

# MEĐUFAZNA KONTROLA U TEHNOLOGIJI IZRADE LEPTIRASTOG ZATVARAČA

---

**Biturajac, Sven**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*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:128:178750>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-01**



**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 REPOZITORIJ

# MEĐUFAZNA KONTROLA U TEHNOLOGIJI IZRADE LEPTIRASTOG ZATVARAČA

---

**Biturajac, Sven**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*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:128:178750>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2023-02-13**



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

*Repository / Repozitorij:*

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



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

STROJARSKI ODJEL

PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA

SVEN BITURAJAC

**MEĐUFAZNA KONTROLA U TEHNOLOGIJI  
IZRADE LEPTIRASTOG ZATVARAČA**

ZAVRŠNI RAD

KARLOVAC, 2022.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

STROJARSKI ODJEL

PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA

SVEN BITURAJAC

**MEĐUFAZNA KONTROLA U TEHNOLOGIJI  
IZRADE LEPTIRASTOG ZATVARAČA**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Tomislav Božić, dipl.ing.stroj.

KARLOVAC, 2022.



## **IZJAVA:**

Izjavljujem da sam ja, Sven Biturajac, student, OIB:62222191068, matični broj studenta: 0110610027, samostalno izradio ovaj rad služeći se znanjem stečenim tijekom obrazovanja i uz navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru Tomislavu Božiću, dipl. ing. stroj., na ukazanom povjerenju i stručnoj pomoći pri izradi ovog rada.

Zahvaljujem se tvrtci AB PRODUKT d.o.o. koja mi je omogućila izradu eksperimentalnog djela rada.

Posebno se zahvaljujem svojoj obitelji na podršci tijekom studiranja, prijateljima i kolegama.

U Karlovcu, 05.rujan 2022.

Sven Biturajac

---

## SAŽETAK

Ovaj rad prikazuje postupke kontrole kvalitete koji se koriste prilikom izrade komponenti određenog leptirastog zatvarača. Postupci kontrole kvalitete odnose se na metode ispitivanja materijala bez razaranja i toplinsku obradu određeni Planom kontrole i ispitivanja (ITP).

U teoretskom dijelu rada opširnije su opisane opće i fizikalne osnove kao i način provođenja pojedine metode. Navedeni su postupci toplinskih obrada te je opširnije opisana obrada žarenja karakteristična pri izradi dijelova zavarenog tipa.

U eksperimentalnom dijelu rada, prateći tehnološki proces izrade, prikazana je primjena metoda bez razaranja prilikom određene faze procesa izrade pojedine komponente. Izvršena je kontrola toplinske obrade žarenja te je prikazana popratna dokumentacija kao dokaz ispravno provedene faze proizvodnje komponenti što je bitno za funkcionalnost i siguran rad.

Naslov: Međufazna kontrola u tehnologiji izrade leptirastog zatvarača

Ključne riječi: kontrola kvalitete, Ispitivanje materijala bez razaranja, toplinska obrada, dokumentacija, leptirasti zatvarač.

## **SUMMARY**

This paper presents the quality control procedures used in manufacturing process of the components of a particular butterfly valve. Quality control procedures refer to non-destructive material testing methods and heat treatment specified by the Inspection and test plan (ITP).

In the theoretical part of the paper, the general and physical foundations are described in more detail, as well as the way of implementing individual methods. The heat treatment procedures are listed with the annealing treatment, characteristic for the production of welded type parts, is described in more detail.

In the experimental part of the paper, following the technological process of manufacturing, the application of non-destructive methods during a certain phase of the manufacturing process of an individual component is shown. Control of the heat treatment process of annealing was carried out. The following documentation is presented as proof of the correctly implemented component production phase, which is essential for functionality and safe operation.

Title: In-process quality control of butterfly valve manufacturing

Keywords: quality control, non-destructive testing of materials, heat treatment, documentation, butterfly valve.

# SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Leptirasti zatvarač	3
2. VIZUALNA KONTROLA	5
2.1. Osnovna načela vizualne kontrole	5
2.2. Fizikalni princip vizualne kontrole	6
2.2.1. Svjetlost	6
2.2.2. Vidljivost	7
2.3. Tehnike rada u vizualnoj kontroli	8
3. PENETRANTSKA KONTROLA	10
3.1. Osnovna načela penetrantske kontrole	10
3.2. Fizikalni princip penetrantske kontrole	11
3.2.1. Kapilarnost	11
3.2.2. Močivost površine i kontaktni kut	12
3.3. Sredstva za ispitivanje	13
3.3.1. Penetrant	13
3.3.2. Sredstva za čišćenje	13
3.3.3. Razvijlač	14
3.4. Tehnika rada penetrantskom kontrolom	15
4. MAGNETSKA KONTROLA	17
4.1. Osnovna načela magnetske kontrole	17
4.2. Fizikalni princip magnetske kontrole	18
4.2.1. Magnet	18
4.2.2. Magnetizam	18
4.2.3. Magnetizacija	20
4.2.4. Vrste magnetskih polja	22
4.3. Oprema i sredstva u magnetskoj kontroli	23

4.3.1. Oprema za magnetizaciju	23
4.3.2. Feromagnetske čestice	25
4.3.3. Oprema za demagnetizaciju	26
4.4. Tehnika rada magnetskom kontrolom	27
5. ULTRAZVUČNA KONTROLA	29
5.1. Osnovna načela ultrazvučne kontrole	29
5.2. Fizikalni princip ultrazvučne kontrole	30
5.2.1. Zvuk	30
5.2.2. Titranje	31
5.2.3. Ultrazvučni valovi	32
5.2.4. Parametri ultrazvučne kontrole	35
5.2.5. Ultrazvučni izvori	35
5.3. Oprema i sredstva u ultrazvučnoj kontroli	37
5.3.1. Ultrazvučni uređaj	37
5.3.2. Ultrazvučne sonde	38
5.3.3. Kontaktno sredstvo	40
5.3.4. Kalibracijski i referentni blok	40
5.4. Tehnika rada ultrazvučnom kontrolom	41
5.4.1. Kalibracija ultrazvučnog sustava	41
5.4.2. Provođenje ispitivanja	43
5.4.3. Ocjenjivanje detektiranog reflektora	45
6. TOPLINSKA OBRADA	47
6.1. Osnovna načela toplinske obrade	47
6.2. Podjela postupaka toplinske obrade	48
6.3. Žarenje za redukciju napetosti	50
7. EKSPERIMENTALNI DIO	51
7.1. Uvod u eksperimentalni dio	51
7.2. Oprema za ispitivanje	53

7.3. Provedba ispitivanja metodama bez razaranja na kućištu	54
7.4. Provedba ispitivanja metodama bez razaranja na zapornom tijelu	65
7.5. Toplinska obrada žarenja	70
7.6. Analiza rezultata	72
7.6.1. Izvještaji o provedenom ispitivanju	72
7.6.2. Ovjereni plan kontrole i ispitivanja (ITP)	80
8. ZAKLJUČAK:	81
LITERATURA	82

## POPIS SLIKA

Slika 1. Plan kontrole i ispitivanja (ITP)	2
Slika 2. Leptirasti zatvarač sa protuutegom i hidrauličnim aktuatorom u otvorenom i zatvorenom položaju [8]	3
Slika 3. Spektar vidljive svjetlosti [10]	6
Slika 4. Mjerenje osvjetljenja fotometrom [11]	7
Slika 5. Direktno vizualno ispitivanje [12]	8
Slika 6. Indirektno vizualno ispitivanje	9
Slika 7. Primjer otvorene prekidnosti [14]	10
Slika 8. Primjer kapilarnog efekta kod vode (H <sub>2</sub> O) i žive (Hg) [16]	11
Slika 9. Kontaktni kut [17]	12
Slika 10. Penetrantsko ispitivanje [18]	15
Slika 11. Primjer ispitivanja i indikacije obojanim penetrantom	16
Slika 12. Primjer ispitivanja i indikacije fluorescentnim penetrantom [19]	16
Slika 13. Princip metode ispitivanja magnetskim česticama [21]	17
Slika 14. Prikaz magnetskog polja zavojnice (lijevo) i magneta (desno) [23]	19
Slika 15. Prikaz magnetskog toka: u zraku (lijevo), u željeznom predmetu (desno)[22]	20
Slika 16. Prikaz elementarnih magneta u nemagnetiziranom (a) i magnetiziranom (b) stanju. [24]	21
Slika 17. Krivulja histereze [25]	21
Slika 18. Magnetsko polje ravnog vodiča [26]	23
Slika 19. Magnetsko polje zavojnice [27]	23
Slika 20. Magnetizacija jarmom metodom obojanih magnetskih čestica [28]	24
Slika 21. Magnetizacija uređajem za magnetizaciju metodom fluorescentnih magnetskih čestica [29]	24
Slika 22. UV – svjetiljka [30]	26
Slika 23. Tehnika rada magnetskim jarmom [31]	27

Slika 24. Princip rada ultrazvučne kontrole [33]	29
Slika 25. Grafički prikaz slobodnog titranja [36]	31
Slika 26. Prikaz širenja longitudinalnog (A) i transverzalnog (B) vala [37]	32
Slika 27. Difrakcija valova [39]	33
Slika 28. Prikaz refleksije i loma [40]	34
Slika 29. Prikaz zvučnog snopa [41]	36
Slika 30. Digitalni ultrazvučni uređaj [43]	37
Slika 31. Konstrukcija standardnih ultrazvučnih sonda [44]	38
Slika 32. Ultrazvučne sonde: ravna (A), dvostruka (B) i kutna (C) [45]	39
Slika 33. Standardni kalibracijski blokovi K1 (lijevo) i K2 (desno) [47]	40
Slika 34. Primjer kalibracije kutne sonde na kružnom luku (lijevo) i prikaz na ekranu uređaja (desno) [48]	41
Slika 35. Primjer kalibracije DAC tehnikom kutne sonde [49]	42
Slika 36. Primjer DGS dijagrama sonde [50]	43
Slika 37. Primjer pozicija skeniranja zavarenog spoja za kutnu sondu prema normi HRN EN 17640 [51]	44
Slika 38. Ultrazvučno ispitivanje zavarenog spoja kutnom sondom i pronalazak indikacija	44
Slika 39. Trokut greške [52]	45
Slika 40. Dijagram postupka toplinske obrade [53]	47
Slika 41. Bočvarova podjela [54]	48
Slika 42. Područje temperatura žarenja [54]	49
Slika 43. Dijagram postupka žarenja za redukciju napetosti [54]	50
Slika 44. Certifikat osobe za nerazorna ispitivanja	52
Slika 45. Indikacija prilikom ispitivanja penetrantskom kontrolom	54
Slika 46. Izgled spoja nakon penetrantskog ispitivanja i brušenja	55
Slika 47. Vizualna kontrola lica zavara jednog od osam spojeva	55
Slika 48. Ispitivanje magnetskom kontrolom četiri od osam spojeva	56
Slika 49. Ultrazvučna kontrola jednog od osam spojeva	57



Slika 50. Izgled greške u materijalu	57
Slika 51. Penetrantska kontrola nakon brušenja korijena	58
Slika 52. Nepravilnosti: nadvišenje zavara (1) i oštećenje električnim lukom (2)	59
Slika 53. Pukotina u završnom krateru	60
Slika 54. Prikaz rada magnetskom kontrolom obojanim česticama	60
Slika 55. Prikaz rada ultrazvučnom kontrolom pri ispitivanju zavarenih spojeva „plašteva“	61
Slika 56. Vizualna nepravilnost na „stopi“	62
Slika 57. Magnetska kontrola zavarenog spoja „stope“	62
Slika 58. Ultrazvučno ispitivanje zavarenoj spoja „stope“	63
Slika 59. Neprihvatljive indikacije na zavarenom spoju „prstena“ i „poluprstena“	64
Slika 60. Penetrantska kontrola nakon brušenja korijena zavarenog spoja „diska“ i „kocke“	65
Slika 61. Neprihvatljive indikacije na zavarenom spoju „ojačanja“ i „kocke“	66
Slika 62. Vizualna greška: preklop zavara	66
Slika 63. Vizualna greška: nedovoljno ispunjen presjek pripreme zavarenog spoja	67
Slika 64. Magnetska kontrola zavarenih spojeva na zapornom tijelu	67
Slika 65. Neprihvatljiva indikacija u zavarenom spoju „diska“ i „kocke“	68
Slika 66. Neprihvatljiva indikacija na spoju dvaju „ojačanja“	68
Slika 67. Zahtijevani parametri postupka toplinske obrade žarenja	70
Slika 68. Izgled kućišta nakon toplinske obrade	70
Slika 69. Dijagram žarenja kućišta i zapornog tijela	71

## POPIS OZNAKA

Simbol	Jedinica	Značenje
d	[m]	promjer
$\lambda$	[nm]	valna duljina
$E_s$	[lx]	osvijetljenost
$\phi$	[°]	kontaktni kut
B	[T]	magnetska indukcija
$\Phi$	[Wb]	magnetski tok
f	[Hz]	frekvencija
T	[s]	period
$\Theta_R$	[°]	kut sonde
c	[m/s]	brzina ultrazvuka u sredstvu
p	[Pa]	ultrazvučni tlak
V	[dB]	pojačanje
$\vartheta_{TO}$	[°C]	temperatura toplinske obrade

# 1. UVOD

Definicija kvalitete (kakvoće) nekog proizvoda prema međunarodnom standardu ISO 9000:2015 glasi: „Kvaliteta je stupanj do kojeg skup svojstvenih karakteristika objekta ispunjava zahtjeve.“

Kontrola kvalitete dio je sustava upravljanja kvalitetom usredotočena na ispunjavanje definiranih zahtjeva. Oni mogu biti definirani od strane samog proizvođača, od strane kupca ili od strane nekog drugog tijela, npr. zakonodavnog.[1] Kvalitetu nekog objekta ocjenjujemo i to prema: mjerljivim i atributivnim karakteristikama. Mjerljive karakteristike su mjerne veličine koje se određuju numeričkom vrijednošću (duljina, masa, postotak itd.) dok su atributivne karakteristike određena svojstva koja se određuju tvrdnjom (boja, oštećenja itd.). [2]

Kontrola kvalitete je postupak nadzora nad proizvodnim procesom tijekom njegova odvijanja. Proizvođač prvi provodi unutarnju kontrolu kvalitete, a nakon toga, kupci, tijela za ocjenjivanje sukladnosti i tržište provode vanjsku kontrolu kvalitete.[3] U proizvodnji, kontrola kvalitete najčešće se dijeli na tri faze procesa u kojima se odvija, a to su:

- Ulazna kontrola,
- Međufazna (u toku procesa) kontrola,
- Završna kontrola.[2]

U ovom radu prikazani su postupci međufazne (procesne) kontrole kvalitete prema zahtjevu kupca definirani u planu kontrole i ispitivanja (Inspection and test plan - ITP). Postupci se odnose na ispitivanja materijala bez razaranja i toplinsku obradu žarenja.

Metode kontrole bez razaranja (eng. NDT-nondestructive testing) su sve metode ispitivanja nekog objekta (dijela, materijala ili sustava) bez narušavanja upotrebljivosti i funkcionalnosti tog objekta. Cilj ispitivanja je dobiti informaciju o stanju objekta (kvaliteta površine ili volumena) da bi znali zadovoljava li ispitni objekt funkciju za koju je izrađen.[4]

prepared	QA1	26.07.2021	Rev	-	Ref.no.	3802-ITP-7.1	item	Butterfly Valve	ITP	
approved	-	-								
Sheet	4 / 5	Type	-	customer			Project	62201699	Order no.	3802
No.	Description/Material	Inspection	Extend of inspection	Standard	report	checking		remarks		
						customer	xxx			
1.2	WELDING PROCESS – BODY / DISC / DISMANTLING JOINT									
1.2.1	Personnel. Verifying of welder qualification			ISO 9606	Certification	CP				
1.2.2	Procedure specification / qualification	WPS / WPQR		DIN EN ISO 15609-1 DIN EN ISO 15614	Certification	CP				
1.2.3	Personnel: verifying of NDT operators			ISO 9712	Certification	CP				
1.2.4	Ready welded condition before heat treatment	VT (welds)	welding seam 100%	EN ISO 17635 EN ISO 17637 EN ISO 5817 Class B / C	Certification	CP				
1.2.5	Ready welded condition before heat treatment	MT (welds)	welding seam 100%	EN ISO 17638 EN ISO 23278 AL2X	Certification	CP				
1.2.6	Ready welded condition before heat treatment	PT (welds)	welding seam 100%	ISO 3452 EN ISO 23277	Certification	CP				
1.2.7	Ready welded condition before heat treatment	UT (welds)	full penetration welding 100%	DIN EN ISO 11666 level 2 DIN EN ISO 17640 class B	Certification	CP				
1.2.8	Heat treatment				Certification & Heat treatment graph	CP				

C Chemical analysis      Z35 Mech. Test EN 10164      VT visual inspection      OSP Surface coating inspection      W Balancing      HP Hold Point  
 K20 Notch impact test (20°C)      WB Heat treatment      PT Penetration-Test      OR Surface quality inspection      FP Functional test      WP Witness point  
 KO Notch impact test (0°C)      MK dimension check      MT Magnetic-Test      SP Painting inspection      DP Pressure test, leakage test      CP Inspection with Certification  
 K-20 Notch impact test (-20°C)      3D 3D measurement      UT Ultrasonic-Test      H Hardness inspection      WPS Welding procedure inspection      IP Inspection without certification  
 Z Mechanical test      RT X-Ray-Test      WPQR Welding procedure qualification report

### Slika 1. Plan kontrole i ispitivanja (ITP)

Metode kontrole bez razaranja koje su opisane u teoretskom dijelu rada i prikazane u eksperimentalnom dijelu rada odnose se na ispitivanje zavarenih spojeva, a prema planu kontrole i ispitivanja (ITP) su:

- VT – Visual testing – vizualna kontrola (točka 1.2.4)
- MT – Magnetic testing – magnetska kontrola (točka 1.2.5)
- PT – Penetrant testing – penetrantska kontrola (točka 1.2.6)
- UT – Ultrasonic testing – ultrazvučna kontrola (točka 1.2.7)

Dobrom provedbom toplinske obrade osigurava se integritet konstrukcije i siguran rad u eksploataciji. Prema točki 1.2.8 plana kontrole i ispitivanja (ITP) u teoretskom dijelu rada opisan je postupak toplinske obrade i prikazan na primjeru u eksperimentalnom dijelu rada.

## 1.1. Leptirasti zatvarač

Leptirasti zatvarač je vrsta zapornog tijela u sustavu cjevovoda. Zaporna tijela služe za djelomično i potpuno zatvaranje toka medija te se razlikuju prema smjeru gibanja na četiri vrste: ventili, zasuni, zaklopke, pipci.[5] Leptirasti zatvarač pripada vrsti zaklopki kod kojih se zaporno tijelo okreće oko osi koja je okomita na smjer toka. U otvorenom položaju zaporno tijelo je paralelno smjeru toka medija. Kućište može biti sa ili bez proširenja te čini nastavak cjevovoda. Zaporno tijelo zatvarača izvedeno je kao pločasto, lećasto ili kao pločasto sa rešetkastim ojačanjem.[6] Otvaranje i zatvaranje vrši se zakretanjem zapornog tijela oko osovine koja je smještena u sredini ili sa strane. Pogon se vrši ručno sa reduktorom, električnim aktuatorom, pneumatskim aktuatorom ili hidrauličnim aktuatorom.[7] Za brtvljenje se koriste prsteni od gume ili metala.



Slika 2. Leptirasti zatvarač sa protuutegom i hidrauličnim aktuatorom u otvorenom i zatvorenom položaju [8]

Prednosti ove vrste zatvarača su niska cijena izrade zbog jednostavnije konstrukcije, potreba malog prostora i jednostavna ugradnja u odnosu na kuglaste zatvarače. Male pogonske sile i kratko vrijeme za početak djelovanja omogućuje brzo zatvaranje toka. U hidroenergetskom sektoru koriste se kao predturbinski zatvarači. Proizvode se do promjera (d) 4 metra i koriste se za pad vode do 200 metara visine.[6]

## 2. VIZUALNA KONTROLA

### 2.1. Osnovna načela vizualne kontrole

Vizualna kontrola (latinski: visus=vid) najstarija je metoda kontrole bez razaranja. Temelji se na otkrivanju pogrešaka pomoću svjetlosti kao nosioca informacija. Promatranje objekta ispitivanja provodi se gledanjem golim okom ili uz pomoć optičkih, elektroničkih, optičko-elektroničkih pomagala koja registriraju svjetlost. Gledanjem uočavamo oblik, dubinu, boju, udaljenost ili jačinu svjetlosti.

Metoda je primjenjiva na svim slobodnim plohama objekta ispitivanja koje su dostupne svjetlosti bilo direktnim ili indirektnim putem te svim objektima koji omogućavaju prolaz svjetlosti. Informacije o objektu dobivaju se na temelju međusobnog djelovanja svjetlosti i objekta ispitivanja pri čemu djelovanje svjetlosti na objekt mora biti nerazorno. Djelovanje objekta na svjetlost svodi se na odbijanje, rasipanje, lom, disperziju, polarizaciju i druge optičke učinke a ovisi o vrsti izvora i širenju svjetlosti.

Vizualna kontrola podrazumijeva ocjenjivanje karakteristika kvalitete nekog objekta ljudskim okom kao što su:

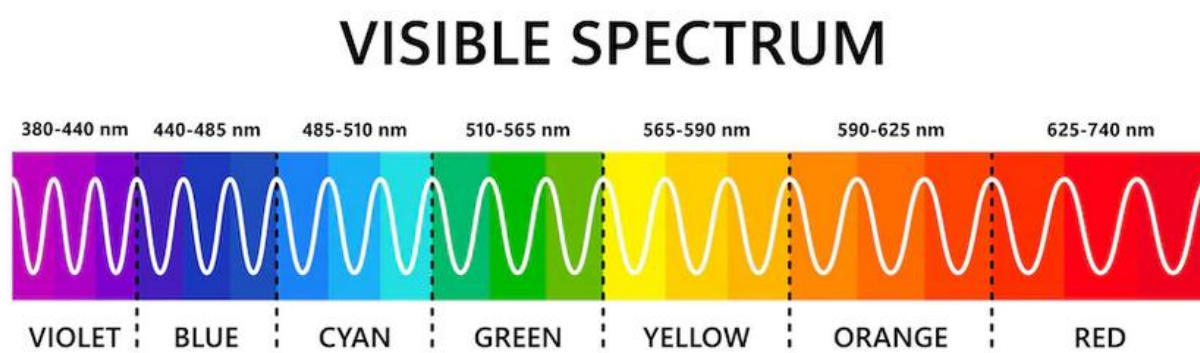
- Nepravilnosti (greške) u materijalu
- Odstupanje od dimenzija
- Kvaliteta površine

Da bi ljudsko oko bilo sposobno za utvrđivanje određenih nepravilnosti na proizvodu, potrebno je osigurati dobru rasvijetljenost površine.[9]

## 2.2. Fizikalni princip vizualne kontrole

### 2.2.1. Svjetlost

Svjetlost je elektromagnetsko zračenje, valno i čestično, koje je vidljivo ljudskom oku. Spektar vidljive svjetlosti ljudskom oku je prosječno u rasponu valne duljine ( $\lambda$ ) od 380 do 780 nm. Svjetlosti pripadaju infracrveno zračenje, vidljiva svjetlost i ultraljubičasto zračenje.



