

# Metode ispitivanja zavarenih spojeva bez razaranja i njihova primjena u proizvodnji trafokotlova

---

**Kuhar, Mihael**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2016**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University North / Sveučilište Sjever**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:253170>

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

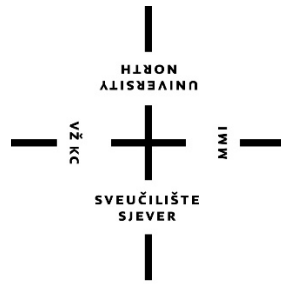
*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-11**



*Repository / Repozitorij:*

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište  
Sjever**

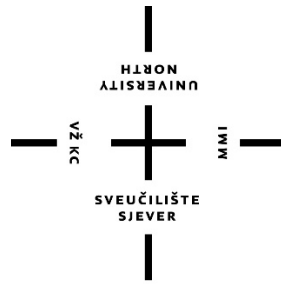
**Završni rad br. 208/PS/2016**

**Metode ispitivanja zavarenih spojeva bez razaranja i  
njihova primjena u proizvodnji trafokotlova**

**Mihael Kuhar, 0409/336**

Varaždin, listopad, 2016.





**Sveučilište  
Sjever**

**Završni rad br. 208/PS/2016**

**Metode ispitivanja zavarenih spojeva bez razaranja i  
njihova primjena u proizvodnji trafokotlova**

**Student**

Mihael Kuhar, 0409/336

**Mentor**

Ivan Samardžić, dr. sc.

Varaždin, listopad, 2016.

## **Predgovor**

Zahvaljujem svima koji su mi pomogli u izradi završnog rada, mentoru prof. dr. sc. Ivanu Samardžiću i njegovom asistentu dipl. ing. Marku Horvatu, te poduzeću Prima Biro d.o.o za izdavanje potrebne dokumentacije. Posebno se zahvaljujem svojoj obitelji koja mi je pružila podršku tokom cjelokupnog studiranja.

## **Sažetak**

Cilj ovog rada je obraditi problematiku osiguranja kvalitete izvedbe zavarenih spojeva u proizvodnji na primjeru proizvodnje trafokotlova. U prvom dijelu opisane su vrste pogrešaka, zbog čega nastaju i u kojem dijelu zavarenog spoja se najčešće pojavljuju. Kasnije su opisane najčešće korištene metode ispitivanja zavarenog spoja bez razaranja (NDT) u proizvodnji, vizualna kontrola te ispitivanje penetrantima, magnetskim česticama, ultrazvukom i radiografijom. U zadnjem dijelu dati su primjeri primjene svake od prethodno navedenih NDT metoda u proizvodnji trafokotlova, s obrazloženjem razloga primjene određene metode.

Goal of this work is to issue quality control of welded joints in manufacture of power transformers. In first part it discuss common types of mistakes in welding industry. Then it proceeds with description of most common NDT methods. Last section includes examples of application of previously mentioned NDT methods in manufacture of power transformers.

## **Ključne riječi**

Greške u zavarenim spojevima, ispitivanje bez razaranja, vizualna kontrola, ispitivanje penetrantima, , ispitivanje magnetskim česticama, ispitivanje ultrazvukom, radiografija

Mistakes in welding, non-destructive testing, visual testing, penetrant testing, magnetic particle inspection, ultrasonic testing, radiography

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za strojarstvo		
PRISTUPNIK	Mihael Kuhar	MATIČNI BROJ	0409/336
DATUM	21.11.2016.	KOLEGIJ	Tehnologija III
NASLOV RADA	Metode ispitivanja zavarenih spojeva bez razaranja i njihova primjena u proizvodnji trafokotlova		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Non-destructive testing methods and their applications in manufacture of power transformers		
MENTOR	prof. dr. sc. Ivan Samardžić	ZVANJE	prof. dr. sc., IWE
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. prof. dr. sc. Živko Kondić, redoviti profesor		
	2. prof. dr. sc. Ivan Samardžić, redoviti profesor u TZ		
	3. Marko Horvat, predavač		
	4. _____		
	5. _____		

VŽKC

MMI

## Zadatak završnog rada

BROJ 208/PS/2016

### OPIS

U uvodnom dijelu zadatka potrebno je navesti najčešće greške koje nastaju kod elektrolučnih postupaka zavarivanja taljenjem te prikazati neke karakteristične greške. Detaljnije je potrebno obrazložiti metode kontrole kvalitete zavarenih spojeva uz primjenu metoda kontrole bez razaranja (vizualna, penetrantska, magnetska, ultrazvučna i radiografska metoda kontrole kvalitete).

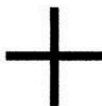
U praktičnom dijelu rada potrebno je opisati primjenu metoda kontrole kvalitete bez razaranja kod ispitivanja zavarenih spojeva trafokotlova.

ZADATAK URUČEN

22.11.2016



*Ivan Samardžić*

**IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU**

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Mihael Kuhar pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor završnog rada pod naslovom Metode ispitivanja zavarenih spojeva bez razaranja i njihova primjena u proizvodnji trafokotlova te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student:

Mihael Kuhar

(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, Mihael Kuhar neopozivo izjavljujem da sam suglasan s javnom objavom završnog rada pod naslovom Metode ispitivanja zavarenih spojeva bez razaranja i njihova primjena u proizvodnji trafokotlova čiji sam autor.

Student:

Mihael Kuhar

(vlastoručni potpis)



# Sadržaj

1	Uvod .....	1
2	Greške u zavarenim spojevima .....	2
2.1	Pukotine .....	4
2.2	Šupljine i poroznost .....	5
2.3	Čvrsti uključci .....	6
3	Metode kontrole zavarenih spojeva bez razaranja .....	7
3.1	Vizualna kontrola .....	7
3.1.1	Faze vizualnog ispitivanja .....	7
3.1.2	Mjerna oprema i pomagala .....	8
3.2	Ispitivanje penetrantima .....	12
3.2.1	Faze ispitivanja penetrantima .....	12
3.2.2	Prednosti i nedostaci ispitivanja penetrantima .....	15
3.3	Ispitivanje magnetskim česticama .....	16
3.3.1	Faze ispitivanja magnetskom metodom .....	16
3.3.2	Prednosti i nedostaci ispitivanja magnetskim česticama .....	18
3.4	Ispitivanje ultrazvukom .....	19
3.4.1	Oprema za ultrazvučno ispitivanje .....	19
3.4.2	Princip rada ultrazvučnog ispitivanja .....	21
3.4.3	Tehnike ultrazvučnog ispitivanja .....	21
3.4.4	Prikaz signala .....	23
3.4.5	Ispitivanje zavarenih spojeva ultrazvučnom metodom .....	24
3.4.6	Prednosti i nedostaci ispitivanja ultrazvukom .....	26
3.5	Radiografija .....	27
3.5.1	Izvori ionizirajućeg zračenja .....	27
3.5.2	Nastajanje radiograma .....	29
3.5.3	Prednosti i nedostaci ispitivanja radiografijom .....	32

4	Primjena metoda bez razaranja u ispitivanju zavarenih spojeva trafokotlova.....	33
4.1	Izgled i dimenzije zavarenog spoja.....	34
4.2	Nepropusnost zavarenih spojeva.....	36
4.3	Ispravnost zavarenih spojeva zavjesnih elemenata za transport i manipulaciju .....	37
5	Zaključak .....	39
	Literatura .....	40
	Popis slika i tablica .....	41
	Prilozi.....	44

# 1 Uvod

Trafokotao ili kućište transformatora relativno je velika i složena zavarena konstrukcija. Kako bi se osigurao njegov ispravan i siguran rad potrebno se osigurati da su svi zavareni spojevi ispravno izvedeni, tj. da nepravilnosti ne prelaze dozvoljene granične vrijednosti. U protivnom ukoliko se nedopuštene nepravilnosti ne otklone može doći do katastrofalnih posljedica kao što su istjecanje ulja, prevrtanje ili pad kotla tijekom transporta, zapaljenje ulja ili eksplozija jezgre tijekom rada transformatora. Kako bi se ispitali zavareni spojevi kotla a da se pritom ne naruši funkcionalnost ispitivanih dijelova potrebno je ispitivanje izvršiti jednom ili više metoda ispitivanja zavarenih spojeva bez razaranja (engl. Non-destructive testing, NDT). Složenost konstrukcija i raznolikost vrsta grešaka su velike, te sve NDT metode nisu uvijek povoljne pa se u ispitivanju trafokotla najčešće koristi kombinacija više različitih NDT metoda. Kako bi znali koje od NDT metoda odabrati te kako bi točno interpretirali dobivene indikacije pogrešaka bitno je poznavanje vrsta grešaka i pravilnog izvođenja postupka odabranih NDT metoda.

## 2 Greške u zavarenim spojevima

Kod procesa zavarivanja, kao i kod svakog drugog tehnološkog procesa, postoji mogućnost pojavljivanja određenih grešaka.

Čimbenike koji utječu na svojstva zavarenog spoja možemo podijeliti u tri skupine: [1]

### 1. Metalurški uvjeti

- Svojstva osnovnog materijala
- Stanje osnovnog materijala
- Svojstva dodatnog materijala
- Svojstva pomoćnog materijala (zaštitni plinovi. Prašci, itd.)
- Svojstva zone pretaljivanja
- Svojstva ZUT-a

### 2. Tehnološki uvjeti

- Izbor vrste zavarenog spoja
- Oblik pripreme žlijeba
- Parametri zavarivanja
- Redoslijed zavarivanja
- Unos topline
- Brzina hlađenja
- Naknadna toplinska obrada
- Nesavršenosti u zavarenom spoju

### 3. Eksploatacijski uvjeti

- Pretpostavljeni ili zajamčeni rok trajanja
- Preopterećenje
- Šokovi
- Korozija
- Erozija
- Utjecaj radnog medija
- Mogući utjecaj okoliša

Postoje različite klasifikacije grešaka u zavarenim spojevima, a najčešće su: [1]

Prema normi HRN EN 26520-1991:

1. Greške u zavarenim spojevima koje mogu nastati u izradi
  - Ove greške još nazivamo „vidljive“ jer se mogu otkriti, raspoznati, definirati i ocijeniti vizualnom kontrolom ili nekom od metoda nerazornog ispitivanja
  
2. Greške u zavarenim spojevima koje mogu nastati u eksploataciji
  - To su latentne („nevidljive“) greške koje se nerazornim metodama ispitivanja ne mogu otkriti, ali znatno utječu na svojstva zavarenog spoja te samim time i na sposobnost konstrukcije u ispunjenju namjene. Ove greške moguće je otkriti nekom od složenih razornih metoda koje se rjeđe upotrebljavaju zbog svoje dugotrajnosti i visoke cijene.

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

1. Pukotine
2. Šupljine i poroznost
3. Čvrsti uključci
4. Nepotpuno spajanje provarivanjem
5. Nepravilni oblik i dimenzije
6. Ostale nepravilnosti

Klasifikacijom prema ovim normama osnovne vrste nepravilnosti svrstane su u skupine koje su karakteristične po obliku, ali i mehanizmu nastanka te je na taj način olakšana njihova identifikacija, ocjena i definiranje mjerila prihvatljivosti.

## 2.1 Pukotine

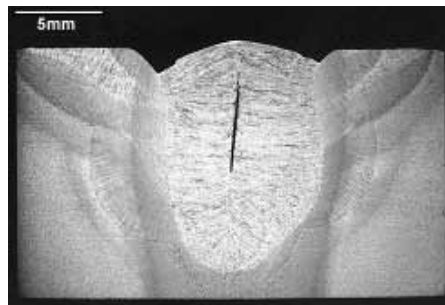
Mehanizam nastanka pukotina raznovrstan je i u određenim situacijama vrlo složen, pa su pukotine i kod teoretičara i praktičara među najviše obrađivanim pogreškama. Pojavom pukotina smanjuje se nosivi presjek zavarenog spoja te se time bitno smanjuje njegova čvrstoća. Pukotine također imaju tendenciju propagacije a predviđanje njihovog mogućeg širenja vrlo je složeno pa se iz tog razloga smatraju najopasnijim pogreškama i u pravilu nisu dopuštene.

Pukotine se mogu klasificirati prema mehanizmu nastanka u:

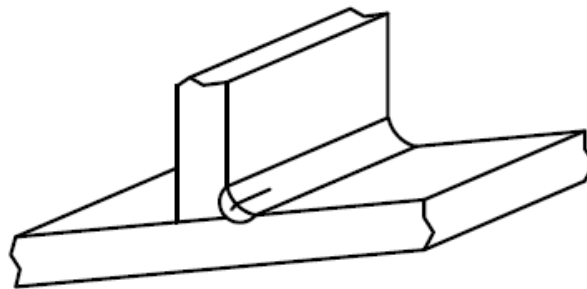
1. Hladne
2. Tople
3. Pukotine nastale uslijed toplinske obrade ili naknadnog zagrijavanja
4. Pukotine nastale uslijed slojastog ili lamelarnog odvajanja

Po učestalosti u zavarivačkoj praksi najčešće su hladne i tople pukotine.

Tople pukotine nastaju na relativno visokim temperaturama tijekom hlađenja zavarenog spoja. Ove pukotine mogu nastati po dužini u sredini zavaru, ali i u zoni utjecaja topline. Javljaju se u obliku kanalića s hrapavom i oksidiranom površinom zbog čega je boja prijelomne površine tamna te su stoga vidljive golim okom.



*Slika 2.1 Topla pukotina u sučeonom zavaru [2]*

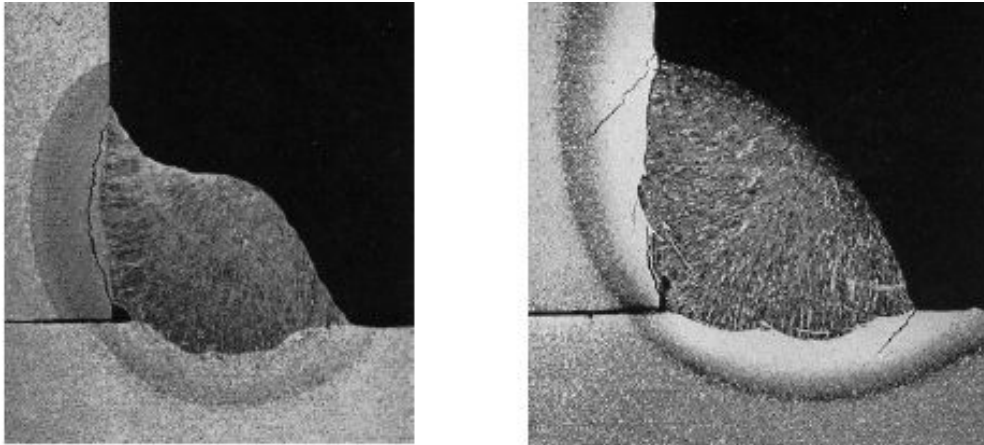


*Slika 2.2 Prikaz tople pukotine u kutnom zavaru*

Hladne pukotine nastaju pri hlađenju zavarenog spoja na temperaturi nižoj od 300 °C. Dobile su naziv „zakašnjele“ jer se mogu pojaviti i više sati poslije zavarivanja. U praksi se iz tog razloga metode nerazornog ispitivanja na zavarenim konstrukcijama provode nakon 24-48 sati. Hladne pukotine mogu biti položene uzdužno i poprečno na zavar ili pak na prijelazu zavara u osnovni materijal.

Tri su glavna uzroka nastajanja hladnih pukotina

- Sklonost materijala prema zakaljivanju
- Postojanje zaostalih naprezanja
- Količina difuzijskog vodika

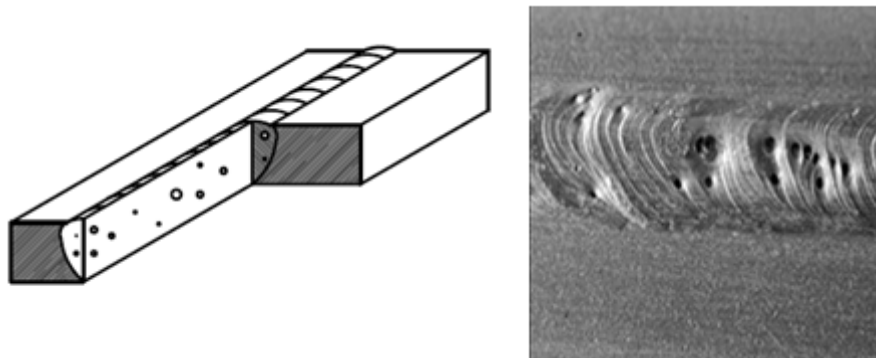


*Slika 2.3 Hladne pukotine u zoni utjecaja topline [3]*

## 2.2 Šupljine i poroznost

Poroznost u zavarenom spoju znači mjesta ispunjena stlačenim plinom. Poroznost nastaje tako što prilikom zavarivanja topivost plina u rastaljenom metalu zavara raste, pa pritom dolazi do rastapanja vodika i dušika te kisika u spoju s ugljikom. Tijekom hlađenja taline ovi plinovi izranjaju iz metala u obliku mjehurića te ako je brzina izlučivanja plinova manja od brzine skrućivanja metala ti plinovi ostaju zarobljeni u zavaru. Šupljine mogu biti različitih veličina od onih oku nevidljivih pa do nekoliko milimetara, a osim u zavaru mogu nastati i na površini zavara.

Poroznost zavara najopasnija je za dinamički opterećene konstrukcije jer s vremenom dolazi do povezivanja između pojedinih pora, naročito kada su jedna blizu druge, te stvaranja pukotine.



*Slika 2.4 Više plinskih pora u metalu zavara (lijevo), gnijezdo površinskih pora (desno)*

### 2.3 Čvrsti uključci

Čvrsti uključci, kao strano tijelo u metalu zavara, mogu biti nemetali poput troske i praška, ili metali kao volfram ili spojevi metala na kojem vršimo zavarivanje. Zbog teškog čišćenja troske, naročito u dubokim žljebovima i oštrim uglovima dolazi do nedovoljnog čišćenja troske među slojevima zavara te to najčešće potiče stvaranje slojeva troske u zavaru.

Utjecaj na čvrstoću zavarenog spoja ovisi o količini, obliku, i veličini uključka. Općenito na mjestima pojave uključaka povećane su koncentracije naprezanja, a čvrstoća zavarenog spoja je smanjena zbog nehomogenosti i smanjenog presjeka materijala zavara.



*Slika 2.5 Uključci volframa (svijetle mrlje) vidljivi na radiogramu zavara [4]*



## **3 Metode kontrole zavarenih spojeva bez razaranja**

### **3.1 Vizualna kontrola**

Vizualna kontrola najstarija i najčešća je metoda kontrole bez razaranja. Cilj ove metode je brzo i efikasno otkrivanje raznih površinskih grešaka. Dijeli se na posredne i neposredne tehnike ispitivanja. Sve tehnike kao radno sredstvo koriste svjetlost, tj. elektromagnetske valove svjetlosti u vidnom području oka (380-780 nm), stoga su dobro osvijetljenje površine i dobar vid kontrolora od velike važnosti. Značajke zavarenih spojeva potrebno je kontrolirati u sve tri faze zavarivanja (prije, za vrijeme i nakon zavarivanja). Pošto se većina ispitivanja obavlja nakon zavarivanja, važnost ovoj metodi kontrole pridodaje činjenica da je to jedina od svih metoda kontrole bez razaranja koja može uočiti, predvidjeti mjesto i uzrok nastajanja pogreške te pridonjeti donošenju odluke u svim fazama nastajanja zavarenog spoja. Naravno, točnost izvođenja vizualne kontrole ovisi o dobroj uvježbanosti, te prethodno sakupljenom znanju o proizvodu i procesu zavarivanja te kriterijima prihvatanja izvršioca pa posebnu pozornost treba skrenuti i na njegovo osposobljavanje.

