

# Mjesto i uloga NDT metoda u osiguranju kvalitete zavarivačkih radova

---

**Zorković, 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:122:769333>

*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. 185/PS/2016**

**Mjesto i uloga NDT metoda u osiguranju kvalitete  
zavarivačkih radova**

**Mihael Zorković, 5619/601**

Varaždin, lipanj 2016. godine





# Sveučilište Sjever

Proizvodno strojarstvo

Završni rad br. 185/PS/2016

## Mjesto i uloga NDT metoda u osiguranju kvalitete zavarivačkih radova

**Student**

Mihael Zorković, 5619/601

**Mentor**

Živko Kondić, izv. prof. dr. sc.

Varaždin, lipanj 2016. godine

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za proizvodno strojarstvo		
PRISTUPNIK	Mihael Zorković	MATIČNI BROJ	5621/601
DATUM	07.05.2016.	KOLEGIJ	Kontrola kvalitete
NASLOV RADA	Mjesto i uloga NDT metoda u osiguranju kvalitete zavarivačkih radova		

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Place and role of NDT methods in quality assurance of welding jobs		
-----------------------------	--	--	--

MENTOR	dr.sc. Živko Kondić	ZVANJE	izv.profesor
--------	---------------------	--------	--------------

ČLANOVI POVJERENSTVA	1. Prof. dr.sc. Ivan Samrdžić
	2. Izv.prof.dr.sc. Živko Kondić
	3. Marko Horvat, dipl.ing, predavač
	4. Veljko Kondić, mag.ing.mech, predavač
	5. _____

## Zadatak završnog rada

BROJ	185/PS/2016
------	-------------

OPIS	U radu je potrebno:
------	---------------------

- Dati kratki opis pogrešaka u zavarenim spojevima a detaljnije opisati pogreške tipa pukotina, šupljina (poroznosti), čvrstih uključaka te drugih mogućih pogrešaka.
- Opisati postupak kontrole zavarenih spojeva.
- Detaljnije opisati vrste nerazornih ispitivanja zavarenih spojeva kao primjerice, vizualnu kontrolu, kontrolu tekućim penetrantima, kontrolu magnetskim česticama, ispitivanje ultrazvukom te ispitivanje radiografijom.
- U eksperimentalnom dijelu rada obraditi praktično nerazorna ispitivanja na jednom primjeru strojarske konstrukcije (cisterne), te opisati praktični primjer ultrazvučnog ispitivanja također na odabranoj strojarskoj konstrukciji.
- U zaključku se kritički osvrnuti na izrađeni završni rad u smislu mogućih ograničenja i prijedloga.

ZADATAK URUČEN	30.6.2016.
----------------	------------



POTPIS MENTORA



**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 ZORKOVIĆ (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom MJESTO I ULOGA NDT METODA U OSIGURANJU KVALITETE ZAVRŠNAČKIH RADOVA (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
MIHAEL ZORKOVIĆ (upisati ime i prezime)

Zorković

(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 ZORKOVIĆ (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom MJESTO I ULOGA NDT METODA U OSIGURANJU KVALITETE ZAVRŠNAČKIH RADOVA (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:  
MIHAEL ZORKOVIĆ (upisati ime i prezime)

Zorković

(vlastoručni potpis)

## **Predgovor**

Izjavljujem da sam završni rad izradio samostalno koristeći znanja stečena na Sveučilištu Sjever, služeći se navedenom literaturom i uz stručno vodstvo mentora izv. prof. dr. sc. Živka Kondića.

Zahvaljujem se svome mentoru izv. prof. dr. sc. Živku Kondiću uz čiju je stručnu pomoć i podršku nastao ovaj rad.

Zahvaljujem se Draganu Zorkoviću, bacc. ing. EWE, djelatniku RŽV Čakovec, te Dušanu Novaku, bacc. ing. EWE, djelatniku MIDI d.o.o. koji su omogućili, kao i svojim stručnim savjetima doprinijeli izradi eksperimentalnog djela rada.

Od srca zahvaljujem svojoj obitelji i curi Marini na podršci pruženoj tokom studija.

## **Sažetak**

U ovom radu za početak navedene su i opisane neke najčešće pogreške u zavarenom spoju da bi se pojasnilo zašto uopće postoje ispitivanja na zavarenim spojevima kao djelu konstrukcije. Također ukratko je opisan način kontrole zavarenih spojeva kao u uvod u glavni dio teme pošto je ne razorna ispitivanje jedan od načina kontrole.

Kao glavni teoretski dio sistematizirana su ne razorna ispitivanja te je pobliže pojašnjeno kako se ona izvode.

U praktičnom djelu rada provedena su prethodno objašnjena ne razorna ispitivanja te su prikazani i analizirani njihovi rezultati.

Ključne riječi: pogreška, zavareni spoj, nerazorna ispitivanja, kontrola



## **Summary**

This work starts with quotation and describing some of most common discontinuities in welded joint to explain why are probes on welded joints needed anyway. It is also described the way of examinig welded joints as an introduction to main part of the theme because nondestructive testing is just one way of examing.

As a main part of this work, nondestructive testing methods are systematized and also they are close described.

As a practical part of this work previously descrtibed testings are performed and their results are showed and explained.

Key words: discontinuity, welded joint, nondestructive testing, control

## Popis korištenih kratica

<b>NDT</b>	Non-destructive Testing Kontrola bez razaranja.
<b>°C</b>	stupanj Celzius
<b>h</b>	sat
<b>ZT</b>	zona taljenja
<b>ZUT</b>	zona utjecaja topline
<b>MIG</b>	Metal Inert Gas welding Elektrolučno zavarivanje taljivom žicom u zaštiti inertnog plina
<b>MAG</b>	Metal Active Gas welding Elektrolučno zavarivanje taljivom žicom u zaštiti aktivnog plina
<b>k</b>	kilo ( $\times 10^3$ )
<b>G</b>	giga ( $\times 10^9$ )
<b>Hz</b>	herc
<b>M</b>	mega ( $\times 10^6$ )
<b>RŽV</b>	Radionica željezničkih vozila
<b>ZIT</b>	Zavod za zavarivanje, ispitivanje i tehnologiju
<b>DIN</b>	Deutsche Industriische Norme Njemačka Industrijska Norma
<b>mm</b>	milimetar

# Sadržaj

1.	UVOD .....	6
2.	POGREŠKE U ZAVARENIM SPOJEVIMA .....	7
2.1.	Klase zavarenih spojeva .....	7
2.1.1.	Kriteriji prihvatljivosti kvalitete zavarenih spojeva .....	9
2.2.	Vrste pogrešaka u zavarenim spojevima .....	13
2.2.1.	Pukotine.....	14
2.2.2.	Šupljine – poroznost.....	18
2.2.3.	Čvrsti uključci .....	19
2.2.4.	Ostale pogreške .....	20
2.3.	Kontrola zavarenog spoja.....	21
3.	VRSTE NERAZORNIH ISPITIVANJA ZAVARENIH SPOJEVA I NJIHOV OPIS ..	23
3.1.	Vizualna kontrola .....	24
3.2.	Kontrola tekućim penetrantima .....	25
3.3.	Kontrola magnetskim česticama .....	27
3.4.	Ispitivanje ultrazvukom .....	29
3.5.	Ispitivanje radiografijom .....	31
4.	EKSPERIMENTALNI DIO .....	33
4.1.	Nerazorna ispitivanja na primjeru cisterne u RŽV Čakovec d.o.o.....	34
4.1.1.	Opis postupka.....	34
4.1.2.	Rezultati ispitivanja.....	38
4.1.3.	Analiza rezultata.....	38
4.2.	Ultrazvučno ispitivanje na primjeru čelične konstrukcije u MIDI d.o.o.....	39
4.2.1.	Opis postupka .....	39
4.2.2.	Rezultati ispitivanja.....	41
4.2.3.	Analiza rezultata.....	41
5.	ZAKLJUČAK .....	42
6.	LITERATURA .....	43

# 1. UVOD

Tijekom eksploatacije metalnih konstrukcija na raznim se dijelovima, npr. zavarenim spojevima, javljaju opterećenja koja uzrokuju naprezanja u konstrukciji. Sva su naprezanja u nekoj mjeri periodična. Periodičnost opterećenja i rasterećenja, odnosno promjenjivih naprezanja, uzrokuje nastajanje i propagaciju pukotina u materijalu. Pojavom pukotina u konstrukciji opada njezina nosivost i kao takva može podnijeti manje opterećenje prije nego što nastupi lom.

U području zavarivanja je vrlo važna prevencija kritičnih situacija zbog kojih može doći do loma dijela konstrukcije. NDT (Non-destructive testing) metode su jedan od načina rane detekcije pukotina i oštećenja elementa konstrukcije. Dakle, NDT je skup metoda temeljen na principima fizike sa svrhom utvrđivanja svojstava materijala ili komponenata sustava, te otkrivanja različitih vrsta grešaka, a da se pritom ne utječe na funkcionalnost materijala koji se ispituje. Osnovna svrha ispitivanja bez razaranja je utvrđivanje kvalitete i usklađenosti osnovnog materijala i zavarenih spojeva sa zahtjevima tehničkih specifikacija i standarda. Različite vrste ispitivanja provode se u različitim stadijima proizvodnje i eksploatacije. U Tablici 1. prikazani su postupci kontrole u svim fazama zavarivanja.

*Tabela 1. Postupci kontrole u fazama zavarivanja*

<b>Prije zavarivanja</b>	<b>Tijekom zavarivanja</b>	<b>Nakon zavarivanja</b>
Kontrola projektne i radioničke dokumentacije	Kontrola pripajanja	Detaljna vizualna kontrola
Kontrola osnovnog i dodatnog materijala	Kontrola postupka zavarivanja	Kontrola površinske obrade zavarenog spoja
Kontrola tehnološkog redoslijeda zavarivanja	Kontrola redoslijeda zavarivanja	Mjerenje ukupne deformacije
Kontrola pripremnih i izvršnih vremena	Kontrola parametara i ostalih uvjeta zavarivanja	Ne razorna kontrola
Provjera zavarivača i postupka zavarivanja	Kontrola postupka toplinske obrade u tijeku zavarivanja	Praćenje možebitnih popravaka zavarenog spoja
Kontrola pripreme radnog mjesta	Međufazna ne razorna kontrola	Ne razorna kontrola popravka
Utvrđivanje kontrolnog alata i pribora	Kontrola označavanja zavara	Kontrola toplinske obrade nakon zavarivanja
Kontrola pripreme za zavarivanje	Provjera dimenzija i deformacije	Ne razorna kontrola (ako se zahtijeva)
Kontrola strojeva i uređaja, uključujući i priključivanje mase	Kontrola zavarivanja posebnih detalja	Ispitivanje hidrostatskim tlakom ili kontrola nepropusnosti spoja
Kontrola provođenja i temperature predgrijavanja		Kontrola uzoraka razaranjem
		Izdavanje cjelokupne kontrolne dokumentacije

## 2. POGREŠKE U ZAVARENIM SPOJEVIMA

### 2.1. Klase zavarenih spojeva

Klasa zavarenog proizvoda ili zavarenog spoja odgovara zahtijevanoj razini pouzdanosti proizvoda ili spoja. Drugim riječima, što su rizici za ljude, imovinu ili biološku okolinu u slučaju otkaza proizvoda ili zavarenog spoja veći, to pouzdanost proizvoda mora biti viša, odnosno klasa mora biti viša. Prihvaćanjem kvantificiranja rizika, otkaza kao temelja klasifikacije omogućava se jednostavan univerzalan pristup problemu klasifikacije.

