

# ISPITIVANJE STROJNOG DIJELA MH.23-PI.06

---

Gaćina, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:464003>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

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



Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE U RIJECI**  
**TEHNIČKI FAKULTET**

Sveučilišni prijediplomski studij strojarstva

Završni rad

**ISPITIVANJE STROJNOG DIJELA MH.23-PI.06**

Rijeka, ožujak 2024.

Luka Gaćina  
0069084530

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Sveučilišni prijediplomski studij strojarstva

Završni rad

**ISPITIVANJE STROJNOG DIJELA MH.23-PI.06**

Mentor: izv. prof. Dario Iljkić

Rijeka, ožujak 2024.

Luka Gaćina  
0069084530

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
TEHNIČKI FAKULTET  
POVJERENSTVO ZA ZAVRŠNE ISPITE**

Rijeka, 11. ožujka 2023.

Zavod: **Zavod za materijale**  
Predmet: **Materijali II**  
Grana: **2.11.03 proizvodno strojarstvo**

## ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: **Luka Gačina (0069084530)**  
Studij: **Sveučilišni prijediplomski studij strojarstva**

Zadatak: **Ispitivanje strojnog dijela MH.23-PI.06 / Testing of workpiece MH.23-PI.06**

**Opis zadatka:**

Potrebno je proanalizirati postupak ispitivanja strojnog dijela MH.23-PI.06. Potrebno je teorijski opisati odabranu metodu ispitivanja i navesti rizike primjene predložene metode.

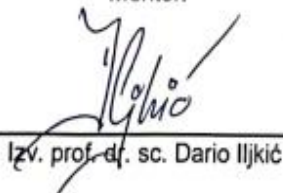
Nadalje, potrebno je ispitati strojni dio MH.23-PI.06 i opisati opremu za ispitivanje. Potrebno je definirati prednosti i nedostatke predložene metode ispitivanja. Potrebno je proanalizirati rezultate ispitivanja i donijeti odgovarajuće zaključke.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.



Zadatak uručen pristupniku: 20. ožujka 2023.

Mentor:

  
Izv. prof. dr. sc. Dario Iljkić

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:



Izv. prof. dr. sc. Samir Žic

# IZJAVA

Izjavljujem da sam završni rad s naslovom „Ispitivanje strojnog dijela MH.23-PI.06“ izradio samostalno uz konzultacije mentora izv. prof. Daria Iljkića.

Rijeka, ožujak 2024.

Luka Gaćina

## ZAHVALA

*Zahvaljujem mentoru izv. prof. Dariu Ilkiću na pomoći pri izradi ovog završnog rada putem savjeta i osiguravanja opreme potrebne za izvršavanje eksperimentalnog dijela.*

## Sadržaj

1. UVOD.....	1
1.1. Općenito .....	1
1.2. Opis zadatka .....	1
2. ISPITIVANJE MATERIJALA BEZ RAZARANJA.....	2
2.1. Vizualni pregled .....	2
2.2. Mjerenje i ispitivanje dimenzija.....	3
2.3. Nerazorna ispitivanja.....	4
2.3.1. Magnetna ispitivanja.....	4
2.3.2. Penetrantno ispitivanje.....	5
2.3.3. Ultrazvučno ispitivanje .....	7
2.3.4. Radiografsko ispitivanje .....	8
2.4. Funkcionalna ispitivanja .....	9
2.5. Eksperimentalna ispitivanja .....	10
3. ULTRAZVUK.....	11
3.1. Općenito .....	11
3.2. Fizika ultrazvuka .....	11
3.2.1. Frekvencija.....	11
3.2.2. Valna duljina.....	13
3.3. Princip rada .....	14
3.4. Primjena u industriji.....	15
3.5. Prednosti ultrazvuka.....	15
3.6. Stvaranje ultrazvuka.....	16
3.6.1. Pomoću piezoelektričnih pretvornika .....	16
3.6.2. Termo akustična metoda .....	17
3.6.3. Elektromagnetska metoda.....	18
3.6.4. Ostali načini .....	18
3.6.5. Kontrola frekvencije .....	18

4. ISPITIVANJE DEBLJINE STIJENKE STROJNOG DIJELA MH.23-PI.06.....	20
4.1. Postupak ispitivanja.....	20
4.2. Oprema.....	21
4.3. Rizici .....	27
4.4. Prednosti i nedostaci.....	31
4.5. Zadatak.....	34
4.6. Korištena oprema .....	34
4.7. Postupak i rezultati.....	37
5. ZAKLJUČAK.....	39

LITERATURA

POPIS SLIKA

SAŽETAK



# **1. UVOD**

## **1.1. Općenito**

U današnjem industrijaliziranom svijetu, sigurnost i pouzdanost infrastrukturnih sustava imaju veliku važnost za održavanje stabilnosti i učinkovitosti različitih industrija. Jedan od bitnih aspekata očuvanja tih sustava je redovito praćenje debljine cijevi kako bi se otkrili potencijalni problemi i spriječilo moguće curenje, oštećenje ili čak pucanje. Ultrazvučno mjerenje debljine cijevi postalo je neizostavna tehnika u industriji zbog svoje preciznosti, brzine i neinvazivnosti. Ova tehnika omogućuje operatorima da dobiju točne i pouzdane informacije o debljini cijevi bez potrebe za demontažom ili narušavanjem normalnog rada sustava.

## **1.2. Opis zadatka**

Glavni cilj ovog završnog rada je pružiti detaljan pregled teme ultrazvučnog mjerenja debljine cijevi. To će obuhvatiti analizu korištenih instrumenata temeljnih principa rada. Posebna će se pažnja posvetiti procjeni i prednosti i ograničenja koja su povezana s ovom tehnikom kada se usporede s drugim metodama mjerenja debljine. Nadalje, raspravljat će se o ciljevima istraživanja, metodologiji koja će se koristiti i očekivanim rezultatima. U ovom radu, čitatelj će imati priliku detaljnije upoznati ultrazvučnu tehniku mjerenja debljine cijevi i njezinu primjenu u industriji. Također će se raspraviti moguće izazovi s kojima se susreću operatori prilikom korištenja ove tehnike te razmotriti mogućnosti za daljnji razvoj i poboljšanja. Svrha ovog završnog rada je pružiti sveobuhvatan pregled ultrazvučnog mjerenja debljine cijevi. Također, istražiti će se prednosti i nedostaci ove tehnike te potaknuti daljnje istraživanje i primjenu u industriji.

## **2. ISPITIVANJE MATERIJALA BEZ RAZARANJA**

Za ocjenu kvalitete, ispravnosti i performansi strojnih dijelova koriste se metode ispitivanja koje su od velike važnosti u različitim industrijskim sustavima. Ovim metodama omogućuje se identificiranje nedostataka, oštećenja ili deformacija kako bi se osigurala sigurnost, pouzdanost i dugotrajnost strojeva. Uobičajene metode ispitivanja su sljedeće:

- Vizualni pregled
- Mjerenje i ispitivanje dimenzija
- Nerazorna ispitivanja
- Funkcionalna ispitivanja
- Eksperimentalna ispitivanja

### **2.1. Vizualni pregled**

Jedna od osnovnih metoda u otkrivanju nedostataka na strojevima je vizualni pregled. On se provodi s ciljem prepoznavanja očiglednih znakova kao što su pukotine, lomovi ili oštećenja. Različite vrste svjetiljki, mikroskopa ili drugih vizualnih alatki koriste se za detaljni pregled. Ova metoda je brza i relativno jednostavna, ali otkriva samo površinske nedostatke.

Prvi korak vizualnog pregleda je pažljiv pregled površine materijala. To uključuje traženje znakova oštećenja, pukotina, ogrebotina, korozije ili drugih vidljivih nedostataka. Ove informacije mogu biti od velikog značaja za ocjenu ispravnosti materijala i predviđanje potencijalnih problema. Ponekad je potrebno koristiti mikroskopski pregled kako biste dobili bolji uvid u strukturu materijala. Mikroskop omogućava detaljan pregled površinskih defekata i mikroskopskih promjena koje nisu vidljive golim okom. Vizualni pregled može uključivati procjenu boje i stanja premaza na materijalu. Ovo je posebno važno u industrijama gdje boja i premazi igraju ključnu ulogu u zaštiti materijala od korozije i drugih štetnih utjecaja. Ponekad je važno ocijeniti dimenzije i oblik materijala, posebno ako su ove karakteristike od suštinskog značaja za krajnju primjenu materijala. Vizualni pregled može pomoći u identifikaciji odstupanja od specifikacija. Vizualni pregled se često sprovodi tokom proizvodnje kako bi se osigurala kvalitetna kontrola. Inspektor može pažljivo pratiti procese proizvodnje i pregledavati materijale kako bi se identificirali problemi u ranoj fazi i spriječile greške koje bi mogle dovesti do odbacivanja ili lošeg kvaliteta proizvoda. Vizualni pregled često uključuje i dokumentaciju,

uključujući fotografije ili video zapise materijala. Ovo je važno kako bi se stvorio dosljedan zapis pregleda i omogućila kasnija analiza ili praćenje promjena tokom vremena.

Na slici 2.1.1. prikazan je vizualni pregled.



*Slika 2.1.1 Vizualni pregled*

## **2.2. Mjerenje i ispitivanje dimenzija**

Korištenje preciznih instrumenata poput mikrometara ili koordinatnih mjernih strojeva je ključno za mjerenje dimenzija strojnog dijela kada se koristi ova metoda. Ovaj postupak osigurava da su dimenzije unutar zadanih tolerancija, što je bitno za provjeru kvalitete proizvoda. Kontrola kvalitete predmeta se može vršiti na nekoliko načina, kao što su mjerenje dimenzija kao što su linearno, kutno, promjera te dubine ili drugih relevantnih dimenzija. Osim toga, ako je potrebno, mogu se izvesti i provjere oblika, plošnosti ili ravnoteže kako bi se osigurala odgovarajuća kvaliteta dijela. Postoji mnogo različitih metoda za mjerenje dimenzija materijala. To uključuje upotrebu mjernih instrumenata kao što su kaliperi, mikrometri, odmjerne trake i koordinatni mjerni uređaji (CMM). Svaka metoda ima svoje prednosti i primjene, ovisno o preciznosti koja je potrebna. Specifikacije za dimenzije materijala obično uključuju tolerancije, tj. dopuštene varijacije u dimenzijama. Mjerenja se uspoređuju s ovim tolerancijama kako bi se utvrdilo jesu li dimenzije u skladu s zahtjevima. Ako dimenzije prelaze tolerancije, materijal se smatra neispravnim. Mjerenje duljine je često osnovna dimenzija koja se provjerava. Ovaj proces može uključivati upotrebu klasičnih mjernih instrumenata, kao i optičkih sustava ili laserskog mjerenja.

Debljina materijala često je važan parametar. Za to se koriste posebni instrumenti, poput mikrometara ili ultrazvučnih mjernih uređaja, ovisno o karakteristikama materijala. Kod cijevi, osovina ili drugih cilindričnih dijelova, mjerenje promjera igra ključnu ulogu. Ovdje se koriste posebni kaliperi ili mikrometri za precizno mjerenje. Ponekad je važno provjeriti geometriju materijala, uključujući kutove, radije ili koncentričnost. To se može postići upotrebom specijaliziranih mjernih instrumenata ili koordinatnih mjernih uređaja. U nekim industrijama, kao što su automobilska ili zrakoplovna industrija, sve više se koriste automatizirani sustavi za mjerenje dimenzija kako bi se osigurala točnost i brzina ispitivanja. Sva mjerenja i rezultati trebaju biti dokumentirani kako bi se stvorio dosljedan zapis i omogućila praćenje kvalitete tijekom vremena. To je posebno važno u industrijama gdje su zahtjevi za kvalitetom strogi. Mjerenje i ispitivanje dimenzija ključni su koraci u osiguranju kvalitete materijala, jer pomažu u otkrivanju odstupanja od specifikacija i sprečavanju upotrebe neispravnih materijala u proizvodnji.