#### **3.1.1 Faze vizualnog ispitivanja**

##### **1. Vizualno ispitivanje prije zavarivanja**

Kada je to potrebno, prije zavarivanja kontroliramo slijedeće

- oblik i dimenzije pripreme zavarenog spoja koje moraju odgovarati specifikacijama
- da površine koje trebaju biti spojene i susjedne površine budu očišćene
- da su dijelovi koji se spajaju fiksirani u položaju prema nacrtu

##### **2. Vizualno ispitivanje tijekom zavarivanja**

Kada je to potrebno, vizualnim pregledom zavarenog spoja tijekom postupka zavarivanja utvrđuje se:

- da je svaki prolaz očišćen prije novog prolaza, obraćajući dodatnu pozornost na spojeve između dodatnog i osnovnog materijala
- da nema vidljivih nepravilnosti (pukotina i šupljina), te njihovo otklanjanje prije novog prolaska, u slučaju postojanja istih
- da je prijelaz između dodatnog i osnovnog materijala takvog oblika da se može postići odgovarajuće rastaljivanje novog prolaza

### 3. Vizualno ispitivanje gotovog zavarenog spoja

Gotov zavareni spoj ispituje se radi utvrđivanja da nepravilnosti u zavarenom spoju ne prelaze dopuštene granične vrijednosti. Kontroliraju se oblik i dimenzija zavarenog spoja te razne površinske greške kao što su: korozija, nečistoće, završna obrada, površinska poroznost, pukotine većih dimenzija i neprovaren korijen zavara.

Da bi se vizualna kontrola što točnije provela tijekom vizualnog ispitivanja moraju biti zadovoljeni uvjeti poput osvjetljenosti ispitne površine koja mora iznositi najmanje 500 lx, a udaljenost oka od ispitne površine ne smije biti veća od 600 mm kako ne bi došlo do krivog očitavanja sa skale mjerila. Također kut promatranja ne smije biti manji od 30° jer se u protivnom gubi osjećaj položaja mjerila pa dolazi do krivog postavljanja istog. Tijekom ispitivanja osim različite mjerne opreme može se koristiti i dodatna oprema koja olakšava vizualno ispitivanje teško dostupnih ili loše osvjetljenih zavarenih spojeva.

#### 3.1.2 Mjerna oprema i pomagala

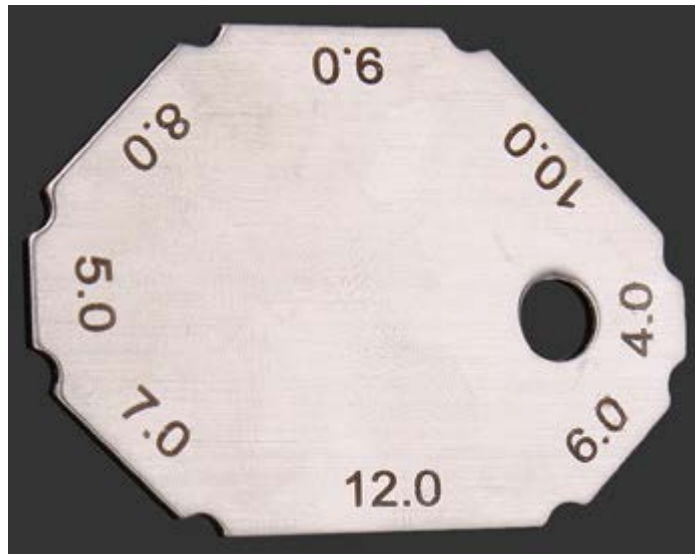
##### 1. Direktna vizualna kontrola

- zrcalo
- povećalo



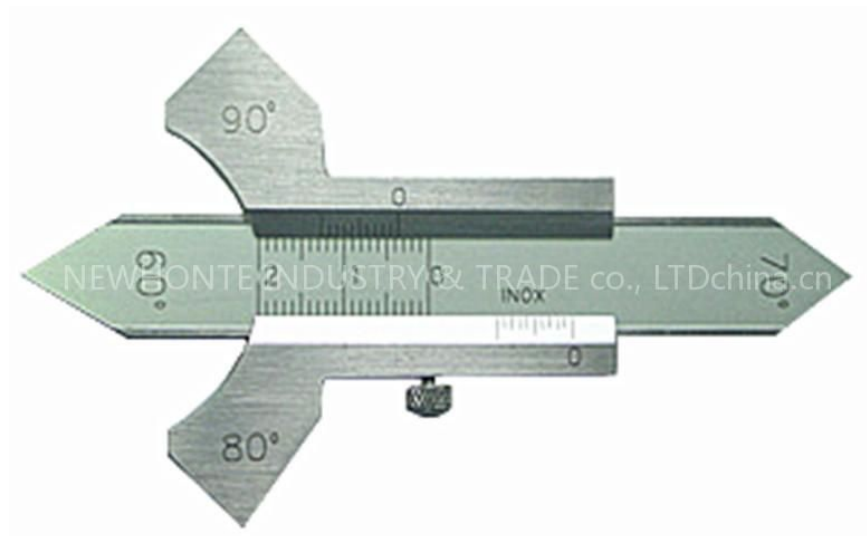
*Slika 3.1 Pomagala kod direktne vizualne kontrole (povećalo lijevo, zrcalo desno)*

- mjerila za dimenzijsku kontrolu zavara
  - Usporedno mjerilo za provjeru debljine kutnog zavarenog spoja – ovim mjerilom moguća je jednostavna i brza provjera u kojim se granicama nalazi debljina kutnog zavarenog spoja. Daje okvirnu vrijednost debljine kutnog zavarenog spoja.



*Slika 3.2 Usporedno mjerilo za provjeru debljine kutnog zavarenog spoja [5]*

- Mjerilo s nonijusom – ovim mjerilom moguće je mjeriti debljinu kutnog zavarenog spoja ( $90^\circ$ ), nadvišenje sučeonog zavarenog spoja, te provjera kuteva kod pripreme mjesta sučeonog zavarenog spoja ( $60, 70, 80$  i  $90^\circ$ , vidljivo na slici 3.3)



*Slika 3.3 Mjerilo s nonijusom [5]*

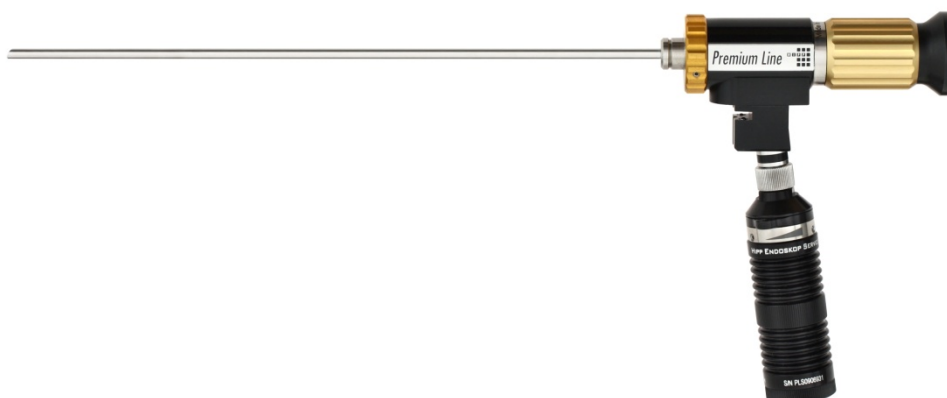
- Mjerilo s tri skale – ovim mjerilom moguće je mjeriti nadvišenje sučeonog zavarenog spoja, debljinu i nadvišenje kutnog zavarenog spoja, nepravilnost kod nejednakosti kateta kutnog zavarenog spoja



*Slika 3.4 Mjerilo s tri skale*

## **2. Daljinska vizualna kontrola**

- boreskop – optički uređaj koji se sastoji od krute ili fleksibilne cijevi s okularom, na jednom, i objektivom na drugom kraju. Obično je opremljen optičkim vlaknima za osvjetljenje. Koristi se za vizualnu kontrolu cijevovoda, spremnika i drugih neosvijetljenih i teško dostupnih mjesta. Osim što boreskop može biti opremljen dodatnim izvorom svjetlosti može sadržavati i pokretni kursor koji omogućava mjerenje u optičkoj ravni objekta.



*Slika 3.5. Boreoskop [6]*

- fiberskop – digitalni uređaj za vizualnu kontrolu teško pristupačnih mjesta, sastoji se od vlakna za osvjetljenje, vlakna za sliku, leća objektiva, promjenjivih glava, daljinskih komandi za upravljanje i displeja za prikaz slike.



*Slika 3.6 Fiberskop [7]*

- videoskop – za razliku od fiberskopa umjesto okulara ima CCD (engl. charge-coupled device) osjetilo promjera 4 do 6 mm. CCD sliku zatim pretvara u električni napon koji se kabelom prenosi do uređaja za registriranje, tj. video monitor. Ima veću razlučivost od fiberskopa, dulji doseg, te je kod ovog uređaja moguća automatizacija. [8]



*Slika 3.7 Videoskop [9]*

## 3.2 Ispitivanje penetrantima

Ispitivanje penetrantima jedna je od najraširenijih metoda nerazornih ispitivanja. Ovom metodom otkrivaju se pukotine i diskontinuiteti na površinama krutih neporoznih tijela. Najčešće se ispituju metalni dijelovi, ali se mogu ispitivati i dijelovi izrađeni od nemetalnih materijala kao što su staklo, keramika, guma, plastika itd. Metoda je popularna zbog jednostavnosti i fleksibilnosti, osim u pogonu ispitivanje se može izvesti i na terenu, a ispitati se mogu dijelovi različitih veličina i oblika proizvedenih u različitim granama industrije, primjerice tako možemo ispitati relativno mali priključak za termometar u proizvodnji trafokotlova, ali i neki relativno velik sklop u brodogradnji. Prednost penetrantske kontrole u odnosu na direktnu vizualnu kontrolu jest ta što omogućuje kontroloru lakše uočavanje greške. Indikacija pukotine koja se javlja na površini puno je veća od same pukotine, a usto zbog žarke boje penetranta i bijele boje razvijaača veća je i razina kontrasta između indikacije i površine. Oba faktora čine greške, golom oku, lakše uočljivima pa samim time i posao kontrolora lakšim.

### 3.2.1 Faze ispitivanja penetrantima

#### 1. Priprema površine

Greške koje se mogu uočiti ispitivanjem penetrantima otvorene su prema površini pa je nju iz tog razloga neophodno očistiti i odmastiti. Nečistoće poput prašine, masti, boje ili dr. ako se ne očiste s površine mogu nakupljati penetrant ili začepiti postojeću pukotinu. Dakle, ako površinu inicijalno ne očistimo mogu se pojaviti indikacije na mjestima gdje pukotine nema, ili pak može doći do izostanka pojave indikacije na mjestu gdje pukotina postoji.



*Slika 3.8 Čišćenje površine*

#### 2. Nanošenje penetranta

Penetrante dijelimo u dva osnovna tipa, obojene i fluorescentne penetrante. Obojeni penetranti su žarke boje, najčešće crvene ili ljubičaste kako bi dali visok kontrast u odnosu na bijelu podlogu razvijaača. Fluorescentni penetranti daju jaću indikaciju od obojenih zbog osjetljivosti oka na fluorescentnu boju, no zahtijevaju zamračeno područje i osvjetljenje UV zrakama.

Nakon što smo očistili površinu odabrani penetrant nanosimo kistom ili prskanjem. Bitno je da se tekućina jednoliko proširi po površini i uđe u pukotine.

Nakon nanošenja penetranta mora se osigurati potrebno vrijeme penetriranja. Ono ovisi o obliku i karakteristikama površine i odabranog penetranta.

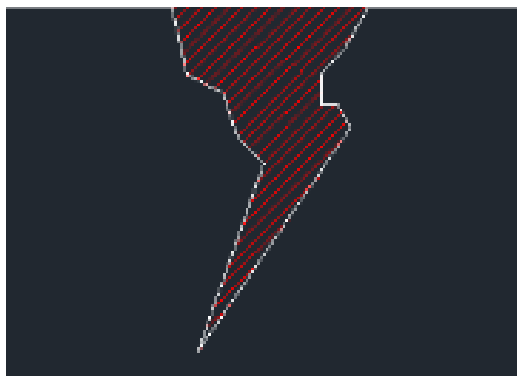


*Slika 3.9 Nanošenje penetranta*

### 3. Uklanjanje viška penetranta

Nakon što se osiguralo vrijeme potrebno za penetraciju, sa površine se mora ukloniti višak penetranta. Njegovo odstranjivanje vrlo je važna operacija jer izravno utječe na kvalitetu i rezultat ispitivanja, te stoga zahtijeva pedantnost. Površinu je potrebno potpuno očistiti da ne bi došlo do smanjenja razlučivosti indikacija, pritom treba obratiti pozornost da ne dođe do pretjeranog čišćenja tj. uklanjanja penetranta iz same pukotine. Ukoliko se penetrant ukloni iz dijela pukotine moguće je da ga razvijlač ne dosegne pa se time uzrokuje izostanak indikacije.

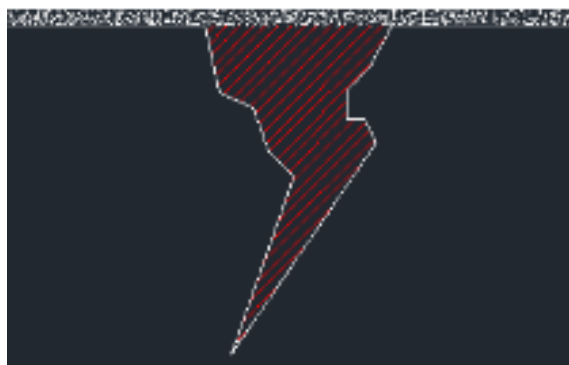
Prema metodi kojom uklanjamo penetrant, penetrante možemo podijeliti u tri skupine: vodoperivi penetranti, poslijeemulgirajući penetranti i otapalom odstranjivani penetranti. **Vodoperivi penetranti** mogu se ukloniti sa površine ispiranjem vodom, vodu je najbolje nanositi štrcaljkom, jer ako je mlaz vode prejak postoji opasnost od ispiranja penetranta iz samih pukotina. **Poslijeemulgirajući penetrant** na površini tretira se emulgatorom nakon čega postaje topljiv u vodi pa ga nakon toga njome i ispiramo. Vrijeme djelovanja emulgatora treba kontrolirati kako emulgator ne bi djelovao i na penetrant u pukotinama, te time osiguravamo nemogućnost suvišnog ispiranja penetranta iz pukotine. **Otapalom odstranjivi penetranti** odstranjuje se otapalom i to najčešće onim koje se koristi za inicijalno čišćenje površine. Da bi metoda bila učinkovita treba biti jednako pažljiv u ispiranju kao i u izvedbi prethodnih faza.



*Slika 3.10. Uklanjanje viška penetranta*

#### **4. Nanošenje razvijača**

Nakon što je sa ispitne površine odstranjen višak penetranta na nju se nanosi tanki porozni sloj razvijača. Njegova uloga je povlačenje penetranta iz pukotine i širenje na površinu dijela kako bi ga ispitivač lakše uočio. To je moguće jer je razvijač pun šupljina i prolaza koji se ponašaju kao cjevčice pa dolazi do kapilarnog efekta, tj. uvlačenja penetranta u iste. Pošto razvijač služi i kao podloga za pojavu indikacije, on mora biti odgovarajuće boje kako bi kontrast između indikacije i podloge bio što veći. Stoga za obojene penetrante koristimo bijeli razvijač, a za fluorescentne penetrante moramo pripaziti da uz to i ne fluorescira kada je izložen UV svjetlu.

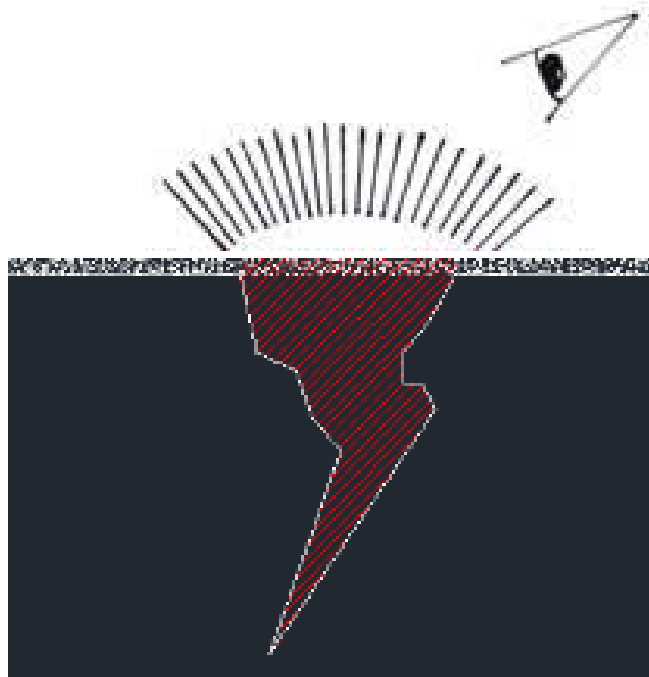


*Slika 3.11 Nanošenje razvijača*

#### **5. Pregled indikacija**

Pregled se obavlja, ovisno o vrsti penetranta, pod vidljivim ako se koristio obojeni penetrant, ili pod UV svjetlom ako se koristio fluorescentni penetrant. Evaluacija indikacija je vrlo bitna jer svaki defekt ne mora biti značajan, odnosno defekti na nekim mjestima mogu biti prihvatljivi te ne zahtijevaju popravak, tj. dodatan utrošak vremena i resursa. Pregled i evaluaciju vrši ispitivač, te je važno da bude iskusan i da dobro poznaje namjenu i potrebne karakteristike proizvoda.





*Slika 3.12 Pregled indikacija*

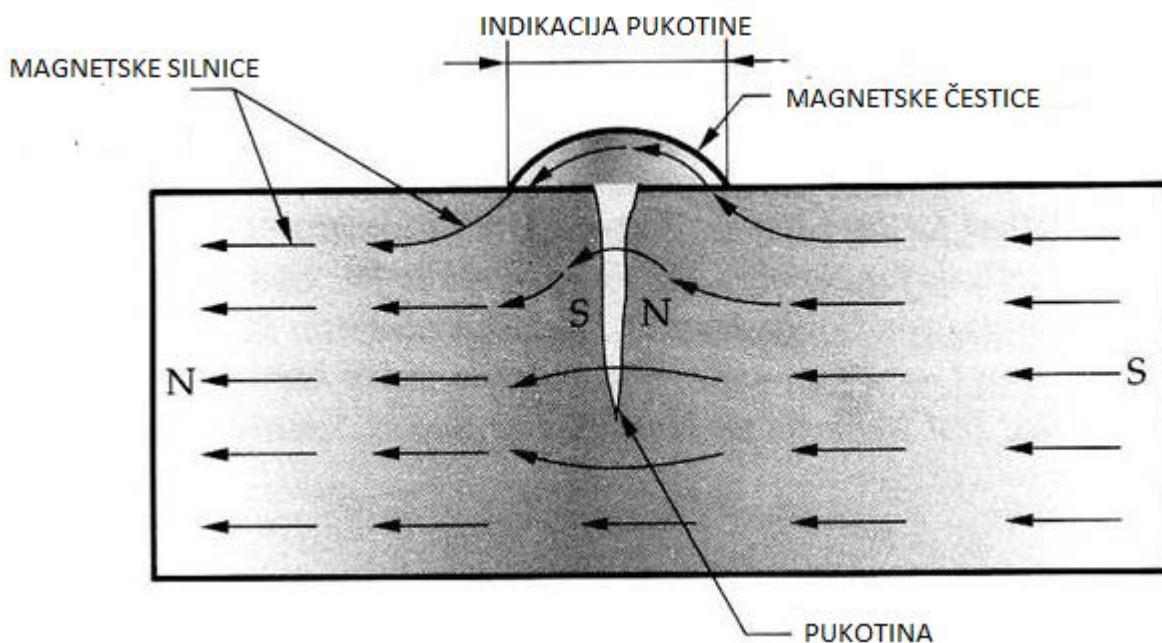
### **3.2.2 Prednosti i nedostaci ispitivanja penetrantima**

- moguća laka i brza detekcija površinske pukotine, ali ne i njene dimenzijske i ostale karakteristike
- pouzdanost metode uvelike ovisi o ljudskom faktoru prilikom provedbe ispitivanja i pregleda dobivenih indikacija
- penetratni i pripadajuća oprema relativno su jeftini te lako prenosivi
- veoma brzo i po niskoj cijeni moguće je ispitati velike površine i dijelove složenih geometrijskih oblika
- indikacije se javljaju direktno na površini dijela i utjelovljuju vizualni prikaz greške
- vrlo učinkovita i raširena metoda, a u nekim industrijama i nezaobilazna [1], [10], [11]

### 3.3 Ispitivanje magnetskim česticama

Ispitivanje magnetskim česticama široko je usvojena metoda bez razaranja za otkrivanje površinskih i potpovršinskih grešaka. Najčešća upotreba ove metode je u velikoserijskoj i masovnoj proizvodnji.

