

ISPITIVANJE MATERIJALA PRI REMONTU INDUSTRIJSKOG POSTROJENJA

Hrvatin, Josip

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:190:905497>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-01**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Sveučilišni prijediplomski studij strojarstva

Završni rad

ISPITIVANJE MATERIJALA PRI REMONTU

INDUSTRIJSKOG POSTROJENJA

Mentor: Doc. dr. sc. Matej Fonović

Rijeka, ožujak 2024.

Josip Hrvatin

0069035189

Rijeka, 22. veljače 2023.

Zavod: **Zavod za inženjerstvo materijala**
Predmet: **Materijali II**
Grana: **2.11.03 proizvodno strojarstvo**

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: **Josip Hrvatin (0069035189)**
Studij: Sveučilišni prijediplomski studij strojarstva

Zadatak: **Ispitivanje materijala pri remontu industrijskog postrojenja / Materials testing during the overhaul of an industrial plant**

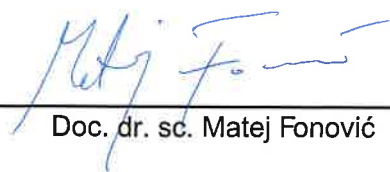
Opis zadatka:

U radu je potrebno opisati metode ispitivanja materijala koje se koriste u analizi stanja industrijskog postrojenja pri remontu. Za konkretno industrijsko postrojenje potrebno je predložiti program ispitivanja materijala u ocjeni stanja industrijskog postrojenja prije remonta, a također potrebno je postaviti program ispitivanja materijala nakon obavljenog remonta. Pri postavljanju programa potrebno je voditi računa o mogućnostima pojedinih metoda ispitivanja materijala te o ekonomskoj opravdanosti primjene pojedinih metoda. Na temelju analize dobivenih rezultata potrebno je 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:



Doc. dr. sc. Matej Fonović

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:



Izv. prof. dr. sc. Samir Žic

IZJAVA

Sukladno članku 11. Pravilnika o završnom radu i završnom ispitu na Sveučilišnom prijediplomskom studiju i stručnom studiju Tehničkog fakulteta, Sveučilišta u Rijeci, izjavljujem da sam samostalno izradio završni rad u razdoblju od 20. ožujka 2023. do 1. ožujka 2024. Završni rad sam izradio prema zadatku Povjerenstva za završne ispite Sveučilišnog prijediplomskog studija strojarstva iz kolegija Materijali II pod vodstvom i uputama mentora Doc. dr. sc. Mateja Fonovića.

Zadatak je zadan 22.02.2023.

Rijeka, ožujak 2024.



Iosip Hrvatin

0069035189

Zahvaljujem se mentoru Doc. dr. sc. Mateju Fonoviću na podršci, pomoći i savjetima, te korisnim diskusijama pri oblikovanju i realizaciji ovog završnog rada.

Također se zahvaljujem supruzi na poticajima i strpljenju pri oblikovanju i izradi ovog završnog rada.

Ovaj završni rad posvećujem svojim roditeljima, supruzi i djeci!

SADRŽAJ

1. UVOD	6
2. VRSTE ISPITIVANJA MATERIJALA	7
3. PODJELA NERAZORNIH ISPITIVANJA.....	8
3.1. Vizualna kontrola (VK)	8
3.2. Laserska interferometrija – Optička holografija.....	9
3.3. Zvučna i ultrazvučna kontrola	10
3.3.1. Akustička emisija	10
3.4. Ultrazvučna kontrola (UK).....	10
3.4.1. Fizika ultrazvuka	11
3.4.2. Generiranje ultrazvuka	12
3.4.3. Vrste ultrazvučnih valova	15
3.4.4. Superponiranje ili interferencija valova.....	18
3.4.5. Osnovni akustički parametri.....	18
3.5. Elektromagnetska kontrola (MK)	21
3.6. Radiografska ili gamagrafska kontrola (RK).....	22
3.7. Penetrantska kontrola (PK).....	24
4. ISPITIVANJE ZAVARENIH SPOJEVA KRANSKE DIZALICE U POGONU VETROPACK STRAŽA TIP EMDK – 4 t × 22,4 m.....	26
5. ZAKLJUČAK	27
6. LITERATURA.....	28
I. POPIS OZNAKA I KRATICA	29
II. POPIS SLIKA I TABLICA	30
SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI.....	31
SUMMARY AND KEYWORDS	32
PRILOG A.....	33
Izvještaj vizualne kontrole.....	34
Izvještaj magnetske kontrole	36
Izvještaj ultrazvučne kontrole.....	37

1. UVOD

Metal je još od davnina imao važnu ulogu u životu čovjeka. Zbog njegovih dobrih fizikalnih i mehaničkih svojstava, poput težine, elastičnosti, tvrdoće i čvrstoće, ljudi su metal koristili za izradu oruđa, oružja, nakita, ali koristili su ga i kao opremu za izradu nemetalnih predmeta te su kroz povijest nalazili razne načine obrade metala kako bi poboljšali njegova svojstva. [1,2]

Jedan od najvažnijih postupaka obrade metala današnjice je zavarivanje. Njime se omogućava spajanje metala na nevjerovatno čvrste načine i otvara se mogućnost šire primjene metalnih materijala. Sam proces je u teoriji lagano opisati, ali u praksi postoje razni čimbenici, npr. površinska hrapavost, nečistoće, razlika u svojstvima materijala koji se spajaju itd., koji utječu na kvalitetu zavarenih spojeva. [1]

Materijal, koji se koristi u procesu zavarivanja, već u startu može imati grešku u svojoj kristalnoj rešetci, npr. dislokacija, a prilikom zavarivanja mogu se pojaviti dodatne ili se mogu pogoršati već postojeće greške. Kako bi zavarene konstrukcije, poput mostova, dizalica i sl., izdržale naprezanja kojima su izložene, vrlo je važno ispitati zavarene spojeve i na taj način pronaći i ukloniti greške te procijeniti koliko su one ozbiljne i opasne. [3]

Vrste ispitivanja zavarenih spojeva mogu se podijeliti u dvije kategorije, ispitivanje za utvrđivanje svojstava materijala i ispitivanja za određivanje integriteta materijala. U ispitivanju prve kategorije se provode metode razornog tipa na uzorcima koji se oštećuju ili lome u procesu ispitivanja. Ispitivanja druge kategorije se koriste za otkrivanje prisutnosti unutrašnjih ili površinskih pogrešaka u materijalu, komponenti ili gotovom proizvodu. Ta ispitivanja su nerazorne prirode. Za relevantnost rezultata ispitivanja razvijene su norme koje detaljno opisuju postupak za svaku vrstu ispitivanja. [4]

Materijali koji se ugrađuju u nova postrojenja također moraju zadovoljiti određene kriterije: mora se utvrditi valjanost certifikata proizvođača, navedenih kemijskih i mehaničkih svojstava te broja šarže isporučenog materijala, mora se izvršiti kontrola materijala na dvoslojnost metodom prozvučavanja i dimenzionalna kontrola. [5, 6]

Kontrola kvalitete zavarenih spojeva u postrojenjima se vrši u tri faze: prije, tijekom i nakon završenog zavarivanja. Kontrola prije početka zavarivanja obuhvaća kontrolu osnovnog i dodatnog materijala, tehnološki redoslijed zavarivanja u skladu sa tehnologijom zavarivanja, kontrolu postupka zavarivanja, zavarivača, uređaja i opreme za zavarivanje, kontrolu temperature predgrijavanja osnovnog materijala, utjecaj okoline i na okolinu u kojoj se vrši zavarivanje. [6, 7]

Prilikom kontrole tijekom zavarivanja potrebno je izvršiti kontrolu pripoja, odnosno pripreme žljeba, kontrolu postupka zavarivanja i dodatnog materijala, kontrolu redoslijeda parametara i ostalih uvjeta zavarivanja te kontrolu zavarivanja posebnih detalja. [6, 7]

Za kontrolu nakon zavarivanja koriste se vizualna kontrola stanja površine u zoni zavarenog spoja i zoni utjecaja topline, kontrola završne površinske obrade zavarenog spoja, kontrola kvalitete zavarenog spoja metodama bez razaranja, mjerenje ukupne deformacije te ispitivanje uzoraka uzetih u zoni zavarenog spoja metodama sa razaranjem. [6,7]

Tema ovog završnog rada je ispitivanje materijala pri remontu industrijskog postrojenja u skladu s postojećim i važećim normama, te izrada programa ispitivanja materijala u smislu ocjene stanja samog postrojenja prije i nakon obavljenog remonta.

2. VRSTE ISPITIVANJA MATERIJALA

Tijekom ispitivanja u proizvodnji i u remontu postrojenja koriste se dvije vrste kontrole: kontrola s razaranjem (KSR) i kontrola bez razaranja (KBR).

Kontrolom s razaranjem (KSR) ispituje se čvrstoća, dinamička izdržljivost, udarna radnja loma, kemijski sastav itd. KSR metode su dobro poznate i normirane, većina metoda daje kvantitativni rezultat te se većinom dobiju izravni rezultati. Te metode se rijetko mogu primijeniti tijekom eksploatacije objekta ili postrojenja, zahtijevaju pripremu uzoraka, što povećava cijenu proizvoda te se ispitivanje provodi na uzorku, čime se javlja problem reprezentativnosti uzorka. [6]

Kontrola bez razaranja (KBR) se temelji na mjerenju fizikalnih svojstava te procjeni stanja u materijalu, kao što su unutarnja naprezanja, tvrdoća, itd. Njome se utvrđuje kvaliteta ili vrsta materijala. Također se koristi i u mjerenju oblika i dimenzija kada nije potrebna visoka točnost, kada je nedostupno klasično mjerenje i radi procjene kvalitete antikorozijske zaštite (AKZ) ili ocjene korozivskih, erozivskih, te drugih vrsta oštećenja koja mogu nastati tijekom eksploatacije postrojenja ili konstrukcije. Metode KBR-a uspješno otkrivaju pogreške u vrlo širokom spektru materijala i proizvoda, pa se primjena trajno širi, a u posljednje vrijeme se neke metode KSR uspješno zamjenjuju metodama KBR. Prilikom KBR se ispitivanja mogu provoditi direktno na materijalu, proizvodu ili konstrukciji, moguće je u većini geometrijskih oblika provoditi 100% kontrolu, moguće je ispitivanje s više metoda postupno na objektu, moguće je provoditi kontrolu objekta u eksploataciji, često puta i bez zaustavljanja proizvodnje, moguće je pratiti učinke pogrešaka kumulativno ili općenito utjecaj radnih uvjeta na stanje objekta, može se pratiti pojava i širenje loma, oprema je u većini KBR metoda prijenosna i/ili prijevozna, te je olakšan rad na terenu. Nedostaci KBR metoda su indirektna mjerenja, pri pojedinim metodama je potrebno pojačati zaštitu na radu te za sada nema domaćih proizvođača opreme. [6]

3. PODJELA NERAZORNIH ISPITIVANJA

Zbog široke mogućnosti primjene nerazornih metoda ispitivanja, razvijen je znatan broj različitih metoda i tehnika. One se mogu podijeliti na:

1. Optičke metode,
2. Zvučne i ultrazvučne metode (UK)
3. Elektro i/ili magnetske metode (EK)
4. Radijacijske metode (RK)
5. Penetrantske metode (PK)
6. Kapilarne metode
7. Toplinske metode
8. Ostale metode; često kombinacija navedenih.

3.1. Vizualna kontrola (VK) [8]

VK je samostalna kontrola koja se koristi uvijek prethodi ostalim nerazornim kontrolama. Metoda je temeljena na interakciji svjetlosti i površine ispitivanog materijala. Izvor svjetlosti može biti prirodno bijelo svjetlo od Sunca ili umjetno svjetlo. Povećala, endoskopi, boroskopi i druga optička pomagala u kombinaciji s TV kamerom i sustavnom na daljinski prijenos omogućuju uporabu VK i na vizualno nedostupnim mjestima.