Posljedice otkaza neke konstrukcije obuhvaćaju:

- ljudske gubitke; broj poginulih i teško povrijeđenih
- materijalne gubitke; uništen materijal, oprema, zgrade, direktni i indirektni troškovi vezani uz otkaz (troškovi zamjene, popravka i zastoja)
- zagađivanje biološke okoline

S obzirom na faze trajanja ciklusa zavarenog proizvoda, može se govoriti o nekoliko vrsta pouzdanosti, klase i slabljenja u zavarenom spoju: zahtijevanoj, projektnoj, izvedenoj i trenutnoj. Zahtijevana klasa odgovara zahtijevanoj pouzdanosti ( $R_z$ ), a određuje se na temelju gornje granice prihvatljivog rizika i gornje granice prihvatljivoga slabljenja u zavarenom spoju. Projektna klasa odgovara projektnoj pouzdanosti dobivenoj proračunima i/ili mjerenjima utjecajnih veličina u fazi projektiranja ( $R_p$ ). Izvedbena klasa proizvoda odgovara pouzdanosti na kraju izrade i montaže, a prije eksploatacije ( $R_i$ ). Trenutna klasa proizvoda ( $R_t$ ) odgovara pouzdanosti u bilo kojem trenutku, a najčešće se misli na neki trenutak u eksploataciji.

Temelj svake klasifikacije proizvoda i zavarenih spojeva trebao bi biti prihvatljivi rizik za ljude, čovjekov okoliš i imovinu, što ipak u većini slučajeva nije naglašeno ili uopće nije vidljivo. Različiti propisi svrstavaju zavarene proizvode po klasama proizvoda, pa se unutar jednog proizvoda nalaze različite klase zavarenih spojeva ili su zavareni spojevi indirektno klasirani, najčešće prema zahtjevima za opseg kontrole i kriterije prihvatljivosti. Razlozi toga pristupa dijelom su u nepoznavanju kvantitativnih pokazatelja odgovarajućih rizika i vjerojatnosti slabljenja zavarenih spojeva na zavarenim proizvodima, pa se slobodno može reći da se dosadašnje klasifikacije temelje isključivo na iskustvima, a da zahtjevi nisu ujednačeni i jasno znanstveno definirani. Između više mogućih klasifikacija zavarenih proizvoda i zavarenih spojeva izdvojena je podjela zavarenih proizvoda na 4 klase: I, II, III i IV, dok se zavareni spojevi unutar svake klase proizvoda dijele na 4 klase: A, B, C i D.

Klase zavarenih spojeva se mogu, npr. odrediti obzirom na iskorištenje dopuštenih naprezanja:

Klasa	A	(0,9 - 1,0)
	B	(0,7 - 0,9)
	C	(0,5 - 0,7)
	D	0,5

Klase kvalitete zavarenih spojeva unutar jedne klase zavarenog proizvoda su:

A - Zavareni spojevi izloženi najoštrijim uvjetima eksploatacije

B - Zavareni spojevi izloženi oštrim uvjetima eksploatacije

C - Zavareni spojevi izloženi prosječnim uvjetima eksploatacije

D - Zavareni spojevi izloženi ispodprosječnim uvjetima eksploatacije

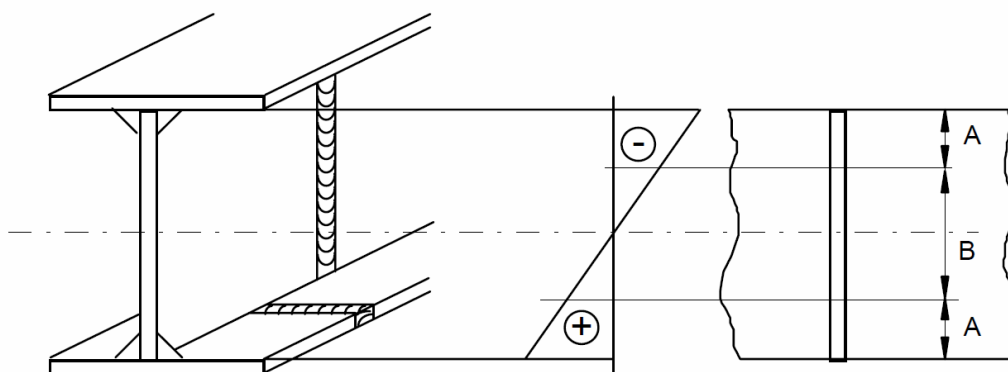
Načelna klasifikacija zavarenih proizvoda. Budući da se rizici za okolinu razlikuju ovisno o lokaciji, nije moguće pouzdano generalno i jednoznačno klasirati proizvode. Proizvod istih karakteristika, ovisno o lokaciji, može imati različite zahtijevane klase. Ipak, pretpostavljajući opće i lokacijske faktore, može se načelno svrstati proizvode kako slijedi:

**I klasa:** Glavne posude u nuklearnim postrojenjima, posude s jako otrovnim medijem, najveće posude s otrovnim, eksplozivnim ili zapaljivim medijem.

**II klasa:** Veoma važne i veće posude u industrijskim i energetske postrojenjima, reaktori, kolone, izmjenjivači, veliki parni kotlovi, velike nosive čelične konstrukcije, mostovi, veliki brodovi, veliki strojevi.

**III klasa:** Srednji i mali proizvodi navedeni u klasi II koji mogu u slučaju kritičnog otkaza uzrokovati manje rizike, nego proizvodi navedeni i u klasi II.

**IV klasa:** Proizvodi, koji u slučaju kritičnog otkaza uzrokuju mali ili zanemariv rizik za ljude, imovinu i biološku okolinu: mala posuda s vodom, mali strojevi i slično.



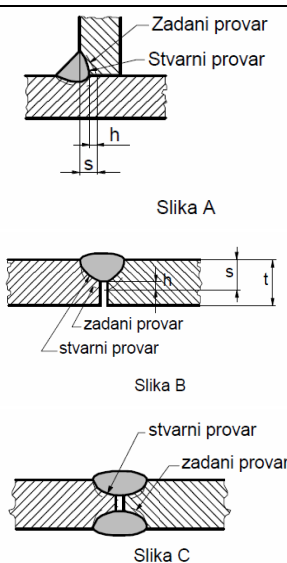
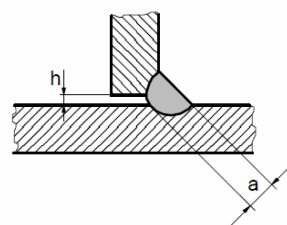
Slika 1. Klasa kvalitete na primjeru zavarenog nosača

## 2.1.1. Kriteriji prihvatljivosti kvalitete zavarenih spojeva

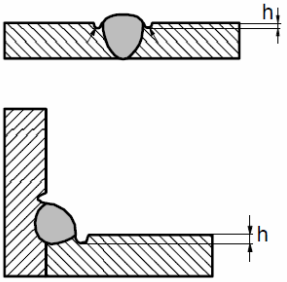
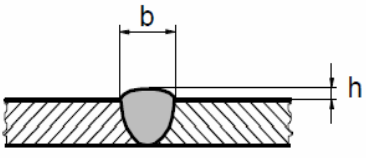
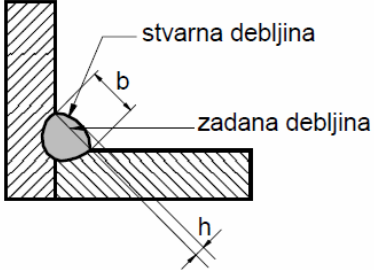
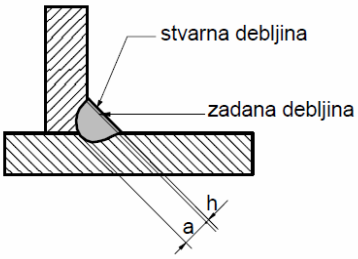
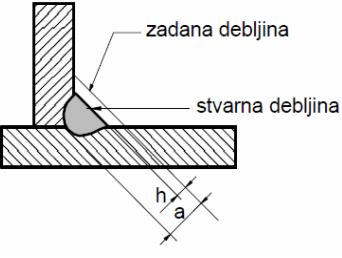
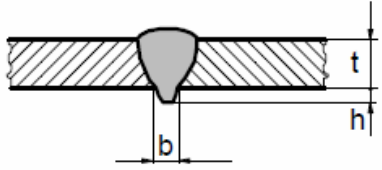
Kriteriji prihvatljivosti za greške u zavarenom spoju definirani su standardom HRN EN 25817 . Prema tome kriteriju postoje 3 klase zavarenih spojeva: B, C i D.

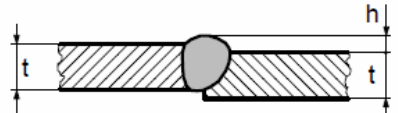
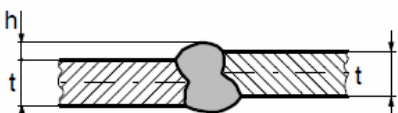
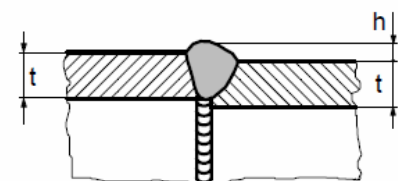
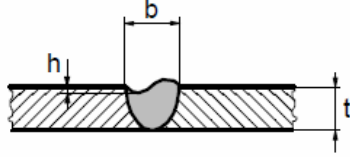
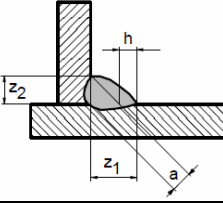
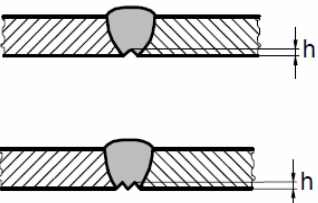

Tabela 2. Klase kvalitete zavarenih spojeva prema HRN EN 25817 [2]