Slika 3. Spektar vidljive svjetlosti [10]

Svjetlost može biti:

- Monokromatska – sastoji se od samo jedne valne duljine (jedna boja)
- Polikromatska – sastoji se od više valnih duljina (npr. bijela svjetlost)

Bijela svjetlost sadrži kombinaciju svih boja vidljivog spektra.

Prema izvoru svjetlosti razlikujemo prirodne (sunce) i umjetne (žarulje, svijeće i sl.) izvore.

Kod provedbe nerazornih ispitivanja, posebno kod vizualne kontrole, potrebna je dobra osvjetljenost ispitne površine. Ukoliko je osvjetljenost slaba koristimo pomoćne izvore svjetlosti (npr. baterijske svjetiljke).

Za mjerenje osvjetljenja koriste se električni fotometri (luksmetri).[9]





Slika 4. Mjerenje osvjjetljenja fotometrom [11]

### 2.2.2. Vidljivost

Oko je organ koji pomoću fotoreceptora (štapići i čunjići) prima svjetlosne podražaje i pretvara u živčani impuls.

Vizualna percepcija odnosno vidljivost sposobnost je raspoznavanja detalja promatranog objekta na određenoj pozadini određenom točnošću i brzinom, a to ovisi o:

- Odnosu sjajnosti rasvijetljene pozadine i objekta – kontrast (vidljivost je bolja ukoliko je kontrast veći)
- Adaptaciji oka (vidljivost je bolja ukoliko je adaptacija dulja)
- Veličini objekta
- Ostali čimbenici – čistoća površine, boja objekta, vrijeme promatranja, položaj u odnosu na smjer gledanja, uvjeti okoline.

Osoblje koje provodi vizualno ispitivanje mora imati zadovoljavajuću sposobnost vida (oštrinu bliskog vida i razlikovanje boja) koju propisuje norma EN ISO 9712. Provjera vida mora se obaviti najmanje jednom godišnje.[9]

## 2.3. Tehnike rada u vizualnoj kontroli

Direktno vizualno ispitivanje je tehnika ispitivanja kod kojeg je neprekinut optički put između oka ispitivača i područja ispitivanja. Provodi se golim okom ili pomoću optičkih pomagala kao što su: leće, zrcala, endoskopi ili optička vlakna.

Kod lokalnog vizualnog ispitivanja potrebno je zadovoljiti uvjete promatranja:

- Oko ispitivača na udaljenosti od maksimalno 600 mm od ispitne površine
- Kut oka ne manji od 30 stupnjeva prema ispitnoj površini
- Minimalna osvjetljenost ispitne površine od 500 lx



Slika 5. Direktno vizualno ispitivanje [12]

Indirektno vizualno ispitivanje je tehnika ispitivanja kod kojeg je prekinut optički put između oka ispitivača i područja ispitivanja. Provodi se upotrebom foto i video sistema, automatiziranih sistema i robota. [9]

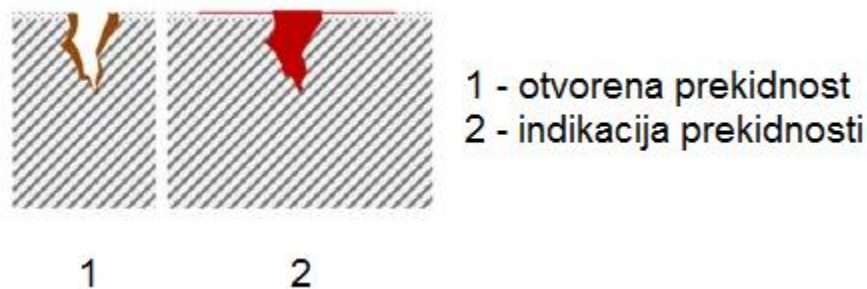


Slika 6. Indirektno vizualno ispitivanje

### 3. PENETRANTSKA KONTROLA

#### 3.1. Osnovna načela penetrantske kontrole

Metoda ispitivanja tekućim penetrantom, uz vizualnu kontrolu, jedna je od starijih metoda ispitivanja bez razaranja. Može se definirati kao fizikalni i kemijski postupak za otkrivanje površinskih nepravilnosti u neporoznim materijalima. Također se koristi i za ispitivanje propusnosti stjenke (npr. cijevi). Osnovna sredstva koja se koriste su tekuća kemijska sredstva: penetrant, odstranjivač i razvijač dok su pomoćna sredstva čistač i emulgator.[13]



Slika 7. Primjer otvorene prekidnosti [14]

Metoda se oslanja na fizičkom međudjelovanju kemijske tekućine (penetranta) i ispitne površine. Tekućina ulazi u površinske šupljine te se nakon čišćenja, primjenom razvijača, pojavljuje označavajući mjesto, približnu veličinu i oblik nepravilnosti. [15]

Metoda penetrantske kontrole ima široku primjenu zbog brojnih prednosti:

- Niska cijena opreme za ispitivanje,
- Jednostavna primjena,
- Primjenjiva je na sve materijale (ponekad i jedina metoda),
- Mogu se ispitivati vrlo mali dijelovi kao i vrlo veliki dijelovi, jednostavnih ili složenih geometrija, ponekad i kada su druge metode teže primjenjive,
- Velika osjetljivost i brza uočljivost indikacija,
- Nisu potrebni izvori električne energije.

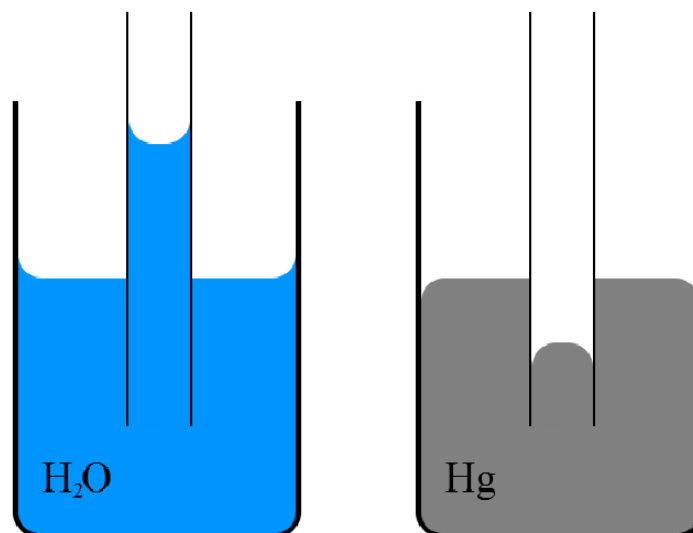
Neki od nedostataka penetrantske metode su:

- Primjenjivo samo kod nepravilnosti otvorenih prema površini,
- Zahtjeva se velika čistoća površine ispitivanja bez ikakvih primjesa (ulja, masti, boja, kemikalija itd.),
- Potrebno je očistiti površine nakon ispitivanja,
- Na osjetljivost rezultata može utjecati hrapavost površine.[13]

## 3.2. Fizikalni princip penetrantske kontrole

### 3.2.1. Kapilarnost

Kapilarnost je fizikalna pojava nekih tekućina da prodiru (penetriraju), mijenjaju razinu ili izlaze iz uskih cjevčica (kapilara). Kapilare su cjevčice malog unutarnjeg promjera, manjeg od 1 mm, koje podržavaju kapilarnost. Uranjanjem kapilara u neku tekućinu (npr. vodu) razina tekućine unutar kapilare će porasti.



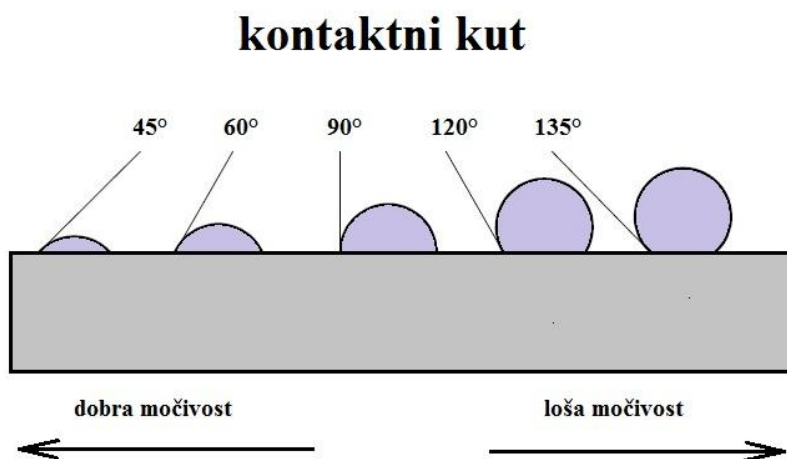
Slika 8. Primjer kapilarnog efekta kod vode (H<sub>2</sub>O) i žive (Hg) [16]

Zbog površinske napetosti koju izazivaju kohezijske i adhezijske sile, težnja tekućine je da što bolje namoči unutarnju površinu kapilare. Masa tekućine u cjevčici pod utjecajem je gravitacije. Na određenoj visini kapilare sile močenja i gravitacije su u ravnoteži.

### 3.2.2. Močivost površine i kontaktni kut

Močivost površine svojstvo je fluida širenju ili prijanjanju uz čvrstu površinu. Ovo je važno svojstvo penetranta potrebno zbog stvaranja jednolikog sloja tijekom primjene penetranta na površinu.

Kontaktni kut ( $\phi$ ) određen je kutom između međuslojeva kruta podloga/tekućina. Ukoliko je kontaktni manji od  $90^\circ$  močivost je dobra dok će kod većeg kuta biti slaba močivost.



Slika 9. Kontaktni kut [17]

Močivost površine i kontaktni kut ovise o: vrsti materijala u kontaktu, napetosti površine tekućine, silama adhezije i kohezije, čistoći površine, hrapavosti površine i viskoznosti, a ne ovise o položaju stjenke.

### **3.3. Sredstva za ispitivanje**

#### **3.3.1. Penetrant**

Penetrant je kemijska smjesa tekućina koja nakon nanošenja prodire u nepravilnost i tamo se zadržava u količinama koje se mogu otkriti nakon uklanjanja penetranta s površine. Izrađena je na bazi mineralnih ulja ili alkohola u kojima su rastvorene obojane ili fluorescentne tvari.

Vrste penetranta prema tehnici ispitivanja:

- Obojani penetrant,
- Fluorescentni penetranti,
- Obojano-fluorescentni penetranti (dualni).

Podjela prema načinu odstranjivanja:

- Penetranti perivi vodom,
- Penetranti odstranjivi otapalom,
- Penetranti odstranjivi emulgatorom.

Podjela prema osjetljivosti:

- Penetranti standardne osjetljivosti,
- Penetranti visoke osjetljivosti,
- Penetranti izrazito visoke osjetljivosti.

Boje obojanog penetranta su crvena, tamno crvena ili narančasta, a kod fluorescentnog penetranta žuto-zelena ili zelena uočljiva samo pod crnim (UV-a) svjetlom.

#### **3.3.2. Sredstva za čišćenje**

Kao sredstva za čišćenje mogu se koristiti sva sredstva koja ne utječu na rezultat ispitivanja. Čišćenje kao i sredstva za čišćenje dijele se u tri faze:

- Čišćenje prije ispitivanja,
- Uklanjanje viška penetranta s površine,

- Završno čišćenje nakon ispitivanja.

Čišćenje prije ispitivanja svodi se na mehaničko čišćenje (ispiranje, obrada odvajanjem čestica ili obrada mlazom abraziva), odmašćivanje otapalima (organskim ili vodenim), kemijsko čišćenje (nagrivanje otopinama ili elektrolitičko nagrivanje) ili toplinsko čišćenje (u plinskim ili vakuum pećima).

Uklanjanje viška penetranta s površine zahtjeva pedantnost i pozornost kako ne bi došlo do uklanjanja penetranta iz nepravilnosti. Za ovu namjenu koristi se voda, otapala ili emulgatori. Nerijetko se koristi i voda i otapala te nakon slijedi sušenje.

Završno čišćenje nakon ispitivanja najčešće se provodi nekim od otapala koja se koriste prije ispitivanja ili za uklanjanje viška penetranta te se po potrebi provodi antikorozivna zaštita.

### **3.3.3. Razvijač**

Razvijači su naziv za penetrantska sredstva koja služe za „izvlačenje“ penetranta iz nepravilnosti i njegovo prikazivanje. Nanosi ih se na površinu na kojoj se nakon nekog vremena prikazuje obris nepravilnosti. Najzastupljeniji su praškasti razvijači izrađeni na bazi silikata ili karbonata koji suspendiraju ili se rastvaraju u vodi ili otapalu.

Podjela razvijača prema namjeni i načinu primjene:

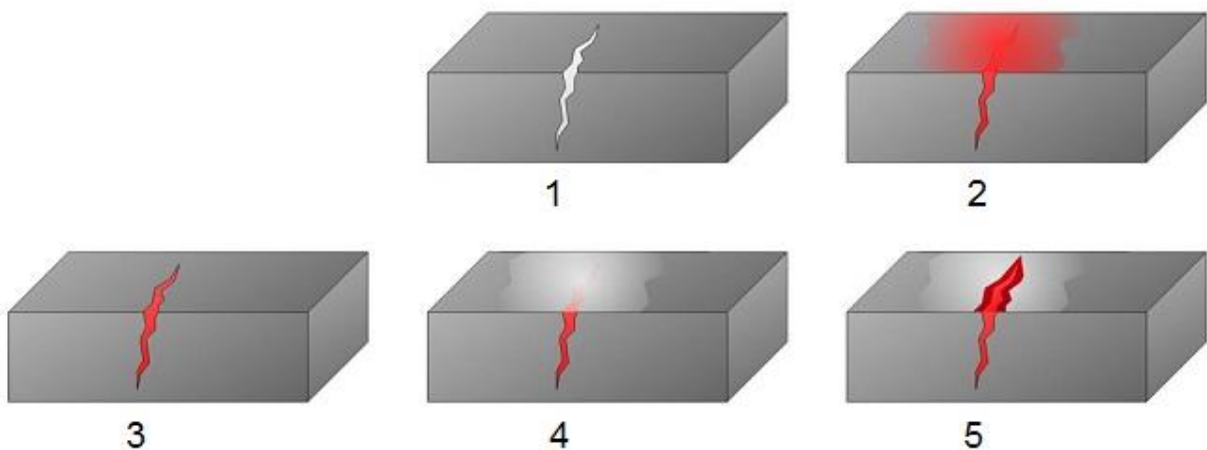
- Suhi razvijač,
- Razvijač rastvoren u vodi,
- Razvijač rastvoren u otapalu,
- Razvijač za specijalne namjene na bazi vode ili otapala.[13]



### 3.4. Tehnika rada penetrantskom kontrolom

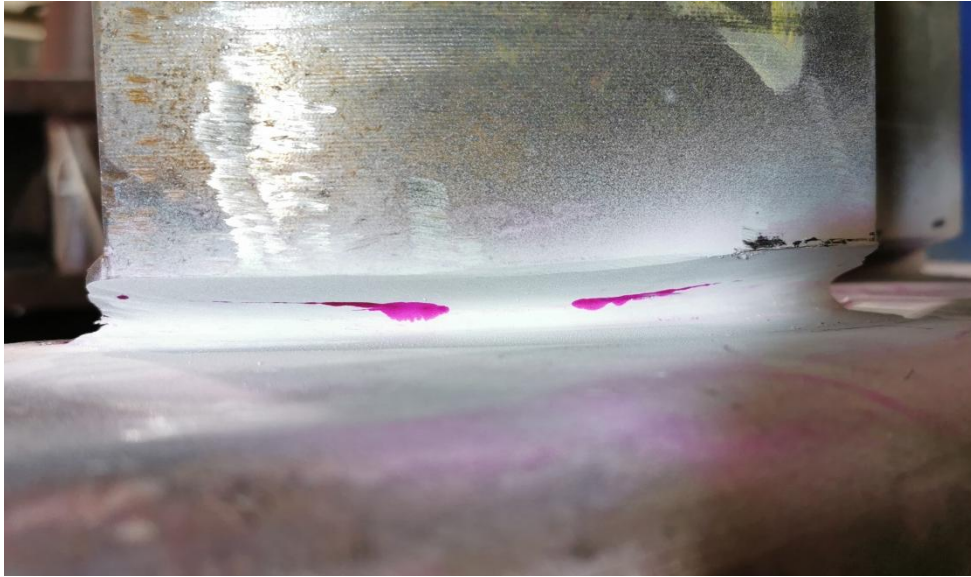
Postupak ispitivanja provodi se prema fazama:

1. Čišćenje prije ispitivanja (točka 1 na slici 8.)
2. Nanošenje penetranta (točka 2 na slici 8.)
3. Uklanjanje viška penetranta (točka 3 na slici 8.)
4. Sušenje površine, ukoliko je potrebno
5. Nanošenje razvijaača (točka 4 na slici 8.)
6. Pregled i bilježenje indikacija (točka 5 na slici 8.)
7. Završno čišćenje

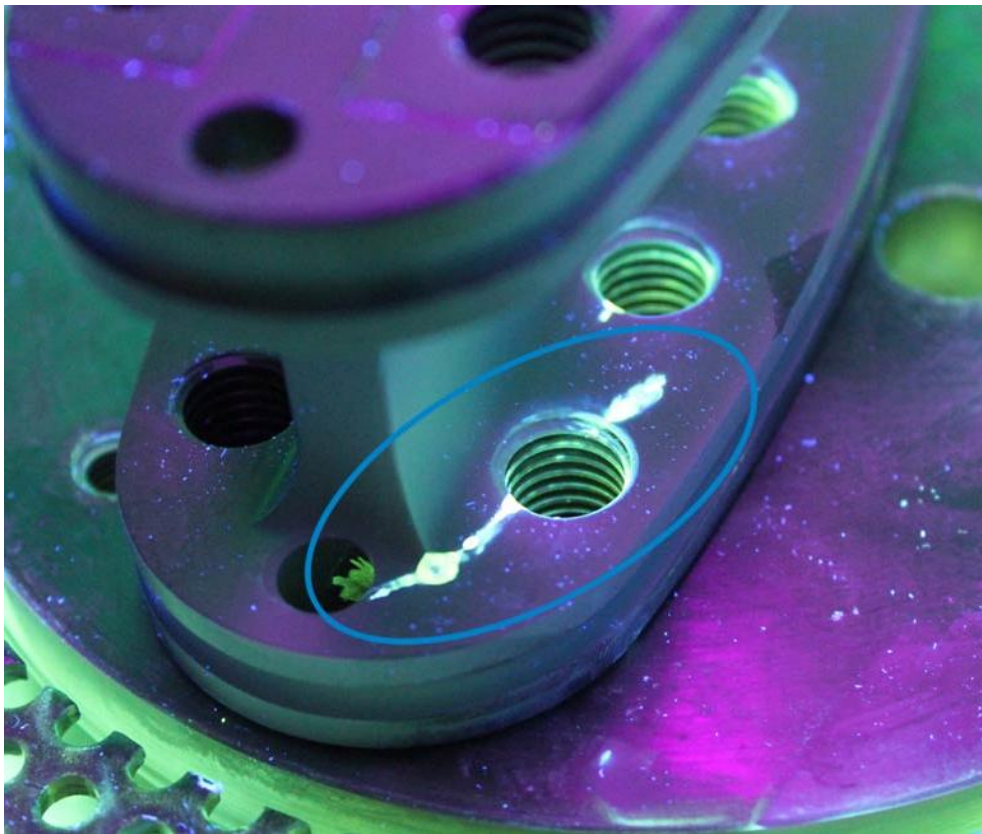


Slika 10. Penetrantsko ispitivanje [18]

Prilikom penetrantskog ispitivanja važno je obratiti pozornost na vrijeme penetracije i vrijeme razvijanja. Vrijeme penetracije prema EN ISO 3452-1 može varirati od 5 do 60 min ovisno o uvjetima i penetrantu koji se koristi. Vrijeme razvijanja prema EN ISO 3452-1 treba biti od 10 do 30 min nakon nanošenja razvijaača.



Slika 11. Primjer ispitivanja i indikacije obojanim penetrantom

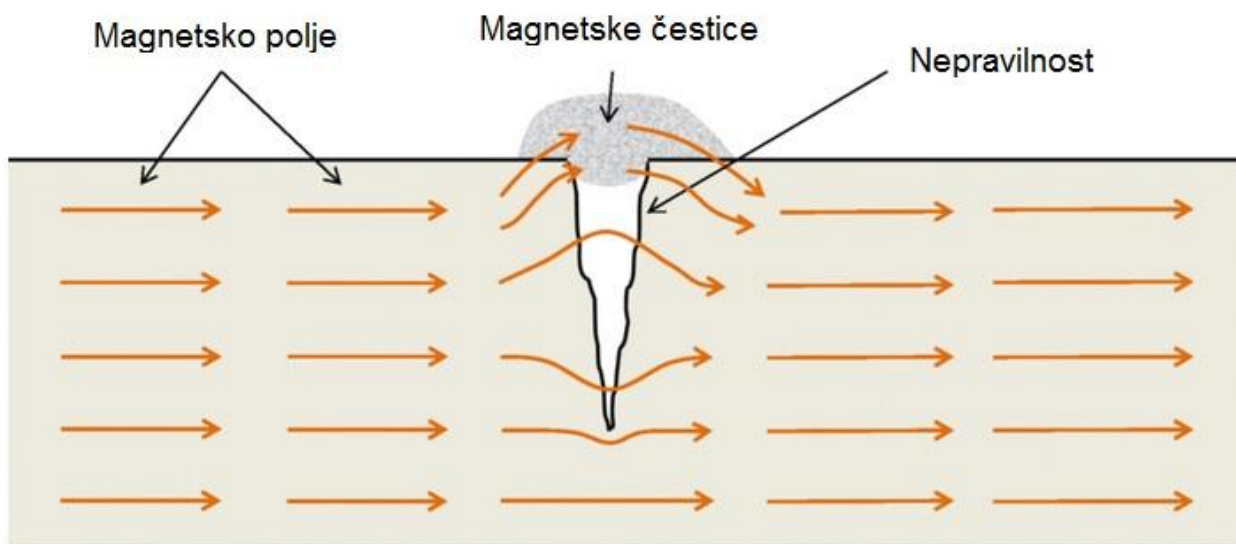


Slika 12. Primjer ispitivanja i indikacije fluorescentnim penetrantom [19]

## 4. MAGNETSKA KONTROLA

### 4.1. Osnovna načela magnetske kontrole

Metoda ispitivanja magnetskim česticama je metoda neraznog ispitivanja za otkrivanje površinskih nepravilnosti u feromagnetskim materijalima. Temelji se na fizikalnoj pojavi propuštanja (curenja) magnetskog toka na magnetiziranoj površini prilikom pojave nepravilnosti. Magnetske čestice, nanese na tako magnetiziranu površinu, nakupljaju se na mjestu nepravilnosti prikazujući njezin položaj, oblik i veličinu. [20]



Slika 13. Princip metode ispitivanja magnetskim česticama [21]

Preduvjet za ispitivanje magnetskim česticama je mogućnost magnetiziranja materijala, a to je moguće na feromagnetskim materijalima: željezo (feromagnetno), nikal, kobalt i njihove legure.

