

ISPITIVANJE MATERIJALA MAGNETNIM ČESTICAMA

Grdić, Dijana

Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni

2023

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:128:223687>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



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

DIJANA GRDIĆ

ISPITIVANJE MATERIJALA MAGNETNIM ČESTICAMA

DIPLOMSKI RAD

Tomislav Božić, dipl.ing., v.pred

KARLOVAC, 2023.

IZJAVA:

Izjavljujem da sam ja – studentica Dijana Grdić, OIB:92230828477, matični broj: 0269048617, upisana kao absolvent godine 2023./2024., radila ovaj rad samostalno, koristeći se znanjem stečenim tijekom obrazovanja, te uz stručnu pomoć i vođenje mentora Tomislava Božića, dipl. ing., kojem se ovim putem zahvaljujem. Jednako tako zahvaljujem se i Tvornici turbina Karlovac, koja mi je omogućila pisanje eksperimentalnog dijela ovog rada. Također, zahvaljujem se svojoj obitelji na podršci tijekom studiranja.

Dijana Grdić

Karlovac, 2023.

Naslov: ISPITIVANJE MATERIJALA MAGNETNIM ČESTICAMA

SAŽETAK

U radu je obrađena magnetna metoda nerazornih ispitivanja. Rad se sastoji od teorijskog i eksperimentalnog dijela.

U teorijskom dijelu opisani su osnovni principi kontrole magnetnim česticama, tehnike magnetizacije, oprema koja se koristi prilikom ispitivanja, te norme ispitivanja i ocjenjivanja indikacija.

U eksperimentalnom dijelu rada obuhvaćeno je ispitivanje magnetnim česticama na dijelovima parne turbine Jugoturbina 50 MW. U prilogu rada nalaze se izvješća o provedenom ispitivanju sa ocjenom pronađenih indikacija.

Ključne riječi: nerazorne metode ispitivanja, ispitivanje magnetnim česticama, indikacija, parna turbina.

Title: MAGNETIC PARTICLE TESTING

SUMMARY

The paper discusses the magnetic method of non-destructive testing. The work consists of a theoretical and experimental part.

The theoretical part of the paper covers the basic principles of magnetic particles testing, magnetization techniques, equipment used during testing, testing standards, and evaluation of indications.

The experimental part of the paper covers the examination with magnetic particles on components of a 50 MW steam turbine from Jugoturbina. The appendices of the paper include reports on the conducted testing with an assessment of identified indications.

Keywords: non-destructive testing methods, magnetic particle testing, indications, steam turbine.

SADRŽAJ

POPIS SLIKA	1
POPIS TABLICA.....	3
POPIS OZNAKA.....	4
1. UVOD.....	5
2. POVIJEST MAGNETNE METODE	6
3. FIZIKALNE OSNOVE MAGNETIZMA.....	8
3.1 Magnetsko polje	8
3.2 Magnetske veličine	10
3.3 Magnetska histereza	12
4. OSNOVNI PRINCIPI KONTROLE MAGNETNIM ČESTICAMA.....	15
5. STRUJA MAGNETIZACIJE	16
5.1 Istosmjerna struja (DC).....	16
5.2 Izmjenična struja (AC)	16
5.3 Poluvalna ispravljena izmjenična struja (HWAC).....	17
5.4 Punovalna ispravljena izmjenična struja (FWAC).....	17
5.5 Višefazna ispravljena izmjenična struja	17
6. TEHNIKE MAGNETIZACIJE	19
6.1 Magnetizacija pomoću kontaktnih elektroda (kružna magnetizacija).....	19
6.2 Magnetizacija zavojnicom (uzdužna magnetizacija).....	20
6.3 Magnetizacija u uređaju za magnetizaciju	21
6.4 Magnetizacija jarmom	21
6.5 Tehnika višesmjernog magnetiziranja	22
7. DEMAGNETIZACIJA	24
7.1 Demagnetizacija izmjeničnom strujom	26
7.2 Demagnetizacija istosmjernom strujom.....	26
7.3 Različite metode demagnetizacije ovisno o opremi za demagnetiziranje	27
7.3.1 Demagnetiziranje pomoću cikličke tunelske zavojnice.....	27
7.3.2 Demagnetiziranje pomoću ploče za demagnetiziranje u kontinuiranom radu	28
7.3.3 Demagnetiziranje pomoću jarma.....	29
7.3.4 Demagnetiziranje dvostrukim jarmom	30
8. OPREMA ZA ISPITIVANJE	31
8.1 Prijenosni sustav	31

8.1.1	Trajni magneti	32
8.1.2	Elektromagnetski jaram	33
8.1.3	Ručne kontaktne elektrode	34
8.1.4	Zavojnice i provodni kabeli.....	35
8.1.5	Prijenosni izvori napajanja (Generatori struje)	36
8.2	Stacionarni sustav	37
8.3	Uloga svjetla u magnetskoj kontroli	38
8.3.1	UV-svjetlo	38
9.	FEROMAGNETNE ČESTICE	40
9.1	Suhe feromagnetne čestice.....	40
9.2	Mokre feromagnetne čestice	42
10.	PROVJERA ISPITNOG SUSTAVA.....	44
10.1	Ketos prsten	44
10.2	Referentni blok br. 1 (DIN EN ISO 9934-2)	46
10.3	Referentni blok br. 2 (DIN EN ISO 9934-2)	47
10.4	D 250 Indikator magnetskog polja (ASME Indikator).....	48
10.5	Bertholdov indikator magnetskog polja (Penetrametar).....	49
10.6	Burmah-Castrol indikatori	50
10.7	Gauss metar s Hallovim efektom.....	51
11.	OCJENJIVANJE INDIKACIJA.....	52
11.1	Nerelevantne indikacije	52
11.2	Relevantne indikacije	52
11.3	Norme koje se odnose na ispitivanje magnetnim česticama	53
12.	EKSPERIMENTALNI DIO.....	54
12.1	Osnovni podaci o stroju	56
12.2	Provedba ispitivanja	58
12.3	Izveštaji ispitivanja	60
	ZAKLJUČAK.....	106
	LITERATURA	107

POPIS SLIKA

Slika 1. Elektromagnetski uređaj za ispitivanje materijala iz 1928. godine, kojeg je izgradila kompanija Equipment and Engineering Company Ltd. (ECO) iz Stranda u Engleskoj. [2].....	7
Slika 2. Grafički prikaz magnetskih silnica [4].....	8
Slika 3. Željezne strugotine stvaraju uzorak oko magnetu [5].....	8
Slika 4. Magnetsko polje: a) ravnog vodiča b) prstena c) okvira [6].....	11
Slika 5. Petlja histereze [1].....	12
Slika 6. Petlja histereze : a) magnetsko tvrdi materijali b) magnetsko meki.....	14
Slika 7. Ilustracija osnovnog principa magnetskog ispitivanja.....	15
Slika 8. Vrste struja magnetizacije [10].....	18
Slika 9. Magnetizacija pomoću kontaktnih elektroda [11].....	19
Slika 10. Magnetizacija zavojnicom [11].....	20
Slika 11. Magnetizacija krutom zavojnicom [11].....	20
Slika 12. Magnetizacija u uređaju za magnetizaciju [11].....	21
Slika 13. Magnetizacija jarmom [2].....	22
Slika 14. Tehnika višesmjernog magnetiziranja [12].....	23
Slika 15. Magneztizirani materijal [14].....	25
Slika 16. Demagnetizirani materijal [14].....	25
Slika 17. Raspodjela polja u klasičnoj tunelskoj zavojnici (druga komponenta je samo polovično u zavojnici) [13].....	27
Slika 18. Raspodjela polja kod demagnetiziranja pomoću ploče.....	28
Slika 19. Raspodjela polja kod demagnetiziranja jarmom.....	29
Slika 20. Raspodjela polja kod demagnetiziranja dvostrukim jarmom [13].....	30
Slika 21. Trajni magnetski jaram [11].....	32
Slika 22. Ispitivanje elektromagnetskim ručnim jarmom [9].....	33
Slika 23. Ručne kontaktne elektrode [11].....	34
Slika 24. Prijenosna zavojnica [11].....	35
Slika 25. Mobilni agregati za magnetsku kontrolu [11].....	36
Slika 26. Horizontalna (stolna) jedinica [11].....	37
Slika 27. Primjer UV-lampe za magnetsku kontrolu (Magnaflux EV6000) [11].....	39
Slika 28. Suhe feromagnetske čestice u različitim bojama [16].....	41
Slika 29. Primjer ispitivanja suhim feromagnetskim česticama [17].....	41

Slika 30 Provjera čistoće magnetskih čestica [11]	43
Slika 31. Primjer indikacija otkrivenih mokrom metodom magnetskih čestica	43
Slika 32. Ketos prsten [19].....	45
Slika 33. Referentni blok br. 1 (DIN EN ISO 9934-2) [19].....	46
Slika 34. Referentni blok br. 2 (DIN EN ISO 9934-2) [19].....	47
Slika 35. D 250 Indikator magnetskog polja (ASME Indikator) [19]	48
Slika 36. Bertholdov indikator magnetskog polja (Penetrametar) [19]	49
Slika 37. Burmah-Castrol indikatori [20].....	50
Slika 38. Gauss metar s Hallovim efektom [20]	51
Slika 39. Parna turbina, Jugoturbina 50 MW TE-TO Ljubljana, prije remonta [21]....	57

POPIS TABLICA

Tablica 1. Kvalifikacija djelatnika po metodama	54
Tablica 2. Opseg ispitivanja i primjenjene metode	55
Tablica 3. Osnovni podaci o stroju	57
Tablica 4. Osnovni parametri rada	57
Tablica 5. Korištena oprema	58

POPIS OZNAKA

OZNAKA	MJERNA JEDINICA	ZNAČENJE
Φ	<i>Wb</i>	Magnetski tok
B	T	Magnetska indukcija
S	m^2	Površina
I	A	Jakost električne struje
H	A/m	Jakost magnetskog polja
μ	H/m (N/A ²)	Magnetska permeabilnost
μ_0	-	Magnetska permeabilnost vakuuma
μ_r	-	Relativna magnetska permeabilnost
H _k	A/m	Koercitivna sila
λ	nm	Valna duljina
AISI	-	American Iron and Steel Institute
DIN	-	Kratice njemačkog standarda i istoimenog instituta <i>Deutsches Institut für Normung</i>
EN	-	Europska norma
ISO	-	Međunarodna organizacija za standardizaciju
HRN	-	Hrvatske norme

1. UVOD

Tema ovog diplomskog rada je Ispitivanje materijala magnetnim česticama. Ispitivanje magnetnim česticama jedna je od metoda ispitivanja materijala bez razaranja. Metode ispitivanja materijala bez razaranja koriste se u svrhu utvrđivanja svojstava materijala i otkrivanja različitih vrsta nedostataka, a da se pritom ne naruši funkcionalnost ispitivanog predmeta. Cilj metoda bez razaranja je pronaći nedostatke na objektima prije nego postanu opasne za rad, te uzrokuju ozbiljne probleme i havarije.

Magnetska metoda ispitivanja relativno je jednostavna, jeftina i brza metoda za primjenu, te priprema površine nije tako kritična kao što je za neke druge NDT metode. Upravo te karakteristike čine ju jednom od najčešće korištenih NDT metoda. S druge strane magnetskom metodom ispituju se svojstva feromagnetičnih materijala, što je najveći nedostatak ove metode. Sve ove teme biti će detaljno obrađene u radu.

Rad se sastoji od dva dijela, teorijskog i eksperimentalnog. U teorijskom dijelu pobliže je opisana magnetska metoda ispitivanja materijala, počevši od povijesti metode i samih početaka, nastavno na fizikalne osnove magnetizma, te postupke ispitivanja. Bitan dio ispitivanja je i poznavanje normi i kriterija prihvatljivosti, te je i to jedna od tema koja je obrađena u radu.

Eksperimentalni dio sastoji se od ispitivanja dijelova parne turbine, Jugoturbina 50 MW u TE-TO Ljubljana u sklopu remontnih radova Tvornice turbina Karlovac. Ispitani su svi vitalni dijelovi turbine, a dijelovi koji će biti obrađeni u radu su gornja i donja polovica kućišta turbine, razdijelne stijene, zakretna dijafragma i kućište brzozatvarajućeg ventila.

Na kraju rada nalaze se izvještaji magnetnog ispitivanja Tvornice turbina Karlovac.

2. POVIJEST MAGNETNE METODE

Osnova magnetne metode ispitivanja materijala je magnetizam.

Magnetizam je skup pojava povezanih s magnetskim poljem i s promjenama svojstava tvari u magnetskom polju. [1]

Prvi put ovaj fenomen zabilježen je u antičkoj Grčkoj. Točnije, Tales iz Mileta je zapazio da mineral magnetit privlači željezne predmete. Nakon njega, Platon je zabilježio da magnet omogućava željeznim predmetima privlačenje drugih željeznih predmeta. [1] Kasnije su Bergmann, Becquerel i Faraday otkrili da je sva materija uključujući tekućine i plinove bila pod utjecajem magnetizma, no tek su rijetki reagirali u značajnijem obimu.

Najranija poznata uporaba magnetizma u svrhu pregleda nekog objekta, dogodila se već 1868. godine. U tom slučaju, magnetiziranjem cijevi i zatim klizanjem magnetskog kompasa po duljini cijevi provjeravano je ima li cijev topa nedostataka. Ovi prvi ispitivači mogli su locirati nedostatke u bačvama praćenjem igle kompasa. Ovo je bio prvi oblik ispitivanja bez razaranja magnetskom metodom ali taj izraz nije se uobičajeno koristio sve do negdje perioda nakon Prvog svjetskog rata. [2]

Početakom 1920-ih William Hoke je shvatio da se magnetske čestice, odnosno obojeni metal strugotine, mogu koristiti s magnetizmom kao sredstvo za lociranje nedostataka. Hoke je otkrio da površinski ili potpovršinski nedostatak u magnetiziranom materijalu uzrokuje iskrivljenje magnetskog polja i njegovo proširenje izvan tog dijela. Na ovo otkriće je naišao u radioni sa strojevima. Primijetio je da metalno brušenje dijelova od tvrdog čelika, koje drži magnetska stezna glava dok se bruse, oblikuje uzorke na površini dijelova koji odgovaraju pukotinama na površini. Nanošenje finog feromagnetnog pudera na dijelove uzrokovao je nakupljanje praha preko nedostataka i stvorio vidljivu indikaciju¹ [2]

Početakom 1930-ih, kontrola magnetnim česticama brzo je zamijenila metodu ulja i bjelila, što je bio rani oblik kontrole tekućim penetrantom, kao metoda izbora željezničke industrije za kontrolu kotlova parnih strojeva, kotača, osovina i tračnica. [2]

¹ Indikacija je u ispitivanju bez razaranja, odgovor ili dokaz o diskontinuitetu u stanju materijala ili strukturi.

Prvi Europljanin koji je napravio detektor pukotina s magnetnim česticama bio je talijan Giraudi. Njegov stroj iz 1932. godine nazvan je *Metalloscopio*. [3]

Pravu industrijsku primjenu napravili su Victor de Forest i Foster Doane, koji su 1934. godine osnovali tvrtku pod imenom *Magnaflux*, poznatu u cijelom svijetu do danas. [3]

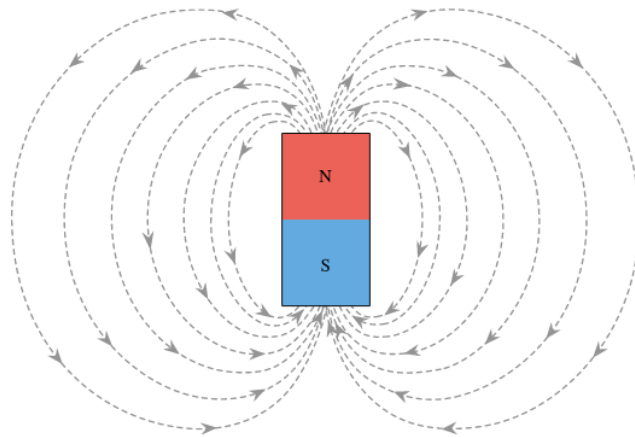


Slika 1. Elektromagnetski uređaj za ispitivanje materijala iz 1928. godine, kojeg je izgradila kompanija Equipment and Engineering Company Ltd. (ECO) iz Stranda u Engleskoj. [2]

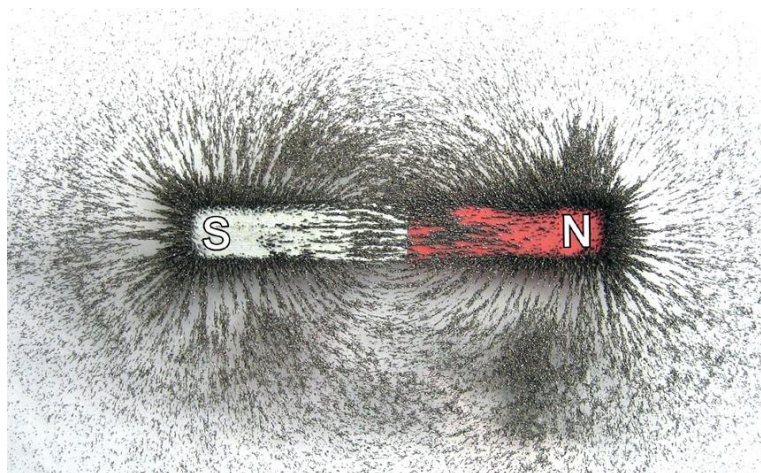
3. FIZIKALNE OSNOVE MAGNETIZMA

3.1 Magnetsko polje

Prostor u kojem djeluju magnetske sile zove se magnetsko polje. Magnetsko polje prikazujemo magnetskim silnicama (linijama) koje opisuju smjer i veličinu djelovanja sile privlačenja. Magnetske silnice u prirodi ne postoje, već su grafički pogodne za prikazivanje magnetskog polja. Stvarni raspored magnetskih silnica najjednostavnije se može prikazati željeznom piljevinom. Djelovanje bilo kojeg pola magneta na sitne čestice željezne piljevine stvara geometrijske oblike slične silnicama električnog polja, te otuda grafički prikaz silnicama.



Slika 2. Grafički prikaz magnetskih silnica [4]



Slika 3. Željezne strugotine stvaraju uzorak oko magneta [5]

Magnetski polovi su mjesta sa najvećom koncentracijom silnica, koji se nalaze na suprotnim stranama magneta i nazivaju se južni i sjeverni pol. Istoimeni polovi se odbijaju, a raznoimeni se privlače.

Pol magneta nikad se ne pojavljuje samostalno. Ako se magnetski štap presiječe na polovici, ne dobiva se na jednoj polovici sjeverni, a na drugoj južni pol, već svaka polovica postaje magnet koji sadrži oba pola na svojim završecima. To temeljno iskustvo ukazuje da ne postoji neki "magnetski naboj", već je pojava magneta prouzrokovana na drugi način. [6]

H.C. Ørsted je 1820. godine otkrio da se u okolišu vodiča kroz koji teče električna struja stvara magnetsko polje. To je bilo značajno otkriće jer je nađena veza između magnetizma i elektriciteta, te je otkrivena mogućnost stvaranja magnetskih polja električnom strujom.

3.2 Magnetske veličine

Magnetski tok može se definirati kao skup svih silnica koje teku unutar magnetskog polja. Što je magnetsko polje jače to je veći i magnetski tok. Magnetski tok se označava simbolom Φ , a mjerna jedinica je Weber (Wb)

$$\Phi = B \cdot S \tag{3.1}$$

Gdje je B magnetska indukcija, a S ravna površina okomita na smjer magnetske indukcije.

Elektromagnetski utjecaj između dva tijela koji se događa bez fizičkog dodira naziva se indukcija. To podrazumijeva promjenu električnog ili magnetskog stanja tijela na kojeg se djeluje. Na primjer, situacija u kojoj permanentni magnet utječe na komad nemagnetiziranog željeza tako da ga magnetizira, predstavlja primjer indukcije. U ovom slučaju, unutar željeznog materijala postoje sitni magnetski dijelovi poznati kao magnetske domene ili magnetski dipoli. Kada permanentni magnet stvori magnetsko polje, ove magnetske domene se usmjeravaju prema određenom rasporedu umjesto dosadašnjeg slučajnog rasporeda. Kao rezultat toga, sjeverni pol permanentnog magneta privlači južni pol magnetskih domena u uzorku željeza, čime se cijeli uzorak postupno magnetizira. Nemagnetizirano željezo postaje magnet, pol tog magneta je suprotan polu koji ga je inducirao i željezo - novi magnet bit će privučeno. [6]

Magnetizirani materijali se međusobno razlikuju prema svojoj sposobnosti za indukciju magnetskog polja. Ova sposobnost koncentriranja magnetskog toka naziva se *permeabilnost* i označava se simbolom μ . Materijali koji se lako magnetiziraju imaju visoku permeabilnost i nazivaju se feromagnetni materijali. Što je veća permeabilnost materijala, to će jačina magnetskog polja (označena kao gustoća silnica B) biti veća u tom materijalu kada je pod utjecajem vanjskog magnetskog polja. Gustoća silnica B se također naziva *magnetska indukcija*.

Magnetska indukcija B je definirana relacijom:

$$B = \frac{F}{I \cdot l} \tag{3.2}$$

Amperova sila (označena kao F) djeluje na vodič kroz koji teče struja jačine I kada vodič duljine l presijeca magnetske silnice B . Ovdje je bitna interakcija između struje i magnetskog polja. Umnožak I (jačina struje) i l (duljina vodiča) naziva se elementom struje. Jedinica magnetske indukcije je Tesla (T).

Magnetska indukcija može se definirati i sljedećom relacijom:

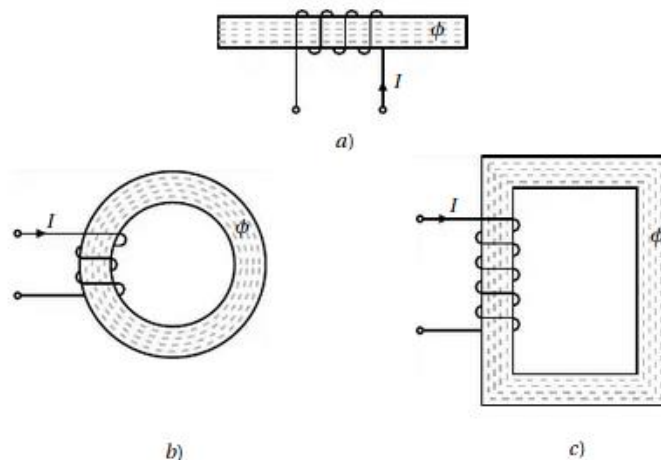
$$B = \mu \cdot H \quad (3.3)$$

Prema tome je jakost magnetskog polja H povezana s magnetskom indukcijom B , preko *permeabilnosti* materijala.

Magnetska permeabilnost je fizikalna veličina koja opisuje magnetsku propusnost tvari. Umnožak je relativne magnetske permeabilnosti μ_r i magnetske permeabilnosti vakuuma μ_0 . [1]

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r \quad (3.4)$$

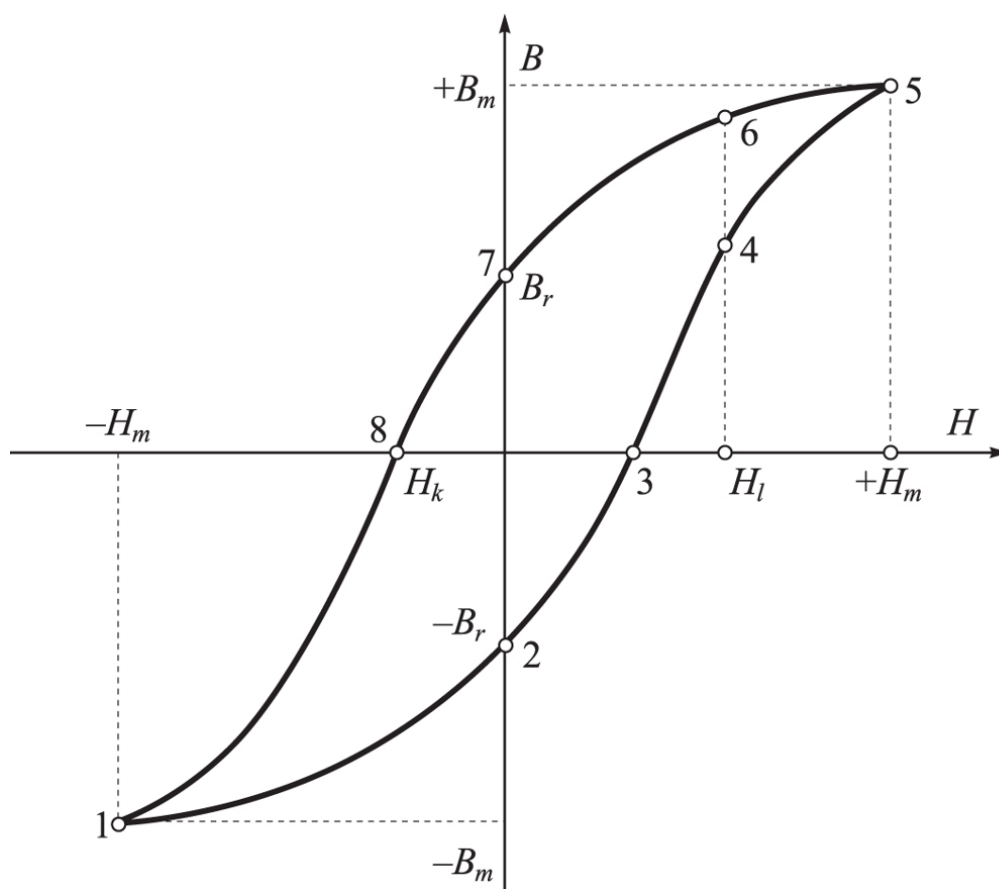
Vrijednosti relativne permeabilnosti μ_r za feromagnetne materijale kreću se između 100 i 190 000. Zbog visoke permeabilnosti feromagnetni materijali koriste se kao jezgre elektromagneta. Ako je veličina indukcije u svakoj točki promatranog prostora jednaka, magnetsko polje je homogeno. Polje unutar jezgre približno je homogeno, a na krajevima jezgre i izvan nje nije homogeno. Približno homogeno polje duž čitave jezgre postiže se izvedbom feromagnetne jezgre u obliku prstena. [6]



Slika 4. Magnetsko polje: a) ravnog vodiča b) prstena c) okvira [6]

3.3 Magnetska histereza

Magnetska histereza je pojava kašnjenja magnetske indukcije u odnosu na promjenu jakosti magnetskog polja. Ova pojava ovisi o feromagnetnim materijalima u kojima se magnetsko polje stvara. Histereza je manja u slučaju mekog željeza (kao što su slitine FeNi), dok je veća kod tvrdog željeza (poput ugljičnih čelika). Gubici nastali uslijed magnetske histereze obuhvaćaju dio energije vanjskog magnetskog polja koji se u feromagnetnim materijalima nepovratno transformira u druge oblike energije, uglavnom u obliku topline. [1]



Slika 5. Petlja histereze [1]

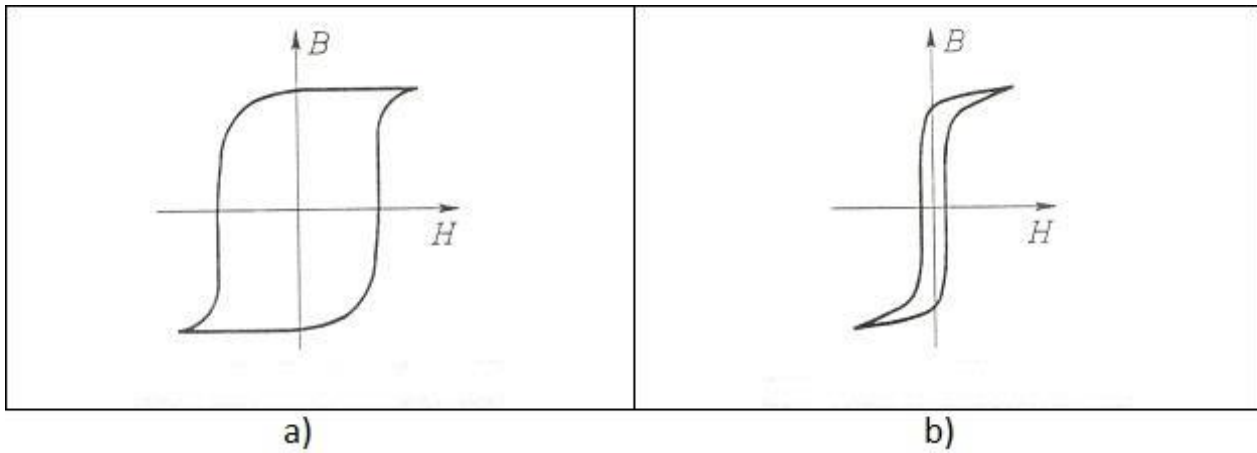
Na prikazanom grafikonu (slika 5) vidimo petlju histereze, što je simetrična zatvorena krivulja koja se formira tijekom izmjeničnog magnetiziranja materijala. Površina unutar

ove petlje je proporcionalna utrošenoj energiji potrebnoj za jedan ciklus promjene magnetizacije. Što je petlja magnetske histereze uža, to su gubici manji.