Slika 3.1. Boroskop



Slika 3.2. Boroskop veće razlučivosti

VK se najčešće primjenjuje za utvrđivanje pripadnosti i usklađenosti. Tako se provjeravaju identifikacijske oznake te razni drugi podaci o materijalu, postupku proizvodnje i sl. Također se VK koristi za provjeru mjera i dimenzija, otkrivanje tehnoloških pogrešaka na vanjskim i unutarnjim dijelovima objekta, otkrivanje pogrešaka zbog eksploatacije te za utvrđivanje stanja objekta temeljem promjena na površini.

Uočavanje pogreške na materijalu je ovisno o primijenjenom sustavu i osobi koja vrši kontrolu.

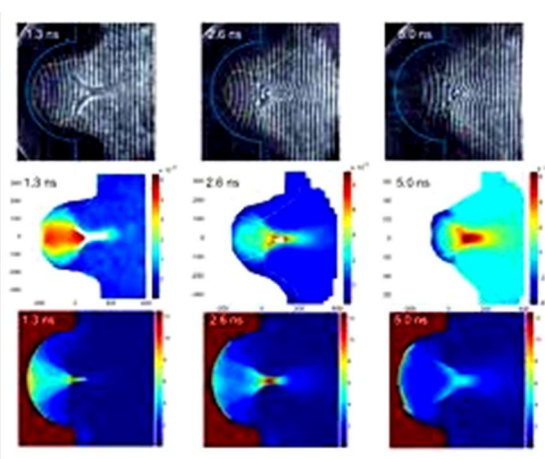
3.2. Laserska interferometrija – optička holografija [9, 10]

Laserska interferometrija (optička holografija) temelji se na stvaranju svjetlosnih valova iz lasera čija je razlika u fazi konstantna (koherentni snop). Jedan snop služi kao referentni snop dok je drugi usmjeren na ispitivani predmet. Refleksijom svjetlosti s površine materijala dobiva se informacija o stanju površine. Interferencijom oba snopa dobiva se hologram, tj. potpuni zapis, na filmu koji je namijenjen hologramskom zapisu ili stvaranjem 3D prikaza osvjetljavanjem laserom. Propuštanjem koherentne svjetlosti kroz hologram dolazi do difrakcije te se time omogućava rekonstrukcija slike u prostoru. Sam hologram sadrži podatke o promjenama na površini, a frekvencija, raspored i širina pruga na hologramu mjere te promjene.

Ova metoda je nekontaktna i to je njena velika prednost jer se može uspješno primijeniti na mjestima na kojima ne postoji mogućnost direktnog pristupa objektu ispitivanja, npr. povišena temperatura površine, opasnost ionizirajućeg zračenja, ispitivanja pod vodom. Još jedna prednost ove metode je da ne zahtjeva nikakvu posebnu pripremu površine. Tako se mogu ispitivati hrapave i tako prljave površine da ne dolazi do refleksije svjetla na površini. Dobiveni rezultati se mogu uspješno snimiti i sačuvati te su korisni za uspoređivanje s početnim stanjem objekta. Ova metoda je također vrlo korisna kod objekata koji vibriraju ili su podvrgnuti impulsnim oštećenjima jer se njome može efikasno pratiti nastanak i razvoj dinamičkih pojava na površini takvih objekata.



Slika 3.3. Laserski interferometar



Slika 3.4. Hologramski snimak

3.3. Zvučna i ultrazvučna kontrola [11]

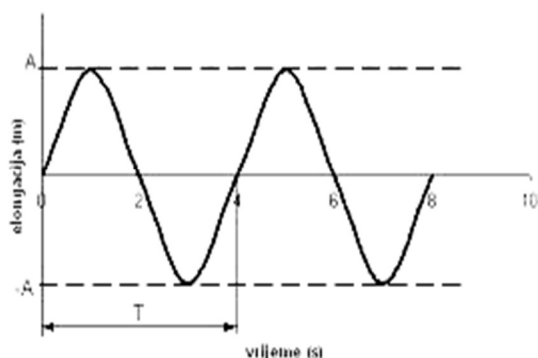
Zvučne i ultrazvučne metode temelje se na elastično-mehaničkim vibracijama koje se u ispitivanom materijalu stvaraju na različite načine ili se unose u materijal. Njihova frekvencija je u rasponu od zvučne do ultrazvučne,

3.3.1. Akustična emisija [11]

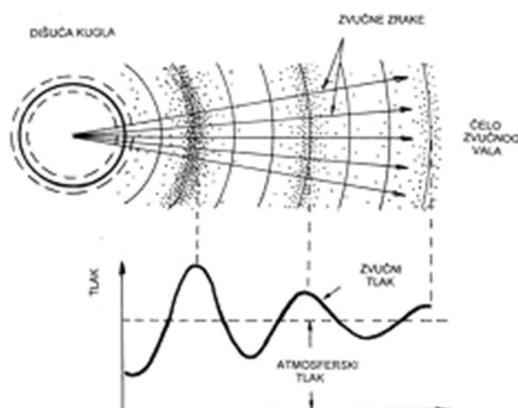
Akustična emisija spada pod zvučne metode, a temelji se na praćenju ponašanja pogreške pri naprezanju. Najčešće se ispitivani objekt podvrgne većem naprezanju od maksimalnog radnog opterećenja, mehaničkim ili toplinskim djelovanjem. Pukotine se u tom slučaju otvaraju zbog vanjskog opterećenja te dolazi do oslobađanja energije elastičnim valovima. Ti valovi se registriju na akustičnom prijemniku čime se dobiva podatak o otpornosti materijala na lom. Također je moguće ustanoviti i položaj greške putem triangulacije. S ovom metodom se može pratiti velika površina, odnosno dio konstrukcije jer je ona visokoosjetljiva.

3.4. Ultrazvučna kontrola (UK) [12-15]

Prozvučavanje materijala kao najraširenija metoda kontrole nepravilnosti, grešaka i diskontinuiteta u materijalu koristi ultrazvučni oscilator kao generator visokofrekventnih zvučnih valova. Da bi bilo moguće unijeti energiju ultrazvučnog vala u ispitivani materijal potrebno je koristiti medij, odnosno kontaktno sredstvo između ultrazvučne sonde i ispitivanog materijala. Kada ultrazvučni valovi prolaze kroz kontaktno sredstvo, oni pobuđuju njegove čestice tako da titraju istom frekvencijom kao i oscilator, ali s različitim fazom. Faza titranja je ovisna o brzini prijenosa titranja i mjesta u promatranom prostoru stanja titranja. Elongacija koja nastaje i napreduje određenom brzinom kroz medij naziva se **progresivni ultrazvučni val**. Mjesto nastanka titranja naziva se **izvor ultrazvuka**. Kada su elongacije čestice koje titraju istom frekvencijom jednake, u ravnini okomitoj na smjer širenja vala, a njihov raspored sinusoidalan, sredstvom se širi **ravni harmonijski val**. Širenje titranja iz jedne točke kružno u prostor naziva se **kuglasti val**.



Slika 3.5. Ravni harmonijski val



Slika 3.6. Kuglasti val

Princip detekcije, odnosno utvrđivanja nepravilnosti, grešaka i diskontinuiteta u materijalu ovom metodom podrazumijeva više parametara koje treba zadovoljiti da bi ova metoda bila pouzdana, a to su:

- osjetljivost metode,
- uvjetna osjetljivost sustava,
- granična osjetljivost,
- ekvivalentna osjetljivost,
- radna osjetljivost.

Osjetljivost metode je definirana najmanjom mogućom izmjerenom veličinom, kada se metoda koristi za mjerenje, ili najmanjom otkrivenom nepravilnošću otkrivenom određenom metodom. Ona definira ograničenu osjetljivosti određene metode ispitivanja.

Uvjetna osjetljivost definirana je parametrima referentnih referentnih pogrešaka izrađenih u etalonima i uzorcima. Ovisi direktno o izboru sustava, jer se za svaki odabrani sustav za ispitivanje ovom metodom mora utvrditi u kolikoj mjeri neki sustav ima uvjete za postizanje potrebne osjetljivosti. Uvjetna osjetljivost manja je ili jednaka osjetljivosti metode.

Granična osjetljivost definirana je kao raspon potrebne osjetljivosti koja je potrebna kako bi se ostvarila raspon potrebne osjetljivosti.

Ekvivalentna osjetljivost definirana je kao mjera osjetljivosti sustava na stvarne pogreške u početnom materijalu ili na standardne u etanolu u slučajevima u kojima ne postoji mogućnost izrade referentnog uzorka. Svrha i cilj je otkrivanje i procjena pogreške u ispitivanom objektu, koje bi bile ekvivalentne po odzivu, pomoću određene metode.

Radna osjetljivost je manja ili jednaka uvjetnoj osjetljivosti, ovisno o uvjetima rada i izboru osjetljivosti, a prisutna je tijekom samog ispitivanja. Radnu osjetljivost potrebno je provjeravati za vrijeme ispitivanja, jer ona izravno utječe na same rezultate, a time i interpretaciju stanja objekta.

Parametri pogreške definiraju osjetljivost, a oni se u razradi postupaka nerazornih ispitivanja preslikavaju u parametre pogodne za odabranu metodu. Tako će se npr. za UK osjetljivost definirati određenom visinom amplitude signala postignutog odjekom ultrazvuka na zadanom referentnom reflektoru. Kod RK/RTG će se izraditi snimka jasno prepoznatljivog etalona i polja zacrnjenja u zadanim granicama, nužnih da bi radiogram postigao svojstvo vrijednosti interpretacije.

Podešenja i provjera osjetljivosti predmet su i temeljne polazne točke svake pojedine KBR metode, odnosno tehniku njene primjene.

3.4.1. Fizika ultrazvuka

Akustika je grana fizike koja proučava pojave nastajanja, prenošenja i primanja zvuka, tj. srodnih titranja u širokom spektru frekvencija i primjene.

Dio akustike koji se bavi teorijskim i praktičnim problemima pretvaranja zvuka, tj. mehaničkog titranja u električko i obrnuto je elektroakustika. Uređaji koji neposredno služe za pretvaranje zvuka zovu se elektroakustički pretvarači. Najčešće se primjenjuju u sklopu drugih uređaja za ispitivanje, mjerenje i dijagnostiku u tehnici, medicini, građevinarstvu i drugdje.

Najjednostavnije titranje, koje može izvoditi materijalna čestica je harmoničko ili sinusoidalno titranje oko položaja ravnoteže. Kod periodičkog titranja tijelo će nakon određenog vremena (T) ponavljati prethodno gibanje. Harmoničko gibanje može se predstaviti slijedećim izrazom:

$$y = A \cos\left(\frac{2\pi}{T} t + \varphi\right) = A \cos(\omega t + \varphi) \quad (3.1)$$

gdje je:

y – pomak od položaja ravnoteže, φ – početni fazni kut,
 A – najveći pomak, amplituda, ω – kružna frekvencija, $\omega = 2\pi f$
 T – period titranja, t – vrijeme.

Umjesto vrijednosti perioda titranja češće se koristi frekvencija: $f = \frac{1}{T}$ [Hz = s⁻¹].

Širenje izmjenične promjene fizičkog stanja u materijalu od mjesta izvora može se čuti kao zvuk, šum ili prasak, što ovisi o pravilnosti titranja. Frekvencija mehaničkih titranja određuje hoće li se taj zvuk čuti ljudskim uhom. Frekvencije se tako dijele prema tablici:

Tablica 3.1. Frekvencije akustičkih titranja

Naziv	Približna frekvencija
Infrazvuk	do 16 Hz
Čujni zvuk	od 16 Hz do 20 kHz
Ultrazvuk	iznad 20 kHz

3.4.2. Generiranje ultrazvuka

Polazna točka koja se koristi za detekciju grešaka u ispitivanom objektu kod ultrazvuka je širenje ultrazvučnih valova isključivo samo u sredstvu. Ultrazvučni valovi na granici sredstva, kao i sve druge vrste valova slijede zakonitost valnog gibanja, pa će zbog toga na granici sredstva, bilo da se radi o stjenki ispitivanog objekta ili granici ispitni materijal – nepravilnost, dolaziti do refleksije ultrazvučnih valova i/ili loma, difrakcije ili druge vrste interakcije sredstva i odaslane ultrazvučne energije.

Za procjenu stanja ispitivanog materijala te određivanje parametra otkrivenih nepravilnosti potrebna je pravilna interpretacija ultrazvučne energije koja se dobiva prozvučavanjem.