Metoda se zasniva na principu magnetne indukcije, tj. formiranjem magnetskog polja oko vodiča kroz koji prolazi električna struja. Prolaskom magnetskog toka kroz diskontinuitete ispitnog objekta (u obliku pukotine, zareza ili oštrog prijelaza) doći će do skretanja i koncentracije magnetskih silnica u presjeku ispod diskontinuiteta. Ova različitost koncentracije magnetskih silnica stvorit će na površini ispitnog objekta promjene magnetskog polja.



Slika 3.13 Princip rada metode ispitivanja magnetskim česticama

#### 3.3.1 Faze ispitivanja magnetskom metodom

##### 1. Priprema ispitne površine

Prije provođenja ispitivanja magnetskom metodom prijeko potrebno je ispitnu površinu dobro pripremiti čišćenjem od troske i okujine. Oštrije neravnine treba dobro očerkati i eventualno pobrusiti kako ne bi uzrokovale kreiranje lažnih indikacija.

## 2. Nanošenje magnetskih čestica

Na ispitnu površinu nanose se feromagnetske čestice željeznog oksida ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) veličine reda zrna  $1\mu\text{m}$ . Ove čestice nanose se na površinu posipanjem (suhom tehnikom) ili naštrcavanjem suspenzije čestica u vodi ili lakim uljima (mokrom tehnikom). Kako bi vidljivost indikacija bila bolja magnetske čestice mogu biti obojene kontrastnom bojom prema boji ispitne površine ili se ispitna površina prethodno može premazati tankim slojem kontrastne boje. Za najveću osjetljivost mogu se koristiti fluorescentne magnetske čestice, čije indikacije tada očitavamo pod ultraljubičastim svjetlom.

## 3. Magnetizacija ispitnog objekta

Ispitni objekt magnetizira se jednim od dva osnovna načina, tehnikom strujnog prolaza ili tehnikom magnetizacije.

Tehnikom strujnog prolaza kroz ispitni materijal propušta se izmjenična ili istosmjerna struja niskog napona (2-3 V) i visoke jakosti (300-2000 A) te se materijal ponaša kao vodič a oko njega se stvara magnetsko polje. Ovom tehnikom moguće je ispitivanje neferomagnetskih materijala no na mjestima dodira uređaja s materijalom dolazi do iskrenja te se time oštećuje materijal.

Kod tehnike magnetizacije koriste se magnetski jarmovi koji u dodiru s ispitnim materijalom zatvaraju magnetski krug i time magnetiziraju materijal. Ovom tehnikom ne oštećuje se materijal ali je njena primjena moguća samo kod feromagnetskih materijala.



*Slika 3.14. Primjer ispitne površine premazane kontrastnom bojom te tehnike magnetizacije pomoću magnetskog jarma*

#### **4. Čišćenje površine**

Magnetske čestice su oksidi te zbog toga mogu prouzročiti stvaranje uključaka u zavaru ukoliko se nakon ispitivanja ne otklone sa ispitne površine. Kod vodene suspenzije dovoljno je površinu osušiti i propuhati mlazom zraka, a kod uljnih suspenzija treba je odmastiti te isprati.

#### **3.3.2 Prednosti i nedostaci ispitivanja magnetskim česticama**

- jednostavnost postupka i relativno niska cijena uređaja
- lako otkrivanje malih i plitkih površinskih pukotina, zarezata i većih uključaka posebno onih uz ili blizu ispitne površine
- mogućnost otkrivanja pukotine koje su ispunjena drugim materijalom
- metoda je polukvantitativna, jer je nemoguće određivanje dimenzija pogrešaka
- učinkovitost metode opada s porastom dubine potpovršinske greške
- bez oštećenja ispitne površine moguće je ispitivanje samo feromagnetskih materijala te je često potrebna demagnetizacija
- za velike proizvode potrebna je veća jakost struje što poskupljuje cijenu [1], [10], [11]

### **3.4 Ispitivanje ultrazvukom**

Odašiljanje zvučnih valova određenog spektra frekvencija kroz neki materijal/medij nazivamo prozvučivanjem. Time dolazi do elastomehaničkog titranja tog medija. Kada frekvencija tog titranja prelazi granicu područja čujnosti, takvo titranje nazivamo ultrazvukom. Za potrebe ispitivanja zavarenih spojeva prozvučivanjem danas se najčešće koristi frekventno područje od 0,5 do 6 MHz. Stoga se danas pod pojmom prozvučivanja razumijeva pronalaženje pogrešaka u materijalu pomoću ultrazvuka ili, kraće, ultrazvučna defektoskopija.

Osnova ultrazvučne defektoskopije leži u akustičnoj impedanciji materijala, tj. dinamičkom otporu medija koji je za svaki materijal poznat i stalan, ali se može bitno razlikovati između dvaju različitih materijala. Stoga ultrazvučni val nailazeći na razdjelnu plohu (vanjsku stijenku, pogrešku,...), zbog velike razlike akustičnih impedancija metala i zraka ili metala i nekog drugog materijala kao što je troska, znatnim će se dijelom „odbiti“ natrag u metal otkrivajući time da je naišao na prepreku, razdjelnu plohu. Učini li se ta pojava vidljivom i mjerljivom, moguće je analizirati dobivene rezultate te zaključiti o kakvoj se kvaliteti materijala ili zavara radi.

Važno je napomenuti da ultrazvučnom defektoskopijom ne određujemo pogreške u izravnom smislu, nego njome određujemo veličinu, položaj i orijentaciju razdjelne plohe materijala i pogreške. Za daljni rad na određivanju pogreške potrebno je veće znanje, kako o svojstvima i dometima metode i tehnike, svojstvima zvučnih valova, tako i o mogućim oblicima i položajima ploha koje omeđuju pogrešku.

#### **3.4.1 Oprema za ultrazvučno ispitivanje**

Zbog široke primjene ove metode, oprema za ultrazvučno ispitivanje je vrlo različita.

Ovisno o području primjene razlikuje se oprema za:

- otkrivanje pogrešaka i/ili procjenu stanja strukture
- mjerenje fizikalnih svojstava materijala
- mjerenje dimenzija

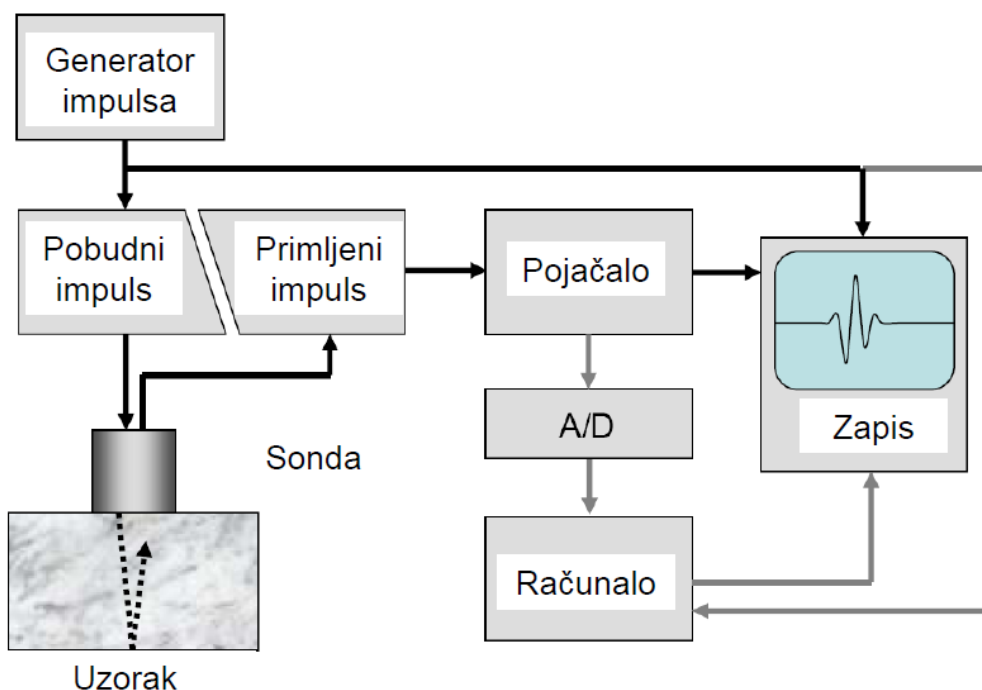
Ovisno o stupnju automatizacije postoji:

- oprema za ručnu ultrazvučnu kontrolu s računalnom podrškom ili bez nje
- poluautomatska oprema
- automatski sustavi

Za provođenje svakog ispitivanja nužno je dakle odabrati odgovarajući ultrazvučni sustav.

Osnovni dijelovi opreme za ultrazvučno ispitivanje:

- elektronički generator signala
- sonda za emitiranje ultrazvučnih valova
- sonda za prihvaćanje reflektiranih valova
- kontaktno sredstvo za prijenos energije između sonde i ispitnog materijala
- pojačalo
- uređaj za prikaz signala (računalo, osciloskop)
- etaloni i referentni uzroci



Slika 3.15 Shema ultrazvučnog sustava

Ultrazvučni sustav može sadržavati više jedinica pojedinog elementa, kao npr. dvije ili više sonde koje rade istovremeno ili veći broj etalona za potrebe podešavanja sustava. Zamjena bilo kojeg elementa u tijeku ispitivanja, iako se zamjenjuje istovrsnim elementom, znači promjenu sustava i zahtijeva ponovno podešavanje sustava. Kako bi se osigurala veća vjerojatnost otkrivanja i procjene parametara pogrešaka treba odabrati optimalni ultrazvučni sustav ovisno o odabranom objektu ispitivanja.

### 3.4.2 Princip rada ultrazvučnog ispitivanja

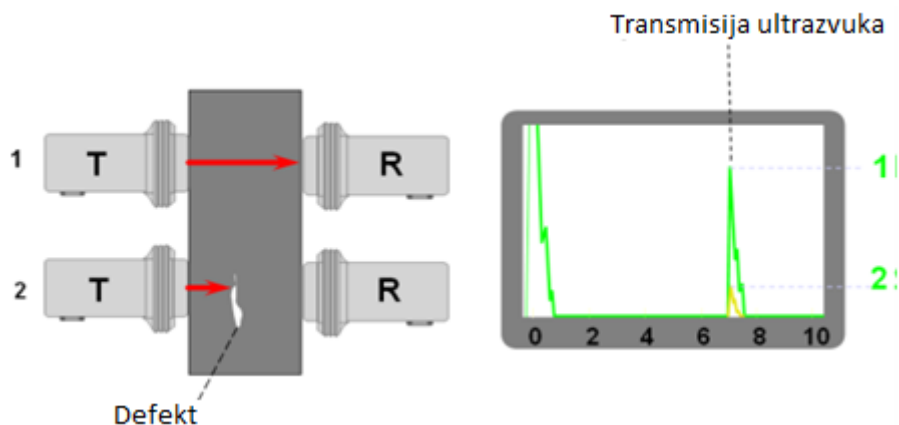
Princip rada svodi se na to da je potreban uređaj za generiranje impulsa te se njime pobuđuje pretvarač. Za ultrazvučne pretvarače koriste se materijali koji imaju piezoelektrična svojstva kako bi električnu energiju pretvorili u mehaničku – titranje visoke frekvencije koje stvara ultrazvučne valove. Odašiljanje i prijem ultrazvuka u ispitni materijal provodi se pomoću ultrazvučnih sonda. Kada signal dođe do postojeće indikacije, pukotine ili granice materijala različite akustične impedancije, dio tih valova se reflektira u suprotnom smjeru. Sonda prihvata ultrazvuk, pretvara ga u naponski impuls na pretvaraču i kao takav šalje se dalje na obradu signala, kroz pojačalo i ispravljaj, pa zatim na uređaj za prikaz odaziva.

### 3.4.3 Tehnike ultrazvučnog ispitivanja

Postoje različite tehnike ultrazvučnog ispitivanja, no najčešće se koristi jedna od slijedećih tri metoda:

- **metoda prozvučavanja (transmisije)**

Ova metoda bazira se na apsorpciji ultrazvuka u nehomogenostima u materijalu. U ovoj metodi koriste se dvije ultrazvučne sonde, jednom se usmjeravaju ultrazvučni valovi u ispitni objekt, ti valovi prolaze kroz uzorak te ih prima druga sonda na suprotnoj strani. Prikupljena energija primljenog vala mjeri se i analizira. Kroz homogeni objekt, bez pukotina, uključina ili drugih nehomogenosti, signal na izlaznom prijemniku bit će jednak ulaznom signalu. Ukoliko postoji kakva nehomogenost u materijalu, dio ultrazvučnog vala bit će odbijen na granici dvaju materijala pa će signal na izlaznom prijemniku bit manji. Ovom metodom mogu se otkriti samo krupnije greške, a naročito je pogodna za otkrivanje slojevitih indikacija u tankim uzrocima (do 50mm debljine)



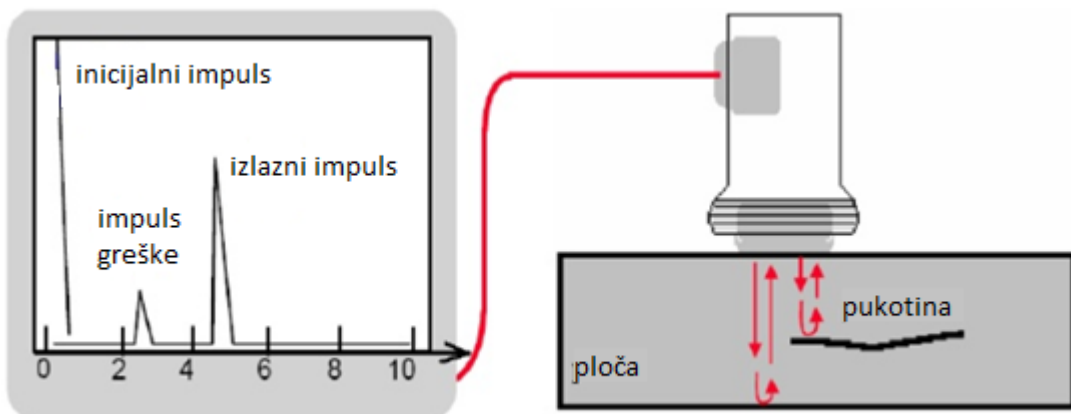
Slika 3.16 Shema metode transmisije

- **puls-eho metoda**

Ova metoda bazira se na odbijanju ultrazvučnih valova od nehomogenosti u ispitnom objektu. Umjesto dviju u ovoj metodi koristi se samo jedna ultrazvučna sonda koja služi kao odašiljač i kao prijammnik ultrazvučnih valova. Ovom metodom osim što se locira greška, moguće je izmjeriti i debljinu uzorka i dubinu indikacije.

Prije same kontrole izabiremo etalon ili refrentni uzorak, koji je debljine jednake željenoj debljini materijala ispitivanog objekta, te se njime izmjeri vrijeme potrebno da ultrazvučni val prođe od sonde do suprotne stijenke i nazad. Nakon toga debljinu ispitivanog materijala i dubinu indikacije određujemo na način da se izmjeri vrijeme početnog impulsa i odjeka od indikacije te ga usporedimo s prethodno dobivenim rezultatima ispitivanog etalona. Debljina materijala i etalona, te dubina indikacije proporcionalni su dobivenim vremenskim rezultatima.

Mana ove metode je što na mjestu ulaska ultrazvučnog snopa u materijal postoji tzv. „mrtva zona“, tj. nemoguće je otkriti indikaciju u samoj blizini ultrazvučne sonde jer emitirani impulsi ne mogu biti toliko male dužine.



*Slika 3.17 Shema puls-eho metode*

- **metoda rezonancije**

Metoda rezonancije se zasniva na principu stojnih valova. Odbijanjem ultrazvučnih valova od zadnje stijenke, pri njihovom povratku prema prijammniku, oni interferiraju s dolazećim valovima. Ukoliko je debljina materijala jednaka zbroju polovina valne duljine postiže se rezonancija.

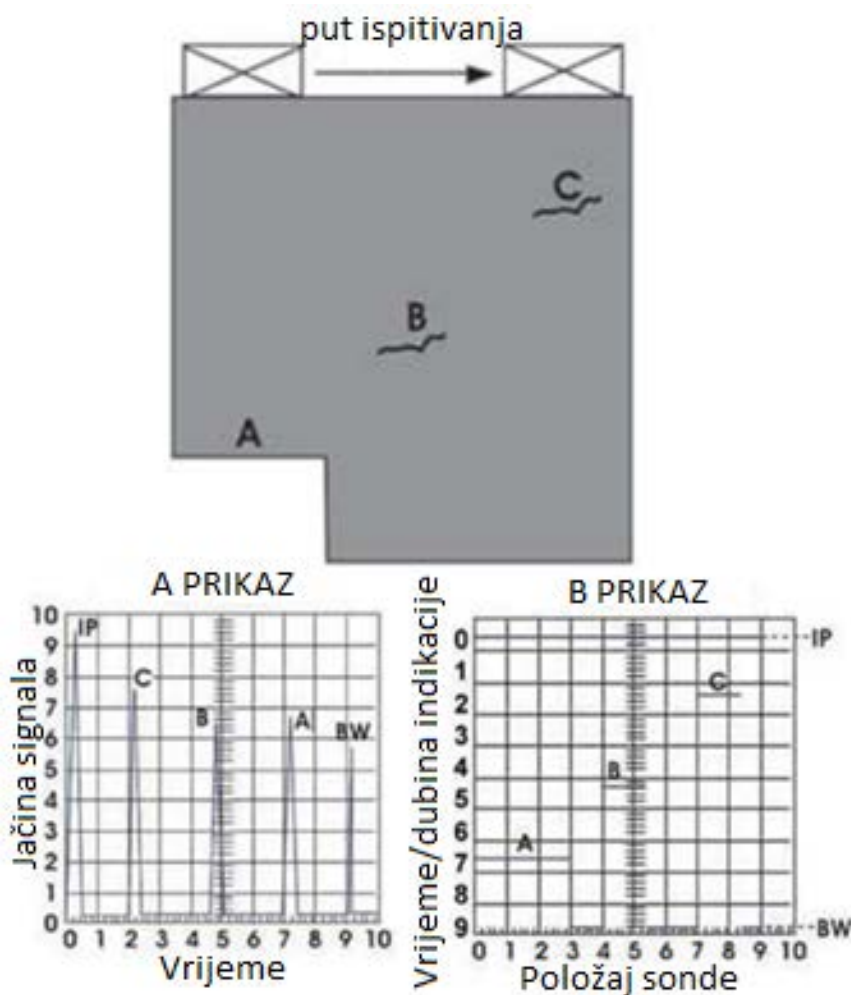


### 3.4.4 Prikaz signala

Radi lakše analize izmjerenih podataka postoji više načina prikaza signala. Najznačajnije vrste prikaza su A, B i C prikaz, a tip prikaza signala koji će se koristiti ovisi od uređaja kojim se vrši ispitivanje, vrsti ispitivanja te zahtjevu za prikaz i pohranjivanje rezultata.

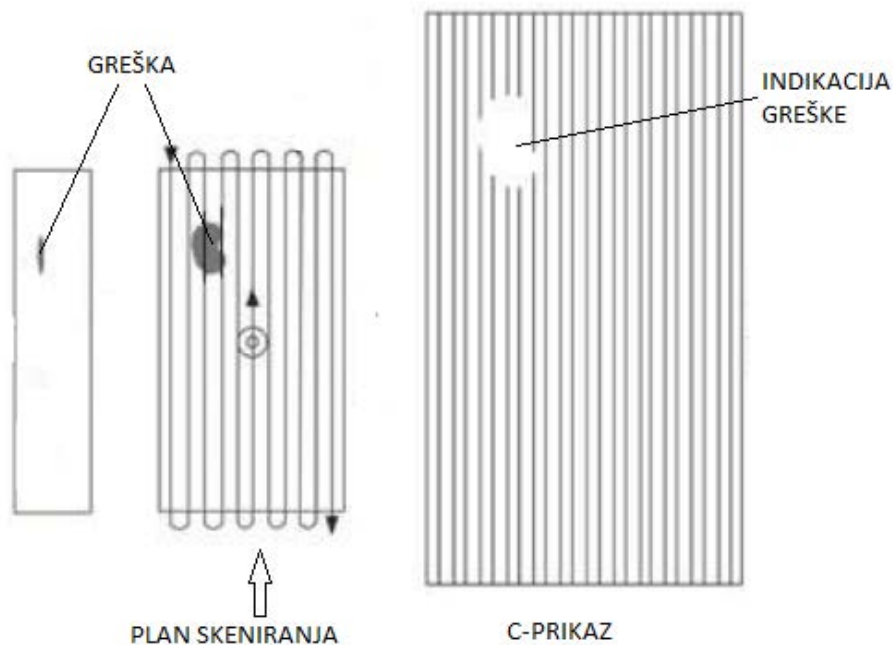
A-prikaz koristi se za prikazivanje količine primljene ultrazvučne energije kao funkciju vremena. Amplituda primljenog signala prikazana je duž vertikalne osi, a postavljeno vrijeme odaziva prikazuje se na horizontalnoj osi.