Kada se magnetsko polje mijenja od minimalne vrijednosti ($-H_m$) do maksimalne vrijednosti ($+H_m$) i obrnuto, magnetska indukcija se povećava od $-B_m$ do $+B_m$ duž grane krivulje 1–2–3–4–5, a smanjuje se od $+B_m$ do $-B_m$ duž grane 5–6–7–8–1. Na primjer, vrijednost jakosti magnetskog polja H_I odgovara magnetskoj indukciji B_4 tijekom prvog puta i B_6 tijekom drugog puta. To znači da je vrijednost magnetske indukcije niža prilikom magnetiziranja materijala i viša prilikom demagnetizacije. Ako nakon postizanja točke 5 smanjimo jakost magnetskog polja H na nulu, magnetska indukcija B_r (točka 7) će ostati u materijalu. Ova preostala magnetska indukcija naziva se remanencija. [1]

Remanencija (označena kao B_r) predstavlja magnetsku indukciju koja ostaje u materijalu nakon što je vanjsko magnetsko polje prestalo djelovati. Vrijednost remanencije varira ovisno o vrsti materijala i može se kretati od 0,2 T do oko 2 T. [1]

Koercitivna sila (označena kao H_k) je jakost magnetskog polja potrebna da bi se poništila remanencija, suprotnog smjera u odnosu na jakost magnetskog polja koje je uzrokovalo magnetiziranje. Meki magnetski materijali imaju obično veće koercitivne sile od 0,3 A/m, dok tvrdi materijali imaju manje od 800 kA/m. Na primjer, dobar trajni magnet ima visoku remanenciju i koercitivnu silu, što rezultira širom petljom histereze. Za primjene kao što su magnetski krugovi u električnim motorima, generatorima i transformatorima, željeno je postići visoku maksimalnu magnetsku indukciju s uskom petljom kako bi gubici zbog histereze bili manji. Za specijalne primjene kao što su magnetske jezgre za pojačala i slično, potrebna je još uža i strmija petlja, što znači visoku remanenciju i nisku koercitivnu silu. [1]



Slika 6. Petlja histereze : a) magnetsko tvrdi materijali b) magnetsko meki materijali [7]

Dielektrična histereza se odnosi na usporeni porast polarizacije dielektrika pri visokim električnim poljima te zadržavanje dijela polarizacije nakon prestanka djelovanja električnog polja. [1]

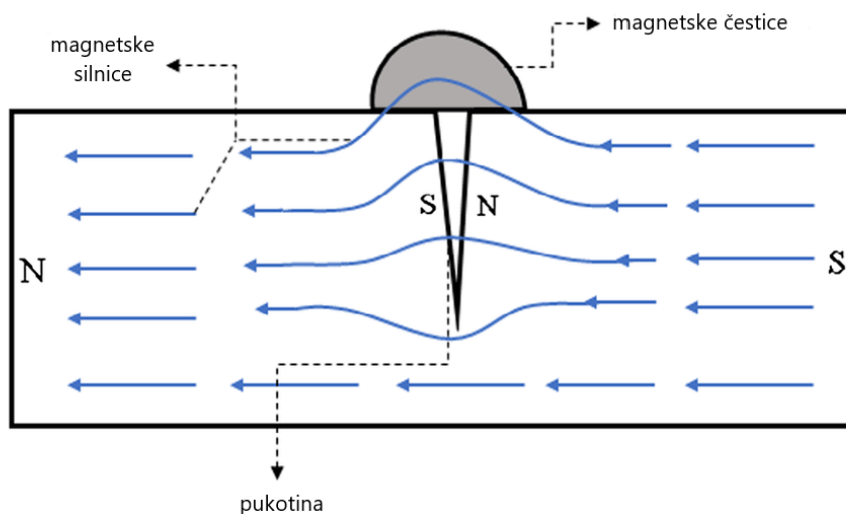
Elastična histereza je fenomen sporog širenja elastičnog materijala pod utjecajem vanjske sile i kasnijeg postupnog povratka na prvobitnu formu nakon smanjenja te sile. To znači da se deformacija materijala zadržava u odnosu na naprezanje. [1]

4. OSNOVNI PRINCIPI KONTROLE MAGNETNIM ČESTICAMA

Teorijski gledano, ispitivanje magnetnim česticama je relativno jednostavan koncept. Može se smatrati kombinacijom dvije metode kontrole bez razaranja: ispitivanja magnetnim česticama i vizualnog ispitivanja. Magneti imaju magnetske silnice koje se kreću kroz magnet i oko njega. Razmotrimo slučaj šipkastog magneta, koje ima magnetsko polje unutar i oko magneta. Svako mjesto gdje magnetska silnica izlazi ili ulazi u magnet naziva se pol. Pol gdje magnetska silnica izlazi iz magneta naziva se sjeverni pol, a pol gdje silnica ulazi u magnet naziva se južni pol. Magnetsko polje izlazi iz sjevernog pola i ponovno ulazi kod južnog pola.

Ako postoji pukotina u materijalu, magnetske linije fluksa moraju preskočiti razmak u materijalu. Magnetsko polje se širi kada naiđe na mali zračni razmak koji je stvoren pukotinom jer zrak ne može podržati toliko magnetskog polja po jedinici volumena kao što to može magnet. Kada se polje proširi, izgleda kao da istječe iz materijala i stoga se naziva polje curenja fluksa.

Prvi korak u ispitivanju magnetskim česticama je magnetizacija komponente koja se treba ispitati. Ako su prisutni nedostaci na ili blizu površine, ti će nedostaci stvoriti curenje magnetskog fluksa. Nakon što je komponenta magnetizirana, željezne čestice, bilo u suhom ili tekućem stanju, nanose se na površinu magnetiziranog dijela. Čestice će biti privučene i formirat će nakupine na područjima curenja magnetskog fluksa, čime se stvara vidljiv pokazatelj koji ispitivač može otkriti.



Slika 7. Ilustracija osnovnog principa magnetskog ispitivanja

5. STRUJA MAGNETIZACIJE

Električna struja često se koristi za uspostavljanje magnetskog polja u komponentama tijekom kontrole magnetnim česticama. Izmjenična struja i istosmjerna struja osnovni su tipovi struje koji se uobičajeno koriste. Struje se primjenjuju od jednofazne struje od 110 volti do trofazne struje od 440 volti prilikom stvaranja električnog polja u komponenti. Protok struje često se modificira kako bi se osiguralo odgovarajuće polje unutar dijela. Vrsta struje koja se koristi može utjecati na rezultate kontrole, stoga će se ukratko razmotriti uobičajeni tipovi struja koje se koriste:

1. Istosmjerna struja (DC)
2. Izmjenična struja (AC)
3. Poluvalna ispravljena izmjenična struja (HWAC)
4. Punovalna ispravljena izmjenična struja (FWAC)
5. Višefazna ispravljena izmjenična struja
6. Pulsirajuća struja

5.1 Istosmjerna struja (DC)

Istosmjerna struja (DC) neprekidno teče u jednom smjeru pri konstantnom naponu. Baterija je najčešći izvor istosmjerne struje. Istosmjerna struja je vrlo poželjna pri ispitivanju nedostataka ispod površine jer generira magnetsko polje koje prodire dublje u materijal. U feromagnetnim materijalima, magnetsko polje koje generira istosmjerna struja obično prodire kroz cijeli presjek komponente. Suprotno tome, polje koje se stvara korištenjem izmjenične struje koncentrira se u tankom sloju na površini komponente. [2]

5.2 Izmjenična struja (AC)

Budući da je izmjenična struja dostupna u većini objekata, prikladno ju je koristiti za ispitivanje magnetnim česticama i najčešće se i koristi upravo ova vrsta struje. Međutim, kada se AC koristi za induciranje magnetskog polja u feromagnetnim materijalima, magnetsko polje će biti ograničeno na usko područje na površini komponente. Ovaj fenomen poznat je kao *efekt kože* i javlja se zbog promjene

magnetskog polja koje generira vrtložne struje u ispitivanom objektu. Te vrtložne struje stvaraju magnetsko polje koje se suprotstavlja primarnom polju, što smanjuje ukupan magnetski tok ispod površine. Stoga se preporučuje korištenje izmjenične struje samo kada je ispitivanje ograničeno na nedostatke na površini. [2]

5.3 Poluvalna ispravljena izmjenična struja (HWAC)

Kod jednofazne izmjenične struje koja prolazi kroz ispravljač, struja može teći samo u jednom smjeru. Polovica svakog ciklusa je blokirana kako bi se dobila jednosmjerna, pulsirajuća struja. Struja raste od nule do maksimuma, nakon čega se vraća na nulu. Tijekom vremena kada je obrnuti ciklus blokirana, nema struje koja teče. Pulsiranje poluvalne ispravljene izmjenične struje (HWAC) ponavlja se istom brzinom kao i neispravljena struja (tipično 60 Hz). Pulsiranje HWAC-a pomaže u formiranju indikacija magnetskih čestica vibriranjem čestica i davanjem dodatne pokretljivosti. Ova dodatna pokretljivost posebno je važna kada se koriste suhe čestice. Zabilježeno je da pulsiranje značajno poboljšava osjetljivost pregleda. HWAC se najčešće koristi za napajanje elektromagnetskih ispitivača. [2]

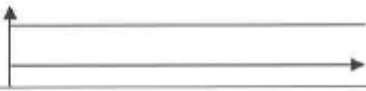
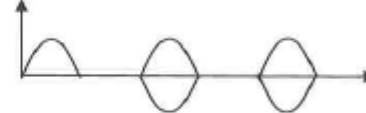



5.4 Punovalna ispravljena izmjenična struja (FWAC)

Punovalno ispravljanje invertira negativnu struju u pozitivnu struju umjesto da je blokira. To rezultira pulsirajućim istosmjernim tokom bez intervala između impulsa. Obično se provodi filtriranje kako bi se ublažila oštra promjena polariteta u ispravljenom toku. Iako pokretljivost čestica nije jednako dobra kao kod poluvalne izmjenične struje zbog smanjenja pulsiranja, dubina prodiranja magnetskog polja ispod površine se poboljšava. [2]

5.5 Višefazna ispravljena izmjenična struja

Trofazna struja se često koristi za napajanje industrijske opreme jer ima povoljnije karakteristike prijenosa energije i opterećenja vodova. Ova vrsta električne struje također je vrlo poželjna za ispitivanje magnetnim česticama jer, nakon što se ispravi i

filtrira, nastala struja izuzetno sliči istosmjernoj struji. Stacionarna oprema opremljena s magnetnim česticama, a povezana s trofaznom izmjeničnom strujom, obično će omogućiti magnetiziranje s izmjeničnom ili istosmjernom strujom (trofazno ispravljeni puni val). Ovo pruža ispitivačima prednosti oba tipa struja. [2]

Vrste struje	Ovisnost jakosti o vremenu
Istosmjerna struja	
Izmjenična struja	
Poluvalno ispravljena izmjenična jednofazna struja	
Punovalno ispravljena izmjenična jednofazna struja	
Punovalno ispravljena trofazna struja	

Slika 8. Vrste struja magnetizacije [10]

6. TEHNIKE MAGNETIZACIJE

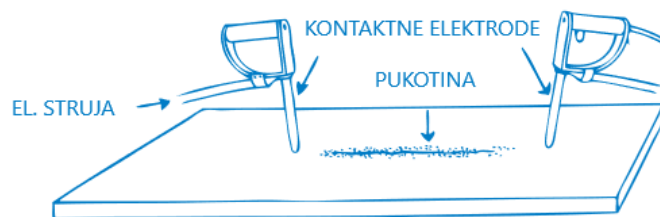
Postoji više tehnika magnetizacije, a koja tehnika će se koristiti ovisi o vrstama očekivanih nepravilnosti na ispitivanom strojnom dijelu, kakva je oprema za ispitivanje na raspolaganju, te o geometriji samog objekta.

Koristi se jedna ili više od sljedećih pet tehnika magnetizacije:

1. Magnetizacija pomoću kontaktnih elektroda (kružna magnetizacija)
2. Magnetizacija zavojnicom (uzdužna magnetizacija)
3. Magnetizacija u uređaju za magnetiziranje (kružna magnetizacija)
4. Magnetizacija jarmom
5. Tehnika višesmjernog magnetiziranja

6.1 Magnetizacija pomoću kontaktnih elektroda (kružna magnetizacija)

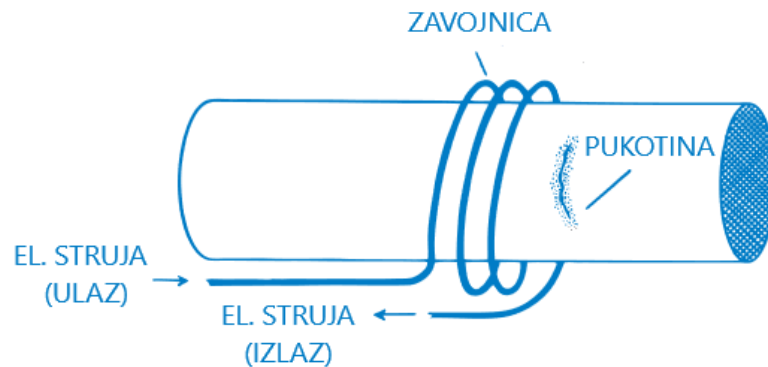
Ovom tehnikom magnetizacija se postiže prijenosnim električnim kontaktnim elektrodama pritisnutim na površinu u području koje se ispituje. Koristi se istosmjerna struja magnetiziranja. Razmak elektroda ne smije biti veći od 200 mm. Mogu se upotrijebiti kraći razmaci za prilagođavanje geometrijskim ograničenjima područja koje se ispituje ili za povećanje osjetljivosti, ali razmaci između nastavaka manji od 75 mm obično nisu praktični zbog nakupljanja čestica oko elektroda. Vrhovi elektroda moraju biti čisti i neoštećeni. Ako je napon otvorenog kruga izvora struje magnetiziranja veći od 25 V, preporučuju se olovni, čelični ili aluminijski (umjesto bakreni) vrhovi kako bi se izbjegle naslage bakra na dijelu koji se ispituje. Ova tehnika magnetizacije najčešće se primjenjuje za ispitivanje velikih i geometrijski složenih oblika, u ostalim slučajevima se izbjegava korištenje ove tehnike zbog nepraktičnosti. [9]



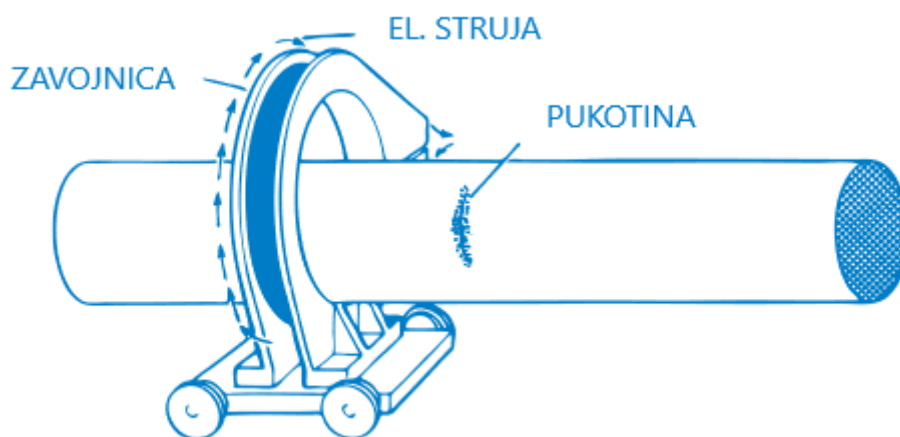
Slika 9. Magnetizacija pomoću kontaktnih elektroda [11]

6.2 Magnetizacija zavojnicom (uzdužna magnetizacija)

Za ovu tehniku, magnetizacija se postiže propuštanjem struje kroz fiksnu zavojnicu s više zavoja (ili kabela) koja je omotana oko dijela koji se ispituje. To stvara uzdužno magnetsko polje paralelno s osi zavojnice. Ako se koristi fiksna, prethodno namotana zavojnica, strojni dio se tijekom pregleda postavlja blizu bočne strane zavojnice. Ovo je od posebne važnosti kada je otvor svitka više od 10 puta veći od površine presjeka dijela. Za magnetiziranje dijelova koji se ispituju ovom tehnikom, koristi se istosmjerna struja. Strojni dijelovi većeg promjera i duljine ispituju se po segmentima.



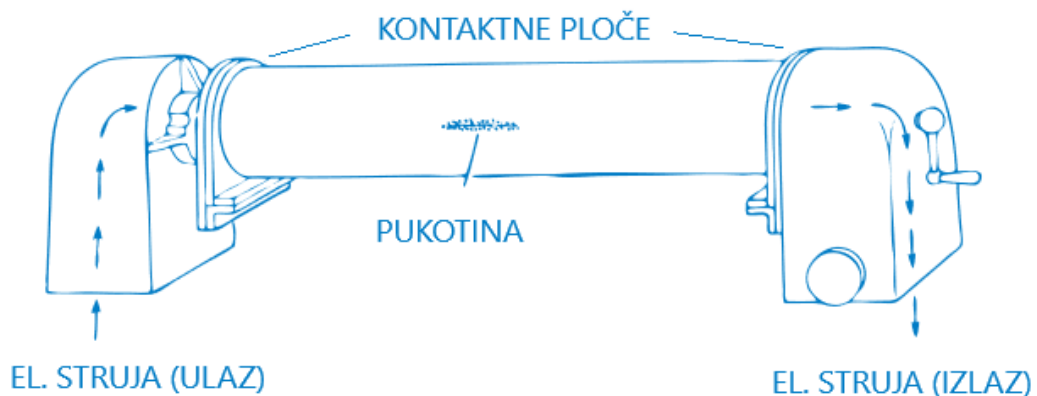
Slika 10. Magnetizacija zavojnicom [11]



Slika 11. Magnetizacija krutom zavojnicom [11]

6.3 Magnetizacija u uređaju za magnetizaciju

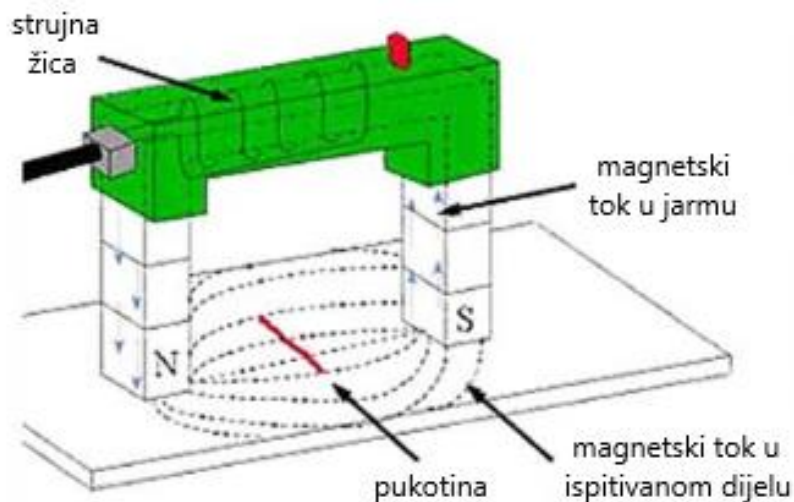
Ovom tehnikom magnetizacija se postiže propuštanjem struje kroz strojni dio koji se ispituje. To stvara kružno magnetsko polje koje je približno okomito na smjer struje u ispitivanom strojnom dijelu. Koristi se istosmjerna struja magnetiziranja. Ova tehnika koristi se za ispitivanje unutarnjih površina cilindričnih ili prstenastih dijelova putem središnjeg vodiča. Metoda središnjeg vodiča također je primjenjiva na ispitivanje vanjskih površina ovakvih oblika. Kada se provode ispitivanja na velikim cilindrima, vodič se postavlja blizu unutarnje površine cilindra. U slučaju da vodič nije centralno postavljen, opseg cilindra se ispituje korak po korak. Za induciranje kružnog magnetiziranja koriste se šipke ili kabeli koji prolaze kroz provrt cilindra. [9]



Slika 12. Magnetizacija u uređaju za magnetizaciju [11]

6.4 Magnetizacija jarmom

Za ovu tehniku koriste se elektromagnetski jarmovi izmjenične ili istosmjerne struje ili trajni magnetski jarmovi. Uzdužno magnetsko polje može se inducirati u ispitnom objektu ili u ograničenom području ispitnog objekta pomoću ručnog jarma. Jaram je komad mekog magnetskog materijala u obliku slova U, čvrst ili laminiran oko kojeg je namotana zavojnica kojom prolazi struja magnetizacije.

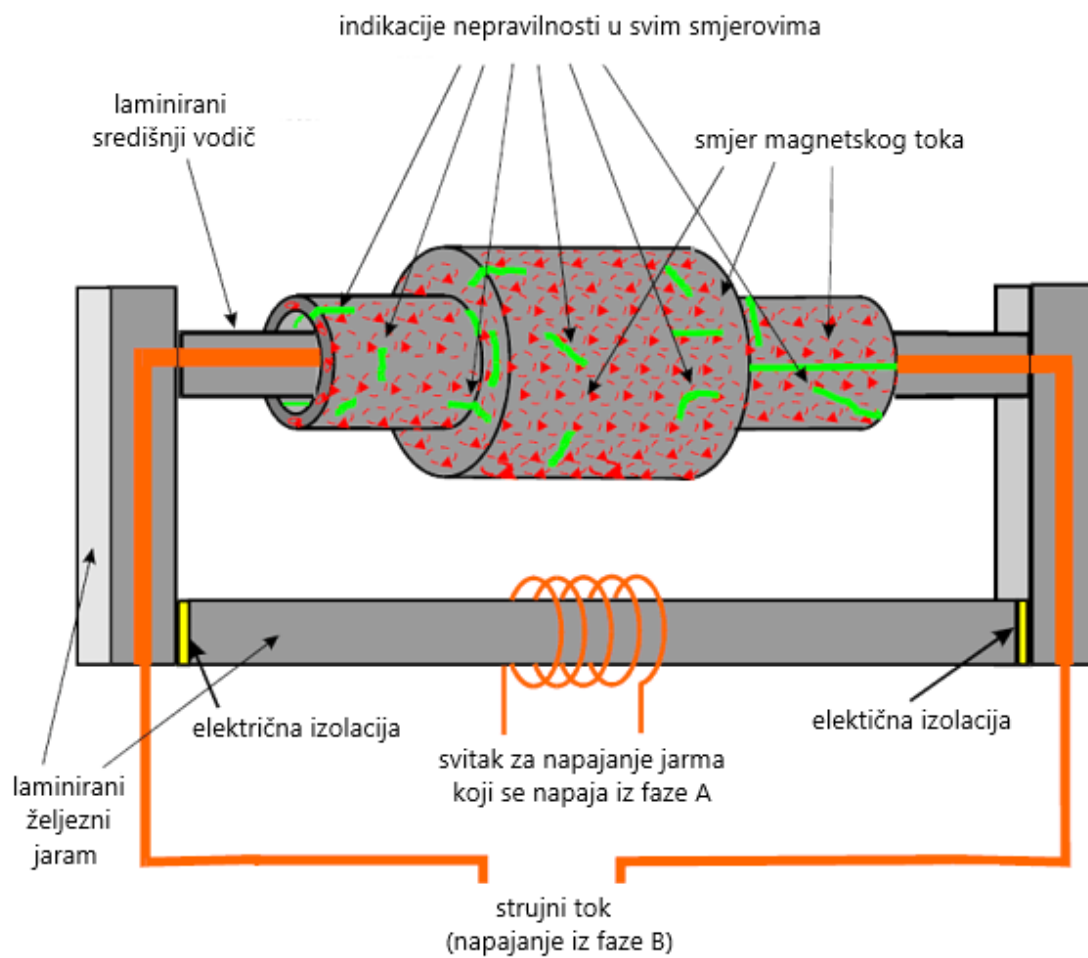


Slika 13 Magnetizacija jarmom [2]

6.5 Tehnika višesmjernog magnetiziranja

Za ovu tehniku, magnetiziranje se postiže pomoću agregata visoke struje koji rade s čak tri strujna kruga koji se napajaju jedan po jedan u brzom slijedu. Učinak ovih brzo izmjeničnih struja magnetiziranja je stvaranje ukupne magnetizacije dijela u više smjerova. Kružna ili uzdužna magnetska polja mogu se generirati u bilo kojoj kombinaciji korištenjem različitih tehnika opisanih u gore spomenutim tehnikama uzdužne i kružne magnetizacije.

Za magnetiziranje dijela smije se koristiti samo trofazna struja. Adekvatnost magnetskog polja mora se pokazati korištenjem umjetnih podložaka za pukotine ili indikatora polja magnetskih čestica u obliku torte. Gaussmetar s Hallovim učinkom ne smije se koristiti za mjerenje prikladnosti polja za tehniku višesmjernog magnetiziranja. Odgovarajuće polje mora se dobiti u najmanje dva gotovo okomita smjera, a intenziteti polja moraju biti uravnoteženi tako da jakost polja u jednom smjeru ne nadjača jakost polja u drugom smjeru. Za područja u kojima se ne mogu dokazati odgovarajuće jakosti polja, upotrijebit će se dodatne tehnike magnetnih čestica kako bi se dobila potrebna dvosmjerna pokrivenost.



Slika 14. Tehnika višesmjernog magnetiziranja [12]

7. DEMAGNETIZACIJA

Nakon magnetske kontrole svi feromagnetni materijali zadržavaju remanenciju. Remanencija se odnosi na preostali magnetizam ili magnetsku indukciju u materijalu nakon što je izvor magnetskog polja uklonjen. Drugim riječima, to je magnetski učinak koji ostaje u materijalu čak i kada vanjsko magnetsko polje više nije prisutno. Kada se materijal izloži magnetskom polju, njegovi atomi se usklađuju i postaju privremeno magnetski orijentirani prema smjeru vanjskog polja. Međutim, kada se izvor magnetskog polja ukloni, neki atomi zadržavaju tu orijentaciju, što rezultira preostalim magnetizmom u materijalu. Remanencija je posebno važna u kontekstu feromagnetnih materijala kao što su čelik i željezo. Kada se ti materijali izlože magnetskom polju, postaju privremeno magnetizirani. Nakon uklanjanja izvora polja, dio te magnetizacije ostaje prisutan, što može utjecati na njihovo ponašanje i funkcionalnost. Iako remanencija ne utječe na mehanička svojstva objekta, postoji niz razloga zbog kojih se mora ukloniti:

- Proizvodi se međusobno privlače.
- Zaostale čestice mogu uzrokovati neželjenu hrapavost površine nakon postupaka poput bojanja ili galvanizacije.
- Problemi pri električnom zavarivanju zbog odstupanja zavarivačkog luka.
- Metalne strugotine mogu prijanjati za proizvode ili alate.
- Povećano trošenje ležajeva.
- Kvarovi i prekidi u automatiziranim obradnim procesima zbog prijanjanja materijala na opremu.

Da bi se riješili i spriječili takvi problemi, koriste se uređaji za demagnetizaciju tijekom procesa obrade ili nakon završne obrade i kontrole.

Demagnetizacija se u praksi obično provodi pomoću sustava koji koristi izmjenično padajuće magnetsko polje.

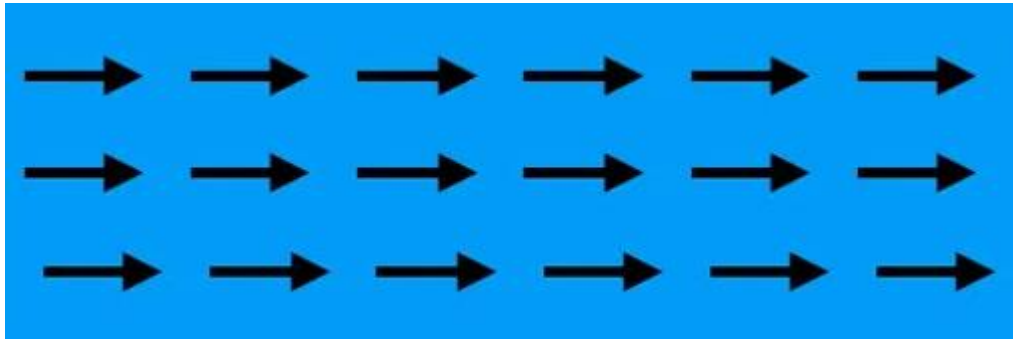
Postoje dva osnovna načina generiranja izmjeničnog padajućeg magnetskog polja:

1. **Demagnetizacija povećanjem udaljenosti:** Komponenta koja se treba demagnetizirati obično se provlači kroz tunel za demagnetizaciju s umjerenom i ravnomjernom brzinom ili preko demagnetizirajuće ploče ili jarma. Tijekom ovog procesa, izmjenično magnetsko polje postaje sve slabije kako se udaljenost

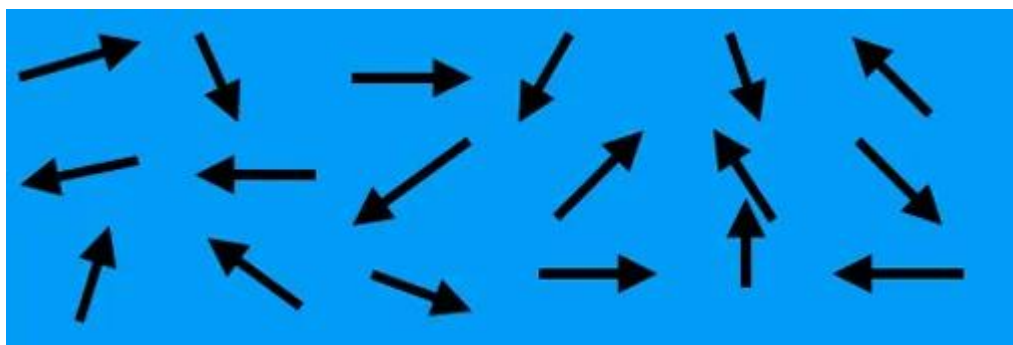
između komponente i izvora magnetskog polja povećava. Snaga demagnetizacije ovisi o intenzitetu generiranog magnetskog polja, dok dubina prodiranja ovisi o frekvenciji izmjeničnog magnetskog polja. Brzina kojom se komponenta može udaljiti od izmjeničnog polja također ovisi o frekvenciji. Važno je osigurati da komponenta ostane podložna dovoljnim vibracijama dok se intenzitet izmjeničnog polja smanjuje.