Jakost ultrazvučnog polja dijeli se u dvije osnovne grupe:

1. Velike snage do 10 [kW],
 - primjenjuju se kod: čišćenja, zavarivanja, medicinskim terapijama i drugo,
2. Male snage od 0,001 – 1 [W],
 - primjenjuju se kod: kontrola i mjerenja u tehnici, medicinskoj dijagnostici, alarmnih sustava i drugo.

Najčešći i najpoznatiji načini generiranja ultrazvuka su:

1. Piezoelektrični,
2. Magnetostricijski,
3. Mehaničkom pobudom,
4. Toplinskom pobudom,
5. Elektrostatski,
6. Elektrodinamički.

Piezoelektričnim efektom naziva se svojstvo nekog materijala da stvara električni potencijal kada je podvrgnut mehaničkom pritisku, kao i reverzibilnost ovoga svojstva. Prvo svojstvo otkrio je francuski fizičar Pierre Curie 1880. godine, a drugo godinu dana kasnije francuski fizičar Gabriel Lippmann.

Rezanje materijala, koji ima piezoelektrična svojstva, na tanke pločice dobiva se tzv. aktivni materijal pretvarača, koji proizvodi ili registrira prijem ultrazvuka. Ako su piezoelektrični materijali izloženi mehaničkim silama, na površini se stvara napon, što je posljedica promjene strukture među atomima. Taj napon utječe na debljinu pločice pretvarača.

Piezoelektrični materijali mogu se podijeliti u dvije skupine. Prvu skupinu čine prirodni materijali, koji imaju svojstvo pjezometričnosti zbog svoje asimetrije u kristalnoj rešetci. Primjer takvih materijala je kvarc (turmalin), dugo vremena korišten kao jedini materijal u izradi pretvarača. Drugu skupinu čine sintetički pretvarači, polikristalinične piezoelektrične keramike. Njihova piezoelektričnost postiže se polariziranjem pločica po debljini pri čemu je važna podudarnost električnog i elastičnog polja.

Magnetostricijski pretvarači su oni kod kojih dolazi do pojave promjene duljine magnetskog vodiča u magnetskom polju. Veličina promjene je funkcija materijala magnetskog vodiča, geometrije i mogućnosti obrade, te prethodne magnetizacije. Magnetostricijaska deformacija može prouzročiti relativnu promjenu duljine vodiča, reda veličine 10^{-4} mm. Učinak magnetostricije, osim o vrijednosti magnetskog polja, ovisi i o temperaturi. Porastom temperature, magnetostricija se umanjuje, te pri Curievoj temperaturi nestaje. Pojavu magnetostricije moguće je tumačiti pomoću elementarnih magneta u magnetskom vodiču, koji se djelovanjem vanjskog magnetskog polja usmjeravaju, izazivajući deformaciju kristalne rešetke magnetskog vodiča. Mnoštvo takvih mikroskopskih deformacija usmjerenih u jednom pravcu, rezultira u makroskopskom efektu promjene duljine. Magnetostricijski efekt je reverzibilna pojava, pa će deformacija unutar kristalne rešetke uzrokovati promjenu stupnja magnetičnosti.

Dvije su skupine magnetostricijaskih pretvarača i to: metalni i keramički. Prvu skupinu čine nikal i njegove slitine, a u drugu spadaju feritne keramike. Ovi pretvarači proizvode ultrazvuk većih snaga, ali relativno nižih frekvencija (<200 Hz).

Mehanički pretvarači su oni kod kojih udarnim šokom ili pobudom unutar krutog tijela nastaje titranje širokog spektra frekvencija, koje nisu samo u čujnom području. Ovaj spektar ovisi o materijalu, veličini i obliku objekta, kao i o načinu pobude.

Toplinski pretvarači uzrokuju mehanička naprezanja zbog naglog zagrijavanja površine materijala. Zbog tih naprezanja se šire ultrazvučni valovi u okolni materijal, a spektar frekvencija može biti vrlo širok. Izvor topline može biti laser ili elektronski snop. U svojstvu prijema može se koristiti optički laserski interferometar, koji registrira povratni snop ultrazvučnih valova na površinu objekta vizualizacijom valova.

Ovako generiranim ultrazvukom se omogućava beskontaktno ispitivanje čak i sa udaljenosti od nekoliko metara, što je pogodno za daljinsko ispitivanje radioaktivnih materijala i objekata na povišenim temperaturama, bez zaustavljanja procesa proizvodnje ili samog pogona. Nedostatak ove tehnike je složenost opreme i visoka cijena.

Elektrostatski pretvarači koriste djelovanje električne struje između ploča kondenzatora od kojih je jedna ploča fiksna, a druga pomična vibrira zbog promjene napona, pa se tako stvaraju ultrazvučni valovi koji mogu dosegnuti frekvencije čak i do 200 MHz.

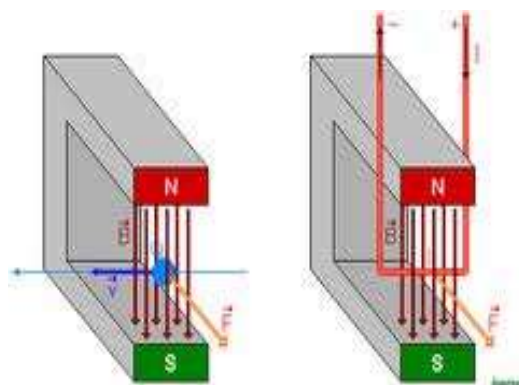
Osnovni nedostatak ove tehnike je mala amplituda titranja. Sonde koje rade na ovom principu su još u fazi razvoja, a do sada su dobiveni dobri rezultati u primjeni kod ispitivanja tehničkih keramika.

Elektrodinamički pretvarači koriste djelovanje izmjeničnog magnetskog polja na za to prikladno oblikovan pokretni vodič u kojem se zbog interakcije tog polja i generiranih vrtložnih struja javlja Lorentzova sila. Lorentzovu silu može izraziti slijedećom jednadžbom:

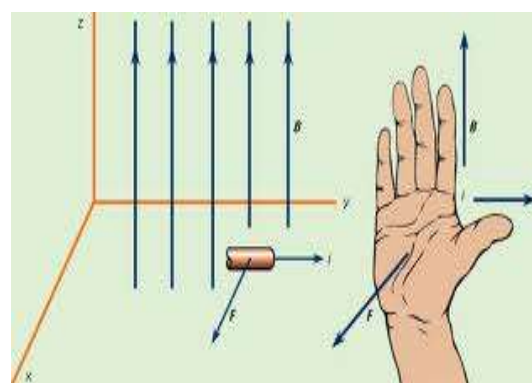
$$\vec{F} = q[\vec{E} + (\vec{v} \times \vec{B})] \quad (3.2)$$

gdje je:

- F – sila [N],
- q – električni naboj čestice [C],
- E – jakost električnog polja [V/m]
- B – jakost magnetskog polja [T]
- v – trenutna brzina čestice [m/s]
- × – vektorski produkt



3.7. Lorentzova sila na vodič u magnetskom polju



Slika 3.8. Pravilo desne ruke

Slika

Namještanjem frekvencije vanjskog magnetskog polja postiže se željena frekvencija tako generiranih ultrazvučnih valova. Prikladnim namotajem zavojnica pri konstrukciji pretvarača, postiže se emisija longitudinalnih ili transverzalnih valova. Isti se princip koristi za prijem ultrazvučnih valova. Sonda prijemnik generira statičko magnetsko polje u ispitnom objektu, a zbog ultrazvučnih valova čestice vibriraju i remete statičnost unutar magnetskog polja, pa se svaka promjena polja registrira u sekundarnoj zavojnici primopredajnika.

3.4.3. Vrste ultrazvučnih valova

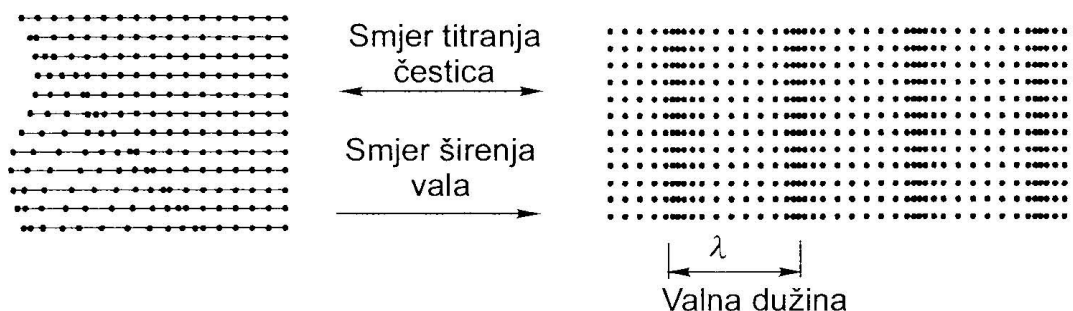
Energija titranja kroz materijal prenosi se ultrazvučnim valovima, a ovisno o vrsti sredstva kroz koje se ta energija prenosi, kao i o vrsti materijala, obliku i dimenzijama, te općenitom stanju ispitivanog materijala, nastat će različite vrste ultrazvučnih valova. Osnovne vrste valova mogu se podijeliti na longitudinalne (uzdužne) valove ili na transverzalne (poprečne valove).

Kako bi nastali longitudinalni i transverzalni valovi u idealnom obliku titranja, potrebno je imati beskonačno sredstvo. U praksi se smatra da su longitudinalni ili transverzalni valovi u sredstvu čije su dimenzije puno veće u odnosu na valnu duljinu ultrazvuka, tj. Beskonačne.

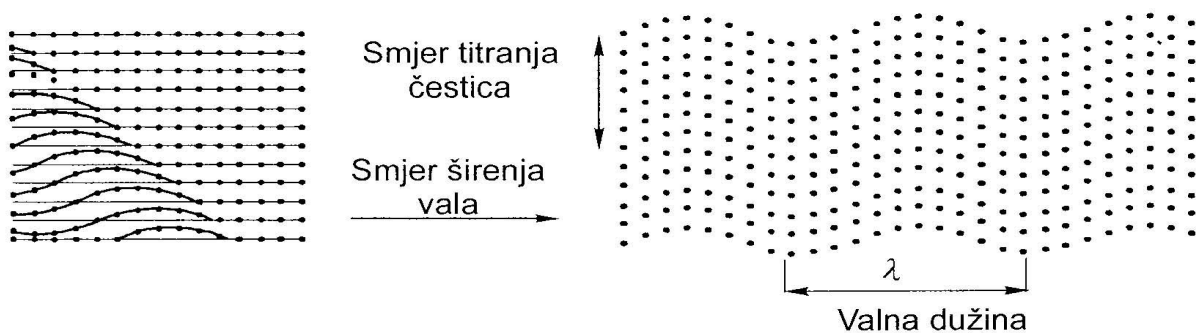
Longitudinalni val - uzdužni val (L-val) jest onaj kod kojega čestice titraju u smjeru širenja vala. Zbog takvoga načina prostiranja kroz sredstvo ovi valovi uzrokuju zgusnuće ili razrjeđenje u samom sredstvu.

Transverzalni val – poprečni val (T-val) jest onaj kod kojega čestice titraju okomito na smjer širenja vala, pa stoga ovi valovi ne uzrokuju zgusnuće ili razrjeđenje u materijalu kroz koji se šire.

Bitna je razlika da se L-val može širiti u sva tri agregatna stanja materije, dok se T-val može širiti samo u krutim sredstvima. Nastajanje L-vala i T-vala prikazano je na donjim slikama. Titranje čestica prikazano je kao prostorni prikaz nizova točkica u različitom trenutku nakon što se titranje proširilo sredstvom. Granice objekta ispitivanja ograničavaju stvaranje i širenje valova u sredstvu. Ako dođe do promjene L-vala u T-val na granici sredstva nakon refleksije, ili obrnuto, dolazi do pretvaranja ili konverzije vala.