B-prikaz je grafički prikaz u pravokutnom koordinatnom sustavu, gdje je prikazano vrijeme putovanja ultrazvučnog impulsa kao pomak na vertikalnoj osi, a linerano gibanje sonde na horizontalnoj osi. B prikazom dobije se poprečni presjek ispitivanog uzorka te je iz njega moguće odrediti dubinu indikacije, njen položaj i približne dimenzije duž osi ispitivanja.



Slika 3.18 Razlika između A i B prikaza za isti primjerak ispitivanja

C-prikaz je dvodimenzionalni grafički prikaz, kod kojeg su indikacije u ispitivanom uzorku prikazane u pogledu iz tlocrta. C-prikaz se dobije projekcijom geometrije diskontinuiteta u objektu na ravninu na kojoj se vrši ispitivanje pa stoga slični na standardni prikaz radiografskog snimka. Kako bi se dobili ujednačeni rezultati koje je moguće pretvoriti u realnu sliku uzorka potrebno je provesti mapiranje uzorka te automatizirati skeniranje.



Slika 3.19 C prikaz

### 3.4.5 Ispitivanje zavarenih spojeva ultrazvučnom metodom

U svrhu provođenja pouzdanog ispitivanja potrebno je izvršiti dobru pripremu. Stoga je potrebno unaprijed definirati, odnosno poznavati slijedeće: [12]

- **Podatke o vrsti zavarenog spoja**
  - Materijal
  - Kvaliteta površine osnovnog materijala
  - Postupak zavarivanja i očekivanje pogreške
  - Priprema, oblik spoja
  - Debljina osnovnog materijala
  - Dopuštena nadvišenja
  - Eventualne teškoće u vezi zavarivanja s obzirom na poziciju
  - Kriterij kvalitete odnosno prikladnosti

- **Podatke o rezultatu vizualne kontrole**

- Rezultat vizualne kontrole mora sadržavati interpretaciju uključujući sve vizualno ustanovljene pogreške
- Dokaz o uklanjanju pogreške u skladu s kriterijem za vizualnu kontrolu

- **Podatke o provjeri kvalitete površine**

- Mjerenje hrapavosti i nalaz
- Izjavu o prihvatljivosti, s obzirom na uvjete ultrazvučne kontrole

- **Podatke o položaju i veličini zavara**

- Točan položaj i veličinu

- **Izbor sonde**

Za zavarene spojeve sa nadvišenjem moramo odabrati neku od standardnih kutnih sodi. Time moramo obratiti pažnju da odaberemo sondu koja će omogućiti da ispitivanje zavarenog spoja izvršimo na što je moguće kraćoj duljini, a da se previše ne približimo zavaru radi nadvišenja koje može otežati nalijeganje sonde na kontaktnu površinu. U odnosu na debljinu materijala preporučuju se upotreba različitih kuteva sondi.

Debljina osnovnog materijala	Kut sonde
6 – 15 mm	60 – 70°
16 – 35 mm	60 – 45°
>35 mm	45°

*Tablica 3.1 Izbor kuta sonde ovisno o debljini osnovnog materijala [12]*

Kako bi objekt ispitivanja bio spreman za ispitivanje potrebno je poduzeti slijedeće korake:

- Utvrditi i provjeriti prikladnost oznaka ili provesti označavanje položaja ispitivanja sukladno tehničkoj dokumentaciji
- Provesti provjeru temperature objekta i okoline i usklađenosti temperature objekta ispitivanja i etalona za podešavanje sustava, te u slučaju većih temperaturnih razlika prilagoditi temperature ili postupke uz odobrenje odgovarajuće osobe

- Pripremiti kontaktnu plohu, površina mora biti očišćena od nečistoća u zoni skeniranja a eventualne čvrsto priljubljene kapljice od zavarivanja ili korozije moraju biti odklonjene
- U slučaju zahtjevanja poboljšanja uvjeta za provođenje ultrazvučne kontrole, radi boljeg otkrivanja pogreške i pouzdanije interpretacije, često je moguće potrebno blago izgladivanje nadvišenja na strani lica ili korijena vara, a nekad čak i brušenje zavarenog spoja do razine osnovnog materijala

U području koje se prozvučuje potrebno je ispitati slojavost, jer pogreške slojavosti mogu uzrokovati krivo interpretiranje pogreške

### 3.4.6 Prednosti i nedostaci ispitivanja ultrazvukom

- mogućnost ispitivanja materijala velikih debljina
- dovoljan je pristup predmetu ispitivanja samo s jedne strane
- osjetljivost metode je relativno visoka i pronalaženje greške jednostavno
- nema štetnog utjecaja na ljudsko tijelo pa ne zahtijeva zaštitna sredstva
- uređaj i pribor su lagani i lako prenosivi
- u usporedbi sa radiografijom metoda ne ostavlja izravan i vjerodostojan zapis za neke naknadne provjere
- interpretacija nalaza ispitivanja vrlo je ovisna o znanju, iskustvu i savjesnosti ispitivača
- nepogodna metoda za ispitivanje složenijih oblika konstrukcije [1], [10], [11], [12]



Slika 3.20 Oprema za ispitivanje ultrazvukom

### 3.5 Radiografija

Radiografska metoda je volumna metoda nerazornog ispitivanja i kao takva koristi se za otkrivanje nepravilnosti koje se nalaze u materijalu i nisu otvorene prema površini. Ova metoda koristi svojstva elektromagnetskog zračenja X (rengenskim) i gama (radioizotopnim) zrakama koje za razliku od zraka svjetlosti prodiru kroz sve danas poznate materijale. X-zrake i  $\gamma$ -zrake pripadaju dijelu elektromagnetskog spektra vrlo malih valnih duljina i visoke frekvencije. Ove zrake električki su neutralne i ne utječu svojim djelovanjem na magnetsko ili električno polje. Šire se kao pravocrtne valove određene frekvencije, valne duljine i brzine širenja vala te su nosioci visoke razine energije. Prolazeći kroz materijal zračenje ostaje istog smjera, ali ovisno o određenim svojstvima materijala i njegovoj debljini biva više ili manje prigušeno te stoga na izlazu iz materijala ima nižu energiju od one na ulazu u materijal. Razina apsorpcije poznata je i određena za svaki materijal. Dakle, ako se u nekom materijalu nalaze nehomogenosti one će zasigurno imati različita svojstva apsorpcije te će se na izlazu iz materijala ispod nehomogenosti jakost energije zračenja razlikovati od izlazne energije na ostalim mjestima. Kako bi provedli radiografsku metodu potrebno je ovu razliku izlaznog intenziteta zračenja učiniti vidljivom ili mjerljivom.

Zračenje se može registrirati na sljedeće načine:

- Formiranjem trajne slike ili radiograma – slika se dobije djelovanjem zračenja na fotoemulziju koja se nalazi na radiografskom filmu ili papiru
- Formiranjem slike ograničenog trajanja – slika se formira na fluorescentnom zaslonu, a nestaje čim prestaje djelovanje zračenja na zaslon
- Grafičko praćenje pisačem

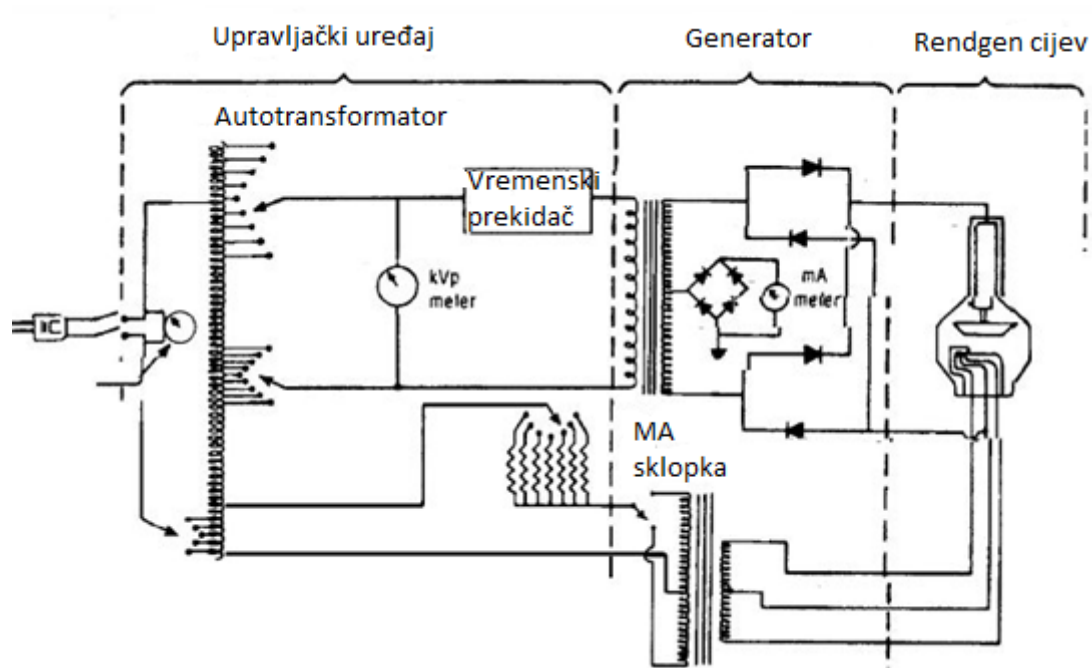
#### 3.5.1 Izvori ionizirajućeg zračenja

Razlika između X (rendgenskog) i  $\gamma$  (gama) zračenja je u porijeklu nastajanja.

Rendgensko zračenje je elektromagnetsko zračenje valova kratkih valnih duljina, energije od 150 eV do 20 MeV, a po svojoj prirodi je umjetno. Rendgenske zrake nastaju u rendgenskoj cijevi zaustavljanjem elektrona koji se ubrzavaju u jakom električnom polju na anodi koja je načinjena od metala. Na rendgenskoj cijevi narinut je visoki napon, koji u uređajima za industrijsku primjenu može iznositi od 50 kV do 400 kV.

Rendgenski uređaj sastoji se od tri osnovna dijela:

- upravljački uređaj
- generator visokog napona
- rendgenska cijev



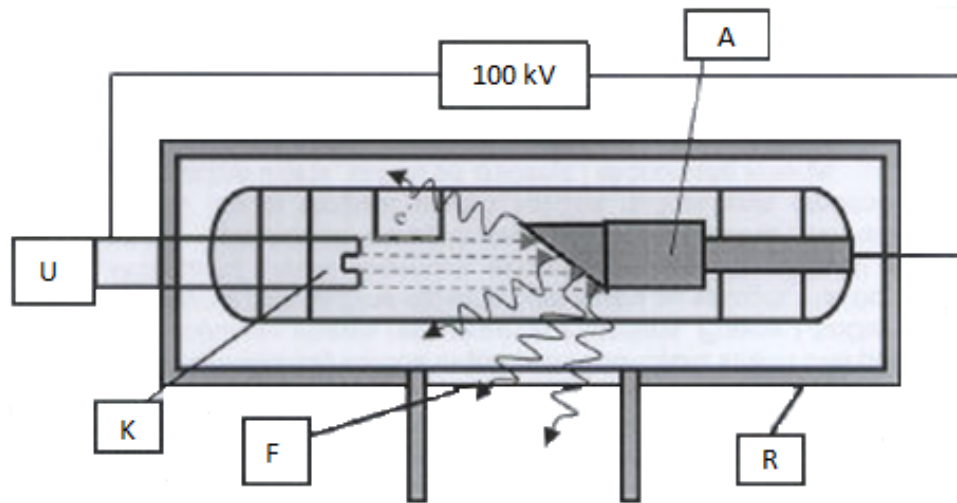
Slika 3.21 Shema rendgenskog uređaja

U rendgenskoj cijevi stvoren je visoki vakuum, kako bi strujanje elektrona prema anodi bilo nesmetano. U primarnom električnom krugu između anode i katode nalazi se jako električno polje koje nastaje prolaskom struje. U sekundarnom električnom krugu katode ugrađena je žarna nit, najčešće zavojnica od volframa, koja zagrijana na oko 2000 °C emitira elektrone. Emitirani elektroni prolaskom kroz uspostavljeno električno polje budu ubrzani te time dobivaju veliku količinu kinetičke energije. Ubrzani elektroni udaraju u anodu te dolaze u interakciju sa elektronima anode ili s jezgrama atoma anode. Otprilike 99% kinetičke energije elektrona pretvara se u toplinsku energiju, a samo oko 1% u elektromagnetsku energiju čije generiranje rezultira nastajanje X zraka.

Parametri rendgenskog uređaja su

- struja (mA)
- napon cijevi (kV)
- vrijeme ekspozicije (min)

Naponom na rendgenskoj cijevi regulira se emisija fotona, a promjenom jakosti struje na katodi podešava se intenzitet zračenja.



Slika 3.22 Shema rendgenske cijevi

Gama zračenje, elektromagnetski valovi vrlo visoke frekvencije i energije, jedno je od tri radioaktivna zračenja koja nastaju prirodnim putem. U industrijskoj radiografiji  $\gamma$ -zrake najčešće dobivamo iz gama radioaktivnih izotopa  $Se^{75}$ ,  $Ir^{192}$ ,  $Co^{60}$ ,  $Ga^{75}$ ,  $C^{14}$ . Energija gama zračenja je u području od 10 keV do 17,6 MeV te valnih duljina od  $10^{-9}$  do  $10^{-12}$  cm, no najčešće se koristi gama zračenje s energijama između 0,1 i 1 MeV. Gama zračenje je vrlo prodorno ali, kao i rendgensko zračenje, slabi pri prolazu kroz tvar zbog apsorpcije i raspršenja.

### 3.5.2 Nastajanje radiograma

Kao što je već spomenuto različiti su načini očitavanja intenziteta zračenja dobivenih prolazom kroz ispitni objekt, no najčešći i općenito najprihvaćeniji zapis u radiografiji je snimanje trajne slike na radiografski film, odnosno izrada radiograma.

Standardni radiografski film sastavljen je od sedam slojeva ukupne debljine do 0.5 mm. Osnovni, noseći sloj prozirna je folija na bazi celuloze ili poliestera a na svaku stranu osnovnog sloja nanoseni su redom:

- tanki sloj supstrata – osigurava vezivanje sloja emulzije s nosećim slojem
- sloj emulzije – želatina koja sadrži zrna srebrobromida, ova zrna su fotoaktivna supstanca osjetljiva na ionizirajuće zračenje te omogućuje nastajanje radiografske slike
- zaštitni sloj – stvrdnuta želatina koja služi kao zaštita sloja emulzije

Dva sloja emulzije na filmu koriste se kako bi se, zbog povećane količine fotoaktivnih zrna srebrobromida, povećala brzina formiranja filma. No time se također na filmu formiraju dvije slike pa prilikom uvećanja radiograma može doći do pojave paralaksa koji može navesti na krive zaključke prilikom ocjenjivanja radiograma. Stoga ukoliko je zahtijevana vidljivost sitnijih detalja za izradu radiograma koriste se filmovi sa emulzijom sa samo jedne strane.

Osim radiografskog filma u procesu snimanja koriste se i radiografske folije. Dva su osnovna tipa, metalne i fluorescentne folije. One se postavljaju ispred i iza filma u metalnoj ili plastičnoj kazeti, a u novije vrijeme folije su već tvornički postavljene na filmove i u potpunosti prijanjaju na njih. Najčešće korištene folije u industrijskoj radiografiji su metalne, dok se fluorescentne folije najčešće primjenjuju u medicini. Osnovna funkcija metalnih folija je povećanje zacrnenja i kontrasta na radiografskom filmu pojačavajući efekt zračenja, te djeluju kao filter raspršenog zračenja čime se osigurava postizanje prihvatljivog kontrasta. Prednja se folija stoga postavlja radi pojačanja efekta zračenja i filtriranje raspršenog zračenja iz predmeta ispitivanja, a stražnja folija radi filtriranja povratnog raspršenog zračenja.

Metalne folije izrađuju se od olova, zlata, tantala ili bakra. Olovne folije apsorbiraju neznatnu količinu primarnog zračenja, a potpuno apsorbiraju raspršeno zračenje koje je znatno manje energije. Stoga zbog najpovoljnije kombinacije efekta pojačanja zračenja i filtracijskih svojstava olovne folije budu i najčešće korištene.

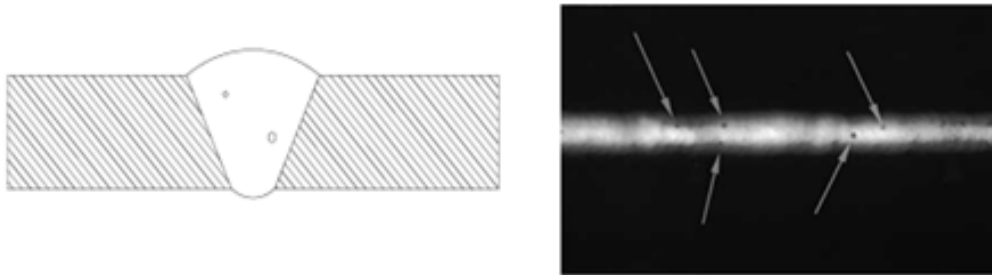
Nakon što su u sloju emulzije zrnca srebrobromida aktivirana ionizirajućim zračenjem na filmu je dobivena latentna slika. Ta slika nije vidljiva niti je s nje moguće išta fizički izmjeriti. Kako bi se završila izrada radiograma i time dobila uočljiva i mjerljiva slika film se mora dodatno kemijski obraditi.

Filmovi se razvijaju u tamnim komorama u pet faza:

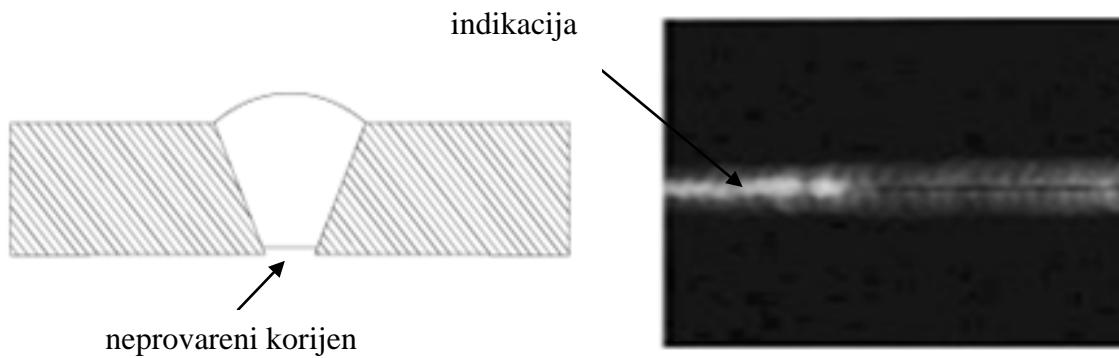
- razvijanje
- međupranje
- fiksiranje
- završno pranje
- sušenje



Ovakvom kemijskom obradom ionizirana zrnca srebrobromida u reakciji sa razvijanjem pretvaraju se u zrna crnog elementarnog srebra. Što je na mjestu veći broj eksponiranih zrna to je mjesto na filmu tamnije. Time slika postaje vidljiva pa smo dobili konačan radiogram.



*Slika 3.23 Indikacije poroznosti vidljive na radiogramu*



*Slika 3.24 Indikacija neprovarenog korijena zavara na radiogramu*

### 3.5.3 Prednosti i nedostaci ispitivanja radiografijom

Radiografija je vrlo raširena u praksi zbog nekoliko izrazitih prednosti pred ostalim NDT metodama no kao i svaka metoda ima svoje mane.

