

# ISPITIVANJE ZAVARENIH SPOJEVA METODAMA BEZ RAZARANJA

---

**Klarić, Tamara**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*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:190:424113>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-27**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U RIJECI  
**TEHNIČKI FAKULTET U RIJECI**

Preddiplomski stručni studij strojarstva

ZAVRŠNI RAD

**ISPITIVANJE ZAVARENIH SPOJEVA METODAMA BEZ  
RAZARANJA**

Rijeka, 2022.

Tamara Klarić  
0242005606

SVEUČILIŠTE U RIJECI

**TEHNIČKI FAKULTET**

Preddiplomski stručni studij strojarstva

Završni rad

**ISPITIVANJE ZAVARENIH SPOJEVA METODAMA BEZ  
RAZARANJA**

Mentor: prof. dr. sc. Duško Pavletić

Rijeka, 2022.

Tamara Klarić  
0242005606

## IZJAVA

Sukladno članku 11. Pravilniku pisanja Završnih i diplomskih radova na diplomskom i stručnom studiju Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, izjavljujem da sam samostalno izradila Završni rad od 18. ožujka 2019. do 21. rujna 2022.

Rad sam izradila prema zadatku Povjerenstva za završne ispite diplomskog sveučilišnog studija strojarstva.

Ur. Br: 2170-15-12-16-3, klasa: 602-4/16-05/58, pod vodstvom mentora prof. dr. sc. Duška Pavletića.

Zadatak je zadan: 18. ožujka 2019.

Rijeka, 2022.

---

Tamara Klarić 0242005606

Sveučilište u Rijeci  
TEHNIČKI FAKULTET  
Broj: 09-11/17.  
Rijeka, 25.2.2020.

Temeljem Članka 31. Statuta Tehničkog fakulteta, povodom zamolbe *Tamare Klarić* za produljenjem roka važenja *zadatka za završni rad* na preddiplomskom stručnom studiju strojarstva Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, donosim sljedeće

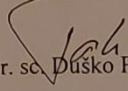
### RJEŠENJE

**TAMARI KLARIĆ**, studentici preddiplomskog stručnog studija strojarstva Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, **odobrava se** produljenje roka važenja postojećeg zadatka za završni rad nakon svibnja ove godine. Studentica je dužna ovo rješenje uvezati u rad iza izvornika zadatka.

#### Obrazloženje

Produljenje roka važenja zadatka za završni rad odobrava se studentici jer ima zadatak za završni rad s navedenim rokom važenja zadatka do svibnja tekuće godine.

Dekan

  
Prof. dr. sc. Duško Pavletić

Uputa o pravnom lijeku:

Protiv ovog rješenja nezadovoljna stranka može podnijeti, putem Službe studentske evidencije, žalbu dekanu Fakulteta, u roku od 7 dana od dana primitka rješenja

Co:

- Studentica
- Predsjednik Povjerenstva za završne ispite preddiplomskog stručnog studija strojarstva prof. dr. sc. Robert Basan
- Služba studentske evidencije

61

Rijeka, 8. ožujka 2019.

Zavod:           Zavod industrijsko inženjerstvo i management  
Predmet:        Zavarivanje

## ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik:    Tamara Klarić (0242005606)  
Studij:        Preddiplomski stručni studij strojarstva

Zadatak:       Ispitivanje zavarenih spojeva metodama bez razaranja / Non-destructive  
                  testing of welded joints

### Opis zadatka:

Navesti i opisati postupke nadzora zavarivačkih radova, prije, tijekom i nakon izvedenog zavarivanja. Navesti i opisati osnovne tipove pogrešaka koje se pojavljuju prilikom zavarivanja. Klasificirati i opisati osnovne postupke ispitivanja zavarenih spojeva nerazornim metodama. Za odabranu zavarenu konstrukciju opisati postupke i prikazati rezultate ispitivanja bez razaranja, provedenih nakon zavarivanja.

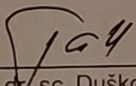
Završni rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

Polje znanstvenog područja: Strojarsvo

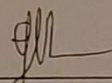
Grana znanstvenog područja: Proizvodno strojarstvo

Zadatak uručen pristupniku: 18. ožujka 2019.  
Rok za predaju rada:        21. svibnja 2020.

Mentor:

  
\_\_\_\_\_  
prof. dr. sc. Duško Pavletić

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

  
\_\_\_\_\_  
prof. dr. sc. Goran Cukor

## OPIS ZADATKA

1. Klasificirati i opisati osnovne postupke ispitivanja zavarenih spojeva nerazornim metodama
2. Navesti i opisati osnovne tipove pogrešaka koje se pojavljuju prilikom zavarivanja
3. Navesti i opisati postupke nadzora zavarivačkih radova prije, tijekom i nakon izvedenog zavarivanja.
4. Za odabranu zavarenu konstrukciju opisati postupke i prikazati rezultate ispitivanja bez razaranja, provedenih nakon zavarivanja
5. Zaključak
6. Literatura
7. Popis slika tablica i oznaka
8. Sažetak i ključne riječi

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. KLASIFIKACIJA POSTUPAKA NERAZORNIH ISPITIVANJA .....	2
2.1 VIZUALNA KONTROLA .....	2
Fizikalne osnove vizualne kontrole.....	3
Provedba vizualne kontrole.....	4
2.2. PENETRANTSKA METODA.....	5
Prednosti .....	6
Nedostaci.....	6
Fizička načela – kapilarnost.....	6
Ispitivanje, priprema površine, nanošenje penetranta i odstranjivanje .....	6
Razvijač, pregled i čišćenje .....	7
O penetrantu.....	7
Osnovna načela .....	8
Prednosti i nedostaci raznih penetranta .....	8
Svojstva penetranta.....	9
2.3 MAGNETSKA METODA.....	11
Svojstva magnetske kontrole .....	11
Oprema za ispitivanje.....	12
2.4 RENDGENSKA METODA.....	13
Ionizirajuće zračenje (spektar elektromagnetskog zračenje, međudjelovanje materije, izotopi i ostalo) .....	13
Rendgenski uređaji.....	14
2.5 ULTRAZVUČNA METODA.....	16
Priprema površine za ispitivanje .....	16
Fizikalne metode .....	16
Prodiranje ultrazvuka kroz sredstvo.....	18
Ultrazvuk na granici sredstva .....	18
Oprema za ultrazvuk .....	18
Pretvarači .....	20
Karakteristike sustava .....	21
Priprema sustava za ispitivanje, te ostale značajke koje su bitne prilikom ispitivanja .....	22
Fizikalne veličine ultrazvuka .....	23
2.6 ISPITIVANJE NEPROPUSNOSTI .....	24



3. POGREŠKE U ZAVARENIM SPOJEVIMA.....	27
Pukotine .....	27
Poroznosti.....	28
Čvrsti ključci.....	29
Naljepljivanje i nepotpuni provar ( skupina 400 ) .....	30
Pogreške oblika zavara ( skupina 500 ) .....	31
Ostale pogreške skupina (600) .....	35
Dopuštene pogreške u zavarenim spojevima .....	37
4. POSTUPCI NADZORA IZRADE ZAVARIVAČKIH RADOVA ZAVARENE KONSTRUKCIJE PRIJE, TIJEKOM I NAKON IZVEDENOG ZAVARIVANJA.....	39
Sljedivost materijala .....	40
Dimenzionalna kontrola prije i nakon zavarivanja .....	43
Vizualna metoda.....	45
Magnetska metoda .....	47
Penetrantska metoda.....	51
Ultrazvučna metoda .....	52
Rendgenska metoda.....	54
Ispitivanje nepropusnosti .....	55
5. ZAKLJUČAK .....	57
6. LITERATURA.....	58
7. POPIS SLIKA , TABLICA I OZNAKA.....	59
8. SAŽETAK.....	61
9. SUMMARY .....	62

## 1. UVOD

Kontrola bez razaranja predstavlja niz metoda za ispitivanje zavarenih spojeva i otkrivanja nepravilnosti i progrešaka unutar zavarenog spoja. U ovom dijelu susreću se razne metode ispitivanjem zavarenih spojeva. Cilj je objasniti podjelu kontrole bez razaranja, pripreme tijekom i nakon ispitivanja, evidentirati pogreške i dozvoljene indikacije na određenim površinama, ustvrditi iz kojeg razloga dolazi do progrešaka, na koji način ih uspješno otkloniti, te doći do zaključka kako nastaju. U ovome dijelu predstavljeni su nerazorni postupci, te su metode postepeno predočene i objašnjene.

Zadatak same kontrole bez razaranja je da u datom trenutku, određenim ispitivanjem, odnosno metodom, na određenim predlošcima za ispitivanje utvrdi pogrešku. Za to postoje ispitivači koji rade s raznim alatima i koji moraju biti certificirni za rad na određenom postupku. Stoga, nerazorna ispitivanja su vrlo odgovorno područje koje zahtjeva certifikate za rad i procedure koje je potrebno znati kod svakog ispitivanja.

Svaka metoda neizostavni je dio sustava koji osigurava kvalitetu zavarenog spoja. Vrlo je važno poznavati metode ispitivanja, te svakom ispitivanju priliti s određenom odgovornošću.

Vrlo je važno navesti česte metode koje ulaze u nerazarajuća ispitivanja:

1. Vizualna metoda ( VT )
2. Magnetska metoda ( MT )
3. Penetrantska metoda ( LPT )
4. Radiografska/Rengenska metoda ( RT )
5. Ultrazvučna metoda ( UT )
6. Ispitivanje nepropusnosti ( LT)
7. Dimenzionalna kontrola

Navedene metode koriste se u raznim slučajevima ispitivanja zavarenih konstrukcija, ali ovisno o tome ne rade se sve metode na ispitanom elementu, nego se radi sa onom metodom koja je zadana.

Potrebno je objasniti pogreške i dozvoljene indikacije koje se pojavljuju, objasniti na koji način ih je moguće umanjiti i predočiti ispitivanja na određenim elementima za ispitivanje.

## **2. KLASIFIKACIJA POSTUPAKA NERAZORNIH ISPITIVANJA**

Kod klasifikacije nerazornih postupaka potrebno je opisati svaku metodu, kako bi se objasnilo što metoda predstavlja i koja su njena fizikalna svojstva.

### **2.1 VIZUALNA KONTROLA**

Vizualna kontrola spada pod površinske metode ispitivanja i prva je metoda kontrole bez razaranja. Potreba da se usavrši bolja kontrola razvila se metoda kontrole kvalitete. Ova kontrola dobila je naziv prema tome što se u ovome dijelu pogreške otkrivaju pomoću svjetlosti. Vizualnom kontrolom, odnosno, gledanjem moguće je odrediti kakav oblik, boju, dubinu udaljenosti ili jačinu svjetlosti ima promatrani element, moguće je koristiti optička pomagala, elektronička ili optičko-elektronička koja registriraju na svjetlost. Sve navedene mogućnosti ukazuju na široku primjenu vizualne kontrole kao površinske metode kod ispitivanja.

Vizualna kontrola može se primijeniti prilikom ispitivanja raznih površina. Prilikom ispitivanja unutarnje površine ispituju se indirektnim promatranjem uz pomoć opreme za vizualnu kontrolu. Isto tako treba spomenuti slučajeve kada se vizualna kontrola koristi pri transparentnom svjetlu, to se odnosi samo na objekte koji to dopuštaju (omogućuju prodiranje svjetlosti).

Ova kontrola primjenjuje se na svim slobodnim površinama ispitanog elementa s pristupnim svjetlom, bilo direktnim ili indirektnim putem, te ostalim objektima koji omogućuju „prodiranje“ svjetlosti.

Neke od metoda vizualne kontrole stekle su nazive prema opremi, tehnici rada ili fizičkoj pojavi na kojoj se temelje. One su postavljene kao samostalne metode, te se oprema u većini slučajeva koristi na način da se uzorak analizira pripremljen na njemu odgovarajući način.

Ako bi se te metode primjenjivale direktno na objekt ispitivanja bez izrade uzoraka odnosno bez razaranja, smijemo ih smatrati metodama kontrole bez razaranja. Vizualna kontrola objedinjuje sve metode koje sve informacije dobiva preko, odnosno temeljem međusobnog djelovanja svjetlosti i objekta ispitivanja, a pri tome je funkcionalnost objekta nedirnuti i sačuvana. Djelovanje svjetlosti na element (objekt) mora biti nerazorno.

Izvor svjetlosti i širenje same svjetlosti na objekt svodi se na odbijanje loma, rasipanje, disperziju i druge optičke učinke. Korištenje svjetlosti kao prijenosnika informacija o određenom objektu ima razne prednosti i nedostatke. Svjetlost kao transverzalni elektromagnetski val omogućuje prijenos i obradu informacija velikom brzinom.

Vizualna kontrola korisna je metoda u slučaju kada se informacija o određenom objektu samo djelomično dobiva i prenosi uz pomoć svjetla, a u raznim kombinacijama metodom bez razaranja.

## **Fizikalne osnove vizualne kontrole**

Vizualna percepcija (vidljivost)

Na vidljivost utječu određene metode:

- Odnos luminacije pozadine i objekta (kontrast); što je kontrast veći bolja je vidljivost
- Prilagođavanje oka, što je prilagođavanje dulje, vidljivost je bolja
- Vizualna veličina objekta
- Ostali utjecajni faktori- vremensko trajanje percepcije, boja objekta i pozadine, lokacije objekta u odnosu na smjer gledanja, kretanje objekta u vidnom polju.

Na zahtjev norme HRN EN 9712 postupak za kvalifikaciju i certifikaciju osoblja za nerazorna ispitivanja kandidati moraju zadovoljiti određene normom propisane zahtjeve.

Svjetlost i brzina svjetlosti, elektromagnetsko je zračenje dvostruke prirode (čestično i valne), spada u spektar elektromagnetskog zračenja. Pri temperaturi od 3000 °C (približna temperatura niti žarulje) zrači elektromagnetske valove čije je ukupno područje vidljivog spektra približno 400-800 nm.

Leće su kombinacija dvaju dioptrija od kojih je jedan sferno zakrivljena, prema oblicima razlikujemo dvije vrste:

- Konvergentne - plohe s naglašenim ispupčenim dijelom prema sredini tijela (konveksnost - sabirače) dijele se na: bikonveksne, plankonveksne i konkavno - konveksne.
- Divergentne - plohe s naglašenom udubinom unutar sredini tijela (konkavnost - rastresače) dijele se na: bin - konkavne, plan - konkavne i konveksno - konkavne.

Intenzitet svjetlosti, odnosno svjetlosna jakost, omjer je svjetlosnog toka i prostornog kuta u koji se emitira, jedinica je kandela, distribucijska razdioba intenziteta svjetlosti opisuje karakteristike izvora svjetlosti.

Kod mjerenja svjetlosti za potrebe vizualne kontrole, magnetske kontrole i penetrantske kontrole nije potrebna velika preciznost ali su potrebni drugi čimbenici kao što su:

- Jednostavnost primjene

- Što manji uređaji za jednostavno rukovanje na terenu
- Da se senzor približi što više površini mjerenja
- Pouzdanost rezultata mjerenja (umjeravanje)

Za mjerenje svjetlosti koristi se luxmetar odnosno fotometri, mjerenje fotostanica i foto-članaka. Fotostanica mjeri rasvjetu tako da propušta struju kada na nju padaju elektro-magnetski valovi svjetlosti. Fotočlanak mjeri rasvjetu na način da postaje izvor elektromotorne sile kada na njega padaju elektro-magnetski valovi. Osnovni element fotometra je fotovodič (vrsta poluvodiča koji povećava svjetlost).

### **Provedba vizualne kontrole**

Vizualna metoda podjeljenja je u dvije kontrole:

Direktna kontrola- gdje se ne prekida svjetlosni put od promatračevog oka do ispitanog elementa. Provodi se bez pomoćnih sredstava ili sa njima, preko ogledala, povećala, endoskopa ili optičkih vlakana.

Indirektna kontrola- isprekidan je vizualni put od oka promatrača do područja koje se ispituje. Ova metoda obuhvaća uporabu fotografije, video sistema, automatiziranih sistema i robota.

## 2.2. PENETRANTSKA METODA

Penetrantska metoda ispitivanja tekućim penetrantima jedna je od najstarijih metoda nerazornog ispitivanja. Ova metoda ima veliku primjenu. Ovom metodom otkrivaju se površinski nedostaci, te propusnost stijenki (cijevi te određenih vrsta posuda). Najčešće se ispituju metali, ali i drugi materijali. Materijali koji se ispituju moraju biti korozijski otporni prema medijima ispitivanja bez osobina poroznosti (odljevci, otkivci, zavareni spojevi, staklo, keramika itd.). Sve ovisi o kvaliteti pripreme te ispitane površine koja se obrađuje. Sama propusnost kroz stijenkicu određenog elementa može se ustanoviti ako je pukotina odnosno šupljina povezana tako da se vidi protjecanje medija kroz stijenkicu. Penetrantska metoda koristi razna tekuća pomoćna sredstva kao što su čistači, emulgatori i druga potrebna sredstva. Karakteristika primjene ovih sredstva je da ne utječu na primjenu ispitanog elementa i njegovih dijelova. Svako sredstvo koje se koristi ima svoju namjenu i zadana svojstva koja se postižu određenim kemijskim sastavom, kako bi se sredstva mogla koristiti potrebno ih je provjeriti prije primjene.

Temelj svakog penetrantskog sustava je:

- Penetrant - njegova svrha je prodiranje i odlična uočljivost
- Razvijatelj - dobar kontrast, te formiranje i spajanje sa samim penetrantom, stapanje sa penetrantom. Potrebno je par minuta da se razvije i locira pukotina
- Odstranjivač - sredstvo za odstranjivanje penetranta nakon lociranja pukotine
- Čistač - čistač čisti kompletan penetrant i razvijatelj, neagresivan je prema samoj površini i prema elementu ispitivanja.
- Emulgator - koristi se u određenim trenucima za odstranjivanje viška penetranta ukoliko dođe do pretjeranog nanošenja

Sama metoda dozvoljava prodiranje u materijal i element, te prikazuje određenom bojom ukoliko je vidljiva šteta ili oštećenje na elementu. Prije svakog početka uporabe penetranta površinu je potrebno dobro očistiti i pripremiti za uporabu i ispitivanje. Penetrant se može vidjeti i na drugoj strani stijenke ukoliko postoji propusnost. Razvijatelj pojačava vrijednost zaostalog penetranta i njegovo upijanje s razvijateljem s površine čime se povećava indikacija prekidnosti, odnosno indikacija da je trag nastao na površini izazvan zaostalim penetrantom, a koji nam ukazuje na mogućnosti postojanja prekidnosti ispod indikacije ili pogreške. Pogreške se utvrđuju analizom indikacije i same površine objekta nakon odstranjivanja razvijatelja na mjestima indikacije. Sam razvijatelj kao što je navedeno pojačava izlaženje penetranta iz prekidnosti, [1].