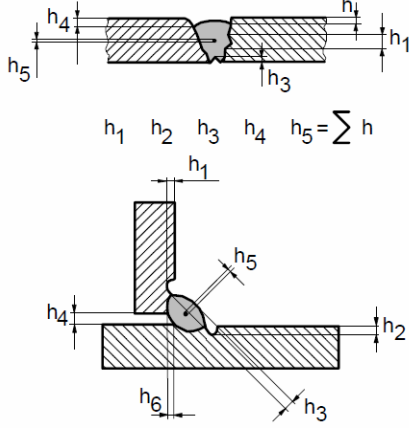
Red. br.	Naziv nepravilnosti	Oznaka po ISO 6520:	Opaske	Granične vrijednosti nepravilnosti za skupine ocjene		
				Visoka B	Srednja C	Niska D
1.	Pukotine	100	Sve vrste pukotina osim mikropukotina ( $h \cdot l < 1 \text{ mm}^2$ ). Kraterske pukotine (vidjeti br. 2.)	Nedopušteno		
2.	Kraterske pukotine	104		dopuštene	nedopušteno	
3.	Šupljine i poroznosti	2011 2012 2014 2017	Moraju biti ispunjeni sljedeći uvjeti i granične vrijednosti: a) najveća vrijednost zbroja na projiciranoj ili lomnoj površini b) najveća dimenzija pojedinačne pore za - sučeljeni zavareni spoj - kutni zavareni spoj c) najveća dimenzija pojedinačne pore	4%  $d \leq 0,5 \times s$ $d \leq 0,5 \times a$ 4 mm	2%  $d \leq 0,4 \times s$ $d \leq 0,4 \times a$ 3 mm	1%  $d \leq 0,3 \times s$ $d \leq 0,3 \times a$ 2 mm
4.	Gnijezdo pora	2013	Cjelokupno područje jednog gnijezda mora se zbrojiti i izraziti u postocima (%) od većeg od područja : obujmice oko čitavog gnijezda ili kružnice promjera jednakog širini zavara. Dopušteno područje poroznosti mora biti na ograničenoj površini. Mora se ispitati je li porama pokrivena neka druga nepravilnost. Moraju biti ispunjeni sljedeći uvjeti i granične vrijednosti nepravilnosti : a) najveća vrijednost zbroja na projiciranu ili lomnu površinu b) najveća vrijednost zbroja za - sučeljeni zavareni spoj - kutni zavareni spoj c) najveća dimenzija gnijezda	16%  $d \leq 0,5 \times s$ $d \leq 0,5 \times a$ 4 mm	8%  $d \leq 0,4 \times s$ $d \leq 0,4 \times a$ 3 mm	4%  $d \leq 0,3 \times s$ $d \leq 0,3 \times a$ 2mm
5.	Crvaste i cjevaste šupljine	2015 2016	Duge nepravilnosti za : - sučeljene zavarene spojeve - kutne zavarene spojeve Najveća dimenzija za crvaste i cjevaste šupljine	$h \leq 0,5 s$ $h \leq 0,5 a$ 2 mm	Nedopušteno	Nedopušteno
			Kratke nepravilnosti za : - sučeljene zavarene spojeve - kutne zavarene spojeve Najveća dimenzija za crvaste i cjevaste šupljine	$h \leq 0,5 s$ $h \leq 0,5 a$ 4 mm ili ne veće od	$h \leq 0,4 s$ $h \leq 0,4 a$ 3 mm ili ne veće od	$h \leq 0,3 s$ $h \leq 0,3 a$ 2 mm ili ne veće od

				debljine	debljine	debljine
6.	Uključci čvrstih tijela (osim bakra)	300	Duge nepravilnosti za : - sučeljene zavarene spojeve - kutne zavarene spojeve Najveća dimenzija čvrstog uključka	$h \leq 0,5 s$ $h \leq 0,5 a$ 2 mm	Nedopušteno	Nedopušteno
			Kratke nepravilnosti za : - sučeljene zavarene spojeve - kutne zavarene spojeve Najveća dimenzija čvrstog uključka	$h \leq 0,5 s$ $h \leq 0,5 a$ 4 mm ili ne veće od debljine	$h \leq 0,4 s$ $h \leq 0,4 a$ 3 mm ili ne veće od debljine	$h \leq 0,3 s$ $h \leq 0,3 a$ 2 mm ili ne veće od debljine
7.	Uključak bakra	3042		Nedopušteno		
8.	Pogreška u vezivanju			Dopuštene, ali samo isprekidane i ne blizu površine	Nedopuštene	
9.	Nedovoljni provar	402	 <p>Zadani provar Stvarni provar</p> <p>Slika A</p> <p>zadani provar stvarni provar</p> <p>Slika B</p> <p>stvarni provar zadani provar</p> <p>Slika C</p>	Duge nepravilnosti: nedopuštene		Nedopušteno
				Kratke nepravilnosti: $h \leq 0,2 s$ max 2 mm	$h \leq 0,1 s$ max 1,5 mm	
10.	Loše namješten kutni spoj		Prekomjerni ili nedovoljni razmak rebra	$h \leq 1 \text{ mm} - 0,3 a$  max. 4 mm	$h \leq 0,5 \text{ mm} - 0,2 a$  max. 3 mm	$h \leq 0,5 \text{ mm} - 0,1 a$  max. 2 mm
			 <p>Razmaci, koji odgovarajuću vrijednost prekoračuju, moraju se u određenim slučajevima izvesti nadomještanjem debljine zavara.</p>			



11.	Zajed	5011 5012	Blagi prijelaz se dopušta 	$h \leq 1,5$ mm	$h \leq 1$ mm	$h \leq 0,5$ mm
12.	Preveliko nadvišenje	502	Blagi prijelaz se dopušta 	$h \leq 1 \text{ mm} +$ $+0,25 b$ max. 10 mm	$h \leq 1 \text{ mm} +$ $+0,15 b$ max. 7 mm	$h \leq 1 \text{ mm} +$ $+0,1 b$ max. 5 mm
13.	Preveliko nadvišenje	503		$h \leq 1 \text{ mm} +$ $+0,25 b$ max. 10 mm	$h \leq 1 \text{ mm} +$ $+0,15 a$ max. 10 mm	$h \leq 1 \text{ mm} +$ $+0,1 a$ max. 10 mm
14.	Prekoračenje debljine kutnog spoja		Za mnoge slučajeve prekoračenje zadane debljine nije razlog za odbacivanje 	$h \leq 1 \text{ mm} +$ $+0,3 a$ max. 5 mm	$h \leq 1 \text{ mm} +$ $+0,2 a$ max. 4 mm	$h \leq 1 \text{ mm} +$ $+0,15 a$ max. 3 mm
15.	Potkoračenje debljine kutnog spoja		Kutni spoj s vidljivim potkoračenjem debljine neće se računati kao pogrešan, ako je stvarna debljina postignuta dubljim provarom 	Duge nepravilnosti: nedopuštene		Nedopušteno
				Kratke nepravilnosti: $h \leq 0,3 \text{ mm} + 0,1 a$		
				max. 2 mm	max. 1 mm	
16.	Preveliko nadvišenje u korijenu	504		$h \leq 1 \text{ mm} +$ $+1,2 b$ max. 5 mm	$h \leq 1 \text{ mm} +$ $+0,6 b$ max. 4 mm	$h \leq 1 \text{ mm} +$ $+0,3 b$ max. 3 mm

17.	Prokapljina	5041		Dopušteno	Slučajna mjestimična ispupčenja dopuštena	
18.	Posmaknutost	507	Granična vrijednost odstupanja svodi se na idealan položaj. Ukoliko nije drugačije propisano, idealan položaj dobiva se kada se srednje izvodnice dijelova poklapaju. “t” se odnosi na tanju stjenku	Slika A – Limovi i uzdužni zavareni spojevi		
				$h \leq 0,25 t$	$h \leq 0,15 t$	$h \leq 0,1 t$
				max. 5 mm	max. 4 mm	max. 3 mm
				Slika B – Poprečni zavareni spojevi		
				max. 4 mm	$h \leq 0,5 t$ max. 3 mm	max. 2 mm
19.	Neispunjeni presjek Nasjeli zavar	511 509	Blagi prijelaz se dopušta	Dugačke nepravilnosti: nedopuštene		
				Kratke nepravilnosti		
				$h \leq 0,2 t$	$h \leq 0,1 t$	$h \leq 0,05 t$
				max. 2 mm	max. 1 mm	max. 0,5 mm
20.	Prevelika nejednolikost kutnog spoja	512	Podrazumijeva se da asimetričnost kutnog spoja nije izričito propisana.	$h \leq 2 \text{ mm} + 0,2 a$	$h \leq 2 \text{ mm} + 0,15 a$	$h \leq 1,5 \text{ mm} + 0,15 a$
						
21.	Uleknuti korijen	515	Blagi prijelaz se dopušta	$h \leq 1,5 \text{ mm}$	$h \leq 1 \text{ mm}$	$h \leq 0,5 \text{ mm}$
	Zajed u korijenu	5013				
22.	Preklop	506		Kratke nepravilnosti: dopuštene	Nedopušteno	
23.	Pogrešan početak zavara	517		Dopušten	Nedopušteno	
24.	Oštećenje lukom	601		Dopustivost ovisi o daljnjoj obradi površina, vrsti osnovnom materijala i naročito o sklonosti stvaranju pukotina		

25.	Onečišćenje kapljicama metala	602		Dopustivost zavisi od namjene		
26.	Višestruke nepravilnosti u jednom presjeku		Za debljine "s" ili "a" $\leq 10$ mm mogu se propisati posebni uvjeti.	Ukupna količina nepravilnosti $\sum h$		
				0,25 s ili 0,25 a	0,2 s ili 0,2 a	0,15 s ili 0,15 a

## 2.2. Vrste pogrešaka u zavarenim spojevima

Svaki tehnološki proces nosi stalnu opasnost od nastajanja određenih pogrešaka. Na tu je opasnost potrebno obratiti posebnu pozornost obzirom na veliki broj utjecajnih čimbenika na kvalitetu zavarenih spojeva. Pogreške u zavarenim spojevima nije moguće u potpunosti izbjeći, ali je moguće vrlo efikasno utjecati na njihovu pojavu u procesu zavarivanja i time ih svesti na minimum. Pogreške u zavarenim spojevima javljaju se kao posljedica korištenja neodgovarajuće tehnologije zavarivanja, pogrešno odabranih parametara zavarivanja, vrsta dodatnog materijala, loše pripreme žlijeba i tehnike rada. Pored navedenih uzročnika pojave pogrešaka moguća je pojava nehomogenosti u osnovnom materijalu, na koje je nemoguće utjecati tijekom procesa zavarivanja. Iz tog razloga je opravdano postojanje manjeg ili većeg broja pogrešaka u zavarenom spoju.

Prema standardu HRN EN ISO 6520-1 greške u zavarenom spoju možemo podijeliti na greške koje mogu nastati pri izradi te greške koje mogu nastati pri eksploataciji. Kod tehnologije i kontrole zavarivanja važnije su one koje nastaju pri izradi. Njih dijelimo prema:

- 1) Uzroku nastajanja (konstruktivne, metalurške, tehnološke)
- 2) Vrsti (plinski uključci, uključci u čvrstom stanju, naljepljivanje, nedostatak provara, pukotine, greške oblika i dimenzija)
- 3) Položaju (unutrašnja, površinske, podpovršinske, po cijelom presjeku)
- 4) Obliku (kompaktne, izdužene, oštre, zaobljene, ravninske, prostorne)
- 5) Veličini (male, srednje veličine, velike)
- 6) Brojnosti (pojedinačne, učestale, gnijezdo grešaka)

Prema međunarodnoj klasifikaciji pogreške u zavarenom spoju svrstane su u 6 osnovnih skupina ( EN 26520 ) (podjela prema vrsti):

- 100 Pukotine
- 200 Šupljine ( poroznost )
- 300 Uključci čvrstih tijela
- 400 Nedovoljno vezivanje i penetracija
- 500 Pogreške oblika
- 600 Ostale pogreške

### 2.2.1. Pukotine

Pukotine se smatraju najopasnijim pogreškama u zavarenom spoju i nisu dopuštene. To su ravninske greške što znači da su dvije dimenzije puno veće od treće (duljina 5-8 mm, dubina 2-3 mm i širina ~0,1 mm). Također imaju oštre rubove te često nepovoljan položaj u odnosu na spoj. Bitno smanjuju nosivi presjek zavarenog spoja i čvrstoću zavarenog spoja. To je samo jedan od razloga zašto nisu dopuštene u zavarenom spoju. Također, imaju i zarezno djelovanje koje još povećava vjerojatnost loma.