### **2.3. Nerazorna ispitivanja**

Različite metode su razvijene za otkrivanje skrivenih nedostataka u materijalima i komponentama strojeva bez izazivanja njihovog oštećenja. Ove metode su izuzetno korisne jer omogućavaju otkrivanje skrivenih nedostataka koji bi mogli uzrokovati neuspjeh u radu stroja.

#### **2.3.1. Magnetna ispitivanja**

Magnetna ispitivanja su tehnike koje koriste magnetska polja kako bi otkrila nedostatke, promjene ili karakteristike materijala. Ove metode se sveprisutno koriste u različitim industrijama, uključujući naftu i plin, energetiku, zrakoplovstvo, automobilsku industriju, metalurgiju i brodogradnju.

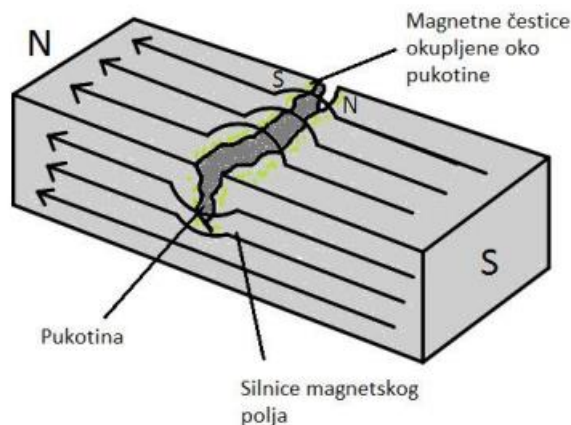
Magnetna ispitivanja se temelje na interakciji magnetskih polja s materijalom koji se ispituje. Kada materijal dođe u dodir s magnetskim poljem, različiti fenomeni mogu nastati, poput magnetizacije, induciranih struja ili promjena u magnetskom otporu. Na temelju tih promjena se vrši detekcija i analiza kako bi se identificirali nedostaci, mjerila debljina, provjerila homogenost materijala ili ocijenila kvaliteta materijala.

Magnetna ispitivanja se primjenjuju u različite svrhe, uključujući:

Detekciju pukotina: Magnetna ispitivanja su iznimno osjetljiva na pukotine, kako one površinske, tako i one dublje. Primjenom odgovarajuće magnetske tehnike moguće je otkriti čak i vrlo male

pukotine koje nisu vidljive golim okom. Ako naiđu na pukotinu, magnetske silnice zaobilaze pukotinu budući da je zrak slab vodič magnetskog toka i događa se curenje magnetskog polja.

Na slici 2.3.1. prikazane su silnice magnetskog polja u nailaženju na pukotinu.



Slika 2.3.1 Silnice magnetskog polja u nailaženju na pukotinu

Procjenu debljine stijenke: Primjenom magnetskog ispitivanja indukcije (ECT), moguće je mjeriti debljinu stijenke materijala bez potrebe za fizičkim oštećenjem. Ova metoda posebno je korisna kod cijevi, spremnika, posuda ili drugih struktura gdje je važno poznavati debljinu stijenke radi sigurnosti i pouzdanosti.

Identifikaciju materijala: Različiti materijali posjeduju različite magnetske karakteristike, pa se magnetska ispitivanja mogu koristiti za identifikaciju i razlikovanje materijala.

Procjenu korozije: Korozija predstavlja čest problem u mnogim industrijskim okruženjima. Magnetna ispitivanja mogu otkriti površinsku ili dubinsku koroziju, što je ključno za održavanje i procjenu preostalog vijeka trajanja komponenti. Magnetna ispitivanja omogućavaju otkrivanje nepravilnosti u materijalima, kao što su nehomogenosti, nečistoće ili strukturalne promjene, koje potencijalno mogu imati utjecaj na njihovu performansu.

### 2.3.2. Penetrantno ispitivanje

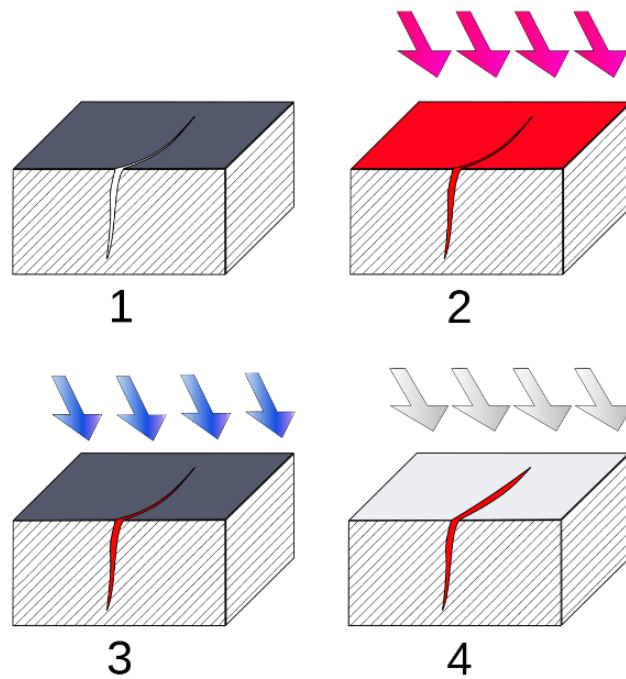
Penetrantno ispitivanje je metoda neraznog ispitivanja koja se koristi za otkrivanje površinskih nedostataka na različitim materijalima. Ova tehnika se često primjenjuje u industriji kako bi se detektirale pukotine, površinske nepravilnosti, poroznost ili druge površinske nedostatke koji mogu imati utjecaj na integritet ili performanse komponente.

Penetrantno ispitivanje je metoda koja se često koristi u industriji zbog svoje brzine, jednostavnosti i ekonomičnosti. Ova metoda ima visoku osjetljivost za otkrivanje površinskih nedostataka, posebno na materijalima koji lako propuštaju penetrant. Ipak, važno je uzeti u obzir da penetrantno ispitivanje ne može otkriti nedostatke koji su skriveni ispod površine materijala ili unutar poroznih struktura.

Postupak penetrantnog ispitivanja:

Priprema površine je važna faza u ispitivanju, koja zahtjeva čistu i suhu površinu. Ovo osigurava da penetrant može pravilno prodrijeti u eventualne nedostatke. Da bismo postigli ovaj cilj, potrebno je ukloniti sve nečistoće, masnoće, boje ili druge kontaminante koji bi mogli ometati postupak ispitivanja. Za čišćenje se mogu koristiti različite metode poput pranja, četkanja ili upotrebe otapala. Premaz se nanosi na pripremljenu površinu komponente. Premaz može biti u obliku tekućine, spreja ili gela. Trajanje kontakta između premaza i površine ovisi o konkretnom proizvodu i preporukama proizvođača. Nakon nanošenja penetranta ostavlja se da djeluje na površini preporučeno vrijeme zadržavanja. To omogućuje penetrantu da proдре kroz sve potencijalne defekte kroz kapilarne ili površinske radnje. Kada prođe određeno vrijeme zadržavanja, višak penetranta se pažljivo uklanja s površine uz primjenu odgovarajućih metoda kao što su brisanje, ispiranje ili upotreba posebnih sredstava za uklanjanje penetranta. Nakon što uklonimo višak penetranta, primjenjuje se razvijajuće sredstvo koje će poboljšati vizualizaciju nedostataka. Ovo razvijajuće sredstvo može biti u obliku praška, emulzije ili aerosola. Ono privlači penetrant koji je prodrlo u nedostatke i stvara kontrast koji olakšava njihovo vizualno otkrivanje. Pri završetku postupka razvijanja, vrši se pažljiv vizualni pregled površine. Taj pregled može se obaviti golim okom ili uz pomoć osvjetljenja, čak i fluorescentnih UV svjetala. Svi eventualni nedostaci koji su otkriveni ocjenjuju se temeljem prihvatljivih kriterija. Dodatno, njihova veličina, oblik i položaj mogu biti zabilježeni dokumentacijom.

Na slici 2.3.2. prikazan je postupak penetrantnog ispitivanja.



*Slika 2.3.2 Postupak penetrantnog ispitivanja*

### 2.3.3. Ultrazvučno ispitivanje

Ultrazvučno ispitivanje je metoda koja se koristi za otkrivanje i procjenu nedostataka u materijalima putem ultrazvučnih valova. Ova tehnika ima široku primjenu u raznim industrijama, kao što su nafta i plin, energetika, zrakoplovstvo, automobilska industrija, metalurgija i brodogradnja. Osnovni princip ove metode se temelji na slanju ultrazvučnih valova kroz ispitivani materijal te analizi reflektiranih valova.

Na slici 2.3.2. prikazano je ultrazvučno ispitivanje.



*Slika 2.3.3 Ultrazvučno ispitivanje*

#### 2.3.4. Radiografsko ispitivanje

Radiografsko ispitivanje je metoda koja se koristi kako bi se bez oštećenja obavilo ispitivanje unutarnje strukture materijala pomoću rendgenskih ili gama zraka. Ova tehnika ima široku primjenu u industriji jer omogućuje otkrivanje nedostataka kao što su pukotine, poremećaji strukture, nehomogenosti ili nepravilnosti u materijalu.

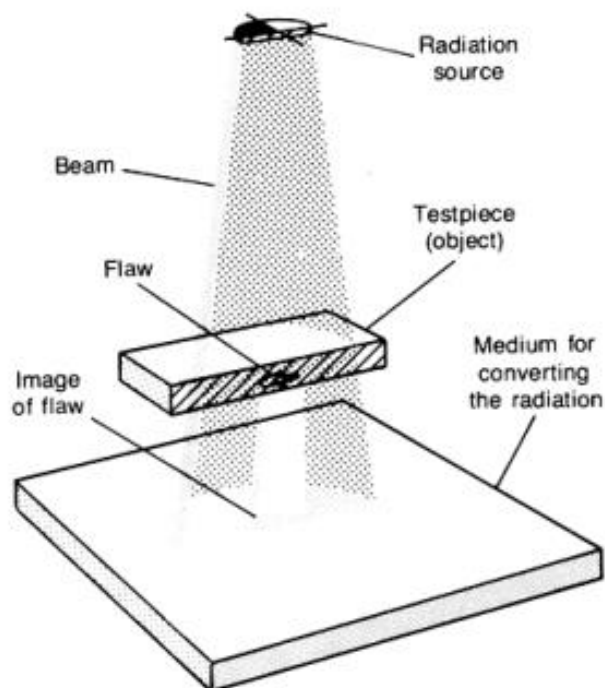
Radiografsko ispitivanje ima nekoliko prednosti. Ono je vrlo osjetljivo na različite vrste nedostataka i omogućava dubinsko ispitivanje. Također, posjeduje visoku rezoluciju, što omogućava detaljno snimanje i arhiviranje slika. Jedna od prednosti radiografskog ispitivanja je mogućnost kasnijeg pregleda i analize. Međutim, treba imati na umu da ova metoda zahtijeva posebne sigurnosne mjere zbog izloženosti zračenju. Stoga je važno pridržavati se relevantnih sigurnosnih standarda i smjernica kako bi se primjena ove metode obavljala na siguran način.

Postupak radiografskog ispitivanja:

Prije provođenja ispitivanja, važno je materijal pravilno pripremiti. To podrazumijeva uklanjanje nečistoća i prekrivanje površine zaštitnim materijalom kako bi se izbjegla nepotrebna izloženost zračenju. Izvor X zraka ili gama zračenja postavlja se s jedne strane materijala koji se ispituje. Izvor emitira zrake kroz materijal prema detektoru s druge strane. Zrake prolaze kroz materijal i međudjeluju s unutarnjom strukturom istog. Ovisno o gustoći, debljini i homogenosti materijala, zrake će biti apsorbirane ili će prolaziti kroz materijal na različite načine. Na drugoj strani materijala, detektor hvata zrake koje prođu kroz njega. Ovisno o tehnologiji koja se koristi, detektor može biti filmski ili digitalni. Na detektoru se stvara slika od zračenja koje je prošlo kroz materijal, a tu sliku je moguće razviti ili prikazati na računalnom monitoru. Radiografske slike se pažljivo analiziraju i interpretiraju od strane stručnjaka za radiografiju. Oni pregledavaju slike s ciljem da identificiraju eventualne nedostatke ili promjene u materijalu. Na temelju analize tih slika, moguće je procijeniti veličinu, oblik, položaj i ozbiljnost tih nedostataka.

