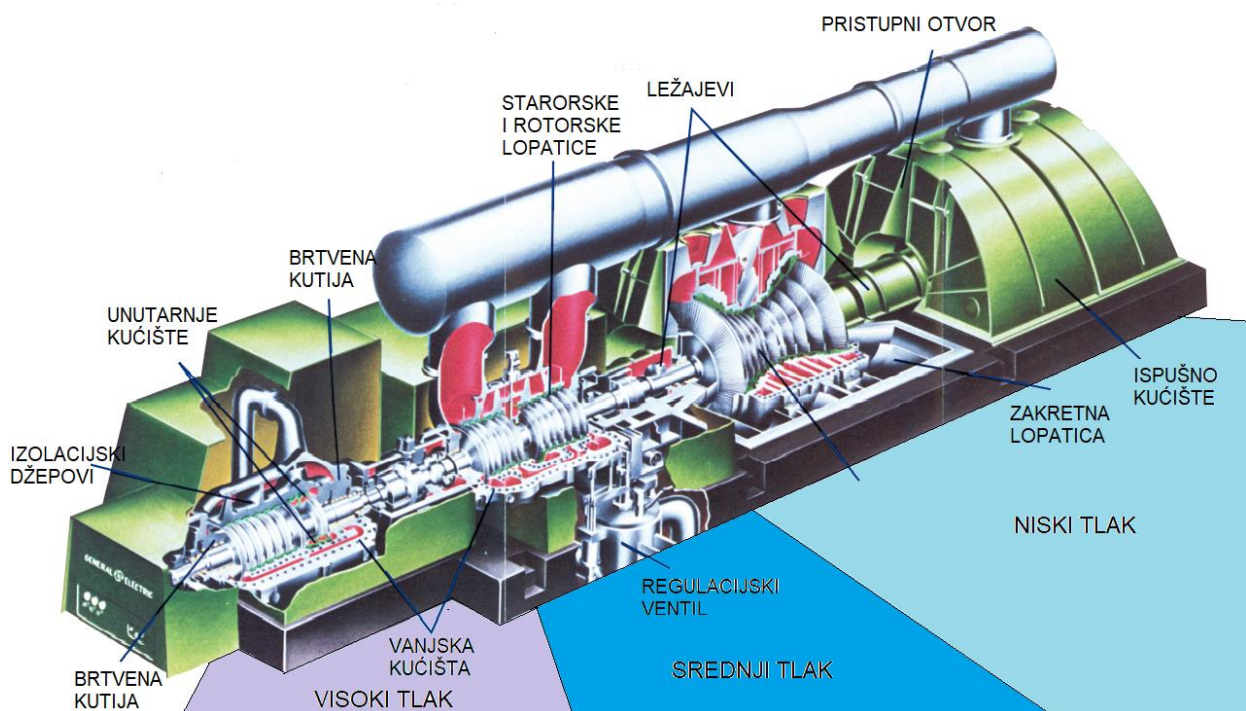
$$R = \frac{h_{R,is}}{h_{is}} \quad (1.11)$$

Nadalje stupanj reaktivnosti pokazuje koji se dio izentropskog pada entalpije stupnja odvija u rotorskim lopaticama. Poznavajući veličine  $R$  i  $h_{is}$  lako je odrediti izentropske padove entalpija u rotorskim i statorskim lopaticama. Pa tako imamo: [6]

$$h_{s,is} = (1 - R) \times h_{is} \quad (1.12)$$

$$h_{R,is} = R \times h_{is} \quad (1.13)$$

Jednadžbe (1.12) i (1.13) dobivene su iz uvjeta da je suma padova entalpija u rotorskim i statorskim lopaticama jednaka izentropskom padu stupnja turbine. Prema vrijednosti  $R$  na srednjem promjeru turbinski stupnjevi se dijela na akcijske ( $R=0$ ), akcijske s određenim stupnjem reakcije ( $0 < R < 0,4$ ) te reakcijske ( $0,4 < R < 1$ ). Još valja napomenuti da se stupanj reakcije stupnja mijenja se po visini rotorskih lopatica, ali ako ništa nije naglašeno za vrijednost će se uzimati vrijednost na srednjem promjeru. [6]



Slika 6. General Electric - parna turbina velike snage [3]

Parne turbine poznate su kao vrlo izdržljivi strojevi, ali da bi se to postignulo potrebno je pravilno i redovno održavanje. Pa je tako poznato da ima turbina koje su u pogonu od 30-50 godina bez ikakvih većih problema. Često zaustavljanje te pokretanje je jedan od najopasnijih čimbenika koji utječu na trajnost parne turbine. [2]

U usporedbi s drugim pogonskim strojevima može se zaključiti da je parna turbina veoma skup stroj. Razlog tome leži u načinu proizvodnje. Pa tako imamo složene otkivke za vanjska i unutarnja kućišta, vrlo često veoma zahtjevan oblik lopatica, te posebne legure za izradu pojedinih komponenti. Parne turbine su u velikoj većini slučajeva pojedinačni strojevi s malom mogućnošću standardizacije što također u velikoj mjeri utječe na cijenu. [2]

### **2.3 Dijafragme**

Dijafragme su kružni elementi koje između svojih prstenova, vanjskog i unutarnjeg prstena sadrži mlaznice ili tzv. statorske lopatice. Dijafragme se nalaze između pojedinih redova rotorskih lopatica odnosno između dva rotorska reda dolazi po jedan statorski red lopatica. Gledajući na taj način pojedini rotorski red lopatica zajedno sa pojedinim statorskim redom lopatica sačinjava jedan stupanj turbine. Glavne uloge dijafragmi su usmjeravanje pare na rotorske lopatice te pad tlaka. Veliki postotak učinkovitosti turbine ovisi o dizajnu i samom načinu održavanja dijafragmi. One su izložene velikim strukturalnim naprezanjima stoga ako održavanje nije u skladu s propisanim procedurama može doći do zastoja u radu turbine. Kritična područja su vezana za izgled i stanje mlaznice kako bi se postigla i omogućila maksimalna učinkovitost i pouzdanost turbine. [3]



Slika 7. Osnovni dijelovi dijafragme

Dijafragme koje su u radu izložene visokim tlakovima i temperaturama proizvode se zavarivanjem pojedinih dijelova (vanjskog prstena, sapnica i unutarnjeg prstena) koji spajanjem sačinjavaju gotovu dijafragmu. Mlaznice se umeću između vanjskih i unutarnjih prstenova te se zavaruju za njih. To omogućava bolju dimenzijsku točnost sklopljenih dijafragmi u odnosu na prijašnje metode proizvodnje. Tijekom operacije dijafragme su izložene raznim silama, neke od sila su:

1. Vlastita težina
2. Sila pare koja gura dijafragmu u smjeru toka pare
3. Sila koja uzrokuje da se dijafragma pokušava rotirati u smjeru suprotnom od smjera rotacije rotora

Još jedna bitna stvar prilikom instalacije dijafragmi u turbinu je centriranje. Centriranje je bitno iz razloga jer omogućuje pravilan rad pri raznim rasponima temperature, ali i pod različitim uvjetima rada. [3]

### 2.3.1. Aksijalno pozicioniranje

Na svim dijafragmama snaga pare nastoji stisnuti odnosno gura dijafragmu na obodno ležište u kućištu. Prilikom velikog toka pare kroz turbine sila je toliko jaka da "zalijepi" brtvenu površinu dijafragme na brtvenu površinu kućišta te tako omogućavajući brtvljenje kao i aksijalno pozicioniranje. Kada je protok pare mali u tom slučaju može se dogoditi da snaga pare nije dovoljna za čvrsto aksijalno držanje dijafragme. Drugim riječima brtvene površine ostaju razdvojene što utiječe na učinkovitost turbine, te također može doći i do pojave erozije na brtvenim površinama. Da bi smanjili mogućnost aksijalnog pomicanja na stranu suprotnu od toka pare ugrađuju se tzv. regulatori aksijalne pozicije dijafragme u kućištu. Broj regulatora na pojedinim dijafragmama ovisi o samom promjeru dijafragme. Aksijalna zračnost koja se mjeri između regulatora i kućišta zapisuje se na mjerni protokol. Zračnost se mjeri prilikom montaže novih postrojenja ali također i prilikom svakog remonta. Ako zračnost nije u skladu s propisanim vrijednostima to se vrlo lako rješava brušenjem ili navarivanjem pojedinih regulatora. Svrha ovih regulatora je održavanje potrebne zračnosti prilikom termalne ekspanzije kao i mogućnost odvajanja gornje polovice kućišta turbine. [3]

### 2.3.2. Radijalno pozicioniranje

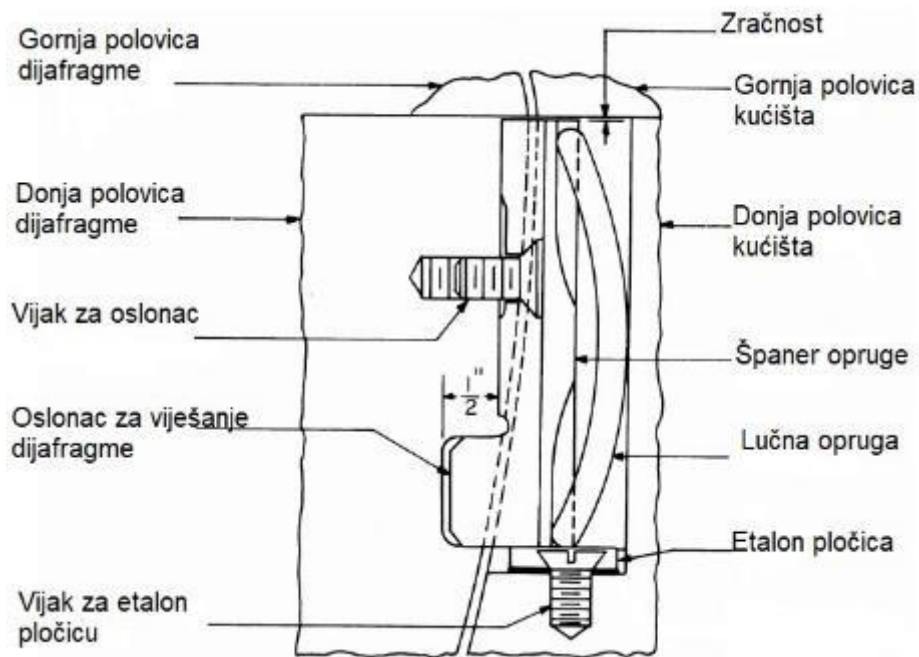
Postoje dvije glavne metode s varijacijom svake od njih koje se koriste da bi se dijafragme mogle radijalno centrirati, ali čija je uloga također i sprječavanje rotacije dijafragmi. Jedna metoda je putem centralnog klina koji se nalazi u donjoj polovici kućišta, a druga metoda je uz pomoć lučne opruge koja je smještena iza oslonca za vješanje dijafragmi. Vertikalni pomak kod obje metode vrši se dodavanjem ili oduzimanjem podložnih pločica odgovarajuće debljine ispod oslonca za vješanje dijafragmi. Kod nekih starijih primjeraka vertikalni pomak dobivao se navarivanjem ili brušenjem donje strane oslonca za vješanje dijafragmi. [3]

#### 2.3.2.1. Metoda lučne opruge

Ovaj konstrukcijski način se koristio na dijafragmama koje su proizvedene od čelika i lijevanog željeza pri čemu temperatura u eksploataciji ne prelazi 230 °C. Na starijim turbinama dijafragme od lijevanoga željeza su imale jedan ili više aksijalnih



regulacijskih pinova na donjoj polovici čija je svrha u krajnjem slučaju bila i podupiranje tj. preuzimanje cijele mase. [3]



Slika 8. Primjer lučne opruge [3]

#### a) vertikalni pomak

Tijekom instalacije vertikalni pomak se odrađuje ako je to zahtijevano i to na način da se dodaju ili oduzmu etalon pločice koje se nalaze ispod oslonca za vješanje.