Pukotine su pogreške koje se najviše obrađuju kako u teoretskom tako i u praktičnom smislu. Veliki je broj konstrukcija čiji je otkaz nastao naknadnom pojavom pukotine a sve zbog promašaja u fazama prije ili nakon nastanka zavarenog spoja.

Postoji više vrsta pukotina i mehanizama njihovog nastajanja pa ih prema tome dijelimo na:

- hladne pukotine
- tople pukotine
- pukotine nastale uslijed naknadne toplinske obrade ili naknadnog zagrijavanja
- pukotine nastale uslijed slojastog ili lamelnog odvajanja/trganja

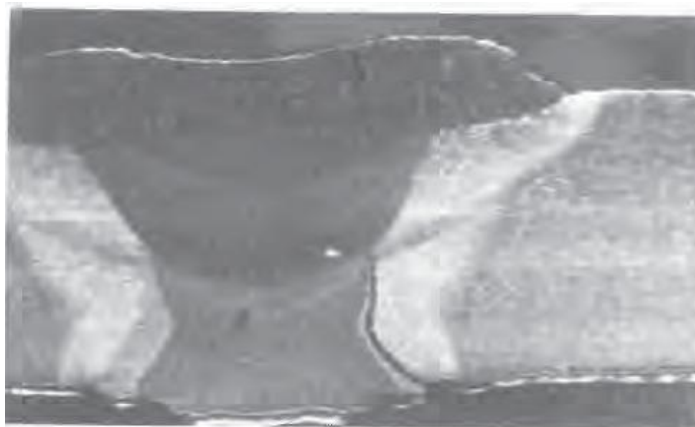
Pukotine se mogu podijeliti i na više načina kao što je prikazano u Tablici 3.

*Tabela 3. Vrste pukotina – podjela po kriterijima*

<b>KRITERIJI:</b>			
<b>Smjer i izgled</b>	<b>Dimenzije</b>	<b>U odnosu na površinu</b>	<b>U odnosu na zavar</b>
Podužene na os zavara	Mikro	Površinske	u ZUT
Poprečne	makro	Podpovršinske	u ZT
Zvezdaste			
Kraterske			
Ostale			

### **Hladne pukotine** (eng. Cold cracks)

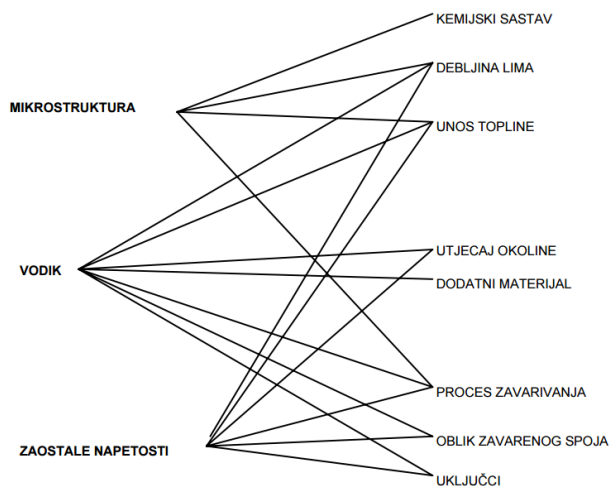
Hladne pukotine su najčešći tip pukotina koja se pojavljuje u praksi. Nastaju pri hlađenju zavara od 200 °C do 0 °C, te također mogu nastati i nekoliko dana (~ 48 h) nakon zavarivanja. Zbog toga se nazivaju i zakašnjele hladne pukotine. Materijali kod kojih se pojavljuju su ugljični čelici s većim postotkom ugljika i mangana, visokočvrsti čelici, martenzitni čelici i aluminijske legure.



*Slika 2. Hladna pukotina u ZUT – u kod sučeljenog spoja [1]*

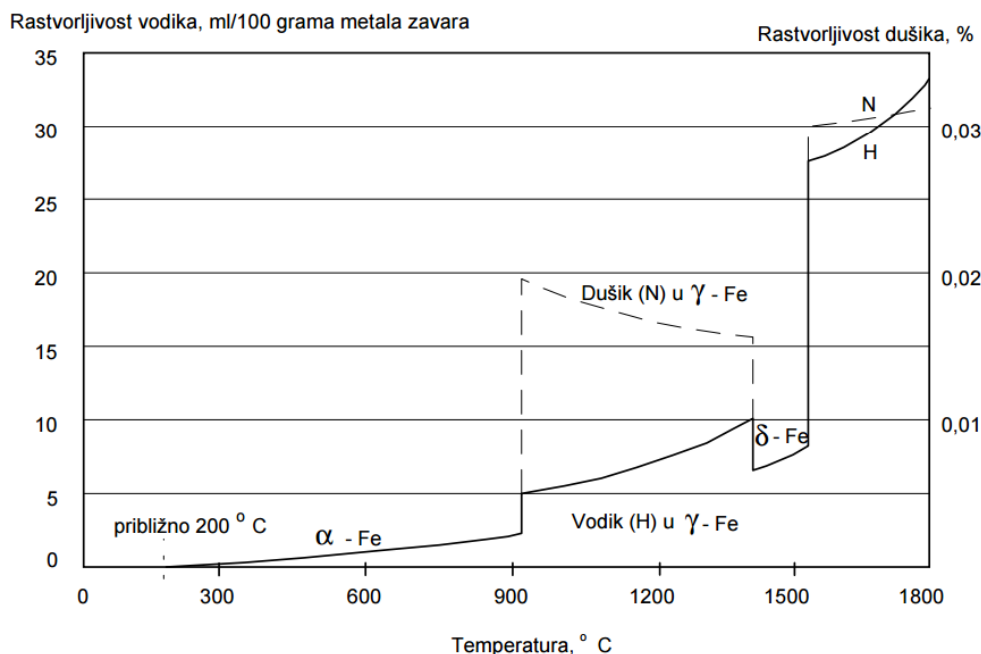
Mogu biti uzdužno ili poprečno položene na zavar ili na prijelazu u osnovni materijal. S obzirom na smjer rasprostiranja govorimo o longitudinalnim (L) i transverzalnim (T) pukotinama. Mogu biti vidljive i nevidljive za ljudsko oko odnosno mikro ili makro pukotine.

Postoje tri glavna uzroka za nastajanje hladnih pukotina. To su sklonost materijala zakaljivanju odnosno mikrostruktura materijala, zatim postojanje zaostalih napetosti u materijalu i količina difuzijskog vodika. Da bi pukotine uopće nastale moraju biti prisutni svi uzročnici. Na slici 3. vidimo kako oni utječu na neke bitne čimbenike kod zavarivanja.



*Slika 3. Shema uzročnika nastajanja pukotina [3]*

Dakle, vidimo da je jedan od glavnih uzroka za nastajanje hladnih pukotina difuzijski vodik. Ponekad on ne izazove pukotine nego vrstu poroznosti u praksi poznatu kao “riblje oči“ ili “pahuljice“. Da bi pukotine nastale veoma je važna i temperatura o kojoj ovisi rastvorivost vodika kao što je prikazano na dijagramu na slici 4.



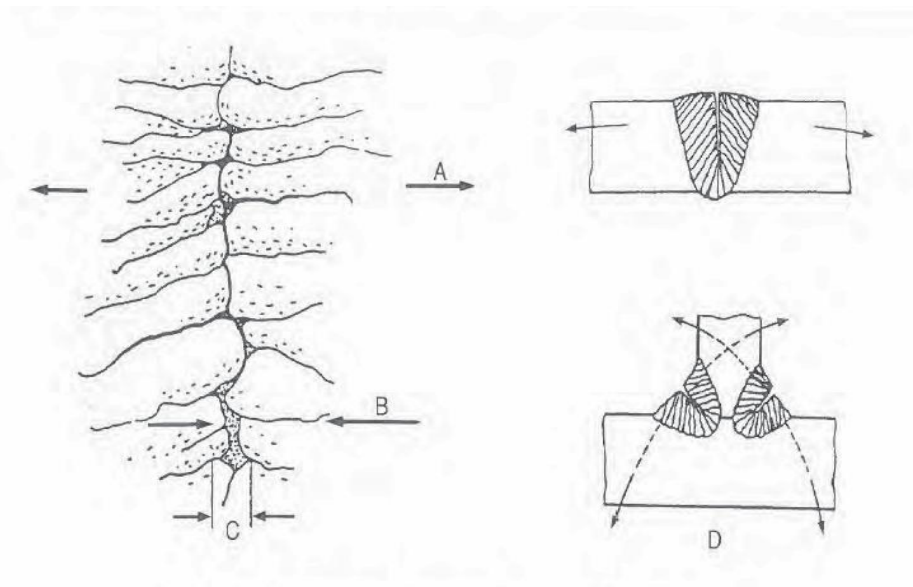
Slika 4. Prikaz rastvorivosti vodika i dušika u čistom željezu [3]

### **Tople pukotine** (eng. Hot cracks)

Ove pukotine nastaju na visokim temperaturama (obično iznad 1200 °C) tijekom hlađenja taline do čvrstog stanja. Prostiru se po granicama zrna materijala i to najčešće po dužini u sredini zavara, a moguće su i u ZUT-u. Posljednja faza skrućivanja metala zavara kod visokih temperatura dovodi do naprežanja koju zavar ne može izdržati, što se smatra glavnim uzrokom nastajanja toplih pukotina. Također, postojanje niskotaljivih faza u strukturi osnovnog materijala je uzrok nastajanja toplih pukotina.

Postoje kristalizacijske i podsolidusne tople pukotine. Kristalizacijske nastaju u ZT pri kristalizaciji (Slika 5). Podsolidusne pukotine još se nazivaju i likvacijske. One nastaju u ZUT-u, a moguće je njihovo širenje i u smjeru ZT-a i u smjeru osnovnog materijala. Posljedica su strukturnih nehomogenosti.

Tople pukotine su posebno izražene kod povećanja onečišćenja taline u posljednjoj fazi skrućivanja i kod nepovoljnog oblika zavara. Njihova površina je tamnije boje jer dolazi do reakcije površine pukotine i kisika (Slika 6).