Na slici 2.3.4. prikazan je postupak radiografskog ispitivanja.





*Slika 2.3.4 Postupak radiografskog ispitivanja*

## 2.4. Funkcionalna ispitivanja

Ispitivanja koja uvijek provjeravaju radne karakteristike i performanse strojnog dijela. Testiranje uključuje različite aspekte, poput funkcionalnosti, opterećenja, brzine, temperature ili drugih važnih parametara koji su specifični za određeni stroj. Materijali se često izlažu različitim uvjetima okoline kako bi se testirala njihova otpornost na vlagu, koroziju, UV zračenje, vibracije i druge faktore koji bi mogli utjecati na njihove performanse. Kod građevinskih materijala, kao što su čelik ili beton, funkcionalna ispitivanja uključuju testiranje nosivosti, čvrstoće i otpornosti na naprezanja. Ovi testovi pomažu osigurati da materijali zadovoljavaju sigurnosne standarde. Materijali koji se koriste u električnim ili elektroničkim komponentama moraju zadovoljavati specifične električne i magnetske karakteristike. Ova ispitivanja uključuju provodljivost, elektromagnetsku kompatibilnost (EMC) i druge parametre. Materijali koji se koriste za izradu strojeva, alata ili mehaničkih komponenti testiraju se na mehanička svojstva kao što su čvrstoća, elastičnost, rastezljivost, lomna čvrstoća i druge karakteristike koje utječu na njihovu funkcionalnost. Ponekad je potrebno provesti funkcionalna ispitivanja u stvarnom okruženju kako bi se simulirali stvarni uvjeti rada. Na primjer, avionski materijali testiraju se u komorama za simulaciju visine ili temperaturnih uvjeta u zraku. Funkcionalna ispitivanja često uključuju testiranje trajnosti materijala kako bi se utvrdilo koliko dugo će materijal zadržati svoje

performanse tijekom vremena pod utjecajem eksploatacije ili starenja. Rezultati funkcionalnih ispitivanja često se dokumentiraju kako bi se osigurala dosljednost i kvaliteta materijala. Materijali koji uspješno prođu ova ispitivanja mogu biti certificirani za određene primjene.

## **2.5. Eksperimentalna ispitivanja**

Jedan način za prikupljanje podataka o performansama i ponašanju strojnog dijela u različitim uvjetima je korištenje posebne opreme i postupaka za provođenje testova pod kontroliranim uvjetima. Ova metoda iznimno je korisna u testiranju novih dizajna, prototipova, ili inovacija. Cilj ovakvog ispitivanja je prikupiti podatke o performansama i ponašanju strojnog dijela u različitim uvjetima. Kao takva, eksperimentalna ispitivanja mogu uključivati testiranje opterećenja, vibracija, habanja, korozije ili nekih drugih specifičnih parametara. Ovi testovi stvaraju vrijednu referentnu točku za procjenu kako bi se poboljšao rad strojeva i njihova dugotrajnost. Prvi korak u eksperimentalnom ispitivanju je izrada uzoraka materijala koji će biti podvrgnuti testiranju. Uzorci se obično izrađuju u standardiziranim oblicima, kao što su trake, ploče ili cilindri, kako bi se osigurala dosljednost i usporedivost rezultata. Eksperimentalna ispitivanja često uključuju mehanička testiranja kako bi se procijenila čvrstoća, elastičnost, rastezljivost, lomna čvrstoća i druge mehaničke karakteristike materijala. Ovi testovi obuhvaćaju metode kao što su testovi istezanja, kompresije, savijanja i udara. Pored mehaničkih ispitivanja, eksperimenti se mogu provoditi i kako bi se odredila druga svojstva materijala, uključujući termalna, električna, magnetna i optička svojstva. Na primjer, termalna analiza može se koristiti za određivanje tačke topljenja ili koeficijenta toplotne provodljivosti. Da bi se procijenila kvaliteta i performanse materijala, eksperimentalni rezultati često se uspoređuju s referentnim materijalima ili standardima kako bi se utvrdilo jesu li materijali ispunili specificirane zahtjeve. Eksperimentalna ispitivanja mogu se provesti pod različitim uvjetima temperature, vlažnosti, pritiska i drugih faktora kako bi se procijenilo ponašanje materijala u realnim uvjetima rada. Nakon provođenja eksperimentalnih testova, podaci se analiziraju kako bi se dobila relevantna kvantitativna saznanja o karakteristikama materijala. Ovo uključuje obradu podataka, grafičko prikazivanje rezultata i izračunavanje statističkih parametara. Eksperimentalni podaci često se koriste za validaciju teorijskih modela ili simulacija ponašanja materijala. Ovo pomaže inženjerima i istraživačima da bolje razumiju materijale i njihovo ponašanje pod različitim uvjetima.

## **3. ULTRAZVUK**

### **3.1. Općenito**

Kada se koriste visokofrekventni zvučni valovi iznad granice čujnosti ljudskog uha (obično iznad 20 kHz) za različite vrste ispitivanja, govorimo o tehnici poznatoj kao ultrazvuk. Ultrazvučna metoda se redovito primjenjuje u medicini, industriji, istraživanju materijala i inspekciji strojeva. Ultrazvuk je vrlo koristan alat u mnogim sektorima za dijagnosticiranje, ispitivanje i kontrolu kvalitete. Njegova sposobnost da prodire u materijale i locira unutarnje nedostatke čini ga svestranom tehnikom koja se široko primjenjuje u različitim industrijama.

### **3.2. Fizika ultrazvuka**

Fizika ultrazvuka grana je fizike koja proučava svojstva i ponašanje ultrazvučnih valova, koji su mehanički valovi s frekvencijama iznad granice čujnosti ljudskog uha. Ultrazvuk se karakterizira visokom frekvencijom zvuka, obično iznad 20.000 herca (Hz). Brzina širenja ultrazvuka ovisi o gustoći i elastičnosti materijala kroz koji prolazi, ali obično iznosi između 1500 i 5000 metara u sekundi. Ultrazvuk se može generirati pomoću ultrazvučnih senzora ili ultrazvučnih pretvarača koji koriste piezoelektrična svojstva materijala. Kada se na takve pretvarače primijeni električna struja, oni emitiraju ultrazvučne valove. Ultrazvučni valovi reflektiraju se kada naiđu na granicu između dva materijala različite gustoće ili elastičnosti. Ta svojstva omogućuju ultrazvuku da se koristi za ispitivanje i analizu unutarnje strukture materijala. Ultrazvučni valni snopovi šire se kroz materijal u obliku valova. Brzina širenja i karakteristike snopa ovise o frekvenciji ultrazvuka i svojstvima materijala. Promjenom frekvencije i konfiguracije ultrazvučnog senzora, moguće je dobiti detaljnije informacije o materijalu. Zaključno, ultrazvuk je visokofrekventni zvučni val koji ima široku primjenu u industriji i znanstvenim istraživanjima. Njegove karakteristike omogućuju precizno ispitivanje materijala i unutarnjih struktura te sukladno tome ima važnu ulogu u mnogim industrijama i disciplinama.

Neki od ključnih aspekata fizike ultrazvuka su frekvencija i valna duljina.

#### **3.2.1. Frekvencija**

Frekvencija ultrazvučnih valova predstavlja broj oscilacija ili ciklusa koji se događaju u jednoj sekundi. Mjerna jedinica za frekvenciju je herc (Hz). Što je frekvencija viša, to su valovi brži i češći u jedinici vremena. Frekvencija se mjeri kao broj oscilacija ili ciklusa koji se ponavljaju u jednoj sekundi. Na primjer, ako neki događaj ima frekvenciju od 10 Hz, to znači da se taj događaj ponavlja 10 puta svake sekunde. Period je obrnuti koncept frekvencije i predstavlja vremenski interval potreban da se završi jedan ciklus oscilacije. Period i frekvencija su međusobno povezani prema jednadžbi (3.1):

$$f = 1 / T \quad (3.1)$$

gdje je:

$f$  – frekvencija

$T$  – period

Amplituda oscilacije predstavlja najveće udaljenosti od ravnotežnog položaja ili najveću izmjenu u oscilaciji. To je mjera jačine oscilacije, ali ne utječe na frekvenciju. Jedinčna mjerne jedinica za frekvenciju je herc (Hz), nazvana prema njemačkom fizičaru Heinrichu Hertz. Jedan herc predstavlja jedan ciklus u sekundi. Frekvencija se koristi u mnogim aplikacijama, uključujući bežične komunikacije, radio i televiziju, medicinsku dijagnostiku, istraživanje materijala i mnoge druge. Različite frekvencije elektromagnetskog spektra imaju različite primjene, na primjer, mikrovalne pećnice koriste frekvencije od 2,4 GHz, dok se mobilna telefonija koristi na različitim frekvencijskim opsezima. U zaključku, frekvencija je ključni parametar koji određuje broj oscilacija ili ciklusa u jedinici vremena. Ova karakteristika ima široku primjenu u mnogim granama fizike i tehnologije, omogućujući nam razumijevanje i manipulaciju svijetom oko nas. U strojarstvu se često koriste ultrazvučni valovi s frekvencijama koje se mjere u megahercima (MHz) ili kilohercima (kHz). Nekoliko primjera tipičnih frekvencija u strojarstvu:

- Niskofrekventni Ultrazvuk (kHz)

Ovdje se koriste niže frekvencije, u rasponu od nekoliko kiloherca do nekoliko desetaka kiloherca. Ove frekvencije se obično koriste za inspekciju debljine materijala, otkrivanje grubih nedostataka i praćenje stanja čelika i drugih materijala u industriji.

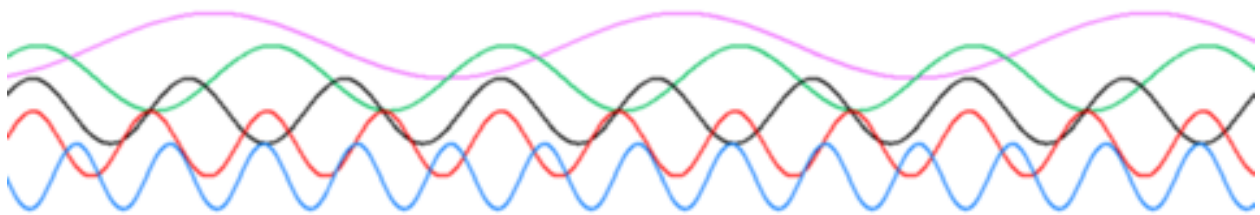
- Visokofrekventni Ultrazvuk (MHz)

Visokofrekventni ultrazvuk koristi se za inspekciju s višom rezolucijom i preciznošću. Frekvencije se često kreću u rasponu od 1 do 15 MHz. Ove frekvencije koriste se za detaljniju analizu materijala, otkrivanje manjih nedostataka i ispitivanje tankih materijala.

- Ultra-visokofrekventni Ultrazvuk (GHz)

U nekim specifičnim primjenama, kao što su ispitivanje mikročipova i visokofrekventnih komponentata, mogu se koristiti ultrazvučni valovi s frekvencijama u gigahercima (GHz).

Na slici 3.2.1. prikazani su valovi različitih frekvencija



*Slika 3.2.1 Valovi različitih frekvencija*

Izbor odgovarajuće frekvencije ovisi o specifičnim potrebama inspekcije i materijalima koji se pregledavaju. Niže frekvencije mogu prodrijeti dublje u materijal, ali imaju nižu rezoluciju, dok više frekvencije pružaju bolju rezoluciju, ali imaju manji prodor.