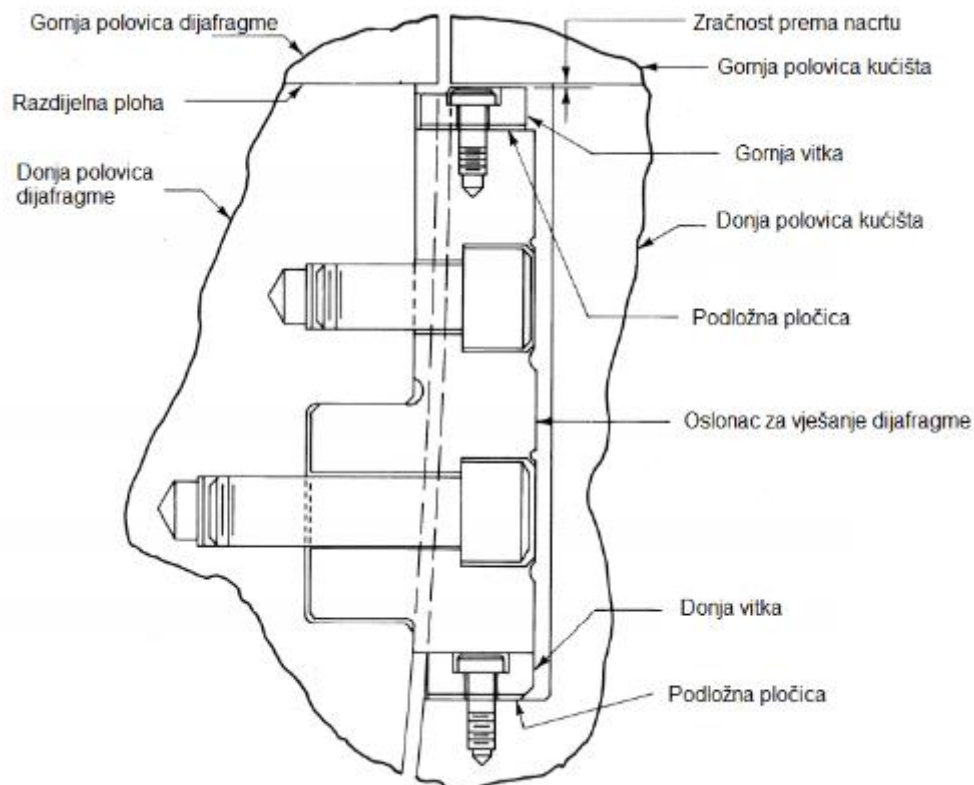
#### b) horizontalni pomak

Horizontalni pomak dobiva se prilagodbom debljine španera opruge s obje strane dijafragme. Takav pomak zahtjeva povećanje debljine španera s jedne strane te ujedno smanjenje debljine španera s druge strane. [3]

#### 2.3.2.2. Metoda centralnim klinom

Ovo je druga metoda kojom se postiže horizontalni pomak na lijevu ili desnu stranu. Centralni klin je smješten u donjoj polovici turbinskog kućišta. Također na donjoj

polovici dijafragme nalazi se utor unutar kojeg centralni klin naliježe. Ova metoda se koristi na svim dijafragmama čija je temperature eksploatacije iznad 230 °C. [3]



Slika 9. Oslonac za vješanje bez opruge [3]

#### a) Vertikalni pomak

Vertikalni pomak ostvaruje se na isti način kao i kod prethodne metode, a to je dodavanjem ili oduzimanjem podložnih pločica ispod oslonca za vješanje.

#### b) Horizontalni pomak

Da bi se ostvario horizontalni pomak koristi se isti način kao i prilikom vertikalnog pomaka.

### 2.3.3. Zračnost na centralnom klinu i aksijalnim klinovima

Nakon nekoliko godina provedenih u operaciji može doći do povećanja zračnosti između utora na kućištu i dijafragme. Do ove pojave može doći zbog udubljenja na kućištu ili dolazi do trošenja aksijalnih klinova. U slučaju da je zračnost prevelika aksijalni klinovi se navaruju te se nakon toga bruse na potrebnu dimenziju.



Slika 10. Nagnječenje aksijalnog klina

Također je vrlo bitno poštivati i određenu zračnost na centralnom klinu kako ne bi došlo do prevelikog pomicanja dijafragme u radu. Ako imamo preveliku zračnost na centralnom klinu to znači da dijafragma više nije dobro centrirana prema ostatku sustava. Ovo možemo popraviti navarivanjem centralnog utora dijafragme.

# g

## Diaphragm Axial Crush Pin Clearances

Date(m/d/y) 27.03.2021.

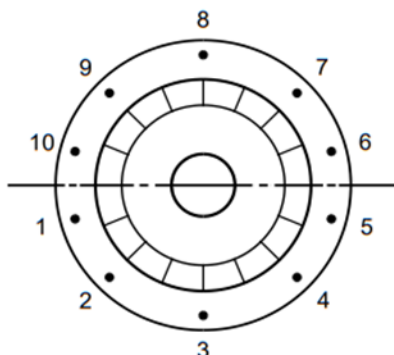
Turbine Serial No. \_\_\_\_\_

Prepared by \_\_\_\_\_

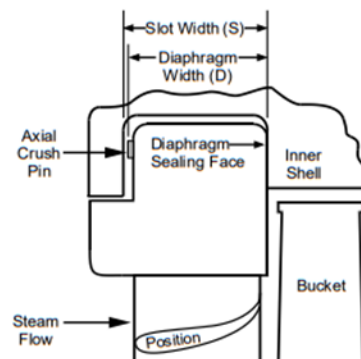
Data Set: As Found

Units Recorded In: English - inches

Turbine   
(HP/LP-A)  
End



**NOTE:** Looking in direction of steam flow.



ST00079

CRUSH PIN LOCATION											
Stage		Bottom					Top				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
31	Slot (S)	4,640		4,638		4,639					
Type (below)	Diap (D)	4,609		4,601		4,608					
Select One:	Clearance	0,031		0,037		0,031					
		Check		Check		Check					
32	Slot (S)	4,445		4,444		4,446					
Type (below)	Diap (D)	4,408		4,420		4,408					
Select One:	Clearance	0,037		0,024		0,038					
		Check		Check		Check					
33	Slot (S)	3,321		3,322		3,325					
Type (below)	Diap (D)	3,290		3,295		3,293					
Select One:	Clearance	0,031		0,027		0,032					
		Check		Check		Check					
34	Slot (S)	3,323		3,320		3,322					
Type (below)	Diap (D)	3,294		3,295		3,294					
Select One:	Clearance	0,029		0,025		0,028					
		Check		Check		Check					
35	Slot (S)	3,321		3,320		3,321					
Type (below)	Diap (D)	3,300		3,301		3,300					
Select One:	Clearance	0,021		0,019		0,021					
		Check		Check		Check					
36	Slot (S)	3,317		3,317		3,317					
Type (below)	Diap (D)	3,300		3,301		3,300					
Select One:	Clearance	0,017		0,016		0,017					
37	Slot (S)	3,192		3,191		3,191					
Type (below)	Diap (D)	3,176		3,179		3,177					
Select One:	Clearance	0,016		0,012		0,014					
38	Slot (S)	3,191		3,189		3,190					
Type (below)	Diap (D)	3,178		3,181		3,182					
Select One:	Clearance	0,013		0,008		0,008					

Slika 11. Mjerni protokol za utvrđivanje aksijalne zračnosti [3]



Slika 12. Navarivanje centralnog utora

## 2.4. Turbinski rotor

Naziv rotor potječe od latinske riječi "rotare" što u prijevodu znači okretanje. Rotori predstavljaju okretne dijelove parnih turbina, koji su sastavljeni od vratila, diskova i lopatica. [4]

Prema opterećenju rotor su jedna od najopterećenijih komponenti jer su izloženi toplinskim naprezanjima i puzanju.

Temeljna svrha rotora je da apsorbiraju termodinamičku i kinetičku energiju pare i pretvore je u mehanički rad. Pojedini rotor mogu imati više redova lopatica ili stupnjeva kako bi apsorbirali energiju od ekspanzirajuće pare. Ovisno o uporabi nekoliko rotora može biti spojeno preko spojki čineći tako višestupanjske turbine. [4]

Prema obliku konstrukcije rotori parnih turbina dijele se na rotore akcijskih turbina, rotore reakcijskih turbina te kombinirane. Prema načinu izrade rotori se dijele na:

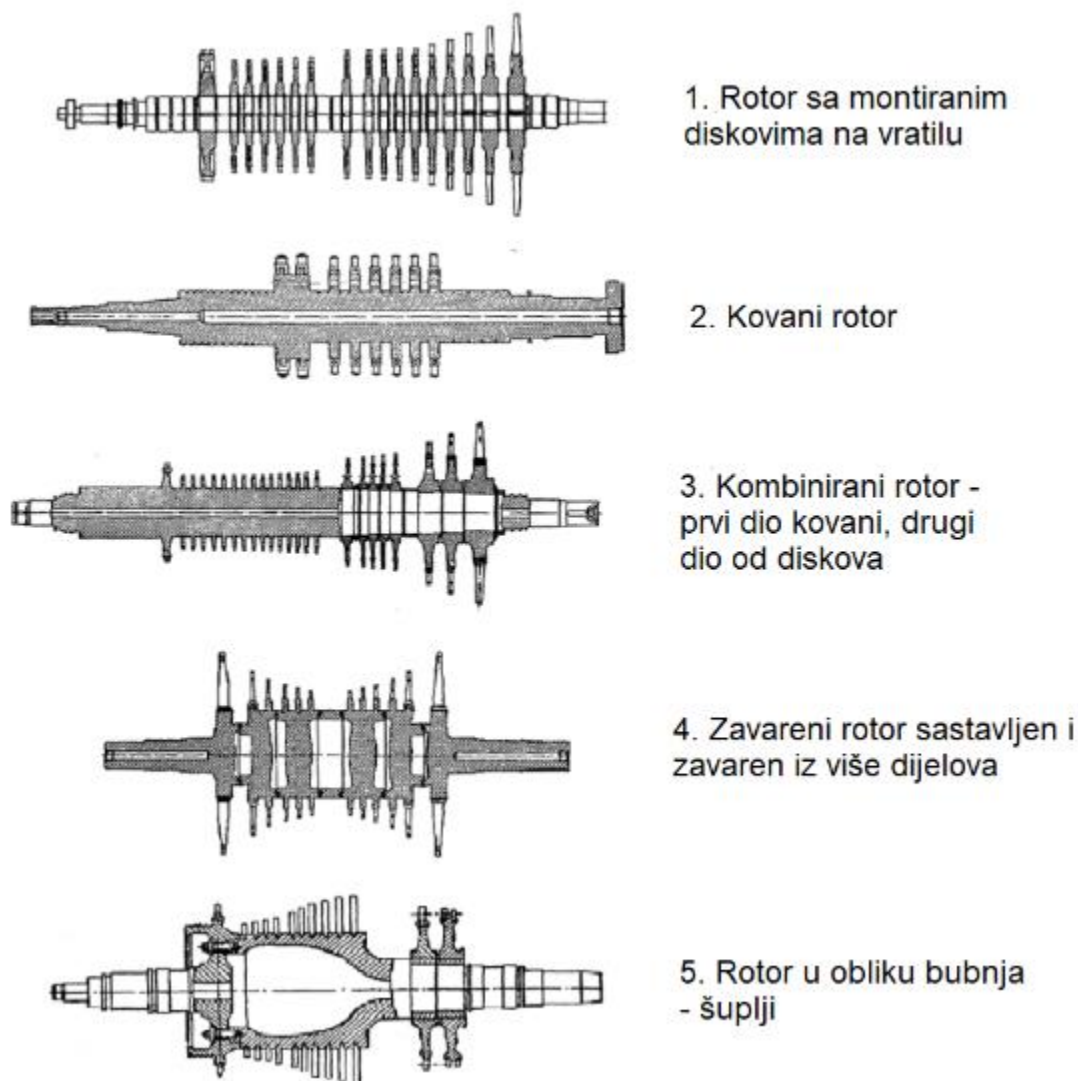
1. Montažne – s montiranim diskovima na vratilu
2. Kovane – cijeli rotor iz jednog komada
3. Kombinirane
4. Zavarene – rotor je sastavljen i zavaren iz više dijelova
5. Rotori u obliku bubnja [4]

Prema broju okretaja rotori se dijele na krute i elastične. Kruti rotori imaju broj okretaja manji od kritičnog broja okretaja, dok elastični imaju veći broj okretaja od kritičnog broja. Pod kritičnim brojem okretaja podrazumijeva se podudaranje frekvencije turbine s frekvencijom rotora. Prilikom čega dolazi do rezonancije uslijed koje se povećava amplituda što za posljedicu ima povećanje naprezanja i vibracija. [4]

Prilikom puštanja u rad i zaustavljanja, turbine s elastičnim rotorom moraju proći kroz područje kritičnog broja okretaja. Da bi se izbjegla pojava rezonancije poželjno je da rotori kritične brzine okretaja prolaze sa što većim gradijentom promjene brzine. [4]

Pri puštanju parne turbine u rad potrebno je izvršiti progrijavanje kako bi se toplinska naprezanja svela na minimum.