Slika 5. Shematski prikaz mehanizma nastajanja toplih pukotina [1]

A – pravac skupljanja metala zavara kod skrućivanja

B – pravac skrućivanja metala zavara

C – preostala talina na granici zrna

D – pravci opiranja osnovnog materijala skupljanju zavara

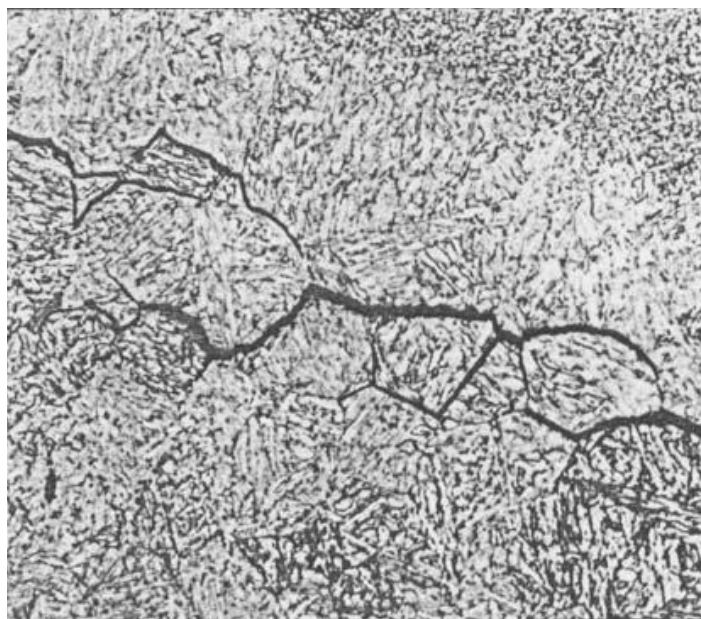


Slika 6. Karakteristična topla pukotina kod zavarivanja aluminija – sučeoni spoj [1]

### **Pukotine nastale naknadnim zagrijavanjem ili toplinskom obradom**

Ta vrsta pukotina najčešće nastaje u niskotemperaturnom području zbog prevelike brzine zagrijavanja i pri naglom hlađenju zavarenog spoja. Mogu nastati i nakon platiranja ispod samog sloja ako se platiranje izvodi putem navarivanja EP postupkom.

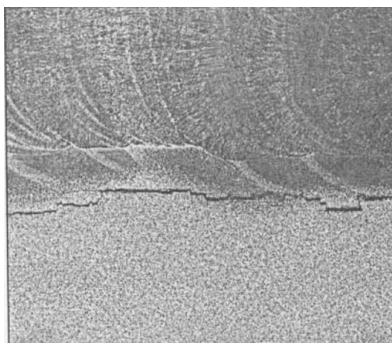
Ove se pukotine mogu izbjeći primjenom dvoslojnog platiranja, tako da se prvi sloj navaruje sa manjim toplinskim inputom, a drugi sa većim toplinskim inputom (time se postiže efekt normalizacijskog žarenja zone utjecaja topline prvog sloja).



*Slika 7. Primjer pukotine nastale naknadnim zagrijavanjem zavarenog spoja [5]*

### **Lamelarno odvajanje** (eng. Lamellar tearing)

Lamelarno odvajanje nastaje u ZUT-u (Slika 8) i obično se dalje širi na osnovni materijal. Nastaju kao posljedica postojanja nehomogenosti u osnovnom materijalu i djelovanja napreznja zbog topline unesene zavarivanjem. Javljaju se neovisno od debljini materijala kod neumirenih čelika, tj. čelika s viškom kisika u sastavu. Mogu se dalje širiti u bilo kojem smjeru.



*Slika 8. Primjeri pukotine u smjeru osi zavarenog spoja uslijed lamelnog odvajanja [1]*

Ako je materijal sklon lamelarnom odvajanju može se zavariti relativno uspješno ako se koristi smanjeni unos topline, odnosno ako se zavaruje u više prolaza ili nema velike penetracije. Također se na osnovni materijal može nanijeti i austenitni čelik da bi se smanjila mogućnost nastanka takvih pukotina.

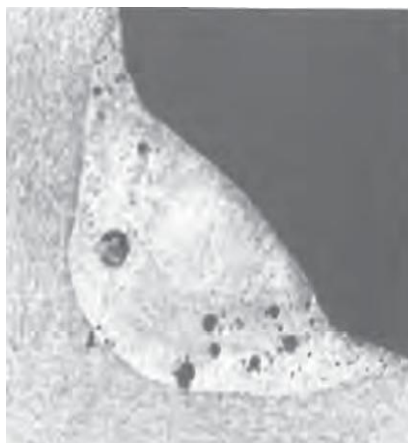
### **2.2.2. Šupljine – poroznost**

Poroznost je također sinonim i za plinske uključke. To su mjesta u zavaru ispunjena stlačenim plinom. Metal u rastaljenom stanju može upiti znatne količine plinova što uzrokuje



nastajanje poroznosti u zavaru. Kisik ulazi u zavareni spoj s ugljikom u obliku ugljičnog monoksida (CO), dok vodik i dušik izravno ulaze. Oni ulaze u talinu iz električnog luka, gdje dolaze iz okoline atmosfere, iz vlage i drugih nečistoća, što se nalaze na površini osnovnog materijala i na dodatnom materijalu. Ohlađivanjem taline plinovi naglo izranjaju iz metala u obliku mjehurića. Ako je brzina izlučivanja manja od brzine skrućivanja metala, plinovi ostaju zarobljeni u zavaru.

Veličine su im različite, od mikroskopskih do onih koji dosežu i nekoliko milimetara. To ovisi o količini izlazećeg plina iz taline metala zavara i brzine skrućivanja.



*Slika 9. Poroznost u zavarenom spoju kod MIG zavarivanja aluminija [1]*

Ove greške različito utječu na čvrstoću zavarenog spoja. Ovisi o veličini, broju, obliku i mjestu poroznosti te vrsti i zahtjevima na kvaliteti konstrukcije. U dinamički opterećenim konstrukcijama poroznost u zavarenom spoju djeluje štetno. S vremenom dolazi do pojave pukotina povezivanjem između pojedinih pora, naročito kad su blizu jedna do druge.

### **2.2.3. Čvrsti uključci**

Čvrsti uključci su strana tijela u zavarenim spojevima koja mogu biti nemetali (npr. troska) ili metali (npr. uključak volframa). Razlog postojanja troske u zavarenom spoju je nedovoljno postojanje čistoće među slojevima zavara. Troska se teško čisti, naročito na nepristupačnim mjestima ili oštećenjima žlijeba. mogu nastati podvlačenjem taline troske pod talinu metala. Može nastati i kod sporog zavarivanja tj. nepravilnog rada, gdje troska ide ispod taline metala, i to bježi ispred električnog luka.

Osim grubih uključaka koji se relativno lagano mogu otkriti, može se naći još niz drugih sitnih uključaka koji su nastali u procesu zavarivanja, kao posljedica kemijskih reakcija, a to su: sulfidni, nitridni, fosfidni uključci. Nalaze se većinom na granicama kristala i usko su povezani s nastajanjem pukotina.



*Slika 10. Uključci troske u zavarenom spoju kod MAG zavarivanja [1]*

Zbog uključaka stranog metala povećavaju se koncentracije naprezanja u zavaru i dovodi do smanjenja čvrstoće. Čvrstoća također ovisi i o količini obliku i veličini uključaka. Dugački uključci također smanjuju presjek zavara, što zajedno sa oštrim rubovima djeluje kao inicijator pukotina. Sitni uključci kuglastih oblika i manjih količina nisu opasni te djeluju kao poroznost takvog oblika.

#### **2.2.4. Ostale pogreške**

U zavarenim spojevima ima još puno tipova pogrešaka. Neke od najvažnijih su naljepljivanje i nedovoljni provar, zatim su tu pogreške oblika zavara i neka oštećenja nastala u izradi.

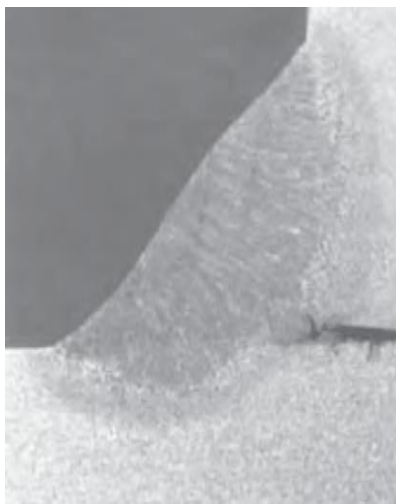
Naljepljivanje je pogreška nepostojanja čvrste strukturne veze u zavarenom spoju ili navaru. To se događa zbog nalijeganja taline dodatnog materijala na hladnu nepretaljenu površinu spoja ili na sloj zavara koji je ranije nanesen. Najčešći uzroci su nepravilna priprema spoja, neispravni parametri zavarivanja te nepravilna tehnika rada. Teško se pronalazi postojećim metodama kontrole, što stvara dodatne poteškoće.



*Slika 11. Primjer naljepljivanja u zavarenom spoju [1]*

Nedovoljan provar je nedovoljno protaljšivanje po cijelom presjeku zavarenog spoja, odnosno neprovarivanje korijena. Može biti unutarnja greška ako se zavaruje s obje strane, ili vanjska ako je zavarivanje jednostrano. Unutrašnje pogreške zavara koje se izvode bez žlijebljenja, obično

nastaju zbog nedovoljno izlijebljenoga korijena zavora ili premale jakosti struje zavarivanja. Smanjuje čvrstoću zavarenog spoja i po geometriji su najbliže pukotinama, a mogu biti i polazna točka loma u uvjetima iskorištavanja. Posebno su opasne na dinamički opterećenim konstrukcijama.



*Slika 12. Nprovarenost korijena kod kutnog spoja [1]*

Svako odstupanje od zadanog oblika zavora naziva se pogreška oblika zavora. Ove pogreške nisu estetske prirode, nego znatno utječu na nosivost zavarenog spoja. Veću pozornost treba obratiti na dinamički opterećene konstrukcije, gdje pogreške oblika zavora posebno dolaze do izražaja. Pogreške oblika zavora imaju veliku prednost jer su dobro vidljive (osim u izuzetnim slučajevima) i mjerljive vizualnim pregledom. Stoga je njihovo određivanje relativno jasno. To je bio i jedan od glavnih razloga što su bile zapostavljene, u razvoju otkrivanja, u odnosu na otkrivanje pod površinskih pogrešaka.



*Slika 13. Preveliko nadvišenje zavora [1]*

### **2.3. Kontrola zavarenog spoja**

U svim fazama izrade i eksploatacije zavarenih spojeva postoji kontrola i ispitivanje. Ti se poslovi veoma često poistovjećuju te u praksi nisu djeljivi. Osnovna zadaća im je da stvore uvijete za nesmetano izvođenje zavarenog spoja, a ne otkrivanje niti otklanjanje pogrešaka

nastalih u zavarenom spoju. U svim fazama gdje se vodi računa o kakvoći zavarivanja, kao njegov sastavni dio treba biti ugrađen postupak kontrole zavarenog spoja u procesu njegovog nastajanja, jer zavareni spojevi kao elementi moraju osigurati dovoljnu razinu pouzdanosti.