### 3.2.2. Valna duljina

Valna duljina je fizička veličina koja se odnosi na udaljenost između dvije uzastopne točke na valovima koji su u fazi. U kontekstu ultrazvuka i drugih valova, valna duljina predstavlja udaljenost između dvaju vrhova (najviših točaka) ili dviju dolina (najnižih točaka) u valovima. Valna duljina je ključna za karakterizaciju valova i ima važnu ulogu u razumijevanju njihovih svojstava. Valna duljina i frekvencija su međusobno povezane prema brzini širenja valova putem sljedeće formule (3.2):

$$\lambda = c / f \quad (3.2)$$

gdje je:

$\lambda$  - valna duljina

$c$  - brzina širenja valova u mediju

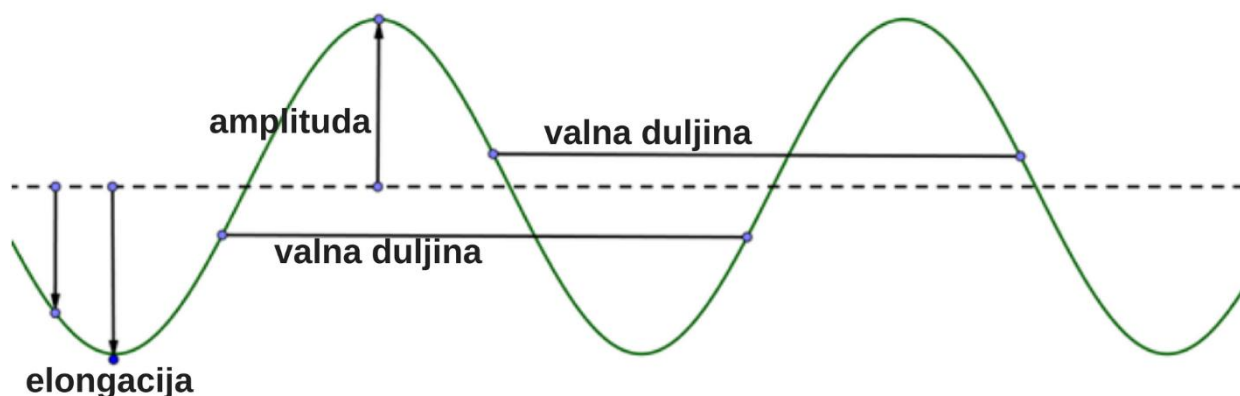
$f$  - frekvencija

Ovaj odnos pokazuje da su frekvencija i valna duljina inverzno proporcionalni: kako frekvencija raste, valna duljina se smanjuje, i obrnuto. To znači da valovi više frekvencije imaju kraće valne duljine i obrnuto.

Brzina širenja valova ovisi o mediju kroz koji valovi prolaze. To znači da će valna duljina biti različita u različitim medijima za istu frekvenciju. Na primjer, brzina zvuka u zraku je niža nego u vodi, pa će valna duljina biti različita u tim medijima za istu frekvenciju.

Valna duljina igra ključnu ulogu u pojmu interferencije, gdje se valovi slijevaju ili ometaju kada se susretnu. To može rezultirati pojačanjem ili umanjnjem amplitude valova.

Na slici 3.2.2. prikazan je grafički prikaz vala.



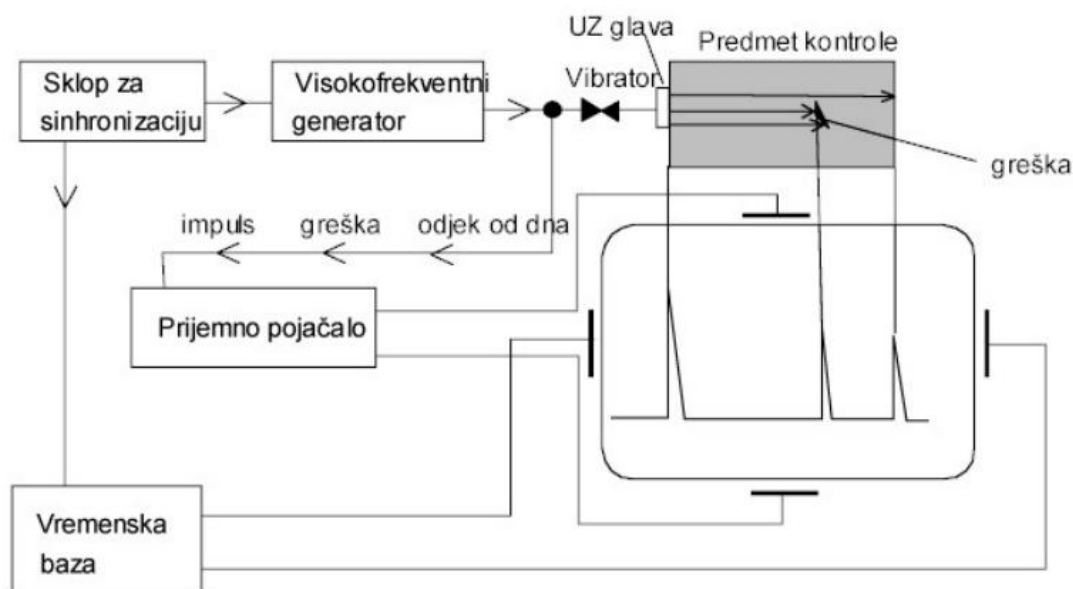
Slika 3.2.2 Grafički prikaz vala

### 3.3. Princip rada

Ultrazvuk se koristi za dijagnostiku i testiranje uz pomoć visokofrekventnih zvučnih valova. Sonda ili pretvornik emitira ove valove u materijal ili tkivo koje se ispituje, a nakon toga valovi se

reflektiraju od različitih sučelja unutar materijala i vraćaju se na sondu. Informacije o unutarnjoj strukturi materijala ili prisutnosti nedostataka dobivaju se provjerom analiziranih odraznih signala.

Na slici 3.3. prikazan je shematski prikaz principa rada ultrazvuka.



Slika 3.3 Shematski prikaz principa rada ultrazvuka

### 3.4. Primjena u industriji

U industriji se često koristi ultrazvuk koji se primjenjuje za različite svrhe. Primarno, on se koristi kako bi se ispitali materijali, kontrolirala kvaliteta i otkrivali nedostaci u nekoliko vrsta materijala. Ultrazvuk može pomoći u otkrivanju pukotina, inkluzija, poroznosti ili drugih nepravilnosti koje se mogu pronaći u metalima, plastici, keramici ili drugim vrstama materijala. Osim toga, one također mogu izbrojiti debljinu materijala i provjeriti zavare te kontrolirati njihovu kvalitetu. Pored toga, ultrazvuk može biti od pomoći prilikom ispitivanja naprezanja materijala.

### 3.5. Prednosti ultrazvuka

Ultrazvučne tehnike pružaju mogućnosti neinvazivnog, brzog i sigurnog pregleda materijala ili tkiva. Takve tehnike omogućuju preciznu vizualizaciju unutrašnjih struktura i otkrivanje različitih

vrsta nedostataka. Osim što su ekonomične, ultrazvučne tehnike su i široko dostupne u odnosu na druge metode ispitivanja koje se koriste za ne razorne metode ispitivanja. Ultrazvuk omogućuje rano otkrivanje pukotina, inkluzija, poroznosti, korozije i drugih defekata unutar materijala ili komponenata. To pomaže u sprječavanju potencijalnih kvarova i osigurava visoku kvalitetu proizvoda. Nadalje, omogućuje visoku rezoluciju pri ispitivanju materijala i unutarnjih struktura. To znači da se mogu otkriti i analizirati i najmanji defekti i nepravilnosti. Postupci ispitivanja ultrazvukom obično su brzi i učinkoviti, što znači da se mogu provoditi u realnom vremenu tijekom proizvodnog procesa. Ultrazvuk se može primijeniti na različite materijale, uključujući metale, plastiku, kompozite, keramiku i više. To ga čini svestranim alatom za različite industrije. Može prodrijeti duboko u materijale, ovisno o frekvenciji i konfiguraciji senzora. To omogućava otkrivanje defekata unutar debljih slojeva materijala. Ispitivanje ultrazvukom doprinosi osiguranju kvalitete proizvoda i smanjenju rizika od nesreća ili kvarova, što je posebno važno u sektorima kao što su zrakoplovstvo, naftna i plinska industrija, i proizvodnja konstrukcija. Ultrazvučni sustavi mogu se integrirati u automatizirane proizvodne linije, što pomaže u kontinuiranom ispitivanju i praćenju kvalitete proizvoda bez potrebe za ljudskim intervencijama. Relativno je ekonomičan u smislu troškova opreme i održavanja u usporedbi s drugim tehnikama ispitivanja te omogućuje ispitivanje teško dostupnih ili skrivenih mjesta, što je često potrebno u industrijskim postrojenjima.

### **3.6. Stvaranje ultrazvuka**

Postoji više načina generiranja ultrazvuka, ali najčešći je korištenje piezoelektričnih pretvornika. Kako bi se ovaj proces proveo uspješno, potrebna je detaljna konstrukcija i precizni izračuni. Stvaranje ultrazvuka zahtijeva veliku brzinu oscilacije te se stoga koriste visokofrekventni signali. Postoji više načina dobivanja ultrazvuka, koji će biti navedeni u nastavku.

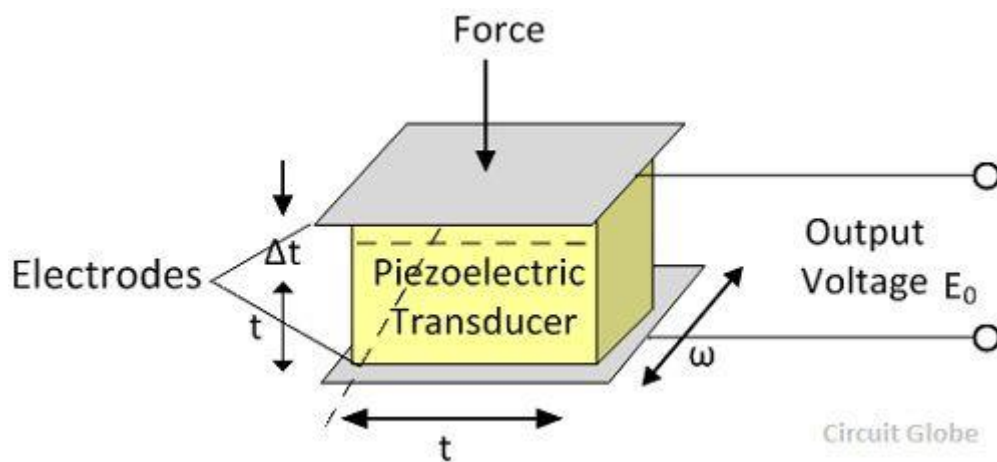
#### **3.6.1. Pomoću piezoelektričnih pretvornika**

Piezoelektrični materijali mogu stvarati naboje izlaganjem vanjskim naprežanjima poput pritiska i vibracija. Piezo pretvornici - koji se sastoje od tankih ploča/kristala dobivenih od ovih tvari (koje su često ili keramičko-feroelektrični) - koriste ovo jedinstveno svojstvo. Piezoelektrični materijal može se deformirati kada je izložen električnom naponu i kao rezultat toga generirati ultrazvučne



valove. Slično, takvi materijali podvrgnuti mehaničkom naprezanju mogu stvoriti električni signal za detekciju primljenih ultrazvučnih valova.

Na slici 3.6.1. prikazan je piezoelektrični pretvornik.



Slika 3.6..1 Piezoelektrični pretvornik

### 3.6.2. Termo akustična metoda

Termo akustična metoda stvaranja ultrazvuka kombinira termičke i akustičke principe kako bi se generirali ultrazvučni valovi. Ova metoda koristi kratke impulsne lasere za zagrijavanje materijala, što dovodi do brzih termalnih ekspanzija i kontrakcija površine materijala, čime se generiraju ultrazvučni valovi.