Neke od prednosti ispitivanja metodom magnetskih čestica su:

- Nije potrebno temeljito čišćenje, posebice kemijsko, kao kod penetrantske kontrole već je dovoljno samo mehaničko čišćenje ostataka materijala od npr. brušenja, oksida od zavarivanja itd. ,
- Velika osjetljivost metode omogućuje precizne i jasne indikacije,
- Ispitivanje je prilično brzo, nema vremenskog čekanja kao kod penetrentske kontrole,
- Moguće je ispitivati vrlo male dijelove kao i vrlo velike dijelove,

dok su nedostaci:

- Ispitivanje je moguće provoditi samo na feromagnetskim materijalima,
- Potrebno je demagnetizirati predmet nakon ispitivanja,
- Ponekad nepristupačno kod složenih geometrija,
- Potrebno znanje i iskustvo ispitivača za razumijevanje indikacija i razaznavanje lažnih indikacija.

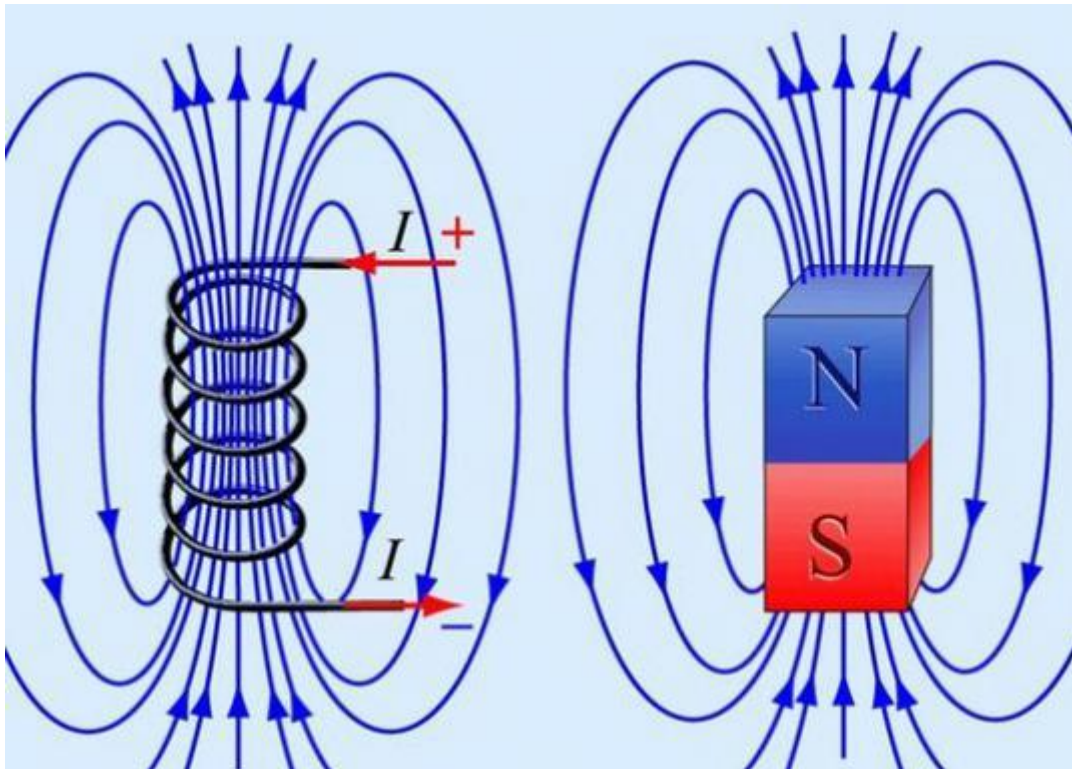
## **4.2. Fizikalni princip magnetske kontrole**

### **4.2.1. Magnet**

Magnet je svako tijelo koje ima svojstvo da privlači predmete od željeza, nikla, kobalta i njihovih legura. Prirodni magneti izrađeni su od magnetita dok su umjetni trajni (permanentni) izrađeni od tvrdih feromagnetskih materijala koji trajno zadržavaju magnetska svojstva. Elektromagneti također pripadaju skupini umjetnih magneta, a magnetični su samo dok kroz zavojnicu teče električna struja.

### **4.2.2. Magnetizam**

Magnetizam je svojstvo magneta da u svojoj okolini stvara magnetsko polje koje opisujemo magnetskim silnicama. One u prirodi ne postoje već su zamišljene linije kojima prikazujemo magnetsko polje. Mjesta na kojima je gustoća magnetskih silnica najveća nazivamo polovima magneta, a dijelimo ih na sjeverni (N) i južni (S).[22]



Slika 14. Prikaz magnetskog polja zavojnice (lijevo) i magneta (desno) [23]

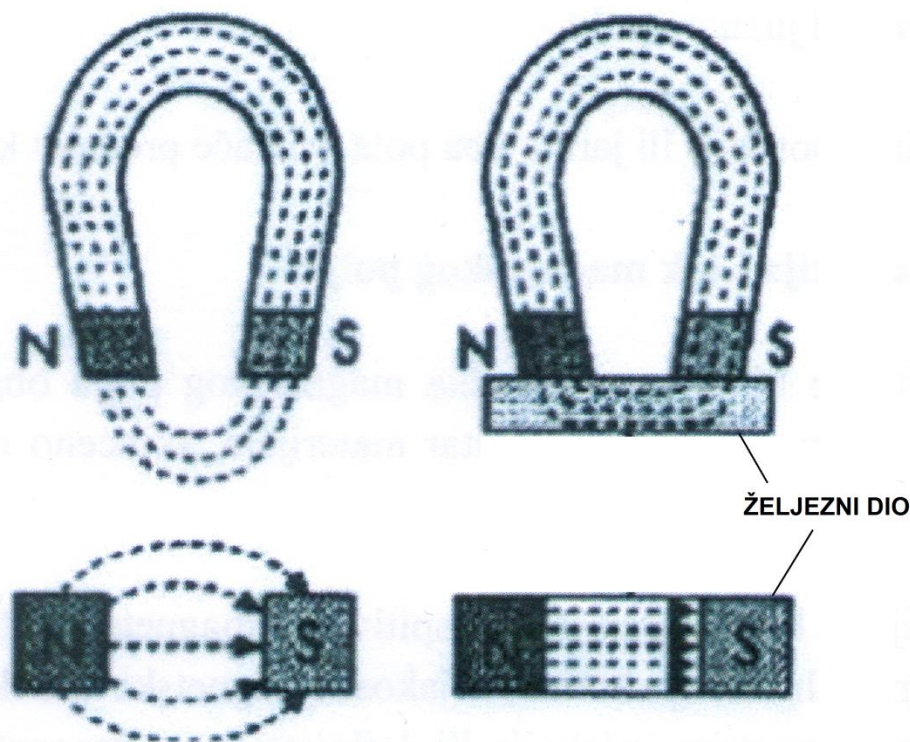
Istoimeni polovi magneta se odbijaju, a različitih imena privlače.

Polovi magneta privlače predmet od feromagnetskih materijala neovisno o polu dok kod magneta u obliku jarma oba pola privlače predmet jednako.

Vrlo bitna karakteristika magnetskog polja je **magnetska indukcija ( $\mathbf{B}$ )**. To je mjera magnetičnosti materijala i bitan parametar u ispitivanju magnetskim česticama jer postoji zavisnost između dubine nepravilnosti i jakosti magnetske indukcije. Mjerna jedinica je T – Tesla.

**Magnetski tok ( $\Phi$ )** fizikalna je veličina koja se definira kao ukupan broj silnica koje protječu unutar magnetskog polja. Mjerna jedinica je Wb – veber.



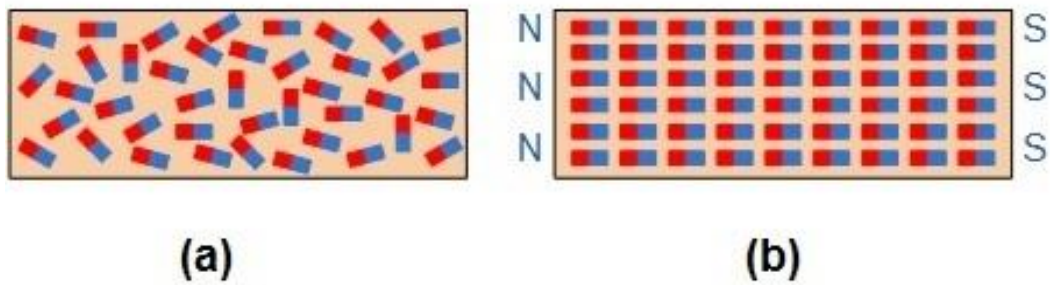


Slika 15. Prikaz magnetskog toka: u zraku (lijevo), u željeznom predmetu (desno) [22]

**Relativna permeabilnost** (relativna magnetska propusnost) odnos je propusnosti silnica u željezu nasuprot propusnosti u zraku. Feromagnetski materijali imaju permeabilitet 100 i više dok neki drugi materijali (npr. bakar, austenitni čelici i drugi) imaju permeabilitet 1 i na njih magnetsko polje djeluje vrlo malo ili uopće ne djeluje.

### 4.2.3. Magnetizacija

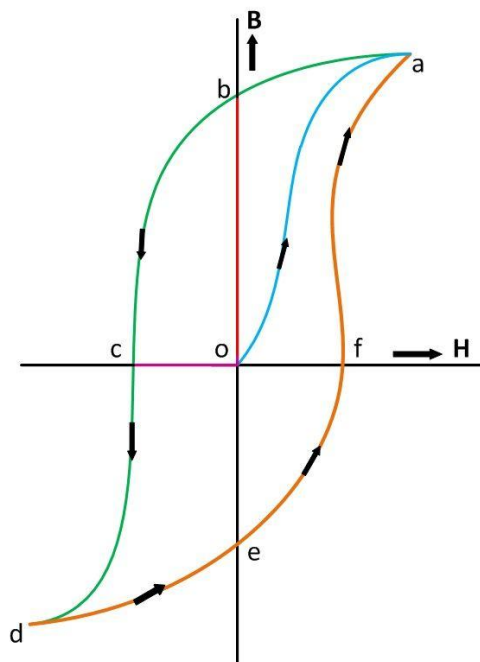
Magnetizacija je gustoća magnetskog toka koja je inducirana u nekom feromagnetnom materijalu djelovanjem vanjskog magnetskog polja. Ovo je pojava kod koje predmet od čelika zadržava magnetska svojstva nakon što je bio magnetiziran. Magnetizaciju feromagnetskih materijala prikazujemo pomoću modela elementarnih magneta gdje su magnetski momenti atoma u nemagnetiziranom stanju slobodni i neusmjereni (Slika 14. (a) ). Prilikom magnetiziranja magnetski momenti atoma usmjereni su jednako i pravilno u smjeru vanjskog polja (Slika 14. (b)).



Slika 16. Prikaz elementarnih magneta u nemagnetiziranom (a) i magnetiziranom (b) stanju. [24]

Magnetizacija ovisi o permeabilnosti materijala kojeg ispitujeemo, a krivulja koja nam pokazuje ukupnu promjenu magnetske indukcije ( $B$ ) u materijalu nastale promjenom magnetskog toka ( $H$ ) nazivamo krivuljom magnetizacije (histereza).

Oblik krivulje razaznat cemo ako pratimo tijekom magnetiziranja. Feromagnetski materijal u nemagnetiziranom stanju ulazi u promjenjivo magnetsko polje ( $H$ ), mjerenjem magnetske indukcije ( $B$ ) za svaku vrijednost magnetskog polja ( $H$ ) dobijemo krivulju histereze.



Slika 17. Krivulja histereze [25]

Na slici 15. krivulja od točke **0** do točke **a** označava se kao krivulja prvog magnetiziranja. Točka **a** na slici 15 označava vrijednost maksimalne indukcije odnosno zasićenje.

Točka **b** na slici 15 naziva se remanentna točka kod koje je vidljivo da se nakon magnetiziranja nekog feromagnetskog materijala magnetičnost ne vraća u prvobitno stanje već dio ostaje u materijalu. Pojavu zaostalog magnetizma nazivamo remanencija.

Kako bi remanentni magnetizam neutralizirali potrebna je određena jakost magnetskog polja u suprotnom smjeru. Izmjenama smjera jakosti magnetskog polja mijenja se gustoća toka u materijalu prema krivulji što je prikazano na slici 15 od točke **b**, preko točki **c,d,e,f** do točke **a**.

Materijali prema krivulji histereze dijele se na:

- Magnetsko tvrdi materijali – pružaju velik otpor promjeni smjera magnetiziranja,
- Magnetsko meki materijali – pružaju mali otpor promjeni smjera magnetiziranja.

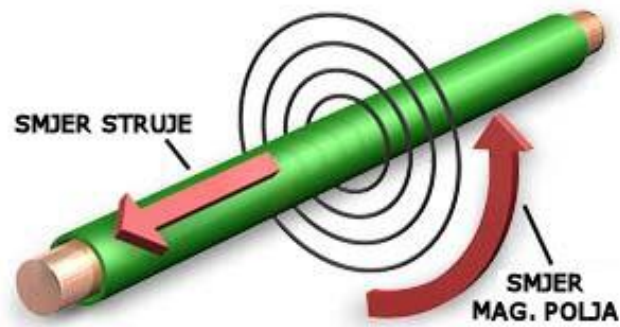
#### **4.2.4. Vrste magnetskih polja**

Magnetska polja uzrokovana protjecanjem električne struje koja se koriste kod ispitivanja magnetskim česticama su:

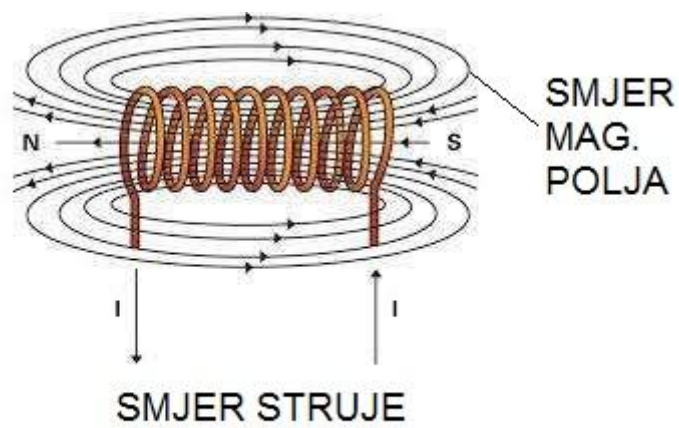
- Kružno magnetsko polje - nastaje oko ravnog vodiča kod kojeg je smjer električne struje pravocrtan. (Slika 16.)
- Uzdužno magnetsko polje – nastaje oko zavojnice kod koje je smjer električne struje kružan. (Slika 17.)

Magnetsko polje vodiča i struja koja protječe kroz vodič u međusobnom su položaju jedan prema drugome pod kutom od 90 stupnjeva.





Slika 18. Magnetsko polje ravnog vodiča [26]



Slika 19. Magnetsko polje zavojnice [27]

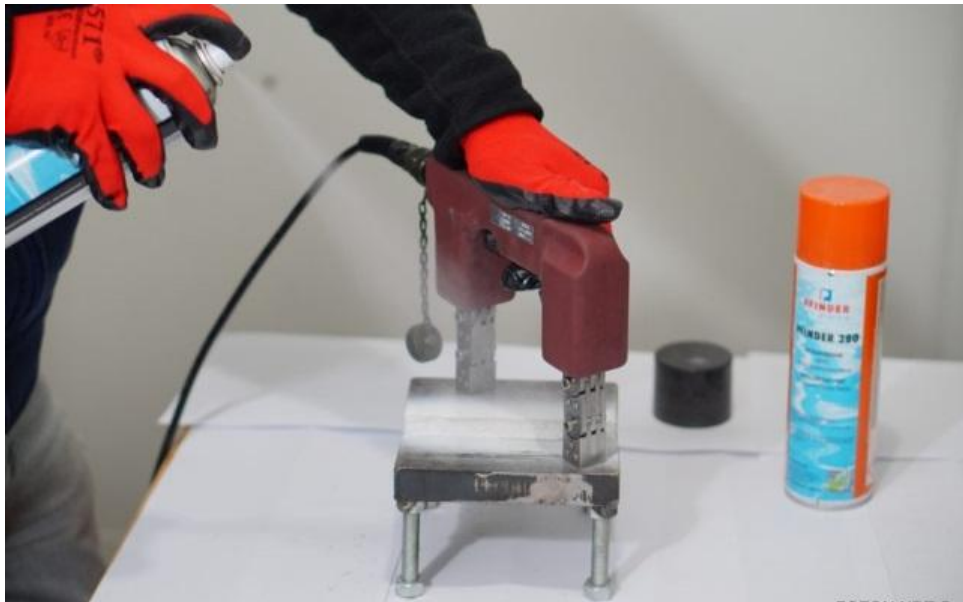
### 4.3. Oprema i sredstva u magnetskoj kontroli

#### 4.3.1. Oprema za magnetizaciju

Oprema za magnetizaciju ovisi o tehnici magnetizacije koja se želi primijeniti kod ispitivanja. Magnetizacija predmeta ili objekta ispitivanja može se provesti:

-

- Lokalno – primjenom ručnog jarma, kontaktnih elektroda i generatora. Potrebna je promjena smjerova magnetizacije.



Slika 20. Magnetizacija jarmom metodom obojanih magnetskih čestica [28]

U uređaju za magnetizaciju – mogućnost magnetizacije bilo kružnim ili uzdužnim magnetskim poljem. Predmet ispitivanja ujedno je i vodič električne struje na koji magnetsko polje djeluje stalno.



Slika 21. Magnetizacija uređajem za magnetizaciju metodom fluorescentnih magnetskih čestica [29]

### 4.3.2. Feromagnetske čestice

Feromagnetske čestice su praškasti medij sačinjen od vrlo finih oksida usitnjenog željeza. [20] Razlikuju se prema veličini, kontrastu, magnetskoj permeabilnosti i načinu uočavanja i postizanja kontrasta.

Kod ispitivanja magnetskim česticama razlikuju se dvije metode metode obzirom na odabir feromagnetskih čestica, a to su:

1. Metoda obojanim česticama

Ova metoda jednostavnija je u primjeni jer se promatranje vrši koristeći bijelo svjetlo. Prije nanošenja feromagnetskih čestica nanosi se podložna boja kako bi se dobio kontrast. (Slika 18.)

2. Metoda fluorescentnim česticama

Ova metoda koristi se kada se očekuju precizne nepravilnosti (pukotine) jer u odnosu na metodu obojanim česticama ima veći kontrast. (Slika 19.)

Obzirom na primjenu čestica na ispitnu površinu koriste se dva postupka:

- Suhi postupak – čestice se nanose pod pritiskom plina (ugl. zrakom),
- Mokri postupak – čestice se nanose u obliku suspenzije pomješane sa uljem ili vodom.

Izbor feromagnetskih čestica najviše ovisi o veličini i obliku zrna koje mora odgovarati očekivanoj širini nepravilnosti. Ukoliko je zrno puno sitnije u odnosu na nepravilnost, indikacije će biti nejasne. Zrno koje je veće od širine nepravilnosti neće se u istoj zaustaviti pa indikacija neće biti prikazana.

Promatranje fluorescentnih indikacija vrši se pomoću svjetiljki koje emitiraju UV zračenje. One uz ugrađeni filter emitiraju samo UVA zračenja koje nazivamo crno svjetlo.



Slika 22. UV – svjetiljka [30]

Promatranje obojanih čestica vrši se pomoću bijele svjetlosti za koje je potrebno minimalno osvjetljenje od 500 lx.

#### 4.3.3. Oprema za demagnetizaciju

Nakon magnetizacije feromagnetski materijali zadržavaju remanenciju (zaostali magnetizam). Utjecaj remanencije na objekt ispitivanja i okolni prostor potrebno je ocijeniti s obzirom na svojstvo objekta ili okolnog prostora. Remanencija utječe na:

- Postupke obrade odvajanjem čestica, brušenja itd. zbog privlačenja metalnih čestica na objekt,
- Postupak zavarivanja zbog ometanja luka zavarivanja,
- Korištenje dijelova strojeva i postrojenja zbog privlačenja metalnih čestica,

- Ponovno provođenje magnetske kontrole objekta zbog različitog smjera i jakosti prethodnog magnetiziranja,
- Postupak čišćenja objekta nakon ispitivanja.

Demagnetizacija je postupak uklanjanja remanencije odnosno zaostalog magnetizma. Feromagnetske materijale nije moguće u potpunosti demagnetizirati već se demagnetizacija provodi do razine od otprilike 300  $\mu$ T.

Demagnetizacija se može provesti sa: demagnetizatorima s izmjeničnom strujom, priručnom zavojnicom načinjenom od kabla, zavojnicom koja služi za magnetiziranje odnosno demagnetiziranje, demagnetizatorima s istosmjernom strujom ili demagnetiziranjem jarmom.

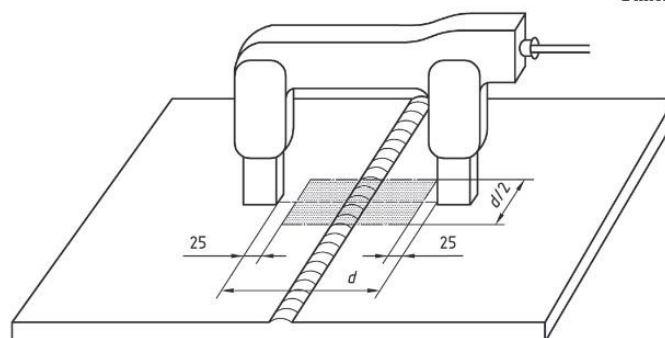
#### 4.4. Tehnika rada magnetskom kontrolom

Postupak ispitivanja provodi se prema fazama:

1. Čišćenje predmeta ispitivanja mehaničkim putem (odstranjivanje kapljica i oksida od zavarivanja, hrđe itd.) ili kemijskim putem (odstranjivanje ulja, masti ili boja).
2. Nanošenje podložne boje do debljine od maksimalno 50  $\mu$ m - ukoliko se ispitivanje provodi obojanim magnetskim česticama.
3. Provođenje magnetizacije ovisno o tehnici magnetizacije koje je opisano normom HRN EN ISO 17638 ili HRN EN ISO 9934-1.