## **Prednosti**

Velika osjetljivost na površinske prekide. Ova metoda koristi se na dobro očišćenim površinama korištenjem ispravne opreme na ispravno pripremljenoj površini, te se uz pomoć endoskopa obavlja unutarnji pregled. Prednost je ta što se ovim nerazornim ispitivanjem može koristiti na bilo kojem materijalu. Materijali moraju biti anorganski i neporozni. Vrlo je važno da se metoda koristi ispravno kako ne bi prouzročila negativne posljedice kod daljnjih ispitivanja.

## **Nedostaci**

Nedostatak je to što se kod ove metode mogu vidjeti samo površinske greške i sve se definira na površini elementa. Nedostatak je vidljiv i u mjerenju naspram ostalih metoda. Što su pukotine manje (mikro pukotine) to je teže doći do njih i otkriti ih. Ova metoda može se nazvati i brzim pregledom, jer se brzo otkrivaju površinske pukotine.

## **Fizička načela – kapilarnost**

Princip penetrantske metode je širenje kroz materijal, odnosno kapilarno prodiranje, te izvlačenje pukotine na površinu pomoću razvijaača.

Papirnati ubrus ima slično svojstvo kao i cjevčica, razlika je u tome što papir za razliku od cjevčice ima više kapilarnih vlakana koja pospešuju apsorpciju vode i penetranta. Pokus kojim se radi kapilarnost je upravo ovaj sa penetrantom. Gdje u jednom slučaju može se reći da penetrant prodire u kapilarne cjevčice, a u drugom slučaju ne prodire u te iste cjevčice.

## **Ispitivanje, priprema površine, nanošenje penetranta i odstranjivanje**

Ispitivanje se sastoji od nekoliko koraka koji služe u penetrantskom ispitivanju i to je osnova početka izvršenja ove metode. Za ovu metodu potrebni su penetrant, razvijaač i emulzija kako bi se provelo ispitivanje. Poznato je da prije svake primjene površina mora biti dobro pripremljena. Površina se čisti da bi penetrant bolje i uspješnije prodirao unutar samog elementa. Pripremljenost površine utječe na vidljivost grešaka, što je priprema bolja lakše su uočljive greške. Nanošenje penetranta i njegovo vrijeme penetriranja različito je za pojedine materijale, te geometriju samih pukotina. Razlika je u vremenu i za ispitivanje određenih elemenata koji se penetriraju.

Nakon određenog vremena odstojanja penetranta višak penetranta se pažljivo odstranjuje. Određeni penetranti odstranjuju se vodom, dok je druge potrebno odstraniti na drugi način. Ukoliko se radi o poslijeemulgirajućim penetrantima potrebno ih je odstraniti posebnim za to određenim odstranjivačima. Kod širokih i vrlo plitkih pukotina ispiru se s lakoćom kao i površina ispitanog objekta, a vrlo sitne pukotine su zanemarive. Odstranjivanje se još može vršiti i otapalom.

### **Razvijač, pregled i čišćenje**

Sredstvo u sklopu penetrantske metode koje poboljšava penetrantska svojstva i pojačava vidljivost indikacija i pogrešaka bitna su u samom procesu. Pregled vrši ispitivač koji ima određeni stupanj kompetencije za ovu vrstu metode ispitivanja. Pregledom površine utvrđuje i zapisuje rezultate očitavanja s površine, navodi da li postoji kakva indikacija na ispitanom predmetu ili ne. Čišćenje površine ovisi o tome hoće li se površina dalje koristiti ili ne. Površine se čiste određenim sredstvima: raznim otapalima, deterdžentima, parnim odmašćivanjem, alkalnim ili kiselim nagrivanjem, elektro čišćenjem, ultrazvučnim čišćenjem, te kombinacijom navedenoga.

### **O penetrantu**

Penetrant je višekemijski kako bi se prilagodio svim zahtjevnostima pojedine izvedbe. Močivost površine vrlo je bitna jer se njome postiže formiranje određenog sloja na površini, ako je lakše močivo bolje će doprijeti do željenih pogrešaka ili indikacija. Na površini se javlja površinska napetost, to znači opiranje širenju svoje površine, ta napetost uzrokuje oblikovanje tekućine u kapljice. To ovisi o napetosti površine tekućine i o raznim materijalima. Kao definicija penetranti ne moraju biti idealni za svako ispitivanje površina, već da svojim postupkom djeluju na elementu kojeg se ispituje. Hrapavost površine povećavamo njezinu močivost. Iz tog razloga penetranti jače djeluju na ispitnom elementu veće hrapavosti. Čistoća površine vrlo je važna kod močivosti. I viskoznost utječe na močivost, pa je potrebna opreznost kod određenih tekućina povećanoga viskoziteta. Kod nekih penetranta potrebno je obratiti pozornost i koje bojilo se koristi u penetrantu zbog raznih uzročnika na ljude, odnosno posljedica na njihovo zdravstveno stanje.



## Osnovna načela

Penetrantska metoda je definirane po sustavu normi gdje se nalaze i ostale metode pod određeni oznakama. Pod normom HRN EN ISO 3452-1:2021, HRN EN ISO 3452-2:2021 i HRN EN ISO 3452-3:1999 pronalazi se sve o penetrantima.

Penetrantska metoda može se klasificirati u 3 oblika:

- 1 Fluorescentni - Odstranjuje se vodom, a razvijatelj je suh.
- 2 Obojeni - Odstranjivači – Lipofilni emulgatori na bazi ulja i vodeni, razvijatelj je mokri otopljen u vodi.
- 3 Kombinirani – odstranjivač - otapalo (tekuće), hidrofilni emulgatori - pretpranje vodom, emulgator na bazi vode, konačno ispiranje vodom, te kombinacija vode i otapala. Razvijatelj mokri raspršen u vodi, rastvoren u otapalu, te razvijatelj na bazi kombinacije vode i otapala.

### Prednosti i nedostaci raznih penetranta

**Vodom perivi** - nisu pogodni za plitke široke pukotine

- pogodni su za ispitivanje šireg raspona veličina pukotina

**Poslijeemulgirajući penetrant** - Otežana primjena na hrapavim površinama,

  dodatni postupak u primjeni

- prednosti su dobra provodljivost sredstva, te visoka učinkovitost

**Otapalom odstranjivi penetranti** - nedostatak je otežana primjena na hrapavim

  površinama kao i kod poslijeemulgirajućih

  zbog sličnih kemijskih sastava

- pogodan za objekte koji ne smiju biti u

  kontakta s vodom

**Obojeni i fluorescentni penetranti** - manja uočljiva indikacija nego kod

  fluorescentnih, fluorescentni samo uočavaju

  indikacije u mračnom prostoru tj. u skroz

  zatamnjenim prostorima

- prednosti obojenih je što su greške vidljive bez dodatnih pomagala, manje su osjetljivi na kemijske sastave, te kiseline i lužine, [1].

## Svojstva penetranta

Iz norme HRN EN ISO 3452-2:2021 gdje su vidljivi zapisi o penetrantima, svaki penetrant mora biti zadovoljen sljedećim postupcima i kriterijima za normiranje

1. Izgled
2. Viskoznost
3. Kemijski sastav, odnosno kemijska otpornost
4. Plamište
5. Trajnost
6. Otrovnost, mirisi i da li iritira.

Osim ovih zahtjeva postoje i dodatni kojih se je potrebno pridržavati, prema normi HRN EN 3452-1:2021 u ovlaštenim laboratorijima.

Svako penetrantsko sredstvo mora biti kemijski inertno i nekorozivno, zbog materijala koji su predmeti ispitivanja. Potrebno se pridržavati da se svako sredstvo može koristiti u bilo kojem trenutku i na bilo kojem materijalu. U određenim kombinacijama penetranti moraju imati „odgovor“ na određeni razvijatelj, po kemijskom intenzitetu i po samom sastavu. Posebnu pažnju potrebno je posvetiti onim penetrantima kod kojih je, nakon ispitivanja, otežano čišćenje. Potrebno je voditi računa o kemijskom intenzitetu samog penetranta.

Potrebo je obratiti pozornost kod plamišta, za određene penetrantske tekućine i sve emulgatore. Kod korištenja aerosola potrebno je obratiti posebnu pažnju na zapaljivost, aerosoli moraju biti nezapaljivi. Isto tako potrebno je paziti i pri temperaturi nižoj od 24°C. Ako je plamište niže od 93 °C zapaljivo je, te se označuje oznakom zapaljivo, za primjer, aceton i nafta zapaljivi su i pri 20°C. Potrebno je poznavati temperaturu određenu sastavom materijala, da li je materijal ili sredstvo zapaljivo ili ne.

Viskoznost u penetrantskom sredstvu ne smije biti previsoka. Viskoznost također nesmije biti niti pre mala. Svaki proizvođač označuje viskoznost određenog penetranta tako da ih zabilježi temperaturom kojom je ispitivan i samom viskoznošću koja mu je određena. Mjerenje se vrši kapilarno. Računa je potrebno voditi i o odnosu kinetičke i dinamičke viskoznosti samoga penetranta.

U tablici 1. prikazane su vrijednosti kinetičke viskoznosti pri temperaturi od 20 °C i kako se ponašaju određeni materijali.

Velika viskoznost ima negativne učinke na moćnije penetranta i emulgatora. Potrebno je voditi računa da se ne dovode do zagađenja istih. Niska viskoznost predstavlja poteškoće kod ispitivanja zbog pukotina koje se ne mogu dobro locirati na predmetu ispitivanja. Svako penetrantsko sredstvo mora imati deklaraciju trajnosti. Penetrantsko sredstvo posjeduje određeni kemijski sastav zbog kojeg su moguće nuspojave kao npr: osip, iritacija i slično. Penetranti su najčešće bez mirisa te se koriste boje radi lakšeg uočavanja grešaka, [1].

U tablici 2.2.1. prikazane su vrijednosti kinetičke viskoznosti pri temperaturi od 20 °C i kako se ponašaju određeni materijali.

Tablica 2.2.1. Približne vrijednosti viskoznosti na temperaturi od 20 °C, kinetička viskoznost  $10^6 \text{m}^2/\text{s}$

Voda	1,01 $10^6 \text{m}^2/\text{s}$
Ulje za mazanje	15,00 $10^6 \text{m}^2/\text{s}$
Živa	0,155 $10^6 \text{m}^2/\text{s}$
Nafta	0,61 $10^6 \text{m}^2/\text{s}$
Kerozin	1,65 $10^6 \text{m}^2/\text{s}$
Penetrant obojeni	3-7 $10^6 \text{m}^2/\text{s}$

## 2.3 MAGNETSKA METODA

Magnetska metoda ispitivanja zavarenih konstrukcija jedna je od metoda otkrivanja površinskih i pod-površinskih nepravilnosti u feromagnetskim materijalima, javlja se početkom 19-og st. Nepravilnosti ili prekidnosti podrazumijeva iznenadne neplanirane indikacije u materijalu kao što su pukotine, poroznosti, metalni i nemetalni uključci i mjestimične promjene mikrostrukture. Ovo ispitivanje koristi se na principu pojave izlaznog magnetskog polja na površinu magnetiziranog materijala prilikom pojava nepravilnosti. Materijali koji su feromagnetni su željezo, kobalt, nikal i njihove legure, dakle svi materijali koje je moguće magnetizirati, to preduvjet za provođenje ispitivanja magnetima, čestice koje se koriste tokom ispitivanja pod djelovanjem magnetizma nakupljaju se na mjestima nastajanja nepravilnosti.

### Svojstva magnetske kontrole

Magnetska defektoskopija spada u dio magnetske kontrole gdje se koristi magnetsko polje koje se rasipa i mijenja u feromagnetskim materijalima prilikom dolaska do nepravilnosti i prilikom promjene sastava strukture u materijalu. Potrebno je opisati bitne elemente i značajke kod magnetske metode.

**Magnet-** tijelo koje posjeduje mogućnost privlačenja predmeta od željeza, kobalta, nikla i njihovih legura. Materijal za izradu magnetita nazivamo feromagnetima. Osim prirodnog magnetita postoje i umjetni među kojima se razlikuju trajni te permanentni magneti, elektromagnetni. Magnetiti dolaze u različitim oblicima kao što su štap, potkova i jaram.

**Permanentni magneti-** izrađuju se od čvrstih feromagnetnih materijala koji trajno zadržavaju magnetska svojstva.

**Magnetsko polje-** prostorno djelovanje magnetskih sila. One privlačenjem mogu djelovati unutar prostora i onda kada se magnet i željezo ne dodiruju. Ovo opisuje smjer i veličinu djelovanja privlačnih sila, a prikazuje se pomoću magnetskih silnica odnosno linija koje u prirodi ne postoje nego pogoduju grafičkom prikazu magnetskog polja. Pomoću željezne piljevine puno brže dobijemo slike magnetskog polja. Mjesta s najvećom gustoćom nazivamo polovima.

**Magnetska indukcija i tok magnetskog polja-** indukcija kao važan segment pri ispitivanju magnetskim česticama je razloga što postoji spoj između unutarnjeg dijela pukotine i jakosti magnetske indukcije. Prije ispitivanja elementa poželjno je definirati magnetsku indukciju ili odrediti iznos magnetskog polja koji je potreban da materijal ima intenciju za potrebe magnetske

indukcije. Magnetski tok definiran je kao ukupni broj silnica koje teku unutar magnetskog polja, jedinica je weber (Wb). Kao značajan pojam u fizikalnom opisu magnetsku kontrolu i magnetizaciju opisuje se kao komad željeza postavljenog u blizinu magneta koji postaje magnetičan i privlači željezne predmete, to ne vrijedi za mekano željezo. U opisu stoji da je magnetizacija gustoća magnetskog polja koja je inducirana u ispitanom predmetu putem vanjskog magnetskog polja, značajna je krivulja magnetizacije, odnosno histereza, koja prikazuje ukupnu promjenu magnetske indukcije u materijalu nastalom promjenom magnetskog polja. Vrste magnetskih polja su kružni (ravni vodiči-uzrokovano pravocrtnom el.strujom) i uzdužni (zavojnica-uzrokovano kružnom el. strujom).

### **Oprema za ispitivanje**

Prije samog ispitivanja potrebna je određena oprema koju se koristi kod magnetske metode.

- Jarmovi- izgrađeni od jezgre „U“ oblika gdje je namotana jedna ili više zavojnica koje se aktiviraju preko ručnih prekidača.
- Generator struje- ovisi o vrsti i jakosti struje, moguće su izvedbe u prijenosnom i prijevoznom obliku.
- Automatizirani uređaji i specijalni uređaji za ispitivanje služe kada se ispituju masovne komponente (dijelovi) odnosno veliki broj komada različitih dimenzija oblika i materijala i kada se koriste različiti krugovi magnetizacije.
- Ultraljubičasta svjetiljka
- Uređaj za demagnetizaciju

Prilikom provedbe ispitanog sustava kod ispitivanja magnetskim vezama uz magnetizaciju potrebno je ispitno sredstvo i pravilni radni uvjeti pregleda.

## 2.4 RENDGENSKA METODA

Rendgenska metoda prvi put se pojavljuje 1895. prilikom otkrića W. K. Rendgena koji je ispitujući katodne zrake uočio različito ponašanje tada nepoznatih zraka koje je nazvao X zračenjem, taj se simbol još i danas koristi kao skraćenica. Otkrićem X zraka Rendgen je zaključio da je zračenje valnog karaktera, što je kasnije i potvrđeno interferentnim i ogibnim pojavama na kristalu. Sam poredak atoma u kristalu djeluje na X zrake poput optičke mreže na svjetlost, one tako dobivju okvirnu sliku sličnu onoj koju stvara svjetlost prolaskom kroz optičku mrežu. Same valne duljine rendgenskih zraka su mnogo manje od onih valne duljine svjetlosti te je radi toga Laueova ideja 1912. godine imala veliki uspjeh. Rendgenske zrake su tzv. elektromagnetski valovi koji nastaju kočenjem brzih elektrona na anodi u rendgenskoj cijevi koji zbog male valne duljine imaju veliku prodornost. Kratko nakon otkrića X zraka H. Becquerel otkriva radioaktivnost. Dvije godine nakon toga M. Currie otkriva radioaktivne elemente radij i polonij. Gama zrake su vrlo slične rendgenskim zrakama ali se razlikuju po porijeklu. To govori da gama-zrake nastaju uslijed radioaktivnog raspada jezgri atoma radioaktivnih materijala. Nedugo nakon otkrića počelo se više pridonositi istraživanju mogućnosti primjene zračenja.

Kako je kroz povijest napredovalo istraživanje tako su rendgenske zrake našle i novu primjenu i to prilikom ispitivanja zavarenih spojeva odnosno tzv. rendgenska metoda bez razaranja. Ova metoda spada u volumnu podjelu to znači da ispitana cjelina obuhvaća volumen objekta.

### **Ionizirajuće zračenje (spektar elektromagnetskog zračenje, međudjelovanje materije, izotopi i ostalo)**

Prilikom kontrole materijala i proizvoda temelje se na fizičkom zakonu koji održavaju vezu parametra kontrolnog objekta i toka zračenja koje prolazi kroz taj objekt, prolazak zračenja kroz materiju dolazi do interakcije ili međudjelovanja ionizirajućeg zračenja i materije. Zrake, odnosno zračenje su osnova funkcije metode rendgenskog ispitivanja, one prolaskom kroz materijal utvrđuju nepravilnosti unutar samog objekta ispitivanja. Interakcija toka zračenja i ispitano objekta nakon izlaza ocjenjuje se po veličini izmjene parametra zračenja, to su količina i energetska raspored. Kada je zračenje usmjereno prema ispitanoj objektu dio zračenja će biti u interakciji s objektom (materijom) te će biti apsorbiran ili raspršen, a dio zračenja će proći kroz objekt bez otklanjanja od smijera. Sama slika objekta dobiva se na temelju varijacije intenziteta

ovog neotklonjenog zračenja. Otklonjeno odnosno raspršeno zračenje sudjeluje u eksponiranju filma ili nekog drugog sredstva za registraciju zračenja.

Samo ionizirajuće zračenje je tok energije, te je jedna od vrsti elektromagnetskog zračenja. Opisuje ga valna duljina, frekvencija, polarizacija i intenzitet. Elektromagnetsko zračenje razlikuje se prema djelovanju kroz materiju. Prilikom nailaska na materiju zračenje međudjeluje, prvenstveno s elektroima u atomu.

Način međudjelovanja ionizirajućeg zračenja i atoma su:

- Fotoefekt
- Raspršenja (Rayleigh, Compton)
- Stvaranje parova čestica/antičestica

Detektori ionizirajućih čestica zračenja prate promjenu aktivne tvari zbog djelovanja zračenja, potrebno je znati relaciju intenziteta, vrste i energije zračenja s iznosom promjene aktivnosti. Podjela detektora su na plinske (ionizacijska komora, proporcionalni brojač i Geiger-Mullerov brojač) i na tekuće, te detektore u čvrstom stanju (scintilacijski i poluvodički detektor), [2].