Prvi korak u termo akustičnoj metodi je usmjeravanje kratkih impulsnih lasera prema površini materijala koji se proučava ili tretira. Ti laseri isporučuju visoko energetske pulseve svjetlosti na materijal. Materijal na koji se usmjerava laserski impuls mora apsorbirati svjetlost. Kada laser pogodi površinu, svjetlost se apsorbira i pretvara u toplinsku energiju. Povećanje temperature površine materijala rezultira brзом termalnom ekspanzijom ili širenjem materijala. Ova brza promjena veličine površine uzrokuje stvaranje ultrazvučnih valova. Brza termalna ekspanzija i kontrakcija površine materijala stvara ultrazvučne valove koji se šire kroz materijal i okolni medij. Ovi valovi su rezultat promjena pritiska uzrokovanih termalnom ekspanzijom. Ultrazvučni valovi koji se šire kroz materijal mogu se detektirati pomoću posebnih ultrazvučnih senzora ili piezoelektričnih pretvarača.

### 3.6.3. Elektromagnetska metoda

Primjenjujući ovu metodu, električna struja se provodi kroz zavojnicu smještenu unutar magnetskog polja. Zato što struja koja prolazi kroz zavojnicu stvara varijabilno magnetsko polje, takvo polje reagira s magnetskim poljem. Radi te interakcije nastaju mehaničke vibracije koje se transformiraju u ultrazvučne valove.

Prvi korak u elektromagnetskoj metodi je generiranje električnog signala visoke frekvencije. Ovaj signal obično dolazi iz oscilatora ili generatora. Frekvencija signala određuje frekvenciju ultrazvučnih valova koji će biti generirani. Elektromagnet se sastoji od jezgre od feromagnetnog materijala oko kojeg je omotana žica. Kada se na ovu žicu primijeni električna struja, stvara se magnetsko polje unutar jezgre. Promjenom električnog signala, magnetsko polje također varira. Piezoelektrični pretvarač ili sonda postavljen je unutar magnetskog polja elektromagneta. Ova sonda sadrži piezoelektrični materijal koji reagira na magnetsko polje i inducira mehaničke oscilacije. Kada električni signal varira i stvara promjenjivo magnetsko polje, piezoelektrični materijal u sondi reagira na to varijabilno magnetsko polje i počinje oscilirati ili vibrirati. Ove mehaničke oscilacije stvaraju ultrazvučne valove u sondi. Ultrazvučni valovi generirani u sondi šire se kroz medij s brzinom zvuka u tom mediju. Ovi valovi se šire kroz materijal, a zatim se reflektiraju od unutarnjih struktura ili površina, poput rubova materijala ili defekata. Ista piezoelektrična sonda može se koristiti za detekciju odbijenih ili reflektiranih ultrazvučnih valova. Kada se valovi reflektiraju od unutarnjih ili vanjskih površina materijala, oni mijenjaju mehaničke oscilacije piezoelektričnog materijala u sondi. Ove promjene pretvaraju se u električni signal koji se zatim može analizirati za dobivanje informacija o materijalu ili za stvaranje slika.

### 3.6.4. Ostali načini

Laserske zrake predstavljaju alternativni pristup za generiranje ultrazvuka izvan tradicionalnih metoda poput piezoelektriciteta ili elektromagnetizma. Zagrijavanjem materijala kondenziranom svjetlosnom energijom iz lasera dolazi do širenja objekata koji zatim proizvode ultrazvučne vibracije.

### 3.6.5. Kontrola frekvencije

Za generiranje ultrazvuka specifične frekvencije potrebno je prilagoditi parametre poput geometrije pretvornika, primijenjenog električnog napona, magnetskog polja i karakteristika lasera. Ovi parametri se mijenjaju prema specifičnoj namjeni ultrazvuka.

## **4. ISPITIVANJE DEBLJINE STIJENKE STROJNOG DIJELA MH.23-PI.06**

Ultrazvučno ispitivanje debljine cijevi je čest način procjene stanja cijevi, pogotovo u industrijskim postrojenjima kao što su kemijska, naftna i plinska postrojenja te elektrane. Ova metoda omogućuje mjerenje zida cijevi kako bi se utvrdili eventualni gubici debljine ili korozija koja može uzrokovati slabljenje integriteta cijevi.

### **4.1. Postupak ispitivanja**

Tijekom ispitivanja debljine cijevi ultrazvukom, važno je poduzeti nekoliko pripremnih koraka. Naime, potrebna vam je specifična oprema - ultrazvučni mjerač debljine - koji ima sposobnost slanja i primanja ultrazvučnih valova. Preporučuje se da se oprema kalibrira prije početka ispitivanja kako bi se osigurala njena točnost i pouzdanost.

Potrebno je nabaviti ultrazvučni mjerač debljine koji će emitirati ultrazvučne valove i primiti njihov odraz. Opremu je potrebno pravilno kalibrirati prije početka ispitivanja kako bi se izbjegle moguće pogreške u mjerenju.

Također, važan korak u postupku je priprema cijevi koja se ubuduće ispituje. Površina cijevi na koju će se primijeniti ultrazvučni valovi treba biti očišćena od prljavštine, hrđe ili drugih nečistoća koje mogu utjecati na kvalitetu mjerenja. Ako je potrebno, mogu se koristiti abrazivni materijali za uklanjanje površinskih slojeva.

Kako bi se zajamčila točna očitavanja tijekom ultrazvučnog testiranja, ključno je očistiti površinu cijevi na koju će se primjenjivati valovi i ukloniti bilo kakvu prljavštinu ili hrđu koja bi mogla negativno utjecati na rezultate. Kao opcija kod uklanjanja površinskih slojeva dostupni su abrazivni materijali.

Prilikom provođenja ultrazvučnih ispitivanja na cijevima, korištenje odgovarajućeg kontaktnog medija osigurava pouzdan prijenos ultrazvučnih valova od senzora do površine cijevi. Sastojeći se obično od vode ili gela, ovo rješenje pomaže u postizanju optimalnog integriteta signala minimiziranjem smetnji kao što su odjeci koji dolaze od stijenki i površina cijevi. Kao takvo, korištenje utvrđenog procesa primjene za ovaj medij predstavlja industrijski standard pri izvođenju sveobuhvatnih inspekcija cijevnih sustava u različitim sektorima.

Sljedeći korak je primjena kontaktnog medija (obično vode ili gela) na površinu cijevi. Taj medij pomaže u smanjenju refleksija od površine cijevi te osigurava dobar prijenos ultrazvučnih valova između senzora i cijevi.

Konačan korak postupka je pozicioniranje senzora. Senzor ultrazvučnog mjerača debljine postavlja se na površinu cijevi te se polako pomiče duž duljine cijevi kako bi se dobili točni i pouzdani rezultati mjerenja.

Kada postavljamo senzor ultrazvučnog mjerača debljine, važno je pozicionirati ga na površinu cijevi te ga polako pomicati duž njezine duljine. Senzor emitira ultrazvučne valove koji prolaze kroz cijev i odražavaju se od njenog unutarnjeg i vanjskog zida. Nakon što se ti odrazi prime, provodi se analiza istih.

Zatim, na redu je prikupljanje podataka i analiza. Ultrazvučni mjerac koristi odraze valova kako bi prikupio podatke o debljini zida cijevi. Ti podaci se prikazuju u obliku grafikona, koji prikazuje debljinu zida cijevi naspram duljine cijevi.

Naposljetku, tumačenje rezultata. Ultrazvučno mjerenje debljine cijevi omogućuje identifikaciju područja sa smanjenom debljinom stijenke.

## 4.2. Oprema

- Ultrazvučni mjerac debljine

Za precizno mjerenje debljine materijala pomoću zvučnih valova, ultrazvučni mjerac debljine smatra se nezamjenjivim alatom na koji se industrija oslanja iz dana u dan. Proizvođači nude različite asortimane proizvoda, zbog čega je odabir jednog ponekad težak. Bitno je potražiti instrumente koji posjeduju sposobnost pružanja točnih očitavanja stijenki cijevi ili drugih materijala pri odabiru instrumenata za tu svrhu.

Ultrazvučni mjerac debljine radi na principu odašiljanja ultrazvučnog signala kroz materijal i mjerenja vremena koje je potrebno da se taj signal reflektira od unutarnje površine materijala. Na temelju vremena putovanja zvuka i brzine zvuka u materijalu, uređaj izračunava debljinu materijala. Uređaj ima ugrađen ultrazvučni pretvarač (sondu) koji generira ultrazvučne valove. Ovi valovi putuju kroz materijal koji se ispituje. Nakon što se ultrazvučni valovi reflektiraju od unutarnje površine materijala, ista sonda registrira reflektirane valove i pretvara ih u električne signale. Ultrazvučni mjerac mjeri vrijeme koje je potrebno da ultrazvučni valovi putuju od sonde do unutarnje površine materijala i natrag. Ovo vrijeme se koristi za izračun debljine materijala. Za precizno mjerenje debljine, uređaj mora znati brzinu zvuka u materijalu koji se ispituje. Brzina zvuka varira ovisno o vrsti materijala i temperaturi. Ova informacija unosi se u uređaj ili se unaprijed programira za specifične materijale. Ultrazvučni mjerac debljine obično ima digitalni zaslon koji prikazuje rezultate mjerenja u obliku brojeva. Rezultati se mogu pohraniti ili prenositi

putem računalnih sučelja za daljnju analizu i dokumentaciju. Koristi se u raznim industrijama, uključujući metalurgiju (za mjerenje debljine limova i cijevi), petrokemiju (za ispitivanje tankova i cjevovoda), brodogradnju (za kontrolu debljine trupa brodova), i građevinsku industriju (za ispitivanje betona i drugih materijala). Ultrazvučni mjerači debljine omogućuju brza i precizna mjerenja debljine materijala, a također su neinvazivni i ne oštećuju ispitivani materijal. Također su korisni za praćenje korozije i habanja materijala tijekom vremena. Ultrazvučni mjerač debljine treba periodički kalibrirati kako bi se osigurala točnost i pouzdanost rezultata. Kalibracija se obično provodi uz pomoć uzoraka poznate debljine.

Na slici 4.2.1. prikazan je ultrazvučni mjerač debljine.



*Slika 4.2.1 Ultrazvučni mjerač debljine*

- Ulazna sonda

Odgovarajući pregledi cijevi zahtijevaju pažljivo razmatranje odabira odgovarajuće veličine sonde ovisno o njihovoj vrsti. Instrument služi dvostrukoj funkciji gdje se ultrazvučni signali prenose u materijale dok učinkovito nadzire svoj transformirani uzorak refleksije kroz mehanizme prijema sonde. Specifične prilagodbe uključujući pomake frekvencije u svakoj jedinici sonde omogućuju uspješne sveobuhvatne analize pod različitim kategorijama.

Ulazna sonda djeluje kao pretvarač između električnih signala i ultrazvučnih valova. Njen glavni zadatak je generirati ultrazvučne valove i registrirati reflektirane valove koji se vraćaju s unutarnje površine materijala koji se ispituje. Ulazne sonde obično su izrađene od materijala koji ima visoku akustičnu provodljivost kako bi se omogućila učinkovita generacija i primanje ultrazvučnih valova. Često se koristi materijal poput ferita, piezoelektričnih kristala ili keramike. Konstrukcija sonde može varirati ovisno o primjeni i proizvođaču, ali uključuje element koji vibrira kako bi stvarao ultrazvučne valove. Sondi se obično dodjeljuje specifična frekvencija generiranih ultrazvučnih valova, koja se odabire ovisno o potrebama aplikacije. Sondi također može biti različitih oblika, uključujući konveksne, linearni, ili specifične oblike prilagođene za ispitivanje određenih materijala ili geometrija. Kada se električni impuls primijeni na ulaznu sondu, piezoelektrični materijal u sondi počinje vibrirati. Ove vibracije generiraju ultrazvučne valove koji se šalju kroz sondinu površinu u ispitivani materijal. Nakon što ultrazvučni valovi putuju kroz materijal, odražavaju se od unutarnje površine materijala i vraćaju se nazad prema sondi. Ulazna sonda ima ugrađeni senzor koji registrira ove reflektirane valove i pretvara ih u električne signale. Električni signali generirani od strane ulazne sonde šalju se na elektroničku jedinicu mjerača debljine. Ovdje se analiziraju i koriste za izračun debljine materijala na temelju vremena putovanja ultrazvučnih valova. Neki ultrazvučni mjerači debljine koriste sonde s mogućnošću fokusiranja kako bi se poboljšala preciznost mjerenja i omogućilo ispitivanje na različitim dubinama unutar materijala. Kako bi se osigurala točnost mjerenja, ulazne sonde se često kalibriraju s uzorcima poznate debljine. Također se pridržavaju standarda i smjernica koje propisuje industrija ili regulatorna tijela.