Također valja napomenuti da se kruti rotori rotiraju s 20 do 30 % manjom brzinom od kritičnog broja okretaja, dok se elastični rotiraju s najmanje 30 % većim brojem okretaja od kritičnog broja okretaja. [4]



Slika 13. Podjela rotora prema načinu izrade [4]

#### 2.4.1. Karakteristike turbinskih rotora

Turbinski diskovi i lopatice se povećavaju od smjera ulaza pare prema izlazu pare iz turbine. Na vrhu najduže lopatice postiže se i najveća obodna brzina. Možemo uzeti za primjer rotor koji se okreće 3600 okr/min i promjer zadnjeg kola od 1.8 m, pri tim uvjetima obodna brzina na vrhu lopatice iznosi 344 m/s. Također može se zamijetiti da ponekad zadnji red lopatica ima promjenjiv oblik. Oblik se mijenja od korijena prema vrhu lopatice. Sve to kako bi para prošla između lopatica na najučinkovitiji mogući način. Neučinkovite lopatice su one dobivene lošim dizajnom ili su oštećenje. Neučinkovita lopatica za posljedicu ima slabu iskoristivost pare da bi proizvela mehaničku energiju. Tako se troši više goriva za dobivanje više pare jer je protok pare povećan da bi se dobila ista količina mehaničkog rada. Što znači da se može dogoditi da imamo više uloženog nego dobivenog rada na kraju. [3]

Jednom kada se rotor počne okretati vrlo lako ga je nastaviti okretati te to ide do mjere da ga pojedinac može rukom nastaviti lagano rotirati. Dva su glavna razloga za to prvi je da se rotor nalazi na uljnom filmu, a drugi razlog je svršena izbalansiranost rotora. Prema tome može se zaključiti da je potrebna vrlo mala količina pare da bi se rotor pokrenuo i zavrteo na punu brzinu. Ustvari količina pare koja je potrebna za pokretanje je toliko mala da ne osigurava dovoljno hlađenje rotora i lopatica. Međutim tu postoji opasnost da se dogodi prebjeg rotora odnosno da se rotor rotira na brzini većoj od radne brzine ako turbina nije pod opterećenjem. Kod turbina koje rade bez opterećenja može doći do pregrijavanja diskova i lopatica na temperature veće od radnih. [3]

Na slikama ( Slika 14 i Slika 15) možemo vidjeti dva tipa rotora koji se nalaze u istoj jedinci odnosno turbini. Na slici (Slika 14) nalazi se kombinirani rotor, prvih 11 redova lopatica pripada srednjem tlaku dok ostalih 6 redova lopatica pripada niskom tlaku. Na idućoj slici (Slika 15) može se vidjeti visokotlačni rotor koji sadrži 22 reda lopatica. Ova dva rotora su direktno spojena preko spojke, dok je još s druge strane odnosno na drugoj spojki niskotlačnog rotora spojen pogonski stroj, a to je u ovom slučaju generator.



Slika 14. Rotor niskog i srednjeg tlaka





Slika 15. Rotor visokog tlaka

## 2.5. Eroziija

Eroziija može biti uzrokovana od strane vode ili krutih čestica (Slika 16). Oštećenja od erozije mogu biti veoma ozbiljna te mogu ići do te mjere da je potrebna zamjena dijelova. U krajnjim slučajevima ako se na vrijeme ne detektiraju oštećenja uzrokovana erozijom to može dovesti do veoma ozbiljnih oštećenja te naposljetku i havarija. Vodena eroziija uzrokuje najveća oštećenja u turbinama bez međupregrijanja gdje je udio vode u pari veći. Također smanjenjem opsega rada turbine dolazi do povećanja udjela vode u pari jer dolazi do pada temperature uslijed smanjenja protoka medija kroz bojler. Starije turbine bez međupregrijavanja su izrađene od materijala koji nisu otporni na eroziju. Za takve turbine potrebno je češće održavanje i inspekcije pogotovo ako su u radu više od petnaest godina. Krute čestice u najvećoj mjeri dolaze iz bojlera. Njihova količina ovisit će o načinu izrade bojlera, materijalu te čišćenju. [3]



Slika 16. Oštećenje uzrokovano krutim česticama

Erozija može nastati na bilo kojem mjestu gdje imamo protok mokre pare ili vode. Prema tome erozija se pojavljuje na zadnjem stupnju svih turbina te na gotovo svim stupnjevima u nuklearnim postrojenjima. Svi dijelovi na niskom tlaku turbine trebali bi se pažljivo pregledati. Ako se pronađu tragovi erozije ili pretjerana erozija potrebno je istražiti te analizirati koji je uzrok nastanka. U niskotlačnom dijelu turbine s vlažnom parom dolazi do formiranja malih kapljica vode. Kapljice vode sudaraju se s vodećim rubom tijela lopatice te uslijed velikih rotacijskih brzina i protoka kapljice implodiraju i "otkidaju" male dijelove metala. [3]

Načini na koje se može spriječiti ili ublažiti djelovanje erozije su:

- korištenje stelitinih navara
- korištenje stelitnih umetaka
- uporaba legure otporne na eroziju
- uporaba očvrnutih lopatica putem toplinske obrade
- razni zaštitni premazi

## 2.5.1. Zaštita od erozije premazima

Trenutno se može pronaći više vrsta premaza koji se upotrebljavaju u zaštiti od erozije česticama. Tip korištene zaštite ovisi o godini kada je lopatica proizvedena. Ovdje su opisana dva najčešća tipa i to su Diamond tuff premaz (premaz na bazi CrC) te Air plasma spray (plazma naštrcavanje).

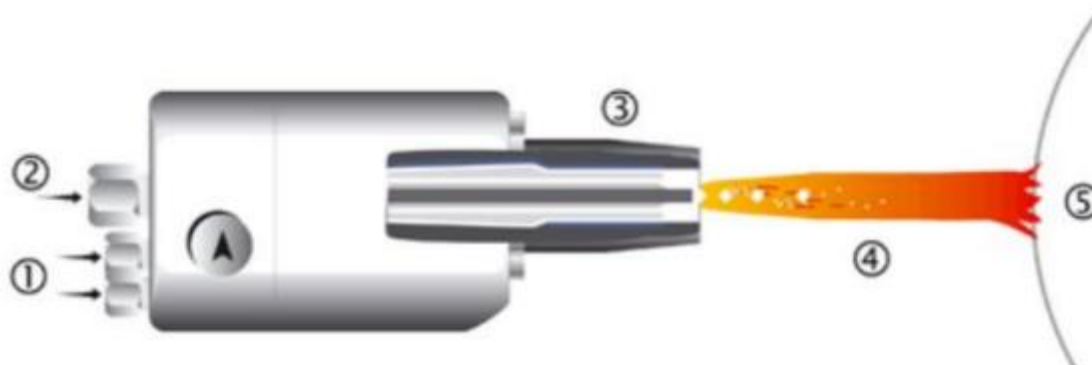
### 2.5.1.1. Diamond tuff (visokobrzinsko plameno naštrcavanje)

Diamond tuff premaz koristi krom karbide kao bazu praha za naštrcavanje. Premaz se nanosi postupkom visokobrzinskog plamenog naštrcavanja. Glavne karakteristike ovog načina naštrcavanja su dobra klizna svojstva površine i visoka otpornost na trošenje. Proces se odvija u komori sagorijevanja pri čemu se prah dovodi u komoru pod visokom temperaturom i tlakom. Brzina rastaljenih čestica je 1000 m/s, dok temperatura doseže 3000 °C. Ova metoda rezultira veoma tankim nanesenim slojem uz dobru dimenzijsku točnost. [5]

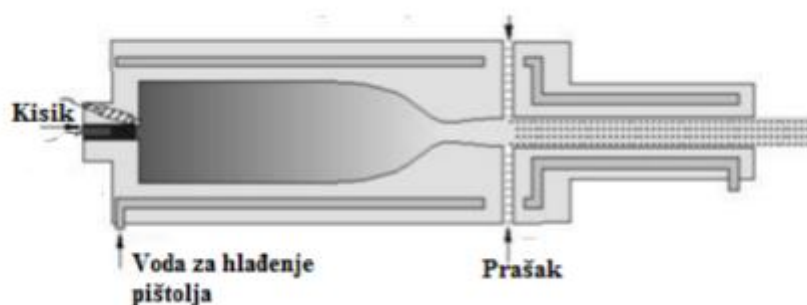
Također površine zaštićene na ovaj način imaju vrlo malu poroznost. Konačna debljina sloja kreće se između 0,125 mm – 0,3 mm.

Tijekom postupka naštrcavanja temperatura lopatice ne smije prijeći 190 °C. Nakon nanošenja sloja potrebno je odraditi toplinsku obradu i to na sljedeći način:

1. Atmosfera: - argon ili vakuum
2. Temperatura zagrijavanja: - 90 °C/h maksimalna
3. Temperatura držanja - od 480 °C do 505 °C
4. Vrijeme držanja - 24 sata
5. Ohlađivanje - 50 °C/h
6. Do temperature od - 190 °C
7. Kada dosegne 190 °C nastavlja se hlađenje na zraku dok ne dođemo do sobne temperature. [3]



Slika 17. Prikaz postupka visokobrzinskog plamenog naštrecavanja [5]  
(1.ulaz goriva, 2.ulaz praha, 3.izlazna sapnica, 4.mlaz plina i praha, 5.površina lopatice)



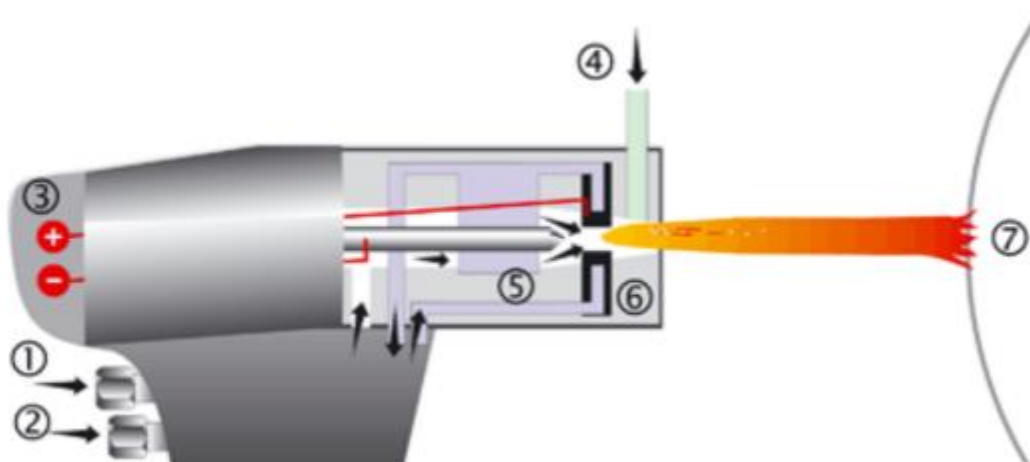
Slika 18. Pištolj za visokobrzinsko plameno naštrecavanje [5]

### 2.5.1.2. Plazma naštrecavanje

Plazma naštrecavanje je jedan od postupaka presvlake koji se još i danas često koristi. Postupak koristi plazma pištolj s principom induktivnog pobuđivanja plazme uz pomoć radio frekvencije. Ako su materijali koji se upotrebljavaju ili zaštićuju skloni oksidaciji tada se postupak odvija u uvjetima sniženog tlaka. Rad u komorama nam omogućava održavanje sniženog apsolutnog tlaka. Kako bi uspjeli sniziti tlak zadržavanja vakuumu tada se u komoru mora ubaciti neki od inertnih plinova. [3]

Plazma se dobiva pomoću električnog luka koji izlazi iz sapnice pištolja. Za to se koriste smjese plinova od helija, argona, dušika i vodika ili pak plinovi zasebno. U električnom luku imamo aktivnu atmosferu pri čemu se postižu vrlo visoke temperature. U našem slučaju za zaštitu lopatica koristi se plazma naštrecavanje pod malim pritiskom. Temperatura atmosfere za koju se koristi inertni plin iznos 5500 °C pri čemu je brzina rastaljenih čestica praha 250 m/s.