ISO 17638:2016(E)

Dimensions in millimetres



Slika 23. Tehnika rada magnetskim jarmom [31]

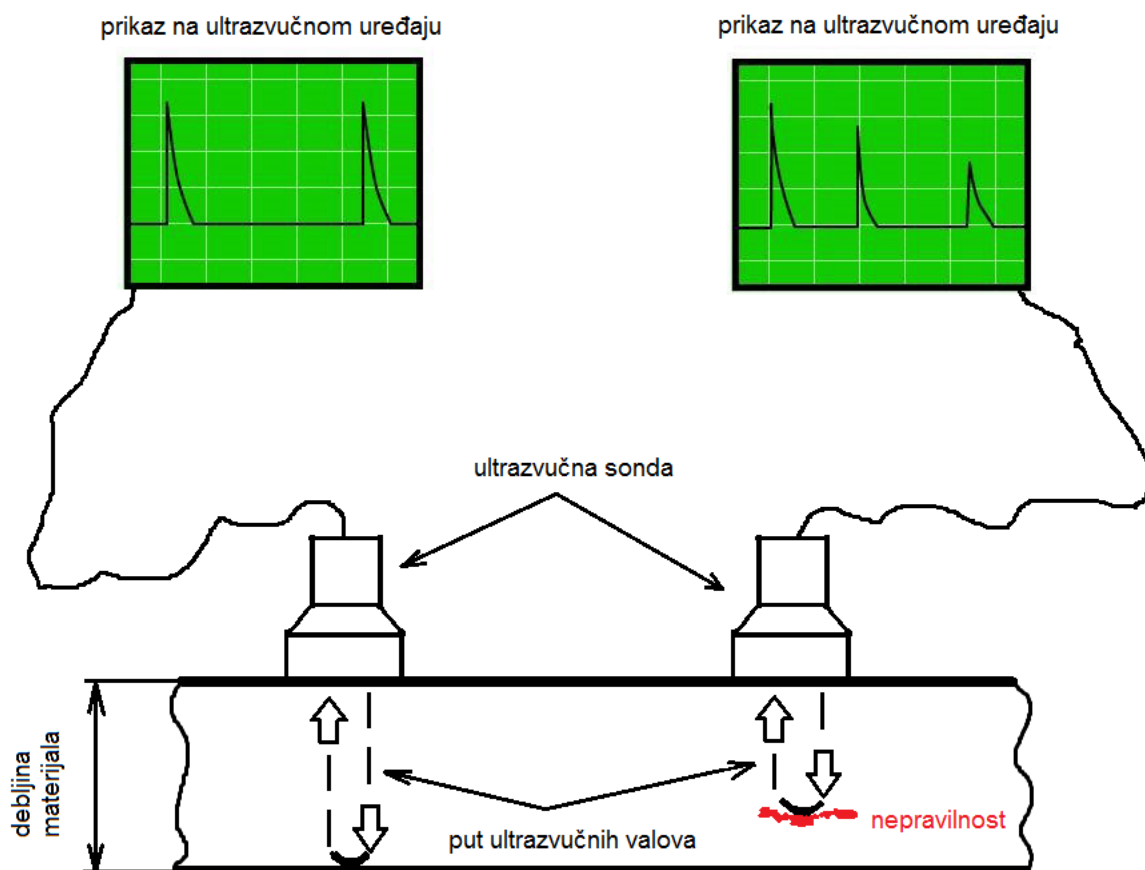
4. Nanošenje feromagnetskih čestica koje se nanose istovremeno sa magnetiziranjem površine ispitivanja.
5. Promatranje ispitne površine i ocjenjivanje indikacija ukoliko su se pojavile.
6. Bilježenje otkrivenih indikacija.
7. Čišćenje predmeta ispitivanja od feromagnetskih čestica
8. Provođenje demagnetizacije (ukoliko je definirano)

## 5. ULTRAZVUČNA KONTROLA

### 5.1. Osnovna načela ultrazvučne kontrole

Metoda ispitivanja ultrazvukom jedna je od volumenskih metoda nerazornog ispitivanja za otkrivanje nepravilnosti u unutrašnjosti (volumenu) materijala. Temelji se na odašiljanju ultrazvučnih valova u materijal (objekt). Nailazeći na prepreku valovi se odbiju od iste te se prema vremenu povratka vala određuje oblik i udaljenost objekta ili nepravilnosti.

Metoda ima široku primjenu, osim što se koristi za otkrivanje nepravilnosti u materijalu, često se koristi i za precizno mjerenje debljine stjenke materijala. [32]



Slika 24. Princip rada ultrazvučne kontrole [33]

Neke od prednosti ispitivanja ultrazvučnom kontrolom su:

- Velika osjetljivost koja omogućava otkrivanje sitnih nepravilnosti,
- Otkrivanje nepravilnosti u materijalu neovisno o debljini materijala,
- Mogućnost ispitivanja objekta samo sa jedne strane ako je objekt nepristupačan s obje strane,
- Velika točnost kod određivanja položaja nepravilnosti ili kod mjerenja debljine stjenke,
- Moguće je ispitivanje objekata izrađenih od različitih materijala, različitih akustičkih svojstava,
- Moguće je odrediti veličinu i oblik nepravilnosti te posljedično i uzrok,
- Metoda nije štetna za predmet ispitivanja kao ni za osoblje i okoliš,
- Rezultate je moguće vidjeti prilikom ispitivanja.

dok su neki od nedostataka:

- Zahtijeva se određeno znanje i iskustvo osoblja za provođenje ispitivanja i interpretaciju rezultata,
- Moguća pojava lažnih indikacija odnosno lažnih signala zbog nepravilne geometrije objekta,
- Objekte koji su hrapavi, nepravilnih geometrija, tanki ili nehomogeni vrlo je teško ispitati. [34]

## **5.2. Fizikalni princip ultrazvučne kontrole**

### **5.2.1. Zvuk**

Akustika je grana fizike koja se bavi proučavanjem nastajanja, širenja i osjetom zvuka.[35] Zvuk nastaje kada neka materija vibrira. Širi se longitudinalnim valovima, a brzina širenja ovisi o sredstvu kojim se širi. Frekvencija valova tih vibracija mjeri se jedinicama koje se nazivaju herci (Hz). Zvuk koje ljudsko uho čuje u rasponu je od 16 do otprilike 20000 Hz. Frekvencije manje od 16 Hz nazivaju se infrazvukom.

Ultrazvuk je zvuk čija je frekvencija iznad gornje granice čujnosti ljudskog uha (20000 Hz). Osim korištenja kod nerazornih ispitivanja značajna uloga ultrazvuka je u medicini.



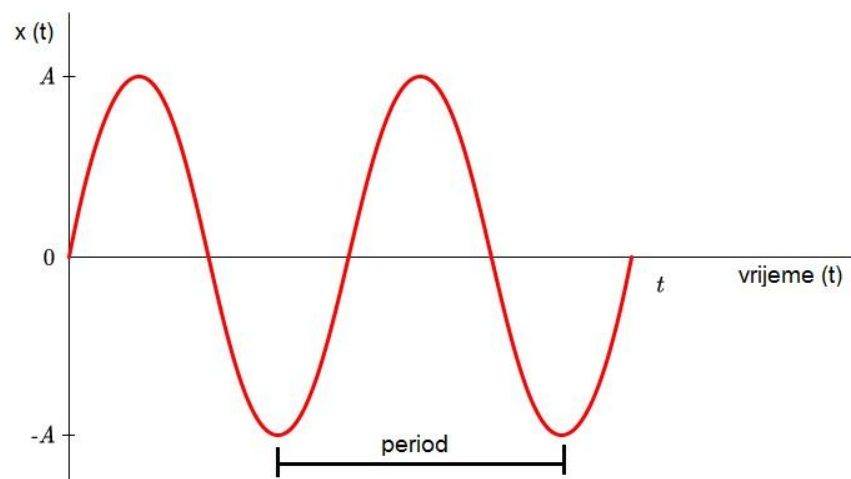
## 5.2.2. Titranje

Titranje je oblik periodičkog gibanja između dvaju krajnjih položaja uzorkovano elastičnim karakteristikama tijela.

Kod slobodnog titranja periodičko gibanje tijela uzrokovano je djelovanjem elastične sile proporcionalne pomaku tijela iz položaja ravnoteže.

Titranje se opisuje parametrima:

- Period ( $T$ ), vrijeme jednog titraja,
- Frekvencija ( $f$ ), broj titraja u sekundi,
- Elongacija  $x(t)$ , pomak iz položaja ravnoteže u trenutku  $t$ ,
- Amplituda ( $A$ ), najveća elongacija.[32]



Slika 25. Grafički prikaz slobodnog titranja [36]

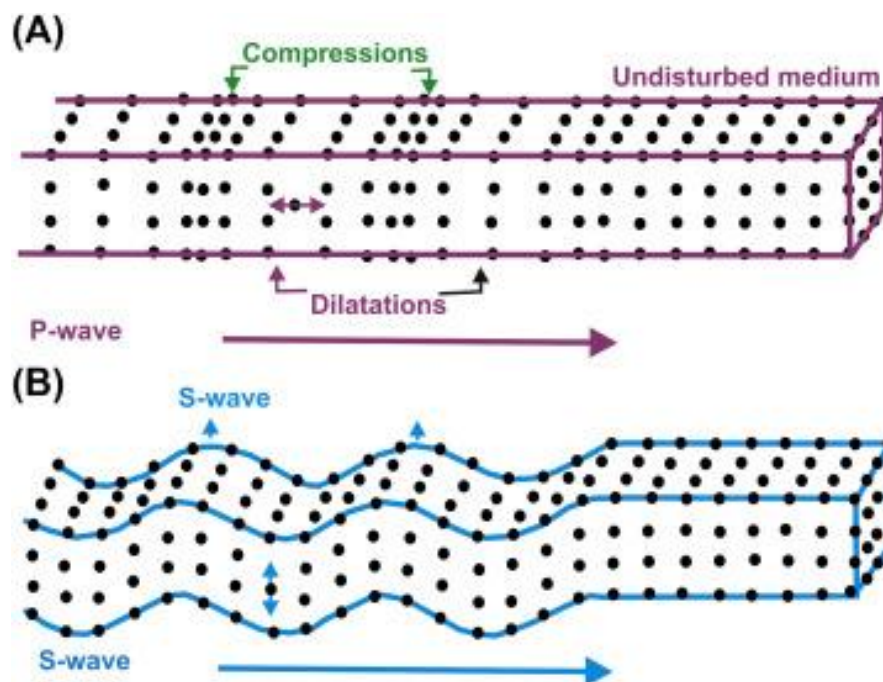
Tijelo koje ultrazvučno titra u kontaktu sa sredstvom prenosit će titranje na sredstvo. Čestice u sredstvu titrat će istom frekvencijom kao i izvor no s različitim fazom. Ravni harmonički val širi se sredstvom kada su pomaci čestica koje titraju istom frekvencijom jednake u ravnini okomitoj na smjer širenja vala, a raspored pomaka u smjeru širenja sinusoidalan.

### 5.2.3. Ultrazvučni valovi

Ultrazvučni valovi prenose energiju titranja kroz materijal. Ovisno o vrsti, obliku, dimenzijama i elastičnim svojstvima materijala nastaju različite vrste ultrazvučnih valova.

Razlikujemo dvije osnovne vrste valova:

- Longitudinalni valovi – uzdužni valovi su valovi kod kojih čestice titraju u smjeru širenja vala. U sredstvu kroz koje se šire uzrokuju zgušćenja i razrjeđenja. Mogu se prostirati u sredstvima u sva tri agregatna stanja.
- Transverzalni valovi – poprečni valovi su valovi kod kojih čestice titraju okomito na smjer širenja vala. U sredstvu kroz koje se šire ne uzrokuju zgušćenja i razrjeđenja. Mogu se prostirati samo u sredstvima krutog agregatnog stanja.



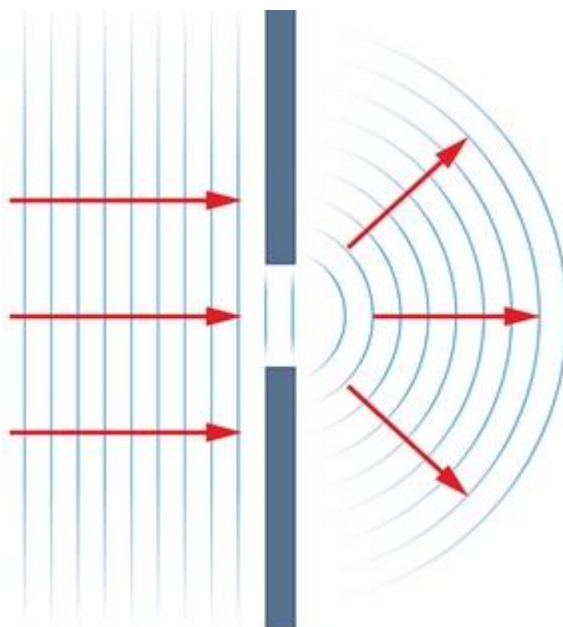
Slika 26. Prikaz širenja longitudinalnog (A) i transverzalnog (B) vala [37]

**Pretvaranje (konverzija) vala** pojava je kada se longitudinalni val na granici sredstva pretvori u transverzalni i obrnuto.

Različite vrste valova nastaju kombinacijom longitudinalnog i transverzalnog titranja. U ultrazvučnoj kontroli još se koriste površinski i pločasti valovi: Rayleighovi valovi, lateralni (puzajući) valovi, Loveovi površinski valovi, čelni valovi (P-valovi) i Lambovi valovi. [32]

**Interferencija valova** pojava je međudjelovanja dvaju ili više valova koji istodobno prolaze kroz isti prostor. [38] Ukoliko se sretnu valovi različitih amplituda i frekvencija, čestica u kojoj se sretnu titrati će prema pobudi svakog od njih. [32]

**Difrakcija (ogib) valova** je svojstvo valnog gibanja kod kojeg se val iza uskog otvora širi ne samo u području određenom veličinom otvora, već prodire i u područje geometrijske sjene.



Slika 27. Difrakcija valova [39]

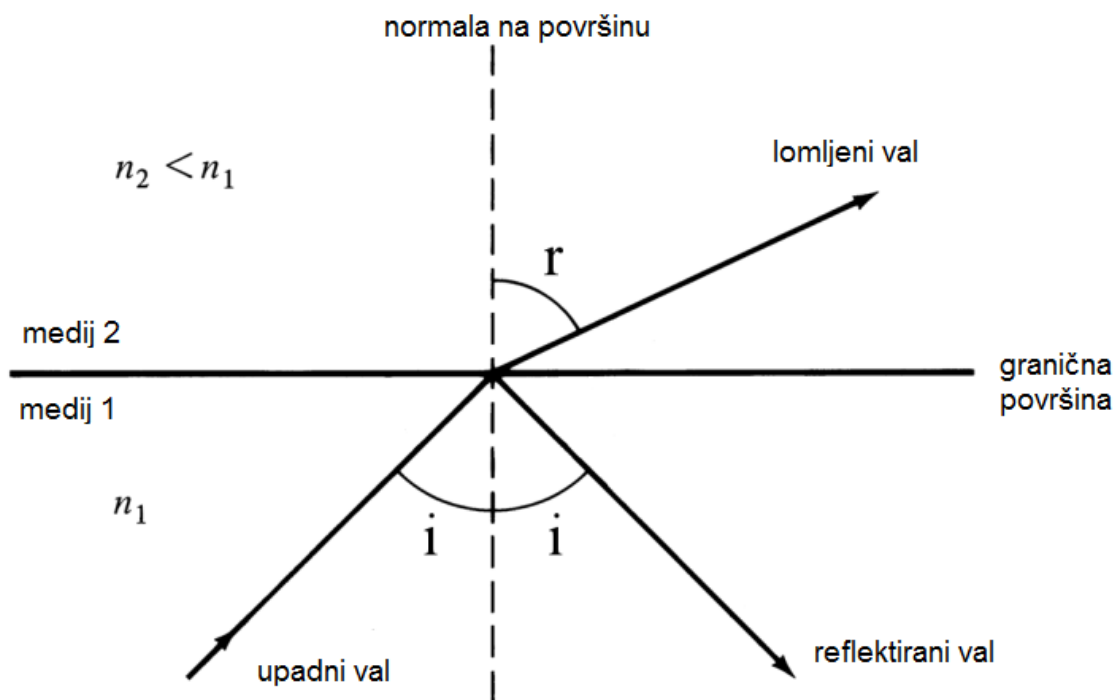
### Refleksija i lom valova

Ultrazvučni valovi u izvornom obliku šire se samo u beskonačnom sredstvu. U praksi su sva sredstva ograničena dimenzijama. Na granici sredstva dolazi do refleksije (odraza) ultrazvučnih valova i prijenosa (transmisije) ultrazvučne energije u drugo sredstvo. Odnos reflektiranog i prenesenog dijela energije ovisi o: akustičkoj impedanciji sredstva kroz koje se prvotno šire valovi, sredstva u koje prelaze, vrsti valova i načinu na koji dolaze na granicu sredstva.

Ova pojava događa se prema Snellov-om zakonu.

Ako ultrazvučni valovi u predmetu ispitivanja naiđu na akustičku graničnu površinu, nakon sudara mijenjaju svoj smjer i intenzitet.

Akustička granična površina područje je u kojem se medij, a posljedično i brzina prostiranja zvuka mijenja. Može biti prirodna granica predmeta ispitivanja, nesavršenost u materijalu ili međupovršina između dva medija (npr. ulje-čelik). Zvuk dolazeći na graničnu površinu ima dvije mogućnosti: refleksija ili prolazak u novi medij.



Slika 28. Prikaz refleksije i loma [40]

## 5.2.4. Parametri ultrazvučne kontrole

Parametri ultrazvučne kontrole su veličine koje treba odabrati ili uzeti u obzir prilikom provođenja ispitivanja, a definiraju opremu, tehniku rada i objekt ispitivanja.

Veličine koje utječu na ultrazvučno ispitivanje su:

- Frekvencija ultrazvuka – izbor frekvencije određuje duljinu ultrazvučnih valova u ispitnom materijalu. Povećanjem frekvencije valna duljina se smanjuje. Osjetljivost metode ovisi o valnoj duljini.
- Brzina ultrazvuka u sredstvu ( $c$ ) – brzina vala ovisi o vrsti vala, gustoći i elastičnosti materijala u kojem se širi, temperaturi i naprežanju. Brzina longitudinalnih valova u čeliku je otprilike 6000 m/s, dok je transverzalnih otprilike 3300 m/s.
- Impedancija sredstva – veličina je koja opisuje sredstvo kojim se val širi. Ovisi o gustoći materijala i brzini ultrazvučnih valova, a prema izračunu može se odrediti udio prolazne i reflektirane energije na granici dvaju materijala.
- Ultrazvučni tlak ( $p$ ) – veličina je kojom se definira djelovanje sile okomito na površinu objekta kada u njemu postoji ultrazvučno polje. Kod longitudinalnih valova tlak djeluje na površinu koja je okomita na smjer napredovanja vala. Kod transverzalnih valova tlak djeluje okomito na površinu paralelnu smjeru napredovanja vala. (slika 24.)
- Intenzitet ultrazvuka – određuje količinu energije sadržane u ultrazvučnom valu. To je energija koja u jedinici vremena djeluje na jediničnu površinu okomitu na smjer širenja ultrazvuka.

## 5.2.5. Ultrazvučni izvori

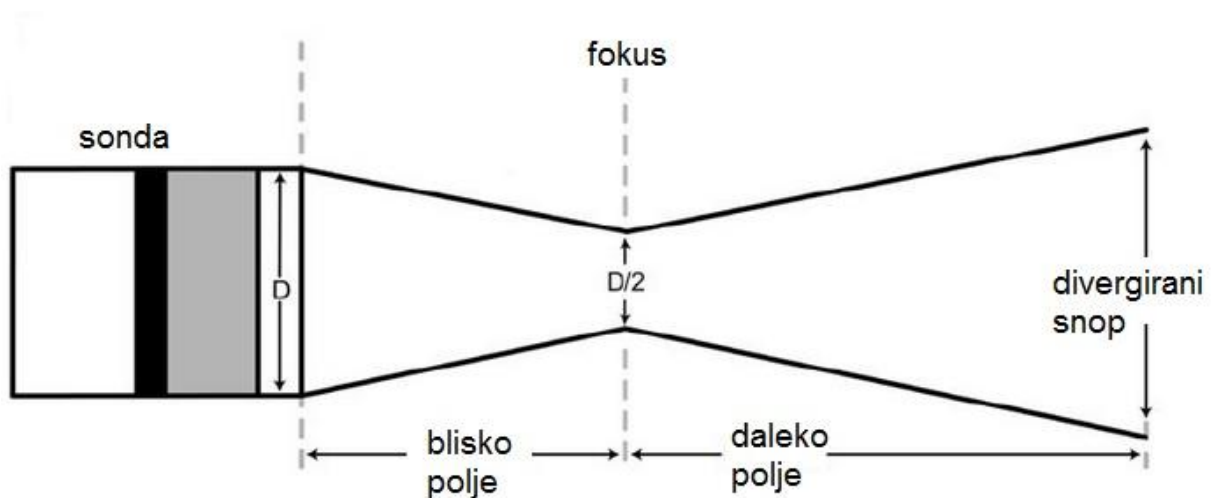
U metodama nerazornog ispitivanja ultrazvučni izvori su sonde u koje je ugrađen aktivni dio naziva pretvarač. Pretvarač titra stvarajući ultrazvučne valove. Sonde prislanjanjem na objekt ispitivanja uz korištenje kontaktnog sredstva ili uranjanjem u tekućinu prenose titraje u sredstvo s kojim su u dodiru.

Ultrazvuk je moguće dobiti na više načina, no najčešće se za dobivanje ultrazvučne energije koristi piezoelektrični efekt pa prema tome razlikujemo:

Piezoelektrične pretvarače – izrađeni od materijala piezoelektričnog svojstva izrezanog u obliku tankih pločica. Mehaničkim djelovanjem na takav materijal dolazi do stvaranja napona na njegovoj površini. Ova pojava može biti i obrnuta pri čemu dovedeni napon uzrokuje promjenu debljine pločice pretvarača.

I ostale pretvarače: Mehanički pretvarači, Magnetostriksijski pretvarači, Toplinski pretvarači, Elektrostatski pretvarači, Elektrodinamički pretvarači.

Zvuk nastao na površini pretvarača emitira se u ispitni predmet u obliku sfernog vala. Sferni valovi pogađajući jedan drugog (interferencija) formiraju snop i usmjeravaju se. Područje u kojem se događa ova pojava naziva se blisko polje. Nakon bliskog polja nalazi se fokus, mjesto gdje je snop najjači i tlak zvuka najveći. Daleko polje područje je koje se nalazi nakon fokusa u kojem se zvuk širi kao val emitiran iz jedne točke. U dalekom polju zvuk se sa udaljavanjem od pretvarača raspodjeljuje na sve veću površinu odnosno divergira.



Slika 29. Prikaz zvučnog snopa [41]

## 5.3. Oprema i sredstva u ultrazvučnoj kontroli

### 5.3.1. Ultrazvučni uređaj

Obzirom na način odašiljanja i zaprimanja ultrazvuka razlikuju se tri metode: metoda prozvučavanja, metoda odjeka (impulsna eho), metoda rezonancije.[42] Nastavak rada bazirat će se na metodi odjeka.