## **Rendgenski uređaji**

Povijesno prvi uređaj za primjenu radiografije bila je Crookesova cijev, odnosno cijev s vrućom katodom. Dijeli se na vakuumiranu staklenu cijev gdje su elektroni oslobođeni termoionskim efektom iz katode, katoda je zavojnica od volframa i elektronska leća, anoda se priključuje na sustav hlađenja. Anoda se mehanički zakreće kako bi se povećala površina zagrijavanja ili je hlađena cirkulirajućim fluidom, anoda je postavljena pod kutem od 1 do 20 stupnjeva od okomice na elektronski tok te je uobičajeno izrađena od volframa ili molibdena. Učinak zračenja je doza specifična za apsorbiranu energiju, odnosno omjer apsorbirane energije i mase. Brzina doze je omjer apsorbiranje doze i vremena označavanja. Ekvivalentna doza uzima u obzir različite vrste zračenja jer je njihov utjecaj različit za istu energiju pojedine vrste.

Od opreme za rendgensku metodu koriste se uređaji i cijevi koji osiguravaju funkcioniranje, odnosno zaštitu od zračenja. Rendgenski uređaji se dijele na dvije vrste: ovisno o načinu ugradnje cijevi i visokonaponskog transformatora. Kada je cijev odvojena od visokonaponskog transformatora ona se može napajati istosmjernom strujom ili „ispravljenom“ strujom sa zanemarivom izmjeničnom strujom. Terenski rendgen uređaji sadrži rendgensku cijev i visoko

naponski transformator smješten u zajedničko kućište tzv.monoblok. Uređaj koji se također koristi je gamadefetoskop ili gama aparat.

Za rukovanje aparatima prvo i osnovno je osiguravanje zaštite, te osobe koja rukuje uređajem, a zatim i zaštita okruženja. Za tu primjenu potrebno je pregledati monitor za mjerenje zone zračenja, te na temelju toga procijeniti ponašanje u zoni zračenja. Uređaje se treba postaviti u stabilan položaj, odnosno osigurati ga od pada. Skidanjem sigurnosnih čepova treba pripaziti da se odmah spoje na odgovarajući dio. Glavu za snimanje i sav ostali potreban pribor potrebno je pozicionirati prije izlaženja izvora, a cijev kojom prolazi izvod treba biti što ravnije položena. Operator mora obavezno stajati iza uređaja.

Laboratorij za obradu filma i radiograma treba uzeti u obzir sljedeće:

- Potreban kapacitet laboratorija
- Lokacija laboratorija
- Organizaciju
- Opremljenost
- Lokacija treba osiguravati nesmetanu komunikaciju, najkraću put do mjesta snimanja, zaštitu od zračenja, toplinsku izolaciju, te mogućnost priključka el.energije, vode, kanalizacije i ventilacije.

Organizacija rada u laboratoriju treba osigurati vrlo jednostavni tok filma na putu do pripreme filma, snimanja, kemijske obrade filma, interpretacije radiograma i svakako skladištenje. Uz to potrebno je osigurati optimalnu opremu koja osigurava kvalitetu radiograma i pouzdanu interpretaciju. Tamna komora treba sadržavati potpuno zamračenje, potpuni volumen i ventilaciju prema standardu za potrebe kvalitete zraka na radnome mjestu, konstantnu temperaturu zraka, tekuću vodu i odvod kanalizacije, odgovarajuće osvjetljenje te eventualno zaštićen ulaz i izdavanje filma ukoliko se radi o većem pogonu. Svjetlo u tamnoj komori je nefiltrirano odnosno neaktivno. Boja filtera ovisi o vrsti filma koji se koristi. Prilikom obrade više uzastopnih filmova koristi se automatska obrada, [2].



## 2.5 ULTRAZVUČNA METODA

Metoda ispitivanja ultrazvukom smatra se najraširenijom, ali ujedno i složenom metodom ispitivanja kontrolom bez razaranja. Kompleksna je ali vrlo precizan kod ispitivanja. Ova metoda iziskuje vrlo naporan i temeljit rad od samog znanja i poznavanja metode rada.

### **Priprema površine za ispitivanje**

Za pripremu površine potrebno je prvo odrediti element koji je potrebno ispitati usporedbom s gledišta tehničke dokumentacije koja je prezentirana. Označiti područje koje se ispituje ovom metodom te pripremiti površinu koju treba ispitati. To znači da svi medij koji postoje na ovoj površini trebaju biti uklonjeni te dobro očišćeni da bi prilikom ispitivanja bilo što preciznije utvrditi određene pogreške u objektu koji se ispituje. U svakom postupku potrebno je prilikom početka ispitivanja površinu, zbog boljeg kontakta, dodatno premazati medijem koji će omogućiti dobro očitavanje ovom metodom. Čistoća kontaktne površine vrlo je važna isto kao i kontaktno sredstvo, tj. pomoćno sredstvo prilikom ispitivanja.

### **Fizikalne metode**

Akustika je fizikalni pojam proučavanja titraja valova i kretanja kroz određenu površinu i materiju. Harmoničko titranje kod ultrazvuka je promjena fizičkog stanja u materijalu. Ono se rasprostire određenom brzinom, te se može osjetiti kao zvuk ili prasak u određenom trenutku zbog jačine titraja „valova“, odnosno jačine mehaničkih svojstava. Frekvencije akustičnih titraja kreću se od infrazvuka od 16 Hz, čujni zvuk od 16-20 Hz i ultrazvuk koji je potreban u ovome dijelu iznad 20 Hz. Najlakše titranje koje se može izvoditi je harmoničko odnosno sinusoidno titranje. Harmonički titrajni krugovi s jedim stupnjem slobode u kojem tijelo mase  $m$ , vezano za položaj ravnoteže titraja zbog djelovanja elastične sile, proporcionalno je udaljenosti od položaja ravnoteže. Titraj je uvijek u kontaktu sa prijenosnikom zvuka odnosno titraja.

Postoje titraji raznih prigušenja, te je potrebno obratiti pozornost kako ne bi došlo do pogrešnog očitavanja. Koristeći analogiju titraja može se sa sigurnošću postići vrlo važan aspekt u očitavanju i pronalasku grešaka u ovoj metodi.

Ultrazvučni izvori su čestice sredstva koje ultrazvuk izaziva i titrat će istom frekvencijom kao i izvor, ali s različitom fazom. Ta faza ovisi o brzini prijenosa titraja, te točki koja je promatrana.

Stvaranje ultrazvuka može se postići odnosno dobiti:

- Piezoelektrički-najčešće za dobivanje ultrazvuka
- Magnetostrikcijski
- Mehaničkom pobudom
- Toplinskom pobudom
- Elektrostatski
- Elektrodinamički

Kod ovih metoda dobivanja svaka iziskuje dobivanje ultrazvuka nekom određenom principu te složenosti.

Postoje dvije vrste ultrazvučnih valova :

Uzdužni valovi kod kojih čestice titraju u smjeru širenja vala, ti valovi uzrokuju skupljanje i prorjeđivanje u smjeru kojem se šire, te poprečni valovi kod kojih su čestice u smjeru okomitom od širenja uzdužnog vala stoga ne uzrokuju skupljanje i prorjeđivanje vala kroz materijal. U idealnom slučaju mogu biti beskonačni u odnosu na valnu duljinu. To širenje ovisi o energiji širenja vala. Uzdužni valovi mogu se proširiti u sva tri agregatna stanja, dok poprečni valovi jedino u krutim sredstvima.

Frekvencija ima veliki utjecaj kod ultrazvučne metode ispitivanja. Povezana je izravno sa osjetljivošću, tako da ju čini parametrom kontrole. S duljinom vala povezana je tako da se u tom odnosu vrlo lako mogu otkriti pogreške u materijalu. Povećanom frekvencijom smanjuje se duljina vala. Repeticijska frekvencija se također koristi jer ona označava broj signala koji slijede jedan iza drugoga, te na takav način označava lokaciju na kojoj se nalazi određena greška.

Brzina ultrazvučnih valova ovisi o vrsti vala, gustoći i elastičnosti materijala u kojem se val širi, te o drugim čimbenicima kao što su temperatura i naprezanja u samom materijalu. Brzina i frekvencija valova moraju biti međusobno povezane tako da širenje valova kroz materijal bude takvo da otkrije pogrešku na mjestu ispitivanja materijala. U ovisnosti raznih materijala odnosno L, T i R valova drukčiji su parametri frekvencija i brzine, te drugih čimbenika za pronalazak grešaka. Ovisno na kojim frekvencijama će se valovi podudarati s brzinom i očitavati i pronalaziti pogreške unutar materijala, [3].

## **Prodiranje ultrazvuka kroz sredstvo**

Razni utjecajni čimbenici odlučuju o prodiranju ultrazvuka kroz sredstvo. Materijal djeluje na ultrazvuk, te u ovisnosti o tome stvaraju različiti efekt i utjecaj. Ovisno o geometriji sonde i obliku objekta kroz koji prolazi val, gubitke kroz apsorpciju materijala, izobličenje vala itd.

Gubici zbog širenja vala javljaju se zbog toga što ultrazvučni snop zatvara sve veći broj čestica. Ultrazvučni valovi širenjem gube na intenzitetu. Javljaju se gubici zbog strukture i nehomogenosti materijala koji se ispituje, zbog pretvaranja mehaničke energije u toplinsku i stvaranje, odnosno remećenje valova kroz određeni materijal. Potrebno je obratiti pozornost na ovisnost promjene vremena te na uvjete u kojima će ispitivanje biti obavljano. Isto tako javljaju se gubici zbog utjecaja vala na drugo sredstvo gdje se val remeti ako na njega neposredno utječe drugi čimbenik ili drugi materijal.

## **Ultrazvuk na granici sredstva**

Na granici sredstva dolazi do refleksije, odnosno odraza ultrazvučnih valova i prijenosa ultrazvučne energije na drugo sredstvo. Raspored refleksije ovisi koliko je jedan materijal od drugog udaljen, odnosno o dvaju čimbenika na granicama.

## **Oprema za ultrazvuk**

Kod ultrazvuka se koristi različita oprema. Alati koji se koriste moraju biti takvi da otkrivaju pogreške na elementu koji se ispituje, te ujedno za mjerenje raznih fizikalnih svojstava i mjerenje dimenzija za tzv. element ispitivanja. Kod ultrazvuka postoji oprema za ručnu upotrebu poluautomatska oprema i automatski sustav. Taj sustav opreme nužan je za otkrivanje nepravilnosti na zadanom materijalu.

Sustav opreme koji čini ultrazvučno ispitivanje sastoji se od:

- Ultrazvučnih uređaja
- Sonde
- Etalona i referentnih uzoraka
- Kontaktnog sredstva koje je bitno kod prijanjanja sonde i očitavanja
- Druga pomoćna oprema.

Prilikom rada s ultrazvukom potrebno je podesiti radnje koje su nužne da bi se očitalo sve potrebno na elementu. Provjera rada ultrazvučnog sustava vrlo je bitna za daljnji rad. Princip se svodi na to da postoje dvije vrste elektronskih sklopova koji omogućuju očitavanje. Prvi sklop omogućuje napajanje, generiranje električnih impulsa, pojačavanje, sinkronizaciju i druge funkcije koje zahtjeva uređaj. Druga vrsta su sklopovi izlaznih jedinica čiji je zadatak da rezultate ultrazvuka prikaže korisniku u prikladnom obliku u određenoj interpolaciji. Određeni elementi uređaja kao što su katodna cijev generator impulsa, generator pilastog napona prisiljava elektronski snop na horizontalni otklon u smjeru x osi, koji se nakon toga odbija i vraća nazad pri zadanim funkcijama. Pojačalo služi za pojačavanje amplitudi impulsa ovisno o materijalu koji se koristi, npr. čelik ili neki drugi materijal. Prilikom prolaska kroz sklop uređaja u uređaj signal dolazi i daje pojačani signal oscilogramu i obrnuto. Na istoj valnoj razini moraju biti oscilogrami i očitavanje otpora autentora. Monitor prikazuje pretvorbu signala u razumljivo predočenje određenih otkriveni pogrešaka ili dubinskih oštećenja koje su vidjivi i pomoću monitora sa kojega se očitava i bilježi. Izlazna jedinica omogućuje dobru povezanost s cijelim uređajem.

Kod rukovanja ultrazvučnim uređajem prilikom primjene u radu potrebno je dobro poznavati sve bitne parametre i očitavanja te prepoznati stvarnu procjenu određenih prikaza na monitoru.

Sonde su dio uređaja koje svojom konstrukcijom doprinose očitavanju elementa. Sama konstrukcija svodi se na materijal pretvarač, konfiguracija elektroda, prigušivač i njegove zračnjake prizme te maske za prijenos ultrazvučnog materijala, kućišta i zaštitnih elemenata za zadanu sondu. Sonda služi za očitavanje, pomoću sondi se očitavaju elektromagnetski valovi koji se odbijaju od unutarnjih nepravilnosti do same sonde nakon čega ih je moguće očitati na monitoru i locirati mjesto na kojem se nalaze.

Postoje različite vrste sondi, odnosno različita podjela istih:

- Ravna sonda- kut sonde je nula stupnjeva te se koristi na ravnim površinama, prima i odašilje valove okomito na svoj izlazni kut
- Kutna sonda- označava smjer odašiljanja i prijem pod određenim kutem tj. pod kutem normale na plohu pretvarača. Najčešće kutne sonde se pojavljuju u oblicima 45, 60, 70 i 80 stupnjeva. Primjenjuje se na pregibima pod određenim kutom te na nagibima i ostalim zakrivljenjima.
- Dvostruka sonda- ova sonda ima odvojen prijemnik i odašiljač pa je zato dvostruka. Ova dva djela međusobno su jača odvojena i daju bolje rezultate od jednostruke sonde, nedostatak je skupa izrada.
- Fokusrajuće sonde- u jednom dijelu je svaka sonda sužena pa postaje fokusirajuća.

Valne duljine su složenije jer moraju pod određenim postupkom i rukovanjem očitavati elektromagnetne valove. Složenost je na visokoj razini, [3].

## **Pretvarači**

### Piezoelektrički pretvarači

Sonde su vrlo osjetljivi materijali ultrazvučnog sustava unutar kojih se nalaze pretvarači koji pretvaraju električnu energiju u ultrazvučni dio i obrnuto. Pretvarači su napravljeni od različitih piezoelektričnih materijala. Svaki piezoelektrični pretvarač bitan je sastavni dio svake sonde i pomoću njega je moguće očitavati elektromagnetske valove. Pobuđivanje pretvarača za otkrivanje i detektiranje grešaka mora imati visoku amplitudu odašiljanja signala kako bi greška bila pravovremeno locirana, isto tako kratkotrajni impuls koji je bitan za intenzitet dobrog razlučivanja. Pobuđivanje pretvarača postiže se titranjem, pretvarač se utitrava. Karakteristike nužne za pretvarače su materijal, debljina, mehanička prigušenja, električna prigušenja i filtriranje. Oblik amplitude ultrazvučnog impulsa su posljedica vrste električne intencije. Pošto je ovaj sustav sastavni dio sonde tako i rukovanje sondama treba biti poznato jer iako izvana djeluju čvrsto iznutra su krhke i lomljive pa je potrebno izričito paziti da se prilikom rukovanja ne oštete.

Etaloni prilikom pregleda služe za provjeru same sonde tako da i oni imaju ulogu podešavanja i kontrole prilikom same odluke o početku rada sa sondama, koriste se u više namjena za :

- provjeru linearnosti sustava
- određivanje izlazne točke sonde
- provjeru i utvrđivanje kuta sonde
- bandažiranje i podešavanje sustava
- provjeru mrtve zone
- provjeru i praćenje osjetljivosti sustava
- odnosa signal-šum
- provjeru razlučivanja

Svaka provjera može se koristiti pomoću etalona i pomoću referentnih uzoraka ili bloka, sa sigurnošću je moguće podesiti sonde da bolje očitaju i povezuju elektromagnetske valove.

Ultrazvučno polje sonde zavisi o intenzitetu i ultrazvučnom snopu. Kao i o vrsti vala koji sonda generira mijenjat će se intenzitet prilikom prelaska sonde na površinu. Snop je podijeljen u tri faze;

blisko polje, tranzitna zona, te daleko polje ili Fraunhoferova zona. Kroz navedene tri zone prolaskom valova očitavaju se greške. Ovisno o decibelima potrebno je sagledati svaki dio i jako dobro poznavati fiziku samog ultrazvuka i lomova i elektromagnetsku funkciju svih dijelova da bi sustav bio kompletan u cjelini. U cjelini poznati su nam L-valove, T-valove, kružni oblik valova, ultrazvučni snop dvostruke sonde. Križanjem valova postupno odašilju greške te ih isto tako i vraćaju da se očita cijeli sustav. Na objekt sustav ispitivanja funkcionira na principu odbijanja od površine materijala do kraja objekta te pronalasku grešaka ili pukotina koje su unutra te vraćanjem nazad i očitavanju istih, [3].

### **Karakteristike sustava**

Svaki sustav ima niz elemenata koji su potrebni da bi se provelo ultrazvučno ispitivanje. Od toga da svaki dio elementa slijedi drugog, do te mjere da bez povezanosti nema dobre provedbe ispitivanja ovom metodom. Elemente sustava čine: ultrazvučni uređaji, sonde, te drugi prethodno definirani sklopovi sustava, kao glavni elementi, što se tiče pomoćnih elemenata to mogu biti i određene naprave za skeniranje, pribor i pomagala, do raznih robota u automatskoj kontroli koji utječu dodatno na rezultate ispitivanja. Ukoliko se pomagala ne koriste ispravno može doći do pogrešaka prilikom samog ispitivanja tako da je potrebno vrlo odgovorno naučiti rukovanje pomoćnih pomagala kod ove vrste ispitivanja. Sonde moraju imati svoja svojstva odnosno karakteristike kao što su ovdje navedene: frekvencija, blisko polje, fokus, dimenzije, određene kutne sonde u određenim vremenskim uvjetima, odstupanje središta snopa, kut divergencije, otpornost trošenja, otpornost pretvarača na tlak, radno temperaturno područje, maksimalna temperatura kratkotrajnog djelovanja, definiranja u dijagramu i isto tako prethodno navedenih dijelovi i karakteristike sonde općenito. Parametri moraju biti zadovoljeni. Ove karakteristike se dijele u dva dijela koje je potrebno razlikovati:

a) radna karakterizacija sustava-provodi se neposredno pred ispitivanje radi provjere karakteristika

b) karakterizacija sustava u ovlaštenim laboratorijima za provjeru skupe opreme i razinu kakvoće same opreme.