- moguće je ispitivanje većine metalnih materijala bili oni magnetični ili nemagnetični (uz možda iznimku metala izrazito male ili izrazito velike gustoće)
- moguće ispitivanje nemetalnih materijala ili kompozita.
- dobiva se trajni dokument (film) o pronađenim pogreškama, time je omogućena vremenska i stručna odvojenost snimanja i ocjenjivanja, pa tako snimanje obično provodi stručno osoblje dok se ocjena prepušta specijalistima
- nakon završene kontrole, nalazi i ocjene mogu se naknadno potvrditi od strane nadzornog tijela, a nakon određenog vremena konstrukcija se može ponovno snimiti te se usporedbom s prethodnim nalazom može utvrditi je li došlo do ikakvih promjena
- mogućnost identifikacije mjesta pogreške je vrlo jednostavna
- pod određenim uvjetima (panoramska ekspozicija) u jednoj ekspoziciji moguće je snimiti veliku dužinu zavarenog spoja
- zbog zadovoljavajuće osjetljivosti pouzdano se mogu otkriti pogreške veličine 1,5-2% debljine materijala
- radiografija ni ultrazvuk nisu ograničeni na otkrivanje specifičnih volumnih nepravilnosti, ipak radiografija pokazuje veću sposobnost detekcije nepravilnosti koje nisu planarne, dok je ultrazvuk učinkovitiji kod detekcije planarnih grešaka
- visoka početna cijena ulaganja te visoki troškovi izrade radiograma, iz tog razloga bez obzira na neke izrazite prednosti, korištenje radiografije ograničava se na kontrolu proizvoda veće pojedinačne vrijednosti
- ograničenje debljine ispitivanog elementa u ovisnosti je sa značajkama uređaja (izvora zračenja)
- potrebna je dostupnost pristupa ispitivanom predetu s obje strane
- zbog štetnosti ionizirajućeg zračenja na ljudski život postoji potreba za korištenjem prikladne zaštite što dodatno poskupljuje ispitivanje [1], [10], [11]

## 4 Primjena metoda bez razaranja u ispitivanju zavarenih spojeva trafokotlova

Trafokotao ili kućište transformatora zavarena je konstrukcija u koju se ugrađuje jezgra s namotajima.

Sastoji se od tri veća montažna dijela:

- Kotao
- Poklopac
- Konzervator

Radi hlađenja jezgre s namotajima te izolacije jezgre od kotla, trafokotao je ispunjen uljem. Veličina i težina kotla ovise o snazi transformatora, te se težina najčešće kreće u razmaku od 8 t do 50 t.



*Slika 4.1 Glavni dijelovi trafokotla*

Kako bi trafokotao pouzdano izvršavao svoju funkciju bitno je dakle kod zavarenih spojeva trafokotla kontrolirati tri stavke:

- Izgled i dimenzije zavarenog spoja
- Nepropusnost zavarenih spojeva koji zatvaraju granicu ulja s okolinom
- Ispravnost zavarenih spojeva zavjesnih elemenata za transport i manipulaciju

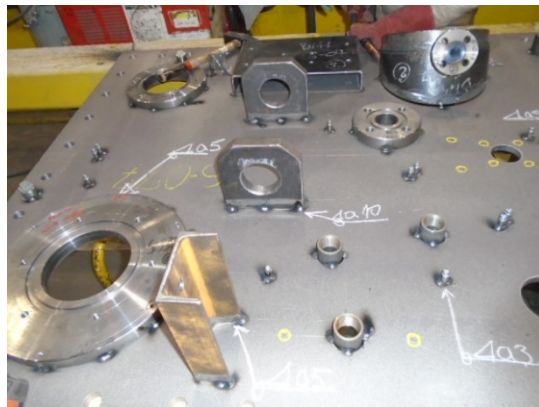
Kako bi kontrola kvalitete znala koje zavarene spojeve treba ispitati, i kojim metodama je potrebno to učiniti izdana je radna uputa (Prilog br. 1), te za svaki nalog planovi zavarivanja i ispitivanja. Ova radna uputa izdana je od strane odjela za kontrolu kvalitete zavarenih spojeva, točnije glavnog inženjera zavarivanja u poduzeću.

Prema točki 4 ove radne upute vidljivo je da se planovi zavarivanja i ispitivanja izrađuju isključivo po zahtjevu kupca ili zahtjevima proizvodnih normi npr. EN 15085, EN 1090 ili drugih

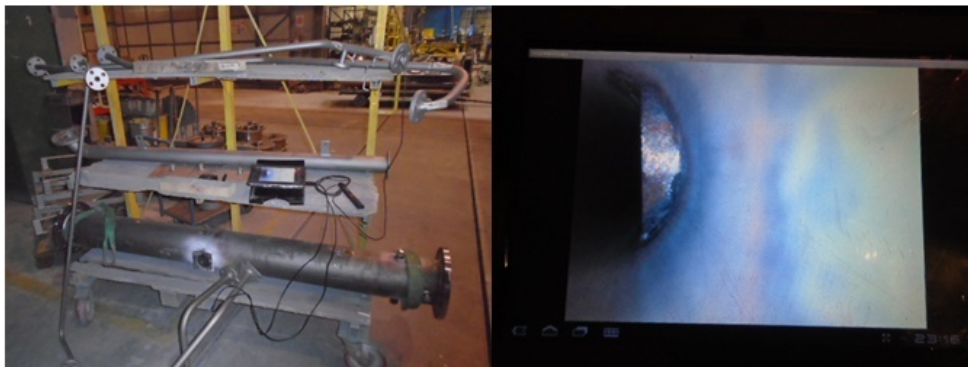
Točka 5 ove radne upute tablično nam prikazuje metode i opsege ispitivanja prema normi EN ISO 5817 i mogućim zahtjevima kupca.

#### 4.1 Izgled i dimenzije zavarenog spoja

Prema točki 5 radne upute, vizualnom kontrolom te primjenom prije navedene mjerne opreme i pomagala kontroliju se svi zavareni spojevi. Radi postizanja određene razine kvalitete proizvoda određeno je da svi zavareni spojevi budu izvedeni u C razini kvalitete, nekad po zahtjevu kupca B razini. Dakle, potrebno je kontrolirati da su izvedeni zavari unutar dopuštenih dimenzijskih granica te razine, granične vrijednosti navedene su u tabeli nepravilnosti zavarenih spojeva prema normi EN ISO 5817. (Prilog br. 2)



*Slika 4.2 Ispisane dimenzije zavara za zavarivače te kasniju kontrolu*

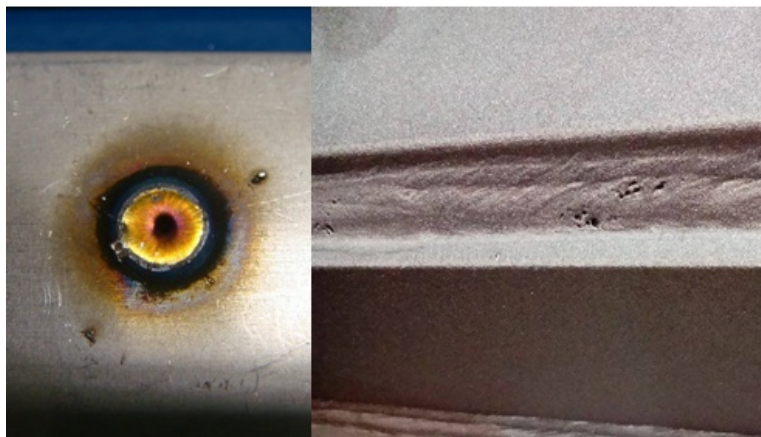


*Slika 4.3. Kontrola provara u unutrašnjosti cijevi videoskopom*

Sve ostatke prskanja (prskotine), zajede, oštre bridove i ostale površinske greške potrebno je ukloniti. Ovakve greške mogu biti uzrok opadanja, ljuštenja boje s trafokotla te kasnije pojave hrđe, s obzirom da se na to daje garancija u trajanju od otprilike 10 godina, one nisu dozvoljene. Zbog djelovanja elektromagnetskih silnica jezgre prskotina u blizini jezgre može uzrokovati preskakanje naboja, iskrenje, koje može uzrokovati eksploziju transformatora.



*Slika 4.4 Nepretaljeni završetak zavora, potencijalno mjesto nakupljanja nečistoće, hrđanja*



*Slika 4.5 Neočišćeni ostaci prskanja (lijevo) i površinska poroznost zavora (desno)*



*Slika 4.6. Primjer nedopuštenog izgleda zavora u dodiru sa brtvenom površinom*

## 4.2 Nepropusnost zavarenih spojeva

Prema točki 5 radne upute također je vidljivo da se svi zavareni spojevi koji zatvaraju granicu ulja s okolinom ispituju penetrantima na nepropusnost. Za pravilno izvođenje ove metode izdana je dodatna radna uputa o ispitivanju nepropusnosti (Prilog br. 3). Sve manje komponente, priključci na poklopcu i konzervatoru, te cijevovod ispituje se crvenim penetrantom prije opisanom metodom ispitivanja penetrantima.



*Slika 4.7 Ispitivanje zavarenih spojeva poklopca crvenim penetrantom*

Zavareni spojevi stranica kotla, te spojevi stranica kotla s dnom i okvirom ispituju se fluorescentnim penetrantom. Nepropusnost se ispituje na jedan zavar jer ukoliko bi elementi bili zavareni s obje strane vrijeme čekanja penetracije bilo bi preveliko. Fluorescentni penetrant u ovom je slučaju optimalan jer premazivanjem zavarenih spojeva s vanjske strane kotla te okretanjem kotla naopačke dobivamo zatamnjeni prostor s unutarnje strane kotla što pogoduje kontroli UV svjetlom.



*Slika 4.8 Ispitivanje zavarenih spojeva na nepropusnost fluorescentnim penetrantom*

### 4.3 Ispravnost zavarenih spojeva zavjesnih elemenata za transport i manipulaciju

Trafokotlovi su relativno teški proizvodi pa je zavareni spoj zavjesnih elemenata podvrgnut velikim naprezanjima. Stoga na zahtjev kupca mogu biti ispitani nekom od triju metoda ispitivanja: penetrantima, magnetskim česticama ili ultrazvukom, a nekad zbog kompliciranosti nekih varijanta izvedbe ovih elemenata i kombinacijom dviju ili više metoda. ( Prilog br. 4)

Kao primjer uzeta je varijanta 3 iz priloga 4. Iz nacрта pozicija i sklopa zavjesnog elementa (Prilog br. 5) vidljivo je da se radi o K zavarenom spoju koji treba ispitati ultrazvukom. Prije zavarivanja pozicije je potrebno ispitati na slojavost u području ispitivanja zavarenog spoja.

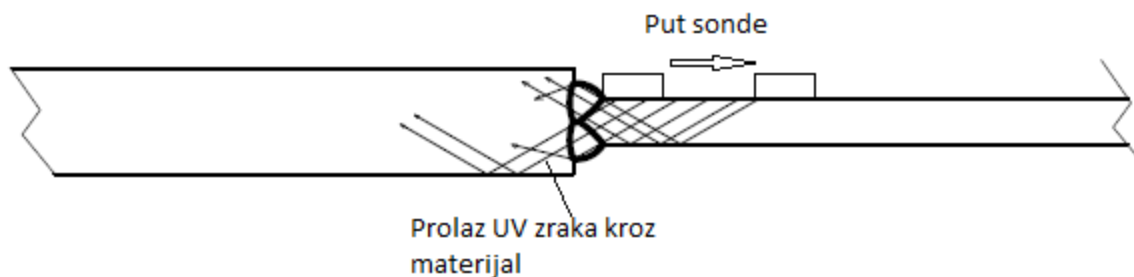


*Slika 4.9 Ispitivanje pozicije 1 na slojavost*



*Slika 4.10 Ispitivanje pozicije 2 na slojavost*

Nakon zavarivanja u sklop, K zavar zavjesnog elementa ispituje se ultrazvukom (Prilog br. 6), te u slučaju da nema indikacija pogreške, zavaruje se dvostranim kutnim zavarom na stranicu kotla. Kutni zavar i K zavar tada se ispituju penetrantom.



*Slika 4.11 Shema ispitivanja K zavara između pozicije 1 i 2*

Ukoliko se ustanove nedozvoljene indikacije prema točki 7 iz radne upute (Prilog br. 1) takovi zavareni spojevi moraju biti popravljeni i ponovo ispitani.



## 5 Zaključak

Može se zaključiti da su mnogobrojnost vrsta grešaka i različitost konstrukcijskih izvedbi potaknuli primjenu više vrsta NDT metoda. Svaka NDT metoda ima svoje prednosti i nedostatke, pa njihovom pravilnom kombinacijom te nedostatke umanjujemo. Da bi se osigurala kvaliteta proizvoda potrebno je odabrati optimalnu metodu ili kombinaciju NDT metoda. U odabiru i provođenju NDT metoda potrebno je iskustvo i znanje, stoga potrebno je da NDT metodu odabere i propiše inženjer zavarivanja a provede je stručno osposobljeno osoblje kontrole kvalitete.

U Varaždinu, 12.12.2016. *Mihael Kuhar*

## Literatura

- [1] I. Juraga, K. Ljubić, M. Živčić, I. Garašić, Pogreške u zavarenim spojevima, četvrto prerađeno izdanje, Zagreb, 2015.
- [2] <https://www.twi-global.com> (4.11.2016)
- [3] <https://inspektorkimpalan.files.wordpress.com> (4.11.2016)
- [4] <https://www.nde-ed.org> (4.11.2016)
- [5] <http://www.newmantools.com/gauge/weldgaugeindex.htm> (4.11.2016)
- [6] <http://presseclicker.produkt-pr.de> (4.11.2016)
- [7] <http://www.instrumentcompaniet.no> (4.11.2016)
- [8] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Vizualna\\_kontrola](https://hr.wikipedia.org/wiki/Vizualna_kontrola) (4.11.2016)
- [9] <http://www.flir.com> (4.11.2016)
- [10] <http://www.interactive-ndt.com/presentation.htm> (4.11.2016)
- [11] <https://www.scribd.com/doc/22051398/PREDAVANJA> (4.11.2016)
- [12] Vjera Krstelj, Ultrazvučna kontrola, odabrana poglavlja, Zagreb, 2003.
- [13] <http://www.sfsb.unios.hr/kth/zavar/tii/greske.pdf> (4.11.2016)

## Popis slika i tablica

Slika 2.1 Topla pukotina u sučeonom zavaru, Izvor: <a href="http://www.twi-global.com/_resources/assets/inline/full/0/9067.jpg">http://www.twi-global.com/_resources/assets/inline/full/0/9067.jpg</a> .....	4
Slika 2.2 Prikaz tople pukotine u kutnom zavaru .....	4
Slika 2.3 Hladne pukotine u zoni utjecaja topline, Izvor: <a href="https://inspektorkimpalan.files.wordpress.com/2015/08/capture1.jpg">https://inspektorkimpalan.files.wordpress.com/2015/08/capture1.jpg</a> .....	5
Slika 2.4 Više plinskih pora u metalu zavara (lijevo), gnijezdo površinskih pora (desno) .....	6
Slika 2.5 Uključci volframa (svijetle mrlje) vidljivi na radiogramu zavara, Izvor: <a href="https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Radiography/Graphics/RadiographInterp/TungstenInclusion.jpg">https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Radiography/Graphics/RadiographInterp/TungstenInclusion.jpg</a> .....	6
Slika 3.1 Pomagala kod direktne vizualne kontrole (povećalo lijevo, zrcalo desno) .....	8
Slika 3.2 Usporedno mjerilo za provjeru debljine kutnog zavarenog spoja, Izvor: <a href="http://houseshopping.xyz/images-1st/183386,3-Setslot-_2pcs-Pocket-Fillet-Weld-Gauge-Measure-Tool-Right-Angle-Weld-Gauge,0.jpeg">http://houseshopping.xyz/images-1st/183386,3-Setslot-_2pcs-Pocket-Fillet-Weld-Gauge-Measure-Tool-Right-Angle-Weld-Gauge,0.jpeg</a> .....	9
Slika 3.3 Mjerilo s nonijusom, Izvor: <a href="http://img2.en.china.cn/0/2_537_33518_780_481.jpg">http://img2.en.china.cn/0/2_537_33518_780_481.jpg</a> .....	9
Slika 3.4 Mjerilo s tri skale .....	10
Slika 3.5. Boreskop, Izvor: <a href="http://presseclicker.produkt-pr.de/wp-content/uploads/2010/05/HT-3258-04-HB+_HT-LED3-10-ZU.jpg">http://presseclicker.produkt-pr.de/wp-content/uploads/2010/05/HT-3258-04-HB+_HT-LED3-10-ZU.jpg</a> .....	10
Slika 3.6 Fiberskop, Izvor: <a href="http://www.instrumentcompaniet.no/images/Extech/150px/BR200%5B1%5D.jpg">http://www.instrumentcompaniet.no/images/Extech/150px/BR200%5B1%5D.jpg</a> .....	11
Slika 3.7 Videoskop, Izvor: <a href="http://www.flir.com/uploadedImages/Thermography_USA/Products/Test_Measurement/FLIR-VS70.png">http://www.flir.com/uploadedImages/Thermography_USA/Products/Test_Measurement/FLIR-VS70.png</a> .....	11
Slika 3.8 Čišćenje površine .....	12
Slika 3.9 Nanošenje penetranta .....	13

Slika 3.10. Uklanjanje viška penetranta .....	14
Slika 3.11 Nanošenje razvijaa.....	14
Slika 3.12 Pregled indikacija .....	15
Slika 3.13Princip rada metode ispitivanja magnetskim česticama.....	16
Slika 3.14. Primjer ispitne površine premazane kontrastnom bojom te tehnike magnetizacije pomoću magnetskog jarma, Izvor: <a href="https://irp-cdn.multiscreensite.com/5c31e958/dms3rep/multi/tablet/5024-640x427.jpg">https://irp-cdn.multiscreensite.com/5c31e958/dms3rep/multi/tablet/5024-640x427.jpg</a> .....	17
Slika 3.15 Shema ultrazvučnog sustava .....	20
Slika 3.16 Shema metode transmisije.....	21
Slika 3.17 Shema puls-eho metode.....	22
Slika 3.18 Razlika između A i B prikaza za isti primjerak ispitivanja.....	23
Slika 3.19 C prikaz .....	24
Tablica 3.1 Izbor kuta sonde ovisno o debljini osnovnog materijala .....	25
Slika 3.20 Oprema za ispitivanje ultrazvukom.....	26
Slika 3.21 Shema rendgenskog uređaja.....	28
Slika 3.22 Shema rendgenske cijevi .....	29
Slika 3.23 Indikacije poroznosti vidljive na radiogramu.....	31
Slika 3.24 Indikacija neprovarenog korijena zavara na radiogramu .....	31
Slika 4.1 Glavni dijelovi trafokotla .....	33
Slika 4.2 Ispisane dimenzije zavara za zavarivače te kasniju kontrolu .....	34
Slika 4.3. Kontrola provara u unutrašnjosti cijevi videoskopom .....	34
Slika 4.4 Nepretaljeni završetak zavara, potencijalno mjesto nakupljanja nečistoće, hrđanja.....	35
Slika 4.5 Neočišćeni ostaci prskanja (lijevo) i površinska poroznost zavara (desno).....	35

Slika 4.6. Primjer nedopuštenog izgleda zavara u dodiru sa brtvenom površinom.....	35
Slika 4.7 Ispitivanje zavarenih spojeva poklopca crvenim penetrantom.....	36
Slika 4.8 Ispitivanje zavarenih spojeva na nepropusnost fluorescentnim penetrantom .....	36
Slika 4.9 Ispitivanje pozicije 1 na slojavost .....	37
Slika 4.10 Ispitivanje pozicije 2 na slojavost .....	37
Slika 4.11 Shema ispitivanja K zavara između pozicije 1 i 2.....	38

## **Prilozi**

Prilog 1 Radna uputa – Ispitivanje i kriteriji prihvatljivosti zavarenih spojeva

Prilog 2 Tabela nepravilnosti zavarenih spojeva

Prilog 3 Radna uputa – Ispitivanje nepropusnosti

Prilog 4 Radna uputa – Zahtjevana ispitivanja zavarenih spojeva zavjesnih elemenata od strane kupca