Ultrazvučni uređaj je uređaj koji proizvodi električne impulse visokog napona i kratkog trajanja koji se u sondi pomoću piezoelektričnog pretvarača pretvaraju u mehaničke oscilacije u području ultrazvuka. Tako pretvorene oscilacije prostiru se kao zvučni valovi. Oni se reflektiraju na graničnim površinama i vraćaju u sondu gdje ih pretvarač prima, pretvara i prikazuje na ekranu uređaja.



Slika 30. Digitalni ultrazvučni uređaj [43]

Podешavanjem vremenske baze uređaja određuje se dužina puta zvuka do reflektora. Put zvuka razmak je između emitiranog impulsa i zaprimljenog zvuka. Zaprimljeni zvuk naziva se echo (jeka).

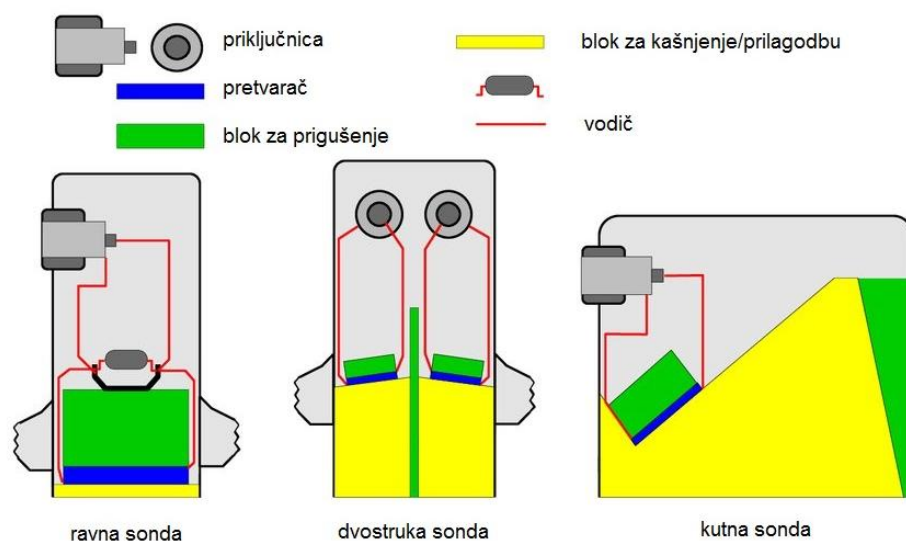
Podešavanjem osjetljivosti uređaja, definiranim umjetnim reflektorom, omogućava se usporedba sa pronađenim reflektorom te se može procijeniti njegova veličina.

### 5.3.2. Ultrazvučne sonde

Ultrazvučne sonde dio su ultrazvučnog sustava koji je zaslužan za odašiljanje i zaprimanje ultrazvuka. Razlikuju se prema namjeni što ovisi o izboru materijala pretvarača. Oblik elektroda, najčešće izrađenih od srebra, određuje radnu površinu pretvarača. Pretvarač najčešće ima štitnik koji sprječava njegovo oštećenje i trošenje. Prigušivač je drugi bitan dio sonde koji svojim sastavom materijala i oblikom prigušuje neželjene titraje.

Obzirom da ultrazvučna kontrola ima široku primjenu, postoje puno različitih vrsta sondi. Gruba podjela je na: standardne sonde i specijalne sonde. Standardne sonde prema načinu i smjeru širenja snopa dijele se na: ravne sonde i kutne sonde. One mogu biti izvedene kao dvostruka i fokusirajuća sonda. Na svakoj sondi nalazi se oznaka sonde s informacijama frekvencije i veličine kristala pretvarača.

## Basic Principles of Ultrasonic Testing Ultrasonic Probes



Krautkramer NDT Ultrasonic Systems

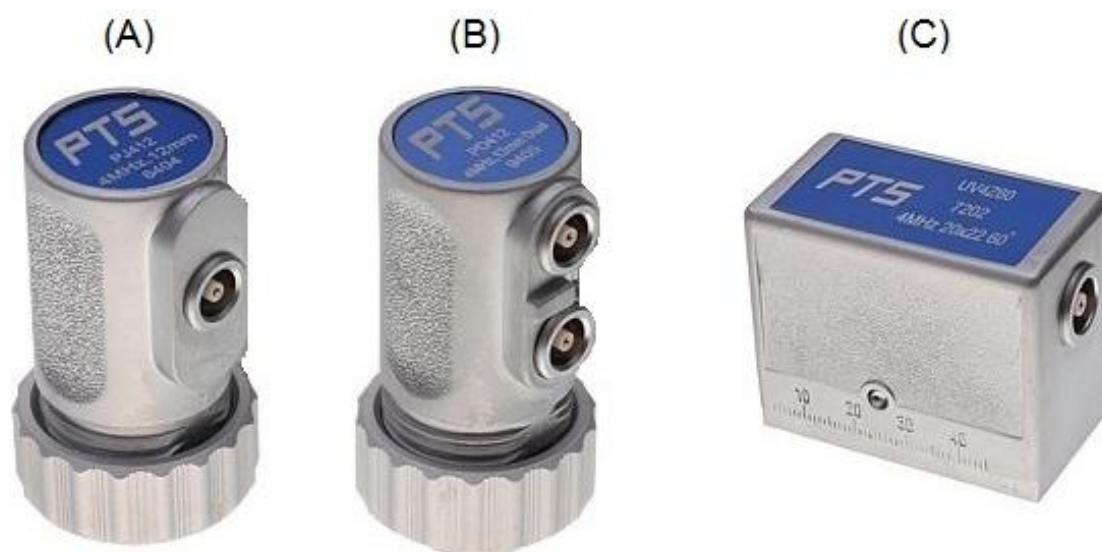
Slika 31. Konstrukcija standardnih ultrazvučnih sondi [44]



Ravna sonda odašilje i prima ultrazvučne valove okomito na izlaznu plohu. Izlazni kut sonde je  $0^\circ$ , a ultrazvučni valovi su longitudinalni. Dijelovi ravne sonde su: pretvarač, blok za prigušenje, zaštitna folija, priključnica i kućište.

Dvostruka sonda vrsta je ravne sonde izrađena od dva pretvarača, dva bloka za kašnjenje, dva bloka za prigušenje i dvije priključnice koji se nalaze u jednom kućištu. Jedan od pretvarača ima funkciju odašiljača dok drugi služi kao prijamnik. Međusobno su izolirani akustičkom izolacijom što omogućava ispitivanje netom ispod ulazne plohe.

Kutne sonde izrađene su s kutom ulaza ultrazvuka u odnosu prema normali od  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $70^\circ$ ,  $80^\circ$ . Pretvarač kutne sonde postavljen je pod nekim nagibom u odnosu na izlaznu plohu. Razlikuju se od ravnih sondi po tome što imaju blok za prilagodbu koji prenosi valove od pretvarača do objekta. Na bočnim stranicama kućišta kutnih sondi označena je skala koja služi za određivanje izlazne točke sonde. Kutne sonde mogu stvoriti longitudinalne, transverzalne i površinske valove. [32]



Slika 32. Ultrazvučne sonde: ravna (A), dvostruka (B) i kutna (C) [45]

Ultrazvučna sonda povezana je sa ultrazvučnim uređajem koaksijalnim kabelom sa odgovarajućim priključcima. Odabir koaksijalnog kabela ovisi o odabiru sonde.

### 5.3.3. Kontaktno sredstvo

Kontaktno sredstvo je materijal najčešće tekućeg agregatnog stanja koji omogućava prijenos ultrazvuka iz sonde u materijal ispitivanja. Zbog velike razlike u akustičkoj impedanciji zvuk bi se vrlo malo prenosio između zraka i krutih tvari. Najčešće se koriste različita ulja, smjese glicerina i vode, različite masti, ljepila za tapete ili voda. Faktor za odabir kontaktnog sredstva je hrapavost površine. [46]

### 5.3.4. Kalibracijski i referentni blok

Kalibracijski i referentni blokovi koriste se u ultrazvučnom ispitivanju za postavljanje parametara vremenske baze i osjetljivosti ispitivanja ultrazvučnog uređaja.



Slika 33. Standardni kalibracijski blokovi K1 (lijevo) i K2 (desno) [47]

Referentni blokovi izrađuju se sa bočno bušenim provrtima za različite debljine i vrste materijala ispitnih predmeta.

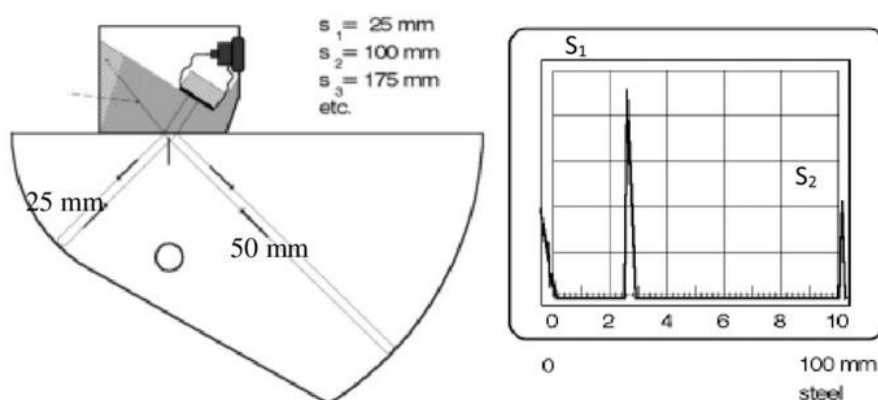
## 5.4. Tehnika rada ultrazvučnom kontrolom

### 5.4.1. Kalibracija ultrazvučnog sustava

Prije početka samog ultrazvučnog ispitivanja potrebno je napraviti kalibraciju sustava. Postavljaju se parametri vremenske baze i osjetljivosti ispitivanja na umjetno izrađenim reflektorima na kalibracijskom bloku. Postavljanjem vremenske baze definira se dužina puta zvuka do reflektora, a postavljanjem osjetljivosti uređaj (pojačanja) definira se veličina reflektora. Umjetno izrađeni reflektori koji se koriste su:

- Stražnji zid (zadnja stjenka),
- Kružni luk na kalibracijskom bloku,
- Provrt ravnog dna (eng. Flat bottom hole),
- Bočno bušeni provrt (eng. Side drilled hole)
- Utor (žljeb)

**Kalibracija opsega udaljenosti** podešava se pomoću poznatih zvučnih putova u kalibracijskom bloku. Kod kutnih sondi putovi su udaljenosti do poznatih radijusa, a kod ravnih sondi putovi su udaljenost određena debljinom materijala. Opseg udaljenosti prikazan je horizontalnom skalom na ekranu uređaja.

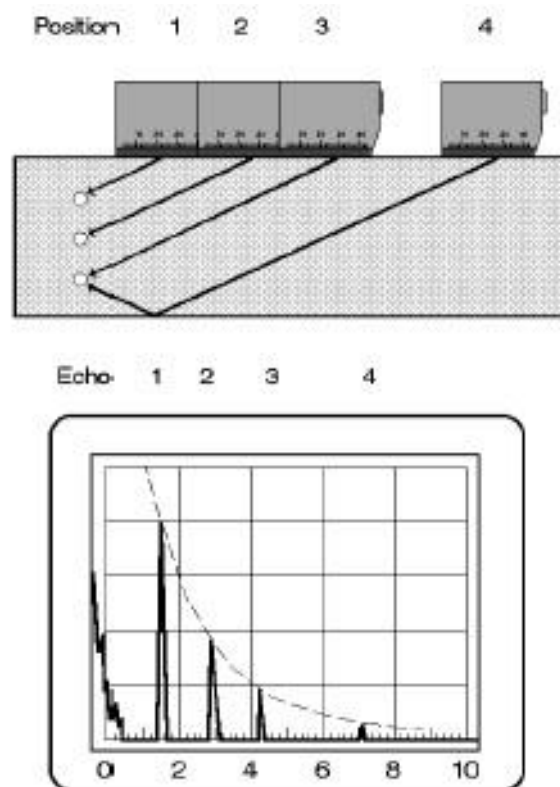


Slika 34. Primjer kalibracije kutne sonde na kružnom luku (lijevo) i prikaz na ekranu uređaja (desno) [48]

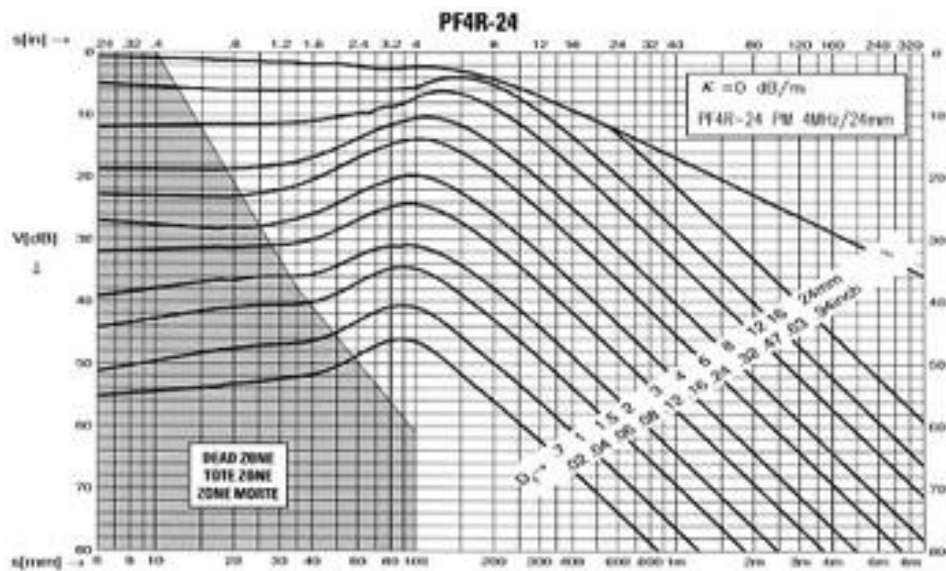
**Kalibracija osjetljivosti ispitivanja** određuje referentno pojačanje signala kojim će se provoditi ispitivanje. Mjerna jedinica koja opisuje pojačanje (V) je decibel (dB). Kalibracija osjetljivosti ispitivanja prikazana je vertikalnom skalom na ekranu uređaja.

Tri su osnovne tehnike kalibracije osjetljivosti:

- DAC (eng. distance amplitude corection) – za kalibraciju koriste se provrti ravnog dna za ravne sonde te bočno bušeni provrti ili utori za kutne sonde.
- DGS (eng. distance gain size) – za kalibraciju koriste se zadnja stjenka kalibracijskog bloka ili predmeta ispitivanja za ravne sonde, radijusi na kalibracijskim blokovima za kutne sonde te bočno bušeni provrti za sve sonde. Kod ove tehnike potreban je DGS dijagram sonde koji se isporučuje pri isporuci sonde.
- Tehnika referentnih blokova s pravokutnim utorima.



Slika 35. Primjer kalibracije DAC tehnikom kutne sonde [49]



Slika 36. Primjer DGS dijagrama sonde [50]

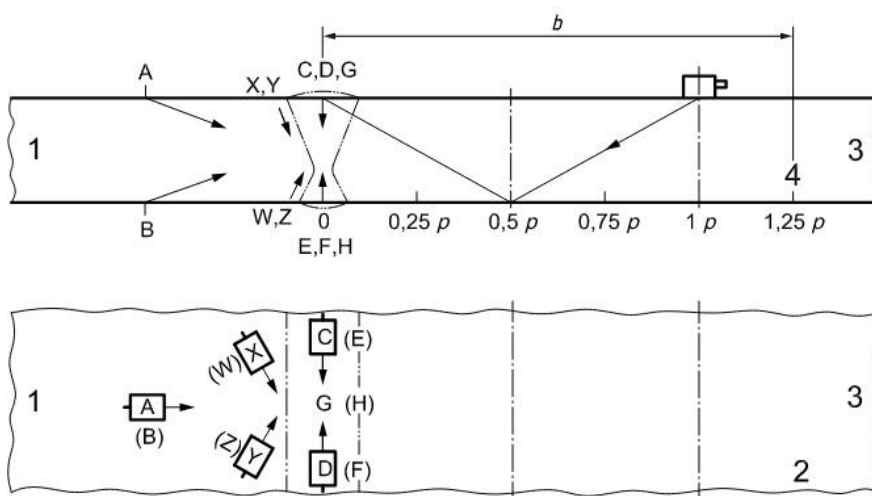
#### 5.4.2. Provođenje ispitivanja

Provođenju ispitivanja pristupa se nakon ispravno kalibriranog sustava. Ispitivanje se provodi prema normama koje definiraju postupak provođenja ispitivanja, tj. pozicije skeniranja, putanje skeniranja, broj skeniranja i opseg skeniranja, a te norme su:

- EN ISO 17640; ultrazvučno ispitivanje zavarenih spojeva,
- HRN EN 12680-1; ultrazvučno ispitivanje čeličnih odljevaka za opću namjenu,
- HRN EN 10228-3; ultrazvučno ispitivanje feritnih ili martenzitnih čeličnih otkivaka.

## Testing levels for various types of welded joints

See Figures A.1 to A.7 and Tables A.1 to A.7.



Slika 37. Primjer pozicija skeniranja zavarenog spoja za kutnu sondu prema normi HRN EN 17640 [51]



Slika 38. Ultrazvučno ispitivanje zavarenog spoja kutnom sondom i pronalazak indikacija

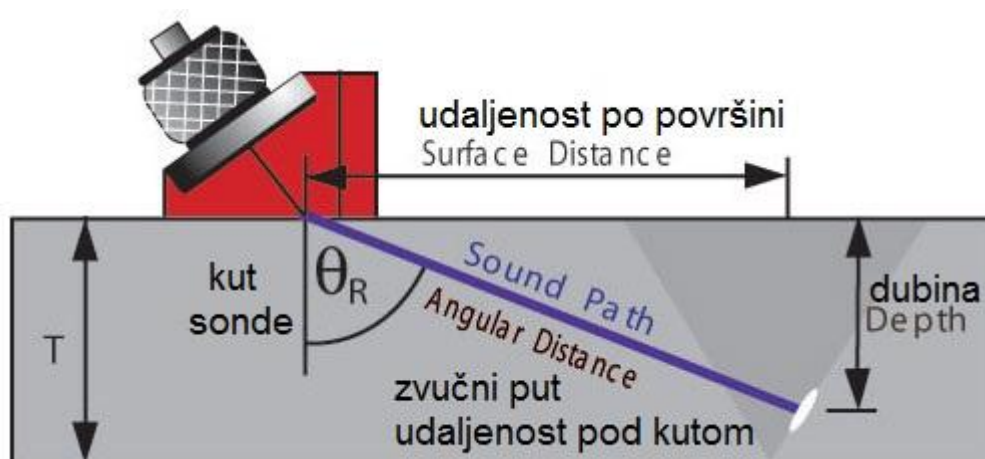
### 5.4.3. Ocjenjivanje detektiranog reflektora

Ukoliko je tijekom skeniranja u ispitnom objektu detektiran reflektor, potrebno je odrediti njegovu točnu lokaciju, dimenzije i karakterizaciju.

#### Lokacija reflektora

Kod skeniranja ravnom sondom (okomito skeniranje) dubina reflektora jednaka je dužini zvučnog puta do reflektora, a položaj u usvojenom koordinatnom sustavu mu je određen položajem izlazne točke ispitne sonde u tom koordinatnom sustavu.

Kod skeniranja kutnom sondom (skeniranje po kutom) položaj reflektora potrebno je izračunati iz trigonometrije pravokutnog trokuta (tzv. trokut greške) prema dužini zvučnog puta do reflektora i poznatom kutu sonde.



Slika 39. Trokut greške [52]

#### Dimenzije reflektora

Dimenzije reflektora određuju se tako da se mjeri prekoračenje visine (jačine) signala preko referentne linije i dimenzije duljine.

Dimenzije duljine reflektora mjeri se na jedan od dva načina: kao poluvrijednosna duljina ili kao registracijska duljina.



## Karakterizacija reflektora

Karakterizacija reflektora određivanje je oblika reflektora. Prema obliku razlikuju se:

- Planarni reflektori
- Volumni (točkasti) reflektori

Karakterizacija se vrši tehnikom skeniranja po luku na stalnom razmaku od reflektora i tehnika pomicanja sonde po liniji u ravnini reflektora (snimanje ehodinamičke krivulje).

Prilikom skeniranja po luku ukoliko signal ne pada bitno u odnosu na početni radi se o volumnom reflektoru. Ukoliko bitno padne radi se o planarnom reflektoru jer smjer zvučnog snopa više ne pada okomito na nepravilnost.

Ehodinamička krivulja ovisnost je visine signala od položaja sonde prilikom kretanja okomito ili paralelno s osi zavarenog spoja. Krivulja se razlikuje ovisno radi li se o planarnoj ili volumnoj indikaciji. [32]

Karakterizacija reflektora definirana je u normi HRN EN ISO 23279.

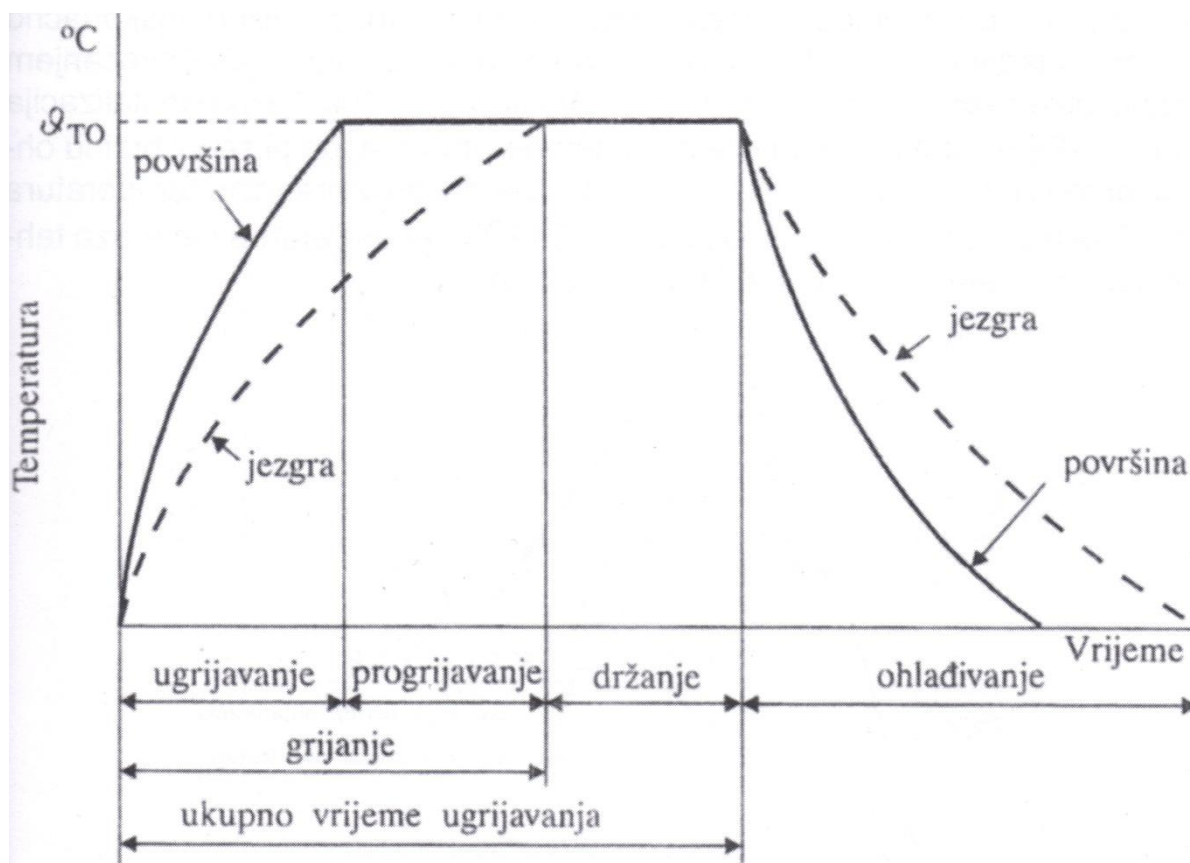
Na posljetku dobiveni podaci o reflektoru uspoređuju se sa kriterijima prihvatljivosti koji su određeni normama. Primjerice za zavarene spojeve to je norma HRN EN ISO 11666.