- 2. Demagnetizacija putem demagnetizacijskog impulsa:** Drugi pristup je statička demagnetizacija pomoću demagnetizacijskog impulsa. Tijekom ovog procesa komponenta ostaje nepomična, dok kontrolna jedinica koristi struju kako bi stvorila izmjenično magnetsko polje. Početno se izmjenično magnetsko polje postavlja na maksimalnu jakost, a zatim se postupno smanjuje sve do nulte razine.

Oba ova pristupa koriste izmjenično magnetsko polje kako bi postupno smanjila preostali magnetizam u materijalu. Odabir pristupa ovisi o specifičnim potrebama i karakteristikama materijala koji se demagnetizira. [13]



Slika 15. Magneztizirani materijal [14]



Slika 16. Demagnetizirani materijal [14]

7.1 Demagnetizacija izmjeničnom strujom

Metoda demagnetizacije putem izmjenične struje koristi posebno dizajniranu demagnetizacijsku zavojnicu. Kada se ovakva zavojnica napaja strujom koja prolazi kroz nju, stvara se magnetsko polje unutar ispitnog objekta smještenog unutar zavojnice. Zbog promjene smjera struje, polaritet induciranog magnetskog polja također se periodično mijenja. Kako se ispitni objekt izvlači iz zavojnice, magnetsko polje postupno slabi kako se objekt udaljava od zavojnice. Ključno je da se demagnetizacija ostvari tek kada ispitni objekt potpuno izađe iz područja utjecaja magnetskog polja koje je generirano strujom u zavojnici. Važno je napomenuti da će demagnetizacija biti uspješna samo ako ispitni objekt bude izvan utjecaja magnetskog polja kada se struja isključi. Ako se struja zaustavi dok je ispitni objekt još uvijek unutar djelovanja magnetskog polja, objekt može zadržati određenu razinu magnetizma. [15]

7.2 Demagnetizacija istosmjernom strujom

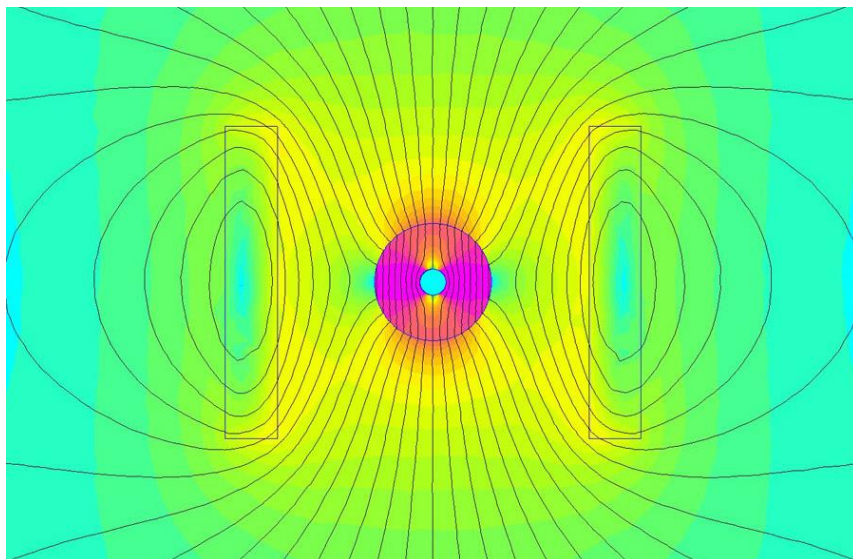
S obzirom na to da magnetsko polje koje generira izmjenična struja ne prodire duboko ispod površine materijala, potpuna demagnetizacija nekih ispitnih objekata može biti izazovna. To posebno vrijedi za velike, teške ili kompleksno oblikovane ispitne objekte. Da bi se demagnetizacija postigla, istosmjerna struja se može primijeniti uz pažljivo kontroliranje intenziteta struje i promjene smjera. Demagnetizacija istosmjernom strujom obično pruža temeljitije i učinkovitije rezultate od demagnetizacije putem izmjenične struje. Određena oprema za ispitivanje magnetskih čestica omogućuje demagnetizaciju pomoću istosmjerne struje. Preporučljivo je provoditi demagnetizaciju istosmjernom strujom na pojedinačnim ispitnim objektima, umjesto na grupama objekata. Za postupak demagnetizacije istosmjernom strujom, ispitni objekt se smješta unutar zavojnice koja je povezana s izvorom istosmjerne struje. Struja se podešava na vrijednost koja je barem jednaka, obično čak veća, od one kojom je ispitni objekt prvotno bio magnetiziran. Na toj početnoj vrijednosti provodi se magnetizirajući ciklus. Zatim se mijenja smjer struje, postupno smanjuje trenutna vrijednost i izvodi novi magnetizirajući ciklus. Ovaj proces promjene smjera i postupnog smanjivanja struje nastavlja se sve dok se ne postigne najniža vrijednost. Za optimalne rezultate u demagnetizaciji, zavojnica za demagnetizaciju trebala bi imati dovoljno velik promjer

kako bi ispitni objekt stao unutar nje. Ako se demagnetizacija manjeg ispitnog objekta provodi u većoj zavojnici, objekt treba postaviti bliže unutarnjoj stijenci ili kutu zavojnice, jer je sila demagnetizacije najjača u blizini zavojnice. [15]

7.3 Različite metode demagnetizacije ovisno o opremi za demagnetiziranje

7.3.1 Demagnetiziranje pomoću cikličke tunelske zavojnice

Ciklička tunelska zavojnica demagnetizira na principu da se smanjenje izmjeničnog polja postiže povećanjem udaljenosti, odnosno komponenta se mora ravnomjerno provući kroz zavojnicu. Područje iza zavojnice se naziva područje pražnjenja, koje je obično tri do šest puta veće od širine zavojnice, ovisno o geometriji komponente i otvoru zavojnice. Prednosti ovog pristupa su ekonomičnost i robusnost. Također, postiže se visoka propusnost i simetrično, homogeno polje demagnetizacije. Međutim, postoje i određeni nedostaci. Zahtijeva se dugačko područje pražnjenja kako bi se postigao željeni učinak. Jakost polja koju generira (manje od 30 kA/m) je relativno slaba do umjerena. Učinkovitost demagnetizacije ovisi o kretanju i obliku komponente koja se tretira. Ovaj postupak također troši dosta jalove snage i ima ograničenu učinkovitost.

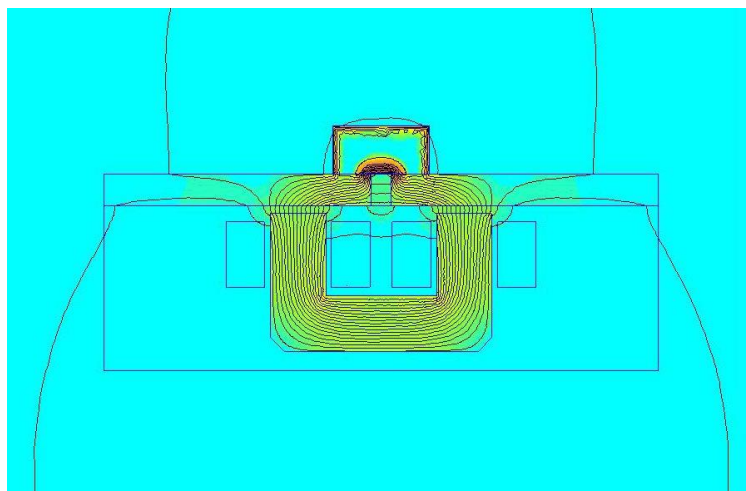


Slika 17. Raspodjela polja u klasičnoj tunelskoj zavojnici (druga komponenta je samo polovično u zavojnici) [13]

7.3.2 Demagnetiziranje pomoću ploče za demagnetiziranje u kontinuiranom radu

Pločasti demagnetizator koristi unutarnju zavojnicu s željeznom jezgrom ili jarmom. Magnetski tok se usmjerava preko jarma prema polnim pločama i koncentrira se u zračnom rasporu između tih polnih ploča. Ova koncentracija omogućuje postizanje vrlo visokih jakosti magnetskog polja u uskom području zračnog raspora. Međutim, efikasna dubina djelovanja ovog polja je ograničena na samo nekoliko milimetara, što ga čini prikladnim za obradu tankih komponenti. Slično kao kod tunelske zavojnice, smanjenje izmjeničnog polja postiže se kretanjem komponente ili povećanjem udaljenosti od polnih ploča. Prednosti ovog pristupa uključuju jednostavan dizajn i mogućnost postizanja visokih jakosti polja u blizini polarnih ploča (oko 100 do preko 160 kA/m) zahvaljujući koncentraciji magnetskog toka.

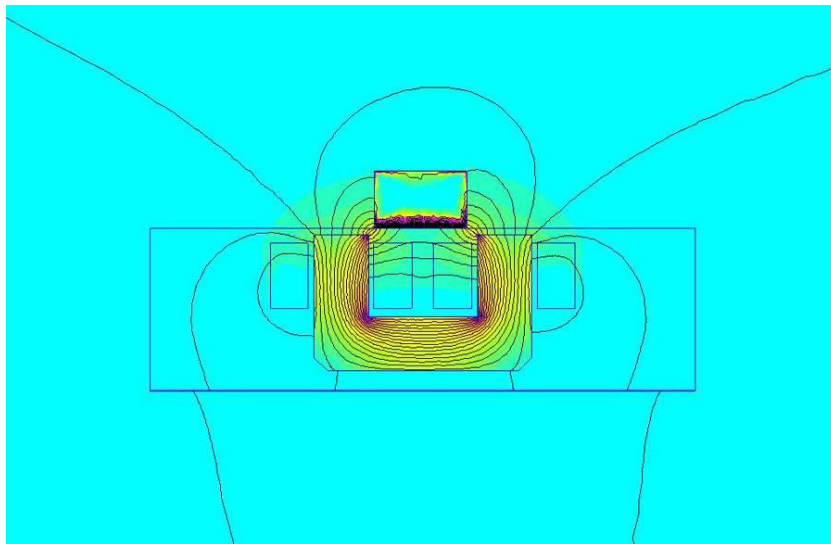
Međutim, postoje i određeni nedostaci: Polje nije homogeno, što može značajno utjecati na položaj i veličinu komponente. Zatim, učinak demagnetizacije ovisi o kretanju same komponente. Također, ovaj postupak je pogodan uglavnom za ravne komponente. Tipična dubina prodiranja magnetskog polja je ograničena (obično manje od 10 do 15 mm), a osjetljive ili polirane komponente mogu biti podložne ogrebotinama i oštećenjima. Izbor ovog sustava demagnetizacije treba se temeljiti na vrsti komponenti koje se obrađuju i specifičnim zahtjevima demagnetizacije. [13]



Slika 18. Raspodjela polja kod demagnetiziranja pomoću ploče (magnetsko polje je jako koncentrirano i malo.) [13]

7.3.3 Demagnetiziranje pomoću jarma

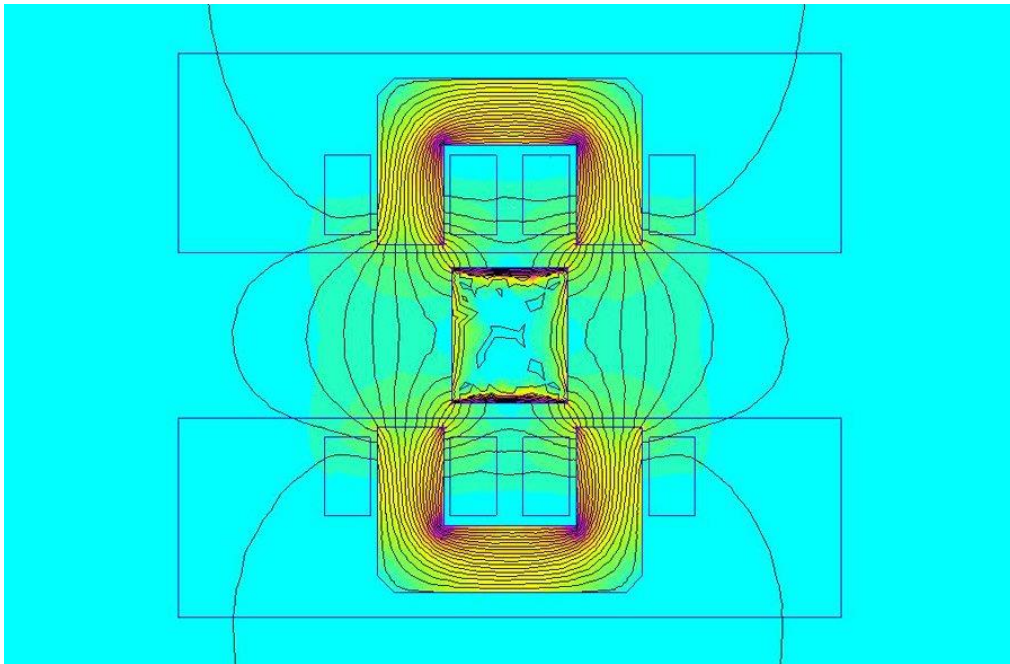
Demagnetizator jarma sličan je u osnovi pločastom demagnetizatoru, no bez polnih ploča. U ovom uređaju magnetski tok nije toliko koncentriran, što dovodi do veće razlike u tokovima. To rezultira nižom jakosti polja, ali pruža sveobuhvatniju demagnetizaciju u usporedbi s pločastim demagnetizatorom. Prednosti ovog pristupa uključuju jednostavan dizajn, visoku jakost polja u blizini polnih ploča (oko 40 do preko 100 kA/m) i sposobnost sveobuhvatnije demagnetizacije u usporedbi s pločastim demagnetizatorom. Osim toga, ovaj sustav nudi visoku kontinuiranu propusnost za rad. Međutim, postoje i nedostaci: Jakost polja često može biti nedovoljna za određene primjene. Kao i kod drugih metoda, učinak demagnetizacije ovisi o kretanju same komponente. Ovaj postupak je također uglavnom pogodan za ravne komponente. Tipična dubina prodiranja magnetskog polja je ograničena (obično manje od 15 do 20 mm). Obično nije moguće postići stopostotno trajanje isključivanja magnetskog polja. Ručno upravljanje može izložiti operatera previsokim vrijednostima magnetskog polja. Osjetljive ili polirane komponente mogu biti podložne ogrebotinama i oštećenjima. Kao i kod svakog sustava demagnetizacije, odabir ovog pristupa trebao bi se temeljiti na specifičnim potrebama i karakteristikama komponenti koje se obrađuju. [13]



*Slika 19. Raspodjela polja kod demagnetiziranja jarmom
(Zalutalo polje bolje okružuje komponentu nego pločasti demagnetizator pri maloj
snazi.) [13]*

7.3.4 Demagnetiziranje dvostrukim jarmom

Dvostruki demagnetizatori, ili demagnetizatori s dvostrukim jarmom, predstavljaju sustav demagnetizacije u kojem se koriste dva jarma: jedan se postavlja ispod komponente, a drugi iznad. Ovaj pristup često se koristi za veće komponente ili dijelove koji se nalaze u nosačima proizvoda, što omogućuje podešavanje visine jarma prema potrebama. Prednosti ovog pristupa uključuju visoku jakost polja u blizini polnih ploča (oko 40 do preko 100 kA/m) te visoku kontinuiranu propusnost za rad. Međutim, postoje i nedostaci. Homogeno polje postiže se samo za ravne ploče i komponente iste visine. Zahtijeva podešavanje visine u blizini obratka kako bi se postiglo optimalno djelovanje. Magnetsko polje prestaje djelovati nakon što komponenta napusti efektivni raspon djelovanja. Kao i kod drugih metoda, učinak demagnetizacije ovisi o kretanju same komponente. Obično nije moguće postići stopostotno trajanje isključivanja magnetskog polja. Jakost polja često može biti nedovoljna za određene primjene. Ovaj pristup je prikladan samo za ravne konstrukcije bez složenih oblika ili stupnjeva. [13]



Slika 20. Raspodjela polja kod demagnetiziranja dvostrukim jarmom [13]

8. OPREMA ZA ISPITIVANJE

Kao što je ranije objašnjeno, ključni zahtjev za otkrivanje nedostataka u feromagnetnim materijalima je usmjeravanje magnetskog polja tako da prolazi kroz dio materijala pod kutom između 45 i 90 stupnjeva. Nedostaci koji su postavljeni pod kutom od 90 stupnjeva u odnosu na magnetsko polje stvaraju najizraženije indikacije jer presijecaju veći dio magnetskog fluksa. Stoga, važno je da pravilno ispitivanje komponenti omogući uspostavljanje magnetskog polja u najmanje dvije različite orijentacije. Postoje različiti sustavi opreme za provođenje magnetske kontrole. Jedan od načina kategorizacije te opreme temelji se na njenom mobilnom svojstvu. Oprema se može podijeliti na prijenosne i stacionarne sustave, ovisno o svrsi korištenja. Dio opreme je projektiran tako da bude prijenosan, omogućavajući obavljanje kontrole na terenu. S druge strane, dio opreme je konstruiran da bude stacionaran, olakšavajući kontrolu u laboratorijskom okruženju ili unutar proizvodnih pogona. U nastavku će se detaljnije razmotriti oba sustava.[2]

8.1 Prijenosni sustav

Prijenosni sustav opreme za magnetsko ispitivanje dizajniran je da omogući provođenje inspekcija na terenu ili na lokacijama gdje nije dostupna stacionarna oprema. Ova vrsta opreme je mobilna i fleksibilna, omogućujući inženjerima i tehničarima da izvode kontrole na različitim mjestima, uključujući terenske lokacije, gradilišta, brodove, naftne platforme i slično.

8.1.1 Trajni magneti

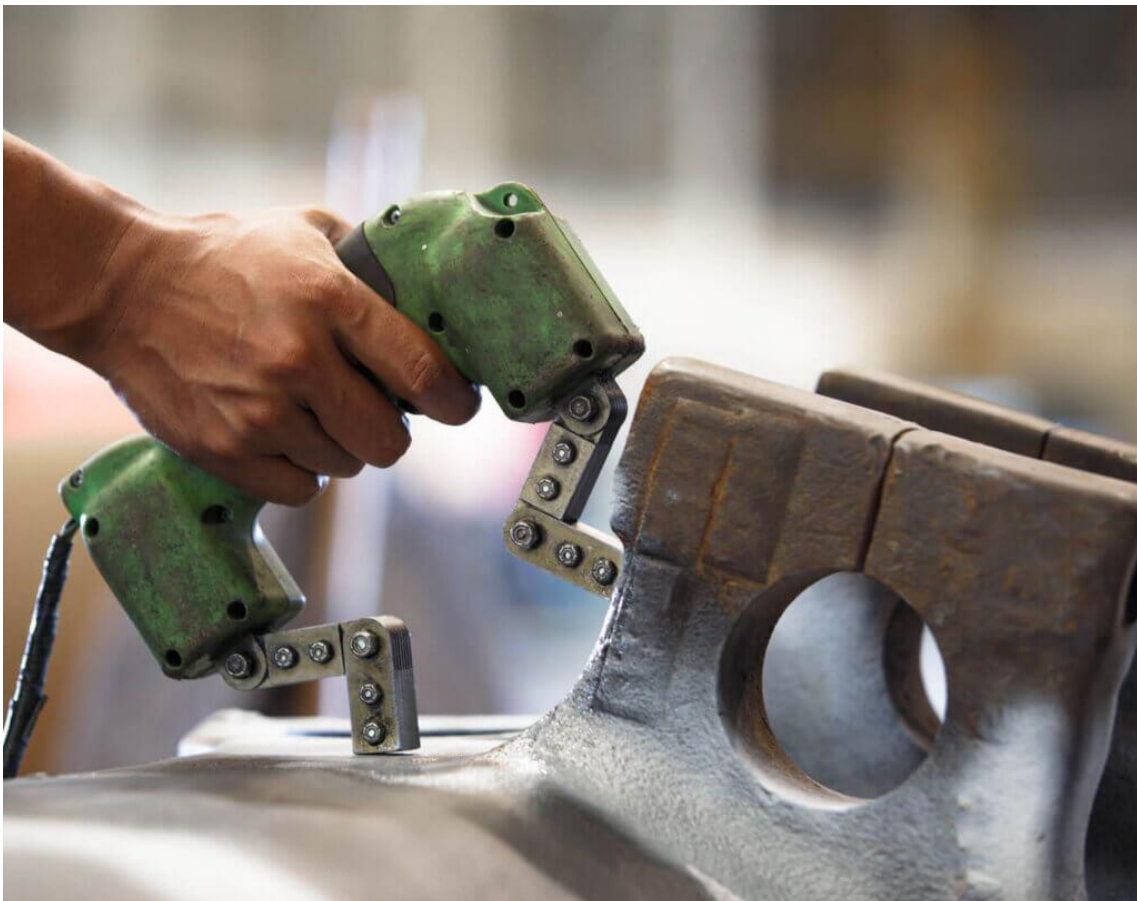
Trajni magneti se povremeno koriste kao izvor magnetskog polja za ispitivanje magnetskim česticama. Postoje dvije osnovne vrste trajnih magneta: šipkasti magneti i potkovičasti (jaramski) magneti. Ovi industrijski magneti su obično izrazito snažni i mogu zahtijevati značajnu silu kako bi se uklonili s metalnih površina. Budući da je izuzetno teško ukloniti magnete s komponenti koje se pregledavaju, a ponekad postavljanje magneta može biti opasno ili komplicirano, njihova upotreba nije osobito popularna. Unatoč tome, ronjoci ponekad koriste trajne magnete za inspekciju u podvodnim okruženjima ili drugim situacijama, kao što su eksplozivna okruženja, gdje elektromagneti ne bi mogli biti primijenjeni. Također, trajni magneti mogu biti dovoljno maleni da se smjeste u uska područja gdje elektromagneti možda ne bi odgovarali.[2]



Slika 21. Trajni magnetski jaram [11]

8.1.2 Elektromagnetski jaram

Danas se većina opreme koja se koristi za generiranje magnetskog polja u magnetskoj kontroli temelji na principima elektromagnetizma. Odnosno, koristi se električna struja kako bi se stvorilo magnetsko polje. Elektromagnetski jaram često predstavlja osnovni dio opreme koji se koristi za stvaranje magnetskog polja. Ovaj jaram se obično izrađuje omotavanjem električne zavojnice oko komada mekog feromagnetnog materijala poput željeza. Uključivanjem prekidača u električni krug omogućuje se kontrola struje i posljedično magnetskog polja, što omogućuje njegovo uključivanje i isključivanje. Ovi elektromagnetski jarmovi mogu se napajati izmjeničnom strujom iz električne utičnice ili istosmjernom strujom iz baterije. Ovakvi uređaji stvaraju izuzetno snažno magnetsko polje u lokalnom području gdje se dodiruju polovi magneta s dijelom koji se pregledava.



Slika 22. Ispitivanje elektromagnetskim ručnim jarmom [9]

8.1.3 Ručne kontaktne elektrode

Ručne kontaktne elektrode koriste se na način da se pritisnu na površinu komponente koja se pregledava kako bi se osigurao kontakt i omogućio prolaz električne struje kroz metal. Električna struja prolazi između elektroda, stvarajući time kružno magnetsko polje oko elektroda. Ovo magnetsko polje se može iskoristiti za inspekciju magnetskih čestica na površini. Ove elektrode, često napravljene od bakra, obično imaju izoliranu ručku koja služi za zaštitu operatera. Jedna od elektroda obično ima prekidač kako bi se brzo i jednostavno mogla kontrolirati struja - uključiti i isključiti. Ponekad se dvije elektrode povežu izolatorom kako bi se olakšalo rukovanje jednom rukom. Ovaj način se naziva dvostruka elektroda i često se koristi pri pregledima zavara. Važno je održavati pravilan kontakt između elektroda i površine komponente kako bi se izbjeglo stvaranje električnog luka koji može oštetiti komponentu. Zbog tog razloga, upotreba elektroda nije dozvoljena pri pregledu kritičnih komponenti kao što su zrakoplovne komponente. Kako bi se spriječilo stvaranje luka, treba redovito provjeravati stanje vrhova elektroda kako bi se osiguralo da nisu oksidirani, prekriveni nečistoćama ili oštećeni.



Slika 23. Ručne kontaktne elektrode [11]

8.1.4 Zavojnice i provodni kabeli

Zavojnice i provodni kabeli se koriste kako bi se uspostavilo uzdužno magnetsko polje unutar komponente. Kada se koristi prethodno oblikovana zavojnica, komponenta se postavlja uz unutarnju površinu te zavojnice. Zavojnice obično sadrže tri do pet zavoja bakrenih kabela unutar oblikovanog okvira. Za napajanje zavojnice često se koristi nožni prekidač. Vodljivi kabeli se omotavaju oko komponente. Broj zavoja određuje se prema potrebnoj jačini magnetizacije, naravno, u kombinaciji s duljinom kabla. Obično se ovi omotači drže što bliže jedan drugom.



Slika 24. Prijenosna zavojnica [11]

8.1.5 Prijenosni izvori napajanja (Generatori struje)

Kako bi se osigurala potrebna električna energija, koriste se prijenosni izvori napajanja koji se mogu povezati s elektrodama, zavojnicama ili kabelima. Ovi izvori napajanja su dostupni u različitim veličinama. Manji prijenosni izvori napajanja obično osiguravaju do 1500 A poluvalne istosmjerne struje ili izmjenične struje kada se koriste s 4,5 metara kabela. Ovi izvori napajanja su kompaktni i lagani te se jednostavno prenose, a rade na električnoj mreži od 120 V ili 240 V. [2]



Slika 25. Mobilni agregati za magnetsku kontrolu [11]

8.2 Stacionarni sustav

Stacionarni sustav za magnetsko ispitivanje je postavljeni uređaj koji se koristi za stvaranje magnetskog polja i provođenje kontrole na određenim lokacijama, kao što su laboratoriji ili proizvodni pogoni. Ovaj tip opreme je namijenjen dugotrajnoj uporabi na određenom mjestu i često se koristi za redovite kontrolne procedure. Najčešći stacionarni sustav je mokra horizontalna (stolna) jedinica. Horizontalne jedinice dizajnirane su za provođenje serijskih kontrola različitih komponenti. Ove jedinice imaju prednji i stražnji dio s električnim kontaktima koji omogućuju stezanje dijelova između njih. Kružno magnetsko polje proizvodi se putem direktnog magnetiziranja. Stražnji dio se može pomicati i zaključati kako bi se prilagodili dijelovi različitih duljina. Kako bi pomogao operateru pri stezanju dijelova, kontakt na glavnom dijelu može se pneumatski pomicati putem prekidača za stopalo. Većina jedinica također ima pomičnu zavojnicu koja se može postaviti kako bi se omogućilo indirektno magnetiziranje i stvaranje uzdužnog magnetskog polja. Većina zavojnica ima pet zavoja i dostupne su u različitim veličinama. Otopina mokrih magnetskih čestica sakuplja se i čuva u spremniku. Pumpa i crijevo koriste se za nanošenje otopine čestica na komponente koje se kontroliraju. Moguće je koristiti vidljive ili fluorescentne čestice. Neki od ovih sustava nude različite opcije za električnu struju koja se koristi za magnetiziranje komponente. Operater ima mogućnost koristiti izmjeničnu struju (AC), poluvalnu istosmjernu struju (half wave DC) ili potpunu valnu istosmjernu struju (full wave DC). U nekim jedinicama ugrađena je mogućnost demagnetizacije koja koristi zavojnicu i padajuću izmjeničnu struju (AC). [2]



Slika 26. Horizontalna (stolna) jedinica [11]

8.3 Uloga svjetla u magnetskoj kontroli

Kontrola magnetskim česticama se izvodi uz pomoć čestica koje su izrazito vidljive ili pod bijelim svjetlom ili pod ultraljubičastim svjetlom. Kod kontrole s vidljivim česticama uz kontrast boje, nije nužno koristiti posebno osvjetljenje osim ako područje pregleda nije dovoljno osvijetljeno. Preporučeni intenzitet svjetla je najmanje 1000 luksa kada se koriste vidljive čestice, ali različiti izvori svjetla su prihvatljivi.

Kod upotrebe fluorescentnih čestica, neophodno je koristiti posebno ultraljubičasto svjetlo. Fluorescencija se odnosi na svojstvo emisije svjetlosti tijekom izlaganja zračenju. Čestice koje se koriste za fluorescentnu kontrolu magnetskim česticama obično su presvučene materijalom koji emitira svjetlost vidljivog spektra kada su izložene bliskom ultraljubičastom svjetlu. Ovaj "svjetlosni sjaj čestica" stvara kontrastne indikacije na komponenti, gdje god se čestice nakupljaju.