Na slici 4.2.2. prikazana je ulazna sonda.



*Slika 4.2.2 Ulazna sonda*

- Kontaktno sredstvo

Upotreba kontaktnog sredstva, najčešće vode ili gela poboljšava prijenos ultrazvučnih signala između sonde i cijevi. Često se koristi da bi se smanjio zračni jaz i ostvario bolji kontakt između sonde i površine cijevi, što posljedično dovodi do poboljšanog kvaliteta signala.

Kontaktno sredstvo pomaže u stvaranju dobrog kontakta između ulazne sonde i površine materijala. Ovo osigurava da se ultrazvučni valovi prenose bez gubitaka i refleksija na granici između zraka i materijala. Zrak između ulazne sonde i materijala može uzrokovati neprecizna mjerenja. Kontaktno sredstvo ispunjava taj prostor, eliminirajući zračne džepove i osiguravajući ravnomjerni kontakt. Kontaktno sredstvo pomaže u smanjenju refleksija i apsorpcije ultrazvučnih valova na površini materijala, čime se povećava točnost mjerenja. Ultrazvučne sonde se tijekom rada mogu zagrijati, a kontaktno sredstvo pomaže u hlađenju sonde kako bi se održala njihova učinkovitost i produžio vijek trajanja. Kontaktno sredstvo obično se sastoji od vode i viskoznih sastojaka koji ga čine gusta i ljepljivom tvari. Gelaste ili kremaste konzistencije su česte, ovisno o primjeni. Nanosi se na površinu materijala koji se ispituje prije postavljanja ulazne sonde. U nekim



slučajevima, moguće je potopiti sondu u sredstvo prije kontakta s materijalom. Cilj je osigurati ravnomjieran i dobar kontakt između sonde i površine materijala. Nakon završetka mjerenja, kontaktno sredstvo se obično mora temeljito ukloniti s površine materijala. To se obično radi pomoću vode ili drugih sredstava za čišćenje, ovisno o sastavu kontaktnog sredstva i zahtjevima aplikacije. Kontaktno sredstvo koristi se u različitim industrijama, uključujući kontrolu kvalitete metala, ispitivanje građevinskih materijala, medicinsku dijagnostiku, geološka ispitivanja i mnoge druge. Svaka primjena može zahtijevati određeni tip kontaktnog sredstva s određenim svojstvima kako bi se postigla najbolja točnost i učinkovitost mjerenja.

- Oprema za analizu podataka

Ultrazvučni mjerač debljine opremljen je zaslonom za prikazivanje mjerenja. Osim toga, postoji mogućnost povezivanja pneumatika s računalom ili drugim uređajima radi detaljnije analize podataka.

- Pomoćna oprema

Ovisno o uvjetima ispitivanja, preporučuje se dodatna oprema kao što su stalci za sondiranje, dodatni kabeli ili dodaci za pričvršćivanje sonde na cijev. Razmotre se potrebe i odluči što je potrebno za uspješan ishod testiranja.

- Referentni uzorci

Referentni uzorci su komadi materijala određene debljine koji se koriste za kalibraciju ultrazvučnog mjerača debljine. Oni služe tome da se usporede rezultati mjerenja s poznatim vrijednostima i osigura točnost vaših mjerenja.

Glavna svrha referentnih uzoraka je osigurati točnost, preciznost i pouzdanost rezultata analize, mjerenja i eksperimenata. Oni služe kao osnovna točka odnosa za usporedbu s nepoznatim uzorcima ili za praćenje promjena u tijeku vremena. Pri razvoju novih analitičkih metoda ili postupaka, referentni uzorci služe za verifikaciju njihove točnosti i preciznosti. U industrijskim postupcima, referentni uzorci se koriste kao kontrolni materijali kako bi se osigurala kvaliteta proizvoda. Referentni uzorci materijala koriste se za karakterizaciju i usporedbu s nepoznatim uzorcima kako bi se odredile njihove svojstva, poput gustoće, tvrdoće, toplinske vodljivosti.

Na slici 4.2.3. prikazani su etaloni za ultrazvučno ispitivanje.



*Slika 4.2.3 Etaloni za ultrazvučno ispitivanje*

- Posrednički materijal

Kada se radi ispitivanje na cijevima koje su već ugrađene i nisu dostupne direktnom sondiranju, koristi se posrednički materijal. Ovaj materijal sastoji se od manjih komada cijevi koji se postavljaju između sonde i stvarne cijevi kako bi se simulirao uvjet sondiranja.

- Prijenosni sustav napajanja

Kada se istraživanje obavlja na terenu ili mjestima bez stalnog izvora struje, može biti korisno imati prijenosni sustav napajanja. To uključuje bateriju ili generator koji će osigurati dovoljno energije za rad ultrazvučnog mjerača debljine.

- Zaštitna oprema

Da bi se osigurala sigurnost tijekom ispitivanja, preporuča se korištenje zaštitne opreme, poput rukavica, naočala i zaštitne odjeće. Ako postoje specifični uvjeti ispitivanja, mogu biti potrebne dodatne vrste opreme kao što su rukavice otporne na kemikalije ili posebne naočale za rad u određenim okruženjima.

Treba imati na umu da se određena vrsta potrebne opreme razlikuje ovisno o jedinstvenim zahtjevima ispitivanja i specifikacijama koje nude proizvođači mjerača debljine. Za preciznije preporuke o prikladnoj opremi za pojedinačno testiranje, najbolje je posavjetovati se s dobavljačem ili stručnjakom za ultrazvučnu procjenu.

### **4.3. Rizici**

Korištenje ultrazvučne metode za ispitivanje debljine cijevi općenito se može smatrati sigurnom i pouzdanom, no važno je imati na umu potencijalne rizike koji su povezani s ovim postupkom.

Nekorektna kalibracija opreme može dovesti do netočnih rezultata kada se koristi ultrazvučni mjerač debljine. Stoga je ključno provjeriti i kalibrirati opremu redovito kako bi se osigurala točnost mjerenja. Važno je napomenuti da interpretacija podataka i grafikona dobivenih putem ultrazvučnog testiranja zahtijeva stručno znanje i iskustvo, te da loša interpretacija može uzrokovati pogrešnu procjenu stanja cijevi i potencijalnih problema. Površinska kontaminacija cijevi također može utjecati na kvalitetu mjerenja, ako se cijev ne očisti prije testiranja može doći do pogrešaka zbog prisutnosti prljavštine, hrđe ili drugih nečistoća. Čak i geometrija cijevi može utjecati na ovo testiranje - cilindri s malim promjerom ili zakrivljenim dijelovima mogu predstavljati izazove prilikom postavljanja senzora i provođenju ultrazvučnog testiranja debljine cijevi. U situacijama u kojima se cijevi nalaze u teško dostupnim područjima ili su dio kompleksnog sustava, stavljanje senzora i provođenje ispitivanja debljine cijevi na svim relevantnim mjestima može biti izazovno. To predstavlja nedostatak pristupa koji bi mogao otežati održavanje cijevi i potencijalno dovesti do propuštanja.

Osim toga, postoji niz drugih potencijalnih faktora koji mogu utjecati na ispitivanje debljine cijevi ultrazvukom.

- Osiguravanje potpune pokrivenosti

Pažljivo pokrivanje svih područja duž cijevi ključno je za postizanje sveobuhvatne analize debljine. Ne pokrivanje svih područja na odgovarajući način moglo bi rezultirati nedostatkom oslabljenih ili korodiranih točaka koje bi mogle ugroziti učinkovitost inspekcije. Za postizanje potpune pokrivenosti, ultrazvučne sonde trebaju biti pravilno pozicionirane na cijevi. To uključuje postavljanje sonde tako da se signali šalju pod odgovarajućim kutem i reflektiraju se natrag prema sondi. Položaj sonde obično varira ovisno o veličini i obliku cijevi, pa je potrebno pažljivo planiranje. U nekim slučajevima, osobito kod većih cijevi, moglo bi biti potrebno koristiti više ultrazvučnih sondi kako bi se osigurala potpuna pokrivenost. Sondama se može upravljati ručno ili automatski, ovisno o konfiguraciji opreme. Kod ispitivanja debljine cijevi ultrazvukom, često je potrebno rotirati cijev kako bi se osigurala pokrivenost svih dijelova stijenke. Ovo se posebno odnosi na cijevi velikog promjera ili one s kompleksnim oblicima. Pravilna kalibracija opreme ključna je za osiguranje točnih mjerenja i potpune pokrivenosti. Kalibracija bi trebala uzeti u obzir geometriju cijevi i karakteristike materijala.

- Faktor površinske hrapavosti

Površine cijevi koje pokazuju značajnu hrapavost mogu predstavljati poteškoće u ispravnoj primjeni ultrazvučnih valova za točno otkrivanje reflektiranih signala što dovodi do nepreciznih mjerenja debljine ili poteškoća u prepoznavanju oslabljenih točaka. Površinska hrapavost može uzrokovati difuziju ili raspršenje ultrazvučnih valova na površini cijevi. Ovo može otežati precizno mjerenje debljine stijenke, jer se ultrazvučni signal može reflektirati ili raspršiti od neravnih površina. Prije ispitivanja, površina cijevi može zahtijevati određenu pripremu kako bi se uklonile neravnine, prljavština ili premazi koji mogu ometati ultrazvučne signale. To uključuje čišćenje i brušenje površine. Operator koji provodi ispitivanje treba biti svjestan faktora površinske hrapavosti prilikom interpretacije rezultata. Ponekad se može dogoditi da površinska hrapavost stvori lažne echogram ili oteža identifikaciju granice stijenke cijevi. Industrijski standardi obično definiraju dopuštene razine površinske hrapavosti za materijale ili komponente koji se ispitivanju ultrazvukom. Prema tim standardima, površinska hrapavost može biti klasificirana i kontrolirana kako bi se osigurala kvaliteta i integritet cijevi.

- Utjecaj materijala i temperature

Različiti materijali u kombinaciji s ekstremnim temperaturama mogu negativno utjecati na prodiranje ultrazvuka kroz cijevi. Ovi čimbenici mogu utjecati na akustička svojstva značajno smanjujući kvalitetu mjerenja.

Svaki materijal ima različitu brzinu širenja zvuka. Brzina zvuka u materijalu ovisi o njegovim svojstvima, uključujući gustoću i elastičnost. Različiti materijali zahtijevaju različite parametre

konfiguracije ultrazvučnog uređaja kako bi se dobila precizna mjerenja debljine. Pravilno podešena brzina zvuka ključna je za točnost ispitivanja. Različiti materijali mogu apsorbirati i reflektirati ultrazvučne valove na različite načine. Materijali s većom gustoćom i elastičnošću obično bolje provode ultrazvučne valove. Pri ispitivanju materijala različitih svojstava, potrebno je prilagoditi postavke ultrazvučnog uređaja kako bi se osigurala adekvatna penetracija i preciznost mjerenja. Materijali s nehomogenim ili poroznim svojstvima mogu uzrokovati difuziju i refleksiju ultrazvučnih valova, što može otežati interpretaciju rezultata. To je posebno važno prilikom ispitivanja kompozitnih materijala ili materijala s prisutnošću zračnih mjehurića.