Sastav materijala koji se koristi kao prašak je  $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-FeCrAl}$ . Iako je ovaj premaz pokazivao dobra svojstva njegova udarana otpornost se u praksi pokazala nižom od očekivane. Njegovi nedostaci najviše su bili vidljivi prilikom oštećenja od stranog tijela u turbinama. Konačna debljina sloja kod ovog postupka iznosi od 0.2 mm do 0.25 mm. [5]



Slika 19. Prikaz plazma naštrcavanja [5]  
(1.inertni plin, 2.tekućina za hlađenje, 3.istosmjerna struja, 4.prašak kao doadtni materijal, 5.katoda, 6.anoda, 7.radni komad)



Slika 20. Plazmeno naštrcavanje u praksi [5]

### 2.5.2. Učinkovitost zaštitnog sloja

Kada se uspoređi djelovanje erozije na zaštićenu i nezaštićenu lopaticu koja u svojoj leguri sadrži povišene udjele kroma, može se zaključiti da premaz nanesen visokobrzinskim plamenim naštrcavanjem daje 3 do 5 puta dulji životni vijek lopatice.

Očekivano je trošenje sloja premaza isto kao i kod ne zaštićene lopatice. To znači da se kod zaštićene lopatice najprije istroši premaz, a tek onda kada premaza više nema erozija počinje djelovati na osnovni materijal. Uvjeti za zamjenu lopatica ostaju isti kao i kod nezaštićenih lopatica. [3]

Nije preporučeno popravljati sloj osim u situacijama kada je lopatica demontirana te poslana u tvornicu na skidanje starog sloja i nanošenje potpuno novoga. Ova operacija zahtjeva jako puno vremena te se zbog toga u praksi jako rijetko primjenjuje. Ipak ovo se može primijeniti ako je u pitanju jedna ili par lopatica. Ako se zahtjeva nanošenje premaza na jedan cijeli stupanj lopatica tada je brže i jeftinije zamijeniti cijeli stupanj s novim lopicama. [3]

### 3. POSTAVKA ZADATKA

Zadatak za ovaj diplomski rad bio je prikazati kako u praksi izgleda remont parne turbine. Pri čemu je naglasak bio na jednim od glavnih komponenti, a to su rotor i stator. U tu svrhu ostvarene su sljedeće stavke:

- Inspekcije koje se obavljaju na dijafragmama te reparaturni popravci ako su potrebni i ako ih je moguće izvesti
- Inspekcije na rotoru odnosno na koje stvari je potrebno obratiti dodatnu pažnju prilikom vizualnog pregleda
- Prikaz zamjene zadnjeg reda lopatica na rotoru koje su bile istrošene uslijed djelovanja vodene erozije
- Postupak tokarenja rotora na radilištu nakon otkrivanja pukotine
- Vrste zaštita lopatica od erozije kako bi im se produljio radni vijek te prikaz postupka ugradnje umetaka odnosno načina mehaničke zaštite

## 4. RAZRADA ZADATKA

### 3.1. Vizualna inspekcija i repariranje dijafragmi

Vizualna inspekcija se uvijek provodi prva i prije bilo kakvog čišćenja nastoji se utvrditi stanje dijafragme nakon otvaranja turbinskog kućišta ili podizanja gornje polovice dijafragme. Vizualna inspekcija obuhvaća sve dijelove dijafragme počevši od vanjskog i unutarnjeg prstena, aksijalnih klinova, svih površina lopatice, tragova erozije na pojedinim dijelovima, tragova oštećenja od stranog tijela te utora za nogu labirintnih brtvi.

U nastavku je prikaz oštećenja mlaznica dijafragme od strane nepoznatog stranog tijela kao i njezino popravljivanje te vraćanje u prvobitan položaj. Nakon što je oštećenje vizualno utvrđeno te evidentirano putem slika provodi se čišćenje dijafragmi kako bih se mogla primijeniti jedna od nerazornih metoda ispitivanja. Čišćenje se provodi aluminijskim oksidom nakon kojeg se vrši ispitivanje penetrantima i magnetskim česticama da bi se utvrdio opseg oštećenja. Kada smo utvrdili opseg oštećenja u ovom slučaju samo na mlaznicama slijedi njezino repariranje.

Postupak repariranja sastoji se od:

1. Vizualno utvrđivanje oštećenja
2. Ispitivanje nerazornim metodama ako imamo indikacije
3. Izrezivanje ili ravnanje oštećene površine
4. Navarivanje izrezanog dijela
5. Brušenje navarene površine, restauriranje oblika
6. NDT provjera repariranog dijela





Slika 21. Utvrđivanje veličine oštećenja



Slika 22. Pukotina na zavaru lopatice i unutarnjeg prstena dijafragme



Slika 23. Pogled na pukotinu s donje strane

<b>TIPO D'ESAME</b> EXAM TYPE			<b>TEMPERATURA SUPERFICIE</b> SURFACE TEMPERATURE	20°C	
<input type="checkbox"/> FLUORESCENTE FLUORESCENT			<input checked="" type="checkbox"/> CONTRASTO DI COLORE COLOUR CONTRAST	<b>PULIZIA SUPERFICIE</b> SURFACE CLEANING	SOLVENT
			<b>TEMPO D'ASCIUGATURA</b> DRYING TIME	10 Minutes	
<b>PRODOTTO</b> PRODUCT	<b>MARCA, NOME</b> BRAND, NAME	<b>LOTTO</b> BATCH	<b>APPLICAZIONE PENETRANTE</b> PENETRANT APPLICATION	SPRAY	
<b>SOLVENTE</b> SOLVENT	NDT, BC1	B200626s	<b>TEMPO DI PENETRAZIONE</b> PENETRATION TIME	15 Minutes	
<b>PENETRANTE</b> PENETRANT	NDT, K71 B2	190916sp	<b>RIMOZIONE PENETRANTE</b> PENETRANT REMOVAL	Water and rags	
<b>SVILUPPATORE</b> DEVELOPER	NDT, D 112A	200915W150s	<b>TEMPO D'ASCIUGATURA</b> DRYING TIME	10 minutes	
			<b>APPLICAZIONE SVILUPPATORE</b> DEVELOPER APPLICATION	SPRAY	
			<b>TEMPO DI SVILUPPO</b> DEVELOPPING TIME	20 mintes	
<b>NOTE</b> REMARKS					
<b>ESITO</b> RESULT		<input type="checkbox"/> ACCETTABILE ACCEPTABLE	<input checked="" type="checkbox"/> NON ACCETTABILE NOT ACCEPTABLE		
		<input type="checkbox"/> NESSUNA INDICAZIONE NO INDICATIONS	<input checked="" type="checkbox"/> INDICAZIONI INDICATIONS		
<p>To point out by <u>Visual examination</u>:          -Erosion all around the external surface body, see pictures of sheets: 3, 4          To point out by <u>Dye Penetrant Inspection (DPI)</u>:          -Linear indication in the middle plane of the right side, see pictures sheets: 5, 6</p>					

Slika 24. Isječak iz NDT izvještaja [3]

Na slici (Slika 24) možemo vidjeti isječak iz izvještaja nerazornog ispitivanja penetrantima da daljnja primjena nije prihvatljiva.

U nastavku izvještaja se mogu vidjeti indikacije pukotine kao i erozija na brtvenoj površini (Slika 25 i Slika 26). Da bi se dijafragma mogla vratiti nazad i da bi zadovoljila svoje funkcije na najbolji mogući način potrebno je obaviti određene popravke. U nastavku rada možemo vidjeti na koji način se popravljaju oštećeni dijelovi te kako izgleda popravljeni dio. Na slici (Slika 27) možemo vidjeti kako se izrezuju oštećeni dijelovi lopatice. Svi popravci vrše se od strane obučenog i certificiranog majstora.

Figure 2 of sheet 4



Erosion highlighted by the DPI test

L'OPERATORE THE PERFORMER	PER IL LABORATORIO FOR THE LABORATORY	L'ISPETTORE THE INSPECTOR	IL CLIENTE THE CUSTOMER
------------------------------	--	------------------------------	----------------------------

Slika 25. Erozija na brtvenoj površini dijafragme

Figure 2 of sheet 6



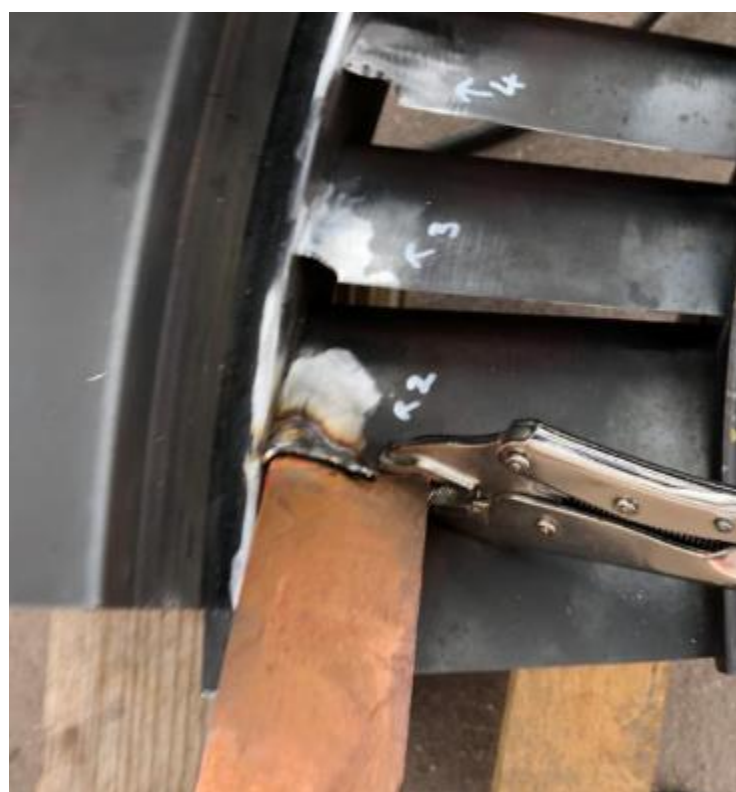
Dimension of the linear indication

L'OPERATORE THE PERFORMER	PER IL LABORATORIO FOR THE LABORATORY	L'ISPETTORE THE INSPECTOR	IL CLIENTE THE CUSTOMER
------------------------------	--	------------------------------	----------------------------

Slika 26. Indikacija pukotine na korijenu lopatice



Slika 27. Izrezivanje oštećenih dijelova



Slika 28. Početak navarivanja lopatice



Slika 29. Završetak navarivanja

Zavarivanje se obavlja TIG postupkom koristeći Inconel žicu kao dodatni materijal za navarivanje (Slika 28 i Slika 29). Ako imamo veliki opseg popravka to jest navarivanje velikih površina tada je potrebno predgrijavanje dijafragme. Da bi zavarivanje takvoga opsega bilo uspješno potrebno je održavati stalnu temperaturu predgrijavanja prilikom postupka zavarivanja. Predgrijavanje možemo obaviti na više načina, a neki od njih su zagrijavanje u peći, grijanje indukcijskim grijačima, grijanje plinskim grijačima. Ako nije moguće provesti zagrijavanje cijelog komada onda se provodi lokalno zagrijavanje i to tako da se zagrijava površina veća nego ona na kojoj se vrši popravak. Nepoštivanje određenih pravila koja se koriste prilikom procesa predgrijavanja, a kasnije i ohlađivanja mogu dovesti do uvijanja cijele dijafragme ili pojedinih dijelova. Ako imamo lokalne popravke na lopaticama kao u našem primjeru tada nije potrebno predgrijavanje kao ni temperaturno popuštanje. [3]

Nakon navarivanja potrebno je obaviti operaciju brušenja navarenog dijela (Slika 30) . Brušenju se obavlja s posebnom pažnjom kako se bi se vratio prvobitni oblik radi nesmetane funkcije rada (Slika 31). Kada se završe sve operacije popravka na oštećenom dijelu lopatice završni korak je provjera metodom penetranta (Slika 32). Provjerava se popravljeni dio lopatice odnosno sami zavar da ne bi bilo pukotina u zavaru, jer to može dovesti do puknuća djela lopatice u radu te na kraju prouzročiti velike štete u turbini.