Slika 3.9. Nastajanje L-vala, stanje titranja



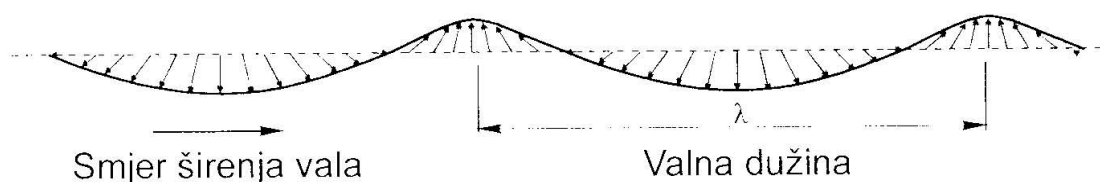
Slika 3.10. Nastajanje T-vala, stanje titranja

Postoji mnogo vrsta valova nastalih kombinacijom longitudinalnog i transverzalnog stanja u sredstvu, ali se za UK najviše primjenjuju sljedeći valovi:

1. Rayleighovi valovi ili R-valovi,
2. Lateralni ili puzajući valovi,
3. Loveovi valovi,
4. Čelni ili P-valovi.

Rayleighovi valovi ili **R-valovi**, slični su valovima na površini vode, iako oni na vodi nisu posljedica elastičnih, već gravitacijskih sila. Čestice titraju longitudinalno i transverzalno, tj. eliptički (u vodi kružno) na slobodnoj površini sredstva, a u ravni koja sadrži smjer gibanja i normalu na površinu.

Slika 3.11. prikazuje nastanak R-vala pri čemu je velika os elipse okomita na površinu, a mala u smjeru širenja vala.



Slika 3.11. Nastajanje R-vala, stanje titranja

Širenje R-vala slijedi smjer površine sredstva. Obzirom da se energija dobro prenosi površinom, a prema unutrašnjosti se titranje brzo prigušuje, na dubini oko $\frac{1}{4}$ valne duljine površinskog vala doći će do pada njegova intenziteta na polovinu vrijednosti, a na dubini jedne valne duljine titranje praktički nestaje. R-valovi mogu imati složeniji način titranja u odnosu na opisani eliptični. Nastanak R-valova postiže se titranjem koje se javlja zbog kontakta između titranja na granici elastične čvrste tvari i tvari sa zanemarivom elastičnom silom među česticama (npr. zrak). Na granici između krutog i tekućeg sredstva se površinski R-valovi mogu zanemariti, osim ako tekuće sredstvo nije tanki sloj, odnosno predstavlja kontaktno sredstvo. Brzina R-vala iznosi oko 90% brzine transverzalnog vala u istom sredstvu.

Lateralni ili **puzajući valovi**, se također šire na granici sredstva, ali im je intenzitet za razliku od R-valova koristan samo kada je granica sredstva u kojem se šire između dva kruta sredstva. Ova se vrsta valova može zanemariti na granici krutog i tekućeg, kao i na granici krutog i plinovitog sredstva. Način titranja je vrlo složen, a valovi se generiraju refleksijom pod kritičnim kutom.

Loveovi valovi, su u osnovi transverzalni po karakteru titranja, samo što je titranje čestica u ravnini paralelno s površinom. U praksi se rjeđe koriste za ispitivanje materijala.

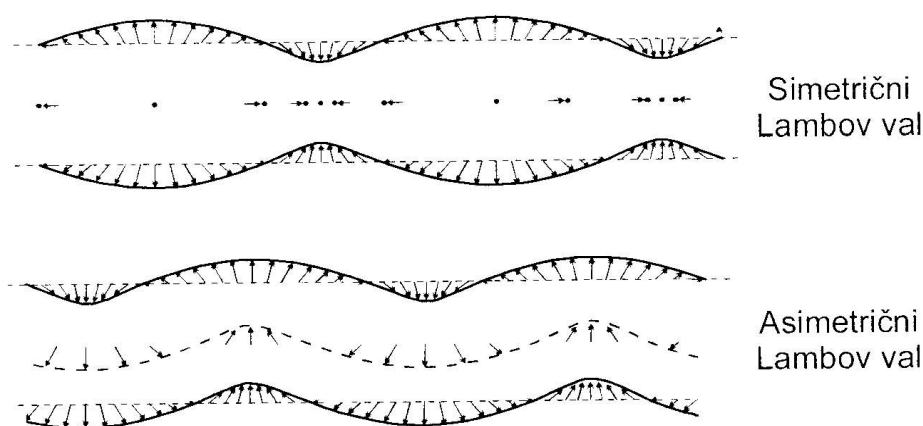
Čelni ili **P-valovi** nastaju zbog kontinuirane konverzije valova, kada val duž slobodne površine putuje većom brzinom od grupne brzine za konkretni val i sredstvo u kojem se širi. P-valovi su transverzalni valovi longitudinalno polarizirani.

Od pločastih valova, za ispitivanje se najviše koriste **Lambovi valovi**, simetrični i/ili asimetrični. Lambovi valovi nastaju kada dimenzije objekta nisu velike u odnosu na valnu duljinu, a naročito kada se jedna od dimenzija smanji na red veličine valne duljine, kao npr. kod limova i ploča ili šipki i žica.

Prema Lambu se valovi dijele na simetrične i asimetrične pločaste valove.

Simetrični val podržava titranje duž centra ploča longitudinalnog karaktera, a na površini eliptično.

Asimetrični val podržava titranje duž centra ploča transverzalnog karaktera, a na površini eliptično.



Slika 3.12. Nastajanje simetričnog i asimetričnog Lambovog vala, stanje titranja

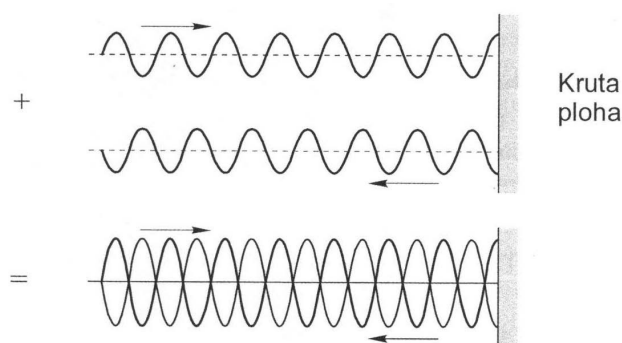
Parametri koji utječu na brzinu pločastih valova su debljina lima ili ploče, frekvencija, vrsta vala i materijal. Različite vrste pločastih valova u čeliku imaju brzine u rasponu od 2000 do 4000 m/s. Pobuđivanje pločastih valova može se postići sondom koja ima mogućnost promjene kuta izlaza ultrazvuka, jer pločasti val nastaje samo kod određenog upadnog kuta upotrijebljene sonde, vrsti materijala i debljini lima u kojem se generira ovakav val.

3.4.4. Superponiranje ili interferencija valova

Interferencija valova je slaganje, odnosno superponiranje dvaju ili više valova kada se sreću u nekoj točki prostora istovremeno.

Uz pretpostavku da se radi o dva vala različitih amplituda, frekvencija i faza, čestica u kojoj se ova dva vala susretnu prisiljena je titrati prema pobudi svakog od njih. Kada amplituda titranja ne doseže granicu elastičnosti, unutar tzv. linearnog područja, gibanje se zbraja vektorski. Tada dva vala prolaze sredstvom "jedan kroz drugoga", a da se pritom frekvencija, amplituda i faza svakog od njih bitno ne mijenja. Uvjet da dođe do interferencije jest koherentnost, tj. skladnost titranja izvora pojedinih valova i to na način da do čestice sredstva stignu valovi iz različitih smjerova, ali iste frekvencije i amplitude, te konstantne razlike u fazi. Ako se u točki sredstva valovi navedenih karakteristika sastanu s razlikom faze doći će poništavanja efekta titranja, dok će u suprotnom doći do izrazitog pojačanja titranja.

Rezultat interferencije može dovesti do specifičnog načina titranja u sredstvu gdje se periodički izmjenjuju mjesta maksimalnog titranja i točke u kojoj se ono poništava, pa se zato formiraju stojni valovi. Čvorovi su mjesta gdje je amplituda vala jednaka nuli, a trbusi su mjesta maksimalne vrijednosti. Stojni val može nastati superpozicijom odašiljačkog i povratnog reflektiranog vala što je čest slučaj u ispitivanju materijala. Slika 3.13. prikazuje način nastajanja stojnog vala zbog interferencije odaslanog i reflektiranog vala na krutoj plohi.



Slika 3.13. Nastajanje stojnog vala, stanje titranja

3.4.5. Osnovni akustični parametri

Za UK su važne fizikalne veličine koje definiraju opremu, tehniku rada i objekt ispitivanja, ali i veličina ultrazvučne energije kojom se proizvodi ispitivanje. Uglavnom su akustičke veličine ovisne o akustičnim svojstvima ispitivanog objekta, a parametri koji utječu na ispitivanje su:

1. Frekvencija ultrazvuka,
2. Brzina ultrazvuka u sredstvu,
3. Impedancija sredstva,
4. Ultrazvučni tlak,
5. Intenzitet ultrazvuka.

Ako u materijalu, koji nije homogen, ili pri promjeni vrste materijala dođe do promjene strukture i metalurškog stanja materijala, može doći do promjene akustičnih svojstava materijala.

Frekvencija ultrazvučnih valova vrlo je važan čimbenik u ispitivanju jer su frekvencija i osjetljivost metode izravno povezane i stoga se ti parametri kontrole moraju pomno odabrati. Prilikom ispitivanja materijala, duljina ultrazvučnih valova u ispitivanom materijalu određena je izborom frekvencije i brzinom ultrazvuka koja je konstanta određenog materijala. Povećanje frekvencije smanjuje valnu duljinu, koja je vezana za osjetljivost metode, i uzrokuje veće prigušenje ultrazvučnih valova u sredstvu. Na taj način se smanjuje područje debljina materijala koje mogu biti ispitane prema tako odabranim parametrima. Isto tako, promjena frekvencije ultrazvučne sonde uzrokuje promjenu oblika. Ultrazvučnom snopakijom se prozvučava objekt ispitivanja, a time i plan skeniranja objekta. U ovoj metodi koristit će se i repeticijska frekvencija koja označava broj signala koji slijede jedan drugog. Repeticijska frekvencija potrebna je kako bi se osiguralo uočavanje signala na oscilogramu

Brzina ultrazvučnih valova ovisna je o vrsti valova, gustoći materijala u kojem se širi, o temperaturi i stanju naprezanja u kojem se materijal nalazi. Ako se uzima u obzir pretpostavka izotropnosti materijala, tj. da materijal ima jednaka fizička svojstva u cijelom volumenu i svim smjerovima, da je neograničen veličinom, tada se brzina ultrazvuka može izračunati pomoću izraza iz tablice 3.2.

Tablica 3.2. Brzina ultrazvuka

Vrsta vala	Sredstvo	Brzina vala u beskonačnom sredstvu
L	tekućina	$v_L = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$ (3.3)
L	kruto	$v_L = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1-\mu}{(1+\mu) \cdot (1-2\mu)}}$ (3.4)
T	kruto	$v_T = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1}{2 \cdot (1+\mu)}} = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$ (3.5)
R	kruto	$v_R = \frac{0,87 + 1,12 \cdot \mu}{1 + \mu} \cdot \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1}{2 \cdot (1+\mu)}}$ (3.6)

gdje je:

E – modul elastičnosti [N/mm²],

G – modul smicanja [GPa],

μ – Poissonov koeficijent,

K – modul kompresibilnosti za tekućine,

ρ – gustoća materijala [kg/m³].

Uzimajući u obzir fizička svojstva materijala, može se izračunati da će brzina L-valova biti gotovo dvostruko veća od brzine T-valova, dok će brzina površinskih R-valova iznositi oko 90% brzine T-valova u istom materijalu. Brzine vala su dane pod pretpostavkom širenja ultrazvuka u beskonačnom prostoru. Iskazane se vrijednosti mogu u praksi koristiti kao okvirne ukoliko je osiguran uvjet dovoljne veličine objekta prema valnoj duljini ultrazvuka.