## 6. TOPLINSKA OBRADA

### 6.1. Osnovna načela toplinske obrade

Toplinska obrada postupak je u kojem se neki objekt namjerno podvrgava temperaturno-vremenskim ciklusima kako bi se postigla željena mikrostruktura, a time i željena mehanička, fizikalna i kemijska svojstva. Osnovni parametri toplinske obrade su temperatura i vrijeme. Svaki postupak toplinske obrade moguće je prikazati grafički u dijagramu postupka temperatura-vrijeme ( $\vartheta$ -t dijagram).

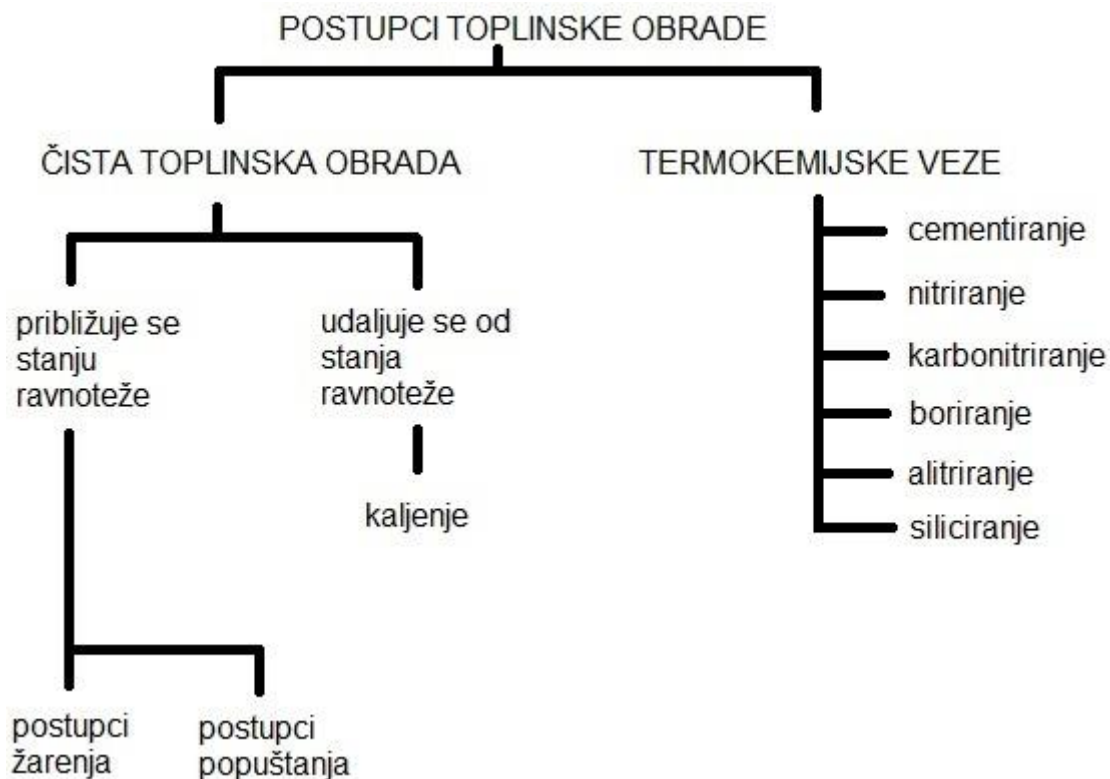


Slika 40. Dijagram postupka toplinske obrade [53]

U dijagramu  $\vartheta$  TO izražava temperaturu toplinske obrade. To je temperatura do koje se objekt zagrijava i drži određeno vrijeme.

## 6.2. Podjela postupaka toplinske obrade

Značajna je Bočvarova podjela postupaka toplinske obrade prikazana na slici 39.

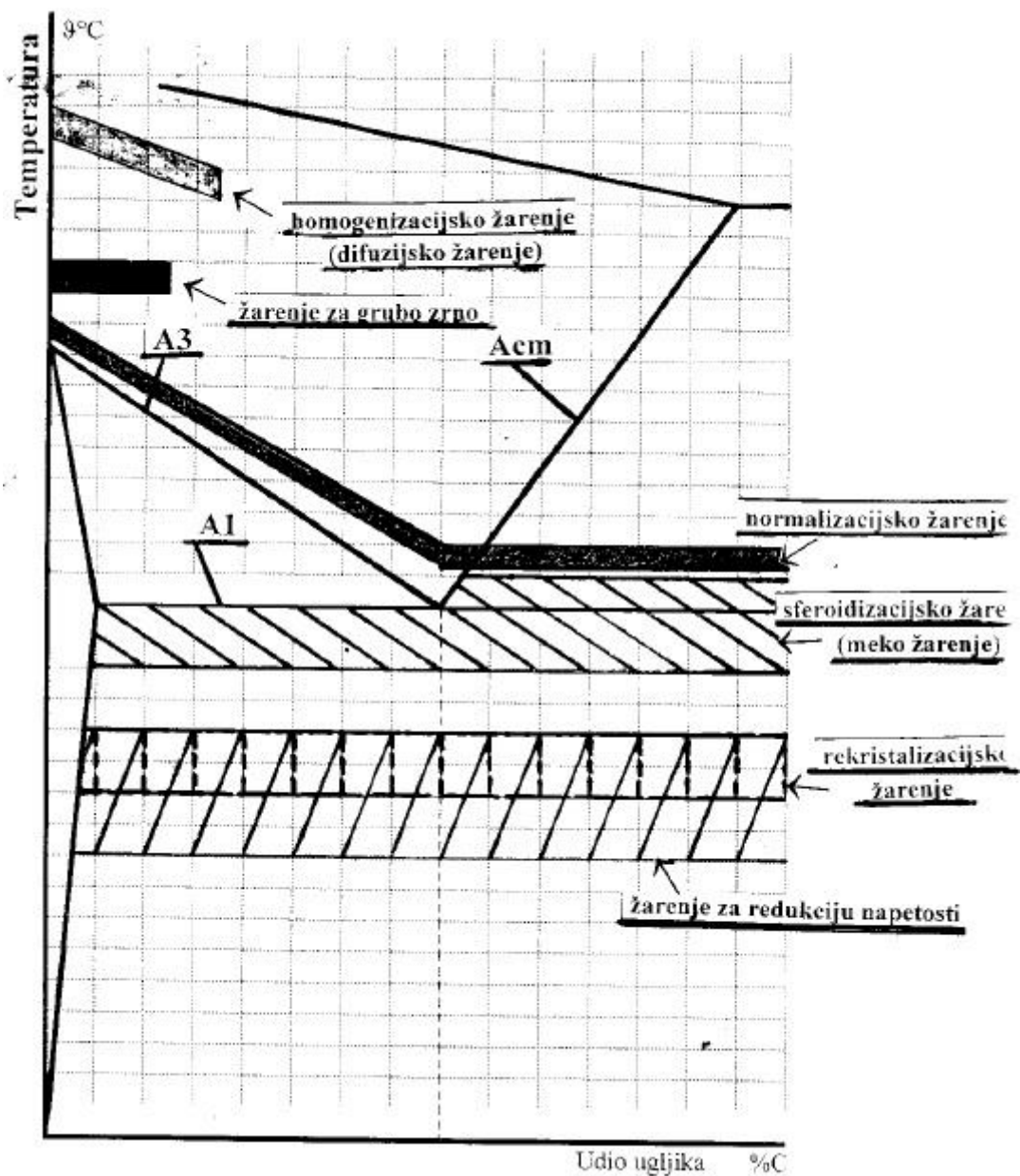


Slika 41. Bočvarova podjela [54]

Postupci žarenja predstavljaju postupke toplinske obrade metala koji se sastoje od kontroliranog zagrijavanja, držanja na temperaturi, te sporog ohlađivanja. Dijelev se u dvije skupine:

1. Postupci žarenja I vrste koji se provode na temperaturama ispod temperature  $A_1$ , a to su:
  - Žarenje za redukciju napetosti
  - Rekristalizacijsko žarenje
2. Postupci žarenja II vrste koji se provode na temperaturama oko ili iznad  $A_1$ , a to su:
  - Sferoidizacijsko žarenje
  - Normalizacijsko žarenje
  - Žarenje na grubo zrno
  - Homogenizacijsko žarenje

Postupci žarenja I vrste i II vrste razlikuju se po tome što kod žarenja I vrste ne dolazi do prekrystalizacije mikrostrukture.



Slika 42. Područje temperatura žarenja [54]

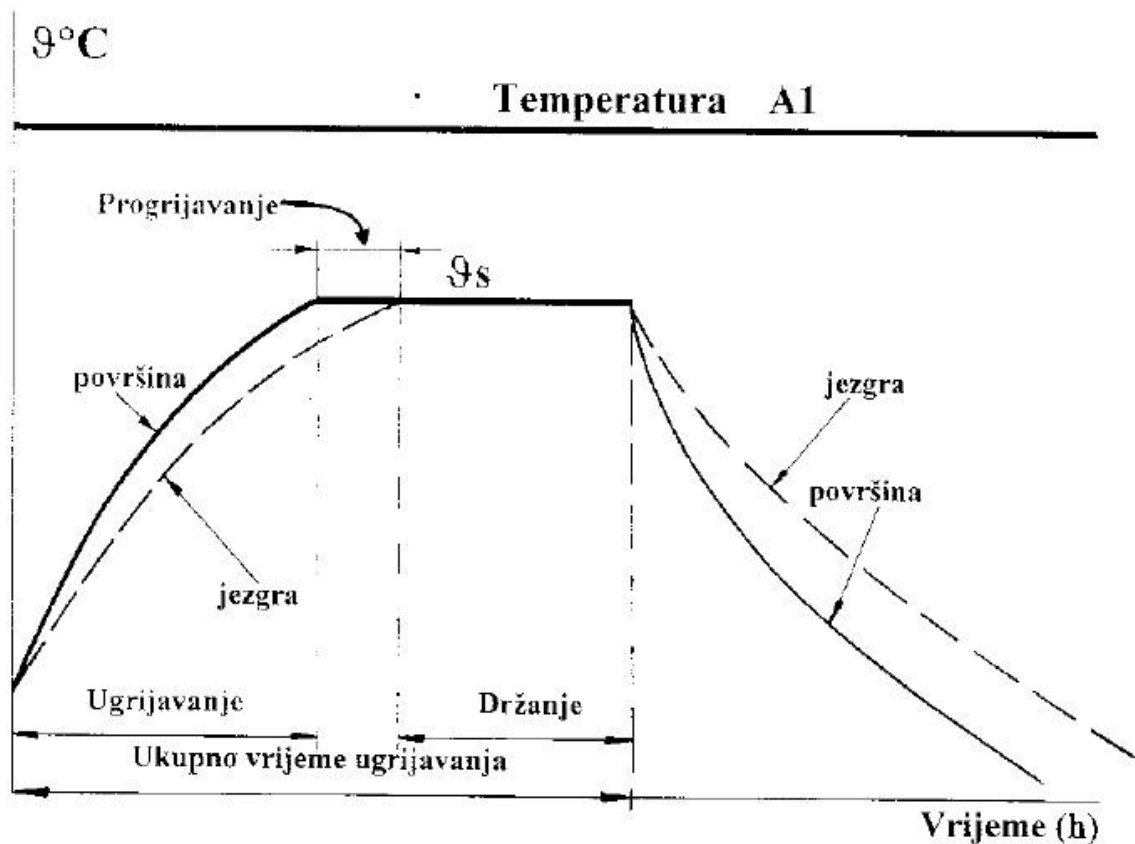
U nastavku rada biti će opisano žarenje za redukciju napetosti koje se provodi na dijelovima leptirastog zatvarača.

### 6.3. Žarenje za redukciju napetosti

Žarenje za redukciju napetosti (naprezanja) izvodi se u cilju smanjenja odnosno razgradnje zaostalih naprezanja u čeličnim dijelovima nastalih obradom odvajanjem čestica, deformiranjem, neispravnim režimima hlađenja pri prethodnim žarenjima, postupcima zavarivanja itd. Zaostala naprezanja mogu prouzročiti štetne posljedice na izrađenim dijelovima, deformiranje odnosno promjenu dimenzija ili puknuće.

Ova vrsta žarenja izvodi se pri temperaturama od 550 do 650° C te pri tome ne dolazi do značajnih promjena mehaničkih svojstava materijala niti do strukturnih promjena.[14]

Žarenje za redukciju napetosti provodi se tako da se predmet zagrijava na potrebnu temperaturu, što ovisi o kemijskom sastavu materijala, zadržava na toj temperaturi te zatim vrlo sporo ohlađuje kako ne bih došlo do stvaranja novih napetosti. Vrijeme držanja na temperaturi žarenja određuje se prema najvećem poprečnom presjeku materijala na kojem se žarenje provodi.



Slika 43. Dijagram postupka žarenja za redukciju napetosti [54]

## **7. EKSPERIMENTALNI DIO**

### **7.1. Uvod u eksperimentalni dio**

Eksperimentalni dio rada proveden je u prostorijama tvrtke AB PRODUKT d.o.o. na dva glavna dijela leptirastog zatvarača, kućišta i zapornog tijela.

Ispitivanja bez razaranja i odgovarajuća toplinska obrada izvršeni su prema tehnološkim procesima za kućište i za zaporno tijelo. U nastavku pod dijelom provedbe ispitivanja biti će prepisane točke tehnoloških procesa koji se odnose na ispitivanja bez razaranja i toplinsku obradu po sljedivosti tehnološkog procesa. Svaka operacija u tehnološkom procesu ovjerava se potpisom i žigom kontrole nakon što je ispravno provedena. Tehnološki proces je referentni dokument koji se upisuje u plan kontrole i ispitivanja (ITP).

Svrha i opseg ispitivanja bez razaranja odnose se na zavarene spojeve, a toplinska obrada na žarenja za redukciju zaostalih napetosti kako bi ustanovili da su konstrukcije ispravno izrađene i sigurne za rad.

Ispitivanja su izvršena u skladu s normama upisanim u planu kontrole i ispitivanja (ITP).

Ispitivanja bez razaranja su proveli djelatnici certificirani prema normi ISO 9712:2002 te naposljetku izdali izvještaje o ispitivanjima koji se upisuju u plan kontrole i ispitivanja (ITP).

# CERTIFIKAT

Broj: 1284/2020-0

Ime i prezime: **SVEN BITURAJAC**

Datum i mjesto rođenja: 06.12.1991., Novo Mesto, Slovenija

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	11.11.2019.	10.11.2024.	B; c, f, t, w, wp PED	IC
PT	2	28.09.2020.	27.09.2025.	B; c, f, t, w, wp PED	IC
RT	--	--	--	--	--
UT	2	26.10.2020.	25.10.2025.	B; c, f, t, w, wp PED	IC
VT	2	29.10.2018.	28.10.2023.	A; c, w	IC

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 - odljevi, 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

  
Zoran Markešić, mag.ing.mech.  
Voditelj Centra za certifikaciju

Zagreb, 26.10.2020.



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) PRIHVACENA 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.

OB-12/13-hr

Certifikat je valjan samo ako je potpisan i od strane certificirane osobe.

Slika 44. Certifikat osobe za nerazorna ispitivanja

## 7.2. Oprema za ispitivanje

Prema metodama ispitivanja nabrojana su oprema i sredstva korištena prilikom ispitivanja:

Oprema za vizualnu kontrolu:

- Ručna LED svjetiljka

Oprema za penetrantsku kontrolu:

- Penetrant: MR 67 Penetrant red and fluorescent
- Razvijač: MR 70 Developer white
- Čistač: MR 79 Remover

Oprema za magnetsku kontrolu:

- Magnetski jaram: Magnaflux TWM 220N Yoke
- Podložna boja: MR 72 Contrast paint white
- Magnetske čestice: MR 76 S Magnetic powder suspension black  
MR 76 F Magnetic powder suspension fluorescent
- UV svjetiljka: LABINO MB 3.0

Oprema za ultrazvučnu kontrolu:

- Ultrazvučni uređaj: SONOTEC SONOSCREEN ST10
- Ultrazvučne sonde: PTS-PJ412, PTS-UM4Z70, PTS-US2Z45
- Kontaktno sredstvo: smjesa ljepila za tapete i vode



### 7.3. Provedba ispitivanja metodama bez razaranja na kućištu

Nakon izvršene predobrade pozicija kućišta slijedilo je bravarsko slaganje pozicija nakon kojeg je izvršena dimenzionalna kontrola, a potom zavarivanje osam spojeva sa jedne strane pripreme zavara. Spojevi su izvedeni kao K-spoj (dvostruki polu-V). Nakon zavarivanja korijen zavara brusio se ručnom brusilicom te je slijedila prva točka ispitivanja.

- Penetrantska kontrola 8 spojeva „poluprstena“ i „kocki“ nakon brušenja korijena zavara.

Na jednom zavarenom spoju razvila se neprihvatljiva indikacija (slika 45.) koja je popravljena brušenjem ručnom brusilicom. Nakon popravka penetrantsko ispitivanje je ponovljeno te se indikacija nije pojavila.



Slika 45. Indikacija prilikom ispitivanja penetrantskom kontrolom





Slika 46. Izgled spoja nakon penetrantskog ispitivanja i brušenja

Nakon uspješno provedene faze brušenja i ispitivanja korijena slijedilo je potpuno zavarivanje spoja, brušenje krajeva spoja i lica zavara sa jedne strane spoja.

- Vizualna kontrola nakon zavarivanja 8 spojeva „poluprstena“ i „kocki“.

Vizualnom kontrolom nisu pronađene greške ili odstupanja od dimenzija.



Slika 47. Vizualna kontrola lica zavara jednog od osam spojeva

- Magnetska kontrola nakon zavarivanja 8 spojeva „poluprstena“ i „kocki“.

Magnetska kontrola izvršena je metodom obojanim česticama pod bijelim svjetlom.

Magnetskom kontrolom nisu pronađene nedopuštene indikacije.



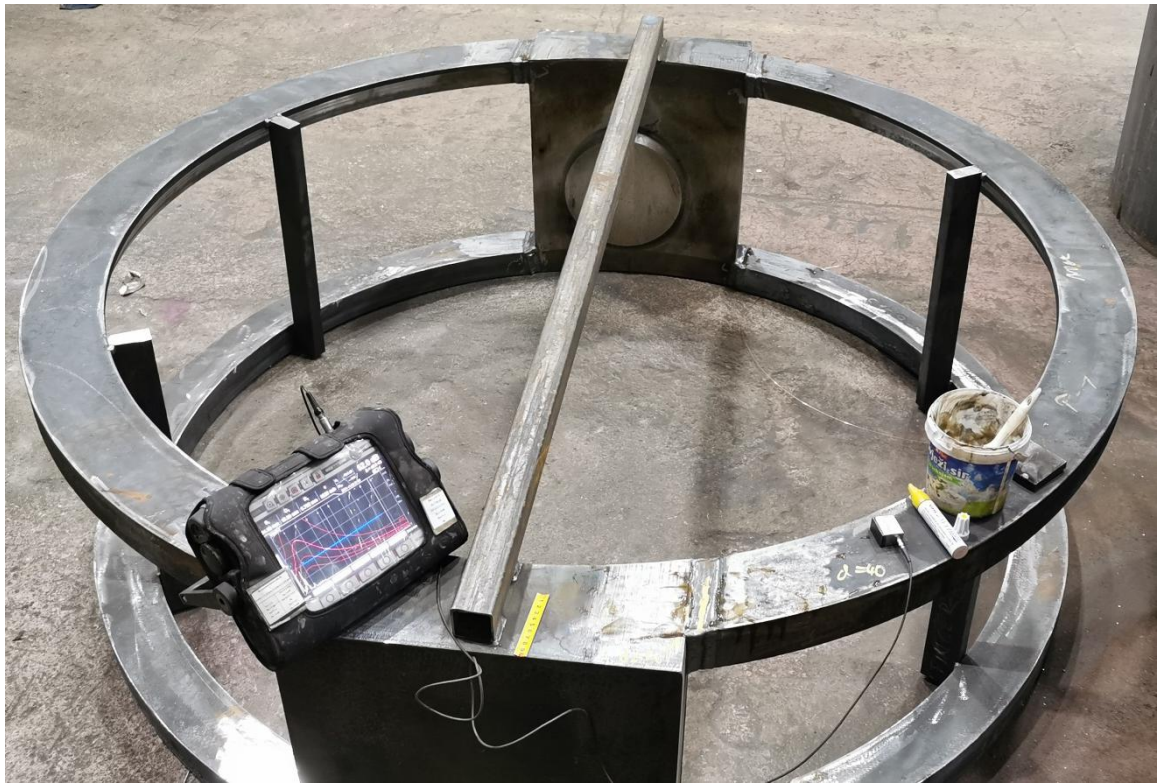
Slika 48. Ispitivanje magnetskom kontrolom četiri od osam spojeva

- Ultrazvučna kontrola nakon zavarivanja 8 spojeva „poluprstena“ i „kocki“.

Ultrazvučno ispitivanje izvršeno je ravnom sondom i kutnom sondom od 45°. Ravnom sondom skenirano je područje oko zavara kako bi utvrdili da nema indikacija u materijalu koje bi utjecale na rezultate ispitivanja kutnom sondom. Obzirom da je lice zavara s iste strane obrušeno, skeniran je i sam zavareni spoj.

Slijedilo je skeniranje kutnom sondom od 45° kojom je na jednom spoju pronađena indikacija duljine 2/3 spoja na dubini od 40 mm. Indikacija nije prihvatljiva te je potreban popravak koji je izvršen ručnom brusilicom.





Slika 49. Ultrazvučna kontrola jednog od osam spojeva



Slika 50. Izgled greške u materijalu

Prilikom otklanjanja greške brušenjem greška je vizualno uočena.