Slika 30. Pogled na donju stranu zavara nakon brušenja



Slika 31. Lopatica nakon restauracije



Slika 32. Završna provjera penetrantima nakon popravka



### 3.2 Inspekcije na rotoru

U ovom poglavlju bit će opisane osnovne vizualne i dimenzionalne kontrole koje se primjenjuju prilikom inspekcije rotora. Prva na redu nam je vizualna kontrola koja se provodi dok je rotor još u kućištu, ali odmah nakon podizanja gornje polovice kućišta. Dakle u nastavku su stvari koje prve provjeravamo:

- oznake udarnog oštećenja
- istrošenje pojedinih rubova
- izgubljene dijelove
- prekomjerna erozija i korozija
- nakupine na lopaticama
- pukotine

Za lopatice se primjenjuju još neke dodatne kontrole kao:

- oštećenja prouzrokovana stranim tijelima
- oštećenja prouzrokovana krutim česticama
- migracija pojedinih lopatica u stupnju

Dobra vizualna inspekcija važna je iz razloga jer rano možemo detektirati potencijalno veća oštećenja ili dijelove kojima je potrebno posvetiti više pažnje tijekom NDT analize. Rano otkivanje bilo kakvih defekata daje nam više vremena za pripremu i planiranje popravka. To nam je bitno iz razloga da ne bi prekoračili unaprijed dogovoreni rok za izvođenje radova. Koji za posljedicu ima povećanje cijene izvođenja radova, jer je osnovna kalkulacija rađena s pretpostavkom da je sve uredi.



Slika 33. Vrste oštećenja 1

Na lijevoj strani slike (slika 33) mogu se vidjeti oštećenja prouzrokovana od erozije krutim česticama.

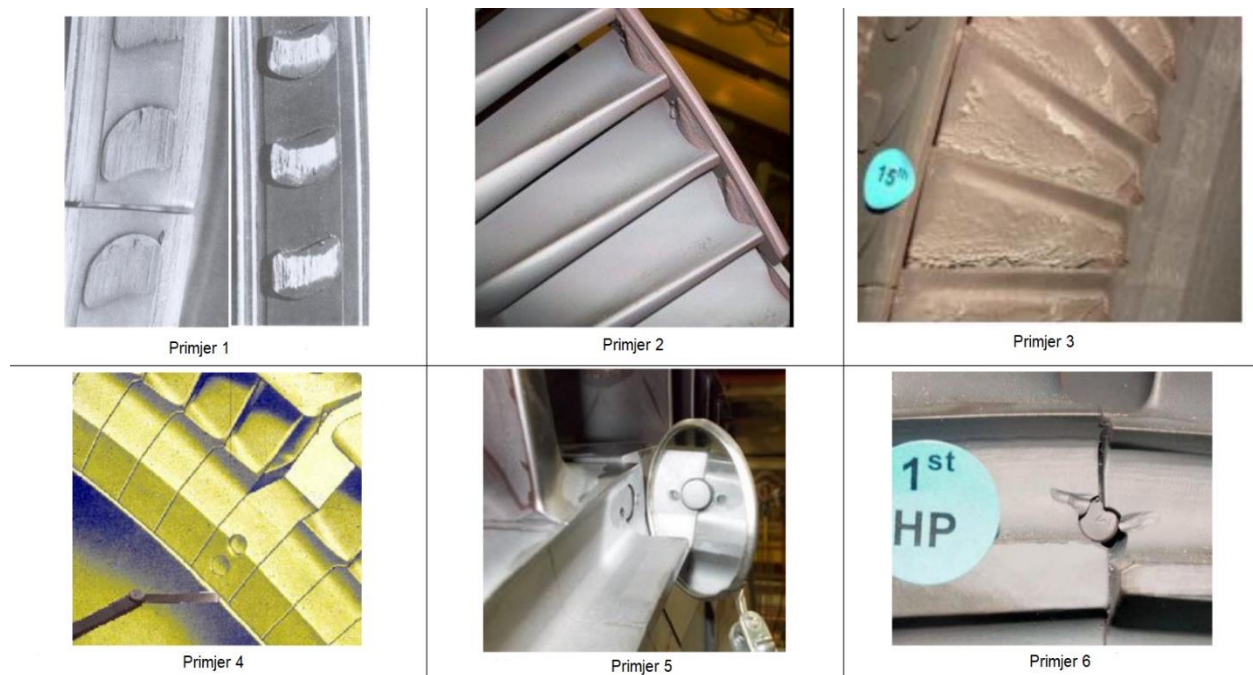
Na desnoj strani slike (slika 33) mogu se vidjeti oštećenja nastala od stranog tijela.



Slika 34. Vrste oštećenja 2

Na lijevoj strani slike (slika 34) vidi se nakupina čestica na vrhu lopatica s unutarnje strane.

Na desnoj strani slike (slika 34) vidi se migracija pojedinih lopatica u redu.



Slika 35. Oštećenja i inspekcije [3]

Primjer 1 – erozija na obruču lopatica

Primjer 2 – nakupina male količine čestica

Primjer 3 – nakupina velike količine čestice

Primjer 4 – mjerenje zračnosti između lopatice i kola rotora

Primjer 5 – zamaknute rupe za osiguravajući klin

Primjer 6 – deformacija lopatica i osiguravajućeg klina

Jedna od stvari kojoj se daje najviše pažnje je svakako erozija uzrokovana kapljicama vode. Najbolji primjer za vidjeti oštećenja od erozije uzrokovane vodom je svakako zadnji stupanj lopatica na niskotlačnom rotoru (Slika 36). U nastavku rada budemo vidjeli zamjenu zadnjeg reda lopatica kao i neke metode kojim možemo ublažiti tj. povećati otpornost na trošenje lopatica.



Slika 36. Erozija na zadnjem redu lopatica niskotlačnog rotora



Slika 37. Mjerenje stupnja istrošenosti lopatice [3]

Primjer 7 – prikaz alata za mjerenje stupnja istrošenosti lopatice

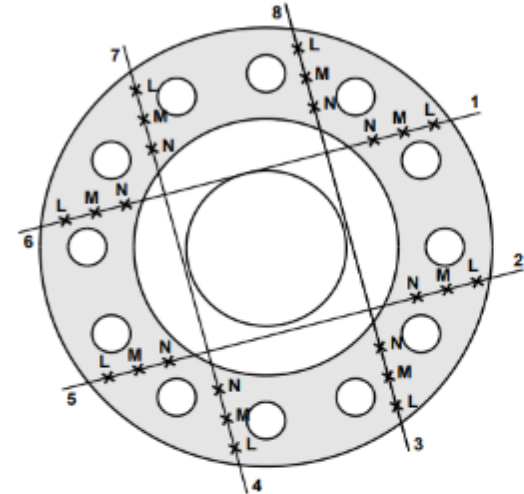
Primjer 8 – prikaz na koji način se alat koristi

Na slici (Slika 37) možemo vidjeti alat koji se koristi kako bi izmjerili stupanj istrošenosti lopatice. Mjerenje se provodi sa strane ulaska pare i to kako je prikazano na slici (Slika 37, Primjer 8). Ovo mjerenje je važno jer se na osnovu njega procjenjuju i planiraju daljnji koraci. U prijevodu to znači da se može utvrditi koliko je lopatica efikasna, koliko još vremena može provesti u radu te za kada se može planirati izmjena lopatica.

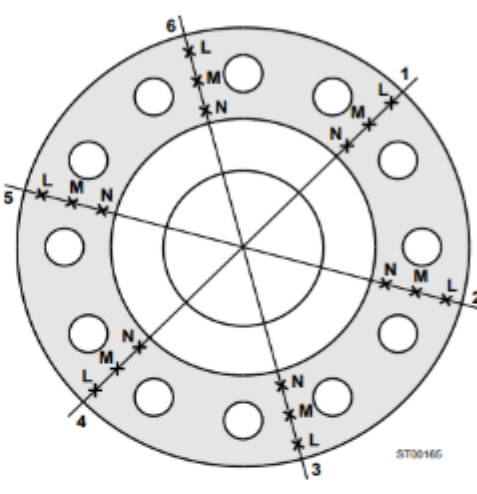
Nakon što je obavljena dobra vizualna inspekcija možemo početi s dimenzijskim provjerama. Jedna od dimenzijskih kontrola na koju je potrebno obratiti pažnju je radijalno bacanje. To je važno iz razloga jer radijalno bacanje rotora provjeravamo na tokarilici. Ako na radilištu nemamo tokarilicu u tom slučaju tu provjeru možemo odraditi na rotoru dok se još nalazi u turbini na ležajevima. U nastavku možemo vidjeti neke protokole koji se koriste pri standardnim inspekcijama spojke i rukavaca na rotoru. Na slici (Slika 38) možemo vidjeti provjeru ravnosti lica spojke. Za provjeru se koristi dovoljno dugo ravnilo s ravnim rubovima te mjerni listići s kojima se provjerava moguća zračnost između ravnala i lica spojke. Kao što je vidljivo na mjernom protokolu mjerenje se izvodi na 18 ili 24 mjesta ovisno o dizajnu spojke.

Date(m/d/y)	Turbine Serial No.	Prepared by	Z.CAKIC
Coupling	HP TE	Coupling O.D.	34,5



**MALE RABBET**



**FEMALE RABBET**

Location TE  
(TE or GE)

	L	M	N
1	0,000	0,000	0,000
2	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
6	0,000	0,000	0,000
7	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000

Location TE  
(TE or GE)

	L	M	N
1	0,000	0,000	0,000
2	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000
6	0,000	0,000	0,000
7			
8			

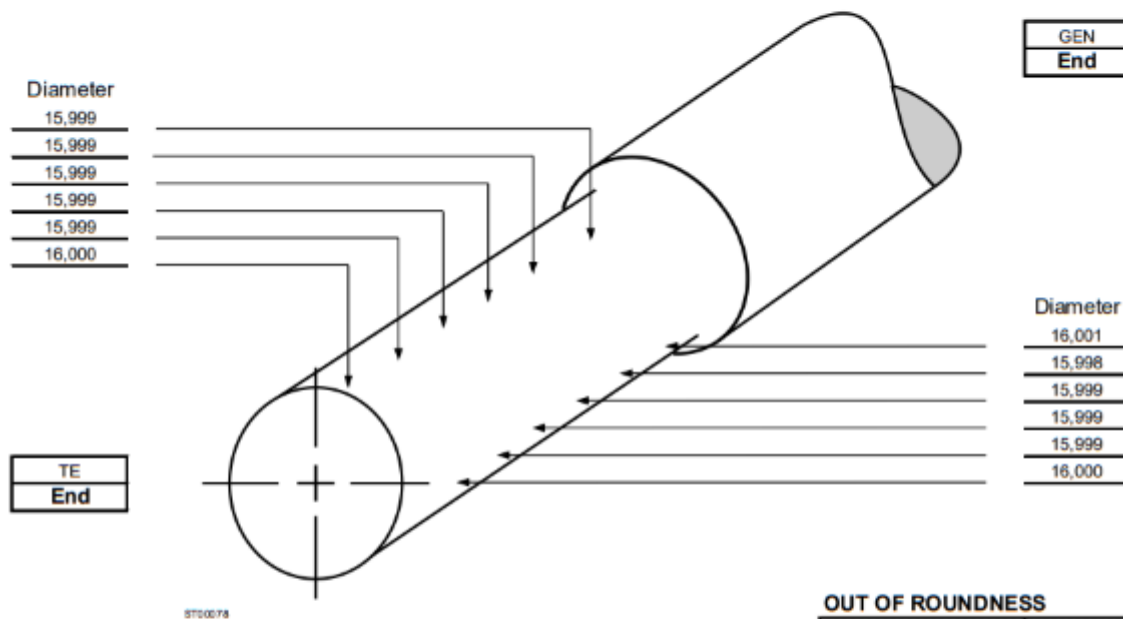
Slika 38. Mjerni protokol provjera ravnosti spojke [3]

## Rotor Journal Condition

Date(m/d/y) 08.05.2021. Turbine Serial No. \_\_\_\_\_ Prepared by Z.CAKIC

Journal Number T6

**NOTE:** Mark on sketch to show grooving, discoloration, carbon inclusions, or irregularities in the journal surface.



**JOURNAL SIZES**

	0°	90°	All
<b>Maximum</b>	16,0000	16,0010	16,0010
<b>Minimum</b>	15,9990	15,9980	15,9980
<b>Difference</b>	0,0010	0,0030	-0,0020
<b>Average</b>	15,9992	15,9993	15,9993