U anizotropnim materijalima brzina ultrazvuka se može bitno razlikovati u različitim smjerovima, a isto tako na njeno rasprostiranje utjecati će i temperatura, kao i unutarnja i vanjska naprežanja. Najčešći predstavnici takvih materijala koji se susreću u praksi su: bakar, bronca i austenitni čelici. U tablici 3.3. dane su brzine spomenutih valova za često ispitivane materijale pri kojima se koristi ova metoda.

Tablica 3.3. Brzine L , T i R -valova

MATERIJAL	ρ [kg/m ³]	v_L [m/s]	v_T [m/s]	v_R [m/s]
KOVINE				
Aluminij	2700	6320	3130	2800
Bakar	8900	4700	2260	-
Cink	7100	4170	2410	2220
Čelik - ugljični	7800	5850	3230	3000
Čelik - 18/8	8030	5660	3120	3100
Čelik - etaloni V_1 i V_2	7850	5920	3250	-
Duraluminij	2750	6300	3100	2900
Mjed	8900	4660	2260	2120
Olovo	11400	3320	1670	1560
Titan	4540	6320	3180	-
Sivi lijev	7200	4600	2650	-
NEMETALI				
Aluminijev oksid	3600-3950	9000-11000	5500-6500	-
Araldit	1200	2500	1100	-
Bakelit	1400	2590	-	-
Beton	2000	4600	-	-
Tvrda guma	1200	2300	-	-
Pleksiglas	1180	2730	1430	-
Poliamid (nylon) PA	1100	2620	1080	-
Polietilen PE	940	2340	920	-
Polistiren PS	1060	2380	1150	-
Polivinilklorid PVC	1400	2395	1060	-
Porculan	2400	5600	3500	-
Kvarc	2650	5760	-	-
Kvarceno staklo	2600	5570	3515	-
Staklo	3600	4260	2560	-
TEKUĆINE				
Glicerin	1300	1920	-	-
Motorno ulje	870	1740	-	-
Voda	1000	1480	-	-



Slika 3.14. Oprema za izvođenje ultrazvučne kontrole

3.5. Elektromagnetska kontrola (MK) [16]

Elektromagnetska kontrola danas ima široku primjenu zbog svoje relativno niske cijene i jednostavnog postupka, a temelji se na primjeni magnetskih čestica kojima se otkrivaju razne nepravilnosti ili diskontinuiteti na feromagnetskim materijalima kao što su pukotine, zarezi te veći uključci koji su blizu ili uz površinu pregleda.

Primjeri feromagnetskih materijala su feromagnetsko željezo, kobalt i nikal.

MK metoda temelji se na principu magnetske indukcije. Prilikom ispitivanja ovom metodom se nepravilnosti otkrivaju tako da na mjestima gdje dolazi do poremećaja u gustoći magnetskog toka, tj. prekida magnetskih silnica, dolazi do nakupljanja magnetskih čestica na mjestu diskontinuiteta i nepravilnosti postaju vidljive pod UV svjetlom ili na bijeloj kontrastnoj podlozi.



Slika 3.15. Ispitivanje propulzora pod UV svjetlom



Slika 3.16. Ispitivanje zavara na bijeloj kontrastnoj podlozi

Postoji dva načina magnetiziranja ispitivanog materijala. Prvi način je magnetiziranje materijala u stroju za magnetizaciju koji može magnetizirati kružnim i uzdužnim magnetskim poljem, što omogućava protok električnog polja ili magnetsko polje. Drugi način je lokalni. On se izvodi pomoću ručnog jarma ili kontaktnih elektroda, a pri tome moraju smjerovi magnetizacije biti okomiti jedan na drugoga. Odabir tehnike ovisan je o geometriji ispitivanog materijala, vrsti grešaka koje je potrebno otkriti i o raspoloživosti opreme.



Slika 3.17. Oprema za izvođenje elektromagnetske kontrole

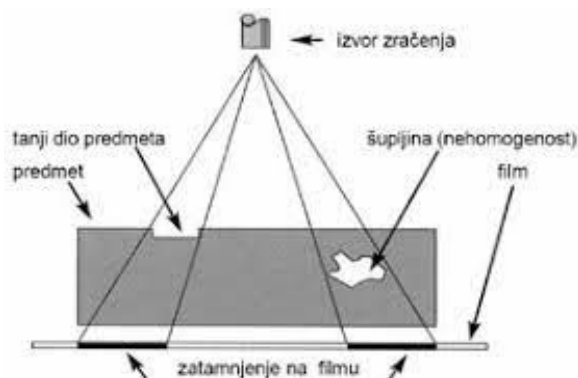
Ova metoda je pouzdana i učinkovita, ima visoku osjetljivost i produktivnost te se lako prenosi ako se koristi ručni jaram ili elektrode.

Slabost ove metode je da može doći do pojave lažnih indikacija, mogu nastati dodatne pogreške (npr. kod neispravne primjene elektroda mogu nastati površinske mikropukotine), metoda se može primjenjivati samo na feromagnetskim materijalima te se može odrediti samo jedna dimenzija greške.

Postupak elektromagnetske kontrole započinje čišćenjem i odmaščivanjem površine. Nakon toga je potrebno izmjeriti jakost magnetskog polja i osvjetljenja. Zatim se nanose fluorescentne magnetne čestice ili bijela kontrastna podloga te se ispituje materijal magnetskim jarmom ili UV lampom. Na kraju se prikazuju rezultati i demagnetizira se materijal ako zaostali magnetizam može dovesti do budućih oštećenja predmeta u korištenju.

3.6. Radiografska ili gamagrafska kontrola (RK) [17]

Radiografska kontrola ili ispitivanje prozračivanjem je metoda radijacijske metode kojom se omogućava praćenje nepravilnosti u strukturi ili kroz presjek ispitivanog materijala na kvalitativnoj i kvantitativnoj razini. Metoda se temelji na zračenju materijala odgovarajućim ionizirajućim zračenjem a rezultat metode je dobiven zbog međudjelovanja zračenja i ispitivanog materijala. Postoji više načina registriranja intenziteta, ovisno o učinku djelovanja zračenja materijala.



Slika 3.18. Princip rada radiografske kontrole



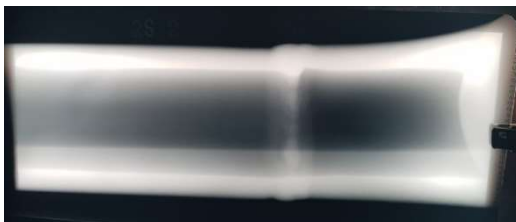
Slika 3.19. Oprema za radiografsku kontrolu

Postoje dvije metode prozračivanja:

1. Radiografija – rendgensko ispitivanje
2. Gamagrafija – ispitivanje radioaktivnim izotopima

Radiografija je metoda kojom se otkrivaju unutarnje greške i nehomogenosti u materijalu primjenom rendgenskih zraka. Ta metoda se najčešće primjenjuje u praksi, a temelji se na registriranju razlike intenziteta ionizirajućeg zračenja koje je prošlo kroz objekt ispitivanja uzrokovane različitom apsorpcijom u pojedinim dijelovima ispitivanog objekta. Prikaz rezultata vidljiv je na radiogramu.

Radiografsko ispitivanje se izvodi postavljanjem ispitnog objekta između rendgenske cijevi i fluorescentnog filma (fotometoda) ili ekrana (metoda vizualnog prozračivanja). U industriji se uglavnom koristi fotometoda pri čemu se svaka nehomogenost u materijalu (pukotine, pore, uključci, itd.) može vidjeti na filmu kao različito zacrnjenje kao što je prikazano na slici 3.20.



Slika 3.20. Sloj pijeska u usisnoj cijevi vodospreme

Radiografskom kontrolom se otkrivaju pogreške zavarenih spojeva, poroznosti, uključaka, troske, neprovarenog korijena, ali se teško otkrivaju pogreške poput pukotina (mogu se otkriti samo one u smjeru zračenja). Prednost ove metode u odnosu na gamagrafiju je mogućnost uključivanja i isključivanja izvora radijacije i njene modifikacije kako bi se postignula brza i točna ispitivanja.

Gamagrafija je metoda kojom se otkrivaju greške i nehomogenosti unutar materijala primjenom radioaktivnih izotopa. Danas su dostupni i umjetni radioaktivni izotopi koji se mogu proizvesti u različitim standardnim dimenzijama i aktivitetima tako da ih defektoskop, uređaj kojim se provodi ispitivanje, registrira.



Slika 3.21. Uređaji za gamagrafsku kontrolu

Radioaktivne gama zrake su zrake malih valnih duljina što im omogućava prodiranje kroz sve materijale. Propuštanje gama zraka kroz materijal ovisi o atomskoj masi materijala. Stoga materijali s malom atomskom masom vrlo dobro propuštaju gama zrake, dok ih materijali s velikom atomskom masom znatno upijaju (apsorbiraju). Osjetljivost radiograma određuje se veličinom najmanje greške koja se može otkriti. Svaka nehomogenost u materijalu pojavljuje se na snimku kao različita gustoća zacrtnjenja, tj. kontrasta sive boje na razvijenoj emulziji filma kao što je prikazano na slici 3.20.

Kako bi se izabrao odgovarajući izvor gama zraka, potrebno je uzeti u obzir vrstu i debljinu ispitivanog uzorka, vrijeme poluraspada radio izotopa, raspoložive aktivnosti te dimenzije radioaktivnih izvora.

RK ima mnogo prednosti pred ostalim NDT metodama: ispitivanje nije uvjetovano magnetskošću metalnih materijala, s RK metodom se mogu ispitati i nemetalni materijali poput kompozita, sve nepravilnosti materijala se nalaze na trajnom zapisu/dokumentu (filmu) čime se omogućava vremenska i stručna odvojenost snimanja i ocjenjivanja te se objekt može naknadno snimiti i usporediti stanje s prethodnim, vrlo je lako naći mjesto pogreške, moguće je snimiti veliku dužinu zavarenog spoja pod određenim uvjetima, mogu se otkriti pogreške veličine 1,5-2% debljine materijala te radiografija pokazuje veću sposobnost detekcije neplanarnih nepravilnosti u odnosu na ultrazvuk.

Iako je RK raširena metoda u praksi, ona ima i svoje mane: ekonomski nije isplativa (visoka početna cijena ulaganja, troškovi izrade radiograma, zaštita od ionizirajućeg zračenja za ispitivača, moguće zaustavljanje pogona iz sigurnosnih razloga), svojstva izvora zračenja ograničavaju debljinu ispitivanog materijala te ispitivani objekt treba biti dostupan s obje strane.

3.7. Penetrantska kontrola [18, 19]

Penetrantska kontrola koristi se za otkrivanja pukotina i diskontinuiteta na površinama krutih i neporoznih tijela. Iako se ta metoda najčešće koristi za ispitivanja metalnih dijelova, može se koristiti i za ispitivanje nemetalnih materijala poput stakla, keramike, gume, plastike itd.

Kontrola ispitivanja penetrantima vrši se prema sljedećim koracima:

1. **Priprema površine** – površina koja se ispituje penetrantima mora biti očišćena i odmašćena jer razne nečistoće (prašina, masti, boje i dr.) mogu nakupljati penetrant ili začepiti postojeću pukotinu.



Slika 3.22. Priprema površine konusa brodskog vratila

2. **Nanošenje penetranta** – na očišćenu površinu nanosi se jednolično penetrant. uklj kistom ili prskanjem kako bi tekućina mogla ući u pukotine. Mogu se nanijeti obojeni penetranti, žarke boje (crvene ili ljubičate) da bi se dobio što bolji kontrast u odnosu na bijelu podlogu razvijaača. Mogu se također nanijeti i fluorescentni penetranti koji daju jaču indikaciju od obojenih penetranta, ali je za njihovo očitavanje potrebno UV svjetlo i zamračenje. Da bi tekućina mogla ući u pukotine, potrebno je osigurati vrijeme penetriranja, koje ovisi o obliku i karakteristikama površine i odabranog penetranta te o temperaturi okoline.