Kod provedbe karakteristika potrebno je držati se i ovih parametara dodatno:

Vrijeme uhodavanja uređaja od trena paljenja do rada pa sve do završetka rada uređaja.

Stabilnost ultrazvučnog sustava da radne karakteristike ne variraju tijekom dužeg perioda.

Provjera horizontalnih i vertikalnih linearnosti, provjera izlazne točke sonde je vrlo bitna stavka u radu ultrazvučog ispitivanja, u to spada dodatno njen kut, te razlika signal/šum. Razlučivanje i zona utjecaja signala. Ulazno razlučivanje određuje duljinu u materijalu koji se ispituje, aksijalno razlučivanje teže otkriva neke greške jer povratni impulsi i njihovi signali se ne mogu razlučiti kriterijima 6 dB dola, zona utjecaja uzastopnih odjeka za svaku grešku i svaki impuls odbijen uzrokuje vibracije od  $\pm 2$  dB naziva se zona utjecaja signala, odklon snopa te profil snopa i ujedno norme za određivanje karakteristika detaljnije se utvrđuju tijekom rada i općenitog rukovanja s ultrazvučnim ispitivačem, [3].

### **Priprema sustava za ispitivanje, te ostale značajke koje su bitne prilikom ispitivanja**

Izbor ispitivanog sustava prvi je korak za odabir elementa koji je potrebo ispitivati. Primarni elementi ultrazvučnog sustava biraju se prema zahtjevu za ispitivanje. Važno je da se prilikom početka rada na elementu dobro utvrdi što je potrebno, te na koji način će se prilagoditi sam uređaj prije ispitivanja, od prilagodbi sonde do ostalih parametara koji su bitni kod dobrog početka rada i ispitivanja. Izborom sustava i dobre procjene može se sa sigurnošću dobro utvrditi gdje se određena pogreška nalazi. Prilikom rada potrebno je bandažiranje ili tzv. kalibracija postupka kojim se na primopredajniku postiže linearno pridruživanje dimenzija ispitivanog elementa. Vrlo je važno bandažirati cijeli sustav jer to utječe na daljnji postupak ispitivanja. Bandažiraju se sonde do samog ultrazvučnog uređaja, kako bi sistem dobro funkcionirao. Isto tako vrijedi za sve sonde da se pravilno bandažiraju od ravnih do kutnih, te samo mjerno područje. Bandažiranje direktno na mjestu objektu ispitivanja, bandažiranje na ultrazvučni put znači da ovdje postoji razlika u sondama tj. put ultrazvučne sonde i valova kutne te isto tako i ravne sonde. Potrebno je koristiti baždarenje na „n“ zadanu projekciju i skraćenu projekciju puta. Na samom elementu prilikom početka ispitivanja vrši se također baždarenje određenim etalonima te dodatna provjera kalibriranja. Dvostruka mjerna skala je dubina pogreške, odmah ispod ulazne plohe očitava se direktno oscilografom. Napomena da se svaka sonda kalibrira na svoj za to naveden način.

U ovom slučaju ima i mjera netočnosti pri određivanju položaja pogreške, ona se određuje mjerom određene tolerancije referentnog etalona. Pogreške se moraju naći unutar mjernog etalona odnosno unutar baždarenja.

Tehnike mjerenja veličine pogreške, te mjeriteljska mogućnost ovisi o više čimbenika odnosno o samoj pogrešci. Tehnike se jako razlikuju, ovisno o tome presijeca li pogreška dimenzijom koji ultrazvučni snop ili je unutar snopa. U literaturi razlikuju se izrazi velikih i malih pogrešaka, te preklapanje pogrešaka, preklapanjem velike i male pogreške na istome mjestu, [3].

### **Fizikalne veličine ultrazvuka**

Fizikalne veličine kao što su mjerenje prigušenja ultrazvuka je relativan postupak.

Kod fizikalnih veličina ubrajaju se:

- frekvencija koje mora biti viša od radne
- vrsta vala kojim se ispituje
- dimenzije etalona; preporučuju se one u standardima iz normi tj zvučni put tzv
- kvaliteta površine - kontrolna ploha i stijenke s kojima se postiže odraz, odnosno skok
- temperatura – potrebno je obratiti pozornost na temperaturu okoline i da li je objekt pod kontrolom ili nije
- kontaktno sredstvo mora biti jednolikost kontakta duž cijele površine

Kod svih fizikalnih veličina u ovom aspektu uzima se u obzir samo najbitnije veličine, dok tehnike, postupak, oblik i dimenzije, ostala detaljnija mjerenja biti će prikazana u samoj strukturi kod izrade i prikaza na određenom elementu koji se mjeri. Uz navedeno postoje i tehnike ispitivanja određenih područja jer za svako područje tzv. limova i cijevi ima određeni postupak otkrivanja pogrešaka. Svaki model je drukčije prezentiran, za svaku pripremu mora se početi od normi i toga da sve što se određuje se primjeni na zadanome elementu. S obzirom na cijeli postupak ultrazvučnog ispitivanja, najslabiji je postupak kod kontrole bez razaranja gdje se jasno vidi preciznost i odlično poznavanje mjeritelja za ovu metodu. Kako je navedeno, po složenosti i ostalim stavkama ova metoda je „specifična“ u postupcima kontrole bez razaranja, [3].



## 2.6 ISPITIVANJE NEPROPUSNOSTI

Nepropusnost znači sposobnost sprječavanja prolaza vode ili nekog drugog medija kroz konstrukciju. Ispitivanje nepropusnosti je test koji se provodi pomoću zraka ili nekog drugog medija sa ciljem dokazivanja nepropusnosti strukture i zavarenih spojeva tanka. Ispitivanje se provodi za sve ručne zavare na granicama prostora, svim montažnim spojevima, te zavarima penetracijama (npr. cijevi) koji moraju biti testirane na nepropusnost kada se za to postignu tehnološki uvjeti, odnosno kada je prostor (tank) formiran i kada su svi zavareni spojevi koji su predmet pregleda vizualno prihvaćeni od strane klasifikacije i nerazorno ispitani u skladu sa planom nerazornih ispitivanja u definiranom obimu. Spojevi koji su zavareni automatom moraju biti vizualno u potpunosti pregledani, nerazorno ispitani u definiranom obimu ali sukladno klasifikacijskim pravilima nisu predmet ispitivanja nepropusnosti. Ispitivanje nepropusnosti potrebno je obavezno napraviti prije antikorozivne zaštite. Svi ručni zavari na granicama prostora koji se ne mogu ispitati prije provođenja antikorozivnih radova u fazi predmontaže moraju se zaštititi samoljepljivim trakama, te naknadno ispitati na nepropusnost.

Samo ispitivanje nepropusnosti provodi se na dva načina. Pomoću vakuum kutije ili ukoliko to nije moguće ili tehnološki neophodno tlačenjem zrakom formiranog tanka. Ispitivanje nepropusnosti vakuum kutijom provodi se prvenstveno u fazi izrade sekcija, dok se ispitivanje nepropusnosti tlaka zraka provodi po izvršenoj montaži sekcija na navozu i formiranja prostora. Ispitivanje nepropusnosti vakuum kutijom provodi se od strane kompetentnog osoblja uz pomoć vakuum kutije koja se prislanja uz zavareni spoj i djelovanjem podtlaka na površini zavarenog spoja stvara uvjete koji će lako omogućiti detekciju propusnosti što je prikazano na slici 1. (vakumska pumpa, detektor propusnosti i plin koji se koristi za ispitivanje propusnosti)



Slika 1. Prikaz vakuum detektora i objašnjenje da je njegov cilj locirati curenja u zavarenim spojevima zbog diskontinuiteta debljine žlijeba. To se postiže nanošenjem otopine na zavar i izazivanjem stvaranja mjehurića dok plin koji curi prolazi kroz otopinu.

Prije prislanjanja vakuum kutije na zavareni spoj isti je potrebno kvalitetno pripremiti odnosno sa istog ukloniti nečistoće, boju, masnoću odnosno sva strana tijela koja bi mogla ugroziti ispitivanje i umanjiti mogućnost otkrivanja propuštanja. Zavareni spoj spreman za ispitivanje se tada premazuje tankim slojem smjese sapunice koji će poslužiti kao medij za detekciju ukoliko zavar propušta. Naime u tom slučaju će se na mjestu propuštanja pojaviti mjehurići. To predstavlja indicaciju da na spojnem mjestu imamo propuštanje. Ukoliko se potvrdi da je indicacija točno na tom mjestu zavarenog spoja onda nije prihvatljiva i isti spoj se mora reparirati koje se provodi brušenjem ili žljebljenjem i navarivanjem neprihvatljive pozicije. Po obavljenoj reparaciji neprihvatljivu poziciju potrebno je ponovno ispitati.

Ispitivanje nepropusnosti tlakom zraka u brodogradilištu provodi se nakon ukrupljavanja sekciji i obavlja ugradnjom svih cijevnih prolaza koji su također sastavni dio stijenke tanka i mogu uzrokovati propusnost. Samo ispitivanje provodi se tako da se tlak zraka u tanku na početku ispitivanja diže na 0.2 bar-a i na istom zadrži oko 1 sat, a zatim se isti spušta na oko 0.15 bar-a i u tom trenutku pristupa se premazivanju zavarenih spojeva tankim slojem sapunice kao i u slučaju sa vakuum kutijom.

Ostali uvjeti koje je potrebno ispoštovati za kvalitetno ispitivanje i visoki stupanj detekcije ostaju nepromijenjeni, odnosno vrijedi sve kao i kod vakum kutije. Po otkrivenoj propusnosti istu je potrebno reparirati, a ispitivanje nepropusnosti ponoviti. Ispitivanjem nepropusnosti potrebno je obuhvatiti sve tankove broda, kako tankove raznih brodskih službi i sustava u strojarnici, tako i sve tankove tereta i balasta.

Primjer nepropusnosti prikazan je u tablici 2. ( ispitivanje vakum kutijom - procedura ispitivanja)

Tablica 2.6.1 vakuum testni list (prikazan kao tablica) za upisivanje podataka bitnih kod ispitivanja nepropusnosti. Važni podaci se upisuju za to predviđena mjesta kao što su broj zavora, lokacija i dodatni komentari koji se naknadno upisuju, te se na taj nači olakšava gdje je nastala indicacija tj. njena pozicija. Ovdje je isto tako prikazano tko će obavljati kontrolu pod operater i na kraju se stavlja datu ispitivanja.

BRODOGRADILIŠTE		ISPITIVANJE NEPROPUSNOSTI VAKUM KUTIJOM - REZULTATI ISPITIVANJA		
GRADNJA: 123		NACRT: 121-123-001		
SEKCIJA: 1234VT01		GRUPA: 123VT01		
VRSTA MATERIJALA: ČELIK		DEBLJINA MATERIJALA: 15 MM		
MANOMETAR: RGS-IT		RASPON MAOMETRA: 0-10 BAR		
TLAK VAKUMA: 0,1 BAR		VRIJEME VAKUMIRANJA: 30 S		
TEMPERATURA: 20° C		RASPON SVIJETLA > 500 LUX : MIN 500 LUX		
MEDIJ: SAPUNICA				
SERIJSKI BROJ ZAVARENOG SPOJA	POZICIJA ZAVARA	PRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO	PRIMJEDBE
12345670VT01	Opločenje vanjske oplate	X		Nema primjedbe
KOMENTARI:				
DATUM: 20.09.2022				
KONTROLOR	BRODAR			
NADZOR	TEHNOLOG			
PREDSTAVNIK KUPCA	PERO PERIĆ			
PREDSTAVNIK KLASIFIKACIJA	IVO IVIĆ			

### 3. POGREŠKE U ZAVARENIM SPOJEVIMA

Pogreške u zavarenim spojevima metalnih materijala sistematizirane su i opisane u normi HRN EN ISO 6520-1:2008. Zavarivanje i srodni procesi razredba geometrijskih nepravilnosti u metalnim materijalima. Osnova svih pogrešaka je njihova podjela.

#### **Pukotine**

Spadaju u skupinu tj. oznaku (100). To je kategoriju najopasnijih pogrešaka zavarenih spojeva. Nisu dopuštene zbog činjenice da se mogu jače širiti te dovesti do većeg pucanja i loma u samom spoju ili materijalu kod zavarenog spoja. Pukotine su najopasnije vrste pogrešaka, zbog njih je jako veliki broj konstrukcija otkazao.

Pukotine dijelimo na:

- 1. Tople pukotine** – pojavljuju se pri visokoj temperaturi. Tijekom hlađenja taline do čvrstog stanja. Nalaze se najčešće uzduž zavara. Bitan uzrok je gubitak sposobnosti zavara da izdrži naprezanja nastala skupljanjem u posljednjoj fazi skrućivanja.
- 2. Hladne pukotine** – pojavljuju se nakon zavarivanja na temperaturi manjoj od 300 C<sup>0</sup>. Mogućnost pojave je i par sati nakon zavarivanja najčešće između 24-48 sati prije provjere kontrole bez razaranja. One mogu biti uzdužno ili poprečno položene na zavar ili na prijelazu u osnovni materijal. Moguća je vidljivost pukotina i na površini zavarenog spoja. Svrstavamo ih od mikro pukotina do makropukotina.

Izbjegavanje pogrešaka u prvome redu bi se trebalo dobro izvoditi konstrukcijska rješenja zavarene konstrukcije, isto tako da se sa što manjim dodatnim radnjama uništava ta konstrukcija. Vrlo je važno poznavanje postupaka zavarivanja i ispitivanja kontrole bez razaranja kako bi se uspješno izbjegla i najmanja oštećenja u materijalu. Unos toplinske energije ima vrlo bitnu ulogu te se smatra da premali unos toplinske energije stvara hladne pukotine, dok preveliki unos stvara tople pukotine. Ostale pukotine su samo navedene, a one najvažnije objašnjene. Vrlo je važno detaljno pregledati svaki zavareni spoj, te u tom slučaju vrlo pažljivo sve proučiti kako ne bi izostavili ili zanemarili pukotinu koja može vrlo brzo uništiti konstrukciju samog materijala odnosno elementa koji je proučavan. Postoje norme i standardi te ispitivanja kojima se omogućuje i pojašnjava detaljnije i točnije mjerenje te pronalazak oštećenja i nepravilnosti, [5].

## Poroznosti

Šupljine ili poroznosti oznaka (200)

Poroznost znači da je u metalu mjesto ispunjeno stlačenim plinom. To znači da ukoliko topivost plina u rastaljenom metalu raste, tako vodik i dušik se rastapaju izravno u metalu, a kisik u spoju s ugljikom. To je vezano samo za slučaj vodika u metalima. Za slučaj aluminijskog spoja, pošto je drugačijeg sastava skokovit je prijelaz pri njegovoj temperaturi taljenja, jer plinovi naglo izlaze tijekom hlađenja na površinu i nastaju mjehurići poroznosti koji su vidljivi u materijalu. Isto tako prilikom izlaska plinova mogu ostaviti tragove poroznosti i na vanjskim površinama zavara.

Štetni plinovi (kisik, vodik, dušik) ulaze direktno u talinu iz električnog luka, a iz tog luka dolaze direktno iz okoliša odnosno iz vlage ili nekih drugih oblika kao što je nečistoća koja se nalazi u dodatnom materijalu ili na površini osnovnog materijala na mjestu zavara. Nepotpuna dezoksidacija dovodi do nastajanja ugljičnog monoksida. Utjecaj poroznosti na čvrstoću zavarenog spoja ovisi o raznim čimbenicima, a mjesta gdje nastaju poroznosti utječu na samu čvrstoću, tako da pore kuglastog oblika koje nastaju u zavarenom spoju narušavaju otpornost materijala, odnosno smanjuju njegovu veličinu. Pore u kutnim zavarima izrazito su opasne iz razloga što smanjuju dinamičku izdržljivost, kod jakih oscilirajućih opterećenja, te kod niskih temperatura. Poroznosti se mogu ukloniti odnosno popraviti žlijebljenjem ili brušenjem.

Da bi se izbjeglo nastajanje poroznosti potrebno je ukloniti uzrok nastajanja istih koji se dijele na:

- Nečistoća i vlažnost na mjestu zavarivanja
- Preslaba zaštita elektrodužnog luka od atmosferskih utjecaja prilikom procesa zavarivanja
- Neispravnost podešenih uređaja za zavarivanje i tehnika kod zavarivačkih radova

Najčešće nečistoće su hrđa i okujina, čestice oksida i čestice brušenja u žlijebu spojeva, a kod strojne obrade brušenjem i zamašćivanjem. Vlaga također uzrokuje poroznosti pri nižim temperaturama. Predug električni luk i previsok napon slabi talinu. Da bi se sve ovo izbjeglo zavarivači moraju znati kako pravilno postaviti električni luk, te kako rukovati, odnosno raditi i kada i na koji način je potrebno napraviti prekid ili određenom tehnikom izbjegnuti nastajanje poroznosti.

Pravilnim postupanjem od početka zavarivačkih radova smanjuje se poroznosti, a to su :

- Besprijeckorno čista površina i mjesto zavarivanja, naročito kod visokih zahtjeva za kvalitetu zavarenih spojeva

- Odmašćivanje spoja
- Uklanjanje debelog sloja oksida (aluminij i aluminijske legure)
- Prilikom hladnijeg vremena treba plinskim plamenom osušiti spoj
- Pravilna uspostava i prekid električnim lukom
- Pravilno održavanje električnog luka, ispravan napon, pravilan nagib pištolja ili elektrode
- Ispravna količina zaštitnog plina (dovoljna da ne izazove šupljinu)
- Sušenje elektroda i praška prije zavarivanja
- Odgovarajuća čistoća zaštitnog plina
- Ispravan uređaj za zavarivanje odnosno sustav dovođenja plina (regulatori, crijeva)
- Ispravni parametri zavarivanja
- Ispravna tehnika izvođenja

## Čvrsti uključci

### Čvrsti uključci skupina (300)

Kod čvrstih uključaka raspoznaju se dvije vrste: nemetalni kao troska i prašak, te metalni kao npr. volfram ili bakar kod zavarivanja uz pomoć bakrene podloške. Uključci nastaju najčešće zbog velikih nečistoća među slojevima zavara, te je problem kod žljebova, jer se troska ponekad teško čisti. Ponekad zavarivači rade dosta pogrešaka prilikom rada, te se zato prilikom neispravnog rukovanja pretali samo dio. Potrebno je pravilno pripremiti površinu prije početka zavarivanja. Uključci nastaju većinom uz oštre rubove zavara, te odmah uz njega ih je vrlo teško uočiti pa je problematika s njima veća. Ovu vrstu pogrešaka potrebno je poznavati kako bi se dobro uočile i sanirale. Uključci oksida događaju se tijekom elektrolučnog zavarivanja aluminijskih legura. Zbog navedenih segmenata kod nepravilnog ili nedovoljnog čišćenja prije elektrolučnog postupka često se javlja pogreška uključka koji se stvaraju zbog velike toplinske opterećenosti ili lošeg postupka rada. Ove vrste uključaka mogu se otkriti prozračivanjem ili prozvučivnjem u metalu zavara.