Postoje tri karakteristične faze u kojima se kontrola kvalitete zavarenih spojeva izvodi:

- prije početka zavarivanja;
- tijekom izvođenja zavarivanja;
- nakon završenog zavarivanja.

Sve vrste kontrola treba provoditi organizirano i dosljedno.

Postupci kontrole trebali bi biti sastavni i nezaobilazni dio procesa nastajanja zavarenog spoja. Ispitivanja, za razliku od kontrole, se uglavnom provode u laboratorijima. Laboratorijska ispitivanja imaju prvenstvenu zadaću ustanovljavanja i dokazivanja određenih svojstava zavarenog spoja, moguće kao dopuna nerazorne kontrole, iako se i ti postupci često izvode u laboratorijima.

### 3. VRSTE NERAZORNIH ISPITIVANJA ZAVARENIH SPOJEVA I NJIHOV OPIS

Nerazorna ispitivanja materijala pa tako i zavarenih spojeva jedan su dio kontrole kvalitete. To je kontrola koja svojim djelovanjem ne utječe na svojstva zavarenog spoja. Drugi naziv nerazornih ispitivanja je defektoskopija. Taj se naziv koristi za sve metode nerazornih ispitivanja, osim možda za vizualnu kontrolu. Njihova primjena je čvrsto vezana samo uz otkrivanje i određivanje podpovršinskih pogrešaka u zavarenom spoju obrađenih euro normama EN 26520 i EN 25817. Mogu se koristiti samo po osnovi uzorkovanja za privatna istraživanja, ili za 100-postotnu provjeru materijala u ozbiljnim proizvodnim sustavima kontrole kvalitete.

Pošto su zasnovana na visoko-tehnološkom konceptu, razvoj opreme učinio ih je dovoljno snažnima za primjenu u industrijskom okruženju u bilo kojoj fazi proizvodnje. No ipak potrebna je i određena količina znanja i vještine da bi se prikupila maksimalna količina traženih podataka o proizvodu.

Tabela 4. Mogućnost primjene metoda nerazorne kontrole [1]

Metoda nerazorne kontrole		Vizualna kontrola	Prozračavanje	Prozvučavanje	Magnetske čestice	Penetranti
Tipovi pogrešaka						
Pukotine /101-106/	manje površinske	(+)	-	(+)	+	+
	veće površinske	+	(+)	+	+	+
	podpovršinske	-	(+)	+	(+)	-
Poroznost /201-224/	površinska	+	+	(-)	+	(+)
	u zavaru	-	+	+	-	-
Čvrsti uključci /301-3014/		-	+	+	-	-
Naljepljivanje /401/		-	-	+	-	-
Nedovoljno provarivanje /402/	vanjsko	+	+	(+)	+	+
	u zavaru	-	+	+	(-)	-
Pogreške oblika /501-517/		+	(-)	(-)	-	-
Ostale pogreške /601-606/		-	-	-	(-)	(-)

Pojašnjenje simbola:

- + dobra mogućnost određivanja
- (+) mogućnost uvjetovana geometrijom i sl.
- (-) vrlo ograničena i nelogična primjena
- praktička neprimjenjivost metode

Postoji puno metoda koje pripadaju skupini nerazornih ispitivanja no samo se nekolicina njih redovno koristi u praksi. Ali, te metode imaju relativno ograničenu sposobnost u pouzdanom

otkrivanju i određivanju pojedinih tipova pogrešaka te nisu primjenjive na sve oblike i konfiguracije konstrukcije (Tablica 4).

Metode nerazornih ispitivanja su:

- vizualna metoda
- dimenzionalna metoda
- penetrantska metoda
- magnetska metoda
- ultrazvučna metoda
- radiografska metoda
- akustička emisija
- ostale metode

### **3.1. Vizualna kontrola**

Vizualna kontrola je osnovna kontrola koja pripada NDT skupini kontrole zavarenih spojeva. Također je i najvažnija jer sva kontrola počinje tom metodom. Jedini je tip nerazorne kontrole koji može uočiti, predvidjeti mjesto i uzrok nastajanja pogreške te pridonijeti odlukama u svim fazama nastajanja zavarenog spoja. Vizualnom kontrolom se mogu otkriti razne površinske pogreške: veće pukotine, neprovaren korijen, površinske poroznosti, te nepravilnosti oblika lica i korijena zavara kao što se vidi iz Tablice 4. No također, svjesnim provođenjem postupka kontrole i iskustvom mogu se otkriti i neke pogreške koje su označene simbolom – u Tablici 4.

Za vizualnu kontrolu površina treba biti čista, a svijetlost dovoljno jaka. Ta metoda kontrole relativno je jeftina, ne oduzima puno vremena, a može dati vrlo korisne informacije kako o kvaliteti zavarenih spojeva, tako i o potrebi kontrole nekom drugom metodom. Kontrolori zavarenih spojeva slijede procedure koje se protežu od jednostavnog pregleda konstrukcije da bi se vidjele površinske nepravilnosti pa do izvođenja različitih mjerilačkih operacija da bi se osigurala sukladnost sa propisanim standardima.

Osnovni i najčešće korišteni instrument vizualne kontrole je ljudsko oko. Ono, uz kontrolorovo znanje i iskustvo te moć analitičke prosudbe daje instrument kojeg još uvijek ne može nadmašiti ni najsofisticiraniji postojeći kompjutorski sustav. No danas postoje mnoga tehnička pomagala (Slika 14) koja služe na ispomoć ljudskom oku kod ove metode nerazornog ispitivanja, te ih možemo podijeliti u četiri osnovne skupine a to su pomagala za površine, pomagala za mjere, pomagala za električno mjerenje te ostala pomagala.



*Slika 14. Primjer vizualne kontrole uz pomoć mjerila*

Vizualni pregled s dobrim osvjetljenjem služi za lociranje sumnjivih područja pogrešaka kod velikih konstrukcija i teške opreme. Jednom locirana, sumnjiva područja mogu biti detaljnije ispitana i procijenjena u detalje.

Ova metoda može poslužiti i za provjeru rezultata nekih drugih NDT metoda kao što je na primjer ispitivanje ultrazvukom. Pri tome kontrolor izvodi fizikalna mjerenja uz pomoć mjerila kao što su mikrometar te opružno mjerilo dubine. Vizualni izgled te boja zavarenog spoja također može pružiti uvid u uzrok i veličinu greške te pomoći u određivanju mogućnosti prihvaćanja tog zavarenog spoja.

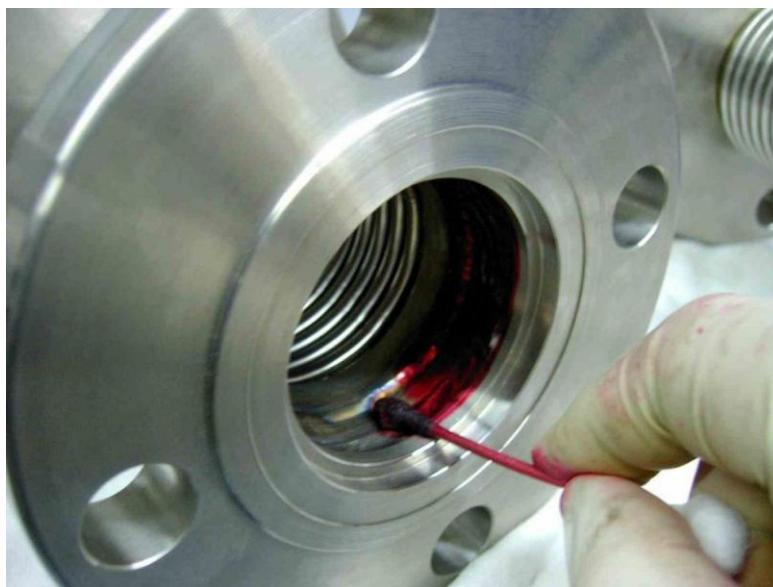
Ova metoda kontrole relativno je jeftina, ne oduzima puno vremena, a može dati vrlo korisne informacije kako o kvaliteti zavarenih spojeva, tako i o potrebi kontrole nekom drugom metodom. Kontrolori također moraju imati ovjerenje o sposobnosti obavljanja ispitivanja kao i ovjerenje okulista da imaju dovoljno dobar vid za obavljanje vizualne kontrole zavarenih spojeva. Primjerci tih ovjerenja nalaze se u Prilozima 1 i 2.

### **3.2. Kontrola tekućim penetrantima**

Također prozvana i “metodom nafte i bijelila“, ova metoda nastala je iz 150 godina stare industrijske kontrole nepropusnosti, tzv. “metode petrolej-kreda“. Iako je široko korištena u industriji na čeličnim pozicijama, metodi je nedostajala osjetljivost te nije bila primjenjiva na puno vrsta površinskih grešaka. Usponom metoda temeljenih na magnetizmu u 1930-tima, metoda petrolej-kreda je nestala iz uporabe. No ubrzo se javila potreba za jednostavnom metodom koja se može primijeniti na nemetalnim ili nemagnetičnim materijalima da bi se otkrile površinske nepravilnosti.

Osnova korištenja je u svojstvu tekućina, kapilarnosti, koje su pretežno osnovane na lakim uljima i nazivaju se penetrantima. Također je važno da te tekućine budu jasno vidljive i fluorescentne tako da nebi bilo poteškoća s njihovim uočavanjem. Njihov zadatak je da prodiru u

šupljine i ispune ih. Nakon toga se izvlače iz šupljine na pogodan način i ako ga uspijemo učiniti vidljivim, stvaraju se uvjeti za penetrantsku metodu kontrole. Dobar penetrant mora ulaziti u vrlo tanke otvore, ostati u relativno grubim otvorima, imati dobru sposobnost kvašenja površine, te se mora jednostavno odstranjivati s površine nakon nanošenja. Penetrante s obzirom na nanošenje i uklanjanje s površine možemo podijeliti na vodoisparive, ( mogu se ukloniti spužvom koja je natopljena vodom ili tuširanjem ) i penetrante sa naknadnim emulgiranjem. Za njihovo uklanjanje koriste se posebne tekućine koje su bolji ali se rjeđe koriste.