Slika 3.23. Nanošenje penetranta

3. **Uklanjanje viška penetranta** – nakon isteka vremena penetracije, potrebno je pažljivo, ali temeljito ukloniti višak penetranta da se ne ukloni penetrant iz pukotine i da ne bi došlo do smanjenja razlučivosti indikacija. Ako dođe do uklanjanja penetranta iz pukotine, može doći do izostanka indikacije u slučaju da ga razvijatelj ne dosegne.
 Prema metodi kojom uklanjamo penetrant, penetrante možemo podijeliti u tri skupine: vodoperivi penetranti, poslijeemulgirajući penetranti i otapalom odstranjivi penetranti.
 Vodoperivi penetranti ispiru se s površine vodom, koja se uglavnom nanosi štrcaljkom, da ne bi došlo do ispiranja penetranta iz pukotina jačim mlazom vode.
 Poslijeemulgirajući penetrant se s površine uklanja emulgatorom, koji se nanosi kako bi penetrant postao topljiv u vodi te se ispiru vodom. Tako teže dolazi do suvišnog ispiranja penetranta iz pukotine, što se može prije dogoditi kod vodoperivih penetranta.
 Otapalom odstranjivi penetranti uklanjaju se otapalom, uglavnom onim koje se koristi za inicijalno čišćenje površine, ali također treba paziti da ne dođe do ispiranja penetranta iz pukotina.

4. **Nanošenje razvijачa** – na površini na kojoj se penetrant nalazi samo u pukotinama, nanosi se tanki porozni sloj razvijачa koji povlači i širi na površinu penetrant iz pukotina te se dobiva pregledniji rezultat. Kako bi došlo do rezultata, razvijач mora biti pun šupljina i prolaza kao cjevčice te se u njih uvlači penetrant, tzv. kapilarni efekt. Za što bolji kontrast razvijачa i penetranta, za obojene penetrante koristi se bijeli razvijач, a za fluorescentne ne smije biti fluorescentan na UV svjetlu.



Slika 3.24. Nanošenje razvijачa

5. **Pregled indikacija** – za pregled indikacija je potrebno dnevno svjetlo, za obojeni penetrant, ili UV svjetlo, za fluorescentni penetrant. Prilikom evaluacije indikacija potrebno je da je ispitivač iskusan kako bi procijenio koji defekti mogu biti prihvatljivi, a koji zahtjevaju popravak.

Metoda ispitivanja penetrantima je jednostavna, učinkovita, ekonomski jeftina i fleksibilna, može se koristiti u pogonu za ispitivanje, ali i na terenu, ispitati se mogu dijelovi različitih veličina i oblika u različitim granama industrije, a indikacije se javljaju direktno na površini ispitivanog dijela i utjelovljuju vizualni prikaz greške.

Unatoč tome da je ovom metodom moguće lako i brzo detektirati površinske pukotine, metodom se ne može odrediti dimenzija i ostale karakteristike pukotine, a pouzdanost metode uvelike ovisi o ljudskom faktoru prilikom provedbe ispitivanja i pregleda dobivenih indikacija.

4. ISPITIVANJE ZAVARENIH SPOJEVA KRANSKE DIZALICE U POGONU VETROPACK STRAŽA TIP EMDK – 4 t × 22,4 m

Nakon dugogodišnje eksploatacije kranske dizalice u pogonu mješavine stakla tvornice VETROPACK STRAŽA, zatraženo je ispitivanje zavarenih spojeva kranske dizalice sa prijedlogom izbora NDT ili DT metoda kako bi se utvrdilo trenutno stanje dizalice i eventualna potreba za remontnim zahvatima.

Ispitivanje elemenata konstrukcije dizalice DT metodama nisam predložio zbog niže navedenih ekonomskih i terminskih razloga.

Kako je dizalica u cijelosti zaštićena AKZ premazom boje odustao sam od PK ispitivanja jer bi za provedbu istog bilo potrebno odstraniti preveliku količinu zaštitne boje što iziskuje duži vremenski interval, a koju bi po završetku PK ispitivanja bilo potrebno nanijeti u odgovarajućoj i propisanoj debljini sloja, što je u konačnici financijski i terminski neprihvatljivo.

Također, zbog nemogućnosti uzimanja uzoraka iz konstrukcije same dizalice nisam predložio izradu epruveta za ispitivanje prekidne čvrstoće. Sličan problem se pojavio i kod ispitivanja tvrdoće elemenata konstrukcije dizalice, jer bi za to bilo potrebno do metalnog sjaja polirati prevelik broj mjernih pozicija koje bi naknadno bilo potrebno zaštititi AKZ premazom.

Temeljitim pregledom raspoložive dokumentacije i nacрта, te pregledom uvjeta u kojima dizalica radi i terminskim planom proizvodnje same tvornice predložio sam slijedeće NDT metode:

1. VK kompletne konstrukcije dizalice
2. MK svih kutnih i sučeonih zavarenih spojeva konstrukcije dizalice u obimu 100%
3. UK svih sučeonih zavarenih spojeva konstrukcije dizalice u obimu 100%

Pritom će se sve metode kontrole vršiti prema važećim HRN EN ili EN ISO normama. Obzirom da se dizalica nalazila u konstantom pogonu zatražen je interval u kojem će ista biti upotpunom mirovanju kako bi se kontrolni zahvati mogli obaviti na siguran i nesmetan način.

Pregled zavarenih spojeva dizalice predloženim metodama izvršen je po odobrenju Uprave tvornice iz pokretne autokošare sa kompletnom umjerenom opremom tvrtke ZAVAR d.o.o. i uz stručnu pomoć i asistenciju njihovog osoblja.

Rezultati i izvješća o izvršenim kontrolnim postupcima nalaze se u prilogu ovog završnog rada.

5. ZAKLJUČAK

Nakon izvršenih kontrolnih postupaka VK, MK i UK metodama zaključio sam da nije došlo do pojave pukotina u zavarenim spojevima dizalice, kao niti znatnije korozije na gornjem dijelu krana gdje su smješteni pogonski elektromotori i oprema dizalice.

VK metodom nije uočeno pucanje AKZ premaza na pozicijama zavarenih spojeva. Uočena pojedinačna mjesta lokalne korozije potrebno je očistiti i zaštititi AKZ premazom boje u odgovarajućoj i propisanoj debljini sloja čemu se odmah i pristupilo.

MK metoda nije pokazala pojavu pukotina ili diskontinuitete u zavarenim spojevima kao niti u zoni utjecaja topline.

UK metoda izvršena je sa dvije sonde različitih kuteva zbog bolje interpretacije eventualnih diskontinuiteta u zavarenim spojevima dizalice. Na jednom zavarenom spoju dizalice pronađen je uključak troske zaostao iz samog procesa proizvodnje, te se kao takav neće vaditi jer je u granicama dopuštenih nepravilnosti sukladno normi HRN EN 5817 – klasa B.

Na kraju mogu konstatirati da su zavareni spojevi kranske dizalice u prihvatljivom stanju te se ista može nastaviti koristiti bez potrebe intervencije na reparaturi istih.

6. LITERATURA

1. Farnsworth, S., R., *Welding for dummies*, Wiley Publishing, Inc., 2010.
2. Franz, M., *Mehanička svojstva materijala*, FSB, Zagreb, 2009.
3. Internacional Atomic Energy Agency: "Guidebook for the Fabrication of Non-Destructive Testing (NDT) Test Specimens", IAEA, Vienna, 2001
4. Vernon, J.: "Testing of materials", Macmillan Education, London, 1992
5. Kondić, Ž.: *Statistička kontrola kvalitete*, Veleučilište u Varaždinu, Varaždin, 2013
6. Kondić, Ž.: *Kvaliteta i ISO 9000 – primjena*; Studija, Tiva, Varaždin, 2002
7. CEN: HRN EN ISO 3834-2: *Zahtjevi za kvalitetu zavarivanja taljenjem metalnih materijala – 2. dio: Sveobuhvatni zahtjevi za kvalitetu*; Drugo izdanje, Brussels, listopad 2012
8. V. Krstelj: *Vizualna kontrola*, Hrvatsko društvo za kontrolu bez razaranja, Zagreb, 1998
9. S. Ristić: *Holografija i njena primjena u vizualizaciji strujanja*, VGT br..6., 1989
10. C.M. Vest: *Holographic, Interferometry*, Springer-Verlag, New York, 1980
11. B. Sladojević: *Ispitivanje materijala ultrazvukom*, Institut „Kirilo Savić“, Beograd, 1977
12. M. Šipek, *Seminar ultrazvoka*, Institut za varilstvo, Ljubljana, Slovenija, 1994
13. V. Krstelj, *Ultrazvučna kontrola*, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2003
14. J. Krautkramer, H. Krautkramer, *Ultrasonic Testing of Materials*, fourth edition, Springer-Verlag, New York, 1990
15. Grupa autora, *Controllo ultrasonoro*, Istituto Italiano della Saldatura, Genova, Italia, 2006
16. Grupa autora, *Controllo con particelle magnetiche*, Istituto Italiano della Saldatura, Genova, Italia, 2004
17. G. Magistrali, *Radiografia industriale*, AIPnD, Brescia, Italia, 2008
18. V.Krstelj, A. Lypolt, *Penetrantska kontrola*, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2005
19. Grupa autora, *Controllo con liquidi penetranti*, Istituto Italiano della Saldatura, Genova, Italia, 2004

I. POPIS OZNAKA I KRATICA

<u>Oznaka</u>	<u>Mjerna jedinica</u>	<u>Naziv</u>
KSR	-	- kontrola sa razaranjem
KBR	-	- kontrola bez razaranja
AKZ	-	- antikorozijska zaštita
UK	-	- ultrazvučna kontrola
EK	-	- elektromagnetska kontrola
RK	-	- radiografska kontrola
PK	-	- penetrantska kontrola
VK	-	- vizualna kontrola
f	Hz	- frekvencija
t	s	- vrijeme
T	s	- period titranja
ω	Hz	- kružna frekvencija
A	m	- amplituda
y	m	- pomak od položaja ravnoteže
F	N	- sila
q	C	- električni naboj čestice
E	V/m	- jakost električnog polja
B	T	- jakost magnetskog polja
v	m/s	- trenutna brzina čestice
L-val	-	- longitudinalni val
T-val	-	- transverzalni val
R-val	-	- Rayleighov val
P-val	-	- čelni val
E	N/mm ²	- modul elastičnosti
G	GPa	- modul smicanja
μ	-	- Poissonov koeficijent,
K	-	- modul kompresibilnosti za tekućine
ρ	kg/m ³	- gustoća materijala
NDT	-	- Non Destructive Testing
DT	-	- Destructive Testing

II. POPIS SLIKA I TABLICA

<u>Broj slike</u>	<u>Naziv slike</u>	<u>Stranica</u>
Slika 3.1.	Boroskop	11
Slika 3.2.	Boroskop veće razlučivosti	11
Slika 3.3.	Laserski interferometar	13
Slika 3.4.	Holografski snimak	13
Slika 3.5.	Ravni harmonijski val	14
Slika 3.6.	Kuglasti val	14
Slika 3.7.	Lorentzova sila na vodič u magnetskom polju	18
Slika 3.8.	Pravilo desne ruke	18
Slika 3.9.	Nastajanje L-vala, stanje titranja	19
Slika 3.10.	Nastajanje T-vala, stanje titranja	19
Slika 3.11.	Nastajanje LR-vala, stanje titranja	20
Slika 3.12.	Nastajanje simetričnog i asimetričnog Lambovog vala, stanje titranja	21
Slika 3.13.	Nastajanje stojnog vala, stanje titranja	22
Slika 3.14.	Oprema za izvođenje ultrazvučne kontrole	25
Slika 3.15.	Ispitivanje propulzora pod UV svjetlom	25
Slika 3.16.	Ispitivanje zavara na bijeloj kontrastnoj podlozi	25
Slika 3.17.	Oprema za izvođenje elektromagnetske kontrole	26
Slika 3.18.	Princip rada radiografske kontrole	27
Slika 3.19.	Oprema za radiografsku kontrolu	27
Slika 3.20.	Sloj pijeska u usisnoj cijevi vodospreme	27
Slika 3.21.	Uređaji za gamagrafsku kontrolu	28
Slika 3.22.	Priprema površine konusa broskog vratila	29
Slika 3.23.	Nanošenje penetranta	30
Slika 3.24.	Nanošenje razvijачa	31

<u>Broj slike</u>	<u>Naziv slike</u>	<u>Stranica</u>
Tablica 3.1.	Frekvencije akustičnih titranja	16
Tablica 3.2.	Brzina ultrazvuka	23
Tablica 3.3.	Brzine L, T i R-valova	24

7. SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI

U ovom završnom radu obrađene su metode ispitivanja zavarenih spojeva bez razaranja na konkretnom primjeru procjene stanja kranske dizalice u tvornici stakla.