Najčešće se koriste fluorescentne čestice koje emitiraju žuto-zelenu boju jer ta boja odgovara osjetljivosti ljudskog oka u tamnim uvjetima. Međutim, dostupne su i čestice koje emitiraju svjetlo crvene, plave, žute i zelene boje. Fizika fluorescentnog svjetla može se bolje razumjeti proučavanjem procesa fluorescencije.

8.3.1 UV-svjetlo

Ultraljubičasto svjetlo, poznato i kao "crno svjetlo", obuhvaća valne duljine u rasponu od 100 do 400 nm unutar elektromagnetskog spektra. To je visokoenergetski oblik svjetlosti koji nije vidljiv ljudskom oku. Valne duljine iznad 400 nm spadaju u vidljivi spektar svjetlosti, pri čemu se valne duljine iznad 400 nm percipiraju kao ljubičasta boja. Ultraljubičasto svjetlo dijeli se na tri klase prema valnim duljinama: A, B i C. Što je valna duljina kraća, to svjetlo nosi više energije, što ga čini opasnijim za ljudske stanice.

Izraz "crna svjetlost" potječe od činjenice da ultraljubičasto zračenje nije vidljivo ljudskom oku te stoga izgleda kao "crno".

Klase ultraljubičastog svjetla:

- UV-A: Valna duljina 320–400 nm
- UV-B: Valna duljina 280–320 nm
- UV-C: Valna duljina 100–280 nm

Za ispitivanje bez razaranja poželjna valna duljina je između 350 i 380 nm, s vršnom valnom duljinom oko 365 nm. Ova valna duljina pripada UV-A rasponu, koji je najsigurniji za rad. Iako UV-B može učinkovito izazvati fluorescenciju, ne bi se trebao koristiti zbog mogućih štetnih učinaka kao što su opekline kože i oštećenje očiju. Valna duljina UV-C (100 do 280 nm) je još opasnija za žive stanice i koristi se za dezinfekciju i uništavanje bakterija u industrijskim i medicinskim uvjetima.

Za potrebe ispitivanja bez razaranja, željena valna duljina se postiže filtriranjem svjetla emitiranog od ultraljubičaste žarulje. Izlaz svjetla ultraljubičaste žarulje obuhvaća širok raspon valnih duljina. Kratke valne duljine od 312 do 334 nm emitiraju se u niskim razinama, dok se vršna valna duljina od 365 nm postiže visokim intenzitetom. Također se emitiraju valne duljine u vidljivom ljubičastom rasponu (405–435 nm), zeleno-žutom (546 nm), žutom (622 nm) i narančastom (677 nm). Filter omogućuje prolaz samo zračenju u rasponu od 320 do 400 nm te malo vidljive tamnoljubičaste svjetlosti. [2]



Slika 27. Primjer UV-lampe za magnetsku kontrolu (Magnaflux EV6000) [11]

9. FEROMAGNETNE ČESTICE

Kao što je prethodno spomenuto, čestice koje se koriste za kontrolu magnetnim česticama igraju ključnu ulogu jer pokazuju indikacije koje upozoravaju ispitivača na nedostatke. Te čestice započinju kao sitni komadići željeza ili željeznog oksida koji su podvrgnuti procesu mehaničke obrade. Pigment (sličan boji) se nanosi na njihove površine kako bi se dobile čestice obojene u različite nijanse. Za te čestice koristi se metal zbog visoke magnetske permeabilnosti i niske retencije. Visoka magnetska permeabilnost je bitna jer omogućuje česticama da lako reagiraju na slaba magnetska polja koja proizlaze iz diskontinuiteta, kao što su pukotine. S druge strane, niska retencija je važna jer čestice same po sebi ne postaju snažno magnetizirane, čime se sprječava njihovo međusobno prijanjanje ili prijanjanje na površinu ispitivanog dijela. Ove čestice mogu biti dostupne ili kao suha mješavina ili kao čestice suspendirane u mokroj otopini.

9.1 Suhe feromagnetne čestice

Suhe magnetne čestice se obično koriste kao praškasti materijali. Dostupan je širok spektar boja i veličina čestica koje se mogu izabrati. Na tržištu su dostupne suhe magnetne čestice u crvenoj, crnoj, sivoj, žutoj boji te u nekoliko drugih nijansi kako bi se postigao visoki kontrast između čestica i pregledavanih dijelova. Veličina magnetnih čestica igra ključnu ulogu. Suhi proizvodi s magnetnim česticama uključuju različite veličine čestica. Fine čestice su sitne, oko 50 mikrometara u promjeru, što je tri puta manje od njihove širine težih i grubljih čestica (promjera 150 mikrometara). To ih čini osjetljivijima na magnetska polja koja proizlaze iz vrlo malih nedostataka. Međutim, mješavina suhih magnetskih čestica ne bi trebala isključivo sadržavati samo fine čestice. Potrebne su i grublje čestice kako bi se detektirali veći defekti i kako bi se smanjila sklonost prašnjavosti.

Važno je napomenuti da male čestice lako prijanjaju na površinske nečistoće poput prljavštine ili vlage, te se zadržavaju na neravnim površinama. Osim toga, sitnije čestice su podložnije djelovanju vjetra, što može smanjiti osjetljivost kontrole. [2]

Oblik i veličina čestica moraju biti prilagođeni kako bi se osigurala učinkovita kontrola određenog dijela. Oblik čestica također igra važnu ulogu. Duge i tanke čestice imaju tendenciju poravnavanja duž magnetskih silnica. Međutim, istraživanja pokazuju da bi suhi prah sastavljen isključivo od dugih i tankih čestica rezultirao manje poželjnim aplikacijskim svojstvima. Čestice ovakvog oblika dolaze iz dozatora u grudama i nemaju sposobnost slobodnog raspršivanja u obliku "oblaka" koji lebdi nad komponentom. Stoga se dodaju sferične čestice koje su kraće. Mješavina sferičnih i izduženih čestica rezultira suhim prahom koji se ravnomjerno rasprostire i održava visoku osjetljivost. Većina suhih mješavina čestica ima omjer širine i duljine (L/D omjer) između jedan i dva. [2]



Slika 28. Suhe feromagnetne čestice u različitim bojama [16]



Slika 29. Primjer ispitivanja suhim feromagnetnim česticama [17]

9.2 Mokre feromagnetne čestice

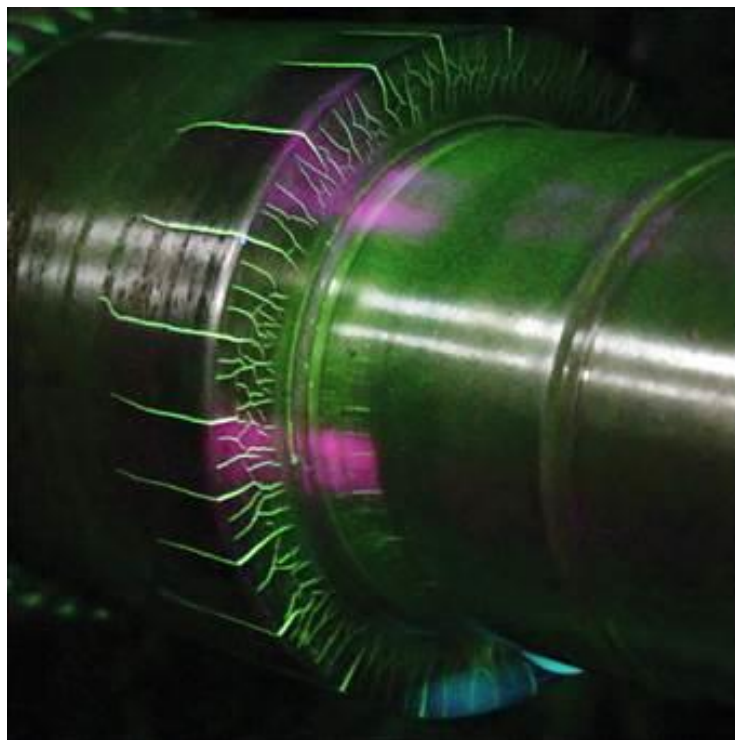
Mokre magnetske čestice se isporučuju u suspenziji koja može sadržavati vodu ili ulje. Metoda ispitivanja mokrim magnetskim česticama je obično osjetljivija u odnosu na suhu metodu, jer suspenzija omogućuje česticama veću pokretljivost. Ovo smanjuje ili eliminira prašinu i prljanje na površinske nečistoće. Također, mokra metoda olakšava ravnomjerno nanošenje čestica na široko područje. Mokra metoda ispitivanja magnetskim česticama razlikuje se od suhe metode po nekoliko aspekata. Na primjer, čestice mogu biti i vidljive i fluorescentne. Većina nefluorescentnih čestica su feromagnetni materijali poput željeznih oksida, čija boja je crna ili smeđa. S druge strane, fluorescentne čestice su obložene pigmentima koji emitiraju fluorescentno svjetlo kada su izložene ultraljubičastom svjetlu. Najčešće se koriste čestice koje fluoresciraju zeleno-žuto jer je ljudsko oko na toj boji posebno osjetljivo, ali postoje i druge fluorescentne boje koje se mogu koristiti. [2]

Čestice koje se koriste u mokroj metodi su manje veličine u usporedbi s onima koje se koriste u suhoj metodi. Te čestice obično imaju veličinu od 10 mikrometara ili manje, dok sintetski željezni oksidi imaju promjer čestica od oko 0,1 mikrometara. Ova iznimno mala veličina proizlazi iz procesa formiranja čestica, te nije osobito poželjna jer su čestice gotovo premalene da bi se lako taložile iz suspenzije. Unatoč tome, zbog njihovog slabog preostalog magnetizma, oksidne čestice obično se skupljaju u nakupinama koje se brže talože iz suspenzije nego pojedinačne čestice. To omogućava vizualizaciju i mjerenje koncentracije čestica, što je važno za kontrolu procesa. Mokre čestice uključuju mješavinu duguljastih i kuglastih čestica. [2]

Otopine mogu biti bazirane na vodi ili ulju. Vodene otopine omogućuju brže indikacije, općenito su ekonomičnije, predstavljaju manju ili nikakvu opasnost od požara, ne ispuštaju petrokemijske pare i lakše se čiste s površina. Otopine na bazi vode često sadrže inhibitore korozije kako bi se osigurala određena razina zaštite od korozije. S druge strane, otopine na bazi ulja pružaju izvrsnu zaštitu od korozije, posebno za materijale koji su osjetljivi na te mehanizme napada. [2]



Slika 30. Provjera čistoće magnetnih čestica [11]



Slika 31. Primjer indikacija otkrivenih mokrom metodom magnetnih čestica

10. PROVJERA ISPITNOG SUSTAVA

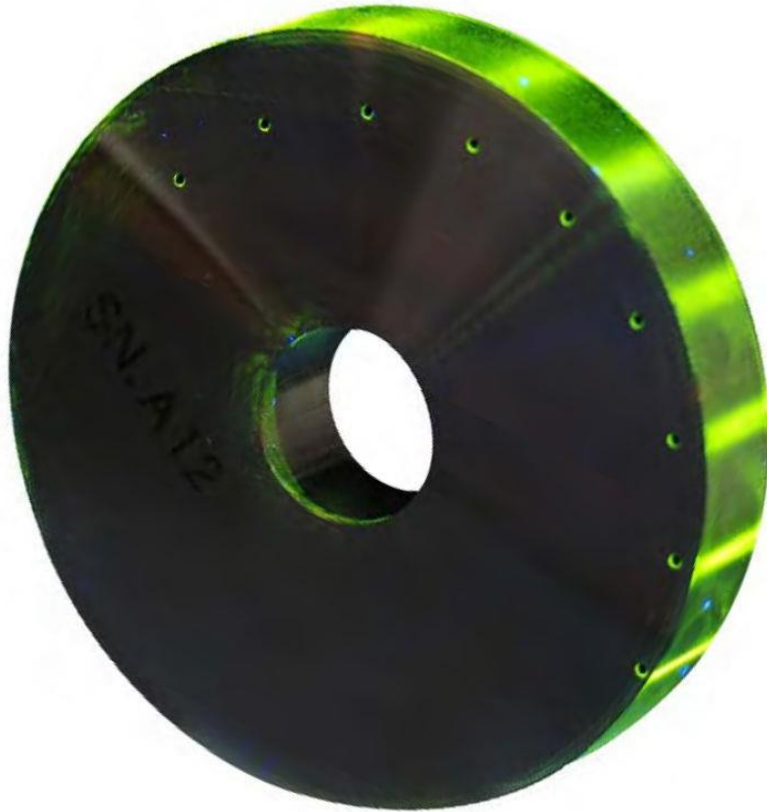
Procjena adekvatne snage magnetskog polja i ispravnog smjera izuzetno je bitna prilikom provođenja ispitivanja magnetnim česticama. Kao što je već navedeno, razumijevanje smjera polja je presudno, s ciljem postizanja što veće blizine vertikalne orijentacije u odnosu na nedostatak, uz kut od najviše 45 stupnjeva u odnosu na normalu.

Precizna evaluacija intenziteta i smjera polja nije jednostavna. Za mjerenje jakosti polja potrebno je pratiti linije magnetskog toka. Međutim, to je često nemoguće bez rezanja u materijal, što bi značajno promijenilo unutarnje polje materijala. Ipak, postoji metoda koja se koristi kako bi se približno procijenila stvarna snaga polja unutar dijela. Ova metoda uključuje izradu malog proreza ili otvora u materijalu te mjerenje curenja polja preko zračnog razmaka pomoću Gaussmetra. Unatoč ovom izazovu, dostupno je više alata i metoda kojima se određuje prisutnost i smjer magnetskog polja koje okružuje komponentu.

10.1 Ketos prsten

Prstenovi izrađeni od alatnog čelika imaju svrhu procjene osjetljivosti i performansi cijelog sustava ispitivanja. Svaki uzorak je prsten promjera $\varnothing 127$ mm i visine 22 mm, izrađen od alatnog čelika AISI 01 s tvrdoćom između 90 i 95 HRc. U središtu prstena nalazi se provrt promjera 31,75 mm. Na prednjoj strani prstena bušeni su provrti promjera 1,75 mm na različitim udaljenostima od ruba prstena. Ketos prsten od alatnog čelika sadrži 12 provrta. Za potpuno testiranje učinkovitosti postupka ispitivanja magnetnim česticama, potrebno je propustiti istosmjernu struju magnetiziranja kroz središte prstena putem središnjeg vodiča (čija je duljina veća od 406,4 mm, a promjer između 25,4 mm i 31,75 mm) kako bi se generirala magnetska polja curenja iznad provrta. Intenzitet polja opada kako se udaljenost od provrta prstena povećava. Kada se na prsten nanese magnetska suspenzija, magnetski prah se nakuplja na rubu prstena preko provrta, stvarajući indikacijske linije. Proces obnavljanja preporučenog broja provrta smatra se optimalnim za postizanje željenih rezultata. Ukratko, ovi prstenovi od alatnog čelika koriste se kako bi se provjerila učinkovitost i osjetljivost metode ispitivanja magnetnim česticama. Kroz primjenu struje i nanos magnetne

suspenzije, stvaraju se vizualne indikacije koje pomažu u procjeni mogućnosti sustava ispitivanja. [16]



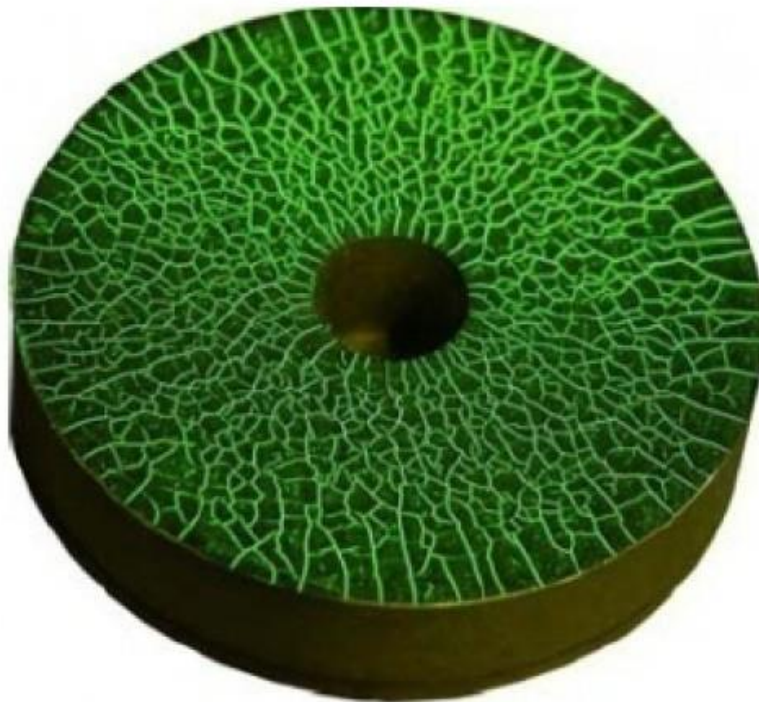
Slika 32. Ketos prsten [19]

10.2 Referentni blok br. 1 (DIN EN ISO 9934-2)

Referentni blok br. 1 je disk s dvije vrste prirodnih pukotina na površini. Grube pukotine rezultat su poliranja, a sitne pukotine su rezultat korozije naprezanja. Blok je trajno magnetiziran središnjim vodičem kroz otvor. Kontrola suspenzije magnetskih čestica provodi se vizualnim ili drugim prikladnim metodama za usporedbu indikacija.

Karakteristike:

- Promjer uzorka: 50 mm
- Visina uzorka: 10 mm
- Širina pukotine: 2-10 μm



Slika 33. Referentni blok br. 1 (DIN EN ISO 9934-2) [19]

10.3 Referentni blok br. 2 (DIN EN ISO 9934-2)

Referentni blok br. 2 je samostalna jedinica koja ne zahtijeva indukciju vanjskog magnetskog polja. Koristi se za određivanje kvalitete suspenzije magnetnih čestica. Blok se sastoji od 2 šipke od mekog željeza, odvojene tankom (15 µm) aluminijskom folijom predstavlja umjetni nedostatak. Trajni magneti postavljeni su na krajeve uzorka. Zbog trajnog magnetskog polja poluge se magnetiziraju i magnetne čestice se nakupljaju preko umjetnog nedostatka tvoreći indikacijske linije. Kvaliteta suspenzije ili suhog praha određena je ukupnom duljinom linija. [19]

Karakteristike:

- Dimenzije (dxšxv): 155x40x12 mm
- Tangencijalna komponenta magnetskog polja preko umjetnog nedostatka u točkama: G (-4) : $-100 \pm A/cm$

B (4) : $100 + 10 A/cm$



Slika 34. Referentni blok br. 2 (DIN EN ISO 9934-2) [19]

10.4 D 250 Indikator magnetskog polja (ASME Indikator)

Tortni mjerač je disk od visoko propusnog materijala podijeljen na četiri, šest ili osam dijelova neferomagnetnim materijalom. Podjele služe kao umjetni nedostaci koji se šire u različitim smjerovima od središta. Promjer mjerača je 3/4 do 1 inča. Razmaci između dijelova torte od niskougličnog čelika ne smiju biti veći od 1/32 inča. Sekcije su lemljene u peći i pobakrene. Mjerač se postavlja na ispitni komad bakrenom stranom prema gore i ispitni komad se magnetizira. Nakon što su čestice nanosene i višak uklonjen, indikacije daju ispitivaču orijentaciju magnetskog polja. Glavna primjena je na ravnim površinama kao što su zavareni spojevi ili čelični odljevci gdje se suhi prah koristi s jarmom ili šipkama. Tortni mjerač se ne preporučuje za precizne dijelove složenih oblika, za primjene mokre metode ili za dokazivanje veličine polja. Mjerač treba demagnetizirati između očitavanja. Nekoliko glavnih prednosti kružnog mjerača je to što je jednostavan za korištenje i može se koristiti neograničeno dugo bez oštećenja. Tortni mjerač ima nekoliko nedostataka, koji uključuju: zadržava nešto zaostalog magnetizma pa će indikacije prevladati nakon uklanjanja izvora magnetizacije, može se koristiti samo u relativno ravnim područjima i ne može se pouzdano koristiti za određivanje uravnoteženih polja u višesmjernoj magnetizaciji. [2]



Slika 35. D 250 Indikator magnetskog polja (ASME Indikator) [19]

10.5 Bertholdov indikator magnetskog polja (Penetrametar)

Berthold indikator je dizajniran za određivanje snage i smjera odabranog magnetiziranja i kvalitete suspenzije fluorescentnog magnetskog praha. Kada se postave na magnetizirani ispitni komad, magnetske linije prolaze kroz presječni željezni cilindar. Posjekotine na željeznom cilindru bit će vidljive kada se nanese magnetski prah ili fluorescentna magnetska otopina. Optimalni smjer indikacije postiže se rotiranjem uzorka oko svoje osi. Smjer polja je okomit na grešku pri maksimalnoj indikaciji. Učinkovitost magnetiziranja, penetracija i kvaliteta suspenzije fluorescentnog ulja mogu se odrediti polaganim okretanjem vanjskog prstena indikatora polja, povećavajući udaljenost između tanke mjedene ploče i ispitnog uzorka. [19]

Karakteristike:

- Promjer uzorka: 20 mm
- Visina uzorka: 5 mm
- Duljina držača: 95 mm
- Težina: 24 g



Slika 36. Bertholdov indikator magnetskog polja (Penetrametar) [19]

10.6 Burmah-Castrol indikatori

Burmah-Castrol trake naširoko se koriste za označavanje prisutnosti induciranih magnetskih polja dajući dokaz vanjskog polja iznad magnetizirane površine. Indikatori tipa I obično se koriste za opće inženjerske primjene, a tip II za primjene u zrakoplovstvu. Obje vrste se sastoje od tri lamele od 50 x 12 mm koje su pričvršćene zajedno da tvore strukturu sendviča nominalne debljine 0,15 mm. Vanjska lamelacija ima 3 prekida koji su paralelni na dužu stranu. Indikatori tipa I reagiraju na slabije polje nego trake tipa II. Obje su vrste zaštićene polimernim slojem i mogu se razlikovati po rimskim brojevima. Indikatori fluksa imaju prednost što su dovoljno fleksibilni da se mogu saviti kako bi odgovarali konturama radnog komada, ali su dovoljno robusni da se mogu koristiti više puta. [19]



Slika 37. Burmah-Castrol indikatori [20]

10.7 Gauss metar s Hallovim efektom

Hallov efekt je poprečno električno polje koje nastaje u vodiču kada se stavi u magnetsko polje. Gauss metri, koji se nazivaju i Tesla metri, koriste se za mjerenje jakosti tangente polja na površinu magnetiziranog ispitnog objekta.

Prednosti Hallovog efekta

- daju kvantitativnu mjeru jakosti sile magnetiziranja tangencijalno na površinu ispitnog komada,
- mogu se koristiti za mjerenje rezidualnih magnetskih polja i mogu se koristiti više puta.

Njihovi glavni nedostaci su da se moraju povremeno kalibrirati i ne mogu se koristiti za uspostavljanje ravnoteže polja u višesmjernim primjenama. [2]



Slika 38. Gauss metar s Hallovim efektom [20]

11. OCJENJIVANJE INDIKACIJA

Nekoliko je ključnih koraka prilikom ocjenjivanja indikacija kod ispitivanja magnetnim česticama:

1. Pregled: sastoji se u detaljnoj kontroli ispitivanog dijela i bilježenju svih pronađenih indikacija
2. Tumačenje: ovaj korak podrazumijeva raspoznavanje i odvajanje relevantnih od nerelevantnih indikacije, odnosno na koje nepravilnosti (diskontinuitete) u materijalu upućuju određeni oblici indikacija.
3. Klasifikacija: u ovom koraku utvrđuje se oblik indikacije (okrugla ili izdužena)
4. Vrednovanje: utvrđuje se je li indikacija prihvatljiva ili nije.

11.1 Nerelevantne indikacije

Nerelevantne indikacije se dijele na lažne, geometrijske i indikacije permeabilnosti. Nerelevantne indikacije se teže razlikuju od relevantnih, te je potrebno poznavanje karakteristika proizvoda, metode i tehnike ispitivanja.

- Lažne indikacije :Nastaju zbog prevelike magnetizacije, hrapavosti površine, nečistoća, prevelika koncentracija čestica i rasuta polja.
- Geometrijske indikacije: nastaju zbog oštih rubova, rupa od bušenja, udubljenja i navoja.
- Indikacije permeabilnosti: Nastaju zbog hladnog deformiranja, nedovoljne toplinske obrade i razlike uvjetovane lijevanjem.

11.2 Relevantne indikacije

Relevantne indikacije pojavljuju se na površini ispitivanog dijela, dobro vidljive, jasnih i naglašenih graničnih kontura. Relevantne indikacije dijele se prema obliku na linearne i nelinearne indikacije.

- Linearne indikacije: indikacija čija je dužina veća od tri puta njene širine
- Nelinearna indikacija: indikacija čija je dužina manja ili jednaka od tri puta njene širine.

11.3 Norme koje se odnose na ispitivanje magnetnim česticama

Norme koje se odnose na tehniku ispitivanja:

- HRN EN ISO 9934-1: Ispitivanje magnetnim česticama – Opći principi
- HRN EN ISO 9934-2: Ispitivanje magnetnim česticama – Sredstva za detekciju
- HRN EN ISO 9934-3: Ispitivanje magnetnim česticama – Oprema
- HRN EN ISO 3059: Ispitivanje magnetnim česticama i penetrantima – Uvjeti promatranja

Norme koje se odnose na ispitivanje pojedine vrste proizvoda su:

- EN ISO 17638: Ispitivanje bez razaranja zavarenih spojeva – Ispitivanje magnetnim česticama zavarenih spojeva
- EN ISO 23278: Ispitivanje bez razaranja zavarenih spojeva – Nivo prihvatljivosti
- EN 1369: Lijevanje – Ispitivanje odljevaka metodom magnetnih čestica
- EN 10228-1: Ispitivanje bez razaranja čeličnih otkivaka – Ispitivanje magnetnim česticama.

12. EKSPERIMENTALNI DIO

U eksperimentalnom dijelu ovog rada, bit će obrađeno magnetno ispitivanje na dijelovima turbine, Jugoturbina 50 MW u Energetici Ljubljana. Temeljem ugovora o remontu turbine Jugoturbina 50 MW TTK ref. P-1025/22 učinjena je NDT kontrola dijelova. NDT kontrola je izvršena od 26.6. do 30.6.2023. u TE-TO Ljubljana, te od 5.7. do 7.9.23. u Tvornici turbina Karlovac. Ispitivanja bez razaranja su provedena kako bi se ocijenilo stanje radnih dijelova i utvrdila njihova sigurnost za rad. Ovom metodom također može biti planirana nabava rezervnih dijelova koji su neophodni za sljedeću reviziju ili remont, omogućavajući njihovu zamjenu prema potrebi.

Ispitivanja metodama bez razaranja provedena su na osnovi svjetski priznatih normi (ASTM, ISO, DIN, EN) i pisanih postupaka koji pored osnova za provođenje ispitivanja sadrže i kriterije prihvatljivosti ili su definirani planom kontrole. Ispitivanje su proveli djelatnici stručno osposobljeni u Hrvatskom društvu za kontrolu bez razaranja u skladu s normom ISO 9712. Voditelj ispitivanja je Robert Lesić, mag. ing. mech., kvalifikacija po metodama: VT 2, PT 3, MT 3, UT 2. Ispitivanje je izvršila i Dijana Grdić, bacc. ing. mech, kvalifikacije po metodama: VT 2, PT 2, MT 2, UT 1. Voditelj radova s voditeljem ispitivanja je izvršio ocjenjivanje svih indikacija i nesukladnosti pronađenih ispitivanjem.

Tablica 1. Kvalifikacija djelatnika po metodama

	Metoda kontrole bez razaranja			
	Vizualna (VT)	Penetrantska (PT)	Magnetska (MT)	Ultrazvučna (UT)
Robert Lesić	2	3	3	2
Dijana Grdić	2	2	2	1

Izvedeni opseg ispitivanja i primijenjene metode prikazane su u Tablici 2. Međutim, kako je tema rada magnetna kontrola, priloženi će biti samo izvještaji ispitivanja magnetne kontrole koje je izvršila Dijana Grdić.