**OUT OF ROUNDNESS**

Diameters		Out of Round
0°	90°	
15,999	16,001	-0,002
15,999	15,998	0,001
15,999	15,999	0,000
15,999	15,999	0,000
16,000	16,000	0,000

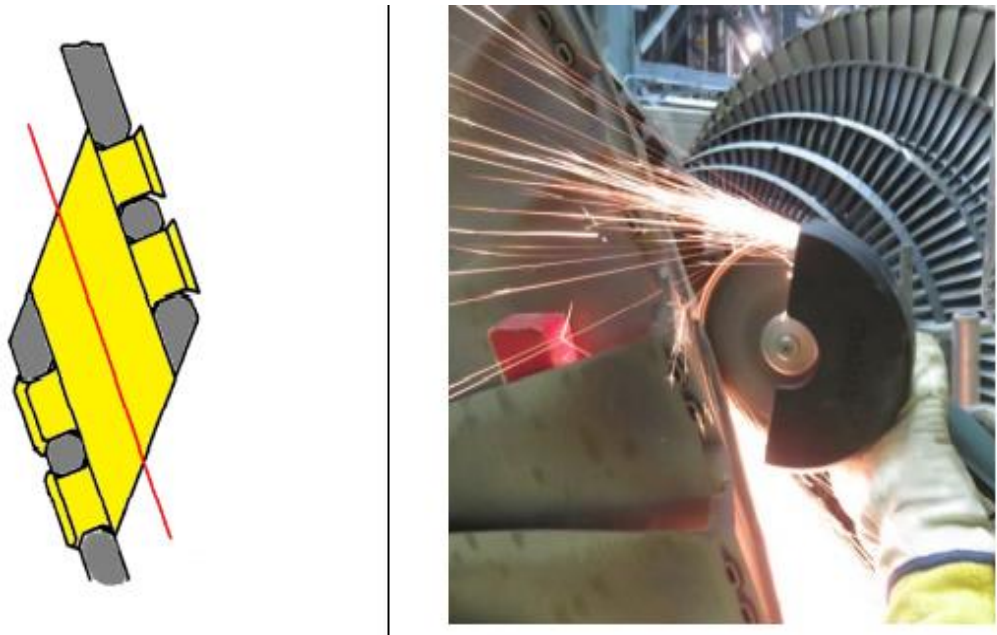
<b>Comments:</b>	

Slika 39. Mjerni protokol za promjer rukavca na rotoru [3]

### 3.3. Izmjena zadnjeg reda lopatica

Na sljedećem primjeru možemo vidjeti postupak uklanjanja starih te instalaciju novih rotorskih lopatica zadnjeg stupnja niskotlačnog rotora.

1. Korak - koji se radi je pravilno označiti stare lopatice, nakon toga slijedi rezanje vrha lopatice odnosno poveznice između dvije pojedine lopatice. Rez se obavlja po crvenoj liniji prema slici (Slika 40).



Slika 40. Rezanje spojnog dijela na vrhovima lopatica

2. Korak - je izbijanje klinova koji drže nogu lopatice pričvršćenu za disk rotora (Slika 41). Da bi bili u mogućnost lakše izbiti klinove preporuka je našpricati ih sa sredstvom koje ima kapilarno djelovanje. Ako nije moguće izbiti klin pomoću zračnog čekića tad ga se mora bušiti. Bušenje se izbjegava jer je u ovom slučaju veoma zahtjevna operacija za izvesti, te također zahtjeva puno dodatnog vremena. Nakon što su svi klinovi izvađeni potrebno je izmjeriti njihov promjer te upisati na mjerni protokol. U ovom slučaju dizajn noge poznat je kao viljuškasta noga (Slika 42). [3]

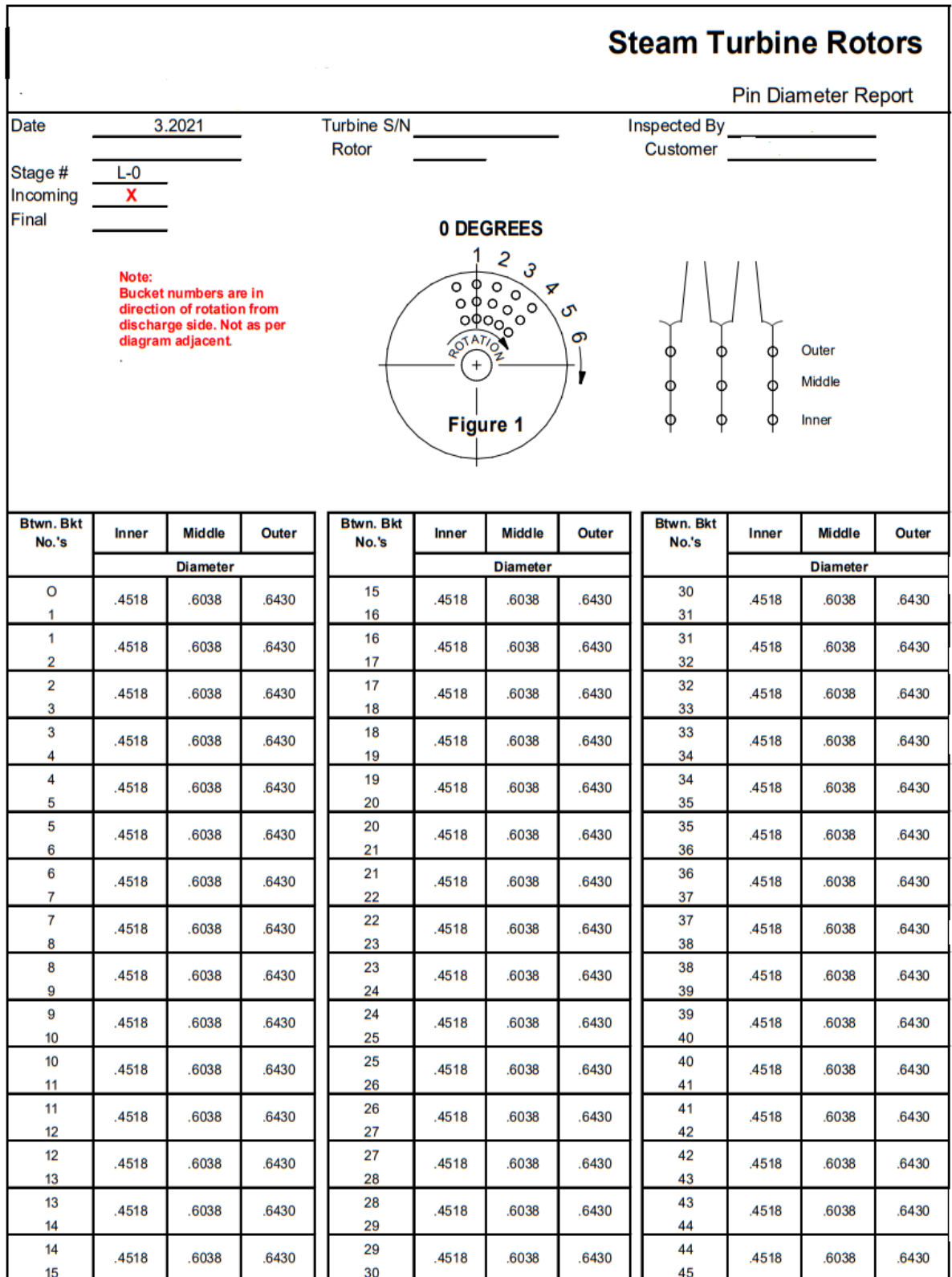


Slika 41. Izbijanje klinova



Slika 42. Izgled noge zadnjeg reda lopatica





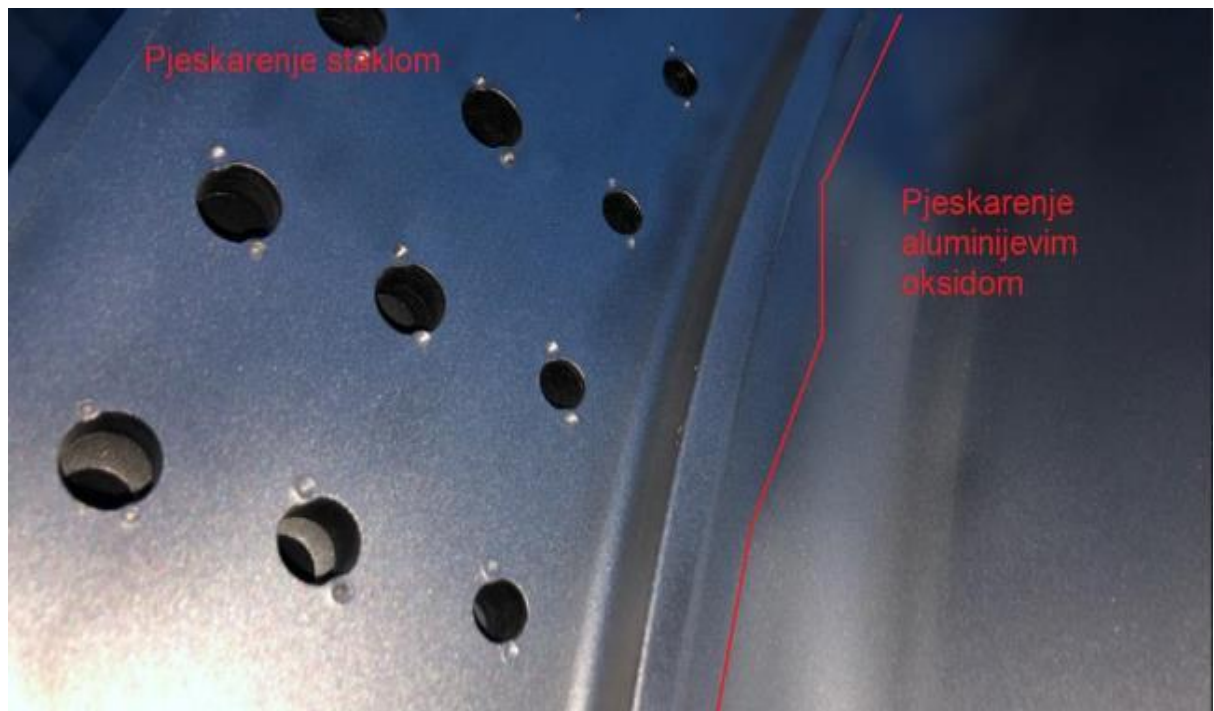
Slika 43. Mjerni protokol za promjere klinova [3]

3. Korak – nakon što su svi klinovi uklonjeni, u središnje rupe na disku rotora se postavljaju zamjenski klinovi koji su manjeg promjera. Svrha ovih klinova je pridržavanje lopatica da ne ispadu sve odjednom prilikom demontaže. Kada su zamjenski klinovi na mjestu pristupa se vađenju lopatica, najčešće demontaža je tako da se vade po dvije do četiri lopatice odjednom (Slika 44). Valja napomenuti da se tijekom ove operacije koristi kran kao sredstvo za dizanje jer je masa jedne lopatice 30 kg.