U prvome dijelu rada opisane su opće metode ispitivanja zavarenih spojeva, njihove značajke i osnovna načela. Drugi dio rada opisuje odabir metoda ispitivanja na temelju procjene stanja, utjecaja na okolinu i financijske efekte koristeći opisane metode. Završni dio opisuje korištene metode ispitivanja zavarenih spojeva koji garantiraju, u dovoljnoj mjeri, nužne informacije za procjenu stanja zavarenih spojeva kranske dizalice.

Ključne riječi:

Zavareni spojevi, Metode ispitivanja zavarenih spojeva, Vizualna kontrola zavarenih spojeva, Magnetska kontrola zavarenih spojeva, Ultrazvučna kontrola zavarenih spojeva, Kontrola bez razaranja.

SUMMARY AND KEYWORDS

In this thesis, methods of Non-destructive Testing of welded joints are discussed on the concrete example of assessing the condition of a glass factory bridge crane.

In the first part of the work, the general methods of welded joints testing, their features and basic principles are described. The second part of this thesis describes the selection of test methods based on the assessment of the condition, impact on the environment and financial effects using the described methods. The final part describes the used welding test methods that guarantee, to a sufficient extent, the necessary information for assessing the condition of the crane's welded joints.

Keywords:

Welded joints, Test methods of welded joints, Visual inspection of welded joints, Magnetic inspection of welded joints, Ultrasonic inspection of welded joints, Non-destructive testing.

PRILOG A

1. Izvještaj vizualne kontrole broj 1-2023
2. Izvještaj magnetske kontrole broj 2-2023
3. Izvještaj ultrazvučne kontrole broj 3-2023



"ZAVAR" d.o.o. ZA TEHNOLOGIJU I KONTROLU ZAVARIVANJA
"ZAVAR" WELDING TECHNOLOGY AND SUPERVISING ENTERPRISE Ltd.
Krč 61, 51500 Krk, Croatia Tel : +385 98 257 098 e-mail: info@zavar.hr

VIZUALNA KONTROLA
IZVJEŠTAJ BROJ :
VISUAL TEST ~ REPORT No. :

1-2023

OBJEKT : OBJECT :	VETROPACK STRAŽA KRANSKA DIZALICA EMDK 4t × 22,4 m	NACRT : DWG :	1797-00-00 i 1797-01-00
		DATUM : DATE :	09/06/2023
NARUČITELJ : CUSTOMER :	FALCON ELECTRONIC d.o.o. Slavonski Brod	NARUDŽBA BROJ : PURCH. ORDER No. :	086-9-23
MJESTO ISPITIVANJA : PLACE OF EXAMINATION :	VETROPACK STRAŽA - MJEŠAONA	R.N. : JOB No. :	047 / 23
OBLIK UZORKA : FORM PRODUCT :	Zavaren	SKUPINA-OSNOVNI MATERIJAL : BASE MATERIAL :	Čelik
KVALITETA : QUALITY :	~	VRSTA SPOJEVA : TYPE OF JOINTS :	Sučeonni i kutni
		DEBLJINA : THICKNESS :	8,0 ~ 10,0 [mm]
TERMIČKA OBRADA : THERMIC TREATMENT :	Ne	STANJE POVRŠINE : SURFACE CONDITION :	Čisto i odmašćeno
METODA ISPITIVANJA UZORKA : TESTING METHOD :	Direktna	OBIM ISPITIVANJA : SCOPE OF TEST :	100%
SUKLADNO SA : IN COMPLIANCE WITH :	HRN EN ISO 17637	OCJENJIVANJE PO : EVALUATION :	HRN EN ISO 5817 "B"

PODACI O PREGLEDU ~ TEST PARTICULARS

OPREMA ZA OSVJETLJENJE : LIGHTENING EQUIPMENT :	Reflektor i ručna lampa	1500 [lux]
--	-------------------------	------------

KONTROLNA LISTA ~ TEST SHEET

GREŠKA BROJ	KLASIFIKACIJA GREŠKE CLASSIFICATION OF DEFECTS	GRANICA PRIHVATLJIVOSTI ACCEPTANCE LIMIT
104	Pukotine Cracks	Nisu dopuštene Not permitted
5011; 5012	Zajedi Undercut	Smooth transition is required max 1 mm
515	Konkavnost korjena Root concavity s > 3 mm	l =< 25 mm h =< 0,2 t max 1 mm
517	Loš nastavak Poor restart	Dopušteno Permitted
507	Nelinearnost Linear misalignment s > 3 mm	h =< 0,25 t max 1 mm

NALAZ / FINDING:

Vizualnom kontrolom zavarenih spojeva nisu uočena mehanička oštećenja, kao niti nedopuštene greške zavarivanja.

Nalaz vizualne kontrole: Prihvatljivo.

Preporuča se AKZ zaštita lokalno korodiranih mjesta označenih markerom, kako bi se spriječila daljnja korozija.

Kontrolirao/ Tested by:	Josip Hrvatin	Potpis i pečat: Signature & stamp:	List/Sheet:	1
Ocjenio/ Interpreted by:	Josip Hrvatin		Listova/Sheets	2



"ZAVAR" d.o.o. ZA TEHNOLOGIJU I KONTROLU ZAVARIVANJA
"ZAVAR" WELDING TECHNOLOGY AND SUPERVISING ENTERPRISE Ltd.
Krč 61, 51500 Krk, Croatia Tel : +385 98 257 098 e-mail: info@zavar.hr

VIZUALNA KONTROLA
IZVJEŠTAJ BROJ :
VISUAL TEST ~ REPORT No. :

1-2023

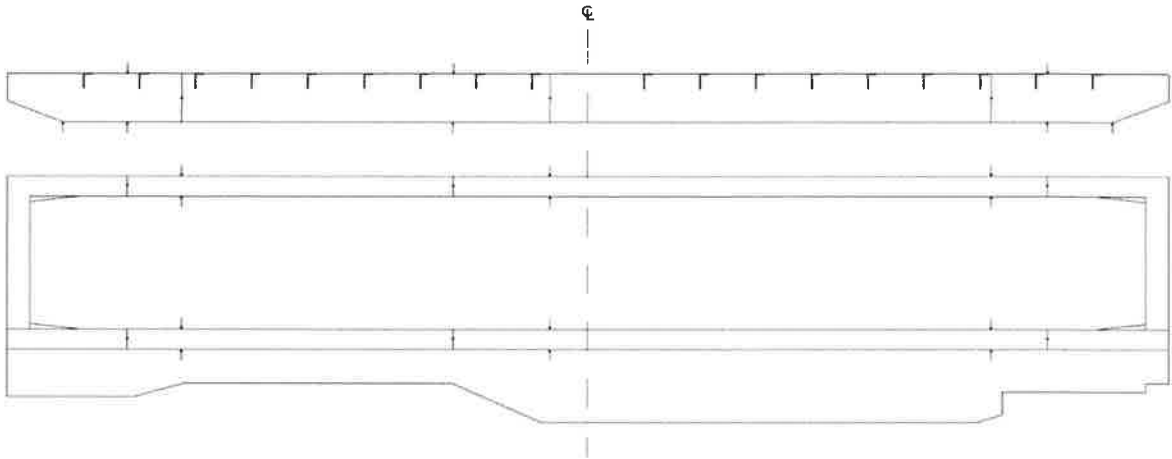
OBJEKT :
OBJECT :

VETROPACK STRAŽA
KRANSKA DIZALICA EMDK 4t × 22,4 m

NACRT : 1797-00-00 i 1797-01-00
DWG :
DATUM : 09/06/2023
DATE :

SKICA/SKETCH:

Pozicije zavarenih spojeva



Opseg ispitivanja: 100% zavarenih spojeva.

Kontrolirao/Tested by: Josip Hrvatin

Potpis i pečat:

Signature & stamp:



List/Sheet:

2

Ocjenio/Interpreted by: Josip Hrvatin

Listova/Sheets

2



"ZAVAR" d.o.o. ZA TEHNOLOGIJU I KONTROLU ZAVARIVANJA
"ZAVAR" WELDING TECHNOLOGY AND SUPERVISING ENTERPRISE Ltd.
Krč 61, 51500 Krk, Croatia GSM : +385 98 257 098 e-mail : info@zavar.hr

ISPITIVANJE MAGNETSKIM ČESTICAMA
IZVJEŠTAJ BROJ :
MAGNETIC PARTICLE TEST ~ REPORT No.:

2 - 2023

OBJEKT :
OBJECT :

VETROPACK STRAŽA
KRANSKA DIZALICA EMDK 4t × 22,4 m

NACRT: 1797-00-00 i 1797-01-00
DWG:
DATUM: 09/06/2023
DATE :

NARUČITELJ :
CUSTOMER :

FALCON ELECTRIC d.o.o. Slavonski Brod

NARUDŽBA:

PURCHASE ORDER No.:

086-9-23

MJESTO ISPITIVANJA :
PLACE OF EXAMINATION :

VETROPACK STRAŽA - MJEŠAONA

R.N.:

Job No.:

047 / 23

MATERIJAL :
MATERIAL :

ČELIK / STEEL

KVALITETA :
QUALITY :

~

Debljina :
Thickness :

8,0 ~ 10,0 [mm]

UREĐAJ :
EQUIPMENT :

UM - 10 / HANSA - DC

STRUJA / NAPON :
CURRENT / VOLTAGE :

1,2 [A] / 6 [V]

UV LAMPA :
UV LAMP :

LABINO - 150 [W]

SUKLADNO SA :
IN COMPLIANCE WITH :

ASTM D 808-63 + D 129-64

KONCENTRAT :
CONCENTRATES :

Magnetic Powder suspended in Oil

VELIČINA ZRNA :
PARTICLE SIZE :

0,2 [µm]

SUKLADNO SA :
IN COMPLIANCE WITH :

EN ISO 9934-1-3

TEST BLOK :
CAL. BLOCK :

MTU No. 3

KRITERIJ PRIHVATLJIVOSTI :
ACCEPTANCE CRITERIA :

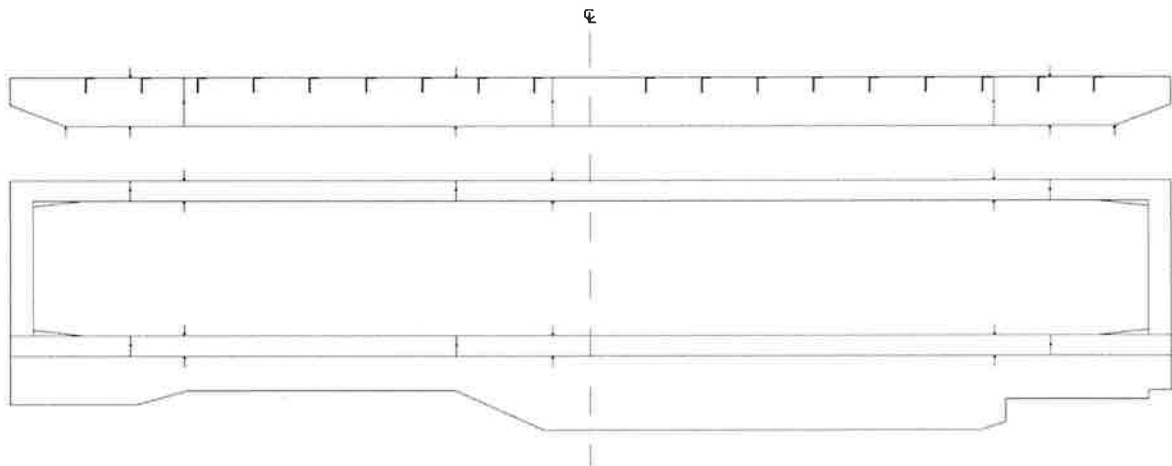
EN ISO 17638; EN ISO 5817 "B"

PRIHVATLJIVO :
ACCEPTABLE :

DA

SLIKA / PHOTO

Polozicije zavarenih spojeva



Opseg ispitivanja: 100% zavarenih spojeva.