Tablica 2. Opseg ispitivanja i primijenjene metode

Jugoturbina 8.5 MW	Primjenjene metode kontrole			
	Vizualna (VT)	Penetrantska (PT)	Magnetska (MT)	Ultrazvučna (UT)
Turbina – Kućište DP	+	+	+	
Turbina – Kućište GP	+	+	+	
Umetak VT	+		+	
Umetak kućišta I	+		+	
Umetak kućišta II	+		+	
Umetak kućišta III	+		+	
Ulazno kućište - Desno	+		+	
Ulazno kućište - Lijevo	+		+	
Sjedište ventila	+	+		
Ulazni nastavci – Donji desni	+		+	
Ulazni nastavci – Donji lijevi	+		+	
Razdijelne stijene 7-17	+		+	
Razdijelne stijene 19-21	+		+	
Zakretna dijafragma	+		+	
Rotor turbine	+	+	+	+
Vijci VT	+		+	
Vijci NT	+		+	
Desni BZV - Kućište	+		+	
Lijevo BZV - Kućište	+		+	
Desni BZV – Parno sito	+		+	
Lijevo BZV – Parno sito	+		+	
Desni BZV - Pladanj	+	+		
Lijevo BZV - Pladanj	+	+		
Desni BZV - Sjedište	+	+		
Lijevo BZV - Sjedište	+	+		
Desni BZV - Vreteno	+	+		
Lijevo BZV - Vreteno	+	+		

12.1 Osnovni podaci o stroju

Parna turbina je vrsta rotacijskog toplinskog stroja u kojem se energija pare visokog tlaka i temperature prvo pretvara u kinetičku energiju strujanja, a zatim u mehanički rad, odnosno vrtnju rotora. Ova tehnologija se često koristi za pogon električnih generatora, pumpi, kompresora, brodskih vijaka i sličnih uređaja. Današnje parne turbine se razlikuju po snazi (od nekoliko desetaka kilovata do nekoliko tisuća megavata) i veličini (promjer varira od nekoliko desetaka centimetara do nekoliko metara). Osnovni sastavni dio turbine je rotor. U najjednostavnijem obliku, rotor se sastoji od vratila s diskom, na čijem obodu su raspoređene aerodinamički oblikovane rotorske lopatice. Ispred rotora se nalaze statorske lopatice (sapnice) koje su također oblikovane aerodinamički. One usmjeravaju tok pare na ulazu u rotorske lopatice, pružajući im povoljan smjer i brzinu. [1]

Ispitivani objekt je akcijska, jednokućišna, kondenzacijska turbina s reguliranim oduzimanjem pare. U akcijskim turbinama, promjena tlaka (ekspanzija) u potpunosti se odvija u statorskim lopaticama. Rotorske lopatice zatim koriste tok pare velike brzine, odnosno kinetičke energije, mijenjajući samo smjer, bez promjene tlaka. Impuls pare djeluje na rotorske lopatice, što rezultira vrtnjom rotora i odvajanjem korisne snage, dok para izlazi s nižom kinetičkom energijom. Nakon obavljenog rada, para u kondenzacijskoj turbini ulazi u kondenzator, gdje se kondenzira. Zbog značajno manjeg obujma vode u usporedbi s obujmom pare, u kondenzatoru se stvara vakuum. Taj vakuum omogućava proširenje pare u turbini, što rezultira većom jediničnom snagom kondenzacijskih turbina. Da bi se ponovno pretvorila u paru, voda se pumpa natrag u generator pare. [1]



Slika 39. Parna turbina, Jugoturbina 50 MW TE-TO Ljubljana, prije remonta [21]

Tablica 3. Osnovni podaci o stroju

Stroj / Oprema	
Vrsta	Parna turbina
Proizvođač	Jugoturbina - Karlovac
Tip	1-OK 50
Oznaka	Turbina 50 MW Ljubljana
Godina proizvodnje	1981.
Snaga	50 MW
Tvornički broj	0110.4380.00
	Akcijska, jednokućišna, kondenzacijska s reguliranim oduzimanjem pare

Tablica 4. Osnovni parametri rada

Parametri rada	
Brzina vrtnje [o/min]	3000
Kritična brzina vrtnje turbine i generatora [o/min]	1600 (5000)
Radni medij	Pregrijana para
Temperatura na ulazu [°C]	520/530
Broj stupnjeva	21
Tlak na ulazu [bar]	89 / 109
Tlak na izlazu [bar]	0,0667

12.2 Provedba ispitivanja

Ispitivanje je provedeno u skladu sa propisanim normama i radnim uputama. Korištena oprema je atestirana i prethodno provjerena. Popis korištene opreme nalazi se u tablici 5.

Tablica 5. Korištena oprema

VIZUALNA KONTROLA	Fotoaparat	Canon SX160IS
PENETRANTSKA KONTROLA	čistač penetrant razvijlač	SPOTCHECK SKC-S SPOTCHECK SKL-WP2 SPOTCHECK SKD-S2
ULTRAZVUČNA KONTROLA	uređaji sonde kablovi etaloni	KRAUTKRÄMER USM GO MSEB4 , MWB45-4/70-4 Probe cable MPKL-2 V2, stepenasti TTK 05
MAGNETNA KONTROLA	potkova UV lampa mag. čestice mjerač jakosti mag. polja:	MAGNAFLUX Y-8 LABINO MB 3.0 FLUOLFUX sprej doza MP-1000

Nakon provedenog ispitivanja, izrađeni su izvještaji koji dolaze kao popratna dokumentacija po završetku remonta. Izvještaji o provedenom ispitivanju metodama bez razaranja svakog dijela i primijenjene metode ispitivanja upisani su u obrasce u skladu s pisanim postupcima za provođenje ispitivanja. Prilikom sljedeće revizije ili remonta, prethodni izvještaji služe kao podloga za buduća ispitivanja.

Na osnovu provedenih ispitivanja može se zaključiti:

Dijelovi označeni sa **ZADOVOLJAVA** u potpunosti zadovoljavaju postavljene kriterije prihvatljivosti.

Dijelovi označeni sa **NE ZADOVOLJAVA** u potpunosti ne zadovoljavaju postavljene kriterije prihvatljivosti . Na izvještajima ispitivanja metodama bez razaranja su naknadno ocijenjeni imajući u vidu karakter indikacija, lokaciju i veličinu indikacija, kao i iskustvo u radu sa sličnim objektima:

Dijelovi označeni sa **KORISTITI KAKVO JE** ne zadovoljavaju kriterije prihvatljivosti ali uzevši u obzir veličinu indikacija i iskustva ugrađeni su u dogovoru s kupcem i potrebna

je redovita kontrola. Ukoliko dođe do povećanja indikacija na sljedećem remontu ih treba obavezno mijenjati ili sanirati oštećenja.

Kratki sažetak pozicija koje su s nedozvoljenim indikacijama :

- **Turbina- kućište DP (NE ZADOVOLJAVA):** Na reparaturnom zavaru na VT dijelu, ispod kućišta brtvi, uočeno više linearnih indikacija i nelinearnih indikacija veće od 6 mm, koje ne zadovoljavaju kriterije prihvatljivosti 3 prema normi za zavare EN ISO 23278, a koje su potvrđene i PT kontrolom.
Kućište sanirano zavarivanjem, saniranje izvršio kupac.
- **Turbina- kućište GP (NE ZADOVOLJAVA):** Na reparaturnom zavaru na VT dijelu, ispod kućišta brtvi, uočeno više linearnih indikacija i nelinearnih indikacija većih od 6 mm, koje ne zadovoljavaju kriterije prihvatljivosti 3 prema normi za zavare EN ISO 23278, a koje su potvrđene i PT kontrolom.
Kućište sanirano zavarivanjem, saniranje izvršio kupac.
- **Razdjelne stijene 7-17 (KORISTITI KAKVO JE):** Uočena erozijska oštećenja na svim razdjelnim stijenama.
Planirati zamjenu prilikom sljedećeg remonta.
- **Razdjelne stijene 19-21 (KORISTITI KAKVO JE):** Uočena mjestimična erozijska oštećenja na svim razdjelnim stijenama.
Planirati zamjenu prilikom sljedećeg remonta.
- **Desni BZV – kućište (KORISTITI KAKVO JE):** MT kontrolom uočena jedna linearna indikacija na prirubnici (5 mm).
Planirati zamjenu prilikom sljedećeg remonta.
- **Lijevi BZV – kućište (KORISTITI KAKVO JE):** MT kontrolom uočeno 13 linearnih indikacija na prirubnici (do 10 mm).
Planirati zamjenu prilikom sljedećeg remonta.

12.3 Izvještaji ispitivanja

U nastavku rada slijede izvještaji magnetskog ispitivanja sa definiranim indikacijama, i ocijenama prema propisanim normama. Izvještaji se odnose na sljedeće pozicije:

- Turbina- kućište DP
- Turbina- kućište GP
- Razdijelne stijene 7-17
- Razdijelne stijene 19-21
- Zakretna dijafragma
- Desni BZV – kućište
- Lijevi BZV – kućište

 TVORNICA TURBINA d.o.o. TURBINE WORKS Ltd.	Naziv / Name: MAGNETSKA KONTROLA MAGNETIC EXAMINATION	MT-64-23	
		List: Page:	Listova: Pages:

Naziv objekta i pozicija/Object name and position: ENERGETIKA LJUBLJANA Jugoturbina 50 MW Kučište turbine - DP	Broj crteža/Drawing number: 11.1212.0028	Broj RN/WO number: P-1025/22
	Materijal/Material: -	Komada/Pieces: 1
Norma ispitivanja/Testing procedure: EN 9934-1:2017	Primjenjeni postupak ispitivanja/Applied technique TTK-RU-09-11	Kriterij prihvatljivosti/Acceptance criteria: EN 1369 / SM 3, LM 3, AM 3 EN ISO 23278
Priprema površine/Surface preparation: očišćeno	Oprema za kontrolu/Testing equipment: Magnet: MAGNAFLUX Y-8 UV lamp: LABINO MP 3.0	Parametri ispitivanja/Testing parameters: Jakost mag. polja 24 A/cm Intezitet UV svjetlosti 1000 µW/cm ²

Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:

Magnetskom kontrolom donje polovice kućišta, u skladu sa kriterijima prihvatljivosti nisu detektirane nelinearne indikacije (SM). Na dosjednoj plohi uočene su linearne indikacije (LM) i indikacije u liniji (AM) veće od 3 mm, koje ne zadovoljavaju kriterije prihvatljivosti LM 3-AM 3. Indikacije nisu potvrđene PT kontrolom, te se procjenjuje da su površinske ogrebotine, te da neće utjecati na siguran rad.

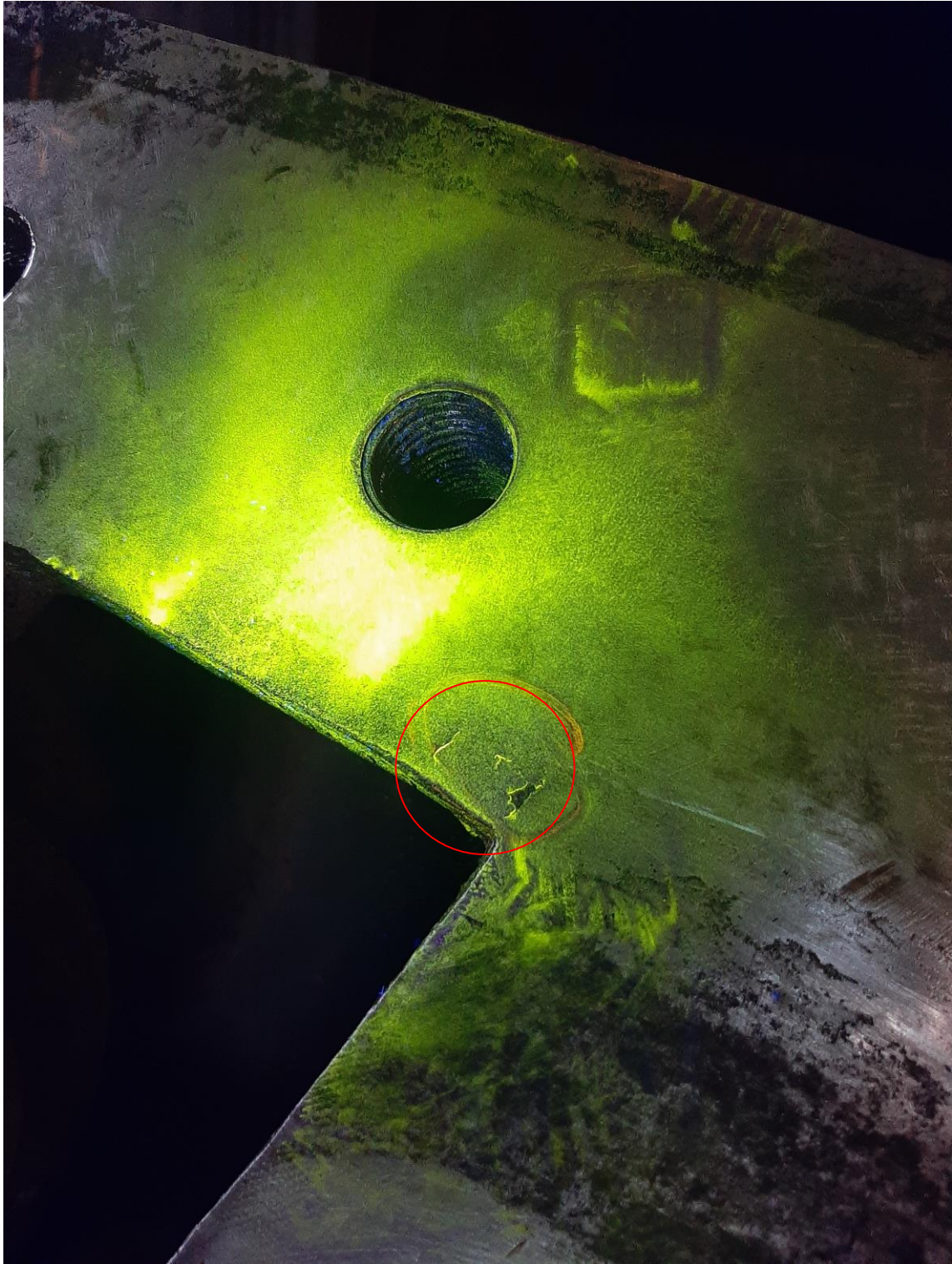
Na reparaturnom zavaru ispod kućišta brtvi uočeno više linearnih indikacija i nelinearnih indikacija veće od 6 mm, koje ne zadovoljavaju kriterije prihvatljivosti 3 prema normi za zavare EN ISO 23278, a koje su potvrđene i PT kontrolom. Obzirom da ne zadovoljava kriterij prihvatljivosti, te se indikacije nalaze na kritičnom mjestu kućišta gdje je velika koncentracija pare i visoke temperature, potrebna je sanacija.



Indikacije na dosjednoj plohi VT dijela

Mjesto i datum ispitivanja/ Place and date of testing: Ljubljana , 29.6.2023.	Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification: Dijana Grdić / MT II	Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating: NE ZADOVOLJAVA
	Odobrio/Approved by: Robert Lesić / MT III	

Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:



Indikacije na dosjednoj plohi NT dijela

Mjesto i datum ispitivanja/
Place and date of testing:

Ljubljana , 29.6.2023.

Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification:

Dijana Grdić / MT II

Odobrio/Approved by:

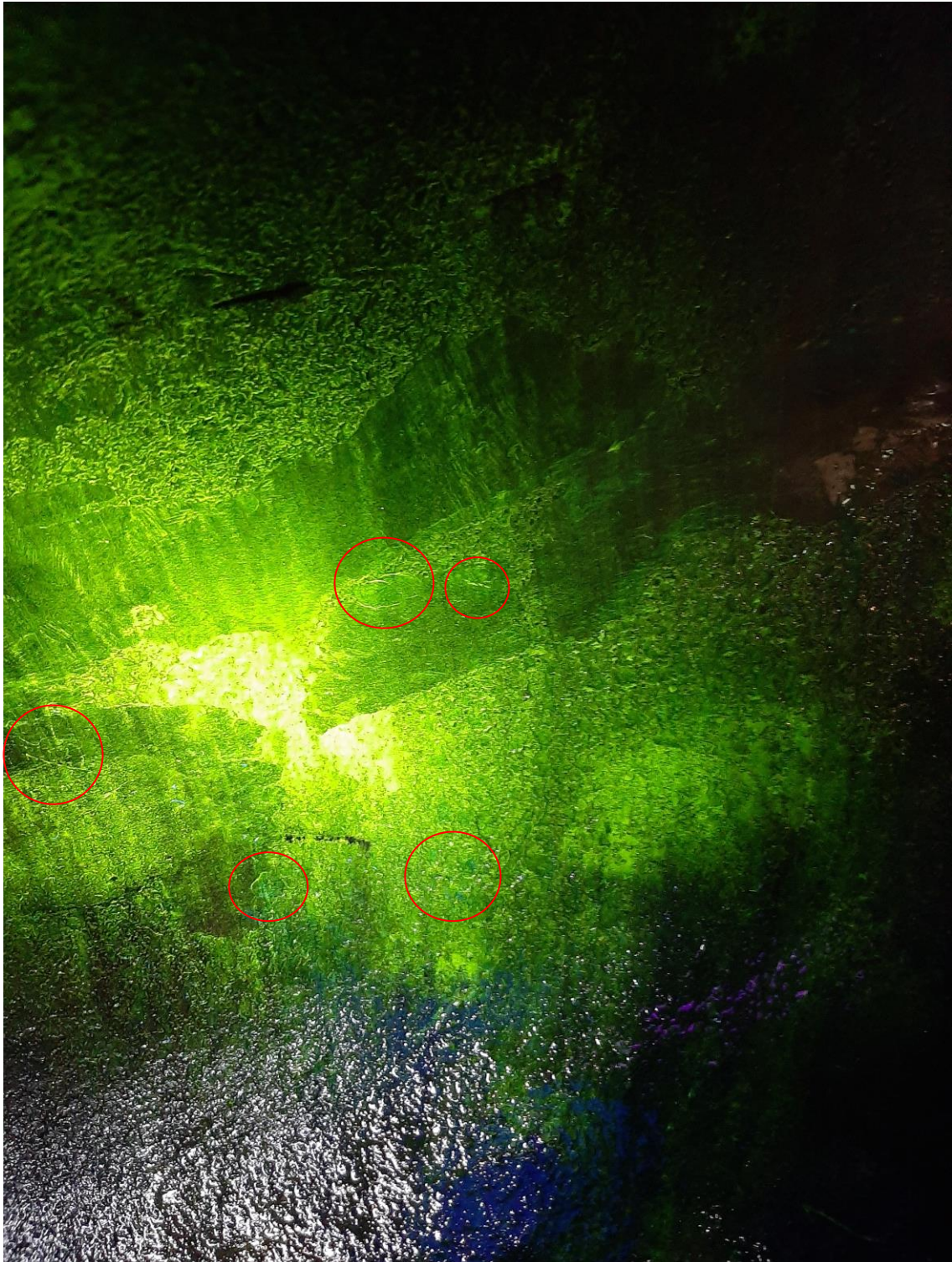
Robert Lesić / MT III

Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating:

NE ZADOVOLJAVA



Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:



Indikacije na reparaturnom zavaru ispod kućišta brtvi

Mjesto i datum ispitivanja/
Place and date of testing:

Ljubljana , 29.6.2023.

Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification:

Dijana Grdić / MT II

Odobrio/Approved by:

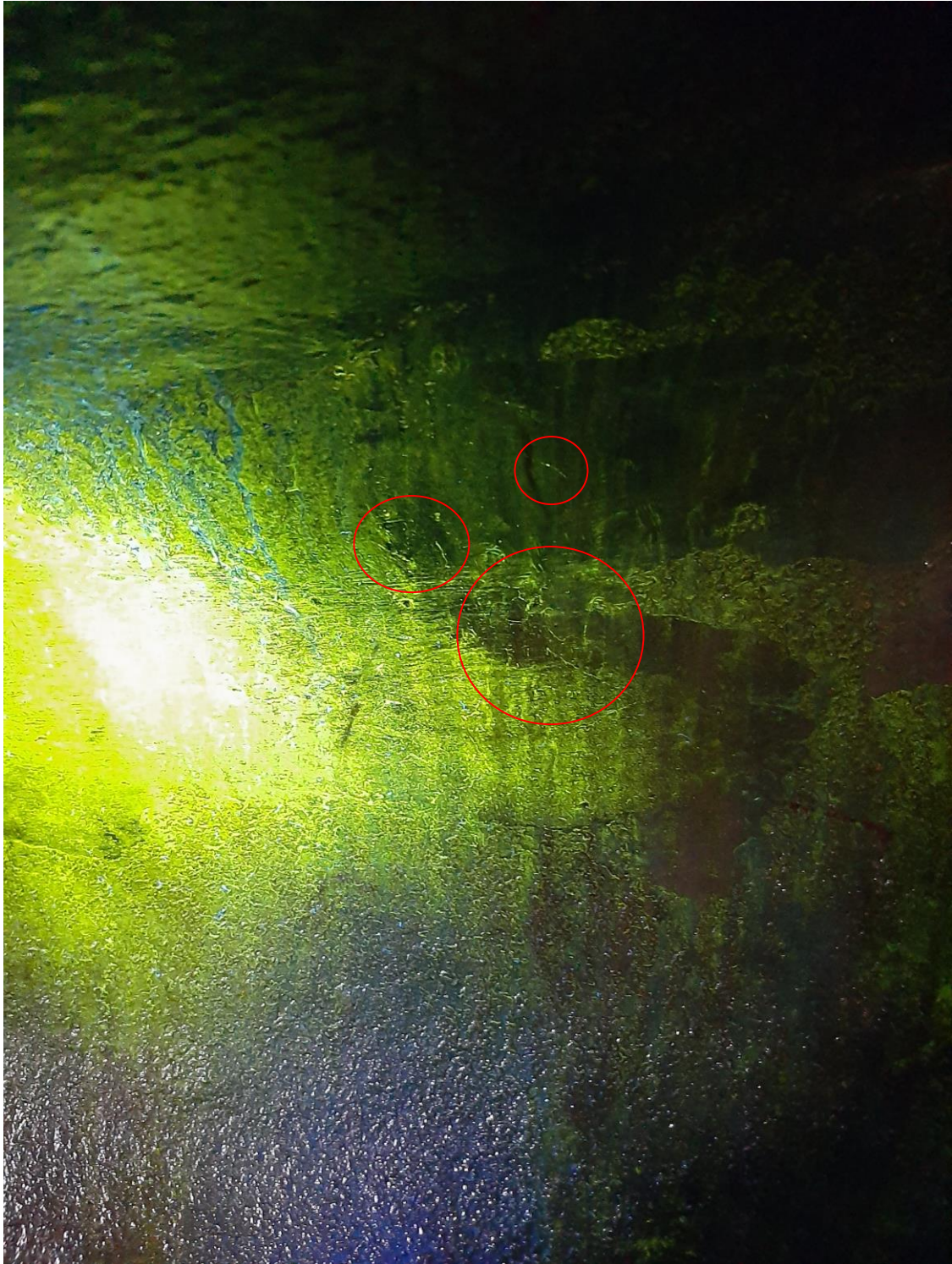
Robert Lesić / MT III

Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating:

NE ZADOVOLJAVA



Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:



Indikacije na reparaturnom zavaru ispod kućišta brtvi

Mjesto i datum ispitivanja/
Place and date of testing:

Ljubljana , 29.6.2023.

Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification:

Dijana Grdić / MT II

Odobrio/Approved by:

Robert Lesić / MT III

Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating:

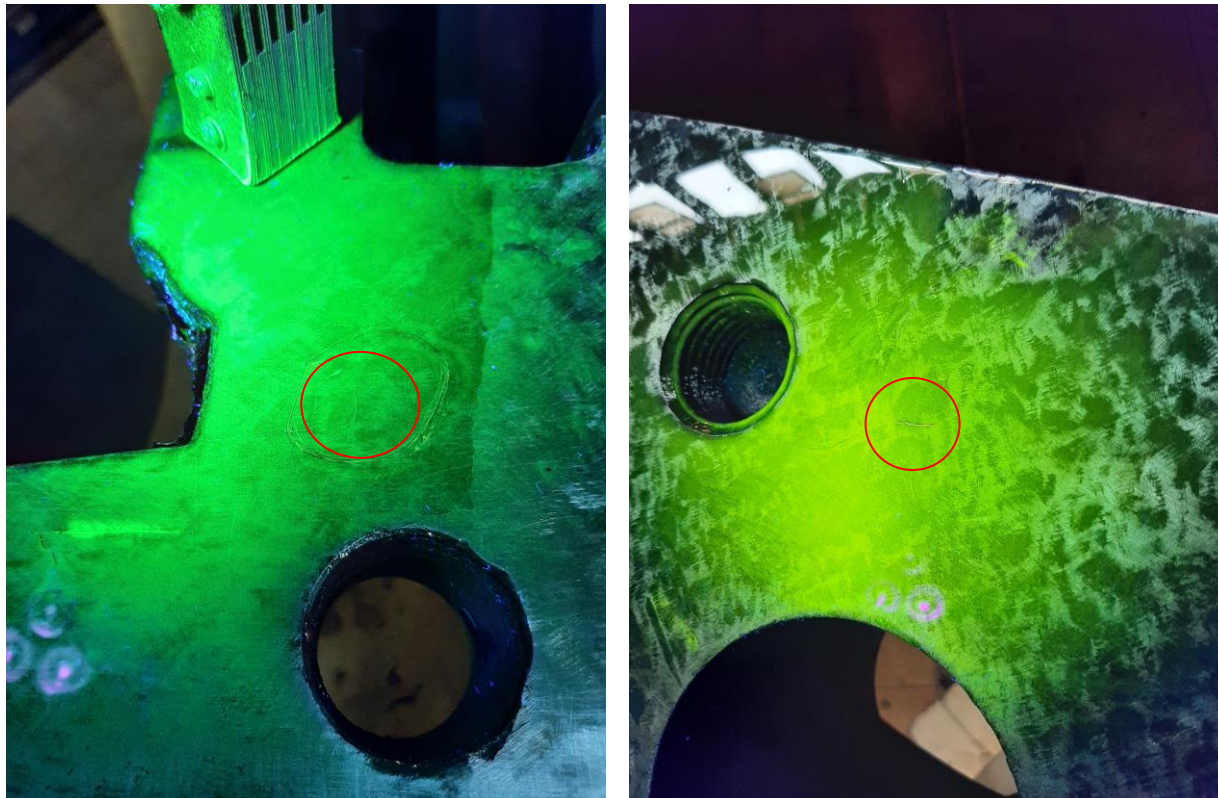
NE ZADOVOLJAVA

Naziv objekta i pozicija/Object name and position: ENERGETIKA LJUBLJANA Jugoturbina 50 MW Kućište turbine - GP	Broj crteža/Drawing number: -	Broj RN/WO number: P-1025/22
	Materijal/Material: -	Komada/Pieces: 1
Norma ispitivanja/Testing procedure: EN 9934-1:2017	Primjenjeni postupak ispitivanja/Applied technique TTK-RU-09-11	Kriterij prihvatljivosti/Acceptance criteria: EN 1369 / SM 3, LM 3, AM 3 EN ISO 23278
Priprema površine/Surface preparation: očišćeno	Oprema za kontrolu/Testing equipment: Magnet: TIEDE TWM 230 A UV lamp: LABINO PH135spot	Parametri ispitivanja/Testing parameters: Jakost mag. polja 24 A/cm Intenzitet UV svjetlosti 1000 µW/cm ²

Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:

Magnetskom kontrolom gornje polovice kućišta, u skladu sa kriterijima prihvatljivosti nisu detektirane nelinearne indikacije (SM). Na dosjednoj plohi uočene su linearne indikacije (LM) i indikacije u liniji (AM) veće od 3 mm, koje ne zadovoljavaju kriterije prihvatljivosti LM 3-AM 3. Indikacije nisu potvrđene PT kontrolom, te se procjenjuje da su površinske ogrebotine, te da neće utjecati na siguran rad.

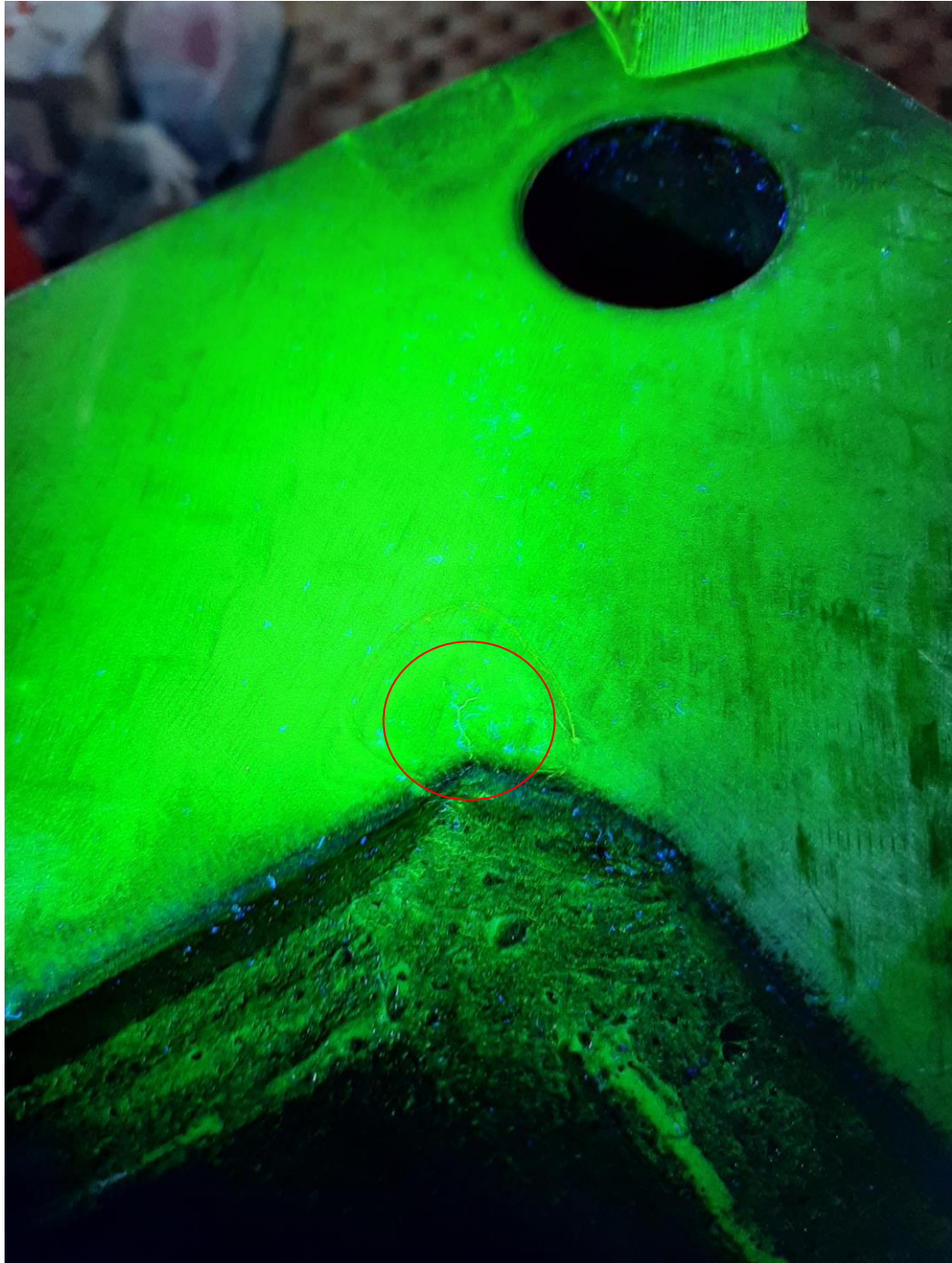
Na reparaturnom zavaru ispod kućišta brtvi uočeno više linearnih indikacija i nelinearnih indikacija većih od 6 mm, koje ne zadovoljavaju kriterije prihvatljivosti 3 prema normi za zavare EN ISO 23278, a koje su potvrđene i PT kontrolom. Obzirom da ne zadovoljava kriterij prihvatljivosti, te se indikacije nalaze na kritičnom mjestu kućišta gdje je velika koncentracija pare i visoke temperature, potrebna je sanacija.