Nemetalni uključci i uključci stranog metala smanjuju čvrstoću zavarenog spoja zbog nehomogenosti, uostalom, na tim mjestima povećava se naprezanje u zavaru. Oni sa oštrim rubovima funkcioniraju kao akteri pukotina, dugački uključci smanjuju volumen odnosno presjeka zavara, a sitni uključci kuglastog oblika nisu toliko opasni i djeluju kao pore u zavarenom spoju. Metalni uključci uglavnom su sitni i jedva vidljivi. Poznati su uključci kroz elektrolučno

zavarivanja (EPP), elektrolučno zavarivanja taljivom žicom i kod elektrolučnog zavarivanja pod zaštitnim praškom, s njima se postupa kao i kod nemetalnih uključaka kada se pojave u zavaru.

Da bi se izbjeglo nastajanje čvrstih uključaka u zavaru postavljaju se određena pravila:

- Pravilna priprema zavarenog spoja, ispravan kut otvora žlijeba
- Besprijeckorno čišćenje troske između slojeva kod višeslojnog zavarivanja
- Kod zajeda ili kod većeg ispupčenja prethodnog sloja potrebno je brušenje i uklanjanje oštih zareza
- Ispravnim parametrima i pravilnom tehnikom izvođenja smanjuju se pogreške
- Zavarivanje nelegiranih i polulegiranih čelika treba upotrijebiti bazične elektrode, bazično punjenje žica i praškove
- Kod aluminijskih i aluminijevskih legura nečistoće treba ukloniti četkanjem ili struganjem
- Kod elektrolučno zavarivanje postupaka aluminijevskih legura treba paziti da se talina ne dotiče volframove elektrode, [5].

### **Naljepljivanje i nepotpuni provar ( skupina 400 )**

Naljepljivanje je pogreška nepostojanja čvrste strukturne veze u zavarenom spoju ili navaru. Naljepljivanje taline prouzrokuje nalijeganjem taline dodatnog materijala na hladni dio nepretaljene površine spoja ili nekog prijašnjeg zavara. Djelomično se pojavljuje i kod navarivanja zavara i u tom slučaju izostaje strukturna povezanost zavarenog spoja.

Najčešći uzroci naljepljivanja su:

- Nepravilna priprema spoja
- Neispravni parametri zavarivanja
- Nepravilna tehnika rada

Promjenama elektroda ili preslabe struje također dolazi do naljepljivanja. Svakako mora pripaziti kod rada zbog brzih izmjena ili prevelikih nalijeganja taline dovodi se do naljepljivanja, odnosno pogreške. Najčešće se javlja kod elektrolučnog zavarivanja taljenja u aktivnom zaštitnom plinu prilikom premale brzine zavarivanja, prevelika količina taline. Kod ovih pogrešaka i pogrešaka čvrstih uključaka potrebno je pripaziti na rad električnog luka i njegove jakosti.

Uzroci naljepljivanja mogu biti i unutarnji tj. kao pogreška u zavaru tamo gdje se obostrano izvodi zavar i može biti vanjska kod jednostranog zavarivanja. Vanjske pogreške otkrivaju se vizualno dok unutarnje ne, pogotovo kada se nalaze na teško dostupnim mjestima.

Ovdje su navedeni neki od uzroka nastajanja naljepljivanja:

- Nepravilna priprema spoja (preмали razmak u korijenu, preveliko smaknuće ili prevelika visina grla žlijeba, preмали otvor kuta žlijeba)
- Neispravni parametri zavarivanja (preмala struja, prevelika debljina žice ili elektrode)
- Nepravilna tehnika rada

Provarivanje korijena kod ručnog ili poluautomatskog zavarivanja složeniji je dio tehnike rada zavarivača, jer kada bi se ispravno provarivalo morao bi biti odgovarajući razmak u grlu žlijeba.

Utjecaj naljepljivanja na čvrstoću, kao što je navedeno kod naljepljivanja, je nepostojanje čvrste veze u zavaru zbog nedovoljnog miješanja rastaljenog dodatnog i osnovnog materijala. Geometrijski gledano to su pogreške najslabije i najbliže pukotinama. Jako su opasne pod dinamičkim opterećenjima konstrukcija, te su vrlo „neugodne“ kada se pojave u zavaru jer se teško otkrivaju, stoga su složeniji oblik pogrešaka. Prozračivanjem se jako teško pronalaze isto kao i prozvučivanjem. Naljepljivanje nije dopušteno uopće u zavarenom spoju, osim u manje opterećenim konstrukcijama. Nepotpuni provar može u korijenu biti vanjski i unutarnji kao prikaz X-spoja ili kutnog spoj. Nedovoljni provar smanjuje čvrstoću zavarenog spoja.

Da bi se izbjeglo naljepljivanje i nedovoljno provarivanje potrebno je voditi brigu o raznim čimbenicima na zavareni spoj. Kako je složenost ovih pogrešaka u malom obujmu mogu se stvoriti i naštetiti daljnjem radu sustava. Svakom postupku se pristupa s velikom odgovornošću, [5].

### **Pogreške oblika zavara ( skupina 500 )**

Pogreške oblika zavara smatraju se sve one sa svakim odstupanjem od zadanog oblika zavara. Ove pogreške nisu samo estetskog oblika već je njihova važnost u tome što smanjenjuje nosivosti zavarenog spoja, posebno kod dinamički opterećenih konstrukcija. Kod ovih pogrešaka je različit uzrok nastajanja njihove prirode i utjecaj nosivosti na konstrukciju. Ove pogreške su vrlo dobro vidljive, najčešće se pregledavaju vizualnom kontrolom, stoga je njihovo otkrivanje vrlo jednostavno. Ovdje su opisani tipovi pogrešaka kao što su zajednički uzavar (501) te skupinu pogrešaka (502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 5011, 512, 513, 514, 515, 517 i dodatno naveden 5041).



**Zajedi uz zavar 501:** oštri zarezi na prijelazima zavara, osnovni materijal kod sučeljenog kutnog spoja. Najčešće se nalaze na prijelazima zavar-stranica žlijeb ili zavar kod višeslojnog zavarivanja. Ove se pogreške nazivaju urezi koji nastaju prilikom oštećenja elektrolučnog luka. Zajedi mogu biti mjestimični ili po sredini zavara, a nepravilnim radom i tehnikom mogu nastati uz sam zavar. Određeni parametri kao što su prejak luk dovode do oštećenja zavara. Da bi se izbjegle ovakve pogreške potrebno je koristiti brušenje i očistiti ga do metalnog sjaja, to znači da sve površine moraju biti kompletno čiste. Pretaljivanjem popravljamo nastale greške i to bez pomoći dodatnog materijala.

Skupina pogrešaka 502, 503, 504, 505, 506, 512 i dodatno navedena 5041 pogreška.

Preveliko nadvišenje zavara na sučeljeno spoju 502, prevelika ispučenost zavara na kutnom spoju 503, preveliko nadvišenje korijena zavara 504, prokapljina na korijenu zavara 5041 oštar prijelaz zavara 505, nesimetričan kut zavara 5012 te preklop zavara 506 pogreške su koje nastaju nepažljivom pripremom i nestručnim izvođenjem zavarivanja.

**Preveliko nadvišenje zavara na sučeljnomo spoju 502:** višak je nanesenog pomoćnog materijala. Uzrok je najčešće premala brzina zavarivanja ili previsok nanos preposljednjeg sloja, tako da posljednji sloj nije moguće izvesti s ispravnim nadvišenjem. Najčešće se stvara prilikom zavarivanja u okomitom položaju.

**Prevelika ispučenost 503:** kutnog zavara je želja da se izbjegne jednoslojna izvedba, te se zahtjeva veće nadvišenje kutnog zavara kako bi se u pravilu izvodila u više navrata. Kod zavarivanja u okomitom položaju do ispučenja zavara dolazi nepravilnim gibanjem elektrode s premalom brzinom zavarivanja i stvara se prevelika talina koja se skuplja prema sredini korijena zavara. Kod elektrolučnog zavara praškom i kod elektrolučnog zavara taljenom žicom ispučenje dolazi zbog premale jakosti struje i luka.

**Prevelikom provaru ili prevelikom nadvišenju korijena zavara 504:** predstavlja veliki razmak u dubini žlijeba. Kombinacije prejaka ili premala struja ili prejaki ili premali strujni luk uzrokuju njihov nastanak. Na bakrenoj površini se izvodi zavarivanje korijena zavara, te je to najčešći postupak rada.

**Prokapljina 5041:** je djelomično „ispučen“ višak metala na korjenu zavara koji je izveden tako da nastaje samo s jedne strane cijevi ili zavara. Kao što je već opisano prije, prokapljine nastaju kod loše pripreme materijala, najčešće pojavom zračnosti u grlu žlijeba. Prokapljina je magnet za dodatne greške kao što su plinski uključci, uključci troske, pa čak i pukotine.

**Oštar prijelaz zavara 505:** pregib zavara s nenadanim promjenama u osnovnom materijalu. Uzrok ove pogreške je premali napon električnog luka ili premala jakost struje zavarivanja. Ove pogreške se zbog oštih prijeloma silnica kod naprezanja materijala smatra opasnim zbog indiciranja pukotina na dinamičko opterećenim konstrukcijama te kod njih nije dopuštena. Kod dinamičko opterećenih spojeva viših kriterija cijelo se nadvišenje mora ukloniti brušenjem.

**Nesimetrični kut zavara 512:** Oblik kutnog zavara koji je van standardni, to znači da je jedna stranica kutnog zavara u nesrazmjeru sa drugom. Najčešće se pojavljuje kod kutnih zavara u vodoravnom položaju sa neispravnim nagibom elektrode. Do pogreške dolazi kada se želi zavariti kutni zavar visine 5 mm ili više u jednom sloju. Velika količina taline pod utjecajem sile teže razlijeva se na donju stranicu kutnog zavara. Kutni zavari koji imaju veću visinu od 5 mm zavaruju se postepeno ne u jednom sloju.

**Preklop zavara 506:** preklop zavara događa se najčešće kod preklopa odnosno sučelnog spoja zavara i osnovnog materijala, bez taljenja osnovnim materijalom. Može nastati na „licu“ ili korjenu zavara. Najčešće se ove pogreške stvaraju kod materijala kao što su aluminij i bakar.

### **Smaknutost sučeljavanja stijenki, odstupanje od pravaca tj nepodudarnost elemenata 507 i 508:**

Sama riječ smaknutost govori o odstupanju od osi sučeljavanja dvaju elemenata istih debljina kod spajanja zavarenog spoja koji smanjuje čvrstoću zavarenog spoja tj. zavara kod dobro izvedenih postupaka. Karakterizira ga nepovoljni raspored silnica prilikom opterećenja zavara. Takve pogreške nastaju u unutarašnjoj strani cijevi, gdje velikom brzinom prolazi neki medij i s vremenom uzrokuje određenu eroziji ovisno o mediju. Smaknutost nastaje nemarnošću radnika koji obavlja pripremu spoja za zavarivanje ili prilikom pomicanja rubova u sučeljavanju zbog loma tijekom zavarivanja. U ovom slučaju potrebno je spriječiti nastanak ovih pogrešaka vizualnom kontrolom prije samog zavarivanja.

Utonuće površine zavara, prenizak zavar i uvučen korijen zavara (509,511,515)

Utonuće zavara 509, prenizak zavar 511 i uvučen korijen zavara 515 slične su pogreške nastale različitim uzrocima. Zajednička im je značajka nedovoljno popunjen presjek zavara. Svaka od ovih pogrešaka smanjuje čvrstoću zavara.

**Utonuće zavara 509:** sljeg nanesenog dodatnog materijala nastalo djelovanjem sile teže na talinu u rastaljenom stanju odnosno nepravilnim rukovanjem električnog luka tj. usmjeravanjem i stvaranjem prevelike količine taline. Najčešće nastaje kod zavarivanja sučelnog spoja u zidnom položaju, te krivom usmjeravanju el. luka koji bi trebao koristiti da talina ne slegne na donju stranu

spoja. Talina pod utjecajem sile teže sliježe na donju stranu spoja zavarajući izgled ulegnuća u sredini zavora. Slično se događa kod zavarivanja kutnog zavora u vodoravnom položaju. Takve pogreške nastaju i kod elektrolučnog zavarivanja s praškom u nagnutom položaju prema dolje.

**Nedovoljna popuna zavora 511:** je djelomično ili duž cijelog zavora čest događaj u popuni žlijeba kada nije pravilo procijenjena visina pretposljednog sloja zavarenog spoja, pa je pokrovni sloj djelom ili duž cijelog zavora prenizak ili previsok da bi se nadodao još jedan sloj. U takvim slučajevima potrebno je pobrusiti sredinu zavora, povećati napon i zavariti još jedan sloj. Kada je zavar prenizak treba ga nadograditi da bude do potrebne visine. Također ukoliko širina nije dostatna, rubovi žlijeba ostaju ne protaljeni i upotpunjeni, to se vrlo često događa kod zavarivača s nepravilnom tehnikom rada.

**Uvučenost korijena zavora 515:** smanjenje debljine zavora u samom korijenu. Pogreška nastaje zatezanjem metala kod hlađenja ili pod utjecajem gravitacije kod nadglavnog zavarivanja i zbog tlačenja podloge praška kod elektrolučnog zavarivanja praškom. Treba razlikovati uvučen korijen zavora od neprovarenog korijena zavora. Ova pogreška nije opasna kao neprovareni korijen zavora. Najčešće se javlja kod zavarivanja cijevi i sučeljnih zavora u nadglavnom položaju zbog djelovanja sile teže na talinu zavora. Pogreška se izbjegava vještim guranjem taline u razmaku, [5]. Ivan Juraga, Kruno Ljubić, Milan Živčić i Iva Garaščić (pogreške u zavarenim spojevima) četvrto izdanje Hrvatsko društvo za tehniku zavarivanja.

### **Nepravilan izgled zavora**

U ovom tipu pogrešaka postoji podjela, odnosno tri tipa pogrešaka: Neravnomjerna širina zavora 513, neravnomjerna površina zavora 514 i nepravilno izveden nastavak 517.

**Neravnomjerna širina zavora 513:** dijelom je uže pa šire „lice“ zavora na sučeljenom spoju. Pogreška koja narušava izgled zavora, ali koja upućuje na moguće pogreške u zavaru. Nastaje zbog neujednačene brzine zavarivanja ili nepravilnog poprečnog gibanja električnog luka. Takve pogreške se dešavaju zavarivačima početnicima. Ukoliko se dogodi kod mehaničkog zavarivanja ovakva pogreška uzrok je u jačini odnosno intenzitetu struje te u naponu što uzrokuje gubljenje kontakta na spoju mase ili u nečistoj i istrošenoj vodilici kroz koju prolazi žica. Ovakve pojave moguće je izbjeći ubacivanjem produžene izlazne ploče.

**Neravnomjerna površina zavora 514:** je oštra dosta „namreškana“ površina zavora ružnog izgleda. Nastala je zbog nepravilne tehnike rada, kao što je jakosti struje zavarivanja ili prevelik napon električnog luka.

**Nepravilno izveden nastavak 517:** je dijelom neravnomjernost na „licu“ ili korijenu zavara u obliku udubljenja i ispupčenja. Kod prekidanja i ponovnog započinjanja zavarivanja često se događaju pogreške u izvođenju nastavaka. Osim estetskih nedostataka mjesto nastavka zavara je najslabije na tim mjestima, te su tu potencijalni počeci lomova zavarenog spoja. Loše izveden nastavak upozorava na nedovoljnu uvježbanost zavarivača prilikom izvođenja postupka. Uspostavljanje električnog luka i početak zavarivanja izvodi se prije kratera, pa se popunjava vraćanjem unatrag na krater i vještim zaokretom, te se na taj se način ujedno pretali prvi dio, a hladno nanoseni metali pretale eventualne sitne poroznosti u kreatoru. Specifični su loše izvedeni nastavci kod zavarivanja bazičnom elektrodom s obzirom na krupno kapljičasti prijelaz materijala. U tom slučaju potrebno je što brže izvesti nastavak dok je krater još vruć, bez čišćenja troske u krateru. Kod elektrolučnog zavarivanja taljenom žicom, pri izvođenju, korijen zavara preporučuje se obrusiti mjesto nastanka. Time se postiže nastavak bez pogreške, [5].

### **Ostale pogreške skupina (600)**

Ovdje dolaze u obzir sve pogreške kod zavarivanja koje se ne mogu svrstati u već navedene. To su uglavnom oštećenja površine materijala pri zavarivanju ili u pripremi za zavarivanje kao :

- oštećenje električnim lukom 601
- onečišćenje kapljicama metala 602
- mehanička oštećenja površine osnovnog materijala ili zavara 603,604,605
- podbrušenje 606

### **Oštećenja električnim lukom 601:**

Ova oštećenja uglavnom rade neinformirani ili slabije školovani zavarivači udarajući vrhom elektrode po površini materijala kako bi uspostavili kontakt električnim lukom. Najčešće to rade radnici koji izvode spajanje odnosno pripajanje u pripremi zavarivanja. Iako beznačajne na oko ove pogreške su ozbiljne i nisu dozvoljene, naročito kada se radi o visokolegiranim čelicima. Kada se električnim lukom oštete mjesta na tim mjestima potencijalni su počeci ozbiljnijih pukotina kod čelika visokih čvrstoća, te isto tako i počeci pojave korozije kod visokolegiranih čelika. Česta su još i oštećenja prilikom iskrenja nepravilno učvršćene mase, oštećenih vodiča i slično. Iako se takvi nedostaci kod zavarivanja u nekim radionicama dosta ističu, odgovorne osobe podosta zanemaruju taj problem koji može donijeti veliku štetu. Ukoliko dođe do takvih oštećenja slučajno kod niskolegiranih čelika oštećena se površina pobrusi s blagim prijelazom. Kod visokolegiranih čelika ta mjesta treba obrusiti i izpolirati, te se preporuča i kemijska obrada.

**Oštećenja kapljicama metala 602:** ovo se smatra zavarivačkom pogreškom koja se vrlo često pojavljuje zbog loše opreme ili neodgovarajućih parametra zavarivanja. Najčešće se događa na nelegiranim čelicima onda je to prvenstveno estetska pogreška koja može imati negativne posljedice na pripremu površine za naknadno bojanje ili pocinčavanje, dok npr. na površini visokolegiranih čelika prilijepljene su kapljice metala koje mogu biti uzrokom početka korozije i smatraju se ozbiljnom tehničkom greškom. Uzroci povećanja raspršivanja kapljica metala tijekom zavarivanja najčešće su :

- Kod REL-ručnog elektrolučnog zavarivanja pogrešan pol na elektrodi ili predugački elektrolučni luk, pa i preopterećenost elektrode prevelikom jakosti struje zavarivanja, puhanje luka.
- Kod MAG-elektrolučno zavarivanje plinom prevelik je napon luka u odnosu na jakost struje zavarivanja velika, te prejak struja zavarivanja je neodgovarajuća.