ISPITAO :
TESTED BY :

Josip Hrvatin

Josip Hrvatin

POTPIS I PEČAT :
SIGNATURE :

LIST BR :
PAGE No :

1

Br. List./Tot.pgs:

1



"ZAVAR" d.o.o. ZA TEHNOLOGIJU I KONTROLU ZAVARIVANJA
"ZAVAR" WELDING TECHNOLOGY AND SUPERVISING ENTERPRISE Ltd.
Krč 61, Pinezići, 51500 Krk, Croatia Tel: +385 98 257 098 e-mail: info@zavar.hr

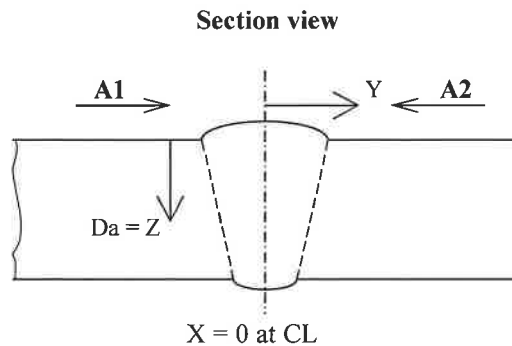
ISPITIVANJE ULTRAZVUKOM
IZVJEŠTAJ BROJ:
ULTRASONIC TEST REPORT No:

3 - 2023

OBJEKT: OBJECT:	VETROPACK STRAŽA KRANSKA DIZALICA EMDK 4t × 22,4 m		NACRT: DWG:	1797-00-00 i 1797-01-00	
			DATUM: DATE:	09/06/2023	
NARUČITELJ: CUSTOMER:	FALCON ELECTRIC d.o.o. Slavonski Brod		BROJ NARUDŽBE: PURCHASE ORDER No:	086-9-23	
MJESTO ISPITIVANJA: PLACE OF EXAMINATION:	VETROPACK STRAŽA - MJEŠAONA		R.N.: Job No.:	047 / 23	
OPIS POZICIJE: DESCRIPTION OF POSITION:	Sućeoni zavareni spojevi na kranovima dizalice				
MATERIJAL: MATERIAL:	Čelik Steel	KVALITETA: QUALITY:	~	DEBLJINA: THICKNESS:	8,0 ~ 10,0 [mm]
TIP PROIZVODA: PRODUCT TYPE:	Zavareni Welded	VRSTA SPOJA: TYPE OF JOINT:	Sućeoni BW	PRIPREMA POVRŠINA: SURFACE CONDITION:	Čisto i odmašćeno
UREĐAJ: EQUIPMENT:	KRAUTKRAMER USM 35 S		KONTAKTNO SREDSTVO: COUPLANT:	Water soluble gel	
ISPITNA SONDA: PROBE TYPE:	MWB 70° & 60°	FREKVENCIJA: FREQUENCY:	4 MHz	VELIČINA: CRYSTAL SIZE:	20 × 22 mm
RADNA OSJETLJIVOST: SCANNING SENSITIVITY:	44 - 50 dB	KOREKCIJA PROLAZA: TRANSFER CORRECTION:	4 dB	MJERNO PODRUČJE: CALIBRATION RANGE:	100 mm
TEST BLOK: CALIBRATION BLOCK:	V1 & V2; Ref. block SDH Ø3 mm for d=10 mm	PRIHVATLJIVOST: ACCEPTANCE CRITERIA:	EN ISO 11666 "B"		
SUKLADNO PROPISIMA: IN COMPLIANCE WITH:	EN ISO 17640; EN ISO 16810	PRIHVATLJIVO: ACCEPTABLE:	DA / YES		

SKICA / SKETCH:

ORIENTATION OF ULTRASONIC FLAW



- A1/A2 - Scanning direction
- X - Distance of indication to Hmax [mm]
- Y - Distance of indication from weld centre line [mm]
- Da = Z - Depth of indication
- Ha - Echo height [dB]
- Sa - Sound path [mm]
- L - Length of indication [mm]

ISPITAO: TESTED BY:	Josip Hrvatin	POTPIS I PEČAT: SIGN. AND STAMP:		LIST BR: PAGE No:	1
				Br.List./Tot.pgs:	4



"ZAVAR" d.o.o. ZA TEHNOLOGIJU I KONTROLU ZAVARIVANJA

"ZAVAR" WELDING TECHNOLOGY AND SUPERVISING ENTERPRISE Ltd.

Krč 61, Pinezići, 51500 Krk, Croatia Tel: +385 98 257 098 e-mail: info@zavar.hr

ISPITIVANJE ULTRAZVUKOM

IZVJEŠTAJ BROJ:

3 - 2023

ULTRASONIC TEST REPORT No:

OBJEKT :

OBJECT :

VETROPACK STRAŽA
KRANSKA DIZALICA EMDK 4t × 22,4 m

NACRT :

1797-00-00 i 1797-01-00

DWG :

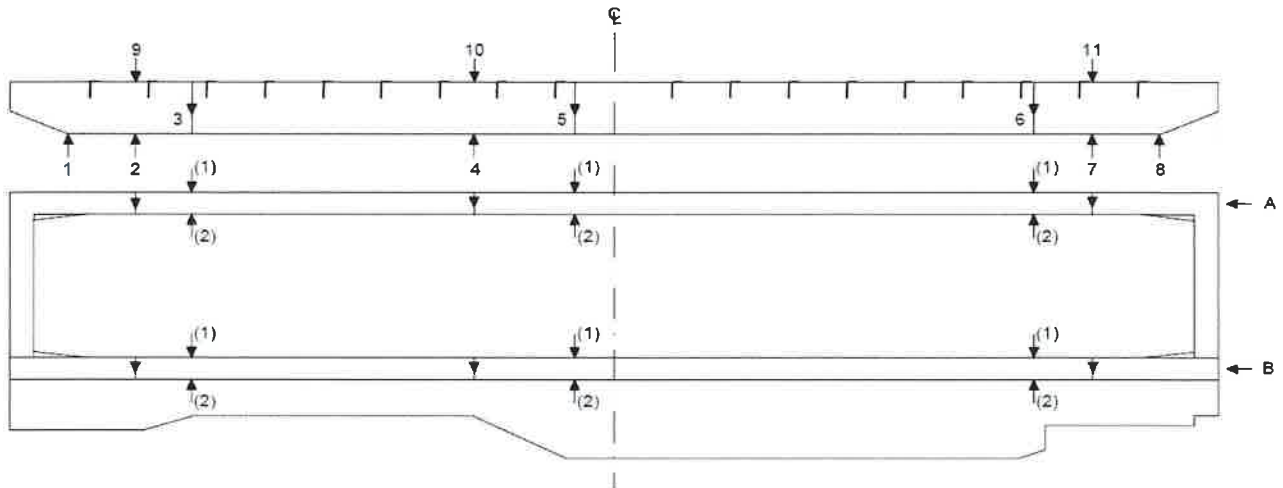
DATUM :

09/06/2023

DATE :

SKICA / SKETCH :

RASPORED ZAVARENIH SPOJEVA / WELDED JOINTS ARRANGEMENT



Obim ispitivanja: 100% svih sučeonih zavarenih spojeva.

Testing extent: 100% of all butt welded joints length.

ISPITAO :

Josip Hrvatin

POTPIS I PEČAT :

SIGN. AND STAMP :



LIST BR:

2

PAGE No:

Br.List./Tot.pgs:

4



"ZAVAR" d.o.o. ZA TEHNOLOGIJU I KONTROLU ZAVARIVANJA

"ZAVAR" WELDING TECHNOLOGY AND SUPERVISING ENTERPRISE Ltd.

Krč 61, Pinezići, 51500 Krk, Croatia Tel: +385 98 257 098 e-mail: info@zavar.hr

ISPITIVANJE ULTRAZVUKOM

IZVJEŠTAJ BROJ:

3 - 2023

ULTRASONIC TEST REPORT No:

OBJEKT: OBJECT:	VETROPACK STRAŽA KRANSKA DIZALICA EMDK 4t × 22,4 m	NACRT: DWG:	1797-00-00 i 1797-01-00
		DATUM: DATE:	09/06/2023

POZICIJA / SPOJ	SONDA	ORIJENTACIJA TOKA [mm]					Ha [dB]	OPASKA
		X	Y	Z	Smjer	Dužina		
1 A	MWB 60							Bez greške
1 A	MWB 70							Bez greške
2 A	MWB 60	170	-3	8 - 9	A1/A2	15	-6	Prihvatljivo
2 A	MWB 70							Bez greške
3 A(1)	MWB 60							Bez greške
3 A(1)	MWB 70							Bez greške
3 A(2)	MWB 60							Bez greške
3 A(2)	MWB 70							Bez greške
4 A	MWB 60							Bez greške
4 A	MWB 70							Bez greške
5 A(1)	MWB 60							Bez greške
5 A(1)	MWB 70							Bez greške
5 A(2)	MWB 60							Bez greške
5 A(2)	MWB 70							Bez greške
6 A(1)	MWB 60							Bez greške
6 A(1)	MWB 70							Bez greške
6 A(2)	MWB 60							Bez greške
6 A(2)	MWB 70							Bez greške
7 A	MWB 60							Bez greške
7 A	MWB 70							Bez greške
8 A	MWB 60							Bez greške
8 A	MWB 70							Bez greške
9 A	MWB 60							Bez greške
9 A	MWB 70							Bez greške
10 A	MWB 60							Bez greške
10 A	MWB 70							Bez greške
11 A	MWB 60							Bez greške
11 A	MWB 70							Bez greške
1 B	MWB 60							Bez greške
1 B	MWB 70							Bez greške
2 A	MWB 60							Bez greške
2 B	MWB 70							Bez greške
3 B(1)	MWB 60							Bez greške
3 B(1)	MWB 70							Bez greške
3 B(2)	MWB 60							Bez greške
3 B(2)	MWB 70							Bez greške
4 B	MWB 60							Bez greške
4 B	MWB 70							Bez greške
5 B(1)	MWB 60							Bez greške
5 B(1)	MWB 70							Bez greške
5 B(2)	MWB 60							Bez greške
5 B(2)	MWB 70							Bez greške

ISPITAO: Josip Hrvatin
TESTED BY:

POTPIS I PEČAT:
SIGN. AND STAMP



LIST BR: 3
PAGE No:
Br. List./Tot.pgs: 4



"ZAVAR" d.o.o. ZA TEHNOLOGIJU I KONTROLU ZAVARIVANJA
"ZAVAR" WELDING TECHNOLOGY AND SUPERVISING ENTERPRISE Ltd.
 Krč 61, Pinezići, 51500 Krk, Croatia Tel: +385 98 257 098 e-mail: info@zavar.hr

ISPITIVANJE ULTRAZVUKOM

IZVJEŠTAJ BROJ:

3 - 2023

ULTRASONIC TEST REPORT No:

OBJEKT:
OBJECT:

VETROPACK STRAŽA
KRANSKA DIZALICA EMDK 4t × 22,4 m

NACRT: 1797-00-00 i 1797-01-00
 DWG:
 DATUM: 09/06/2023
 DATE:

POZICIJA / SPOJ	SONDA	ORIJENTACIJA TOKA [mm]					Ha [dB]	OPASKA
		X	Y	Z	Smjer	Dužina		
6 B(1)	MWB 60							Bez greške
6 B(1)	MWB 70							Bez greške
6 B(2)	MWB 60							Bez greške
6 B(2)	MWB 70							Bez greške
7 B	MWB 60							Bez greške
7 B	MWB 70							Bez greške
8 B	MWB 60							Bez greške
8 B	MWB 70							Bez greške
9 B	MWB 60							Bez greške
9 B	MWB 70							Bez greške
10 B	MWB 60							Bez greške
10 B	MWB 70							Bez greške
11 B	MWB 60							Bez greške
11 B	MWB 70							Bez greške

ISPITAO: Josip Hrvatin
 TESTED BY:

POTPIS I PEČAT:
 SIGN. AND STAMP:



LIST BR: 4
 PAGE No: 4
 Br. List./Tot.pgs: 4