Indikacije na dosjednoj plohi VT dijela

Mjesto i datum ispitivanja/ Place and date of testing: Ljubljana , 29.6.2023.	Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification: Dijana Grdić / MT II	Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating: NE ZADOVOLJAVA
	Odobrio/Approved by: Robert Lesić / MT III	

Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:



Indikacije na dosjednoj plohi NT dijela

Mjesto i datum ispitivanja/
Place and date of testing:

Ljubljana , 29.6.2023.

Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification:

Dijana Grdić / MT II

Odobrio/Approved by:

Robert Lesić / MT III

Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating:

NE ZADOVOLJAVA



Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:



Indikacije na reparaturnom zavaru ispod kućišta brtvi

Mjesto i datum ispitivanja/
Place and date of testing:

Ljubljana , 29.6.2023.

Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification:

Dijana Grdić / MT II

Odobrio/Approved by:

Robert Lesić / MT III

Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating:

NE ZADOVOLJAVA



Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:



Indikacije na reparaturnom zavaru ispod kućišta brtvi

Mjesto i datum ispitivanja/
Place and date of testing:

Ljubljana , 29.6.2023.

Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification:

Dijana Grdić / MT II

Odobrio/Approved by:

Robert Lesić / MT III

Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating:

NE ZADOVOLJAVA



Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:



Indikacije na reparaturnom zavaru ispod kućišta brtvi

Mjesto i datum ispitivanja/
Place and date of testing:

Ljubljana , 29.6.2023.

Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification:

Dijana Grdić / MT II

Odobrio/Approved by:

Robert Lesić / MT III

Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating:

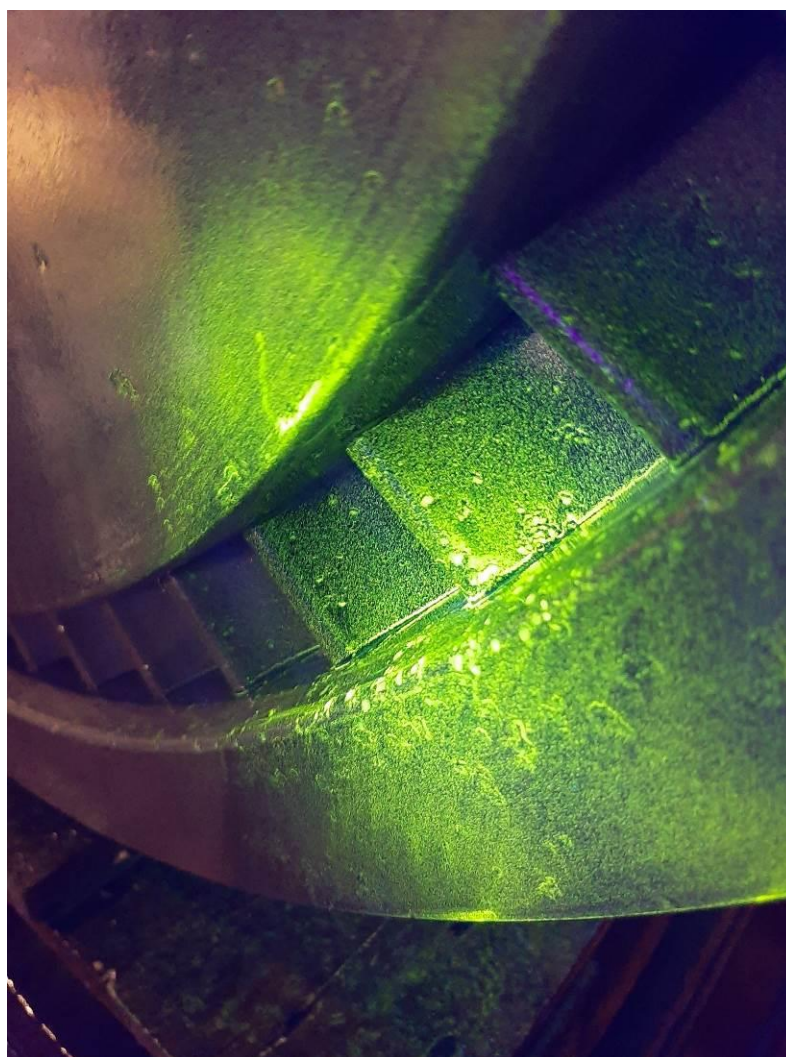
NE ZADOVOLJAVA

 TVORNICA TURBINA d.o.o. TURBINE WORKS Ltd.	Naziv / Name: MAGNETSKA KONTROLA MAGNETIC EXAMINATION	MT-66-23	
		List: Page:	Listova: Pages:

Naziv objekta i pozicija/Object name and position: ENERGETIKA LJUBLJANA Jugoturbina 50 MW Razdjelne stijene 7-17	Broj crteža/Drawing number: -	Broj RN/WO number: P-1025/22
	Materijal/Material: -	Komada/Pieces: ST 7- ST 17
Norma ispitivanja/Testing procedure: EN 9934-1:2017	Primjenjeni postupak ispitivanja/Applied technique TTK-RU-09-11	Kriterij prihvatljivosti/Acceptance criteria: EN 1369 / SM 3, LM 3, AM 3
Priprema površine/Surface preparation: pjeskareno	Oprema za kontrolu/Testing equipment: Magnet: MAGNAFLUX Y-8 UV lamp: LABINO MP 3.0	Parametri ispitivanja/Testing parameters: Jakost mag. polja 24 A/cm Intezitet UV svjetlosti 1000 µW/cm²

Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:

ST 7 (DP-UL): Uočeno abrazivno trošenje koje je utvrđeno i vizualnom metodom.



Mjesto i datum ispitivanja/ Place and date of testing: Ljubljana , 29.6.2023.	Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification: Dijana Grdić, MT II	Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating: KORISTITI KAKVO JE
	Odobrio/Approved by: Robert Lesić / MT III	

Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:

ST 7 (GP-UL): Uočeno abrazivno trošenje koje je utvrđeno i vizualnom metodom.



ST 7 (DP-IZ): Uočeno abrazivno trošenje koje je utvrđeno i vizualnom metodom.
Uočene rubne linearne indikacije na vanjskom i unutarnjem prstenu kod većine lopatica.



Mjesto i datum ispitivanja/
Place and date of testing:

Ljubljana , 29.6.2023.

Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification:

Dijana Grdić, MT II

Odobrio/Approved by:

Robert Lesić / MT III

Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating:

KORISTITI KAKVO JE

Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:

ST 7 (GP-IZ): Uočeno abrazivno trošenje koje je utvrđeno i vizualnom metodom.
Uočene rubne linearne indikacije na vanjskom i unutarnjem prstenu kod većine lopatica.



ST 8 (DP-UL): Uočeno abrazivno trošenje koje je utvrđeno i vizualnom metodom.
Uočena linearna indikacija na vanjskom prstenu između dvije lopatice, vidljiva i vizualnim pregledom.



Mjesto i datum ispitivanja/
Place and date of testing:

Ljubljana , 29.6.2023.

Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification:

Dijana Grdić, MT II

Odobrio/Approved by:

Robert Lesić / MT III

Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating:

KORISTITI KAKVO JE

Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:

ST 8 (GP-UL): Uočeno abrazivno trošenje koje je utvrđeno i vizualnom metodom. Uočena linearna indikacija na vanjskom prstenu kod 11. lopatice, vidljiva i vizualnim pregledom, te linearna indikacija



ST 8 (DP-IZ): Uočeno abrazivno trošenje većine lopatica koje je utvrđeno i vizualnom metodom. Uočena okomita linearne indikacije na vanjskom prstenu (10mm), kao i rubne linearne indikacije kod većine lopatica (2-3 mm).



Mjesto i datum ispitivanja/
Place and date of testing:

Ljubljana , 29.6.2023.

Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification:

Dijana Grdić, MT II

Odobrio/Approved by:

Robert Lesić / MT III

Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating:

KORISTITI KAKVO JE

Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:

ST 8 (GP-IZ): Uočena horizontalna linearna indikacija na vanjskom prstenu (10mm), kao i rubne linearne indikacije kod većine lopatica (2-3 mm).



ST 9 (DP-UL): Uočeno abrazivno trošenje većine lopatica koje je utvrđeno i vizualnom metodom.



Mjesto i datum ispitivanja/
Place and date of testing:

Ljubljana , 29.6.2023.

Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification:

Dijana Grdić, MT II

Odobrio/Approved by:

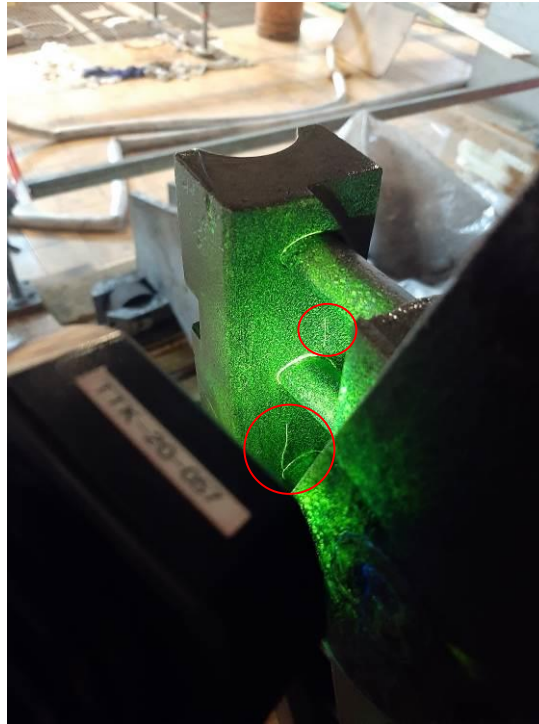
Robert Lesić / MT III

Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating:

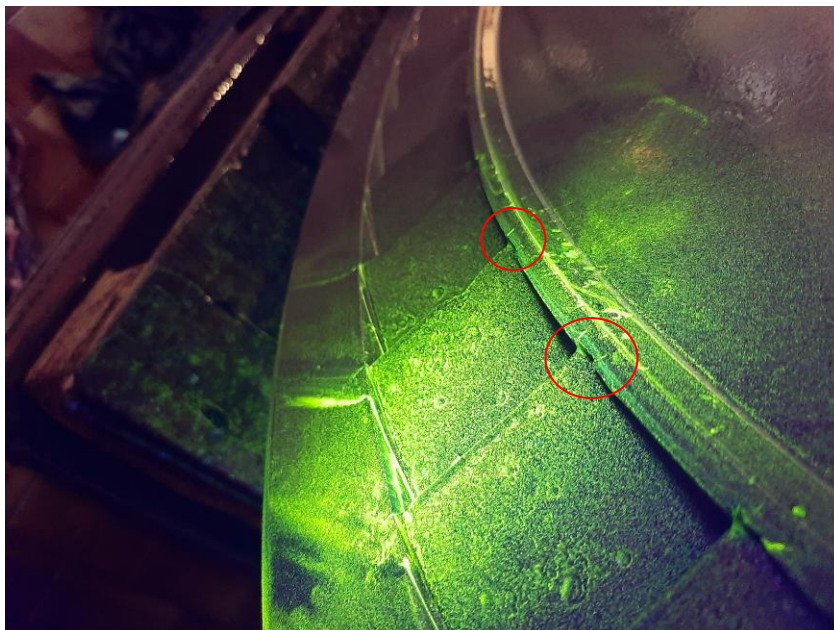
KORISTITI KAKVO JE

Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:

ST 9 (GP-UL): Uočeno abrazivno trošenje većine lopatica koje je utvrđeno i vizualnom metodom. Uočene dvije linearne indikacije na vanjskom prstenu uz lopatice, vidljive i vizualnom kontrolom.



ST 9 (DP-IZ): Uočeno abrazivno trošenje većine lopatica koje je utvrđeno i vizualnom kontrolom. Uočene rubne linearne indikacije kod većine lopatica (2-3 mm).



Mjesto i datum ispitivanja/
Place and date of testing:

Ljubljana , 29.6.2023.

Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification:

Dijana Grdić, MT II

Odobrio/Approved by:

Robert Lesić / MT III

Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating:

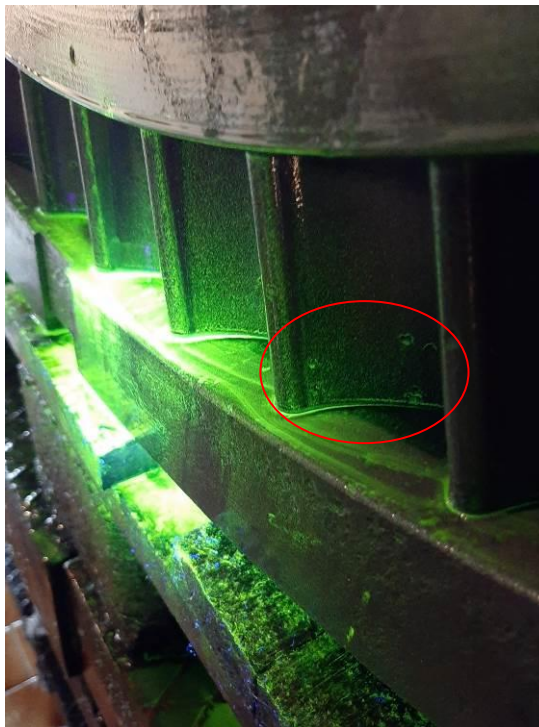
KORISTITI KAKVO JE

Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:

ST 9 (GP-IZ): Uočene rubne okomite linearne indikacije kod većine lopatica (2-3 mm).



ST 10 (DP-UL): Uočeno abrazivno trošenje većine lopatica koje je utvrđeno i vizualnom kontrolom.



Mjesto i datum ispitivanja/
Place and date of testing:

Ljubljana , 29.6.2023.

Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification:

Dijana Grdić, MT II

Odobrio/Approved by:

Robert Lesić / MT III

Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating:

KORISTITI KAKVO JE

Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:

ST 10 (GP-UL): Uočeno abrazivno trošenje većine lopatica koje je utvrđeno i vizualnom kontrolom.



ST 9 (DP-IZ): Uočeno abrazivno trošenje većine lopatica koje je utvrđeno i vizualnom kontrolom. Uočene rubne linearne indikacije kod većine lopatica (2-3 mm) i horizontalna linearna indikacija (15 mm) na vanjskom prstenu.



Mjesto i datum ispitivanja/
Place and date of testing:

Ljubljana , 29.6.2023.

Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification:

Dijana Grdić, MT II

Odobrio/Approved by:

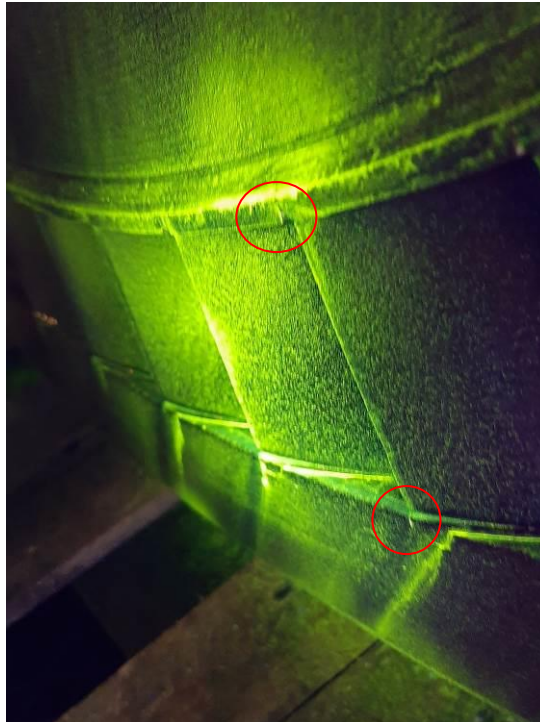
Robert Lesić / MT III

Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating:

KORISTITI KAKVO JE

Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:

ST 10 (GP-IZ): Uočene rubne okomite linearne indikacije kod većine lopatica (2-3 mm).



ST 11 (DP-UL): Uočeno abrazivno trošenje većine lopatica koje je utvrđeno i vizualnom kontrolom.



Mjesto i datum ispitivanja/
Place and date of testing:

Ljubljana , 29.6.2023.

Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification:

Dijana Grdić, MT II

Odobrio/Approved by:

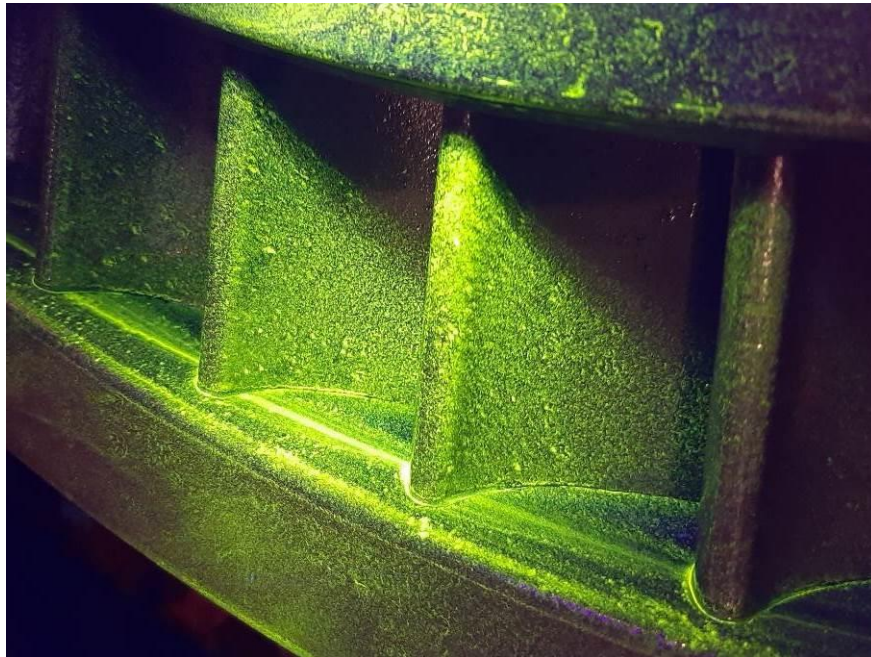
Robert Lesić / MT III

Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating:

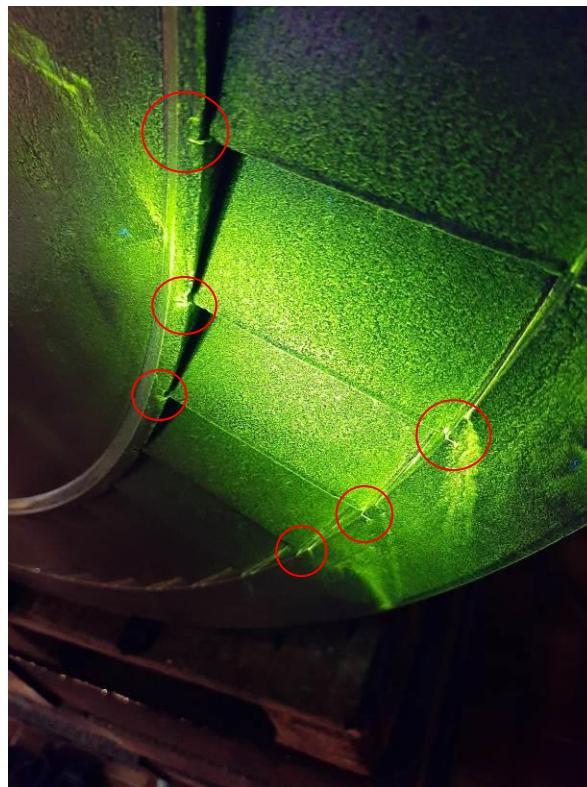
KORISTITI KAKVO JE

Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:

ST 11 (GP-UL): Uočeno abrazivno trošenje većine lopatica koje je utvrđeno i vizualnom kontrolom.



ST 11 (DP-IZ): Uočene rubne okomite linearne indikacije kod većine lopatica (2-3 mm).



Mjesto i datum ispitivanja/
Place and date of testing:

Ljubljana , 29.6.2023.

Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification:

Dijana Grdić, MT II

Odobrio/Approved by:

Robert Lesić / MT III

Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating:

KORISTITI KAKVO JE

Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:

ST 11 (GP-IZ): Uočene rubne okomite linearne indikacije kod većine lopatica (2-3 mm).



ST 12 (DP-UL): Uočeno abrazivno trošenje većine lopatica koje je utvrđeno i vizualnom kontrolom. Uočena linearna indikacija (10 mm) na vanjskom prstenu uz lopaticu.



Mjesto i datum ispitivanja/
Place and date of testing:

Ljubljana , 29.6.2023.

Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification:

Dijana Grdić, MT II

Odobrio/Approved by:

Robert Lesić / MT III

Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating:

KORISTITI KAKVO JE

Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:

ST 12 (GP-UL): Uočeno abrazivno trošenje većine lopatica koje je utvrđeno i vizualnom kontrolom.



ST 12 (DP-IZ): Uočeno abrazivno trošenje većine lopatica koje je utvrđeno i vizualnom kontrolom. Uočene rubne okomite linearne indikacije kod većine lopatica (2-3 mm).



Mjesto i datum ispitivanja/
Place and date of testing:

Ljubljana , 29.6.2023.

Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification:

Dijana Grdić, MT II

Odobrio/Approved by:

Robert Lesić / MT III

Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating:

KORISTITI KAKVO JE

Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:

ST 12 (GP-IZ): Uočeno abrazivno trošenje većine lopatica koje je utvrđeno i vizualnom kontrolom. Uočene rubne okomite linearne indikacije kod većine lopatica (2-3 mm).



ST 13 (DP-UL): Uočeno abrazivno trošenje većine lopatica koje je utvrđeno i vizualnom kontrolom.



Mjesto i datum ispitivanja/
Place and date of testing:

Ljubljana , 29.6.2023.

Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification:

Dijana Grdić, MT II

Odobrio/Approved by:

Robert Lesić / MT III

Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating:

KORISTITI KAKVO JE

Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:

ST 13 (GP-UL): Uočeno abrazivno trošenje većine lopatica koje je utvrđeno i vizualnom kontrolom.



ST 13 (DP-IZ): Uočene rubne okomite linearne indikacije kod većine lopatica (2-3 mm).



Mjesto i datum ispitivanja/
Place and date of testing:

Ljubljana , 29.6.2023.

Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification:

Dijana Grdić, MT II

Odobrio/Approved by:

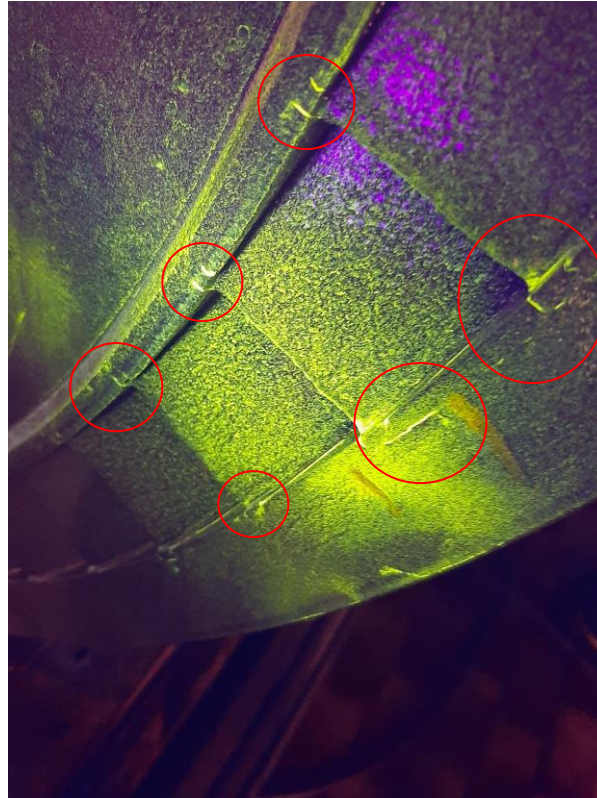
Robert Lesić / MT III

Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating:

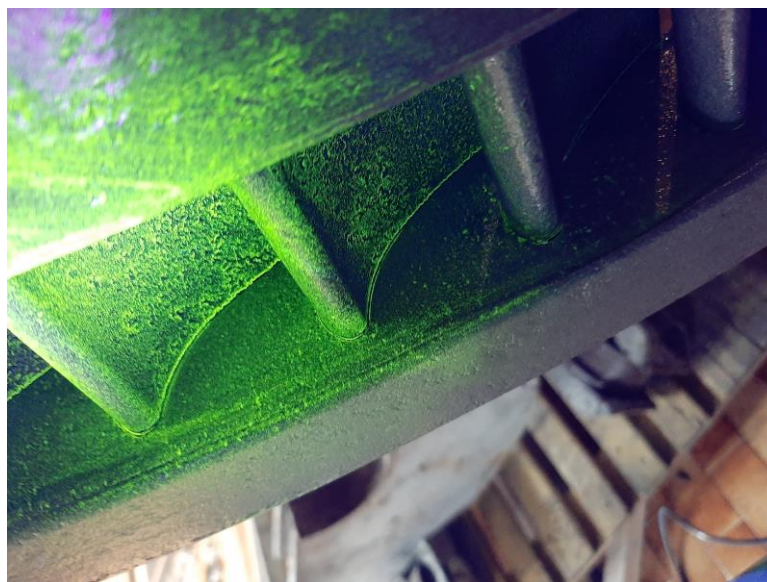
KORISTITI KAKVO JE

Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:

ST 13 (GP-IZ): Uočene rubne okomite linearne indikacije kod većine lopatica (2-3 mm) i jednahorizontalna linearna indikacija na vanjskom prstenu (15 mm).



ST 14 (DP-UL): Uočeno abrazivno trošenje većine lopatica koje je utvrđeno i vizualnom kontrolom.



Mjesto i datum ispitivanja/
Place and date of testing:

Ljubljana , 29.6.2023.

Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification:

Dijana Grdić, MT II

Odobrio/Approved by:

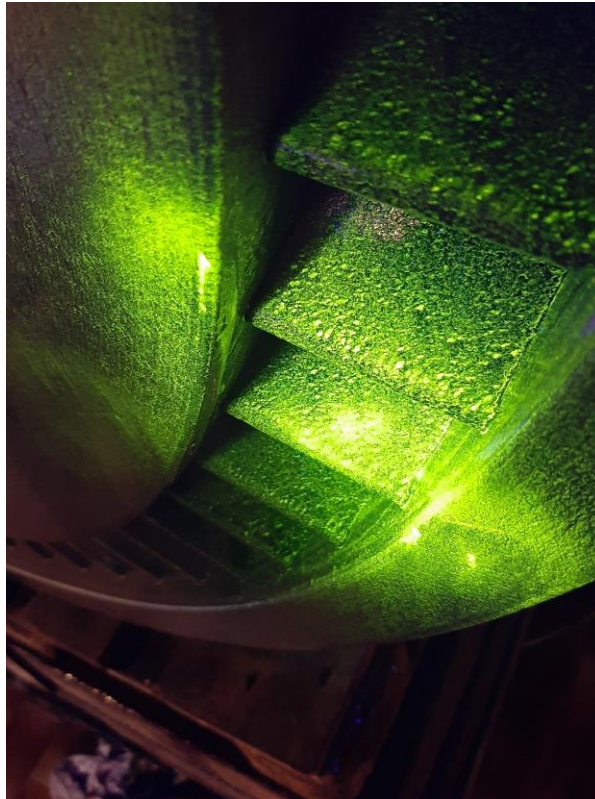
Robert Lesić / MT III

Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating:

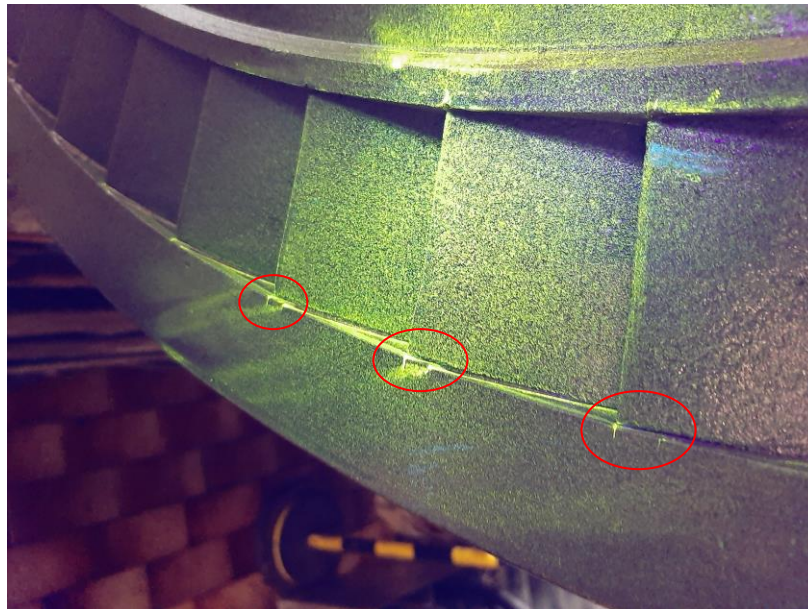
KORISTITI KAKVO JE

Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:

ST 14 (GP-UL): Uočeno abrazivno trošenje većine lopatica koje je utvrđeno i vizualnom kontrolom.