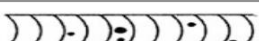
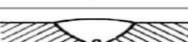
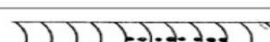
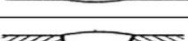
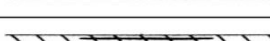
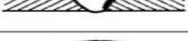
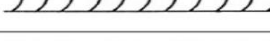

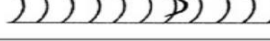
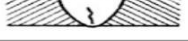
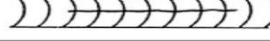

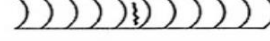
Najveća raspršivanja kapljica metala su kod elektrolučnog zavarivanja plinom u području prijenosa prijelaznim lukom, zbog čega se zahtijeva optimizacija parametra zavarivanja zaštitnog plina CO<sub>2</sub> mješavina Ar/ CO<sub>2</sub> ili primjera punjenih žica. Posebno treba voditi brigu o uvjetima, odnosno parametrima zavarivanja, jer gubitak dodatnog materijala može iznositi i do 15%. Raspršene kapljice struganjem treba očistiti uza zavar. Kod visokolegiranih čelika oštećena mjesta prijeko je potrebno polirati. Oštećenja se dodatno popravljaju brušenjem i poliranjem, kada se radi o visokolegiranom čeliku ili aluminiju.

Mehanička oštećenja površine materijala su (površinsko oštećenje 603, trag od brušenja 604, trag od dlijeta oštrog alata 605, prekomjerno brušenje 606)

Mehanička oštećenja kao zarezivanje ostrim alatom i urezanje od brušenja te grubog brušenja poliranih površina i mjestimično otkidanje metala, odbijanje zavarenih pomagala, čišćenjem običnom čeličnom krpom površine visokolegiranih čelika, smanjenje debljine zavara podbrušenja i dr. Smatraju se nedopuštenim pogreškama, a najčešće su pogreške kod zavarivanja. Najviše kada se radi o čelicima povišenih i visokih čvrstoća. U takvim slučajevima dolazi do otvaranja površinskih pukotina, te se stoga izbjegava zavarivanje površinskih pomagala, izvode se po strogo određenim tehničkim pravilima propisanim za zavarivanje pojedinih vrsta metala odnosno materijala. Dolazi se do zaključka da površinska oštećenja treba obrusiti i ispolirati.

Podbrušenje odnosno smanjenje debljine zavarenog spoja brušenjem nastaje nepažnjom ili nestručnošću brusача. Brušenjem se poravnava nadvišenje zavara s razinom osnovnog materijala tamo gdje se to zahtjeva odnosno predviđa.

Površinski oksidi su štetnosti koje nastaju površinskom korozijom visokolegiranih čelika u području zavarenih spojeva. Priroda i značenje tih oksida je i danas predmetom znanstvenih istraživanja. Oksidi se uklanjaju mehanički, kemijski ili elektrokemijskim postupcima. Prije ispitivanja otpornosti prema „rupičastoj“ koroziji površina zavarenog spoja kemijski se ne obrađuje. Prikaz samih pogrešaka vidljiv je na slici 3. u nastavku.

OPIS	PRESJEK ZAVARENOG SPOJA	RADIOGRAM
Cjevasti plinski uključak		
Uključak troske u metalu zavara u nizu		
Plinski mjehurić Pojedinačna pora		
Plinski mjehurići Poroznost u nizu		
Naljepljivanje na stranicama žljeba u korijenu zavarenog spoja		
Naljepljivanje između slojeva zavarenog spoja		
Uzdužna pukotina		
Poprečna pukotina		
Pukotine zvjezdastog oblika		

Slika 3. Prikaz pogrešaka u zavarenim spojevima. Priložen dokument kojim se potvrđuje korištenje izvornih slika brodogradilišta 3. Maj, [5].

### Dopuštene pogreške u zavarenim spojevima

Mjerila prihvatljivosti pogrešaka na opterećenje zavarenog spoja danas su još uvijek vrlo heterogeni te podložni tehničkim čimbenicima. Isto tako zavise i o gospodarskim čimbenicima, pa čak i o političkim uvjetima i okolnostima. Argumenat tome je da praksa za gradnju i održavanje nuklearnih i petrokemijskih postrojenja usprkos postojanju nacionalnih normi gotovo u cijelom svijetu zahtijevaju i koriste pravila koja se koriste u brodogradnji. Objektivno današnje norme glede kriterija prihvatljivosti su usklađene sa klasifikacijskim pravilima ili su stvar dogovora ili su sredstvo za očuvanje prednosti vlastite tehnologije, barem za proizvode koji se koriste ili ugrađuju

u vlastitoj zemlji. Važno je naglasiti da se razlikuju kriterij prihvatljivosti ovisno o vrsti materijala, a sukladno tome primjenjuju se različite norme. Tako za čelik, nikal i titanove legure koristi se HRN EN ISO 5817:2014 zavarivanje. Zavareni spojevi nastali taljenjem u čeliku, niklu, titanu i njihovim legurama (osim zavarivanja elektronskim snopom i laserom). Razina kvalitete s obzirom na nepravilnosti, te za aluminijske legure i aluminij HRN EN ISO 10042:2008 elektrolučno zavareni spojevi aluminija i njihovih legura. Upute za razinu kvalitete s obzirom na nepravilnosti. Ova primjena normi zasniva se na pojavi određenih vrsti nepravilnosti (npr pora kod aluminija) koje bi kod drugog materijala npr čelika bile potpuno neprihvatljive, dok kod aluminija su prihvatljive. Za druge proizvode i industrijska područja se propisuju druge propisane regulacije i pravilnici, [5].

#### **4. POSTUPCI NADZORA IZRADE ZAVARIVAČKIH RADOVA ZAVARENE KONSTRUKCIJE PRIJE, TIJEKOM I NAKON IZVEDENOG ZAVARIVANJA**

Postupci nadzora zavarivačkih radova zavarene konstrukcije izvode se u brodogradilištu 3. Maj s time da je dokument „Osobna Karta Sekcije“ s kojim Tehnolozi provode nadzor potreban za nadzor koji se obavlja, odnosno provedba nadzora definirana je tako da Osobna Karta Sekcije omogućava lakši rad prilikom nadzora i ostale klasifikacije koje su potrebne prilikom izvođenja nadzornih radova.

Dokument „uputstvo o korištenju“ Osobne Karte Sekcije objedinjuje sve korake nadzora s jasno definiranim nositeljima aktivnosti pojedinog koraka s ciljem što kvalitetnije i pravovremene izrade sekcije.

Sa osobnom kartom sekcije omogućuje se kvalitetnije praćenje cijelog postupka izrade sekcija i panela potrebnih za kvalitetnije praćenje izrade, a time i smanjenje troškova izrade sekcija.

Osobnu kartu sekcije koriste tehnolozi i brodograditelji prilikom kontrole izrade sekcija. Zato je ona važan dokument u gradnji brodskog trupa.

Tehnolozi pripremaju tehnološko uputstvo izvede svake sekcije a obrazac „Osobna Karta Sekcije“ sastavni je dio tog uputstva. Isti se potom unose u plan izrade kojim se definiraju rokovi izrade same sekcije. Tijekom izrade sekcije „Osobna Karta Sekcije“ postepeno se ažurira sukladno ostalim aktivnostima, a ista se prati kao realizacija od strane odjela plana. Konačna kompletna primopredaja sekcije i ugrađene opreme trupa evidentira se na primopredajnom zapisniku (kontrolni list) od strane predstavnika klasifikacijskog društva, predstavnika brodovlasnika i brodogradilišta (kontrolori).

Zaključuje se da općenito pri izradi sekcije vrlo bitna podjela zaduženja koja su definirana u „Osobnoj Karti Sekcije“. Stoga je kod podjele zaduženja u „Osobnoj Karti Sekcije“ potrebno svaku aktivnost točno definirati kako bi kod završnog pregleda po fazama radnja bila potpuna. Nedovršena radnja ugrozila bi i dovela proizvodni proces do ozbiljnijeg poremećaja.

U nastavku nabrojene su aktivnosti uz opis zadatka svake.





**SPECIFIKACIJA LIMA**

**UGRAĐENO U STRUKTURU BRODA**

**723**

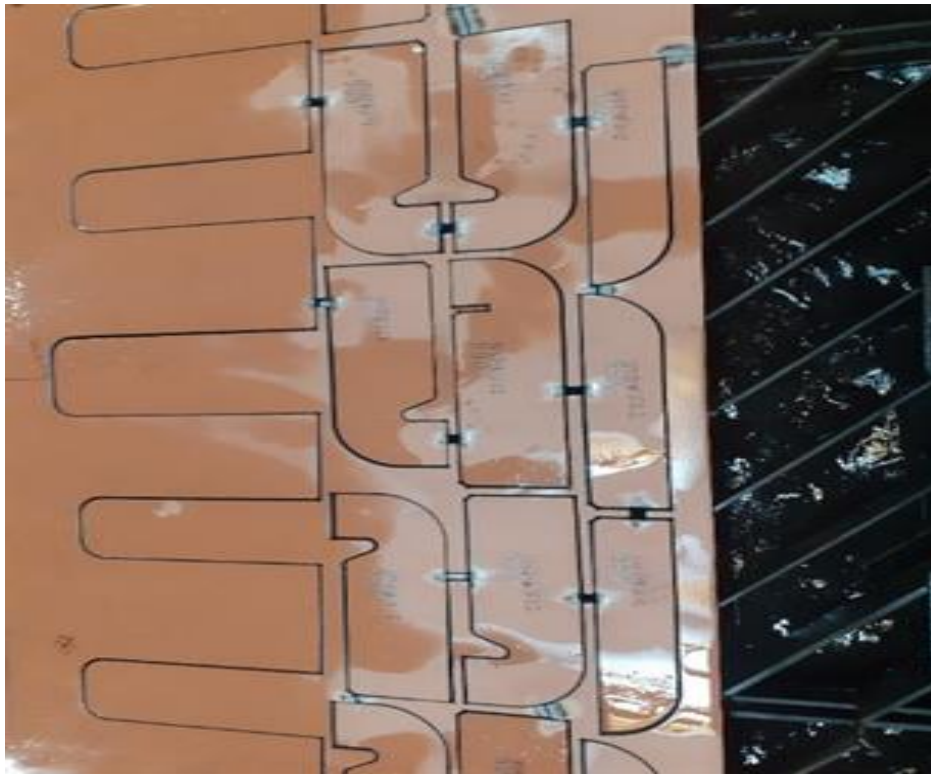
**GRUPA 3410**

BROJ POZICIJE	DIMANZIJA	KV.ČELIK	LJEVO	DESNO	CERTIFIKAT
63,96,190,228,265 279,780-783,806 807	4600x2150x13	AH 36	4843-8627-01	-----	<b>09-15528</b>
68,89,147,148,150 218,221,257,269 272,283	7300x2100x17,5	AH 36	0826-2123-01	-----	<b>09-23914</b>
70,235	10700x2050x18,5	AH 36 z25	473981-32428-02	-----	<b>700495-2279 LRI</b>
72	10300x2100x17	AH 36	4862-9036-03	-----	<b>09-15496</b>
73	10300x1900x15	AH 36 z25	473803-33070-01	-----	<b>700496-2279 LRI</b>
74,238	10300x2800x15	AH 36 z25	-----	473941-32593-01	<b>700495-2279 LRI</b>
75	10300x2350x16,5	AH 36	4863-9021-12	4863-9021-02	<b>09-15651</b> <b>09-15685</b>
76	10300x2800x15	AH 36	4844-8964-04	-----	<b>09-15579</b>
77	10300x2800x15	AH 36	-----	4844-8964-01	<b>09-15579</b>
78	10300x3000x15	AH 36	4844-8950-09	-----	<b>09-15458</b>
79	10300x3000x15	AH 36	-----	4844-8950-07	<b>09-15458</b>
80	10300x3000x15	AH 36	4844-8950-02	-----	<b>09-15447</b>
81	10300x3000x15	AH 36	-----	4844-8950-04	<b>09-15458</b>
82	10300x1850x15,5	AH 36	-----	4843-8667-05	<b>09-15651</b>
83	10300x1850x15,5	AH 36	4843-8667-08	-----	<b>09-17633</b>
84,85	10300x2400x20,5	AH 36	4863-9942-01	-----	<b>09-16207</b>
86	10300x2200x12	AH 36	4843-8618-08	4843-8618-12	<b>09-15525</b>
93,190,262,806	11600x2200x13	AH 36	4601-7547-04	-----	<b>09-14707</b>
102,105	10000x2200x25	AH 36	4862-0021-04	-----	<b>09-17419</b>
103,104	10000x2200x25	AH 36	4862-0021-05	-----	<b>09-17419</b>
104,120,135,160	8300x2800x25	AH 36	4601-7500-01	-----	<b>09-17634</b>
105,120,134,160	11400x2200x25	AH 36	4862-0021-06	-----	<b>09-17419</b>
112,219	10300x2100x10,5	AH 36	473491-14634-01	-----	<b>703868</b>
115	7300x2100x16,5	AH 36	4862-9039-09	4862-9039-10	<b>09-15495</b>
116	11600x2100x16,5	AH 36	4862-9040-07	-----	<b>09-15495</b>
117	3800x3000x17	AH 36	4864-8947-02	-----	<b>09-15447</b>
123,149,170	7600x2350x17,5	AH 36	4863-9020-04	4863-9020-03	<b>09-15899</b> <b>09-15685</b>
130,131,167	7300x2100x16,5	AH 36	4862-9039-06	4862-9039-07	<b>09-15495</b>
132,133,136-139 142-145	3600x2500x14,5	AH 36	4862-9013-01	-----	<b>09-15528</b>
140	2400x2300x19	AH 36 z25	473873-37006-01	-----	<b>700494-2279 LRI</b>
151,155,156	9400x2300x19	AH 36 z25	473777-32747-01	472625-33079-01	<b>700496-2279 LRI</b>
152-154,166	8400x2300x17,5	AH 36	4863-9020-09	-----	<b>09-15645</b>

Slika 4.2 Prikaz nastavka radioničkog nacrt (dokumentni list) prikaza sekcije 3410 za svaki ispitan lim, gdje se popunjeni list predaje dalje tehnologu prilikom toga tehnolog provjerava stanje ploča lima pod šaržom pod kojom se nalazi i kojom se definirana. (specifikacija ploča).

Priložen dokument kojim se potvrđuje korištenje izvornih slika brodogradilišta 3. Maj

U nastavku je prikazan konturni obris elemenata za rezanje prikazani na slikama 4.3 i 4.4, te se ti dijelovi po uputama kontrole za sljedivost materijala ugrađuju u brodski trup.



Slika 4.3 Prikaz pripreme lima za postavljanje konturni obris elemnta za rezanje. Priložen dokument kojim se potvrđuje korištenje izvornih slika brodogradilišta 3. Maj



*Slika 4.4 Prprema za rezanje lima brodskog trupa po uputama kontrolora za sljedivost. Obrisne konture i početni položaj rezanja. Priložen dokument kojim se potvrđuje korištenje izvornih slika brodogradilišta 3. Maj*

## **Dimenzionalna kontrola prije i nakon zavarivanja**

Dimenzionalna kontrola velikih trodimenzionalnih sekcija kao navedeni primjer (3410VT01) u brodogradilištu obavlja se prije i nakon zavarivanja.

Prije zavarivanja izvršava se na poziv glavne rukovodeće osobe što je obveza da rukovodeća osoba pregleda svaku sekciju. Nakon provedbe ispitivanja svake sekcije rukovodeća osoba dužna je pregledati sve podatke u programu BURIN kao i 3D snimku sekcije sa dimanzionalnim izmjenama koja su priložena. Dozvoljena odstupanja odnosno tolerancije koje su dozvoljene prije zavarivanja su  $\pm 5$  mm.

Kriterij za ocjenu točnosti dimenzionalne kontrole sekcije 3410VT01 prije zavarivanja „ZADOVOLJAVA ili NEZADOVOLJAVA.

Ocjenom „ZADOVOLJAN“ označuju se sve sekcije koje su zadovoljile sljedeće uvjete: izmjerena odstupanja su unutar dozvoljenih odstupanja tolerancije maksimalno do 7 mm ali ne na više od 40 % izmjerenih točaka.

Ocjenom „NEZADOVOLJAN“ ocjene su sve one sekcije koje prilikom pregleda imaju odstupanja veća od  $\pm 5$  mm odnosno preko 7 mm te ostupanja osi kormila i osovinskog voda većih od  $\pm 1$  mm.

Ako ocjena bude „NEZADOVOLJAVAJUĆA“ potrebno je napraviti kolektivne radnje koje su potrebne da bude „ZADOVOLJAVAJUĆA“.

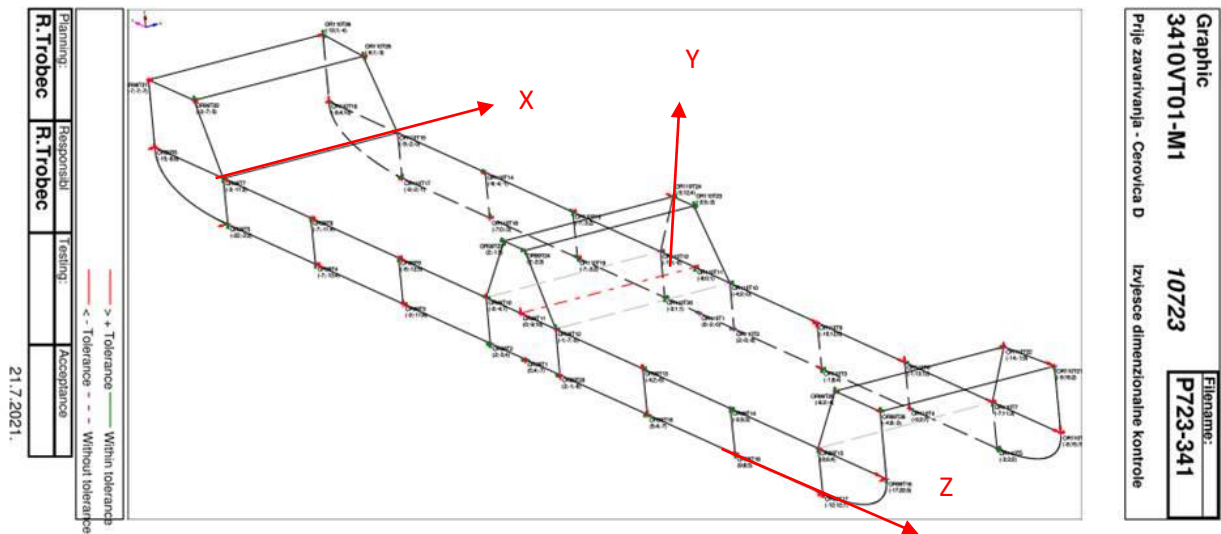
Dimenzionalna kontrola nakon zvarivanja.