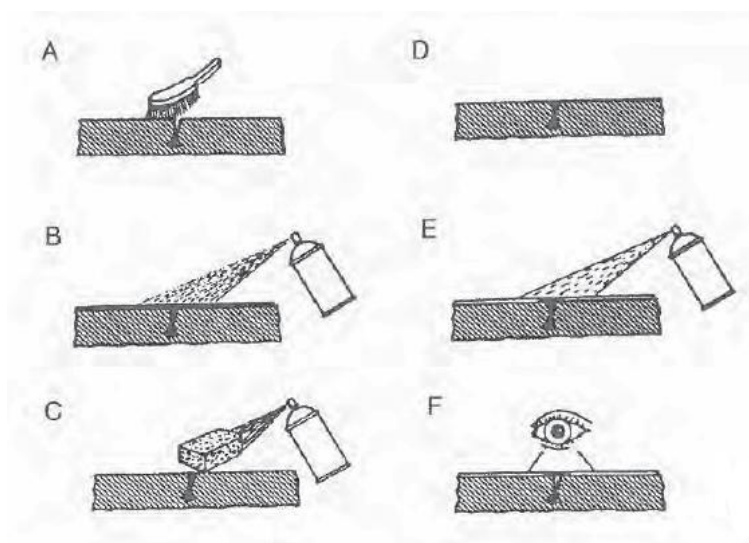
*Slika 15. Nanošenje penetranta na zavareni spoj*

Pošto obojeni penetrant ulazi u površinske nepravilnosti uz pomoć kapilarnosti, slijedi da je metoda ograničena samo na površinske greške ili one podpovršinske greške koje imaju otvor na površini. Ispitivanje tekućim penetrantom nije prihvatljivo za vrlo porozne materijale kao što je neglazirana keramika. U slučaju podpovršinskih grešaka s otvorom na površini, metoda je naročito osjetljiva površinski otvor te relativno neosjetljiva na podpovršinski produžetak nepravilnosti. Podpovršinske nepravilnosti se mogu ponašati kao spremnici penetranta te se mogu dobiti neke indikacije o tome ako je primjećeno pretjerano “krvarenje“ nakon što se nanese razvijlač. Krvarenje se odnosi na apsorpciju penetranta razvijlačem.

Ispitivanje tekućim penetrantima je vrlo jednostavna metoda u primjeni. Nakon što je površina prethodno očišćena i odmašćena (Slika 16A) na nju se nanosi penetrant koji sadrži bojilo (obično je crvene boje) te se tamo zadržava na neko određeno vrijeme (Slika 16B). Tijekom penetracije ili vremena zadržavanja, penetrant se apsorbira u površinske nepravilnosti uz kapilarno djelovanje. Nakon što je prethodno određeno vrijeme zadržavanja prošlo, višak penetranta se odstranjuje s površine (Slika 16C). Najzad, svijetlo obojen razvijlač (obično bijele boje) nanosi se na površinu (Slika 16E) te izvlači nešto preostalog penetranta van iz grešaka.



Kako razvijatelj apsorbira penetrant, on se širi prema van te stvara naznake (Slika 16F) koje su značajno šire i lakše se mogu primijetiti nego što je to slučaj sa stvarnim površinskim greškama.



Slika 16. Postupci penetrantske kontrole

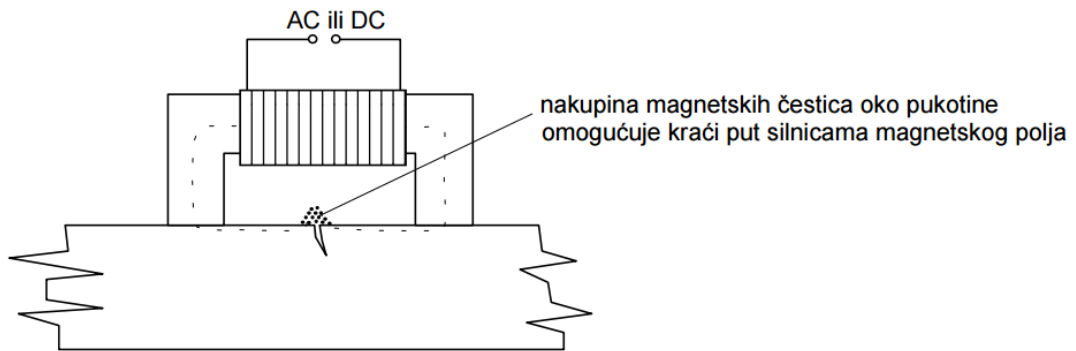
Tekući su penetranti odabrani prema sposobnosti prodiranja, a boja je odabrana prema njenom sjaju. Obojena bojila moraju biti jasno uočljiva na vidljivoj svjetlosti, a fluorescentna bojila na ultraljubičastom ili "crnom svjetlu". U stvarnosti, samo mala količina boje je izvučena iz greške tijekom razvijanja.

### 3.3. Kontrola magnetskim česticama

Materijali koji sadrže željezo, nikel i kobalt snažno privlače sami sebe i međusobno jedni druge kad su namagnetizirani, njih zovemo feromagnetičnim materijalima. Osnovno svojstvo kontrole magnetskim česticama je da djeluje samo na takvim materijalima. No to je ujedno i njezin najveći nedostatak.

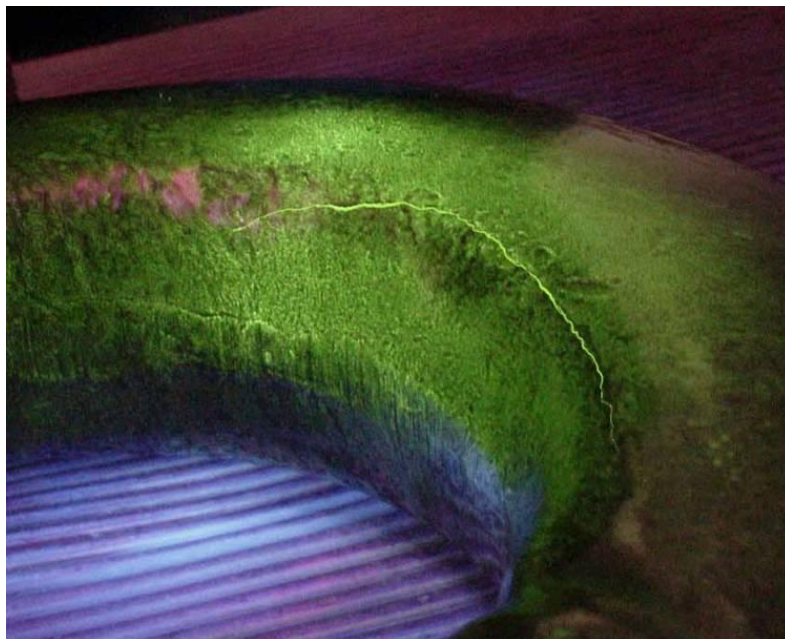
Kontrola magnetskim česticama koristi magnetska svojstva feromagnetičkih materijala da bi locirala površinske i podpovršinske nepravilnosti u zavarenim spojevima (otprilike do dubine 6mm). Propusnost pozicije određuje koliko se lako pozicije mogu magnetizirati; pozicije s manjom propusnošću je puno teže namagnetizirati. Površinske i podpovršinske nepravilnosti kao pukotine uzrokuju prekid magnetske ravnomjernosti ili iznenadnu promjenu propusnosti namagnetizirane pozicije. Ti prekidi u magnetskoj ravnomjernosti postavljaju trenutne magnetske polove i propuštanje toka staze privlači fine magnetske čestice do nepravilnosti. Fini magnetski prašak nagomilava se oko nepravilnosti, smanjujući magnetsko opiranje propuštanju toka te formira jasnu vidljivu indikaciju pogreške. Da bi se otkrila pukotina potrebno je da smjer silnica magnetskog polja bude što više okomito na pukotinu (Slika 17).

Ovom ćemo metodom lako otkriti pogreške kao što su pukotine, zarezi ili veći uključci naročito onih uz ili u blizini površine pregleda. No problem je što se može odrediti samo jedna dimenzija otkrivene pogreške tako da ova metoda nije dovoljna za potpunu dijagnostiku zavarenog spoja.



*Slika 17. Shematski prikaz kontrole magnetnim česticama*

Ovom ćemo metodom lako otkriti pogreške kao što su pukotine, zarezi ili veći uključci naročito onih uz ili u blizini površine pregleda. No problem je što se može odrediti samo jedna dimenzija otkrivene pogreške tako da ova metoda nije dovoljna za potpunu dijagnostiku zavarenog spoja.



*Slika 18. Pogled na nakupine magnetnih čestica oko pukotine*

Dvije su osnovne tehnike uporabe kontrole magnetnim česticama. To su tehnika strujnog prolaza ("ferroflux") (Slika 19) te tehnika posredne magnetizacije („magnetski jaram) sa slike 17.



*Slika 19. Tehnika ispitivanja strujnim prolazom pomoću dvije elektrode*

### **3.4. Ispitivanje ultrazvukom**

Pod ultrazvukom podrazumijevamo mehaničke valove koji se protežu na frekvenciji 20 kHz pa do 10 GHz. Njih ne možemo čuti, ali zato postoje uređaji koji ih mogu odašiljati i primati. No za ispitivanja kao što su ova koriti se samo manji dio tog raspona frekvencije te on iznosi od 0,5 MHz pa do 10 MHz.

Postoje dvije metode kontrole zavara ultrazvukom. To su metoda impuls – odjek te metoda prozvučavanja. No u praksi se najčešće koristi metoda prozvučavanja. Kod ispitivanja se koriste ultrazvučne glave. One mogu biti ravne ili kutne.

Kroz materijal se šalju zvučni valovi određenog spektra frekvencije. Tu se podrazumijeva traženje pogrešaka u materijalu pomoću ultrazvuka ili kako se to naziva ultrazvučna defektoskopija. Od izvora ultrazvuka šire se ultrazvučni valovi kroz materijal koji se kontrolira. Ako u materijalu postoji greška, iza nje će, ovisno o vrsti greške, ultrazvučni valovi oslabiti ili se neće pojaviti (odbiju se od greške). Greška se detektira na razne načine, odnosno refleksijom, rezonancijom, difrakcijom te mjerenjem prigušenja.

Valovi se mogu kretati uzdužno i to je većinom slučaj kod tekućina i plinova i poprečno kod krutih tijela. Kod kretanja ultrazvuka kroz materijal veoma je važna akustična impedencija. Ona je za svaki materijal poznata ali se znatno razlikuje od jednog do drugog materijala. Ultrazvučnom defektoskopijom se ne određuju pogreške nego njome određujemo veličinu položaj i orijentaciju pogreške. Zato je za kvalitetno provođenje potrebno mnogo iskustva i znanja što je i prednost i nedostatak kod primjene ove metode.



Slika 20. Primjer ultrazvučnog ispitivanja zavarenog spoja na cijevi

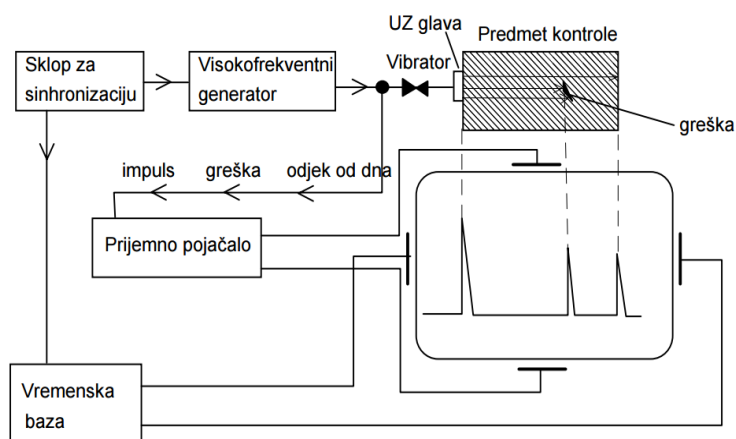
Prednosti primjene ultrazvučnih metoda kontrole kvaliteta zavarenih spojeva:

- nije bitna debljina predmeta;
- potreban je pristup samo s jedne strane;
- okolina nema utjecaj na metodu;
- uređaj i pribor su maleni i lako prenosivi;
- provođenje ne zahtijeva zaštitna sredstva i dr.