ST 14 (DP-IZ): Uočeno abrazivno trošenje većine lopatica koje je utvrđeno i vizualnom kontrolom.



Mjesto i datum ispitivanja/
Place and date of testing:

Ljubljana , 29.6.2023.

Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification:

Dijana Grdić, MT II

Odobrio/Approved by:

Robert Lesić / MT III

Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating:

KORISTITI KAKVO JE

Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:

ST 14 (GP-IZ): Uočena jedna horizontalna linearna indikacija na vanjskom prstenu (10 mm)



ST 15 (DP-UL): Na vanjskom prstenu između dvije lopaticeuočena horizontalna linearna indikacija (15 mm).



Mjesto i datum ispitivanja/
Place and date of testing:

Ljubljana , 29.6.2023.

Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification:

Dijana Grdić, MT II

Odobrio/Approved by:

Robert Lesić / MT III

Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating:

KORISTITI KAKVO JE

Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:

ST 15 (GP-UL): Na vanjskom prstenu između dvije lopatice uočena horizontalna linearna indikacija (15 mm).



ST 15 (DP-IZ): Uočene rubne okomite linearne indikacije kod većine lopatica (2-3 mm).



Mjesto i datum ispitivanja/
Place and date of testing:

Ljubljana , 29.6.2023.

Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification:

Dijana Grdić, MT II

Odobrio/Approved by:

Robert Lesić / MT III

Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating:

KORISTITI KAKVO JE

Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:

ST 15 (GP-IZ): Uočene rubne okomite linearne indikacije kod većine lopatica (2-3 mm).



ST 16 (DP-UL): Uočeno abrazivno trošenje većine lopatica koje je utvrđeno i vizualnom kontrolom.



Mjesto i datum ispitivanja/
Place and date of testing:

Ljubljana , 29.6.2023.

Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification:

Dijana Grdić, MT II

Odobrio/Approved by:

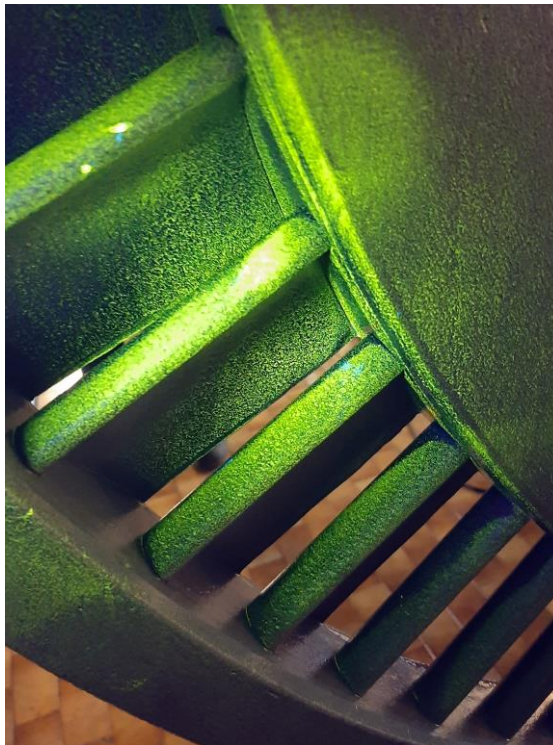
Robert Lesić / MT III

Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating:

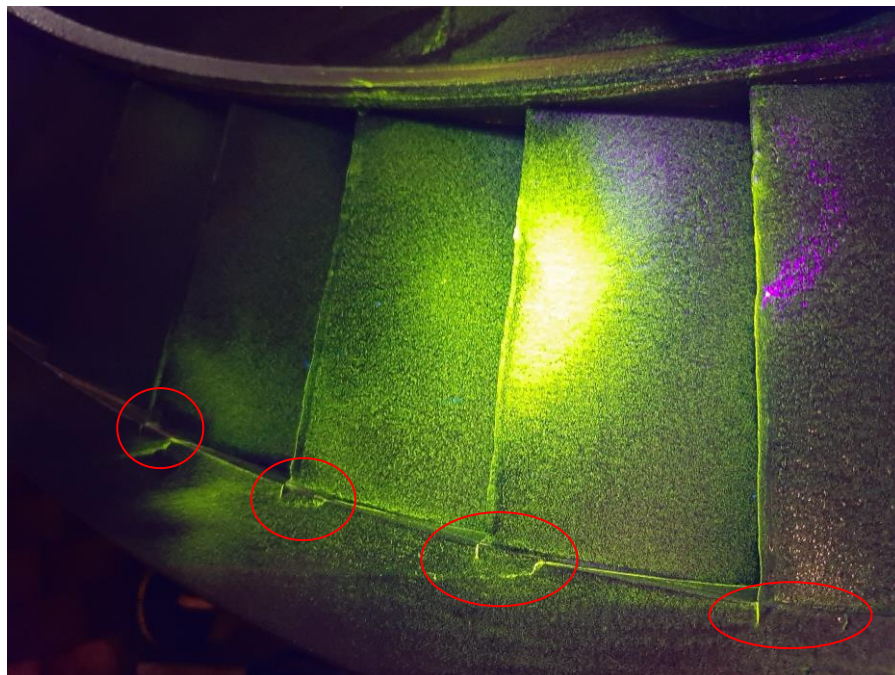
KORISTITI KAKVO JE

Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:

ST 16 (GP-UL): Uočeno manje abrazivno trošenje većine lopatica koje je utvrđeno i vizualnom kontrolom.



ST 16 (DP-IZ): Uočene rubne okomite linearne indikacije kod većine lopatica (2-3 mm).



Mjesto i datum ispitivanja/
Place and date of testing:

Ljubljana , 29.6.2023.

Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification:

Dijana Grdić, MT II

Odobrio/Approved by:

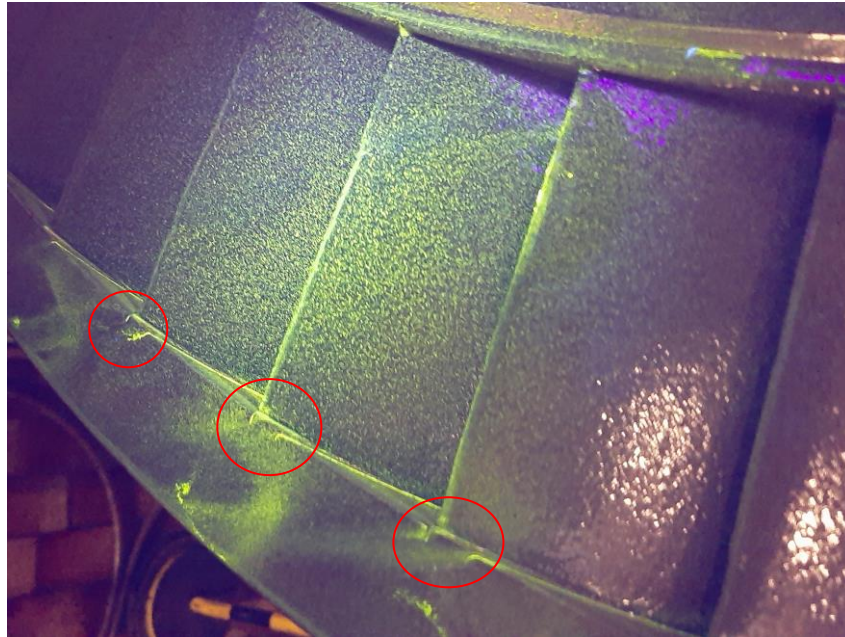
Robert Lesić / MT III

Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating:

KORISTITI KAKVO JE

Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:

ST 16 (GP-IZ): Uočene rubne okomite linearne indikacije kod većine lopatica (2-3 mm).



ST 17 (DP-UL): Uočeno manje abrazivno trošenje većine lopatica koje je utvrđeno i vizualnom kontrolom.



Mjesto i datum ispitivanja/
Place and date of testing:

Ljubljana , 29.6.2023.

Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification:

Dijana Grdić, MT II

Odobrio/Approved by:

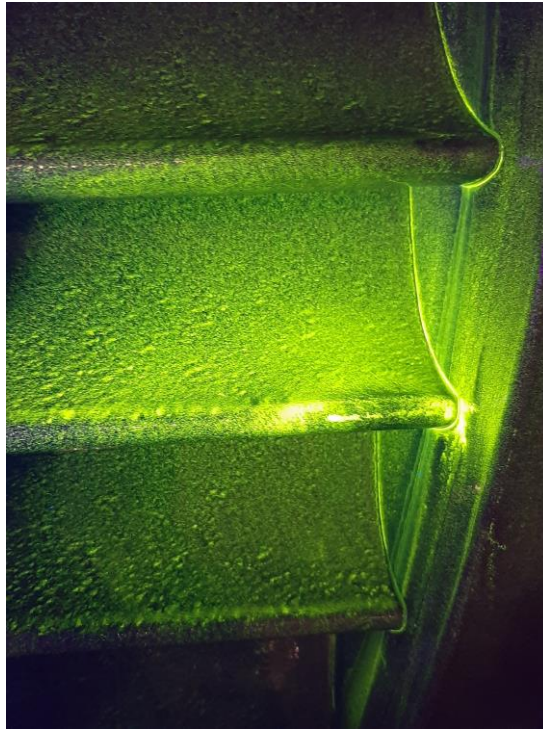
Robert Lesić / MT III

Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating:

KORISTITI KAKVO JE

Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:

ST 17 (GP-UL): Uočeno manje abrazivno trošenje većine lopatica koje je utvrđeno i vizualnom kontrolom.



ST 17 (DP-IZ): Uočeno više horizontalnih linearne indikacija na vanjskom prstenu do 10 mm.



Mjesto i datum ispitivanja/
Place and date of testing:

Ljubljana , 29.6.2023.

Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification:

Dijana Grdić, MT II

Odobrio/Approved by:

Robert Lesić / MT III

Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating:

KORISTITI KAKVO JE

Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:

ST 17 (GP-IZ): Uočeno više horizontalnih linearnih indikacija na vanjskom i unutarnjem prstenu do 10 mm.



Zaključak: Procijenjeno je da utvrđene indikacije ne utječu na siguran rad turbine, te se ugrađuju bez dodatnih dorada ili zamjena. Prilikom sljedećeg remonta planirati zamjenu.

Mjesto i datum ispitivanja/
Place and date of testing:

Ljubljana , 29.6.2023.

Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification:

Dijana Grdić, MT II

Odobrio/Approved by:

Robert Lesić / MT III

Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating:

KORISTITI KAKVO JE

 TVORNICA TURBINA d.o.o. TURBINE WORKS Ltd.	Naziv / Name: MAGNETSKA KONTROLA MAGNETIC EXAMINATION	MT-67-23	
		List: Page:	Listova: Pages:

Naziv objekta i pozicija/Object name and position: ENERGETIKA LJUBLJANA Jugoturbina 50 MW Razdjelne stijene 19-21	Broj crteža/Drawing number: -	Broj RN/WO number: P-1025/22
	Materijal/Material: -	Komada/Pieces: ST 19- ST 21
Norma ispitivanja/Testing procedure: EN 9934-1:2017	Primjenjeni postupak ispitivanja/Applied technique TTK-RU-09-11	Kriterij prihvatljivosti/Acceptance criteria: EN 1369 / SM 3, LM 3, AM 3
Priprema površine/Surface preparation: pjeskareno	Oprema za kontrolu/Testing equipment: Magnet: MAGNAFLUX Y-8 UV lamp: LABINO MP 3.0	Parametri ispitivanja/Testing parameters: Jakost mag. polja 24 A/cm Intezitet UV svjetlosti 1000 µW/cm ²

Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:

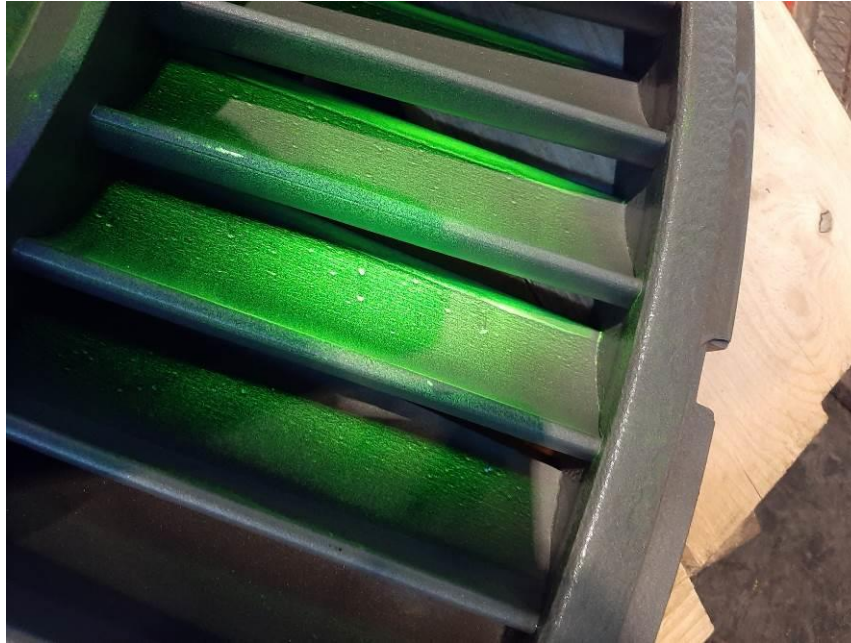
ST 19 (DP-UL): Nisu uočene nedozvoljene indikacije.



Mjesto i datum ispitivanja/ Place and date of testing: Ljubljana , 29.6.2023.	Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification: Dijana Grdić, MT II	Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating: ZADOVOLJAVA
	Odobrio/Approved by: Robert Lesić / MT III	

Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:

ST 19 (GP-UL): Uočeno manje abrazivno trošenje koje je utvrđeno i vizualnom metodom.



ST 19 (DP-IZ): Nisu uočene nedozvoljene indikacije.



Mjesto i datum ispitivanja/
Place and date of testing:

Ljubljana , 29.6.2023.

Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification:

Dijana Grdić, MT II

Odobrio/Approved by:

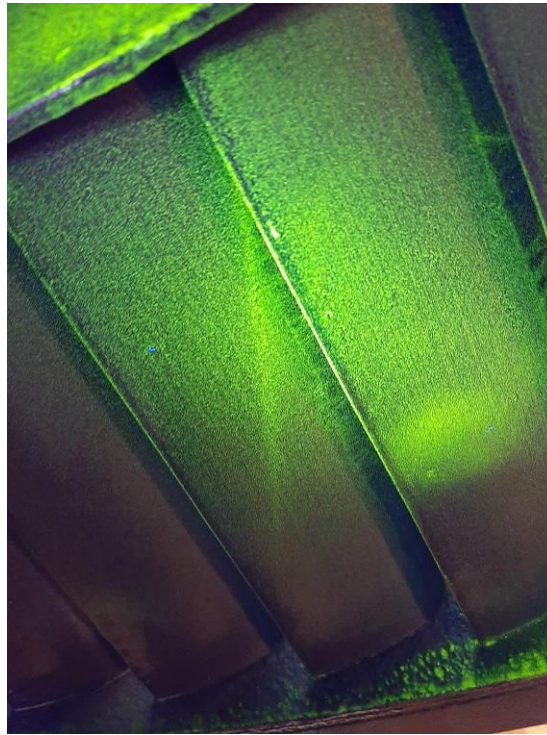
Robert Lesić / MT III

Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating:

ZADOVOLJAVA

Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:

ST 19 (GP-IZ): Nisu uočene nedozvoljene indikacije.



ST 20 (DP-UL): Nisu uočene nedozvoljene indikacije.



Mjesto i datum ispitivanja/
Place and date of testing:

Ljubljana , 29.6.2023.

Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification:

Dijana Grdić, MT II

Odobrio/Approved by:

Robert Lesić / MT III

Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating:

ZADOVOLJAVA

Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:

ST 20 (GP-UL): Nisu uočene nedozvoljene indikacije.



ST 20 (DP-IZ): Nisu uočene nedozvoljene indikacije.



Mjesto i datum ispitivanja/
Place and date of testing:

Ljubljana , 29.6.2023.

Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification:

Dijana Grdić, MT II

Odobrio/Approved by:

Robert Lesić / MT III

Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating:

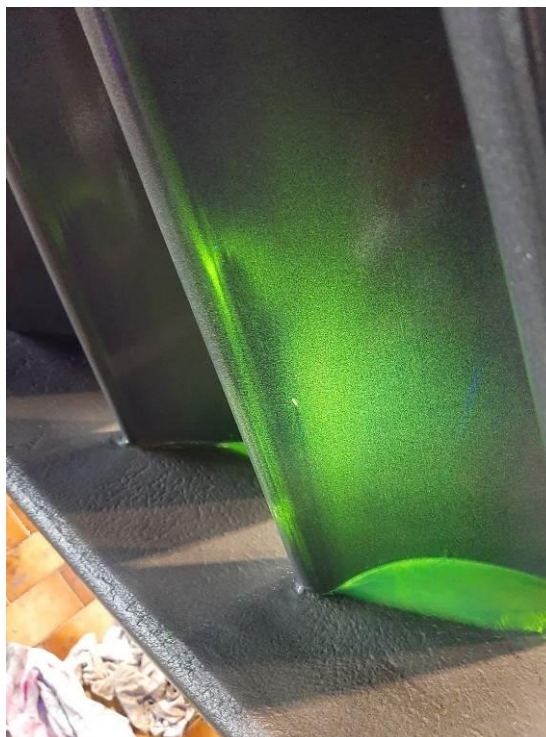
ZADOVOLJAVA

Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:

ST 20 (GP-IZ): Nisu uočene nedozvoljene indikacije.



ST 21 (DP-UL): Nisu uočene nedozvoljene indikacije.



Mjesto i datum ispitivanja/
Place and date of testing:

Ljubljana , 29.6.2023.

Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification:

Dijana Grdić, MT II

Odobrio/Approved by:

Robert Lesić / MT III

Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating:

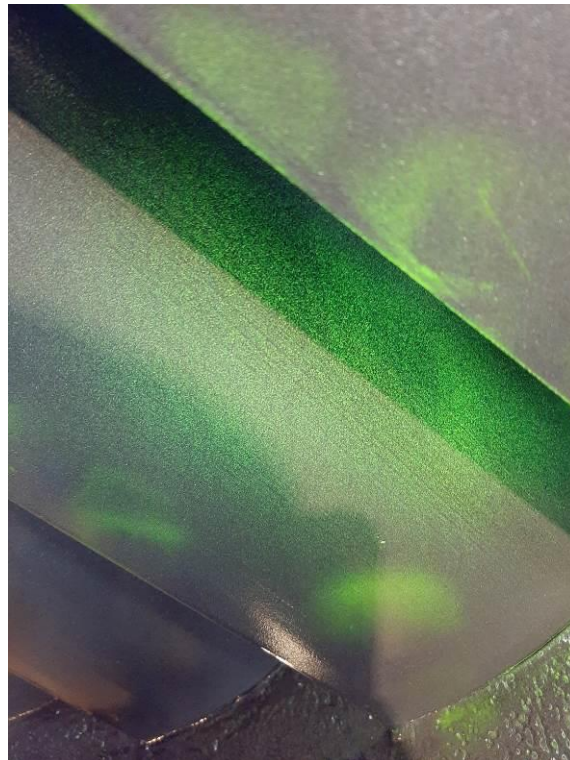
ZADOVOLJAVA

Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:

ST 21 (GP-UL): Nisu uočene nedozvoljene indikacije.



ST 21 (DP-IZ): Nema nedozvoljenih indikacija.



Mjesto i datum ispitivanja/
Place and date of testing:

Ljubljana , 29.6.2023.

Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification:

Dijana Grdić, MT II

Odobrio/Approved by:

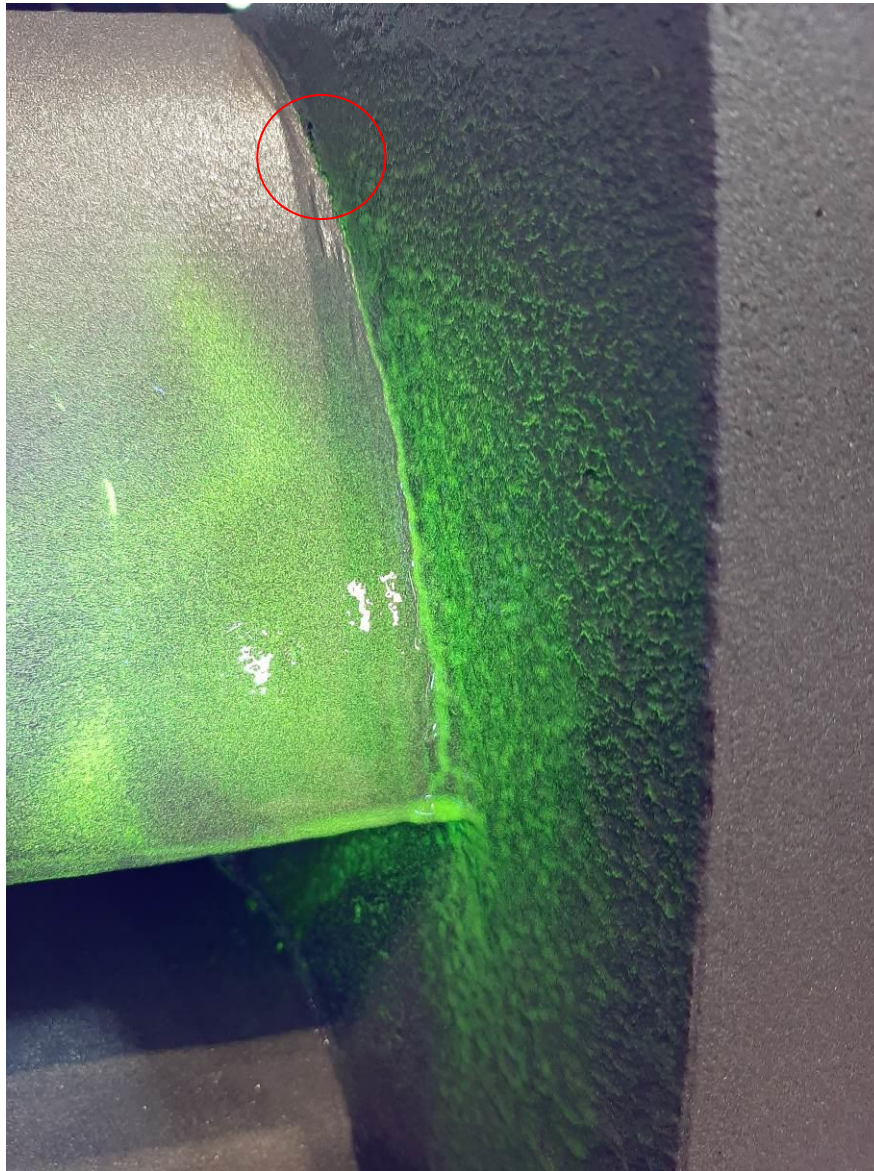
Robert Lesić / MT III

Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating:

ZADOVOLJAVA

Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:

ST 21 (GP-IZ): Uočena poroznost na prvoj lopatici, utvrđeno vizualnom kontrolom.



Zaključak: Magnetskom kontrolom razdjelnih stijena od 19. do 21. stupnja, nisu učene ne dozvoljene indikacije, te se ugrađuju kakve jesu bez dodatnih dorada ili zamjena. Prilikom sljedećeg remonta obratiti pozornost na spomenutu poroznost i abrazivna trošenja.

Mjesto i datum ispitivanja/
Place and date of testing:

Ljubljana , 29.6.2023.

Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification:

Dijana Grdić, MT II

Odobrio/Approved by:

Robert Lesić / MT III

Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating:

ZADOVOLJAVA

 TVORNICA TURBINA d.o.o. TURBINE WORKS Ltd.	Naziv / Name: MAGNETSKA KONTROLA MAGNETIC EXAMINATION	MT-68-23	
		List: Page:	Listova: Pages:

Naziv objekta i pozicija/Object name and position: ENERGETIKA LJUBLJANA Jugoturbina 50 MW Zakretna dijafragma	Broj crteža/Drawing number: -	Broj RN/WO number: P-1025/22
	Materijal/Material: -	Komada/Pieces: 1
Norma ispitivanja/Testing procedure: EN 9934-1:2017	Primjenjeni postupak ispitivanja/Applied technique TTK-RU-09-11	Kriterij prihvatljivosti/Acceptance criteria: EN 1369 / SM 3, LM 3, AM 3
Priprema površine/Surface preparation: pjeskareno	Oprema za kontrolu/Testing equipment: Magnet: MAGNAFLUX Y-8 UV lamp: LABINO MP 3.0	Parametri ispitivanja/Testing parameters: Jakost mag. polja 24 A/cm Intezitet UV svjetlosti 1000 μW/cm ²

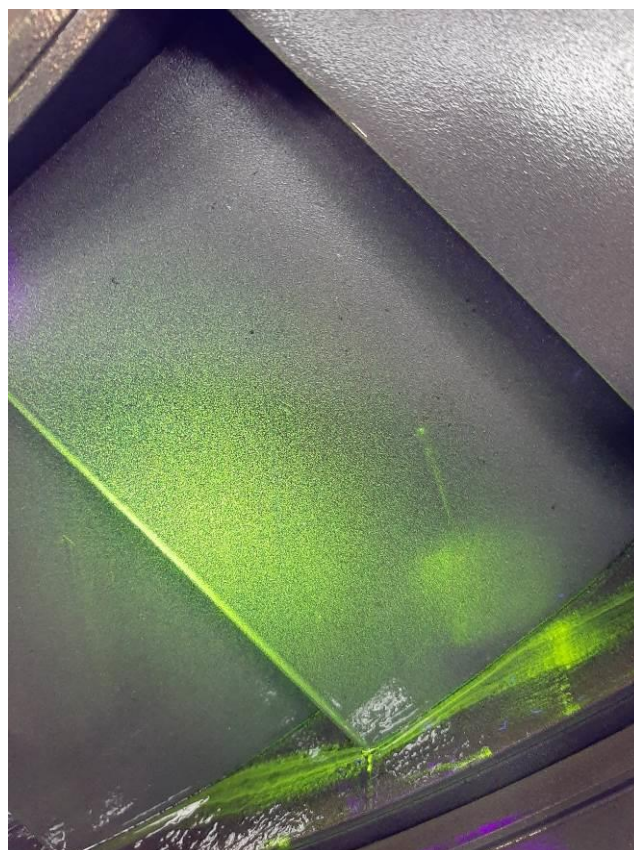
Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:

Stacionarni dio zakretne dijafragme – donja polovica

Nisu uočene nedozvoljene indikacije.



Ulaz



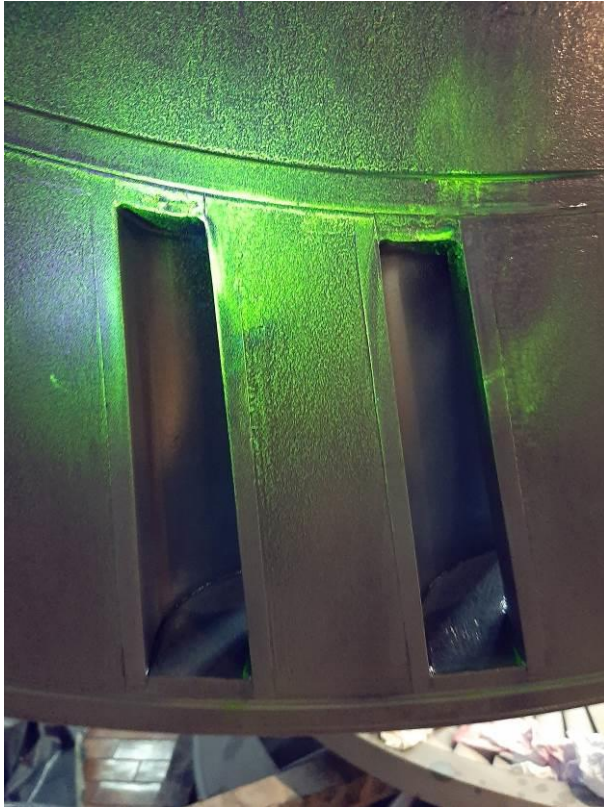
Izlaz

Mjesto i datum ispitivanja/ Place and date of testing: Ljubljana, 29.6.2023.	Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification: Dijana Grdić, MT II	Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating: ZADOVOLJAVA
	Odobrio/Approved by: Robert Lesić / MT III	

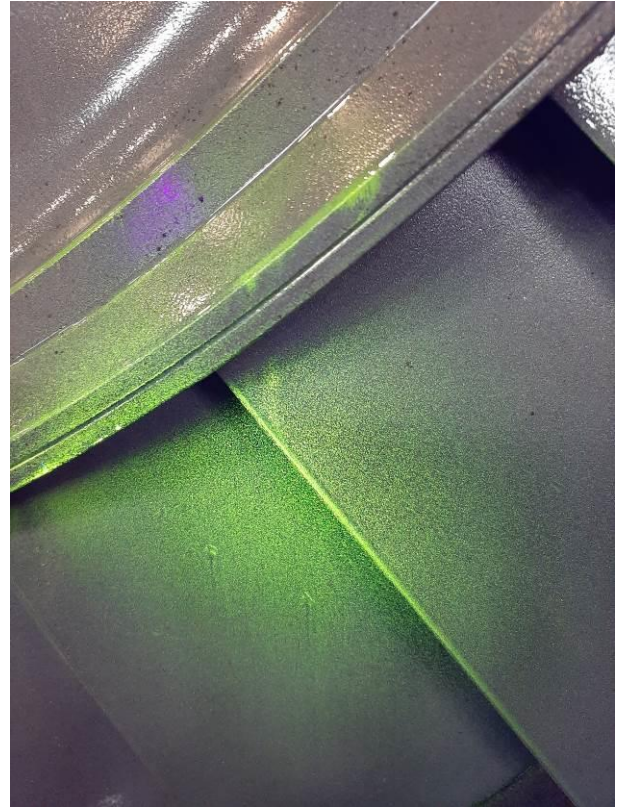
Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:

Stacionarni dio zakretne dijafragme – gornja polovica

Nisu uočene nedozvoljene indikacije.