Kada se dovrši izrada i zavarivanje sekcije i mjerenje od strane kontrole 3D tehnolog (osoba koja vrši analizu i naziv za radno mjesto osobe koja izvršava analizu), potvrđuje s pozitivnim ili negativnim odgovorom da li konstrukcija dimenzioalne kontrole zadovoljava kriterije. Kriterij tehnologu dimenzionalne kontrole na temelju točaka mjerenja daju smjernice i ocjenu kvalitete izrade. Ocjena može biti „ZADOVOLJAVA“ ili „NEZADOVOLJAVA“. Zavarena konstrukcija sekcije „ZADOVOLJAVA“ ako su odstupanja nakon izrade  $\pm 10$  mm. Ukoliko sekcija „NEZADOVOLJAVA“ to znači da su odstupanja izvan tolerancije te da će se posebno još razmatrati prilikom daljih postupaka izrade. A ako pregledana sekcija ima previše odstupanja prilikom pregleda to znači da ne zadovoljava kriterije prihvatljivosti.

Objektivni razlozi popravka odstupanja u idućim fazama gradnje broskog trupa mogu biti sljedeći:

- Tehničko-tehnološko odstupanje
- Jednostavniji način otklona grešaka odstupanja nakon kontrole
- Minimalni troškovi otklanjanja odstupanja
- Izbjegavanje zastoja u proizvodnji
- Raspoloživost kapaciteta radne snage

Na slici 4.5 Prikaz izvještaja dimenzionalne kotrole prije i nakon zavarivanja i prikaz sastavnice za broj nacрта



A) Prikaz dimenzionalne kontrole prije i nakon zavarivanja. Na osnovu x, y i z osi snima se prikaz cijele sekcije. Prije samog početka snimanja odredi se referentna točka područja snimanja za taj dio koji se želi posnimiti i prikazati. (Referentna točka –početna točka snimanja). Kada se posnime svi djelovi sekcije u programu BURIN pregledavaju se 3D snimke i na temelju tih snimki mogu se utvrditi odstupanja. Te da li sekcija „ZADOVOLJAVA“ uvijete minimalnih odstupanja koja moraju biti unutar tolerancija.

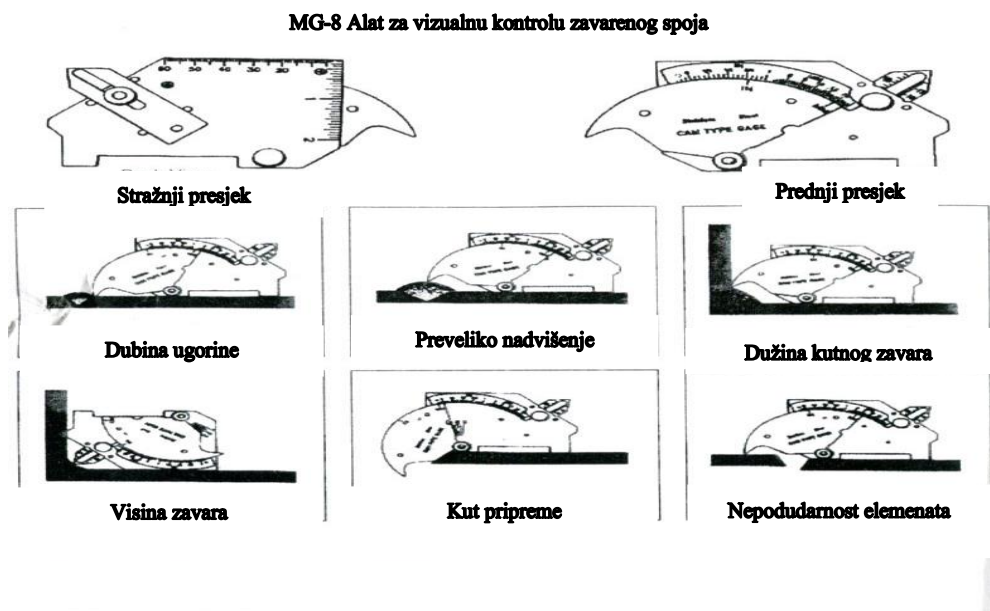
H																																				
G																																				
F																																				
E																																				
D																																				
C																																				
B																																				
A																																				
IZDANJE	IZMJENE								KONSTRUIRAO	PREGLEDAO	ODOBRIO																									
				Ugovornostel'j novogrednje: 3. MAJ BRODGRADILISTE d.d. RIJEKA-HRVATSKA				KONSTRUIRAO	B. LANDAU																											
								PREGLEDAO	KORVA M. dipl.ing.																											
								ODOBRIO	CELIN N.ing.																											
<b>DVODNO U TERETNOM PROSTORU OD R.99 DO R.122</b>																																				
MJERILO	02	05	07				08				GRADNJA BR. :	LIST	LISTOVA																							
1:100	2	2	3	0	3	4	1	0	0	0	1	723	0	21																						
1:750	IZDANJE				A				B				C				D				E				F				G				H			
1:500	DATUM				13.10.2015																															
1:5																																				

B) Prikaz sastavnice za broj nacрта. Priložen dokument kojim se potvrđuje korištenje izvornih slika brodogradilišta 3. Maj

## Vizualna metoda

Kao što se već prije napomenulo vizualna kontrola spada u površinske metode nerazornog ispitivanja i primjenjuje se tako da na svim slobodnim površinama (ploham) gdje svjetlost dopire direktnim (slobodan nesmetani optički put do objekta) ili indirektnim putem (kada je isprekidan optički put od promatračevog oka do ispitanog objekta) i gdje je moguć prolaz svjetlosti na određenim mjestima primjenjuje se ova metoda. U direktnu metodu provodi se bez pomagala ili sa pomagalima kao što su povećalo, ogledalo, endoskom i slično dok kod indirektnene metode koristi se fotografija, video sistem, automatizirani sistem i robotizacija.

Vizualnom kontrolom objedinjujemo sve informacije pomoću djelovanja svjetlosti na objekt ispitivanja te je s time funkcionalnost objekta sačuva. Samo djelovanje svjetlosti na objekt ispitivanja mora biti nerazoran što bi značilo da svi segmenti koje svjetlost pruža od širenja svjetlosti do djelovanja svjetlosti na sam objekt svodi se na to da ta ista svjetlost djeluje različito u vidu odbijanja, loma, polarizacije i tako dalje, pa se tako s različitih aspekata utjecaja svjetlosti očitavaju pogreške na objektu. Svjetlost kao nosioc informacija u prenošenju istih na elementa ispitivanja ima svoje prednosti i nedostatke prednosti su: brzo očitavanje površinskih nepravilnosti, dok nedosaci su dubinske nepravilnosti unutar samog objekta kojeg ispitujemo. Tehnolozi sve što očitaju sa površine upisuju na radni nalog koji je nužan da se potvrdi ispravnost objekta ispitivanja. Primjeri vizualne kontrole prikazani su slikama 4.6, 4.7, 4.8 i 4.9

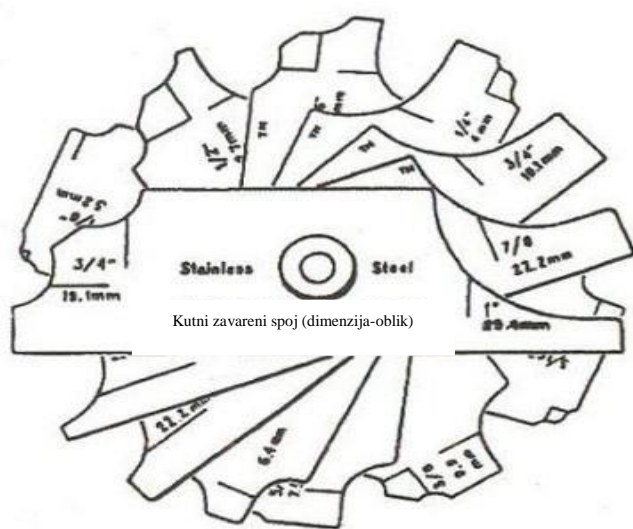


Slika 4.6 Prikaz alata za vizualnu kontrolu. Odnosno dokument gdje je opisan postupak rukovanja alatom vizualne kotrole. Priložen dokument kojim se potvrđuje korištenje izvornih slika brodogradilišta 3. Maj

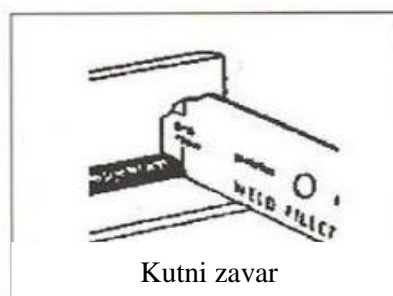


Slika 4.7 Praktični prikaz alata za mjerenje vizualnom kontrolom na zavarenom spoju. Priložen dokument kojim se potvrđuje korištenje izvornih slika brodogradilišta 3. Maj

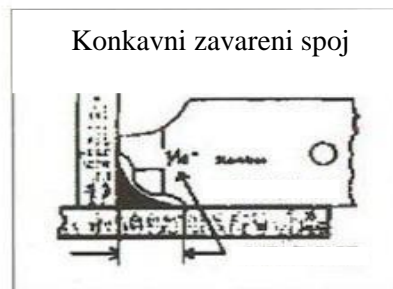
MG-11 Alat za vizualnu kontrolu zavarenog spoja



**Služi za brzo i precizno mjerenje i kontrolu kutnih zavarenih spojeva. Sve dokumentacije jasno su označene na površini „špijunke“**



Kutni zavar



Konkavni zavareni spoj



Konvekksi zavareni spoj

Slika 4.8 Prikaz mjerenja kutnim alatom. Te prikaz praktične primjene kutnog alata, na samom alatu postavljene su mjere (oznake) za točnu i preciznu izmjeru te pod kojim kutem se nalaze i da

li ima većih odstupanja. Priložen dokument kojim se potvrđuje korištenje izvornih slika brodogradilišta 3. Maj



Slika 4.9 Prikaz kontrolnog kuta zavarenog spoja alatom MG-11. Priložen dokument kojim se potvrđuje korištenje izvornih slika brodogradilišta 3. Maj

### **Magnetska metoda**

U ovome dijelu konstatacije navodi se djelovanje magnetskih čestica i magneta ispitivanja koje se koriste za otkrivanje površinskih i podpovršinskih nedostataka u feromagnetskim otkivcima, odljevcima i općenito u pojedinim zavarenim konstrukcijama. Segmenti koji su bitni u otkrivanju istih su: magnet - tijelo koje ima svojstvo privlačenja predmeta od željeza, kobalta, nikla te njihovih leugra. Permanentni magneti – izrađeni su od feromagnetnog materijala koji trajno zadržavaju magnetna svojstva. Elektromagnet – zavojnica s jezgrom magnetična je samo dok kroz nju prolazi električna struja i bitna stavka magnetizam – svojstvo magneta da stvori oko sebe magnetno polje (prostor djelovanja magnetskih sila), te pored svega navedenoga također i sprejevi boje i sprej sa česticama koji se također koriste u ovoj metodi.

Također kako je prije navedeno podpovršinske nepravilnosti se isto mogu otkriti ali problem kod toga je samnjena površinska osjetljivosti, te nije moguće točno „otkrivanje“ unutarnjih nepravilnosti bez dodatnog pregleda od strane neke druge metode.



Isto tako osoblje koje provodi testiranje mora biti kvalificirano odnosno certificirano za rad magnetskom metodom odnosno razinom 1 ili 2 u skladu normom EN ISO 9712:2022 ili drugim ekvivalentnim certifikatima i standardima.

Prije samog početka testiranja površina ispitivanja mora biti čista odnosno očišćena i pripremljena za početak ispitivanja. Samo testiranje mora biti osmišljeno tako da bi se osiguralo pravilno funkcioniranje cijelog sustava parametra uključujući i opremu. Najpouzdaniji test je onaj kod kojeg se koriste reprezentativni uzorci koji sadrže stvarne nedostatke poznate vrste, lokacije i veličine. Isto tako prilikom provođenja ovog postupka magneti moraju biti dobro pripremljeni te isto tako i ostala oprema koja se koristi prilikom ispitivanja magnetnom metodom, da ne bi došlo do krivog očitavanja informacija sa samog objekta. Pod ostalom opremom uz same magnetne čestice, generator struje te ostala oprema ovisno o poziciji i mjestu ispitivanja. Prikaz komponenti magnetne metode prikazani su slikama 4.10



Slika 4.10 Ispitivanje magnetima i alat koji se koristi prilikom ispitivanja. Ujedno ovdje je prikaz ispitivanja kuta magnetom (jaramom) i udjedno i prikaz rukovanja istim. Zavareni spoj koji ispitujemo isti kao i kod ultrazvučne metode. Priložen dokument kojim se potvrđuje korištenje izvornih slika brodogradilišta 3. Maj



Slika 4.11 Čistač ( odmašćivač ) za pripremu površine prije ispitivanja (odmašćuje površinu). Priložen dokument kojim se potvrđuje korištenje izvornih slika brodogradilišta 3. Maj



Slika 4.12 Crne magnetske čestice u spreju. Priložen dokument kojim se potvrđuje korištenje izvornih slika brodogradilišta 3. Maj



Slika 4.13 Prikaz flourescentnog alata (lampe)

Priložen dokument kojim se potvrđuje korištenje izvornih slika brodogradilišta 3. Maj



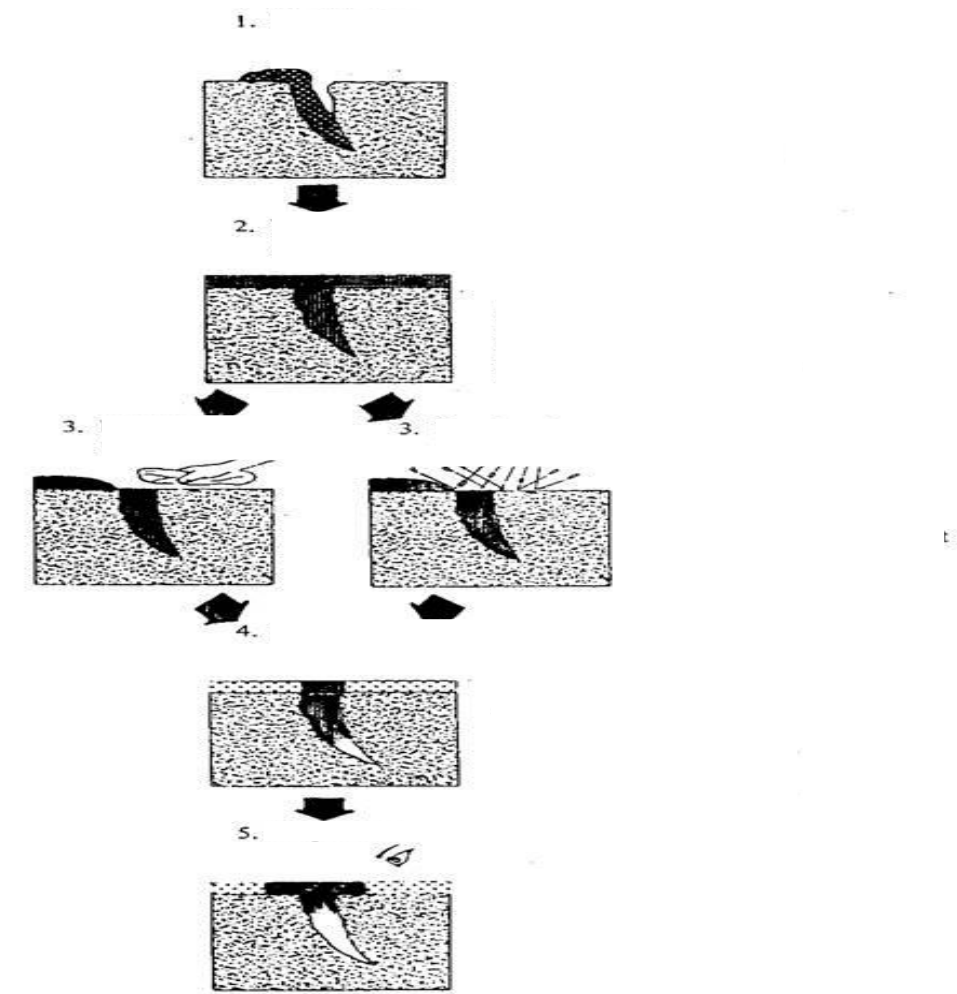
Slika 4.14 Prikaz flourescentne boje za prikaz nepravilosti koje nisu dostupne ili su teško vidljive. Priložen dokument kojim se potvrđuje korištenje izvornih slika brodogradilišta 3. Maj

## **Penetrantska metoda**

U ovome dijelu konstatacije penetrantska metoda služi za otkrivanje nepravilnosti na površini ispitanog objekta. Uglavnom se primjenjuje na metalnim materijalima, ali se može i provesti i na nemetalnim kao što je keramika.

U svim navedenim metodama ispitivači koji provode ispitivanja moraju biti osposobljeni sa položenim certifikatima da bi pristupili radu. To vrijedi za svaku metodu koju zahtjeva struka. Ispitivanje mora biti u skladu sa svim propisima koje nalaže struka to jest da pri zadanoj metodi imamo odgovarajuće dokumente koji su potrebni za upisivanje otkrivenih nepravilnosti na objektu odnosno elementu ispitivanja.

Oprema za provođenje ispitivanja penetrantske metode ovisi o broju, veličini i obliku elementa kojeg se ispituje, a prije samog početka ispitivanja površinu moramo očistiti i pripremiti za početak rada. Kod ove metode specifično je to što se koriste razna sredstva ispitivanja koja čine sustav a koja su: crveni penetrant, odstranjivač i razvijlač (bijeli, kreda), koji služe za prikaz nepravilnih mikro oštećenja i prikaz nepravilnih dijelova na samom objektu. Isto tako u ovoj metodi može se koristiti i fluorescentni penetrant gdje se pod posebnim svjetlom odnosno ultraljubičastom lampom vide oštećenja i nepravilnosti koja se nalaze u djelovima gdje nema prirodnog izvora svjetlosti. Sredstva za otklanjanje viška penetranta su obično voda, emulgatori i drugo. Slika 4.15 prikazuje postupak ispitivanja penetrantom.