Prilog 5 Pozicijski i sklopni nacrti zavjesnog elementa

Prilog 6 Izvještaj o izvršenoj ultrazvučnoj kontroli zavjesnog elementa

<b>PRIMA BIRO</b> Čakovec, Hrvatska	<b>RADNA UPUTA</b> <b>ISPITIVANJE I KRITERIJI PRIHVATLJIVOSTI ZAVARENIH</b> <b>SPOJEVA</b>	
--	--	--

**SADRŽAJ:**

1. **PODRUČJE VAŽENJA**
2. **OPĆENITO**
3. **NIVOI KVALITETE ZAVARA ZA GRANIČNE VRIJEDNOSTI U ZAVARENOM SPOJU**
4. **PLAN ZAVARIVANJA I ISPITIVANJA –PZI**
5. **NERAZARAJUĆA ISPITIVANJA ZAVARENIH SPOJEVA – METODE I OPSEGI ISPITIVANJA**
  - 5.1 **UPUTA ULTRAZVUČNOG ISPITIVANJA**
  - 5.2 **VRIJEME NDT ISPITIVANJA**
  - 5.3 **OCJENIVANJE I KRITERIJI PRIHVATLJIVOSTI**
6. **KVALIFIKACIJE I CERTIFIKACIJA ISPITNOG OSOBLJA**
7. **POSTUPAK S ZAVARENIM SPOJEVIMA SA NEDOZVOLJENIM INDIKACIJAMA**
8. **ZAPISI ISPITIVANJA**

<b>PRIMA BIRO</b> Čakovec, Hrvatska	<b>RADNA UPUTA</b> <b>ISPITIVANJE I KRITERIJI PRIHVATLJIVOSTI ZAVARENIH</b> <b>SPOJEVA</b>	
--	--	--

### 1. PODRUČJE VAŽENJA

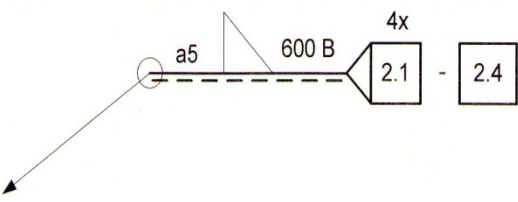
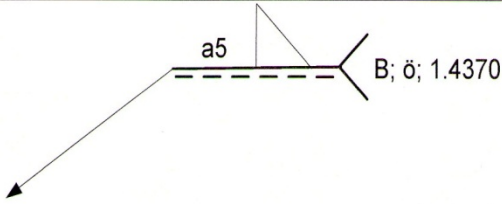
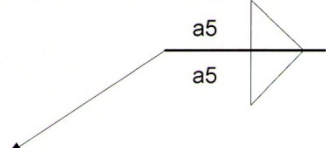
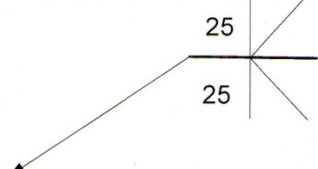
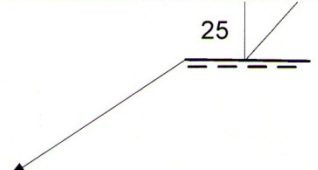
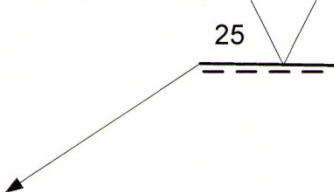
Ova radna uputa definira metode i opsege ispitivanja zavarenih spojeva na transformatorskim kotlovima i opreme koji su izrađeni iz zavarljivih konstrukcijskih čelika također djelomično i mješovitih spojeva sa visokolegiranim austenitnim čelicima. Osim toga definira i dodatne zahtjeve za standardne metode ispitivanja i kriterije prihvatljivosti.

### 2. OPĆENITO

Nazivi u zavarivanju i oznake zavara, dimenzije zavara, njihov simbolički prikaz kao i simboli za zavarivanje su u skladu s HRN EN ISO 2553.

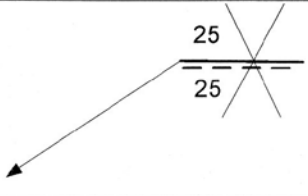
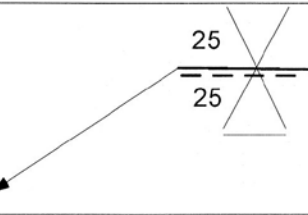
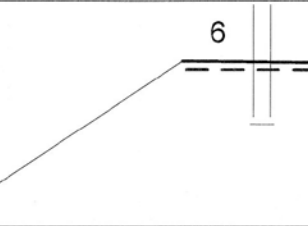
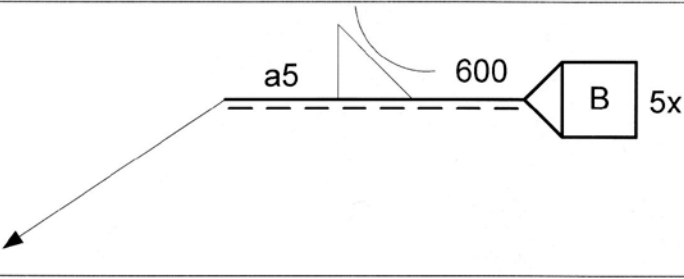
Zavareni spojevi su u crtežima označeni simbolima, a u nekim slučajevima također su prikazani visine i presjeci.

#### Primjer: Označavanje zavarenih spojeva

SIMBOL	OPIS
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- jednostrani kutni zavar na strani strelice zaključen oko konture dijela koji se zavaruje,</li> <li>- kutni zavar veličine 5mm, dužine 600mm,</li> <li>- nivoa kvalitete B,</li> <li>- 4x-zavar se ponavlja na objektu četiri puta,</li> <li>- 2.1-2.4 –broj zavara</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- jednostrani kutni zavar na strani strelice,</li> <li>- kutni zavar veličine 5mm,</li> <li>- nivoa kvalitete B,</li> <li>- ö – ulje nepropusni zavar,</li> <li>- 1.4370 –werkstoffnummer – broj dodatnog materijala zavarivanja – za mješani spoj konstrukcijski čelik sa INOX čelikom- (G 18 8 Mn)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- dvostrani kutni zavar zavaren s obje strane objekta,</li> <li>- dvostrani kutni zavar veličine 5mm</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- obostrano potpuno provareni sučeljeni zavareni spoj- K spoj ili DHV spoj,</li> <li>- veičina zavara 25mm s svake strane (50mm)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- jednostrano potpuno provareni sučeljeni zavareni spoj- HV spoj,</li> <li>- veičina zavara 25mm,</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- jednostrano potpuno provareni sučeljeni zavareni spoj- V spoj,</li> <li>- veičina zavara 25mm,</li> </ul>



<b>PRIMA BIRO</b> Čakovec, Hrvatska	<b>RADNA UPUTA</b> <b>ISPITIVANJE I KRITERIJI PRIHVATLJIVOSTI ZAVARENIH</b> <b>SPOJEVA</b>	
--	--	--

SIMBOL	OPIS
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- obostrano potpuno provareni sučeljeni zavareni spoj- X spoj ili DV spoj,</li> <li>- veičina zavara 25mm s svake strane (50mm)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- obostrano potpuno provareni sučeljeni zavareni spoj- X spoj ili DV spoj,</li> <li>- veičina zavara 25mm s svake strane (50mm),</li> <li>- zavar na suprotnoj strani od strelice bez nadvišenja odnosno tjeme (lice) mora biti poravnato (obrađeno),</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- obostrano potpuno provareni sučeljeni zavareni spoj- I spoj - veičina zavara 6mm),</li> <li>- zavar na suprotnoj strani od strelice bez nadvišenja odnosno tjeme (lice) mora biti poravnato (obrađeno),</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- jednostrani kutni zavar na strani strelice,</li> <li>- kutni zavar veličine 5mm,</li> <li>- kutni zavar bez zajeda, tjeme(lice) konkavnog izgleda,</li> <li>- dužine 600mm,</li> <li>- nivoa kvalitete B,</li> <li>- 5x-zavar se ponavlja na objektu pet puta,</li> </ul>

### 3. NIVOI KVALITETE ZAVARA ZA GRANIČNE VRIJEDNOSTI NEPRAVILNOSTI U ZAVARENOM SPOJU

Tehničkim propisima izrade i crtežima transformatorskih kotlova definirani su B, C i D nivoi kvalitete sukladno s normom HRN EN ISO 5817.

### 4. PLAN ZAVARIVANJA I ISPITIVANJA

Standardne procedure izrade transformatorskih kotlova ne zahtijevaju planove zavarivanja i ispitivanja, već izrada se odvija prema tehnološkim planovima izrade pojedinih sklopova.

Planovi zavarivanja i ispitivanja izrađuju se isključivo po zahtjevu kupaca ili zahtjevima proizvodnih normi npr. EN 15085, EN1090 ili drugih.

Planovi zavarivanja sadrže:

- vrste i tipove zavara,
- veličine zavara,
- specifikacije postupaka zavarivanja (WPS) i potvrde kvalifikacije postupaka zavarivanja (WPQR),
- debljine i vrste osnovnog materijala,
- postupke zavarivanja,
- dodatne materijale zavarivanja,
- NDT metode i opsege ispitivanja zavarenih spojeva,

Planovi zavarivanja i ispitivanja moraju biti izrađeni prije početka proizvodnje i ako se zahtijeva odobreni od kupaca i nadzornih tijela.

<b>PRIMA BIRO</b> Čakovec, Hrvatska	<b>RADNA UPUTA</b> <b>ISPITIVANJE I KRITERIJI PRIHVATLJIVOSTI ZAVARENIH</b> <b>SPOJEVA</b>

### 5. NERAZARAJUĆA ISPITIVANJA ZAVARENIH SPOJEVA – METODE I OPSEGI ISPITIVANJA

Razina kvalitete i/ili kriteriji prihvatljivosti		NIVO KVALITETE ZAVARENOG SPOJA PREMA EN ISO 5817 OPSEG ISPITIVANJA - %													
		B						C						D	
		VT	LT	MT	PT	UT	RT	VT	LT	MT	PT	UT	RT	VT	LT
Metode ispitivanja *)															
Potpuno provareni spojevi	Sučeoni zavari limova stranica	100	100	(1)	(2)	(3)	-	100	100	(1)	(2)	(3)	-	100	100
	Sučeoni zavari ploča poklopaca	100	100	(1)	(2)	(3)	-	100	100	(1)	(2)	(3)	-	100	100
	Sučeoni zavari ploča dna kotla	100	100	(1)	(2)	(3)	-	100	100	(1)	(2)	(3)	-	100	100
	Sučeoni zavari okvira i prirubnica	100	100	(1)	(2)	(3)	-	100	100	(1)	(2)	(3)	-	100	100
	Sučeoni zavari plašteva konzervatora	100	100	(1)	(2)	(3)	(4)	100	100	(1)	(2)	(3)	(4)	100	100
	Sučeoni zavari plašteva kupola	100	100	(1)	(2)	(3)	(4)	100	100	(1)	(2)	(3)	(4)	100	100
	Sučeoni zavari cijevi	100	100	(1)	(2)	-	(4)	100	100	(1)	(2)	-	(4)	100	100
	Sučeoni spojevi ukrućenja	100	-	(1)	(2)	(3)	-	100	100	(1)	(2)	(3)	-	100	100
	T-spojevi / zavari ukrućenja i stranica	100	-	(1)	(2)	-	-	100	-	(1)	(2)	-	-	100	-
Nepotpuno provareni spojevi	Ulje nepropusni kutni zavari kotlova, poklopaca, konzervatora, kupola i opreme	100	100	-	(2)	-	-	100	100	-	(2)	-	-	100	100
	Kutni zavari zavjesnih komada za dizanje i podupiranje kotla	100	-	(1)	(2)	-	-	100	-	(1)	(2)	-	-	-	-
	Kutni zavari prirubnica i cjevi	100	100	-	(2)	-	-	100	100	-	(2)	-	-	100	100
	Kutni zavari ukrućenja i stranica	100	-	(1)	-	-	-	100	-	(1)	-	-	-	100	-
	Kutni zavari ovjesa jezgre na poklopcu	100	100	(1)	(2)	-	-	100	100	(1)	(2)	-	-	-	-
	Kutni zavari zaklopki i sabirnica	100	100	-	(2)	-	-	100	100	-	(2)	-	-	100	100
	Kutni zavari zaklopki i stranica kotla	100	100	-	(2)	-	-	100	100	-	(2)	-	-	100	100
	Kutni zavari kupola-prirubnice-plaštevi	100	100	-	(2)	-	-	100	100	-	(2)	-	-	100	100
Kutni zavari kupola- ukrućenja, uha i razni nosači	100	-	(1)	(2)	-	-	100	-	(1)	(2)	-	-	100	-	

\*) METODE ISPITIVANJA:

VT - VIZUALNA METODA – EN ISO 17637 – kriteriji prihvatljivosti EN ISO 5817, **RU-PRO-020-R0**

LT – LEAKAGE TEST – ispitivanje nepropusnosti **RU-PRO-010** – kriterij prihvatljivosti: **bez indikacija**,

MT – MAGNETSKA METODA – EN ISO 17638 – kriteriji prihvatljivosti EN ISO 23278,

PT – PENETRANTSKA METODA – EN ISO 3452-1 – kriteriji prihvatljivosti EN ISO 23277, **RU-PRO-017-R2**

UT – ULTRAZVUČNA METODA – EN ISO 17640 – kriteriji prihvatljivosti EN ISO 11666,

RT – RENDGENSKA METODA – EN ISO 17636 – kriteriji prihvatljivosti EN ISO 10675-1,

(1) – MT 100% - DEFINIRANO ZAHTJEVIMA KUPACA ILI TEHNIČKO PROIZVODNE NORME,

(2) – PT 100% - ALTERNATIVA ZA MT - DEFINIRANO ZAHTJEVIMA KUPACA ILI TEHNIČKO PROIZVODNE NORME,

(3) – UT 100% - DEFINIRANO ZAHTJEVIMA KUPACA ILI TEHNIČKO PROIZVODNE NORME,

UT ispitivanje na debljinama stijenki  $\geq 8\text{mm}$ ,

(4) – RT –METODU I OPSEG ISPITIVANJA DEFINIRA ZAHTJEV KUPCA ILI TEHNIČKO PROIZVODNE NORME,

RT ispitivanje na debljinama stijenki  $< 8\text{mm}$

#### 5.1 UPUTA ULTRAZVUČNOG ISPITIVANJA

Proizvođač zavarenih konstrukcija mora izraditi upute ispitivanja za svaki zavareni spoj kvalitete **B** ili **C**. Uputa ultrazvučnog ispitivanja mora sadržavati sve detalje koji se odnose na metode ispitivanja, sonde s položajima skeniranja koji prikazuju da je cijeli zavareni spoj bio potvrđen ispitivanju.

Uputa ultrazvučnog ispitivanja mora biti odobrena prije početka proizvodnje, ako se to zahtijeva sukladno tehničko proizvodnim normama npr. EN 15085, DB Ril 951.0010.

**U primjeni je Konvencionalna / višepretvornička ultrazvučna tehnika ispitivanja SOUP-UT-150.01. DE**

 Čakovec, Hrvatska	<b>RADNA UPUTA</b> <b>ISPITIVANJE I KRITERIJI PRIHVATLJIVOSTI ZAVARENIH</b> <b>SPOJEVA</b>	
--	--	--

## 5.2 VRIJEME NDT ISPITIVANJA

**Nerazorna ispitivanja smiju se provoditi nakon ohlađenja zavarenog spoja na sobnu temperaturu.**

Minimalno vrijeme počeka za početak ispitivanja definirano je u tehničko proizvodnim normama.

U slučajevima kada su zavareni spojevi toplinski tretirani nakon zavarivanja vrijeme počeka je 48 sati.

## 5.3 OCJENIVANJE I KRITERIJI PRIHVATLJIVOSTI

Svaki zavar mora biti u skladu s definiranom razinom kvalitete B, C ili D s obzirom na geometriju zavarenog spoja, vanjskog i unutarnjeg rezultata ispitivanja.

Ispitna metoda		Norma ispitnih karakteristika	Norma prihvatljivosti	Razina kvalitete i/ili kriteriji prihvatljivosti		
Ispitivanje geometrije zavarenog spoja		EN ISO 5817	EN ISO 5817	B	C	D
VT	Vizualno ispitivanje	EN ISO 17637	EN ISO 5817	B	C	D
MT	Magnetno ispitivanje	EN ISO 17638	EN ISO 23278	2	2	3
PT	Penetrantsko ispitivanje	EN ISO 3452-1	EN ISO 23277	2	2	3
UT	Ultrazvučno ispitivanje	EN ISO 17640	EN ISO 11666	2	3	-
RT	Radigrafsko ispitivanje	EN ISO 17636	EN ISO 10675-1	1	2	-
LT	Ispitivanje nepropusnosti	RU-PRO-010-R2		-bez indikacija		

## 5.4 RADNE UPUTE ZA NDT METODE U PRIMJENI

- vizualna metoda - RU-PRO-020-R0

- penetrantska metoda - RU-PRO-017-R2

- ispitivanje nepropusnosti - RU-PRO-010-R2

- Konvencionalna / višepretvornička ultrazvučna tehnika ispitivanja SOUP-UT-150.01. DE -externa

## 6. KVALIFIKACIJE I CERTIFIKACIJA ISPITNOG OSOBLJA

Mora se osigurati da nerazorna ispitivanja provodi primjereno kvalificirano i certificirano osoblje u skladu sa EN ISO 9712.

**Dokaz osposobljenosti NDT osoblja – Lista NDT osoblja –PB.KO.077**

## 7. POSTUPAK S ZAVARENIM SPOJEVIMA SA NEDOZVOLJENIM INDIKACIJAMA

Zavareni spojevi na kojima su ustanovljene nedozvoljene indikacije moraju se dokumentirati.

Takovi zavareni spojevi moraju biti popravljani i ponovo ispitani.

**Radna uputa: POPRAVAK ZAVARENOG SPOJA – RU-PRO-016-R0.**

## 8. ZAPISI ISPITIVANJA

Rezultati nerazornih ispitivanja se zapisuju i prikazuju potvrdama prihvata 3.1 prema EN 10204.