Ulaz



Izlaz

Mjesto i datum ispitivanja/
Place and date of testing:

Ljubljana , 29.6.2023.

Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification:

Dijana Grdić, MT II

Odobrio/Approved by:

Robert Lesić / MT III

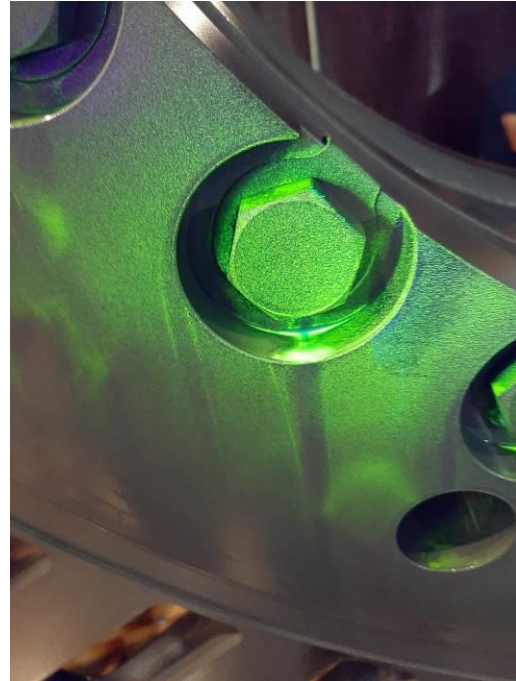
Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating:

ZADOVOLJAVA

Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:

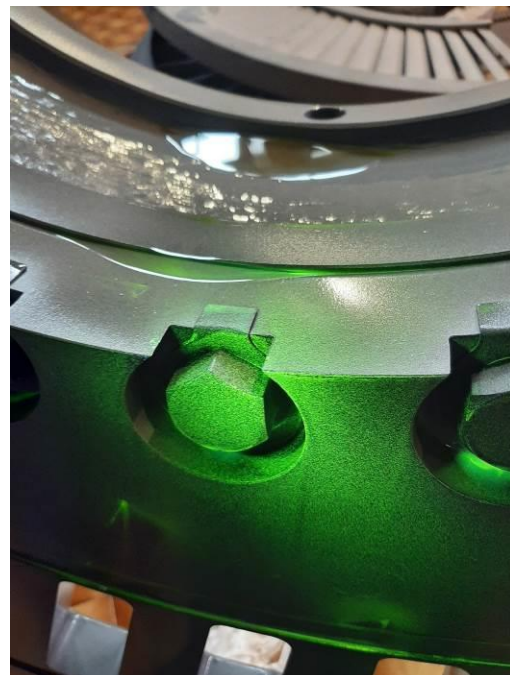
Rotacioni dio zakretne dijafragme – donja polovica

Nisu uočene nedozvoljene indikacije.



Rotacioni dio zakretne dijafragme – donja polovica

Nisu uočene nedozvoljene indikacije.



Mjesto i datum ispitivanja/
Place and date of testing:

Ljubljana , 29.6.2023.

Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification:

Dijana Grdić, MT II

Odobrio/Approved by:

Robert Lesić / MT III

Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating:

ZADOVOLJAVA

 TVORNICA TURBINA d.o.o. TURBINE WORKS Ltd.	Naziv / Name: MAGNETSKA KONTROLA MAGNETIC EXAMINATION	MT-69-23	
		List: Page:	Listova: Pages:

Naziv objekta i pozicija/Object name and position: ENERGETIKA LJUBLJANA Jugoturbina 50 MW Kučište BZV-a - Desno	Broj crteža/Drawing number: -	Broj RN/WO number: P-1025/22
	Materijal/Material: -	Komada/Pieces: 1
Norma ispitivanja/Testing procedure: EN 9934-1:2017	Primjenjeni postupak ispitivanja/Applied technique TTK-RU-09-11	Kriterij prihvatljivosti/Acceptance criteria: EN 1369 / SM 3, LM 3, AM 3
Priprema površine/Surface preparation: očišćeno	Oprema za kontrolu/Testing equipment: Magnet: MAGNAFLUX Y-8 UV lamp: LABINO MP 3.0	Parametri ispitivanja/Testing parameters: Jakost mag. polja 24 A/cm Intezitet UV svjetlosti 1000 µW/cm ²

Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:

Magnetskom kontrolom prijelaznih radijusa kućišta desnog Brzozatvarajućeg ventila, u skladu sa kriterijima prihvatljivosti nisu uočene nelinearne indikacije (SM), linearne indikacije (LM) i indikacije u liniji (AM). Na prirubnici uočena jedna linearna indikacija koja nije potvrđena PT kontrolom. Stručni tim TTK u suglasnosti sa TE-TO Ljubljana je odlučio da se kućište koristi kakvo je.



Mjesto i datum ispitivanja/ Place and date of testing: Ljubljana , 30.6.2023.	Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification: Dijana Grdić / MT II	Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating: KORISTITI KAKVO JE
	Odobrio/Approved by: Robert Lesić / MT III	

Naziv objekta i pozicija/Object name and position: ENERGETIKA LJUBLJANA Jugoturbina 50 MW Kučište BZV-a - Lijevo	Broj crteža/Drawing number: -	Broj RN/WO number: P-1025/22
	Materijal/Material: -	Komada/Pieces: 1
Norma ispitivanja/Testing procedure: EN 9934-1:2017	Primjenjeni postupak ispitivanja/Applied technique TTK-RU-09-11	Kriterij prihvatljivosti/Acceptance criteria: EN 1369 / SM 3, LM 3, AM 3
Priprema površine/Surface preparation: očišćeno	Oprema za kontrolu/Testing equipment: Magnet: MAGNAFLUX Y-8 UV lamp: LABINO MP 3.0	Parametri ispitivanja/Testing parameters: Jakost mag. polja 24 A/cm Intezitet UV svjetlosti 1000 µW/cm ²

Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:

Magnetskom kontrolom prijelaznih radijusa kućišta lijevog Brzozatvarajućeg ventila, u skladu sa kriterijima prihvatljivosti nisu uočene nelinearne indikacije (SM), linearne indikacije (LM) i indikacije u liniji (AM). Na prirubnici uočeno 13 linearnih indikacija koje nije potvrdila PT kontrola. Stručni tim TTK u suglasnosti sa TE-TO Ljubljana je odlučio da se kućište koristi kakvo je.



Mjesto i datum ispitivanja/ Place and date of testing: Ljubljana , 30.6.2023.	Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification: Dijana Grdić / MT II	Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating: KORISTITI KAKVO JE
	Odobrio/Approved by: Robert Lesić / MT III	

Skica i rezultat ispitivanja/Sketch and testing results:



Mjesto i datum ispitivanja/
Place and date of testing:

Ljubljana , 30.6.2023.

Ispitao/kvalifikacija / Inspector/Qualification:

Dijana Grdić / MT II

Odobrio/Approved by:

Robert Lesić / MT III

Ocjena prihvatljivosti/Acceptance rating:

KORISTITI KAKVO JE

ZAKLJUČAK

Ovim radom detaljno je opisana magnetna metoda nerazornih ispitivanja materijala. Teorijski dio rada pruža uvid u osnovne principe kontrole magnetnim česticama, tehnike magnetizacije, opremu koja se koristi tokom ispitivanja, kao i relevantne norme ispitivanja i ocjenjivanja indikacija.

Eksperimentalni dio rada obuhvatio je konkretno ispitivanje magnetnim česticama na dijelovima parne turbine Jugoturbina 50 MW. Ova primjena omogućila je potvrdu teorijskih pojmova i njihovu implementaciju u stvarnom okruženju. Izvješća o provedenom ispitivanju, pružaju detaljne informacije o uočenim indikacijama, čime se dodatno potvrđuje efikasnost metode.

Ovaj rad doprinosi razumijevanju i primjeni magnetnih metoda nerazornih ispitivanja u industriji, posebno u području energetike. Važnost ovakvih tehnika postaje očigledna u otkrivanju potencijalnih problema u materijalima, čime se unapređuje sigurnost, pouzdanost i dugovječnost industrijskih sustava.

LITERATURA

- [1] <https://www.enciklopedija.hr/>
- [2] <https://www.nde-ed.org/NDETechniques/MagParticle/Introduction/history.xhtml>
- [3] <https://www.ndt.net/article/wcndt00/papers/idn378/idn378.htm>
- [4] <https://www.nagwa.com/en/explainers/186157825721/>
- [5] <https://www.etcourse.com/news-blog/magnetic-field-lines>
- [6] Purcell M. Edward, Morin J. David: *Elektricitet i magnetizam*, Tehnička knjiga, Zagreb, 1988.
- [7] <http://fizicar69.blogspot.com/2013/03/magnetna-svojstva-materijala.html>
- [8] <https://wdbgroup.co.uk/blog/what-is-magnetic-particle-inspection-all-you-need-to-know/>
- [9] <https://worldofndt.com/magnetization-techniques-in-mt/>
- [10] Magnetska kontrola 3, HDKBR – centar za obrazovanje
- [11] <https://magnaflux.eu/>
- [12] <https://www.insightndt.com/mpidisc/testing.html>
- [13] <https://maurermagnetic.com/en/demagnetizing/technology/demagnetisation-technology/>
- [14] https://media.wired.com/photos/5d4c7c8cd2da9d0008d24a55/master/w_1600,c_limit/Science_naildomains.jpg
- [15] <https://paktechpoint.com/principle-of-demagnetization-alternating-current-demagnetization/>
- [16] <https://www.tspndt.com/yellow-powder-100-pail.aspx>
- [17] <https://www.qinspec.ae/wp-content/uploads/2019/12/mag.jpg>
- [18] <https://www.mistrasgroup.com/how-we-help/field-inspections/traditional-ndt/magnetic-particle/>

[19] <https://www.kimet.hu/en/reference-blocks-and-field-indicators.html>

[20] <https://ndtsupply.com/ndt-castrol-strips-field-flux-strips.html>

[21] Arhiva Tvornice turbina Karlovac

PRILOZI

- I. Certificati ispitivača
- II. Specifikacija magnetnog jarma
- III. Specifikacija UV lampe
- IV. Specifikacija FLUOLFUX sprej doza

CERTIFIKAT CERTIFICATE

Broj certifikata:
Certificate No.: **F29 C09 20-VT2F 072C**

Valjanost certifikata do:
Validity of Certificate up to: **18.09.2025.**

Ime i prezime:
Name and Forname: **DIJANA GRDIĆ**

Osobni identifikacijski broj:
Unique Personal Identification Number: **92230828477**

Mjesto i datum rođenja:
Place and Date of Birth: **Velika Kladuša, BiH, 01.10.1991.**

potvrđuje se kompetentnost certificirane osobe u skladu sa zahtjevima norme HRN EN ISO 9712:2012 za:
confirms the competence of certified person in accordance with the requirements of standard HRN EN ISO 9712:2012 for:

Metodu nerazornog ispitivanja: **VIZUALNA METODA** Stupanj: **2**
Non-Destructive testing method: **VISUAL TESTING** Level:

A	B	C	D	E	PED	c	f	wp	t	w
-	X	-	-	-	X	X	X	X	X	X

Ograničenja / Napomene:
Limitations / Notes: **nema / none**

Uvjeti za certifikaciju stečeni su temeljem:

18.09.2020.

(re)kvalifikacijskog ispita (datum)
(re)qualification exam (date)

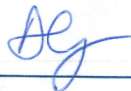
Certification requirements have been fulfilled upon:

--

obnove valjanosti (datum)
renewal (date)

A Proizvodnja / Manufacturing	B Ispitivanje opreme, uključujući i proizvodnju Pre and in-service testing of equipment, which includes manufacturing
C Željeznica / Railway maintenance	D Zrakoplovstvo / Aerospace
E Brodogradnja / Shipbuilding	
PED Kompetencija za ispitivanje trajnih spojeva na tlačnoj opremi (u skladu sa zahtjevima PED 2014/68/EU i važeće nacionalne regulative). Certified person is competent for examination of permanent joints on pressure equipment (in accordance with PED 2014/68/EU and valid national regulations).	
c odljevci / castings	f otkivci / forgings
t cijevi (bešavne, zavarene, uključujući ravne proizvode za izradu zavarenih cijevi) tubes and pipes (seamless, welded, including flat products for manufacturing of welded pipes)	wp vučeni proizvodi / wrought products
	w zavareni spojevi / welded joints

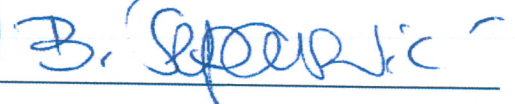
Potpis certificirane osobe:
Signature of Certificate Holder:



Mjesto i datum izdavanja:
Place and Date of Issue:

Zagreb, 14.10.2021.

Potpis osobe odgovorne za certifikaciju:
Signature of Authorised Person for Certification:



CERTIFICATE

No.: **1537/2021-1**

Full name: **DIJANA GRDIĆ**

Date and place of birth: **01.10.1991., Velika Kladuša, Bosnia and Herzegovina**

Scope: **Certification of persons for NDT**

Applicable standards: **HRN EN ISO 9712:2012**

Method	Level	Valid from	Valid until	Industrial sector / Product	Certification
ET	--	--	--	--	--
MT	2	12.07.2021.	11.07.2026.	B; c, f, t, w, wp PED	IC
PT	2	02.08.2021.	01.08.2026.	B; c, f, t, w, wp PED	IC
RT	--	--	--	--	--
UT	1	15.11.2021.	14.11.2026.	B; c, f, t, w, wp PED	IC
VT	--	--	--	--	--

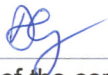
ET - Eddy current testing, MT - Magnetic testing, PT - Penetrant testing,
RT - Radiographic testing, UT - Ultrasonic testing, VT - Visual testing

A - manufacturing, B - pre- and in-service testing which includes manufacturing,
C - railway maintenance, D - aerospace, E - shipbuilding

c - castings, f - forgings, w - welds, wp - wrought products, t - tubes and pipes

PED - Pressure Equipment Directive 2014/68/EU

IC - initial certification, AP - renewal, P - expansion, R - recertification


Signature of the certified person


MSc. Andrija Kostelac
Head of the Certification Centre

Zagreb, 15.11.2021.



**CROATIAN SOCIETY OF
NON-DESTRUCTIVE TESTING LLC for services**
Certification Centre



THIS CERTIFICATE WAS ISSUED IN ACCORDANCE WITH CrSNDT SCHEME FOR CERTIFICATION OF PERSONS FOR NON-DESTRUCTIVE TESTING ACCEPTED AND CERTIFIED UNDER MULTILATERAL AGREEMENTS (MRA) BY THE EFNDT AND ICNDT. Certification body is approved by the Ministry of Economy for certification of persons in the field of non-destructive testing of permanent joints of pressure equipment categories III and IV in accordance with the Regulation on Pressure Equipment (Official Gazette No. 79/16) and Directive 2014/68/EU (PED) and is thus registered at NANDO database, the European Commission List of Notified Bodies.

CERTIFIKAT

Broj: 1537/2021-1

Ime i prezime: **DIJANA GRDIĆ**

Datum i mjesto rođenja: 01.10.1991., Velika Kladuša, Bosna i Hercegovina

Područje: Certifikacija osoba za nerazorna ispitivanja

Primijenjena norma: HRN EN ISO 9712:2012

Metoda	Stupanj	Vrijedi od	Vrijedi do	Industrijski sektor / Proizvod	Certifikacija
ET	--	--	--	--	--
MT	2	12.07.2021.	11.07.2026.	B; c, f, t, w, wp PED	IC
PT	2	02.08.2021.	01.08.2026.	B; c, f, t, w, wp PED	IC
RT	--	--	--	--	--
UT	1	15.11.2021.	14.11.2026.	B; c, f, t, w, wp PED	IC
VT	--	--	--	--	--

ET - ispitivanje vrtložnim strujama, MT - ispitivanje magnetskim česticama, PT - ispitivanje penetrantima, RT - radiografsko ispitivanje, UT - ispitivanje ultrazvukom, VT - vizualno ispitivanje


A - proizvodnja, B - ispitivanje opreme prije i za vrijeme eksploatacije, uključujući proizvodnju, C - održavanje željeznica, D - zrakoplovstvo, E - brodogradnja

c - odljevci, f - otkivci, w - zavareni spojevi, wp - vučeni proizvodi, t - cijevi

PED - Direktiva o tlačnoj opremi 2014/68/EU

IC - prva certifikacija, AP - administrativno produljenje, P - proširenje certifikacije, R - recertifikacija


Potpis certificirane osobe


Andrija Kostelac, dpl.ing.stroj.
Voditelj Centra za certifikaciju

Zagreb, 15.11.2021.



**HRVATSKO DRUŠTVO ZA
KONTROLU BEZ RAZARANJA d.o.o.**
Centar za certifikaciju



OVAJ CERTIFIKAT IZDAN JE U SKLADU S HDKBR-OVOM SHEMOM ZA CERTIFIKACIJU OSOBA ZA NERAZORNA ISPITIVANJA KOJA JE MULTILATERALNIM SPORAZUMOM (MRA) PRIHVAĆENA I CERTIFICIRANA OD EFNDT A I ICNDT-A.

Certifikacijsko tijelo ovlašteno je od Ministarstva gospodarstva RH da kao priznata neovisna organizacija obavlja poslove certificiranja osoblja za nerazorna ispitivanja nerastavljivih spojeva kod tlačne opreme III i IV kategorije sukladno odredbama Pravilnika o tlačnoj opremi (NN 79/16) odnosno Direktive 2014/68/EU (PED) te se vodi u NANDO bazi prijavljenih tijela Europske komisije.

Y-8

DC Battery-powered Electromagnetic Yoke

The Y-8 is a battery-powered, DC electromagnetic yoke designed to stand up to the most rugged applications. True portability for magnetic particle inspection in the field and remote locations is achieved through a compact battery pack which provides a full 8-hour shift of inspection power.

FEATURES

- Sealed, durable construction
- Chemical and abrasion resistant
- True portability with compact battery pack
- Exceeds ASTM lifting specifications
- Individual serial number on each yoke
- Articulated, double-jointed legs
- Solid state controls for maximum safety and reliability

APPLICATIONS

Ideal for:

- Field testing
- In-service inspections
- Demanding environments
- Remote sites

Defect examples:

- Inclusions
- Seams
- Tears
- Laps
- Welding slag
- Grinding cracks
- Quenching cracks



SPECIFICATION COMPLIANCE

- ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section V, Article 7
- ASTM E709
- ASTM E1444
- ASTM E3024
- ISO 9934-3

All our Y-8 yokes carry the CE mark and conform to the appropriate European Union directives.

PRODUCT PROPERTIES

Weight	Yoke: 3.6 Kg Battery: 2.4 Kg Charger: 0.3 Kg.
Leg Span	25 - 250 mm
Duty Cycle	33%, max on time is 20 seconds
Battery charger	100 - 240 V AC 50/60 Hz, 0.2 A
Battery voltage	6 V

Y-8

USER RECOMMENDATIONS

NDT Method	Magnetic Particle Testing
Accessories	Magnetic Indicator Strips (008M004)

PART NUMBER

630550

Supplied with a multi plug adaptor, battery, battery charger and battery carry case.





Compliance with relevant ASTM and ISO Standards as well as Industry Engineering specifications

Labino AB LED UV Lights	Built in White Light LED	UV Intensity at 38 cm (15") (µW/cm ²)	COMPLIES WITH ASTM E3022-2018 Standard	COMPLIES WITH Rolls-Royce RRES90061 Specification	COMPLIES WITH Airbus AITM6-1001 Testing Method	COMPLIES WITH Pratt & Whitney Requirements	COMPLIES WITH The Boeing Co Requirements	COMPLIES WITH ISO 3059-12 Standard	COMPLIES WITH USAF Requirements
GX SERIES – OVERHEAD LIGHT									
GX Orion REMOTE	✓	1 500-7 000	✓	-	-	-	-	✓	-
GX Orion UV & WH	✓	≈ 7 000	✓	✓	✓	✓	-	✓	-
GX Orion UV	-	≈ 4 500	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
BB 2.0 SERIES – HANDHELD LIGHT									
BB 2.0 Helios	-	≈ 9 000	✓	-	✓	✓	-	✓	✓
BB 2.0 Ikaros	-	≈ 4 000	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
BB 2.0 Artemis	-	≈ 22 000	✓	-	-	-	-	✓	-
MB 3.0 SERIES – HANDHELD LIGHT									
Hercules Ex	-	≈ 4 000	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MB 3.0 Zeus	✓	≈ 4 500	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-
MB 3.0 Zeus with Athena	✓	≈ 4 500	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-
MB 3.0 Hermes	-	≈ 4 500	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MB 3.0 Hermes with Athena	-	≈ 4 500	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MB 3.0 Selene	✓	≈ 9 000	✓	-	✓	✓	-	✓	-
MB 3.0 Selene with Athena	✓	≈ 9 000	✓	-	✓	✓	-	✓	-
MB 3.0 Atlas	-	≈ 9 000	✓	-	✓	✓	-	✓	✓
MB 3.0 Atlas with Athena	-	≈ 9 000	✓	-	✓	✓	-	✓	✓
MB 2.0 SERIES – FLASHLIGHT / HEADLIGHT									
UVG3 2.0 Spotlight	-	≈ 80 000	✓	-	-	-	-	✓	-
UVG3 2.0 Midlight	-	≈ 9 000	✓	-	✓	✓	-	✓	✓
UVG3 2.0 Floodlight	-	≈ 4 000	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
UVG5 2.0 Spotlight	optional	≈ 80 000	✓	-	-	-	-	✓	-
UVG5 2.0 Midlight	optional	≈ 9 000	✓	-	✓	✓	-	✓	✓
UVG5 2.0 Floodlight	-	≈ 4 000	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

PLEASE NOTE: The above models are in compliance with the above ASTM and ISO standards as well as industry specifications as indicated on the table above irrespective of the power source (Battery or Mains).



MB 3.0 SERIES

PENETRANT RESISTANT UV INSPECTION LIGHT

2 YEAR WARRANTY



OPTIONAL SPRAY CAN HOLDER ACCESSORY "ATHENA"

Athena mounts on the light and can fit ALL aerosol brands that are used in NDT. Buy it factory installed or add it later (PN: A503).



OPTIONAL MEASUREMENT ACCESSORY "OLYMPUS"

Your daily NADCAP and/or ASTM E3022-18 checks can be carried out accurately with an Olympos stand (PN: A542) and an Apollo 2.0 dual meter (PN: M505).



AC (MAINS) POWERED MODELS come with 8 ft (2.5 meter) cables but length can be customized. Add a Flexible arm accessory (PN: A538) near your mag bench for convenience.





BATTERY POWERED MODELS Powered by two Li-ion batteries that can be recharged either by a cigarette outlet in a vehicle, a wall outlet or a PSU charger (without removing the batteries) – 2 hours charging time.

**PENETRANT RESISTANT • HOMOGENEOUS BEAM
CURRENT REGULATOR • IP68 WATERPROOF
ACOUSTIC BATTERY INDICATOR**

www.labino.com

AVAILABLE OPTIONS

Part Number	Model Name	White Light	UV Intensity /Beam Size	Battery running time	Tested to comply with
LI19 – AC (Mains) LI18 – Battery LI22 – Battery w/Athena	MB 3.0 ZEUS	YES	4 500 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ \varnothing 9 inches / 22 cm	3 hours	 
LI21 – AC (Mains) LI20 – Battery LI23 – Battery w/Athena	MB 3.0 HERMES	NO	4 500 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ \varnothing 9 inches / 22 cm	3 hours	
LI39 – AC (Mains) LI38 – Battery LI40 – Battery w/Athena	MB 3.0 SELENE	YES	9 000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ \varnothing 8 inches / 20 cm	3 hours	
LI25 – AC (Mains) LI24 – Battery LI26 – Battery w/Athena	MB 3.0 ATLAS	NO	9 000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ \varnothing 8 inches / 20 cm	3 hours	

NDT Technicians at US Airforce should ask for MB 3.0 ATLAS or MB 3.0 HERMES models.

INCLUDED IN THE PACKAGE



Battery model: 1 MB 3.0 lamp, 1 UV goggles, 1 power supply for charging batteries, 1 external charger for wall outlet, 1 car charger, 4 batteries, 1 rubber bumper, 1 belt holster, 1 carrying case.



AC (Mains) model: 1 MB 3.0 lamp, 1 UV goggles, 1 extension cable, 1 power supply, 1 power cord, 1 car charger, 1 rubber bumper, 1 carrying case.

MB 3.0 SERIES MODELS ARE PART OF THE INSPECTOR KIT (PN: K001) WHICH INCLUDES



690.1

Oil-based Fluorescent Magnetic Ink

TIEDE® 690.1 is an oil-based, ready-to-use fluorescent ink for wet method magnetic particle testing. It gives clear bright yellow/green indications when viewed in a darkened area under UV(A) of peak wavelength 365nm.



Used in conjunction with suitable magnetising equipment, 690.1 will locate medium-fine surface and slightly sub-surface defects.

FEATURES

- Ready-to-use
- Clear, bright indications under UV light
- Low maintenance, oil-based suspension
- High sensitivity
- Excellent fluorescent contrast for quick identification and better inspection quality
- Excellent particle mobility
- Good dispersion stability
- Protects parts and equipment against corrosion
- Great concentration consistency
- Superior surface wetting
- Even surface coverage for better detection

SPECIFICATION COMPLIANCE

- AMS2641
- AMS3044
- AMS3045
- AMS3046 (Aerosols only)
- ASME BPVC-V
- ASTM E709
- ASTM E1444/E1444M
- EN ISO 9934-2

APPLICATIONS

Defect location: surface and slightly subsurface

Ideal for:

- Detecting very fine to fine discontinuities
- Critical applications
- After secondary processing
- In-service inspections
- High strength alloys

Ideal for:

- Inclusions
- Seams
- Shrink cracks
- Tears
- Laps
- Flakes
- Welding defects
- Grinding cracks
- Quenching cracks
- Fatigue cracks

COMPOSITION

A suspension of magnetic particles in a high-flash, low-odour petroleum distillate.

690.1

PRODUCT PROPERTIES

Form and colour	Brown liquid
Flash point	-40°C (for propellant)
SAE sensitivity	8 - 9
Magnetic particles	MG 601
Particle size range	3 - 5 µm
Sulphur content	< 200 ppm
Halogens content	< 200 ppm

Like all Magnaflux materials, 690.1 is closely controlled to ensure batch-to-batch consistency, optimum process control and inspection reliability.

USER RECOMMENDATIONS

NDT Method	Magnetic Particle Testing, Fluorescent, Wet Method
Storage temperature	10°C to 30°C
Usage temperature*	-5°C to 50°C
Settlement volume	0.1 - 0.25 ml (1 hour)
Recommended concentration range	0.4 - 0.9 g/litre
Suspension Vehicle	Carrier II
Magnetic Particles	14A, MG 410
Cleaner	SKC-S
UV lamps	EV6000, EV6500, ST700
Accessories	Centrifuge Tube, MTU No.3 Test Block (EN ISO 9934-2)

* For use of an inspection vehicle conforming to AMS2641, minimum temperature is 6 °C.

INSTRUCTIONS FOR USE

Clean the component before testing to reduce the risk of contamination and provide a suitable test surface.

Shake the aerosol can to mix the ink thoroughly.

Spray all surfaces of the part while applying a magnetising current. Remember to stop spraying the ink before the current is switched off, otherwise the force of the ink could wash away any indications.

Shake the can regularly during testing.

After inspection, demagnetise your component before cleaning to ensure easy removal of any particle residue.

PACKAGING AND PART NUMBERS



008A185 (x 10)

HEALTH AND SAFETY

Review all relevant health and safety information before using this product. For complete health and safety information, refer to the Safety Data Sheets, which are available at www.magnaflux.eu