Slika 4.15 Penetrantska metoda prikaz postupka ispitivanja penetrantom: 1. Vizualni pregled površine, potrebna čistoća površine prije početka ispitivanja 2. Nanošenje penetranta i čekanje od približno 10 minuta, pod 3. odstranjivanje viška penetranta pod 4. nanošenje razvijaača pod 5. vrijeme koje je potrebno za razvijanje 20 minuta i pod 6. interpretacija i bilježenje indikacija.

### Ultrazvučna metoda

Ovom metodom ispituju se zavareni spojevi, odljevci raznorazni otkivci, koji su dostupni za ispitivanje ultrazvučnom metodom te valjane čelične ploče.

U ovome području naglasak je na ispitivanju sa ručnim ultrazvučnim uređaju koji koristi razne ultrazvučne sonde koji su potrebni za određena područja ispitivanja to jest dostupnost pozicije koje ispitujemo. Uz to od opreme je potreban još i dio gdje se očitavaju odnosno prikazuju svi signali koji su poslani sa sonde u ultrazvučnom aparatu koji očitava signale i prikazuje ga u odnosu na krivulje ekvivalenta koje nam daju informaciju o prihvatljivosti indikacije s obzirom na kriterije.

Ovom metodom možemo ispitivati zavarene spojeve metalnih materijala debljine veće od 8 mm. Namjenjeno je ovom metodom ispitivanje spojeva koji imaju puni provar u čelicima, legiranim čelicima i aluminiju te nehrđajućim čelicima i feritno-austenitnim čelicima. Sama tehnika kao i ostale metode zahtjeva navedene klasifikacije i opremu koja je potrebna za korištenje prilikom rada. Isto tako ultrazvučna metoda dosta je zahtjevna pa ispitivači moraju proći opširniju obuku nego kod ostalih metoda da bi mogli sa sigurnošću krenuti sa radom.



Slika 4.16 Ultrazvučno ispitivanje, oprema kojom se ispituje zavareni spoj, te prikazu postupak pripreme pred ispitivanje paljenje aparata te prikazuje memoriranje sa sondom od 70°. Priložen dokument kojim se potvrđuje korištenje izvornih slika brodogradilišta 3. Maj



Slika 4.17 Sonde za ultrazvučno ispitivanje. Razni modeli kutova sonde . Ravna sonda, sonda pod kutem od 60°, 45° i 80°. Priložen dokument kojim se potvrđuje korištenje izvornih slika brodogradilišta 3. Maj

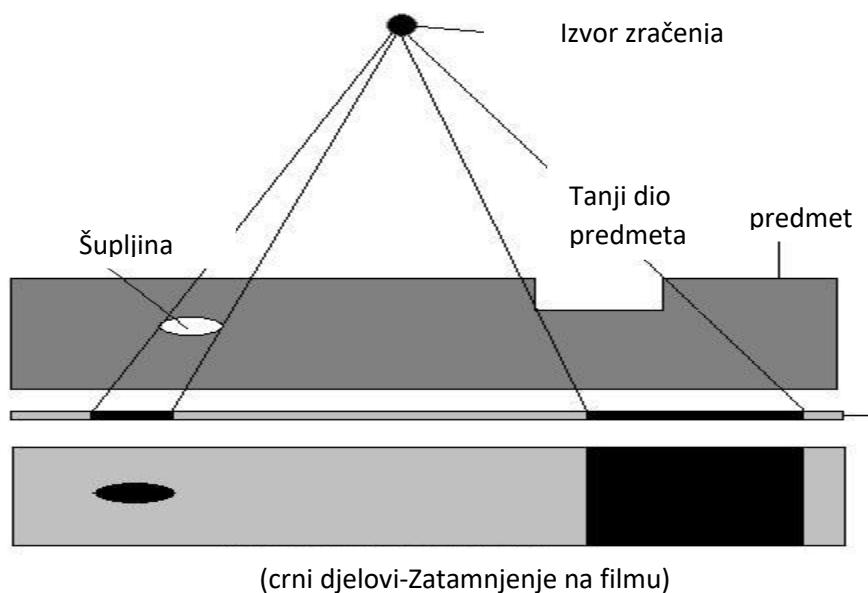


Slika 4.18 Prikaz ultrazvučne metode pri ispitivanju dijela sučelja zavarenog spoja i oznaka zavarenog spoja koja se ispitivala. Na ekranu je vidljiv prikaz indikacija prilikom ispitivanja te vidljivo očitavanje pomaka ultrazvučnog signala kada je prisutna nehomogenost u ispitanom predmetu zavarenog spoja. Priložen dokument kojim se potvrđuje korištenje izvornih slika brodogradilišta 3. Maj

### **Rendgenska metoda**

Ovdje su navedeni značajni elementi rendgen metode, koji su bitni za korištenje i za rad. Tehnika se općenito bazira na praktičnim i teorijskim djelovima koji ispitivači moraju proći. Ovaj dio klasifikacije ispitivanja temelji se na prozračivanju metalnih materijala. Koristi se za otkrivanje nedostataka zavarenih konstrukcija, te zavarenih otkivaka i odljevaka, ali u vrlo manjem postotku.

Prilikom rada rendgenske metode bitna je udaljenost između strana ispitanog objekta i površine ispitivanja. Filma koji je jedan dio sustava elemenata ispitivanja mora biti pozicioniran duž središnje osi zraka zračenja da bi se obuhvatilo željeno područje koje ispitivač želi ispitiati. Uz navedeni film sastavni dio rendgen metode je još izvor zračenja. Bitno je nadodati da kada se koristi ionizirajuće zračenje bilo lokalno, nacionalno ili međunarodno moraju se strogo poštivati pripadajuće mjere odnosno zakoni. Svi ti djelovi vidljivi su i prikazani na slici 4.19



Slika 4.19 Rendgensko ispitivanje prikaz i opis mjerenja pri radu. U ovom prikazu na slici sama projekcija na film ukazuje da sve indikacije koje su vidljive u primjeru na filmu se projiciraju tako da to područje bude kompletno zacrnjeno u odnosu na ostale dijelove filma. To bi se odnosilo da ostali dijelovi tj „čisti“ dijelovi su potpuno bijele boje dok šupljine su vidljive zacrnjeno u prikazu. Ovdje je prikazan presjek ali i ne projekcija filma sa vidljivim rezultatom testiranja.

### Ispitivanje nepropusnosti

Testiranje nepropusnosti zrakom na početku tlačenja tanka zrak mora biti 0.2 bar, te taj tlaka mora biti konstantan jedan sat i onda se spušta na 0.15 bar, a alternativno može se primijeniti testiranje vakumo kutijom. Ispitivanje nepropusnosti zrakom ili drugim medijem provjeravamo nepropusnost konstrukcije. Prilikom ispitivanja zavarenih spojeva vakum kutijom nepropusnost zavarenog spoja provjerava se tako, da se na isti nanese sapunica te kada se područje pregleda odnosno pregleda kutijom pod vakumom vidi se propusnost, to jest ako na određenim spojevima postoji poroznost ili neka druga nepravilnost na zavarenom spoju nastaje mjehurić zraka i po tome znamo da treba reparirati zavareni spoj. Ako na spoju nema indikacija odnosno ne pojave se mjehurići zraka u vidu sapunice onda je spoj uredan i prihvatljiv. Prikazano na slici 4.20





Slika 4.20 Vakuum kutija sa manometrom.

## 5. ZAKLJUČAK

Nadzor izvođenja radova i kontrole zavarenih spojeva obvezan su dio brodograđevnog procesa i gradnje brodskog trupa. Obim kontinuirane kontrole gradnje brodskog trupa provodi se od samog početka rezanja elemenata brodske strukture provjerom dimenzija izrezanih elemenata, promjena kvalitete reza te osiguranje potpune sljedivosti izrezanih elemenata brodskog trupa. Prilikom izrade brodskih sekcija posebna pozornost se posvećuje, pored poštivanja definiranih kriterija prihvatljivosti i poštivanju tehnološkog sljeda izrade sekcija. Obim, kriteriji prihvatljivosti i metoda nerazornih ispitivanja kojim se vrši nadzor kod izvođenja radova zavarivanja i izrade metalnih konstrukcija u potpunosti su usklađeni sa zahtjevima određenog društva i odobrenim planom nerazornih ispitivanja novogradnje. Sve aktivnosti nadzora i provjere kvalitete zavarenih spojeva i komponenta konstrukcija vrše sa metodama bez razaranja, od strane kompetentnih i certificiranih tehnologa u skladu s pisanim procedurama odobrenim od strane klasifikacijskog društva. Takav pristup osigurava pravovremeno otklanjanje nesukladnosti i smanjenja rizika neotkrivanja krucijalnih grešaka kritičnih za konstrukciju. Danas, rezultati ispitivanja provedenih od strane odjela kontrole trupa analiziraju se i implementiraju u procese sustava upravljanja kvalitetom s ciljem preventivnog djelovanja na uzorke nesukladnosti i eliminaciju istih iz procesa zavarivanja i izrade konstrukcija. Sve to moguće je jedino praćenjem i implementacijom najnovijih dostignuća i saznanja s polja vršenja kontrole konstantnom izobrazbom i politike društva koja prepoznaje potrebu ulaganja u napredak na svim poljima s ciljem povećanja kvalitete i izvrsnosti te uzročno posljedičnih na to smanjenje svih utrošaka.

## 6. LITERATURA

- [1] Vjera Krstelj, Ana Lypolt (Penetrantska kontrola).....HDKBR Hrvatsko društvo za kontrolu bez razaranja....Zagreb, 2005.
- [2] Industrial radiography GE sensing and Inspection Tehnologies, 2009.....Zagreb industrijska defektoskopija i prof. Dr. Sc. Vjera Krstelj radiografska kontrola odabrana poglavlja, skripta u radu namjenjena učenicima tečaja radiografke kontrole Zagreb, prosinac 1995.
- [3] Sveučilište u Zagrebu fakultet strojarstva i brodogradnje, Vjera Krstelj (Ultrazvučna kontrola) odabrana poglavlja.....Zagreb,2003.
- [4] Vizualna kontrola I. i II. odabrana poglavlja (namjenjena polaznicima tečaja za vizualnu kontrolu) HDKBR, 2011, priredio mag. ing. mech. Zoran Markeršić. Magnetska kontrola II. Stupanj odabrana poglavlja (namjenjeno polaznicima tečaja „Magnetske kontrole“), 2011. Iz knjige prof. dr. sc. Vjera Krstelj i Ultrazvučna kontrola HDKBR odabrana poglavlja (skripta u gradu) namjenjena učesnicima tečaja ultravučne kontrole Zagreb, 1999.
- [5] Ivan Juraga, Kruno Ljubić, Milan Živčić i Ivica Garaščić (Pogreške u zavarenim spojevima) četvrto izdanje.....četvrto prerađeno i dopunjeno izdanje, Hrvatsko društvo za tehniku zavarivanja, Zagreb, 2015.
- [6] Z.Perić, M.Slani, D.Akvić Sustav upravljanja zaštitom na radu (slika)
- [7] Privatne slike i dokumenti 3. Maj-a u suglasnosti sa istim i priloženi dokumentom kao potvrdu za korištenje u završnom radu
- [8] <http://ndtservices.blogspot.com/2013/03/surface-discontinuities-with-liquid.html> (slika 4.15)
- [9] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Radiografska\\_kontrola](https://hr.wikipedia.org/wiki/Radiografska_kontrola) (slika 4.19. prikaz RTG-a)
- [10] <https://www.youtube.com/watch?v=i7JOCsEugGY> (slika 1. ispitivanje nepropusnosti)
- [11] <https://www.youtube.com/watch?v=JMz0kjPPjVA> (slika 4.20 ispitivanje nepropusnosti)

## 7. POPIS SLIKA , TABLICA I OZNAKA

### POGLAVLJE 2.2

*Tablica:* 2.2.1. Približne vrijednosti viskoznosti.....10

### POGLAVLJE 2.6

*Slika:* 1. Prikaz vakuum detektora i obješnjenje.....24

*Tablica:* 2.6.1. vakuum testni list za upisivanje podataka.....26

### POGLAVLJE 3.

*Slika:* 3. Prikaz pogrešaka u zavarenim spojevima.....37

### POGLAVLJE 4.

*Slika:* 4.1 Prikaz radioničkog nacрта sekcije 3410.....40

*Slika:* 4.2 Prikaz nastavka radioničkog nacрта (dokumentni list).....41

*Slika:* 4.3 Prikaz pripreme lima za postavljanje (sljedivosti materijala).....42

*Slika:* 4.4 *Priprema za rezanje lima broskog trupa po uputama kontrolora za sljedivost*.....42

*Slika:* 4.5 Prikaza prije i nakon zavarivanja dimenzionalne kontrole i prikaz sastavnice.....44

*Slika:* 4.6 Prikaz alata za vizualnu kontrolu.....45

*Slika:* 4.7 Praktični prikaz alata za mjerenje vizualnom kontrolom na zavarenom spoju.....46

*Slika:* 4.8 Prikaz mjerenja zavarene površine kutnim alatom.....46

*Slika:* 4.9 Prikaz mjerenja kutnim alatom.....47

*Slika:* 4.10 Ispitivanje magnetima jaram.....48

*Slika:* 4.11 Čistač (odmašćivač) za pripremu površine.....49

*Slika:* 4.12 Crne magnetne čestice.....49

*Slika:* 4.13 Prikaz fluorescentnog alata (lampe).....50

*Slika:* 4.14 fluorescentna boja.....50

*Slika:* 4.15 Penetrantska metoda prikaz postupka ispitivanja penetrantom.....52

*Slika:* 4.16 Ultrazvučno ispitivaje.....53

*Slika:* 4.17 Sonde za ultrazvučno ispitivanje.....53

*Slika:*4.18 Prikaz ultrazvučne metode pri ispitivanju dijela sučelja zavarenog.....54

*Slika:* 4.19 Rendgensko ispitivanje prikaz i opis mjerenja pri radu.....55

*Slika:* 4.20 Vakuum kutija sa manometrom.....56

## **OZNAKE:**

HRN EN ISO 3452 -1:2021 – Nerazorno ispitivanje; ispitivanje penetrantima 1. dio opća načela

HRN EN ISO 3452-2:2021 - Nerazorno ispitivanje; ispitivanje penetrantima 2. dio opća načela

HRN EN ISO 3452-3:1999 - Nerazorno ispitivanje; ispitivanje penetrantima 3. dio opća načela

HRN EN ISO 6520-1:2008 – Zavarivanje i srodni procesi. Razredba geometrijskih nepravilnosti u metalnim materijalima 1. dio - Zavarivanje taljenjem

HRN EN ISO 5817:2014 – Zavarivanje – zavareni spojevi nastali taljenjem čelika u niklu, titanu i njihovim legurama (osim zavarivanja elektronskim snopom i laserom). Razina kvalitete s obzirom na nepravilnosti (ISO 5817:2014, EN ISO 5817:2014)

HRN EN ISO 10042:2008 – Zavarivanje- Elektrolučno zavareni spojevi aluminijski i njegovih legura. Razina kvalitete s obzirom na nepravilnosti (ISO 10042:2018, EN ISO 10042:2018)

HRN EN ISO 9712: 2022 – Nerazorno ispitivanje kvalifikacija i certifikacija NDT osoblja (ISO 9712:2021, ISO 9712:2022)

## 8. SAŽETAK

U ovom završnom radu obrađen je sustav ispitivanja zavarenih spojeva metodama bez razaranja. U prvome dijelu rada opisane su opće metode ispitivanja zavarenih konstrukcija, njihove značajke i osnovna načela. Drugi dio rada opisuje pogreške koje evidentiramo na mjestima zavara koristeći opisane metode. Završni dio opisuje postupke nadzora izrade zavarivačkih radova i zavarenih konstrukcija neposredno prije, tijekom i nakon izvedbe zavarivanja.

**Ključne riječi:** Zavarivanje, Metode ispitivanja zavara, Vizualna kontrola zavara, Postupci nadzora zavarivanja, Metode bez razaranja

## **9. SUMMARY**

In this thesis the system of testing weld joints using non-destructive methods are elaborated. In the first part of the thesis, the general methods of testing welded structures are expanded, their basic features and principles are described. Second part of thesis describes errors and mistakes that are recorded at welding spots while using previously described methods. Final part describes the procedures and supervision of welding works and welded structures before commencement of work, during and after the welding is completed.

**Key words:** Welding, Welding test methods, Visual inspection of welds, Welding inspection procedures, Non-destructive methods



**3. MAJ**

**Brodogradilište d.d.**

HR 51000 RIJEKA, Liburnijeka 3 – HRVATSKA, p.p. 197  
e-mail: gmanageroffice@3maj.hr, web: www.3maj.hr

Tel.: +385 (0) 51 611-111  
+385 (0) 51 611-000  
Fax.: +385 (0) 51 611-070

ISO 9001  
ISO 14001  
ISO 45001  
SUSTAIN VERITAS  
Certification



Rijeka, 01.09.2022

## IZJAVA

Kojom "3. Maj Brodogradilište d.d." daje suglasnost da se za potrebe izrade završnog rada studentice Tamare Klaric daje privola za korištenje sve navedene dokumentacije, izvještaja i slika koje je uvrstila u završni rada te su isti izrađeni u "3. Maj Brodogradilištu d.d." za potrebe organizacije rada, ispitivanja i izrade izvještaja te korištenja u svrhu izrade završnog rada.

Sve navedeno je odobreno je od strane 3.Maj Brodogradilišta d.d.

ROKOVODSTVO PRISHPREDAVE I KONTROLE

3. MAJ Shipyard JSC | Liburnijeka 3 | HR – 51000 Rijeka |  
P.O. BOX 197 | Croatia  
T: | Mob: +385 98 9841785

florian.sedmak@3maj.hr | <http://www.3maj.hr>

**3. MAJ**  
**Brodogradilište d.d.**  
Rijeka, Liburnijeka 3 1

• Uprava / Director: Edi Kučan  
• Predsjednik Nadzornog odbora / President of the Supervisory Board: Juraj Šoljić  
• Temeljni kapital / Capital stock: 181.214.000,00 HRK (uplaćen u cijelosti / entirely paid)  
• Broj izdanih dionica / Nominalna vrijednost / No. of issued shares / Nominal share value: 1.812.140 @ 100,00 HRK

**BANKA I SJEDIŠTE / BANK AND ADDRESS**

ERSTE & STEIERMÄRKISCHE BANK d.d. | Jadranski trg 3A, 51000 Rijeka  
Privredna banka Zagreb d.d. | Radnička cesta 50, 10000 Zagreb

**IBAN**

HR8024020061100445001  
HR4023400091110605277

**SWIFT CODE**

ESBCHR22  
PBZGHR2X

• Trgovački sud u Rijeci / Commercial Court in Rijeka  
• MBS / Reg. No.: 640000833  
• OIB / Personal identification number: 66167814130  
• PDV id. broj / VAT number: HR36167814130