Nakon brušenja slijedilo je ispitivanje penetrantskom kontrolom, ponovno zavarivanje, brušenje i magnetska kontrola te naposljetku ponovljena je ultrazvučna kontrola. Obzirom da nisu pronađene indikacije nakon popravka, slijedila je sljedeća faza u izradi, bravarsko slaganje „plašteva“ između „poluprstenova“ te njihovo zavarivanje i brušenje korijena sa unutarnje strane. Zavareni spoj izveden je kao K-spoj odnosno dvostruki polu-V spoj.

- Penetrantska kontrola spojeva „plašteva“ na „poluprstene“ i „kocke“ (poz. 8 na poz. 1, 2, 3, 4) nakon brušenja korijena.

Penetrantskom kontrolom nisu pronađene neprihvatljive indikacije.



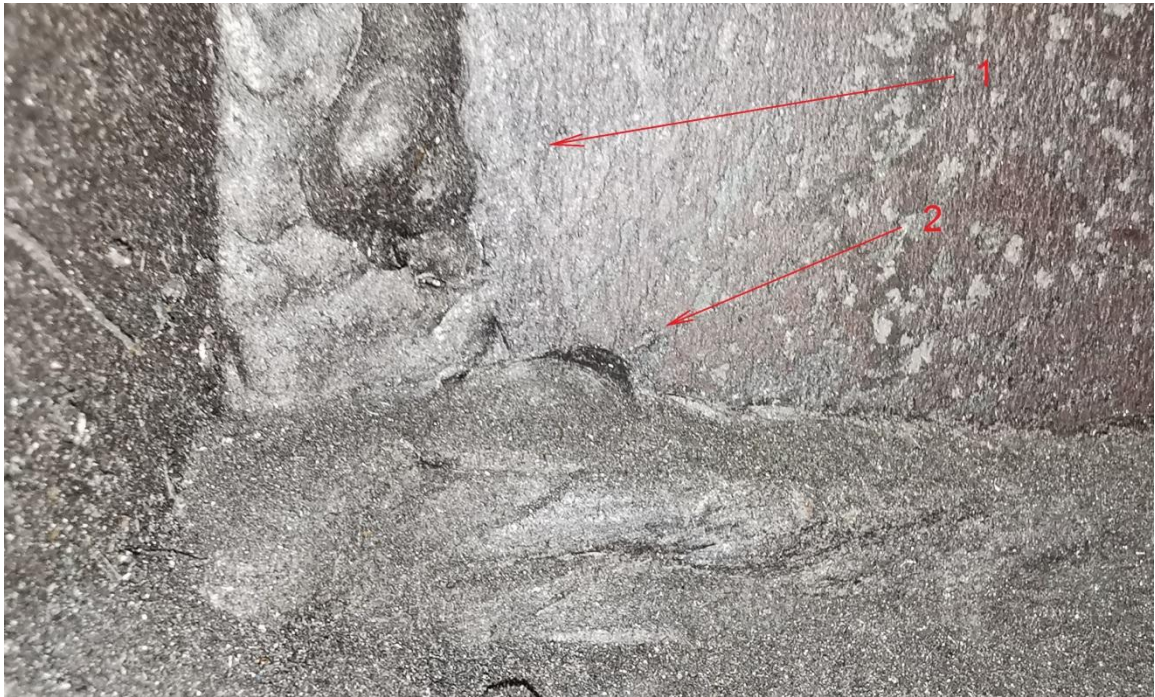
Slika 51. Penetrantska kontrola nakon brušenja korijena



Izvršeno je čišćenje te je uslijedilo zavarivanje druge strane zavarenog spoja.

- Vizualna kontrola nakon zavarivanja spojeva „plašteva“ na „poluprstene“ i „kocke“.

Vizualnom kontrolom primijećene su nepravilnosti (slika 52.) koje su otklonjene brušenjem i zavarivanjem.



Slika 52. Nepravilnosti: nadvišenje zavara (1) i oštećenje električnim lukom (2)

- Magnetska kontrola nakon zavarivanja spojeva „plašteva“ na „poluprstene“ i „kocke“.

Magnetska kontrola izvršena je metodom obojanim česticama pod bijelim svjetlom. Uočena je jedna nedozvoljena indikacija (slika 53.) koja je popravljena brušenjem ručnom brusilicom, ponovnim zavarivanjem i ponovljenom magnetskom kontrolom.



Slika 53. Pukotina u završnom krateru



Slika 54. Prikaz rada magnetskom kontrolom obojanim česticama

- Ultrazvučna kontrola nakon zavarivanja spojeva „plašteva“ na „poluprstene“ i „kocke“.

Ultrazvučna kontrola provedena je ravnom sondom, skeniranje materijala oko zavora, te kutnom sondom od 70°. Nisu zabilježene neprihvatljive indikacije.



Slika 55. Prikaz rada ultrazvučnom kontrolom pri ispitivanju zavarenih spojeva „plašteva“

Nakon dobro provedenih ispitivanja slijedila je strojna predobrada, bravarsko slaganje preostalih pozicija: „stopa“, „uški“, „graničnika“ te dimenzionalna kontrola i zavarivanje.

- Penetrantska kontrola nakon brušenja korijena zavora „stopa“.

Prilikom ispitivanja korijena nisu pronađene indikacije te je uslijedilo zavarivanje druge strane zavora „stopi“.



- Vizualna kontrola nakon zavarivanja „stopa“, „uški“, „graničnika“.

Prilikom vizualne kontrole uočena je nepravilnost gdje su nagomilani završetci zavara što je ispravljeno brušenjem.



Slika 56. Vizualna nepravilnost na „stopi“

- Magnetska kontrola nakon zavarivanja „stopa“, „uški“, „graničnika“.

Provedena je magnetska kontrola obojanim česticama. Nisu pronađene neprihvatljive indikacije.



Slika 57. Magnetska kontrola zavarenog spoja „stope“



- Ultrazvučna kontrola nakon zavarivanja „stopa“.

Ultrazvučna kontrola provedena je ravnom i kutnom sondom od 45° te prilikom ispitivanja nisu uočene indikacije.



Slika 58. Ultrazvučno ispitivanje zavarenoj spoja „stope“

Nakon provedenih ispitivanja izvršeno je bravarsko slaganje, provjera dimenzija i zavarivanje „prstena“ od nehrđajućeg čelika koji nakon strojne obrade ima određenu geometriju. Ta geometrija je brtvena površina zatvarača.

Zavareni spojevi izvedeni su kao kutni na jednoj strani i Y-spoj na drugoj strani. Kod Y-spoja brušenjem lica zavara poravnava se površina između „prstena“ od nehrđajućeg čelika i ubačenog „poluprstena“ od konstrukcijskog čelika.

- Vizualna i penetrantska kontrola nakon zavarivanja „prstena“ i „poluprstena“.

Vizualnom kontrolom nisu uočene nepravilnosti no nakon penetrantske kontrole uočene su neprihvatljive indikacije koje su popravljene brušenjem i zavarivanjem te je ponovno provedena penetrantska kontrola.



Slika 59. Neprihvatljive indikacije na zavarenom spoju „prstena“ i „poluprstena“

Provedbom zadnje faze penetrantskog ispitivanja završio je proces bravarskog slaganja i zavarivanja nakon kojeg slijedi toplinska obrada.

## 7.4. Provedba ispitivanja metodama bez razaranja na zapornom tijelu

Nakon izvršene predobrade pozicija zapornog tijela slijedilo je bravarsko slaganje pozicija. Izvršena je dimenzionalna kontrola, a potom zavarivanje osam spojeva sa jedne strane pripreme zavara. Spojevi su zavarivani određenim redoslijedom kako ne bi došlo do promjena dimenzija utjecajem zavarivanja. Svi spojevi su izvedeni kao K-spoj (dvostruki polu-V) ali se razlikuju prema debljinama predobrađenih pozicija. Nakon zavarivanja korijen zavara brusio se ručnom brusilicom te je slijedila prva točka ispitivanja.

- Penetrantska kontrola spojeva „kocki“ i „diska“ nakon brušenja korijena zavara.

Prilikom ispitivanja nisu pronađene neprihvatljive indikacije.



Slika 60. Penetrantska kontrola nakon brušenja korijena zavarenog spoja „diska“ i „kocke“

- Penetrantska kontrola spojeva „kocki“ i „diska“ sa „ojačanjima“ nakon brušenja korijena zavora.

Penetrantskom kontrolom pronađene su neprihvatljive indikacije na jednom od „ojačanja“ koje su otklonjene brušenjem. Nakon ponovljenog ispitivanja nisu pronađene indikacije.



Slika 61. Neprihvatljive indikacije na zavarenom spoju „ojačanja“ i „kocke“

Izvršeno je čišćenje penetranta i razvijaa nakon kojeg se pristupilo zavarivanju svih spojeva sa strane brušene pripreme zavora.

- Vizualna kontrola spojeva „kocki“ i „diska“ sa „ojačanjima“ nakon potpunog zavarivanja.

Vizualnom kontrolom uočena su dvije nepravilnosti: preklop zavora koji je popravljen brušenjem i nedovoljno ispunjen presjek pripreme što je popravljeno dodatnim zavarivanjem.



Slika 62. Vizualna greška: preklop zavora





Slika 63. Vizualna greška: nedovoljno ispunjen presjek pripreme zavarenog spoja

- Magnetska kontrola spojeva „kocki“ i „diska“ sa „ojačanjima“ nakon potpunog zavarivanja.

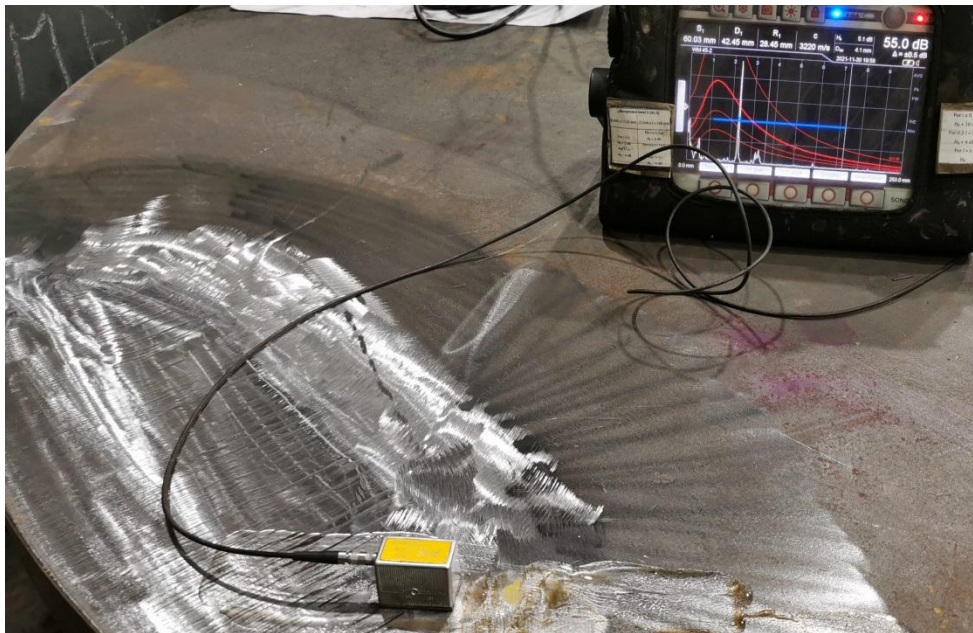
Magnetska kontrola izvršena je metodom fluorescentnim magnetskim česticama. Ova metoda odabrana je zbog uskog unutarnjeg prostora konstrukcije zapornog tijela i male osvjetljenosti. Magnetskom kontrolom nisu pronađene nedozvoljene indikacije.



Slika 64. Magnetska kontrola zavarenih spojeva na zapornom tijelu

- Ultrazvučna kontrola spojeva „kocki“ i „diska“ sa „ojačanjima“ nakon potpunog zavarivanja.

Ultrazvučna kontrola provedena je ravnom sondom, kutnom sondom od 45° i kutnom sondom od 70°. Ravnom sondom skenirana je zona oko zavarenog spoja te sami spoj na mjestima gdje je to moguće provesti. Kutnim sondama skenirani su zavareni spojevi iz više položaja. Prilikom ultrazvučne kontrole otkrivene su dvije neprihvatljive indikacije, jedna na spoju „diska“ i „kocke“, a druga na spoju dvaju „ojačanja“.



Slika 65. Neprihvatljiva indikacija u zavarenom spoju „diska“ i „kocke“



Slika 66. Neprihvatljiva indikacija na spoju dvaju „ojačanja“

Otkrivene neprihvatljive indikacije popravljene su brušenjem ručnom brusilicom. Penetrantskom kontrolom ispitan je izbrušeni dio te je slijedilo ponovno zavarivanje. Nakon zavarivanja ponovno su provedene magnetska kontrola i ultrazvučna kontrola na mjestima gdje su prvotno otkrivene indikacije.

Indikacije su uspješno popravljene te je time završen proces bravarskog slaganja, zavarivanja i ispitivanja metodama bez razaranja nakon kojeg slijedi toplinska obrada.



## 7.5. Toplinska obrada žarenja

Ispravno izvršenom izradom bravarskim slaganjem i zavarivanjem kućišta i zapornog tijela zatvarača, dijelovi su otpremljeni na toplinsku obradu žarenja za redukciju napetosti.

Parametri postupka toplinske obrade žarenja za redukciju napetosti dani su u posebnom dokumentu kupca, a prikazani su na sljedećoj slici (slika 67.). Materijal izrade dijelova je opći konstrukcijski čelik S355J2. Na kućištu je zavaren i prsten od nehrđajućeg čelika X5CrNi18-10.

### 3.2. Stress relief annealing

Definition	Material	Specifications
<b>Stress relief annealing steel components in general use</b> Process acc. to 4.2.1	For the following steel types in various versions: S235 S275 S355	Temperature: 560 °C +/-20 °C Holding period: 2 min/mm Preheating period: 50°/h Cooling period: 50°/h Entering temperature: max. 200 °C Leaving temperature: max. 100 °C

Slika 67. Zahtijevani parametri postupka toplinske obrade žarenja



Slika 68. Izgled kućišta nakon toplinske obrade

Nakon provedenog žarenja dijelovi su vraćeni u prostorije tvrtke te je dobiven dijagram žarenja za kontrolu provedbe žarenja i kao dokaz o izvršenom procesu. Dijagram je provjeren od strane kontrole kvalitete tvrtke. Podaci u dijagramu odgovaraju zahtijevanim parametrima (propisanim na slici 67.) te je odobren nastavak proizvodnje.



Kupac: "AB- produkt"- Karlovac, Narudžba: ABP 28/03/2022; Projekt: P41001854 22 6:49:50

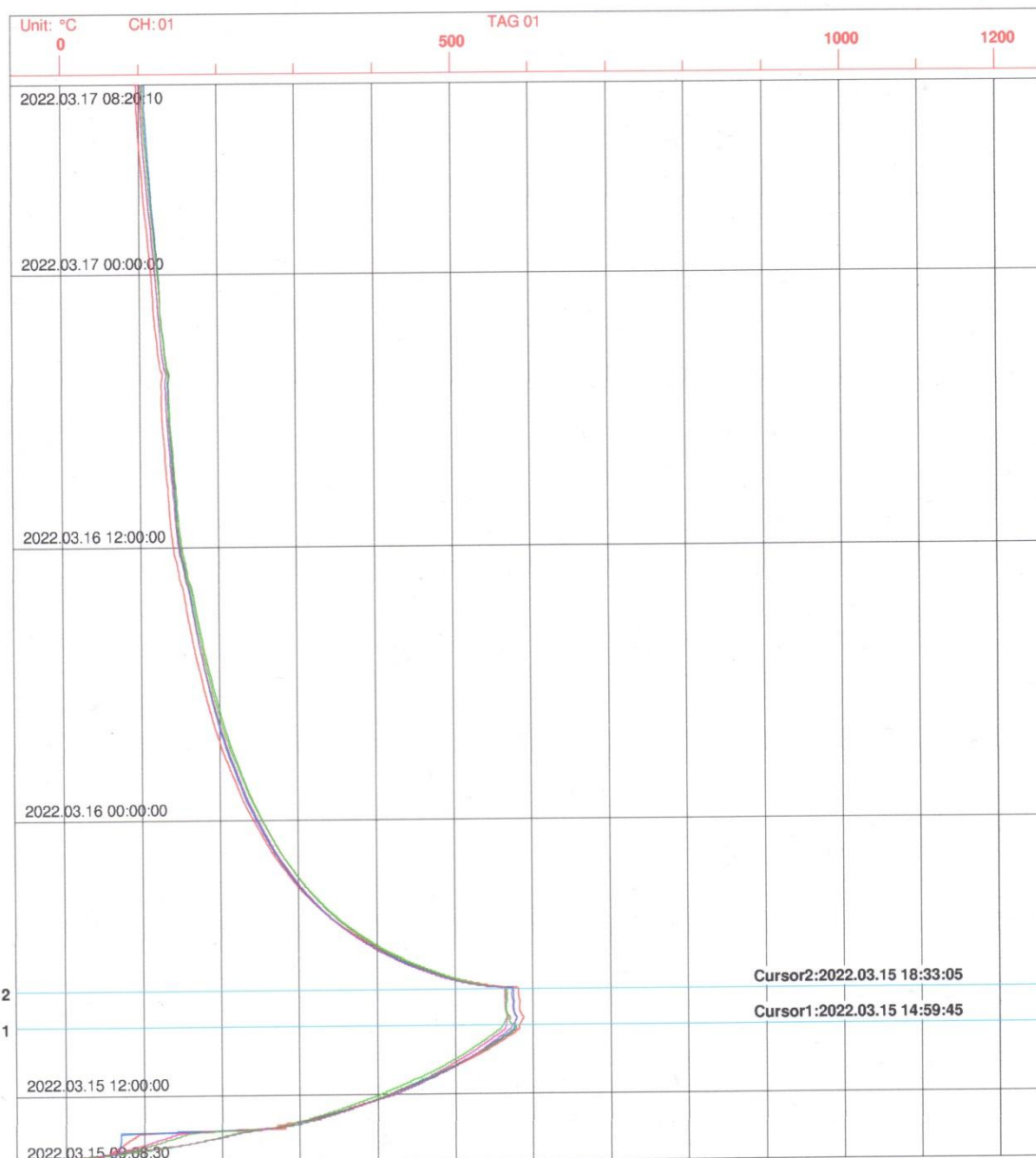
file name : F:\S000000\S000157.FDT  
 PILC : PHF61B11-E10YV-F  
 serial No. : SNo.A2B5590T  
 version : Ver.V20F

Cursor 1 data : 2022.03.15 14:59:45 Cursor 2 data : 2022.03.15 16:33:05

The number of channel : 6  
 Display refreshment cycle : 5sec  
 The number of recording data : 33990  
 Group No. : G1  
 Group name : Display Group 1  
 File start time : 2022.03.15 09:08:30  
 File stop time : 2022.03.17 08:20:55

NO.1: TAG 01  
 NO.2: TAG 02  
 NO.3: TAG 03  
 NO.4: TAG 04  
 NO.5: TAG 05  
 NO.6: TAG 06  
 NO.7:  
 NO.8:  
 NO.9:  
 NO.10:

CH:	MIN	MAX	Unit:
1 Red	580,9	588,7	°C
2 Blue	574,7	580,0	°C
3 violet	563,5	568,5	°C
4 Green	560,9	567,0	°C
5 Deep green	565,7	578,9	°C
6 Purple	572,6	579,5	°C



Slika 69. Dijagram žarenja kućišta i zapornog tijela

Uz dijelove leptirastog zatvarača žarili su se i neki drugi dijelovi istovremeno.

## 7.6. Analiza rezultata

### 7.6.1. Izvještaji o provedenom ispitivanju

U nastavku rada prikazani su izvještaji koji se izdaju nakon završenog ispitivanja sa datumom zadnjeg ispitivanja. Broj izvještaja se upisuje u plan kontrole i ispitivanja (ITP).

 d.o.o. za remont, montažu i servisiranje, Karlovac	<b>AB PRODUKT d.o.o.</b> Mala Švarča 209 47 000 Karlovac HRVATSKA - CROATIA Telefon: + 385 47 454 360 Telefon: + 385 47 454 361 Fax: + 385 47 454 368	 ISO 9001=ISO 14001
<b>Test Certificate Visual Inspection</b>		
<b>Project / Order:</b>	62201699	
<b>Description:</b>	butterfly valve housing WLD	
<b>Drawing:</b>	51090729	
<b>Material:</b>	S355J2	
<b>Quantity:</b>	4/4 pcs.	
<b>Acceptance criteria / standard</b>	EN ISO 5817:2003, Class B/C	
<b>Surface condition:</b>	Acceptable	
<b>Testscope:</b>	100% surfaces	
<b>Test results:</b> Material defects, shape deviations and surfaces are in admissible state.		
		
<b>Remarks:</b>		
Page No. 1/1	Protocol nr. VT-018/2022	Date: 09.03.2022.
Stamp and signature of QC: Sven Biturajac  		



**AB PRODUKT d.o.o.**  
Mala Švarča 209  
47 000 Karlovac  
HRVATSKA - CROATIA  
Telefon: + 385 47 454 360  
Telefon: + 385 47 454 361  
Fax: + 385 47 454 368



## Test Certificate Visual Inspection

<b>Project / Order:</b>	62201699
<b>Description:</b>	butterfly valve disc WLD
<b>Drawing:</b>	51090749
<b>Material:</b>	S355J2
<b>Quantity:</b>	4/4 pcs.
<b>Acceptance criteria / standard</b>	EN ISO 5817:2003, Class B
<b>Surface condition:</b>	Acceptable
<b>Testscope:</b>	100% surfaces

**Test results:**

Material defects, shape deviations and surfaces are in admissible state.