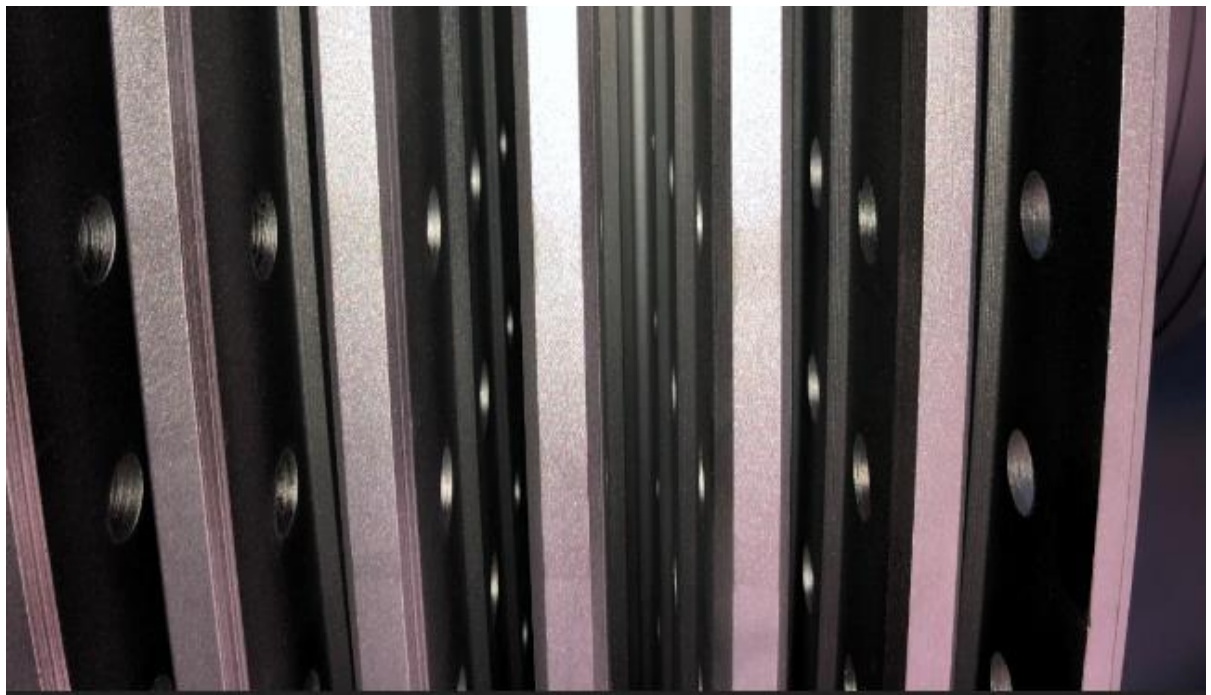


Slika 44. Demontaža starih lopatica

4. Korak - Kada su sve lopatice uklonjene potrebno je dobro očistiti utore na disku rotora kako ne bi došlo do problema prilikom montaže novih lopatica. Postupak čišćenja provodi se pjeskarenjem, a kao sredstvo se koriste staklene kuglice (Slika 45, Slika 46). Nakon pjeskarenja potrebno je ispitati utore na disku te rupe za klinove. Za ispitivanje se koristi metoda ispitivanje magnetskim česticama.



Slika 45. Razlika između površina ovisno o sredstvu koje se koristi za pjeskarenje



Slika 46. Prikaz utora na disku rotora, nakon pjeskarenja staklom

5. Korak - montaža novih lopatica. Prilikom montaže veoma je važno obratiti pažnju na redoslijed ugradnje. Naime prilikom proizvodnje svaka lopatica se važe na kraju i označava s brojem. Lopatice se ugrađuju tako da one s jednakim ili jako sličnim masama nalaze nasuprotno jedna od druge. Odnosno zamaknute su za  $180^\circ$ .

To se radi iz razloga da bi rotor ostao u balansu, tako da nakon ugradnje novih lopatica nije potrebno balansiranje. Pošto se ovdje radi o posljednjem stupnju lopatica čija duljina iznosi 80 cm, jasno je da pri brzinama od 3000 okr/min imamo veliku obodnu brzinu pa samim time i veliku centrifugalnu silu.

Kada su sve nove lopatice ugrađene i pozicionirane na odgovarajuće mjesto postavljaju se novi vrhovi lopatica. Vrhovi lopatica povezuju po dvije lopatice te se zakivaju kako bi osigurali kompaktnost i čvrstoću cijelog stupnja. Nakon povezivanja vrhova lopatica slijedi proširivanje rupa na disku rotora i nozi lopatice. Za proširivanje se koriste razvrtači koji su izrađeni posebno za ovu operaciju, a rupe se proširuju na prvu veću mjeru. Jedna od posljednjih operacija je provjera zakovanih vrhova penetrantskom metodom (Slika 43). Ako je testiranjem dokazano da je sve uredu tada se radi i zadnji korak, a to je osiguranje klinova od ispadanja. Na slici (Slika 47) je moguće vidjeti način na koji se provodi osiguranje. [3]



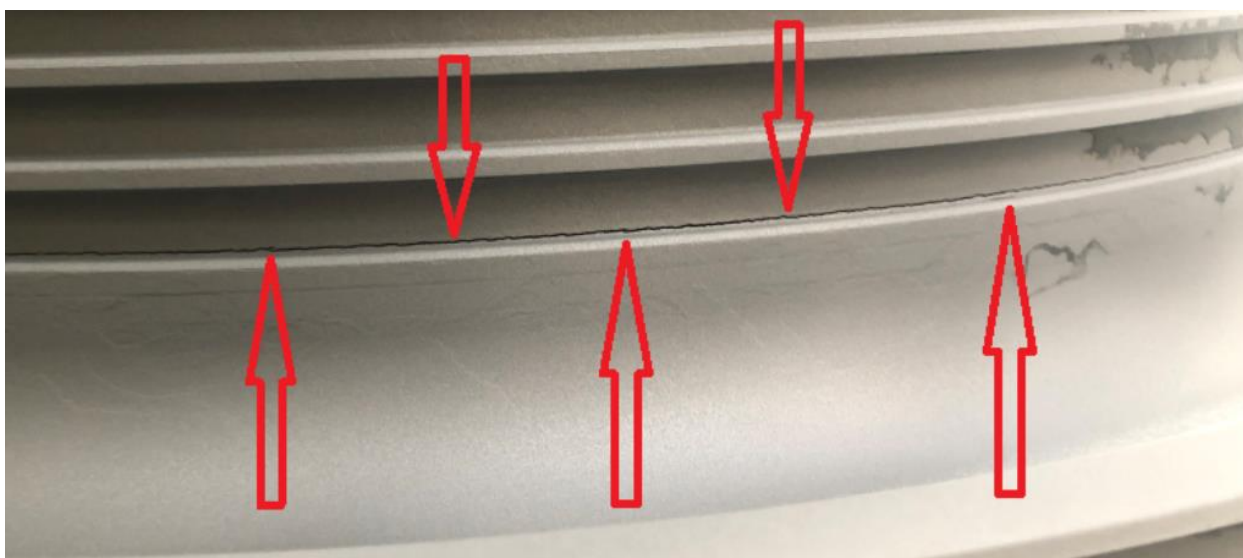
Slika 47. Osiguranje klinova od ispadanja



Slika 48. Završno ispitivanje penetrantima, bez indikacija

### 3.4 Tokarenje rotora na radilištu

Prilikom vizualne inspekcije koja je provedena na rotoru nakon njegovog pjeskarenja zamijećena je pukotina na obodu (Slika 49). Da bi se utvrdilo da li je još uvijek moguće upotrijebiti rotor bilo je potrebno izmjeriti veličinu pukotine. Kako bi se utvrdila dubina i oblik pukotine koristi se ispitivanje ultrazvukom. Zbog mjesta na kojem se pukotina nalazila nije bilo moguće utvrditi dubinu ultrazvukom. Na osnovu sličnih slučajeva iz prošlosti odlučeno je da će se pukotina probati sanirati na radilištu.



Slika 49. Pukotina na rotoru

Jedini način za "vađenje" pukotine je tokarenje, ali da bi bili u mogućnosti tokariti potrebni su podatci o pukotini kako bi se napravio plan tokarenja te konačan oblik konture. Kako nije bilo moguće utvrditi dubinu pukotine odluka je bila sljedeća: pozicionirati vrh reznog alata na centar pukotine te izraditi utor širine 5 mm i dubine 2 mm. Nakon tokarenja utora bilo je potrebno metodom magnetskih čestica ili penetranata provjeriti da li je pukotina još uvijek prisutna (Slika 50).

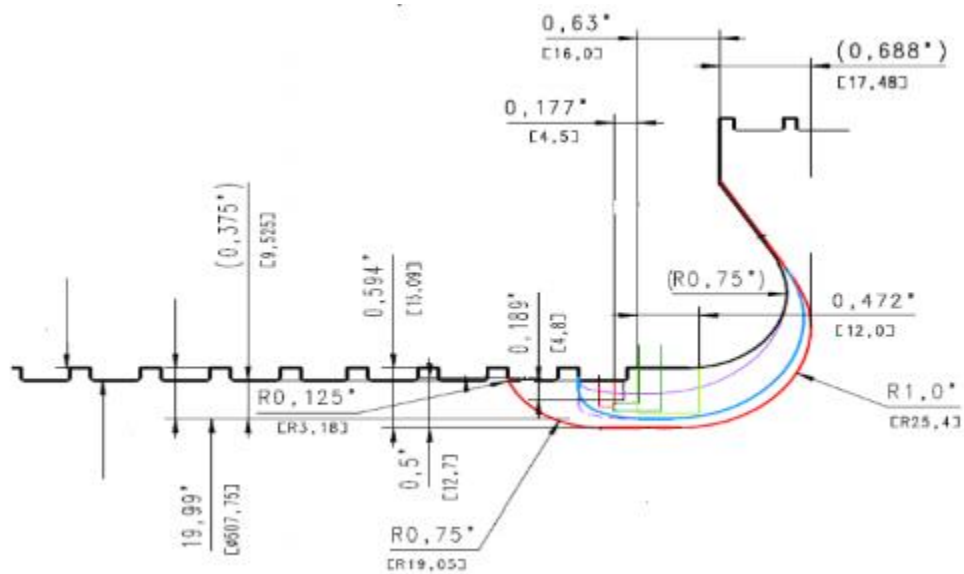


Slika 50. Provjera nakon prvog koraka tokarenja

Kako je vidljivo na slici nakon prvog koraka tokarenja pukotina je još uvijek prisutna. Idući korak je bio ići po 1 mm u dubinu (Slika 51) i nakon svakog skidanja od 1 mm napraviti NDT kontrolu. Krajnji korak tokarenja bilo je postizanje dubine od maksimalno 6 mm ili uklanjanje pukotine prije te dubine. Srećom za ovaj slučaj nije bilo indikacija o pukotini nakon što se dosegla dubina utora od 5 mm. Kada se utvrdila dubina pukotine onda se mogla odrediti i kontura prema kojoj će taj dio rotora biti na novo obrađen. Na slici (Slika 52) moguće je vidjeti kako izgleda završna kontura tu u koliko prolaza se izrađuje. Nakon što se završi operacija tokarenja potrebno je još obaviti i završno ispitivanje metodom penetranata kako bi bili sigurni da pukotina više nije prisutna. Na slici (Slika 53) može se vidjeti završno ispitivanje metodom penetranata bez indikacija o pukotini.




Slika 51. Postojanje pukotine nakon drugog koraka



Slika 52. Konačni izgled konture tokarenja



Slika 53. NDT nakon tokarenja konačne konture - bez indikacija

		<b>RAPPORTO D'ESAME CON LIQUIDI PENETRANTI</b> LIQUID PENETRANT EXAMINATION REPORT		Nr. DATA DATE 2021 FOGLIO SHEET 1 / 3	
<b>CLIENTE</b> CUSTOMER					
<b>COMMESSA</b> JOB					
<b>OGGETTO</b> SUBJECT HP ROTOR, ZONE OF CRACK AFTER FINAL STEP OF MACHINING					
<b>PIANO DI LAVORO</b> CONTROL PLAN			<b>SPECIFICA</b> SPECIFICATION		
<b>STADIO DI LAVORO</b> WORKING STEP AFTER MACHINING			<b>SUPERFICIE</b> SURFACE AS MACHINED		
<b>LUOGO D'ESAME</b> PLACE OF EXECUTION				<b>DATA D'ESAME</b> EXECUTION DATE 2021	
<b>TIPO D'ESAME</b> EXAM TYPE <input type="checkbox"/> FLUORESCENTE FLUORESCENT <input checked="" type="checkbox"/> CONTRASTO DI COLORE COLOUR CONTRAST			<b>TEMPERATURA SUPERFICIE</b> SURFACE TEMPERATURE 20°C <b>PULIZIA SUPERFICIE</b> SURFACE CLEANING SOLVENT <b>TEMPO D'ASCIUGATURA</b> DRYING TIME 10 Minutes		
<b>PRODOTTO</b> PRODUCT	<b>MARCA, NOME</b> BRAND, NAME	<b>LOTTO</b> BATCH	<b>APPLICAZIONE PENETRANTE</b> PENETRANT APPLICATION SPRAY		
<b>SOLVENTE</b> SOLVENT	NDT, BC1	B200626s	<b>TEMPO DI PENETRAZIONE</b> PENETRATION TIME 15 Minutes		
<b>PENETRANTE</b> PENETRANT	NDT, K71 B2	190916sp	<b>RIMOZIONE PENETRANTE</b> PENETRANT REMOVAL Water and rags		
<b>SVILUPPATORE</b> DEVELOPER	NDT, D 112A	200915W150s	<b>TEMPO D'ASCIUGATURA</b> DRYING TIME 10 minutes		
			<b>APPLICAZIONE SVILUPPATORE</b> DEVELOPER APPLICATION SPRAY		
			<b>TEMPO DI SVILUPPO</b> DEVELOPING TIME 20 mintes		
<b>NOTE</b> REMARKS Initial indication reported in the report nr. KP_21-ST0028 Indication after 1 <sup>st</sup> Step of machining reported in the report nr. KP_21-ST0038 Result after 2 <sup>nd</sup> Step of machining reported in the report nr: KP_21-ST0039					
<b>ESITO</b> RESULT <input checked="" type="checkbox"/> ACCETTABILE ACCEPTABLE <input checked="" type="checkbox"/> NESSUNA INDICAZIONE NO INDICATIONS <input type="checkbox"/> NON ACCETTABILE NOT ACCEPTABLE <input type="checkbox"/> INDICAZIONI INDICATIONS					
<b>L'OPERATORE</b> THE PERFORMER	<b>PER IL LABORATORIO</b> FOR THE LABORATORY	<b>L'ISPETTORE</b> THE INSPECTOR	<b>IL CLIENTE</b> THE CUSTOMER		
ISO 9712 lev. 2	ISO 9712 lev. 3				

Slika 54. Isječak iz NDT izvještaja [3]

Na slici (Slika 54) može se vidjeti naslovna strana NDT izvještaja koja prikazuje da nema indikacija pukotine nakon tokarenja završne konture. Također je vidljivo da je za provjeru indikacija korištena metoda penetrantskog ispitivanja.