Zapisi:

- IZVJEŠĆE O IZVRŠENOJ VIZUALNOJ KONTROLI –PB.KO.069

- REPORT ON THE EXECUTED CONTROL OF WELDED JOINTS PENETRANT METHOD

- IZVJEŠTAJ O NERAZORNOM ISPITIVANJU ZAVARENIH SPOJEVA –QM-101-08/06 - EXTERNI

- IZVJEŠTAJ O NERAZORNOM ISPITIVANJU ZAVARENIH SPOJEVA – PB.KO.048-R1 - INTERNI

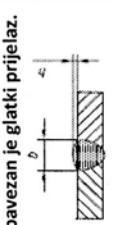
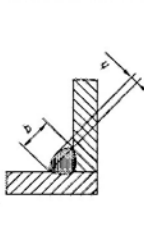
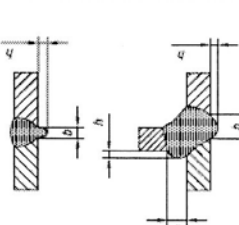

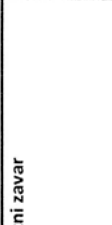
**TABELA NEPRAVILNOSTI ZAVARENIH SPOJEVA  
EN ISO 5817**

**PRIMA BIRO**  
Čakovec, Hrvatska


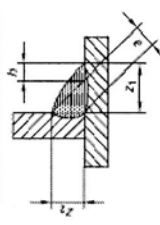
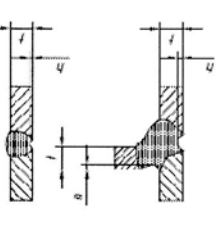
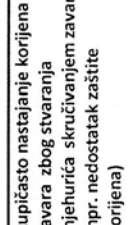
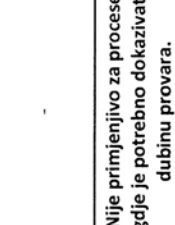
VANJSKE NEPRAVILNOSTI		GRANIČNE VRIJEDNOSTI NEPRAVILNOSTI ZA POJEDINU RAZINU KVALITETE																									
		D				C				B				A													
OBLIK NEPRAVILNOSTI/ Točka iz norme	SLIKA NEPRAVILNOSTI S NAPOMENOM	3	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	35	40	3	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	35	40
Površinske pukotine 1.1	-	≥0,5	Nije dozvoljeno																								
Pukotine u krateru 1.2	-	≥0,5	Nije dozvoljeno																								
Površinske pore 1.3	Maksimalna dimenzija pojedinačne pore za - sučeoni zavara - kutni zavar	0,5 do 3	Nije dozvoljeno																								
	Maksimalna dimenzija pojedinačne pore za - sučeoni zavara - kutni zavar	>3	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
Pora u početku i završetku zavara 1.4		0,5 do 3	Nije dozvoljeno																								
		>3	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
Naljepljivanje 1.5	Naljepljivanje (nepotpuno vezivanje) Mikro - naljepljivanje (otkriveno samo mikroskopskom pretragom)	≥0,5	Nije dozvoljeno																								
Nepotpuna penetracija korijena 1.6	Samo za jednostrane sučeone zavare 	≥0,5	Nije dozvoljeno																								
		0,5 do 3	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Neprekinuti i isprekidani zajed 1.7	Obavezan je glatki prijelaz. Ovo se ne smatra sistemskom pogreškom. 	0,5 do 3	Kratke nepravilnosti h≤0,1t = 0,05 - 0,3mm																								
		>3	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Zajed korijena zavara 1.8	Obavezan je glatki prijelaz. 	0,5 do 3	Kratke nepravilnosti h≤0,2t, ali max.2mm																								
		>3	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	

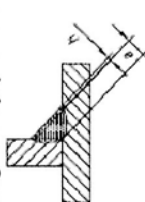
**PRIMA BIRO**  
Čakovec, Hrvatska

**TABELA NEPRAVILNOSTI ZAVARENIH SPOJEVA**  
EN ISO 5817

VANJSKE NEPRAVILNOSTI		GRANIČNE VRIJEDNOSTI NEPRAVILNOSTI ZA POJEDINU RAZINU KVALITETE																																																								
		D														C														B																												
		3	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	35	40	3	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	35	40	3	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	35	40																		
t mm																																																										
Višak materijala zavarivanja (sučeoni zavar) 1.9	Obavezan je glatki prijelaz. 	≥0,5	$h \leq 1mm + 0,25b, \text{max.} 10mm$ <table border="1"> <tr><td>b</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>8</td><td>10</td><td>12</td><td>15</td><td>20</td><td>25</td><td>30</td><td>35</td><td>40</td><td>9,75</td></tr> <tr><td>h</td><td>2</td><td>2,25</td><td>2,5</td><td>3</td><td>3,5</td><td>4</td><td>4,75</td><td>6</td><td>7,25</td><td>8,5</td><td>9,75</td><td></td><td></td></tr> </table>																												b	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	35	40	9,75	h	2	2,25	2,5	3	3,5	4	4,75	6	7,25	8,5	9,75		
		b	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	35	40	9,75																																											
h	2	2,25	2,5	3	3,5	4	4,75	6	7,25	8,5	9,75																																															
Preterjana konveksnost (kutni zavar) 1.10		≥0,5	$h \leq 1mm + 0,15b, \text{max.} 4mm$ <table border="1"> <tr><td>b</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>8</td><td>10</td><td>12</td><td>15</td><td>20</td><td>25</td><td>30</td><td>35</td><td>40</td><td>6,25</td></tr> <tr><td>h</td><td>2</td><td>2,25</td><td>2,5</td><td>3</td><td>3,25</td><td>3,5</td><td>4</td><td>4,75</td><td>5,5</td><td>6,25</td><td>7</td><td>7,5</td><td>8</td></tr> </table>																												b	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	35	40	6,25	h	2	2,25	2,5	3	3,25	3,5	4	4,75	5,5	6,25	7	7,5	8
b	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	35	40	6,25																																													
h	2	2,25	2,5	3	3,25	3,5	4	4,75	5,5	6,25	7	7,5	8																																													
Preterjana provarenost 1.11		0,5 do 3	$h \leq 1mm + 0,6b = 1,3 - 2,8mm$ <table border="1"> <tr><td>b</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>8</td><td>10</td><td>12</td><td>15</td><td>20</td><td>25</td><td>30</td><td>35</td><td>40</td><td>1,75</td></tr> <tr><td>h</td><td>2</td><td>2,25</td><td>2,5</td><td>3</td><td>3,5</td><td>4</td><td>4,75</td><td>5</td><td>5,5</td><td>6</td><td>6,5</td><td>7</td><td>7,5</td></tr> </table>																												b	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	35	40	1,75	h	2	2,25	2,5	3	3,5	4	4,75	5	5,5	6	6,5	7	7,5
b	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	35	40	1,75																																													
h	2	2,25	2,5	3	3,5	4	4,75	5	5,5	6	6,5	7	7,5																																													
Preoštar prelaz zavara 1.12	Sučeoni zavar 	≥0,5	$h \leq 1mm + 1,0b, \text{max.} 5mm$ <table border="1"> <tr><td>b</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>8</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td></tr> <tr><td>h</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td></tr> </table>																												b	2	3	4	5	6	8	10	10	10	10	10	10	10	h	3	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
b	2	3	4	5	6	8	10	10	10	10	10	10	10																																													
h	3	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5																																													
Preklapanje 1.13	Kutni zavar 	≥0,5	$h \leq 0,2b$ <table border="1"> <tr><td>b</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>8</td><td>10</td><td>12</td><td>15</td><td>20</td><td>25</td><td>30</td><td>35</td><td>40</td><td>7</td></tr> <tr><td>h</td><td>0,8</td><td>1</td><td>1,2</td><td>1,6</td><td>2</td><td>2,4</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td></tr> </table>																												b	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	35	40	7	h	0,8	1	1,2	1,6	2	2,4	3	4	5	6	7	8	9
		b	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	35	40	7																																											
h	0,8	1	1,2	1,6	2	2,4	3	4	5	6	7	8	9																																													
			$h \leq 0,2b$ <table border="1"> <tr><td>b</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>8</td><td>10</td><td>12</td><td>15</td><td>20</td><td>25</td><td>30</td><td>35</td><td>40</td><td>7</td></tr> <tr><td>h</td><td>0,8</td><td>1</td><td>1,2</td><td>1,6</td><td>2</td><td>2,4</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td></tr> </table>																												b	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	35	40	7	h	0,8	1	1,2	1,6	2	2,4	3	4	5	6	7	8	9
b	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	35	40	7																																													
h	0,8	1	1,2	1,6	2	2,4	3	4	5	6	7	8	9																																													
			$h \leq 1mm + 0,1b, \text{max.} 5mm$ <table border="1"> <tr><td>b</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>8</td><td>10</td><td>12</td><td>15</td><td>20</td><td>25</td><td>30</td><td>35</td><td>40</td><td>4,5</td></tr> <tr><td>h</td><td>2</td><td>2,25</td><td>2,5</td><td>3</td><td>3,5</td><td>4</td><td>4,75</td><td>6</td><td>7,25</td><td>8,5</td><td>9,75</td><td>11</td><td>12</td></tr> </table>																												b	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	35	40	4,5	h	2	2,25	2,5	3	3,5	4	4,75	6	7,25	8,5	9,75	11	12
b	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	35	40	4,5																																													
h	2	2,25	2,5	3	3,5	4	4,75	6	7,25	8,5	9,75	11	12																																													
			$h \leq 1mm + 0,1b, \text{max.} 3mm$ <table border="1"> <tr><td>b</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>8</td><td>10</td><td>12</td><td>15</td><td>20</td><td>25</td><td>30</td><td>35</td><td>40</td><td>3,5</td></tr> <tr><td>h</td><td>2</td><td>2,25</td><td>2,5</td><td>3</td><td>3,5</td><td>4</td><td>4,75</td><td>6</td><td>7,25</td><td>8,5</td><td>9,75</td><td>11</td><td>12</td></tr> </table>																												b	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	35	40	3,5	h	2	2,25	2,5	3	3,5	4	4,75	6	7,25	8,5	9,75	11	12
b	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	35	40	3,5																																													
h	2	2,25	2,5	3	3,5	4	4,75	6	7,25	8,5	9,75	11	12																																													
			$h \leq 1mm + 0,1b = 1,05 - 1,3mm$ <table border="1"> <tr><td>b</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>8</td><td>10</td><td>12</td><td>15</td><td>20</td><td>25</td><td>30</td><td>35</td><td>40</td><td>3</td></tr> <tr><td>h</td><td>2</td><td>2,25</td><td>2,5</td><td>3</td><td>3,5</td><td>4</td><td>4,75</td><td>6</td><td>7,25</td><td>8,5</td><td>9,75</td><td>11</td><td>12</td></tr> </table>																												b	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	35	40	3	h	2	2,25	2,5	3	3,5	4	4,75	6	7,25	8,5	9,75	11	12
b	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	35	40	3																																													
h	2	2,25	2,5	3	3,5	4	4,75	6	7,25	8,5	9,75	11	12																																													
			$h \leq 1mm + 0,2b, \text{max.} 3mm$ <table border="1"> <tr><td>b</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>8</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td></tr> <tr><td>h</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td></tr> </table>																												b	2	3	4	5	6	8	10	10	10	10	10	10	10	h	3	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
b	2	3	4	5	6	8	10	10	10	10	10	10	10																																													
h	3	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5																																													
			$\alpha \geq 150^\circ$																																																							
			$\alpha \geq 110^\circ$																																																							
			$\alpha \geq 100^\circ$																																																							
			$\alpha \geq 90^\circ$																																																							
			$\alpha \geq 90^\circ$																																																							
			Nije dozvoljeno																																																							
			Nije dozvoljeno																																																							

**TABELA NEPRAVILNOSTI ZAVARENIH SPOJEVA  
EN ISO 5817**

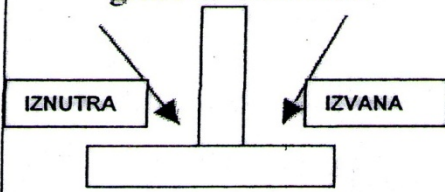
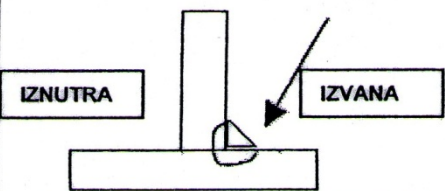
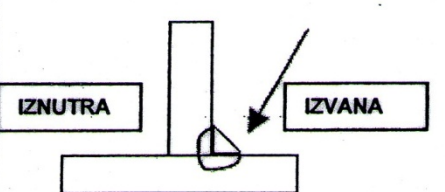
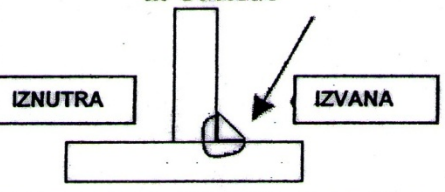
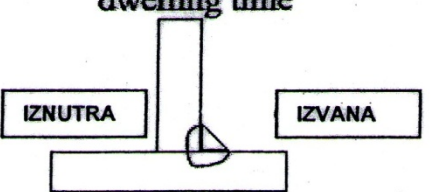
PRIMA BIRO Čakovec, Hrvatska		GRANIČNE VRIJEDNOSTI NEPRAVILNOSTI ZA POJEDINU RAZINU KVALITETE																									
		D					C					B															
VANJSKE NEPRAVILNOSTI		t mm																									
OBLIK NEPRAVILNOSTI S NAPOMENOM		3	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	35	40	3	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	35	40
Nepotpuno popunjen zavar - zajed 1.14	 <p>Obavezan je glatki prijelaz.</p>	0,5 do 3	Kratke nepravilnosti $h \leq 0,1t = 0,05 - 0,3\text{mm}$																								
		> 3	Kratke nepravilnosti $h \leq 0,1t \text{ max. } 1\text{mm}$																								
Pretjerana asimetričnost kutnog zavara 1.16	 <p>U slučaju kada nije propisan simetrični kutni zavar.</p>	$\geq 0,5$	Kratke nepravilnosti $h \leq 2\text{mm} + 0,2a$																								
			Kratke nepravilnosti $h \leq 2\text{mm} + 0,15a$																								
Konkavnost korijena 1.17	 <p>Obavezan je glatki prijelaz.</p>	0,5 do 3	Kratki nedostaci: $h \leq 0,1t = 0,05 - 0,3\text{mm}$																								
		> 3	Kratke nepravilnosti $h \leq 0,1t, \text{ max. } 1\text{mm}$																								
Poroznost u korjenu zavara 1.18	 <p>Rupičasto nastajanje korijena zavara zbog stvaranja mjehurića skrućivanjem zavara (npr. nedostatak zaštite korijena)</p>	$\geq 0,5$	Lokalno dozvoljeno																								
			Nije dozvoljeno																								
Nepravilnost pri ponovnom početku zavara 1.19	-	$\geq 0,5$	Dozvoljeno.																								
			Granica ovisi o vrsti nepravilnosti koje se pojavljuje na ponovnom početku																								
Nedovoljna debljina metala zavara 1.20	 <p>Nije primjenjivo za procese gdje je potrebno dokazivati dubinu provara.</p>	0,5 do 3	Kratke nepravilnosti $h \leq 0,2\text{mm}$																								
		> 3	Kratke nepravilnosti $h \leq 0,3\text{mm} + 0,1a, \text{ max. } 1\text{mm}$																								

PRIMA BIRO Čakovec, Hrvatska		TABELA NEPRAVILNOSTI ZAVARENIH SPOJEVA EN ISO 5817																																						
		GRANIČNE VRIJEDNOSTI NEPRAVILNOSTI ZA POJEDINU RAZINU KVALITETE																																						
VANJSKE NEPRAVILNOSTI		D					C					B																												
OBLIK NEPRAVILNOSTI/ Točka iz norme		3					4					5					6					7					8													
SLIKA NEPRAVILNOSTI S NAPOMENOM		3					4					5					6					7					8													
t mm		3					4					5					6					7					8													
Pretjerana debljina metala zavara 1.21	 <p>Stvarna debljina metala kutnog zavara je prevelika.</p>	Neograničeno										h ≤ 1mm + 0,2a, max. 4mm										h ≤ 1mm + 0,15a, max. 3mm																		
		≥ 0,5	a	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
Mjesta paljenja -oštećenja od paljenja električnog luka 1.22	-	Dozvoljeno, kada ne utječe na svojstva osnovnog materijala										Dozvoljeno, kada ne utječe na svojstva osnovnog materijala										Nije dozvoljeno																		
Prskotine od zavarivanja 1.23	-	Dozvoljeno, kada ne utječe na svojstva osnovnog materijala										Dozvoljeno, kada ne utječe na svojstva osnovnog materijala										Nije dozvoljeno																		
		≥ 0,5	Prihvatljivost ovisi o namjeni, na pr. zaštita materijala od korozije										Prihvatljivost ovisi o namjeni, na pr. zaštita materijala od korozije										Prihvatljivost ovisi o namjeni, na pr. zaštita materijala od korozije																	

<b>PRIMA BIRO</b> PRIMABIRO d.o.o. Zrinsko-frankopanska 23 40000 Čakovec	Identifikacijska oznaka radne upute <b>RU-PRO-010-R0</b>	Izmjena: 0	Primjena od: 02.03.2010.	Stranica: 2 od 6
	Naziv radne upute <b>ISPITIVANJE NEPROPUSNOSTI</b>			

Ovaj dokument vlasništvo je PRIMA BIRO d.o.o., i zabranjeno je svako nekontrolirano umnažanje, cjeline ili dijelova, bez suglasnosti. Svaki korisnik dokumenta obavezan je provjeriti važenje dokumenta prethodno korištenju.

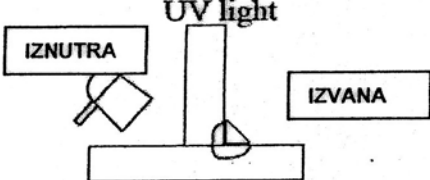
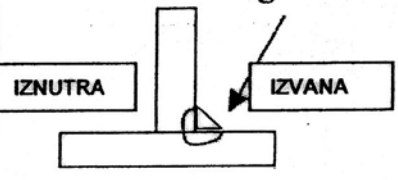
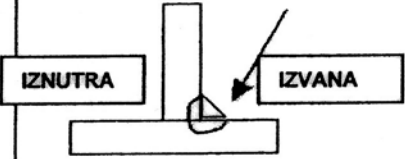
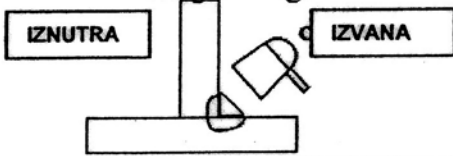
## PRILOG 1. Ispitivanje penetrantima izvana

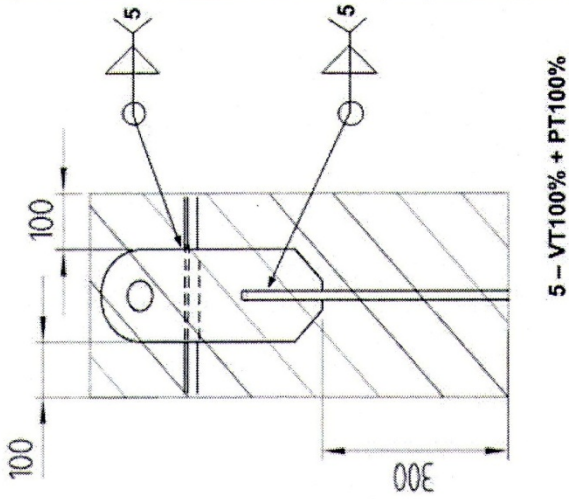
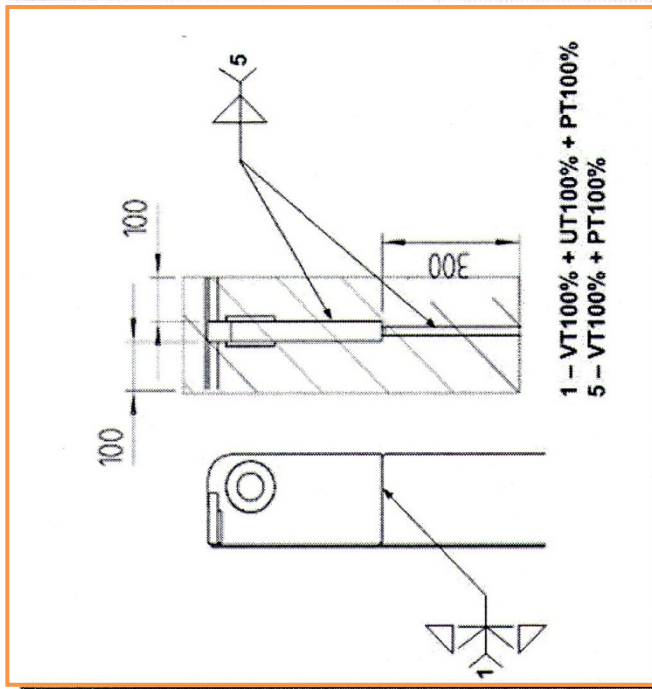
<p><b>1. Priprema površine</b></p> <p>Na mjestu nepropusnog zavarivanja radni komad mora biti izbrusiti ili sačmarati</p>	<p><b>1) Preparation : grind or sandblast</b></p> 
<p><b>2. zavarivanje vanjskog spoja</b></p>	<p><b>2) Outside welding</b></p> 
<p><b>3. Čišćenje površine zavarivanja četkom</b></p>	<p><b>3) Clean weld</b></p> 
<p><b>4. Nanesi penetrant s vanjske strane</b></p>	<p><b>4) Apply penetrant at outside</b></p> 
<p><b>5. Vrijeme penetriranja</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ako je debljina materijala ispod 10 mm, počekaj 6 sati</li> <li>- ako je debljina materijala jednaka ili veća 10 mm, počekaj 12 sati.</li> </ul>	<p><b>5) Respect dwelling time</b></p> 