Temperatura materijala može značajno utjecati na brzinu širenja ultrazvučnih valova. Općenito, s porastom temperature brzina zvuka u materijalu također raste. Ovo treba uzeti u obzir prilikom ispitivanja materijala pri različitim temperaturama kako bi se osigurala točnost mjerenja. Temperaturne promjene mogu uzrokovati termalnu ekspanziju materijala, što može utjecati na geometriju cijevi. To može rezultirati promjenama u debljini stijenke cijevi ili njezinom obliku. Stoga je važno uzeti u obzir temperaturne uvjete prilikom mjerenja i analize rezultata. Temperaturne promjene mogu ubrzati procese korozije ili oksidacije materijala, što može utjecati na debljinu stijenke cijevi. Prilikom ispitivanja cijevi u uvjetima s promjenjivim temperaturama, važno je uzeti u obzir potencijalne promjene u debljini stijenke.

Zaključno, materijal i temperatura su važni faktori koji utječu na ispitivanje debljine cijevi ultrazvukom. Operatori trebaju pažljivo uzeti u obzir svojstva materijala i temperaturne uvjete kako bi pravilno kalibrirali i konfigurirali ultrazvučnu opremu te osigurali točna i pouzdana mjerenja debljine stijenke cijevi.

- Kritičnost stručnosti operatera

Učinkovito izvođenje ultrazvučnog ispitivanja debljine cijevi zahtijeva vještine i stručnost operatera koji su ključni za ispravno pozicioniranje senzora, savršenu kontrolu nad kontaktnim medijima, zajedno s tehnikama snimanja osjetljivih podataka potrebnih za izbjegavanje pogrešaka koje bi mogle negativno utjecati na točne rezultate. Operater mora znati kako pravilno konfigurirati i kalibrirati ultrazvučnu opremu kako bi se osigurala precizna mjerenja. Pogrešne postavke opreme mogu rezultirati netočnim rezultatima debljine stijenke. Položaj ultrazvučnih sonda na cijevi ključan je za osiguravanje potpune pokrivenosti i adekvatne penetracije ultrazvučnih valova. Operater mora znati kako pravilno pozicionirati sonde i kontrolirati njihovu orijentaciju. Operater mora biti sposoban identificirati i interpretirati ultrazvučne eho signale koji se vraćaju s unutarnjih stijenki cijevi. To uključuje prepoznavanje granica stijenke, očitavanje debljine stijenke i prepoznavanje bilo kakvih odstupanja ili abnormalnosti. Različiti materijali i temperaturni uvjeti

moгу zahtijevati prilagodbu postavki opreme i interpretaciju rezultata. Operater mora razumjeti kako materijal i temperatura utječu na proces ispitivanja. Također, operater treba biti sposoban otkriti defekte kao što su pukotine, korozija, nehomogenosti ili druge abnormalnosti u materijalu. Identifikacija tih defekata ključna je za procjenu sigurnosti i integriteta cijevi. Operater treba voditi evidenciju o postupku ispitivanja, uključujući informacije o lokacijama mjerenja, dobivenim vrijednostima debljine i bilo kakvim zabilješkama o abnormalnostima, mora biti svjestan sigurnosnih mjera tijekom ispitivanja, uključujući upotrebu osobne zaštitne opreme i pridržavanje standarda i smjernica za sigurnost pri radu. Stručnost operatera obično se potvrđuje putem kvalifikacija i certifikacija koje osiguravaju da su obučeni i kompetentni za obavljanje ispitivanja.

- Utjecaj vanjskih faktora

Vanjski faktori mogu značajno utjecati na točnost i pouzdanost ovih mjerenja. Neki od vanjskih faktora koji trebaju biti uzeti u obzir prilikom ispitivanja debljine cijevi ultrazvukom:

- Temperatura materijala

Temperatura materijala može značajno utjecati na brzinu širenja ultrazvučnih valova. S porastom temperature obično raste i brzina zvuka u materijalu. To može utjecati na preciznost mjerenja debljine stijenke cijevi, stoga je važno uzeti u obzir temperaturne uvjete i pravilno kalibrirati opremu.

- Geometrija cijevi

Oblik i geometrija cijevi također mogu utjecati na ispitivanje debljine. Ako je cijev zakrivljena ili ima složen oblik, pozicioniranje ultrazvučnih sonde može biti izazovno, a potrebno je prilagoditi postavke opreme kako bi se dobili precizni rezultati.

- Okolina i buka

Okolišni faktori kao što su buka i vibracije također mogu utjecati na točnost ispitivanja. Buka može otežati čujnost ultrazvučnih eho signala, a vibracije mogu poremetiti pozicioniranje i stabilnost opreme.

- Debljina premaza ili korozije

Ako na površini cijevi postoji premaz ili sloj korozije, ultrazvučni signal će morati proći kroz te slojeve prije nego što dosegnu stijenku cijevi. Ovo može rezultirati lažno visokim vrijednostima debljine stijenke ako se ti slojevi ne uzmu u obzir i ne korigiraju.

- Prisutnost zračnih mjehurića ili nečistoća

Zračni mjehurići ili nečistoće unutar materijala ili na površini cijevi mogu reflektirati ultrazvučne valove i uzrokovati lažne eho signale. To može rezultirati netočnim mjerenjima debljine.

- Površinska hrapavost

Površinska hrapavost može otežati očitavanje ultrazvučnih eho signala i interpretaciju rezultata. Neravna površina može raspršiti ultrazvučne valove i uzrokovati difuziju signala, što može ometati precizno mjerenje.

- Kalibracija i obuka operatera

Kalibracija opreme i obuka operatera su vanjski faktori koji direktno utječu na kvalitetu ispitivanja. Nepravilna kalibracija ili nedostatak obuke mogu rezultirati netočnim i nepouzdanim rezultatima.

Ključno je da kvalificirani stručnjaci obave ultrazvučno ispitivanje debljine cijevi prema standardima i uputama kako bi se smanjio potencijalni rizik te osigurala čvrsta mjera pouzdanosti prikupljenih rezultata.

Ako cijev ima površinske premaze poput boja, zaštitnih slojeva ili premaza otpornih na koroziju, to može negativno utjecati na pouzdanost ultrazvučnih signala i dovesti do nepouzdanih mjerenja debljine. Ultrazvučna metoda je često korištena za mjerenje debljine tankih zidova cijevi, no pri ispitivanju vrlo debelih zidova mogu se pojaviti poteškoće u prodoru ultrazvuka, što znači da preciznost i pouzdanost mjerenja mogu biti ograničene. Ako cijev ima zakrivljene dijelove ili promjene u geometriji, to može otežati pravilno postavljanje senzora i snimanje odraza. Nepropisno pozicioniranje senzora može dovesti do netočnih rezultata mjerenja. Ako unutarnja površina cijevi ima premaze, naslage ili druge nečistoće, to može ometati prolaz ultrazvučnih valova i otežati identifikaciju slabljenja debljine. U pojedinim situacijama, dodatne tehnike čišćenja ili uklanjanja premaza mogu biti nužne kako bi se osigurala preciznost ispitivanja. Prilikom rukovanja sensorom, važno je biti oprezan kako bi se izbjeglo oštećenje cijevi. Velika opasnost od oštećenja može nastati zbog neispravne primjene senzora ili primjenom prevelikog pritiska prilikom dodirivanja površine cijevi. Ukoliko dođe do puknuća cijevi, može doći do propuštanja ili smanjenja njene cjelovitosti, zbog čega je potrebno pažljivo postupati sa sensorom.

#### **4.4. Prednosti i nedostaci**

Ispitivanje debljine cijevi ultrazvukom ima određene prednosti i nedostatke. Navedeni su neki od njih.

Prednosti ispitivanja debljine cijevi ultrazvukom:

- Preciznost

Ultrazvučno ispitivanje debljine može se pohvaliti visokom razinom preciznosti mjerenja. To zauzvrat dopušta identifikaciju i praćenje manjih fluktuacija u debljini materijala. Mogu se otkriti i izmjeriti čak i minimalni gubici debljine zbog korozije, abrazije ili erozije. Također, omogućuje rano otkrivanje problema prije nego što postanu ozbiljniji.

- Brzina i učinkovitost

Ultrazvučno ispitivanje može se brzo provesti, što drži učinkovitost i ekonomičnost ispitivanja. Brzi rezultati olakšavaju donošenje odluka u stvarnom vremenu.

- Non-destruktivnost

Ova je metoda non-destruktivna, što znači da ne narušava strukturu materijala cijevi tijekom ispitivanja. Kao rezultat toga, tehničari mogu besprijekorno izmjeriti debljinu stijenke na licu mjesta, istovremeno održavajući rad cjevovoda bez prekida - čak i ako imaju posla s cijevima u uporabi gdje bi popravci uzrokovali skupe zastoje ili gubitke u proizvodnji.

- Primjenjivost na različite materijale

Ultrazvučno ispitivanje debljine može se rabiti na mnogim materijalima, uključujući čelik, aluminij, plastiku i druge. Ovo ga čini vrlo prilagodljivom metodom koja je primjenjiva u velikom broju industrijskih sektora.

- Detekcija unutarnjih korozija i oštećenja

Ultrazvuk je sposoban otkriti unutarnju koroziju, slabosti i oštećenja cijevi te na taj način spriječiti eventualna curenja, puknuća ili kvarove.

Na slici 4.4.1. prikazan je primjer unutarnje korozije cijevi.





*Slika 4.4.1 Primjer unutarnje korozije cijevi*

Nedostaci ispitivanja debljine cijevi ultrazvukom:

- Ovisnost o površinskim uvjetima

Ultrazvučno ispitivanje debljine može se pažljivo izvršiti samo ako se uzmu u obzir površinski uvjeti materijala. Kada su prisutne nečistoće na površini cijevi, poput korozije ili premaza, to može utjecati na kvalitetu signala i preciznost mjerenja.

- Potreba za stručnim operaterima

Da bi se pravilno izvele tehničke radnje, interpretirali rezultati i donijeli relevantni zaključci za ultrazvučne pretrage, potrebna je stručnost i obuka operatera.

- Ograničenja u pristupu

U pojedinim prilikama, postupanje prema određenim dijelovima cijevi može biti ograničeno. To situaciju otežava ili u krajnjem slučaju sprečava izvođenje ultrazvučnog ispitivanja.

- Ovisnost o materijalu i debljini

Ultrazvučno ispitivanje može biti manje pouzdano na vrlo tankim cijevima ili na materijalima koji imaju određene akustične osobine koje ometaju prijenos signala.