**Remarks:**

Page No. 1/1	Protocol nr. VT-020/2022	Date: 10.03.2022.	Stamp and signature of QC: Sven Biturajac <i>Biturajac</i> <b>ABP</b> <b>PK-01</b>
-----------------	-----------------------------	----------------------	--



**AB PRODUKT d.o.o.**  
Mala Švarča 209  
47 000 Karlovac  
HRVATSKA - CROATIA  
Telefon: + 385 47 454 360  
Telefon: + 385 47 454 361  
Fax: + 385 47 454 368



## Test Certificate

### Dye penetrant testing

<b>Project / Order:</b>	62201699		
<b>Description:</b>	butterfly valve housing WLD		
<b>Drawing:</b>	51090729		
<b>Material:</b>	S355J2, X5CrNi18-10		
<b>Quantity:</b>	4/4 pcs.		
<b>Reference procedure:</b>	EN ISO 3452-1		
<b>Acceptance criteria:</b>	EN ISO 23277 / 2X		
<b>Surface condition:</b>	Acceptable		
<b>Testing equipment:</b>	Penetrant: MR® 67 Penetrant red and fluorescent		
	Developer: MR® 70 Developer white		
<b>Method description:</b>	Penetration time: 20 min		
	Developing time: 10 min		
	Removal method: cleaner		
	Drying method: normal evaporation		
<b>Test scope:</b>	100 % weld root, 100 % stainless steel welds		
<b>Test results:</b>	Acceptable <input checked="" type="checkbox"/>		
	Rejected <input type="checkbox"/>		
<b>Remarks:</b>			
Page No. 1/1	Protocol nr. PT-04/2022	Date: 12.03.2022.	Stamp and signature of QC: Sven Biturajac <i>Biturajac</i> <b>ABP</b> <b>PK-01</b>






AB PRODUKT d.o.o.  
Mala Švarča 209  
47 000 Karlovac  
HRVATSKA - CROATIA  
Telefon: + 385 47 454 360  
Telefon: + 385 47 454 361  
Fax: + 385 47 454 368



## Test Certificate Dye penetrant testing

<b>Project / Order:</b>	62201699		
<b>Description:</b>	butterfly valve disc WLD		
<b>Drawing:</b>	51090749		
<b>Material:</b>	S355J2		
<b>Quantity:</b>	4/4 pcs.		
<b>Reference procedure:</b>	EN ISO 3452-1		
<b>Acceptance criteria:</b>	EN ISO 23277 / 2X		
<b>Surface condition:</b>	Acceptable		
<b>Testing equipment:</b>	Penetrant: MR® 67 Penetrant red and fluorescent Developer: MR® 70 Developer white		
<b>Method description:</b>	Penetration time: 20 min Developing time: 10 min Removal method: cleaner Drying method: normal evaporation		
<b>Test scope:</b>	100 % weld root		
<b>Test results:</b>	Acceptable <input checked="" type="checkbox"/> Rejected <input type="checkbox"/>		
<b>Remarks:</b>			
Page No. 1/1	Protocol nr. PT-05/2022	Date: 05.03.2022.	Stamp and signature of QC: Sven Biturajac  <b>ABP</b> PK-01



**AB PRODUKT d.o.o.**  
Mala Švarča 209  
47 000 Karlovac  
HRVATSKA - CROATIA  
Telefon: + 385 47 454 360  
Telefon: + 385 47 454 361  
Fax: + 385 47 454 368



## Test Certificate Magnetic Particle Testing

<b>Project / Order:</b>	62201699		
<b>Description:</b>	butterfly valve housing WLD		
<b>Drawing:</b>	51090729		
<b>Material:</b>	S355J2		
<b>Quantity:</b>	4/4 pcs.		
<b>Reference procedure:</b>	EN ISO 17638		
<b>Acceptance criteria:</b>	EN ISO 23278 / 2X		
<b>Surface condition:</b>	Acceptable		
<b>Testing equipment:</b>	Instrument: TWM 220N Yoke		
	Particles: Black Magnetic Inks ( MR® 76 S )		
	Background: White Contrast Paint ( MR® 72 )		
<b>Method description:</b>	Examination method: Wet Visible		
	Current type: AC		
	Magnetizing method: Continuous		
	Magnetic field direction: Longitudinal		
<b>Test scope:</b>	100% welds		
<b>Test results:</b>	Acceptable <input checked="" type="checkbox"/> Rejected <input type="checkbox"/>		
<b>Remarks:</b>			
No indications were evident at the time of testing. The test is deemed acceptable according to the above standard.			
Page No. 1/1	Protocol nr. MT-18/2022	Date: 09.03.2022.	Stamp and signature of QC: Sven Biturajac <i>Biturajac</i> <b>ABP</b> PK-01



**AB PRODUKT d.o.o.**  
Mala Švarča 209  
47 000 Karlovac  
HRVATSKA - CROATIA  
Telefon: + 385 47 454 360  
Telefon: + 385 47 454 361  
Fax: + 385 47 454 368



## Test Certificate Magnetic Particle Testing

<b>Project / Order:</b>	62201699		
<b>Description:</b>	butterfly valve disc WLD		
<b>Drawing:</b>	51090749		
<b>Material:</b>	S355J2		
<b>Quantity:</b>	4/4 pcs.		
<b>Reference procedure:</b>	EN ISO 17638		
<b>Acceptance criteria:</b>	EN ISO 23278 / 2X		
<b>Surface condition:</b>	Acceptable		
<b>Testing equipment:</b>	Instrument: TWM 220N Yoke Ultraviolet Lamp MB 3.0		
	Particles: Magnetic suspension fluorescent ( MR® 76 F )		
<b>Method description:</b>	Examination method: Wet Fluorescent		
	Current type: AC		
	Magnetizing method: Continuous		
	Magnetic field direction: Longitudinal		
<b>Test scope:</b>	100% welds		
<b>Test results:</b>	Acceptable <input checked="" type="checkbox"/>		
	Rejected <input type="checkbox"/>		
<b>Remarks:</b> No indications were evident at the time of testing. The test is deemed acceptable according to the above standard.			
Page No. 1/1	Protocol nr. MT-20/2022	Date: 10.03.2022.	Stamp and signature of QC: Sven Biturajac <i>Biturajac</i> <b>ABP</b> PK-01



**AB PRODUKT d.o.o.**  
Mala Švarča 209  
47 000 Karlovac  
HRVATSKA - CROATIA  
Telefon: + 385 47 454 360  
Telefon: + 385 47 454 361  
Fax: + 385 47 454 368



## Test Certificate Ultrasonic Testing

<b>Project / Order:</b>	62201699				
<b>Description:</b>	butterfly valve housing WLD				
<b>Drawing:</b>	51090729				
<b>Material / Thickness:</b>	S355J2 / 15 mm, 60 mm				
<b>Quantity:</b>	4/4 pcs.				
<b>Reference procedure:</b>	EN ISO 17640 / technique 2				
<b>Acceptance criteria:</b>	EN ISO 11666 / 2				
<b>Surface condition:</b>	Acceptable				
<b>Test scope:</b>	100% welds				
<b>Testing equipment:</b>	Instrument: SONOTEC SONOSCREEN ST10				
	Probe:	Probe type	Frequency	Angle	Crystal Size
		PTS-PJ412	4 MHz	0°	12 mm
		PTS-UM4Z70	4 MHz	70°	8x9 mm
		PTS-US2Z45	2 MHz	45°	14x14 mm
Calibration block: K2, k1					
Couplant: wallpaper paste					
<b>Method description:</b>	Examination method: Pulse-Echo				
	Sensitivity adjustment: DGS / $D_{FBH} = \varnothing 2 \text{ mm}; \varnothing 3 \text{ mm}$				
<b>Calibration settings</b>					
<b>Probe</b>	<b>Reference block</b>	<b>Primary reference level (DGS: Vj)</b>	<b>Sensitivity exploration (DGS: Vr)</b>	<b>Range</b>	
PJ412	K1, OBJECT	66 dB	80 dB	130 mm	
UM4Z70	K2	44 dB	66 dB	115 mm	
US2Z45	K1	35 dB	66 dB	230 mm	
<b>Test results:</b>	<b>Acceptable</b> <input checked="" type="checkbox"/>				
	<b>Rejected</b> <input type="checkbox"/>				
<b>Remarks:</b>	No unacceptable indications were evident at the time of testing. The test is deemed acceptable according to the above standard.				
Page No.	Protocol nr.	Date:	Stamp and signature of QC:		
1/1	UT-13/2022	10.03.2022.	Sven Biturajac <i>Biturajac</i> <b>ABP</b> PK 01		





**AB PRODUKT d.o.o.**  
Mala Švarča 209  
47 000 Karlovac  
HRVATSKA - CROATIA  
Telefon: + 385 47 454 361  
Telefon: + 385 47 454 361  
Fax: + 385 47 454 368



## Test Certificate Ultrasonic Testing

<b>Project / Order:</b>	62201699				
<b>Description:</b>	butterfly valve disc WLD				
<b>Drawing:</b>	51090749				
<b>Material / Thickness:</b>	S355J2 / 15 mm, 25 mm, 65 mm				
<b>Quantity:</b>	4/4 pcs.				
<b>Reference procedure:</b>	EN ISO 17640 / technique 2				
<b>Acceptance criteria:</b>	EN ISO 11666 / 2				
<b>Surface condition:</b>	Acceptable				
<b>Test scope:</b>	100% welds				
<b>Testing equipment:</b>	Instrument: SONOTEC SONOSCREEN ST10				
	Probe:	Probe type	Frequency	Angle	Crystal Size
		PTS-PJ412	4 MHz	0°	12 mm
		PTS-UM4Z70	4 MHz	70°	8x9 mm
	PTS-US2Z45	2 MHz	45°	14x14 mm	
Calibration block: K2, K1					
Couplant: wallpaper paste					
<b>Method description:</b>	Examination method: Pulse-Echo				
	Sensitivity adjustment: DGS / $D_{FBH} = \varnothing 2 \text{ mm}; \varnothing 3 \text{ mm}$				
<b>Calibration settings</b>					
<b>Probe</b>	<b>Reference block</b>	<b>Primary reference level (DGS: Vj)</b>	<b>Sensitivity exploration (DGS: Vr)</b>	<b>Range</b>	
PJ412	K1, OBJECT	66 dB	80 dB	130 mm	
UM4Z70	K2	44 dB	66 dB	115 mm	
US2Z45	K1	35 dB	66 dB	230 mm	
<b>Test results:</b>	<b>Acceptable</b> <input checked="" type="checkbox"/> <b>Rejected</b> <input type="checkbox"/>				
<b>Remarks:</b>	No unacceptable indications were evident at the time of testing. The test is deemed acceptable according to the above standard.				
Page No.	Protocol nr.	Date:	Stamp and signature of QC:		
1/1	UT-11/2022	11.03.2022.	Sven Biturajac <i>Biturajac</i> <b>ABP</b> <b>PK-01</b>		

## 7.6.2. Ovjereni plan kontrole i ispitivanja (ITP)

Ovjereni plan kontrole i ispitivanja (ITP) sa pripadajućim dokumentima predaje se kupcu kao dokaz provedenih radnji.

prepared approved	26.07.2021 Rev -	Ref.no. customer	3802-ITP-7.1		Item	Butterfly Valve		ITP		Order no. 3802	
			4 / 5	Type		Project	62201699				
Sheet		4 / 5		Type		Project		62201699		Order no. 3802	
No.	Description/Material	Inspection		Extend of inspection	Standard	report	checking customer	xxx	remarks		
1.2	<b>WELDING PROCESS-BODY / DISC / DISMANTLING JOINT</b>										
1.2.1	Personnel. Verifying of welder qualification	WPS / WPQR			ISO 9606	Certification	CP	ABP		AZ699	
1.2.2	Procedure specification / qualification	WPS / WPQR			DIN EN ISO 15609-1 DIN EN ISO 15614	Certification	CP	QC ABP		WPS 0729 WPS 0749	
1.2.3	Personnel: verifying of NDT operators				ISO 9712	Certification	CP	QC ABP		1284/2020-0 1285/2020-0	
1.2.4	Ready welded condition before heat treatment	VT (welds)		welding seam 100%	EN ISO 17635 EN ISO 17637 EN ISO 5817 Class B / C	Certification	CP	QC ABP		TP 0729/4, TP 0749/4 VT-018/2022, VT-020/2022	
1.2.5	Ready welded condition before heat treatment	MT (welds)		welding seam 100%	EN ISO 17638 EN ISO 23278 AL2X	Certification	CP	QC ABP		TP 0729/4, TP 0749/4 MT-18/2022, MT-20/2022	
1.2.6	Ready welded condition before heat treatment	PT (welds)		welding seam 100%	ISO 3452 EN ISO 23277	Certification	CP	QC ABP		TP 0729/4, TP 0749/4 PT-04/2022, PT-05/2022	
1.2.7	Ready welded condition before heat treatment	UT (welds)		full penetration welding 100%	DIN EN ISO 11666 level 2 DIN EN ISO 17640 class B	Certification	CP	QC ABP		TP 0729/4, TP 0749/4 UT-13/2022, UT-11/2022	
1.2.8	Heat treatment					Certification & Heat treatment graph	CP	QC		P4/00 1854	

C Chemical analyses  
K20 Notch impact test (20°C)  
K0 Notch impact test (0°C)  
K-20 Notch impact test (-20°C)  
Z Mechanical test.

Z35 Mech. Test EN 10164  
WB Heat treatment  
MK dimension check  
3D 3D measurement

VT Visual inspection  
PT Penetration-Test  
MT Magnetic-Test  
UT Ultrasonic-Test  
RT X-Ray-Test

OSP Surface coating inspection  
OR Surface quality inspection  
SP Painting inspection  
H Hardness inspection

W Balancing  
FP Functional test  
DP Pressure test, leakage test  
WPS Welding procedure inspection  
WPQR Welding procedure qualification report

HP Hold Point  
WP Witness point  
CP Inspection with Certification  
IP Inspection without certification

## **8. ZAKLJUČAK:**

Obzirom da je zavarivanje zahtijevan postupak koji se još uvijek, u pojedinačnoj proizvodnji, provodi ručno česte su pojave grešaka tijekom i nakon procesa. Poneke greške prikazane u radu mogle su se spriječiti većom oprežnošću pri izvođenju zavarivanja dok su neke druge nastale zbog složenosti konstrukcije. Pojava grešaka iziskuje dodatna materijalna sredstva i vrijeme potrebno za sanaciju.

Dobrom i pravovremenom provedbom tehnoloških procesa kontrole kvalitete, ispitivanjima bez razaranja, greške su otklonjene što je produljilo vrijeme izrade, ali i povećalo kvalitetu proizvoda. Odgovarajućom toplinskom obradom osiguran je integritet konstrukcije pri daljnjoj proizvodnji strojnom obradom i siguran rad pri eksploataciji.

## LITERATURA

- [1] Standard ISO 9000:2015 (EN), Quality management systems -Fundamentals and vocabulary.
- [2] Prezentacija Kontrola kvalitete, doc.dr.sc. Damir Markučić,  
<https://www.yumpu.com/xx/document/read/24186072/statistiaka-kontrola-kvalitete-fsb> ,  
(preuzeto 28.5.2022.).
- [3] <https://www.svijet-kvalitete.com/index.php/kvaliteta> , (preuzeto 24.5.2022.).
- [4]  
[https://www.asnt.org/MajorSiteSections/About/Introduction\\_to\\_Nondestructive\\_Testing.aspx](https://www.asnt.org/MajorSiteSections/About/Introduction_to_Nondestructive_Testing.aspx) , (preuzeto 05.06.2022.).
- [5] Karl-Heinz Decker: Elementi strojeva, 1987.
- [6] Jack Lewin, Hydraulic gates and valves, Second edition, 2001.
- [7] <http://www.vis-trgovina.hr/cijevni-zatvaraci/leptirasti-ventili/> , (preuzeto 05.05.2022.).
- [8] [https://www.special-valve.com/hydraulic-slow-closing-check-butterfly-valve-with-counterweight\\_p59.html](https://www.special-valve.com/hydraulic-slow-closing-check-butterfly-valve-with-counterweight_p59.html) , (preuzeto 10.05.2022.).
- [9] Vizualna kontrola 1+2, HDKBR, 10/2016.
- [10] [https://www.freepik.com/premium-vector/visible-light-spectrum-optical-light-wavelength-electromagnetic-visible-color-spectrum-human-eye-vector-gradient-diagram-with-wavelength-colors-educational-illustration-white-background\\_26755354.htm#query=visible%20spectrum&position=36&from\\_view=keyword](https://www.freepik.com/premium-vector/visible-light-spectrum-optical-light-wavelength-electromagnetic-visible-color-spectrum-human-eye-vector-gradient-diagram-with-wavelength-colors-educational-illustration-white-background_26755354.htm#query=visible%20spectrum&position=36&from_view=keyword) , (preuzeto 10.06.2022.).
- [11] <https://www.kaiserkraft.hr/mjerni-uredjaji/mjerni-uredjaji/digitalni-luksmetar/vxsd-30-x-130-x-72-mm/p/M3145750/> , (preuzeto 11.06.2022.).
- [12] <https://www.hertztc.com/visual-testing.html> , (preuzeto 12.06.2022.).
- [13] Penetrantska kontrola 1+2, HDKBR, 10/2016.
- [14] <https://material-properties.org/what-is-liquid-penetrant-testing-definition/> , (preuzeto 15.06.2022.).

- [15] Liquid penetrant testing, Nondestructive testing handbook, third edition, Noel A. Tracy; Patric O. Moore, 09/1999.
- [16] [https://www.researchgate.net/figure/Example-of-capillary-action-of-water-and-mercury\\_fig7\\_323958362](https://www.researchgate.net/figure/Example-of-capillary-action-of-water-and-mercury_fig7_323958362) , (preuzeto 18.06.2022.).
- [17] Prezentacija Tenzidi, izv. prof. dr. sc. Hrvoje Kušić.  
[https://www.fkit.unizg.hr/download/repository/Tenzidi\\_03\\_04\\_mocenje\\_emulzije.pdf](https://www.fkit.unizg.hr/download/repository/Tenzidi_03_04_mocenje_emulzije.pdf) , (preuzeto 22.06.2022.).
- [18] <https://www.tec-science.com/material-science/material-testing/dye-liquid-penetrant-inspection-dpi/> , (preuzeto 23.06.2022.).
- [19] <https://www.kistler.com/fr/services/certified-testing-of-materials/fluorescent-dye-penetrant-testing/> , (preuzeto 01.07.2022.).
- [20] Magnetic testing, Nondestructive testing Handbook, third edition, David G. Moore; Patric O. Moore, 11/2008.
- [21] [https://www.researchgate.net/figure/Principle-of-the-magnetic-particle-testing-technique\\_fig4\\_348503014](https://www.researchgate.net/figure/Principle-of-the-magnetic-particle-testing-technique_fig4_348503014) , (preuzeto 10.07.2022.).
- [22] Magnetska kontrola 1+2, HDKBR, 10/2017.
- [23] <https://hr.kagouletheband.com/ucება/26797-что-такое-магнитное-поле.html> , (preuzeto 12.07.2022.).
- [24] <https://www.theengineeringknowledge.com/wp-content/uploads/2020/11/Introduction-to-magnetism.jpg> , (preuzeto 12.07.2022.).
- [25] <https://illustrationprize.com/hr/418-magnetic-hysteresis.html> , (preuzeto 15.07.2022.).
- [26] <https://www.artas.hr/magneti/magnetizam.html> , (preuzeto 15.07.2022.).
- [27] [https://arhiva-2021.loomen.carnet.hr/pluginfile.php/4656535/mod\\_resource/content/1/Magnetizam\\_za\\_daci2dio.pdf](https://arhiva-2021.loomen.carnet.hr/pluginfile.php/4656535/mod_resource/content/1/Magnetizam_za_daci2dio.pdf) , (preuzeto 15.07.2022.).
- [28] <https://fotonndt.com/en/our-services/nondestructive-testing-ndt/magnetic-particle-testing/> , (preuzeto 16.07.2022.).

- [29] <https://www.mnbprecision.com/magnetic-particle-inspection-services/> , (preuzeto 16.07.2022.).
- [30] <https://irss.ca/product/labino-mb-2-0-uv-led-light/> , (preuzeto 16.07.2022.).
- [31] Standard ISO 17638:2016, Non-destructive testing of welds – Magnetic particle testing.
- [32] Ultrazvučna kontrola 2, HDKBR, 4/2017.
- [33] <https://gcotter.com/ultrasonic-testing> , (preuzeto 20.07.2022.).
- [34] <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/ultrasonic-testing> , (preuzeto 20.07.2022.).
- [35] <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=1265> , (preuzeto 20.07.2022.).
- [36] <https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/a46bb23b-608e-45b5-b7f6-c952a83441fa/prisilno-i-priguseno-titriranje.html> , (preuzeto 21.07.2022.).
- [37] <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/longitudinal-wave> , (preuzeto 21.07.2022.).
- [38] <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=27621> , (preuzeto 21.07.2022.).
- [38] [https://www.roguephysicist.com/KS4/core/html/wave\\_behaviour\\_2.htm](https://www.roguephysicist.com/KS4/core/html/wave_behaviour_2.htm) , (preuzeto 24.07.2022.).
- [39] [https://www.roguephysicist.com/KS4/core/html/wave\\_behaviour\\_2.htm](https://www.roguephysicist.com/KS4/core/html/wave_behaviour_2.htm) , (preuzeto 30.07.2022.).
- [40] <https://physi.wordpress.com/2010/01/13/snells-law/> , (preuzeto 01.08.2022.).
- [41] [https://www.researchgate.net/figure/A-High-frequency-transducer-with-long-near-zone-length-and-narrow-beam-width-B\\_fig2\\_270540625](https://www.researchgate.net/figure/A-High-frequency-transducer-with-long-near-zone-length-and-narrow-beam-width-B_fig2_270540625) , (preuzeto 01.08.2022.).
- [42] Prezentacija Ispitivanje materijala, Metalurški fakultet sveučilišta u zagrebu, doc. dr. sc. Stoja Rešković,  
[https://arhiva.simet.hr/hr/nastava/predavanja/preddiplomski-sveucilisni-studij-metalurgija/2-godina-preddiplomskog/web1.pdf/at\\_download/file](https://arhiva.simet.hr/hr/nastava/predavanja/preddiplomski-sveucilisni-studij-metalurgija/2-godina-preddiplomskog/web1.pdf/at_download/file) , (preuzeto 02.08.2022.).

- [43] [https://www.qualitytrade.com/product/sonoscreen-st-10-ultrasonic-flaw-detector\\_181861](https://www.qualitytrade.com/product/sonoscreen-st-10-ultrasonic-flaw-detector_181861) , (preuzeto 03.08.2022.).
- [44] <https://ppt-online.org/288447> , (preuzeto 05.08.2022.).
- [45] <https://www.ptsndt.com/en/sale/ut-ultrasonic-testing/ut-probes/289-ut-probes-pts> , (preuzeto 05.08.2022.).
- [46] <https://www.onestopndt.com/blogs/ultrasonic-testing-couplants> , (preuzeto 05.08.2022.).
- [47] <https://www.ptsndt.com/en/sale/ut-ultrasonic-testing/ut-test-blocks/697-ut-test-blocks> , (preuzeto 05.08.2022.).
- [48] [https://www.researchgate.net/figure/Equipment-calibration-using-V2-block\\_fig2\\_334548024](https://www.researchgate.net/figure/Equipment-calibration-using-V2-block_fig2_334548024) , (preuzeto 06.08.2022.).
- [49] <https://www.ndt.net/article/v05n09/berke/berke4.htm> , (preuzeto 07.08.2022.).
- [50] <https://www.olympus-ims.com/en/ndt-tutorials/flaw-detection/dgs-avg/> , (preuzeto 07.08.2022.).
- [51] Standard ISO 17640:2010 (EN), Non-destructive testing of welds – Ultrasonic testing – Techniques, testing levels, and assessment.
- [52] <https://www.nde-ed.org/NDETechniques/Ultrasonics/SelectedApps/weldments.xhtml> , (preuzeto 08.08.2022.).
- [53] Tehnički materijali, Nikola Sonički, Veleučilište u Karlovcu, 2013.
- [54] Postupci žarenja, nastavno predavanje, Tomislav Božić.