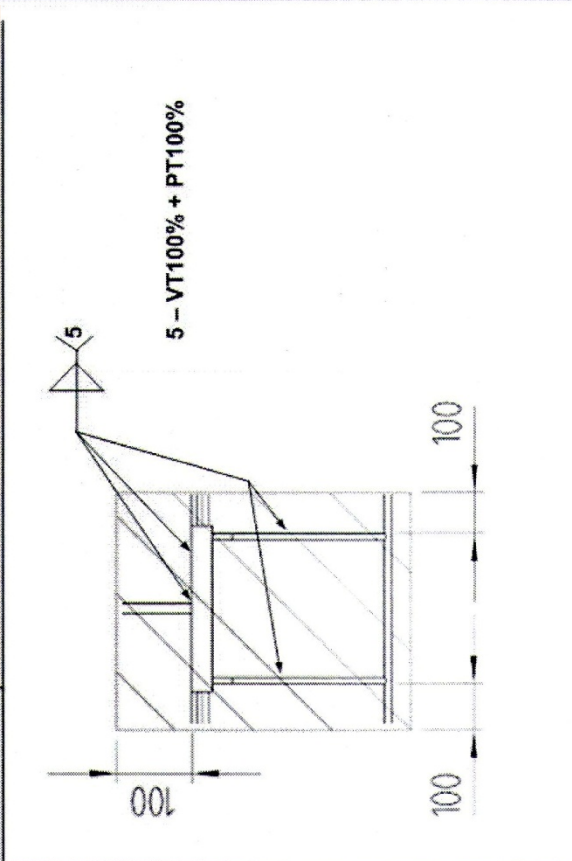
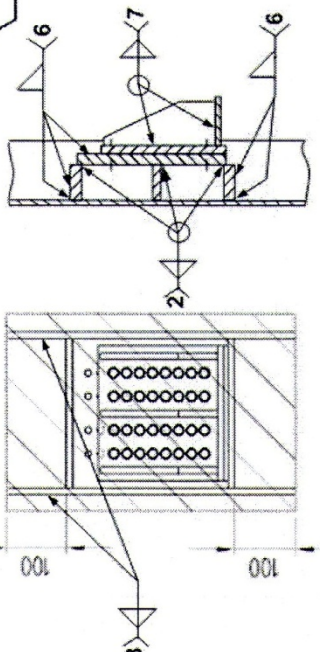
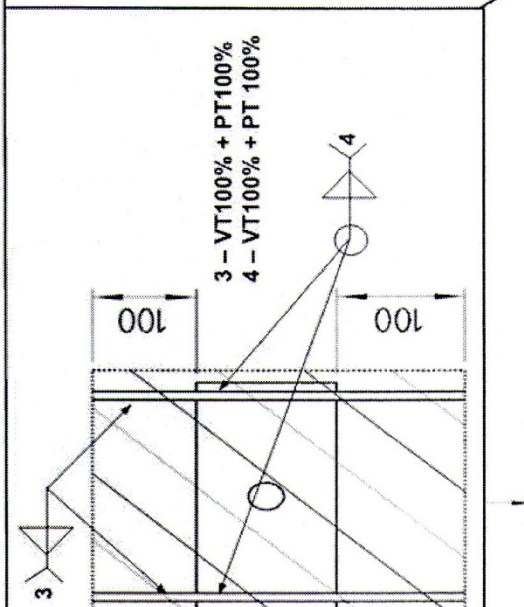
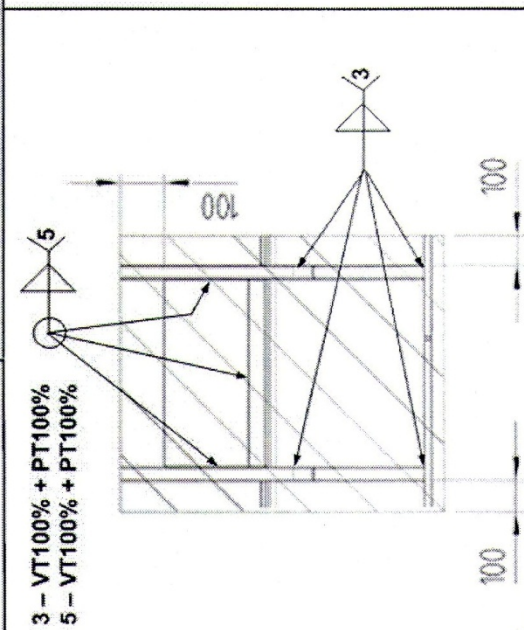
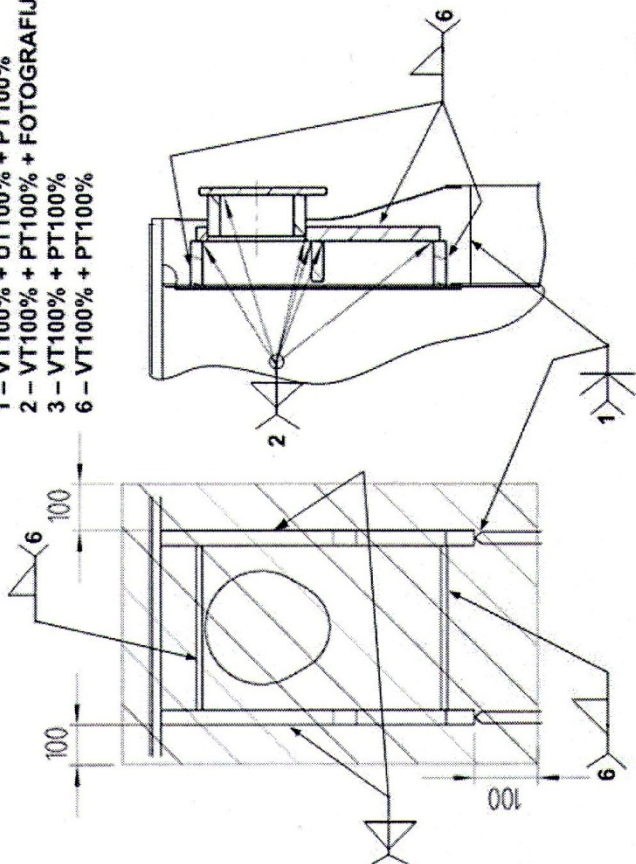
<b>PRIMA BIRO</b> PRIMABIRO d.o.o. Zrinsko-frankopanska 23 40000 Čakovec	Identifikacijska oznaka radne upute <b>RU-PRO-010-R0</b>	Izmjena: 0	Primjena od: 02.03.2010.	Stranica: 3 od 6
	Naziv radne upute <b>ISPITIVANJE NEPROPUSNOSTI</b>			

Ovaj dokument vlasništvo je PRIMA BIRO d.o.o., i zabranjeno je svako nekontrolirano umnažanje, cjeline ili dijelova, bez suglasnosti. Svaki korisnik dokumenta obavezan je provjeriti važenje dokumenta prethodno korištenju.

<b>6. Ispitivanje nepropusnosti iznutra UV lampom</b>	<p>6) Check the inside of the tank using UV light</p> 
<p><b>7. Popravak propuštanja</b></p> <p>Ako su pronađena propuštanja, počisti zavar i popravi propuštanja i zavaru TIG postupkom.</p> <p>Popravak označi pig – trakom i fotografiraj. Ispuni odgovarajući protok za Zavarivanje i ispitivanje.</p> <p><b>PB.KO.009-R1 Zavarivanje i ispitivanje A</b>  <b>PB.KO.010-R1 Zavarivanje i ispitivanje B</b>  <b>PB.KO.011-R1 Zavarivanje i ispitivanje C</b>  <b>PB.KO.012-R1 Zavarivanje i ispitivanje D</b></p> <p>Za popravak TIG postupkom koristi ovaj WPS:  <b>WPS 10-01-P</b>  <b>WPS 10-02-P</b>      Ponovi korake od 3. do 6. sve dok nije pronađeno nepropusnosti.</p>	<p>7) Repair defects in weld (if any) with TIG welding</p> 
<b>8. Makni penetrant otapalom</b>	<p>8) Remove penetrant at outside</p> 
<b>9. Ispitivanje nepropusnosti UV lampom izvana</b>	<p>9) Check for welding defects at outside using UV light</p> 

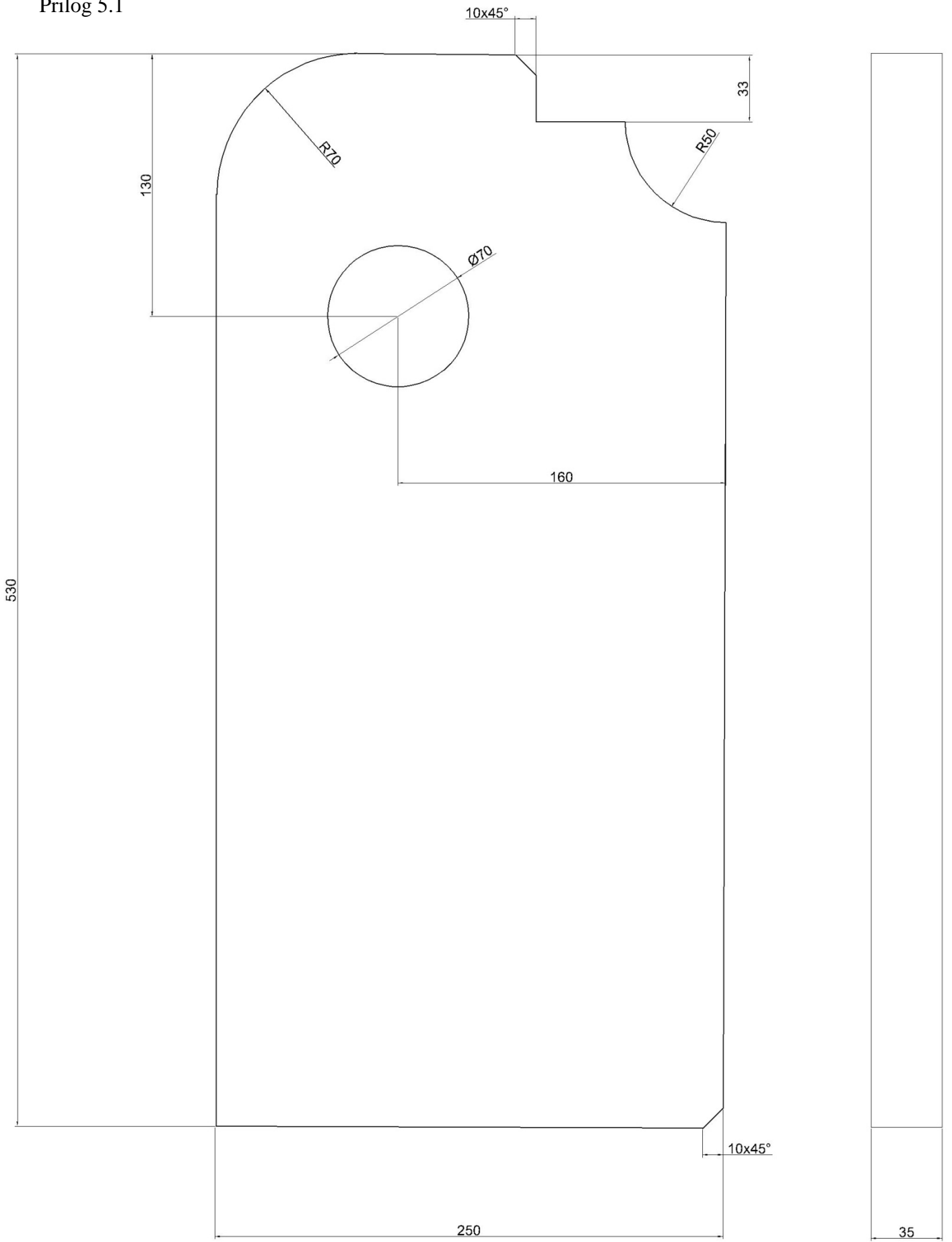


- 1 - VT100% + UT100% + PT100%
- 2 - VT100% + PT100% + FOTOGRAFIJA
- 3 - VT100% + PT100%
- 6 - VT100% + PT100%

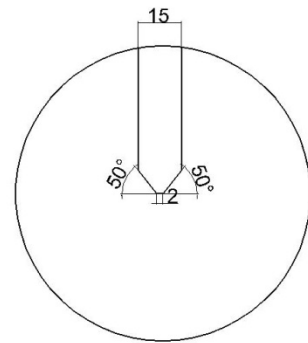
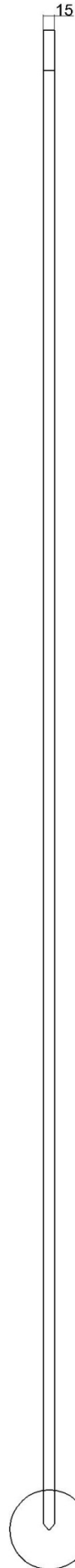
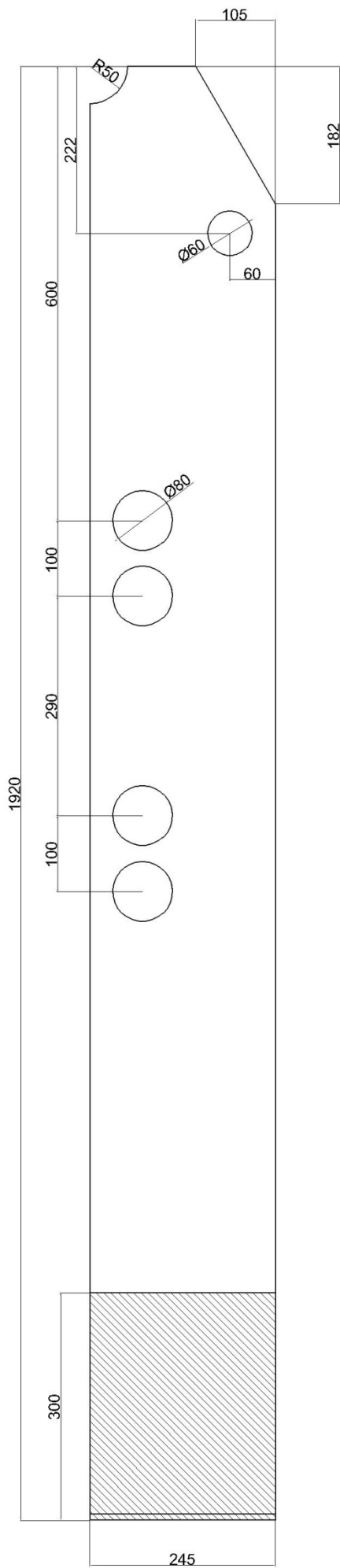


IZVOR: Non Destructive testing on welds - Procedure 29.40.01-09-030e - SMIT		Mjerilo:		Težina sklopa kg:	
Tolerancije sklopovih dijelova		Sirovina:		Šifra:	
Površina - klasa kvalitete pripreme		Naziv dijela / sklopa / proizvoda:		PT KONTROLA ZAVARENIH SPOJEVA - SMIT	
VT14	line	Potpis			
Konstr.	ISIWE				
Čsobrio					
<b>PRIMA BIRO</b> Čakovec, Hrvatska		Broj crteža:		List br.: 1	
		PB-ZV-007 SMIT		Listova: 1	
R1	Dodana VT100%	15.12.15	Isiwe		

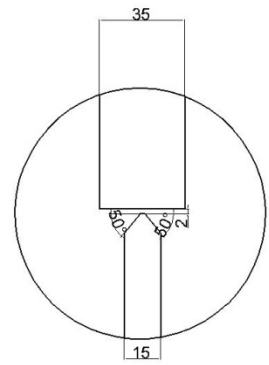
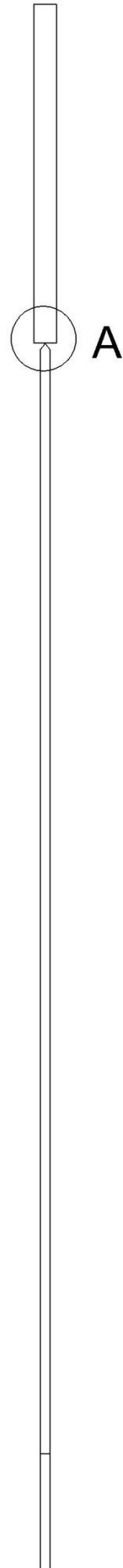
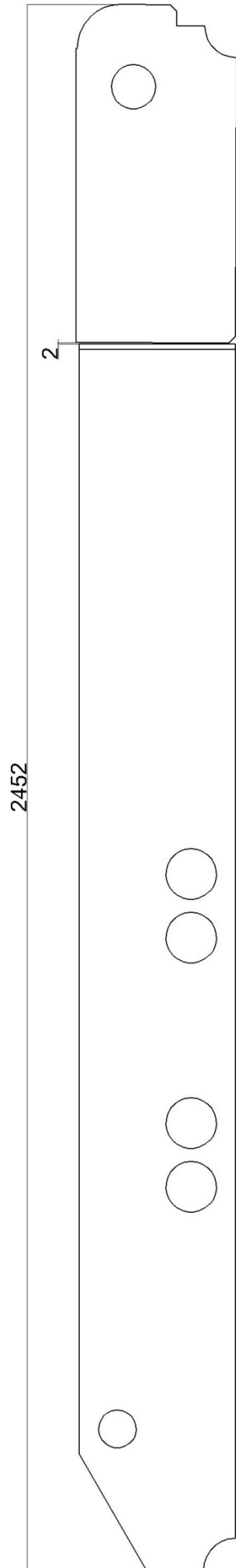
Prilog 5.1



Prilog 5.2



A



## Prilog 6

1. OPĆI PODACI		GENERAL DATA			
Objekt / Pozicija: Object / Position:	<b>Strip for stiffening tank - hoisting</b>	Naručitelj: Customer:	SMIT TRANSFORMERS		
Radni nalog br.: Internall order No.:		6-003	Narudžba br./ Projekt br.: Order No./ Project No.:	4500556334 / 312000641-010 4500556335 / 312000641-020	
Nacrt broj: Drawing number:	1120288-010 Rev.B	Oznaka materijala: Material code: S355J2+N	Debljina materijala: Material thickness:	15/35 mm	
Norma /Radna uputa: Standard / SOP:	EN ISO17640		Vrsta spoja: Weld type:	BW-DHV	
Kriterij prihvatljivosti: Acceptance criteria:	EN ISO 11666 class2		Tehnika zavarivanja: Welding technicue:	135 MAG	

2. PARAMETRI ISPITIVANJA		TESTING PARAMETERS			
Uređaj / serijski broj: Instrument / serial No.:	Krautkramer USL 32C	Mjerno područje: Testing ranges:	100 mm	Toplinska obrada: Heat treatment:	NO
Sonda: Probe:	MWB 60-4	Kabel: Cable:	MPKL2	Opseg ispitivanja: Scope of testing:	100 %
Kontaktno sredstvo: Type of couplant:	OIL	Ispitna frekvencija: Testing frequency:	4 Mhz	Procjena veličine: Size estimated by:	DAC Curve
Referentni etalon: Calibration block:	V2	Smjer skeniranja: Scanning direction:		Ref. pojačanje – VREF: Calibrated gain – VREF:	30 dB
Referentni reflektor: Sensitivity reflector:	Ø 1.5 SDH	Visina ref. Amplitude: Ref. Amplitude height:	80 %VE	Rad. pojačanje – VRAD: Testing gain – VRAD:	40 dB

3. REZULTATI ISPITIVANJA		TESTING RESULTS									
R.br. No.	Oznaka spoja: Joint mark	Parametri nepravilnosti/ Parameters of imperfection					Vrsta prema type acc. to EN ISO 6520-1	Ocjena result			Napomena Note
		Položaj position		Duljina length	Dubina depth	Amplituda amplitude		NI	NRI	RI	
		X [mm]	Y [mm]	[mm]	[mm]	[%VE / dB]					
1.	A							X			
2.	B							X			
3.	C							X			
4.	D							X			
5.	E							X			
6.	F							X			
7.	G							X			
8.	H							X			

4. SKICA-NAPOMENA-KOMENTAR	SKETCH-NOTE-COMMENT

5. OPIS OZNAKA		DESCRIPTION OF MARKS		
Ocjena: Result:	NI - nema nepravilnosti - no imperfections	NRI - prihvatljive nepravilnosti - acceptable imperfections	RI - neprihvatljive nepravilnosti - unacceptable imperfections	
	SDH - bočni provrt / uvert - side drilled hole	FBH - uvert ravnog dna ( disk reflektor ) - flat bottom hole ( disk shaped reflector )	%VE - postotak visine ekrana - percentage of full screen height	

6. ISPITIVANJE PROVEDENO		TESTING CONDUCTED			
Mjesto / datum:	Place / Date:	Ispitao:	Tested by:	Odobrio:	Approved by:
Čakovec, 29.02.2016.		Furdi Anđelko, UT level I		Pongrac Stjepan dipl.ing. UT level II	