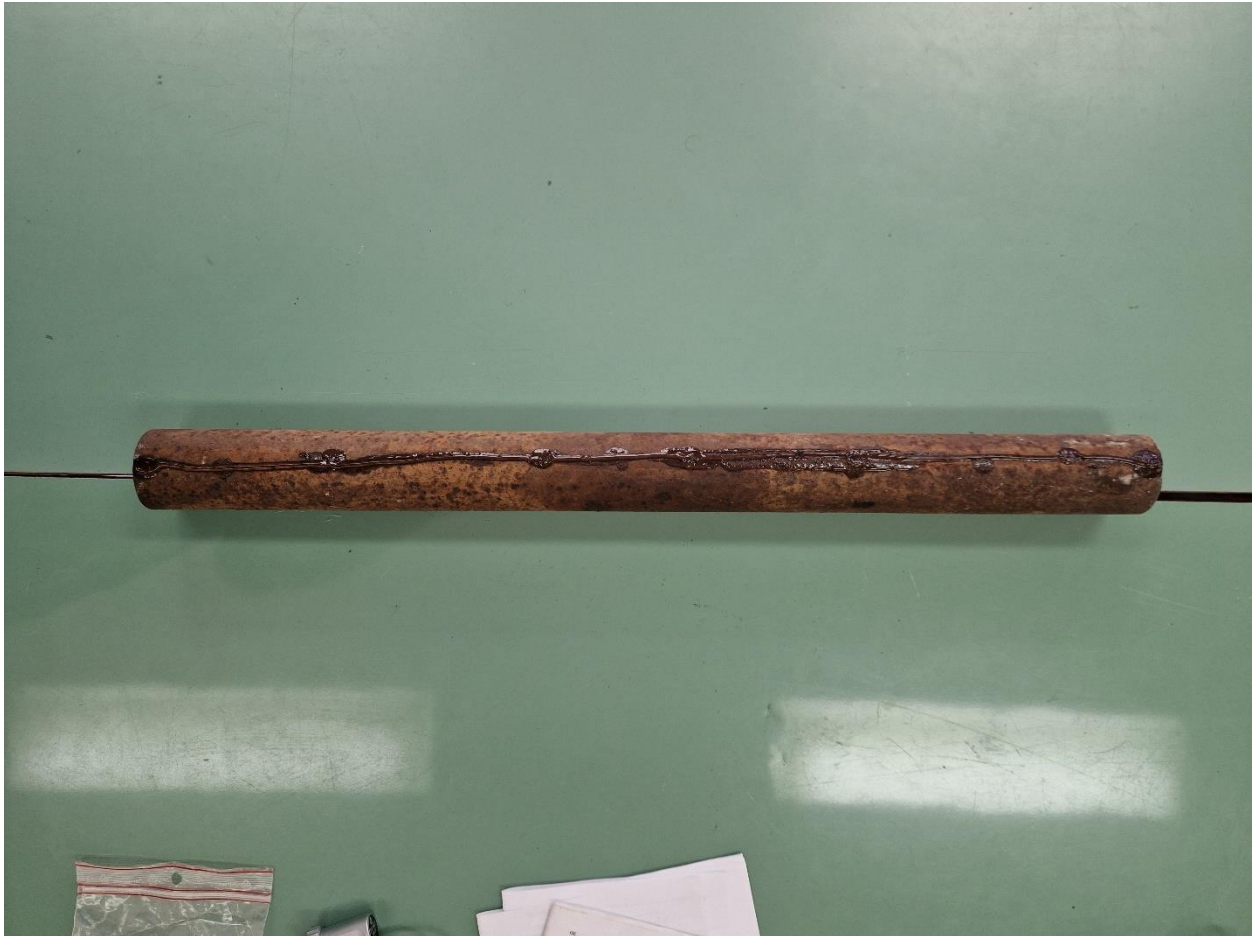
#### **4.5. Zadatak**

Zadatak je bio izmjeriti debljinu strojnog dijela MH.23-PI.06 ultrazvukom.

Ispitivanje je obavljeno na Tehničkom fakultetu u Rijeci na Zavodu za materijale.

Ispitivani dio MH.23-PI.06 je cijev.

Na slici 4.5.1. prikazana je ispitivana cijev.



*Slika 4.5.1 Ispitivana cijev*

#### **4.6. Korištena oprema**

Za mjerenje debljine cijevi korišten je ultrazvučni uređaj General Electric DM4, dvostruka sonda General Electric DA 401, dok je kao kontaktno sredstvo korišten Ultragel II.

GE DM4 je sofisticirani ultrazvučni uređaj, koji objedinjuje visoku preciznost mjerenja, iznimnu rezoluciju i intuitivno korisničko sučelje. Ovaj uređaj nudi pouzdane rezultate mjerenja te dragocjene informacije za dijagnostiku, procjenu stanja materijala i druge važne primjene.

Uređaj ima sljedeće značajke:

- opremljen je sondom koja emitira i prima ultrazvučne valove
- ima integrirani zaslon koji prikazuje ultrazvučne slike i rezultate mjerenja
- dobro je opremljen korisničkim sučeljem koje pruža jednostavan pristup raznim funkcijama uređaja
- ima ugrađenu memoriju ili opciju povezivanja s vanjskim sustavom za pohranu podataka kako bi se omogućilo čuvanje rezultata mjerenja i pristup prethodnim podacima
- uređaj može raditi na baterije ili biti priključen na izvor napajanja

Na slici 4.6.1. prikazan je ultrazvučni uređaj General Electric DM4.



*Slika 4.6.1 Ultrazvučni uređaj General Electric DM4*

Tehničke specifikacije sonde General Electric DA 401 su:

- mjeri debljine u rasponu 1.2-200 mm
- kontaktni dio promjera 12.5 mm
- frekvencija 5 MHz

Na slici 4.6.2 prikazana je ultrazvučna sonda General Electric DA 401.



*Slika 4.6.2 Ultrazvučna sonda General Electric DA 401*

Kao kontaktno sredstvo korišten je Ultragel II.

Ultragel se često upotrebljava kao kontaktno sredstvo prilikom ultrazvučnog ispitivanja debljine cijevi. Ova gelasta supstanca nanosi se na površinu cijevi kako bi se olakšao kontakt između ultrazvučne sonde i cijevi tokom mjerenja debljine stijenke.

Neke od njegovih značajka su:

- omogućava bolji prijenos ultrazvučnih valova između sonde i stijenke cijevi
- pomaže smanjiti refleksiju ultrazvučnih valova na površini cijevi
- obično je bez mirisa, bezbojan i niskotoksičan



- lako se uklanja s površine cijevi

Na slici 4.6.3. prikazan je Ultragel II.



*Slika 4.6.3 Ultragel II*

#### **4.7. Postupak i rezultati**

Prije početka mjerenja odrađena je kalibracija ultrazvučnog uređaja kako bi se osigurala točnost rezultata. Kalibracija se odvija pomoću stepenastog etalona poznatih debljina tako što se na sondu nanese gel i drži se okomito na površinu prvog koraka etalona. Nakon što se ultrazvučnim uređajem izmjeri debljina na prvom koraku, izmjerena vrijednost uspoređuje se sa poznatom debljinom tog koraka. Ovaj postupak ponavlja se za svaki korak etalona i ako postoje odstupanja prilagode se parametri uređaja kako bi se dobilo točnije mjerenje.

Zatim se površina cijevi očisti od prljavštine, hrđe ili drugih nečistoća koje bi mogle ometati kvalitetu mjerenja. Nanese se gel na površinu cijevi. Gel je potreban kako bi se osigurao dobar kontakt između sonde i površine cijevi te kako bi se smanjio zrak između sonde i cijevi, što može uzrokovati pogreške u mjerenju. Ultrazvučna sonda postavi se na odabrano mjesto na cijevi te se drži okomito na površinu cijevi kako bi se osiguralo točno i precizno mjerenje. Zatim slijedi aktivacija uređaja i započinje se s mjerenjem.

Ultrazvučnim mjerenjem debljine cijevi dobiven je jednak rezultat po cijeloj cijevi koji iznosi 4.3 mm. Zbog sigurnosti, napravljena je i provjera debljine s pomičnim mjerilom te se rezultati podudaraju.

Na slici 4.7. prikazan je rezultat mjerenja debljine cijevi ultrazvukom.



*Slika 4.7.1 Rezultat mjerenja debljine cijevi ultrazvukom*

## 5. ZAKLJUČAK

Ispitivanje materijala bez razaranja predstavlja ključnu ulogu u otkrivanju skrivenih defekata, procjeni integriteta materijala i komponenata, te osiguravanju kvalitete proizvoda. Glavne tehnike, uključujući ultrazvučno ispitivanje, radiografsko ispitivanje, penetrantno ispitivanje, ispitivanje magnetskim česticama i termografiju, pružaju precizne i pouzdane informacije bez uzrokovane trajne štete na materijalima.

Ultrazvučno ispitivanje je ključno sredstvo za neinvazivno ispitivanje materijala, komponenata i tkiva bez potrebe za uništavanjem ili ozbiljnim invazivnim postupcima. Navedeni su osnovni principi ultrazvučnog ispitivanja, uključujući generaciju i prijenos ultrazvučnih valova. Naglašena je važnost stručnosti operatera i pravilne kalibracije opreme kako bi se osigurala preciznost i točnost mjerenja debljine, identifikacija defekata i procjena karakteristika materijala.

Ultrazvučna metoda za ispitivanje debljine cijevi korisna je i brza tehnika koja omogućuje mjerenje debljine materijala bez potrebe za rastavljanjem ili oštećenjem cijevi. Ova tehnika koristi valove koji prolaze kroz materijal cijevi i odbijaju se od njezinih vanjskih površina što omogućuje precizno mjerenje debljine stijenke cijevi. Ultrazvučno mjerenje debljine cijevi se koristi u različitim sektorima kao što su naftna i plinska industrija, energetika, rafinerije, pomorstvo i mnogi drugi. Ova široka primjena potvrđuje koliko je ovaj postupak vrijedan i pouzdan u industrijskim postrojenjima. Prednosti ove tehnike uključuju točnost, mogućnost mjerenja u stvarnom vremenu i jednostavnost korištenja. Osim toga, omogućuje otkrivanje korozije što je ključno za održavanje i sigurnost cijevi. Međutim, kao i svaka druga metoda, ultrazvučno ispitivanje debljine cijevi ima svoje zahtjeve, a to je da obučeni stručnjaci provode mjerenja i ispravno tumače rezultate kao potencijalne poteškoće u mjerenju debljine cijevi, s hrapavim ili nepravilnim površinama.

## LITERATURA

- [1] Bridgman, R.S. : „Ultrasonic testing of materials“
- [2] <https://www.nde-ed.org/>
- [3] <https://www.olympus-ims.com/>
- [4] <https://www.asnt.org/>
- [5] Mihaljević, M. : „Princip ultrazvučne metode nerazornog ispitivanja“
- [6] Thompson, Donald : „Handbook of ultrasonic testing“
- [7] Krautkrämer, Josef, Herbert : „Ultrasonic testing of materials“ , Berlin, 1990.
- [8] <https://www.twi-global.com/>



## POPIS SLIKA

Slika 2.1.1 Vizualni pregled .....	3
Slika 2.3.1 Silnice magnetskog polja u nailaženju na pukotinu .....	5
Slika 2.3.2 Postupak penetrantnog ispitivanja .....	7
Slika 2.3.3 Ultrazvučno ispitivanje .....	7
Slika 2.3.4 Postupak radiografskog ispitivanja .....	9
Slika 3.2.1 Valovi različitih frekvencija .....	13
Slika 3.2.2 Grafički prikaz vala .....	14
Slika 4.2.1 Ultrazvučni mjerač debljine .....	22
Slika 4.2.2 Ulazna sonda .....	24
Slika 4.2.3 Etaloni za ultrazvučno ispitivanje .....	26
Slika 4.4.1 Primjer unutarnje korozije cijevi .....	33
Slika 4.5.1 Ispitivana cijev .....	34
Slika 4.6.1 Ultrazvučni uređaj General Electric DM4 .....	35
Slika 4.6.2 Ultrazvučna sonda General Electric DA 401 .....	36
Slika 4.6.3 Ultragel II .....	37
Slika 4.7.1 Rezultat mjerenja debljine cijevi ultrazvukom .....	38

## SAŽETAK

Ovim se završnim radom detaljno se istražila tema ispitivanja debljine cijevi ultrazvukom. Na početku navedene su te opisane razne metode ispitivanja. Nadalje, u radu se posvećuje ultrazvuku i ultrazvučnoj metodi. Navedeni su principi rada, instrumentacija i primjena te se ističu prednosti i nedostaci metode kao i rizici. Naposljetku, slijedi eksperimentalni dio rada gdje se ispitala debljina cijevi ultrazvukom.

Ključne riječi: ultrazvuk, ultrazvučno ispitivanje, debljina cijevi

## **SUMMARY**

With this final work, the topic of testing pipe thickness by ultrasound was investigated in detail. At the beginning, various test methods are listed and described. Furthermore, the work focuses on ultrasound and the ultrasound method. The working principles, instrumentation and application are listed, and the advantages and disadvantages of the method as well as the risks are highlighted. Finally, the experimental part of the work follows, where the thickness of the pipe was tested using ultrasound.

Key words: ultrasound, ultrasound examination, pipe thickness