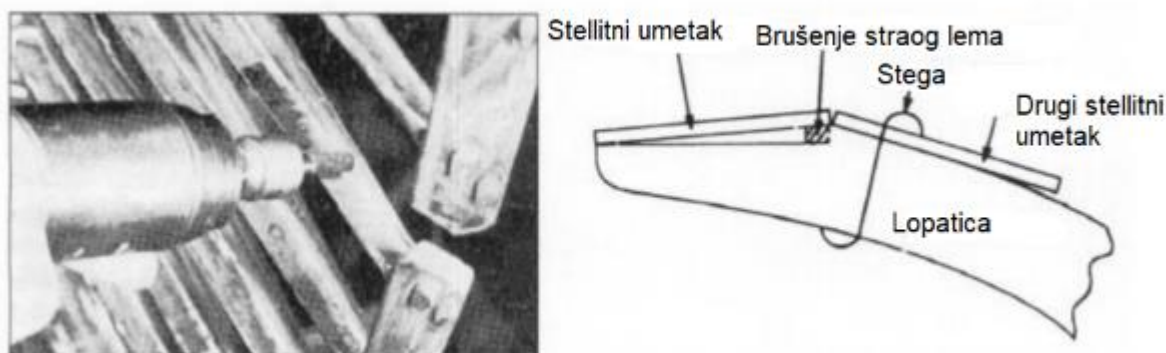
### 3.5. Mehanička zaštita lopatica od erozije

Kod ovakvog načina za zaštitu lopatice koriste se stelitni umetci, koji se postupkom lemljenja učvršćuju na tijelo lopatice. U nastavku je opis postupka uklanjanja starih te montaža novih umetaka. Na slici (Slika 58) moguće je vidjeti razne oblike erozijskih štitova s obzirom na smjer ulaska kapljica vode na rotorske lopatice.

#### 3.5.1. Priprema utora na lopatici

Oštećeni erozijski štiti može se mehanički ukloniti koristeći pri tome sječivo i čekić. Kod ovog načina uklanjanja potrebno je obratiti pažnju na koji način se rukuje alatom da ne bi došlo do oštećenja lopatice. Drugi način uklanjanja je topljenje lemljenog spoja pri čemu je potrebno obratiti pažnju na temperature. Temperatura ne smije prijeći 770 °C kako ne bi došlo do pregrijavanja lopatice. [3]

Nakon što je umetak uklonjen potrebno je očistiti utor na lopatici te vratiti prvobitni oblik utora (Slika 59). Posebnu pažnju potrebno je obratiti na ravnost utora. U slučaju korištenja dva umetka može doći do erozije na lemu između njih. Da bi se to popravilo potrebno je pažljivo izbrusiti stari spoj te nanijeti novi lem na spoj između dva umetka. [3]

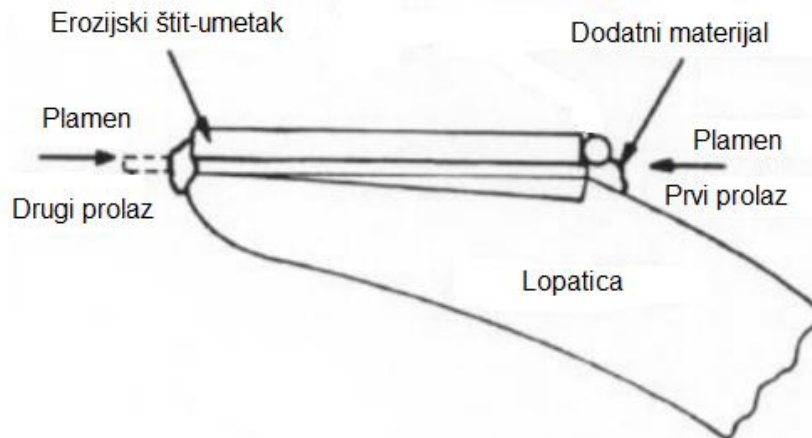


Slika 55. Priprema lopatice za umetak [3]

Na lijevoj slici (slika 55) može se vidjeti brušenje područja lopatice na koju se postavlja novi erozijski štiti.

Na desnoj slici (slika 55) je prikaz kada se koriste dva umetka za štiti. Te je vidljiva površina koju je potrebno izbrusiti kako bi novi umetak sjeo na mjesto.

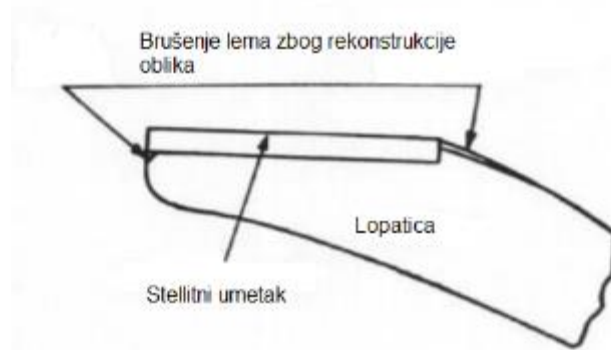
## 3.5.2. Montaža novih umetaka



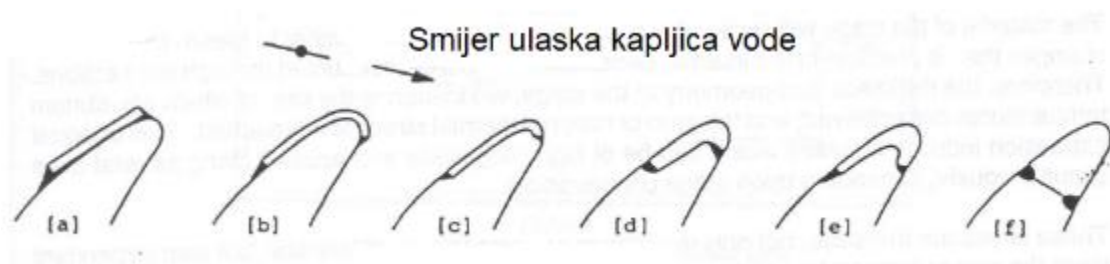
Slika 56. Prikaz postupka lemljenja [3]

Počevši sa unutarnje prema vanjskoj strani lopatice primjenjuje se plamen koji tali dodatni materijal (Slika 56). U trenutku kada se dodatni materijal počeo taliti koristi se stega kako bi se umetak čvrsto stisnuo na površinu lopatice. Pri tome potrebno je obratiti pažnju da ne bi došlo do oštećivanja lopatice. Još jedan razlog zbog kojeg se koristi stega je istiskanje plinskih mjehurića i viška dodatnog materijala (lema) između utora na lopatici i umetka. To je bitno iz razloga jer je debeli sloj lema znatno slabiji od tankog sloja. Sve iznad 0.15 mm smatra se debljim slojem. Stega se koristi sve dok se rastaljeni dodatni materijal ne skruti. Nakon lemljenja potrebno ukloniti sve viškove dodatnog materijala. [3]

Višak se uklanja laganim lokalnim zagrijavanjem i brisanjem, pri čemu ne smije doći do prekomjernog zagrijavanja kako se ne bi otopio glavni dio lema (Slika 57). Na kraju lopaticu je potrebno pustiti da se ohladi na zraku do temperature ispod 80 °C kako ne bi došlo do pojave pukotina. [3]



Slika 57. Prikaz lopatice nakon zalemljenog umetka [3]



Slika 58. Oblici umetaka (štitova) [3]



Slika 59. Priprema lopatica za lemljenje i zalemljeni umetak prije brušenja [3]

## 4. ZAKLJUČAK

Uloga parnih turbina dobro je poznata u svijetu proizvodnje električne energije. Zbog svojih konstrukcijskih i eksploatacijskih zahtjeva to su veoma skupi strojevi. Ali sve to parne turbine opravdavaju svojom mogućnošću proizvodnje velike količine energije. U današnje vrijeme električna energija je jedna od najbitnijih stvari za čovječanstvo.

Da bi turbina ispravno radila i obavljala svoju funkciju potrebno je dobro i redovito održavanje. Redovito održavanje uvelike produljuje radni vijek turbine. Pa tako imamo dvije vrste remonta. Veliki remont radi se svakih par godina i podrazumijeva kompletnu inspekciju turbine i svih pratećih komponenti. Mali remont koji se radi između velikih, te uključuje inspekciju ležajeva i ventila.

U ovom radu opisana je funkcija i način na koji se pregledavaju jedne od glavnih komponenti parne turbine. Također moguće je vidjeti reparaciju statorskih lopatica, saniranje površinske pukotine na rotoru, te izmjenu zadnjeg reda lopatica koje su izgubile svoju funkciju uslijed djelovanja erozije.

Osobnog sam mišljenja da je priprema pola posla, što se tiče ovog posla ta se pretpostavka pokazuje potpuno točnom. Remont parne turbine je jedan veoma velik te zahtjevan posao koji iziskuje jako dugu pripremu i planiranje do najsitnijih detalja, sve to kako bi remont jednom kada krene prošao uz što manje problema. Određena problematika za ove remonte je nemogućnost znanja odnosno točna pretpostavka u kakvom su stanju unutarnji dijelovi turbine. Pod unutarnje dijelove misli se na parne brtve, rotor, stator te ležajeve. Druge stvari koje još mogu znatno utjecati na duljinu remonta su potrebe radne snage, nemogućnost rastavljanja turbine u datom vremenu radi duge funkcije bez remonta, problematika zakona određenih država za uvoz opreme, razne sigurnosne mjere i na kraju sam kupac kod kojeg se izvodi remont.

Za kraj da bi se remont uspješno obavio najbitnija stavka su ljudi koji izvode remont odnosno radnici. Stoga obrazovanje, stalno educiranje i zadovoljstvo zaposlenih je jedna od ključnih stvari za uspješno obavljanje posla.

## LITERATURA

- [1] Mustapić, N., Guzović, Z., Staniša, B.: *Energetski strojevi i sustavi*, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac, 2014.
- [2] Dorotić, H.: *Parna turbina za pogon cargo pumpe*, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2014.
- [3] GE Energy: *FEP-DH Steam Volume I & II*, Energy Learning Center, Niskayuna, NY, 2009.
- [4] Parne turbine., dostupno na:  
[https://www.researchgate.net/publication/271701699\\_Poglavlje\\_6\\_OSNOVNI\\_KONSTRUKTIVNI\\_ELEMENTI\\_PARNIH\\_TURBINA](https://www.researchgate.net/publication/271701699_Poglavlje_6_OSNOVNI_KONSTRUKTIVNI_ELEMENTI_PARNIH_TURBINA), pristupljeno 5.4.2021.
- [5] Torer, I.: *Toplinsko naštrcavanje*, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2015.
- [6] Guzović, Z.: *Energetski strojevi (Toplinski strojevi)*, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 1994.