Nedostatci su:

- složeni oblici mogu biti nepogodni za provođenje;
- uvježbavanje operatora je dugotrajno i
- pouzdano određivanje pogreške zahtijeva pristup s više strana, a time i značajan utrošak vremena.

Bez obzira na nedostatke ova metoda je u širokoj primjeni u kontroli zavarenih spojeva. Posebno je prikladna za otkrivanje pukotina, ali se koristi i za otkrivanje drugih grešaka.



Slika 21. Shematski prikaz ultrazvučnog ispitivanja zavarenog spoja [3]

### 3.5. Ispitivanje radiografijom

Radiografija je metoda nerazornih ispitivanja dijelova i sklopova koja se temelji na razlikama u apsorpciji zračenja dijela ili cijelog komada koji se ispituje. Količina zračenja koje će predmet apsorbirati ovisi o apsorpcijskim karakteristikama samog materijala, kao i gustoći i debljini istog. Zračenje koje materijal ne upije odnosno apsorbira koristi se za izradu zapisa na filmu ili fotosenzitivnom papiru ili se može detektirati odnosno prikazati pomoću različitih uređaja. Konvencionalna radiografska metoda podrazumijeva zapisivanje trajne slike na filmu ili papiru (xeroradiografija, eng. xeroradiography), iako bi se u pravilu trebala odnositi na sve poznate radiografske metode kontrole. U radu se naglasak stavlja upravo na zapis na filmu.

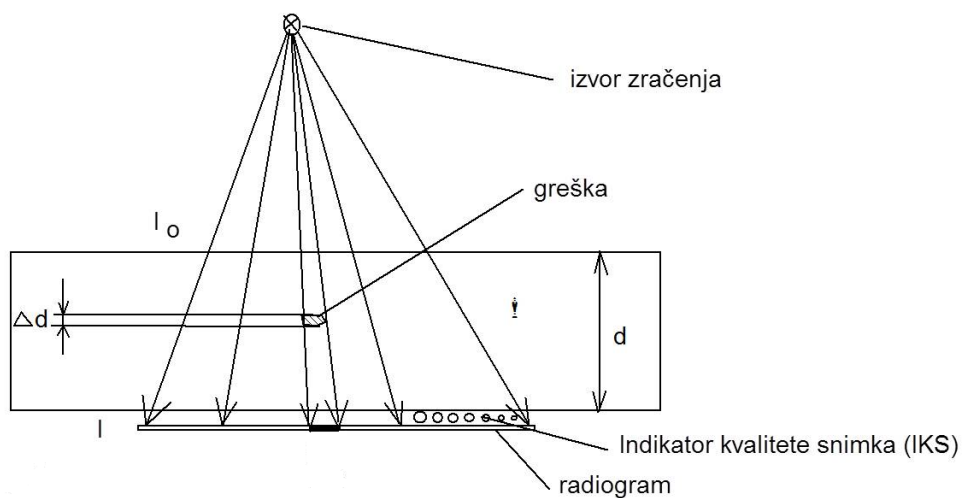


*Slika 22. Primjer radiografskog ispitivanja zavarenog spoja na cijevi*

Objekt koji se ispituje izlaže se X ili  $\gamma$  zrakama. Zračenje koje materijal nije apsorbirao stvara sliku na filmu. Neapsorbirano zračenje aktivira emulziju filma na sličan način kako svjetlost aktivira fotografski film. Razvijanjem filma stvara se dvodimenzionalna slika objekta. Razlike u gustoći, debljini i sastavu materijala objekta koji se ispituje uzroci su varijacijama intenziteta apsorbiranog zračenja i na filmu se očitavaju kao razlike u fotografskoj (optičkoj) gustoći tj. zacrtnjenju. Ocjenjivanje radiograma temelji se na procjenama razlika u zacrtnjenju uzimajući u obzir poznate karakteristike materijala objekta. Veće razlike u zacrtnjenju lakše su uočljive od onih manjih. Sa stajališta mogućnosti detekcije nepravilnosti u materijalu, radiografija se ograničava na otkrivanje grešaka osjetne debljine u smjeru paralelnom sa zrakom. To znači da vjerojatnost detekcije planarnih grešaka poput pukotina ovisi o pravilnom postavljanju ispitnog uzorka. Nepravilnosti poput šupljina ili uključaka, koji imaju mjerljivu debljinu u svim smjerovima lako su uočljive. Općenito gledajući, nepravilnosti koje uzrokuju 2 ili više posto razlike u apsorpciji u odnosu na osnovni materijal moguće je uočiti.

U odnosu na druge NDT metode (npr. ispitivanje magnetskim česticama, penetrantima ili magnetskim česticama), radiografija ima tri osnovne prednosti:

- sposobnost detekcije volumnih nepravilnosti
- sposobnost uočavanja značajnijih varijacija u sastavu materijala
- stvaranje trajnog zapisa
- mogućnost primjene na većini metalnih materijala, kao i nemetalnih materijala i kompozita



Slika 23. Shematski prikaz radiografskog ispitivanja zavarenog spoja [4]

Kao glavni nedostatak radiografskog ispitivanja treba istaknuti njegovu cijenu. Zahtijevana su povećana kapitalna ulaganja u opremu, kao i osiguranje dostatnog prostora i opreme laboratorija za provođenje i evaluaciju rezultata samih ispitivanja.

Radiografska metoda ispitivanja intenzivno se koristi kod ispitivanja zavarenih spojeva, kao i odljevaka poglavito onih kod kojih nije dozvoljeno postojanje volumnih nepravilnosti. Primjer toga je čest zahtjev za radiografsko ispitivanje debelostijenih odljevaka i zavarenih spojeva posuda pod tlakom.

## 4. EKSPERIMENTALNI DIO

Eksperimentalni dio ovog rada izveden je u dvije tvrtke. Prva od njih je Radionica željezničkih vozila Čakovec d.o.o., a druga je tvrtka MIDI d.o.o. iz Ivanovca.

Radionica željezničkih vozila (RŽV) Čakovec d.o.o. nalazi se u Čakovcu, Kolodvorska 6. Tvrtka je smještena uz sam željeznički kolodvor s kojim je cijeli prostor radionice povezan prugom (kolosijecima). U današnjem obliku tvrtka posluje od 1. srpnja 1993. U 100%-tnom je vlasništvu HŽ-a. Tvrtka se bavi izradom, održavanjem i popravkom novih specijalnih teretnih vagona serije Saadkms-z za prijevoz teretnih vozila.



*Slika 24. Radionica željezničkih vozila Čakovec d.o.o.*

MIDI d.o.o. nalazi se u Ivanovcu, M.P. Miškine bb. Osnovna djelatnost tvrtke je izrada i montaža čeličnih konstrukcija, metalne opreme, strojeva te dijelova strojeva i industrijskih postrojenja.



*Slika 25. MIDI d.o.o.*

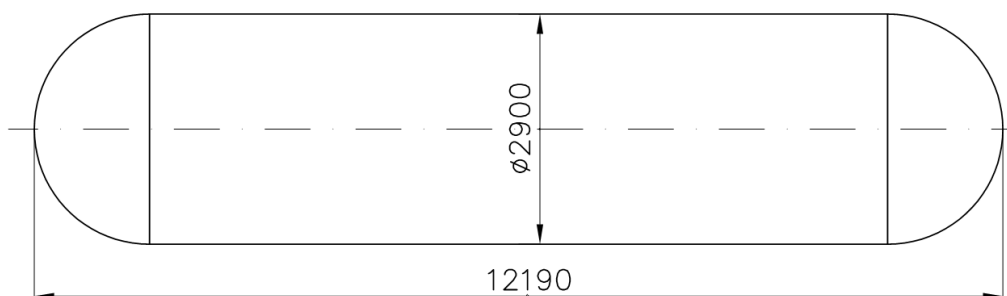
## 4.1. Nerazorna ispitivanja na primjeru cisterne u RŽV Čakovec d.o.o.

### 4.1.1. Opis postupka

U prvom primjeru eksperimentalnog rada provedeno je ispitivanje zavarenih spojeva na spremniku pod tlakom vagon cisterne serije Zas-Z 796. Spremnik je proizveden 1986. godine, a ove je godine provedena sanacija podnog djela prvog plašta (od ukupno 5 plašteva koji čine spremnik). Plašt spremnika izrađen je od lima debljine 8 milimetara, a materijal lima je S335J2+N (prema DIN-u). Nakon sanacije provedena su ispitivanja zavarenih spojeva na spremniku. Dakle, provedeno je vizualno i penetrantsko ispitivanje. Potpun izvještaj o sanaciji spremnika nalazi se u Prilogu 3.



Slika 26. Vagon cisterna serije Zas – Z [10]



Slika 27. Dimenzije spremnika cisterne [10]

Kod penetrantskog ispitivanja korišten je obojeni tekući penetrant TIEDE PWL-1. On je crvene boje sa kontrastom. Može biti ispran vodom ili pak odstranjen otapalom. U tablici 5 prikazana su neka njegova svojstva. Nakon nanošenja višak penetranta se odstranio čistim, bezbojnim otapalom TIEDE RL-40. Na kraju se nanio razvijlač TIEDE DL-20 (Tablica 6).



Tabela 5. Osnovna svojstva penetranta PWL-1

Svojstvo	PWL-1
Boja	Tamno crvena
Miris	Blag
Temperatura zapaljenja	> 93°C (glavnina proizvoda)
Gustoća	0,88 g/cm <sup>3</sup>
Viskoznost	8,00 mm <sup>2</sup> /s
Sadržaj sumpora	< 300 ppm
Sadržaj klorida	< 300 ppm
Temperatura skladištenja	10°C – 50°C
Temperatura korištenja	2°C – 55°C
Pokrivenost (približno)	Jedna aerosol: 14 – 19 m <sup>2</sup> Jedna litra: 30 – 40 m <sup>2</sup>

Tabela 6. Osnovna svojstva razvijaa DL-20

Svojstvo	DL-20
Boja i oblik	Bijela suspenzija
Miris	Alkoholni
Temperatura zapaljenja	-6°C (glavnina proizvoda) -40°C (aerosol)
Gustoća	0,88 g/cm <sup>3</sup>
Sadržaj sumpora	< 300 ppm
Sadržaj klorida	< 300 ppm
Sadržaj fluorida	< 50 ppm
Temperatura skladištenja	10°C – 30°C
Temperatura korištenja	< 50°C (aerosol)
Pokrivenost (približno)	Jedna aerosol: 4,5 – 6 m <sup>2</sup> Jedna litra: 15 – 18 m <sup>2</sup>

Na početku procesa penetrantskog ispitivanja bilo je potrebno očistiti površine koje je ispituju. Za to je bilo korišteno otapalo TIEDE RL-40 koje se koristi i za odstranjivanje viška penetranta kasnije. Te površine su također bile očišćene (žlijebljene) brušenjem prije ispitivanja.



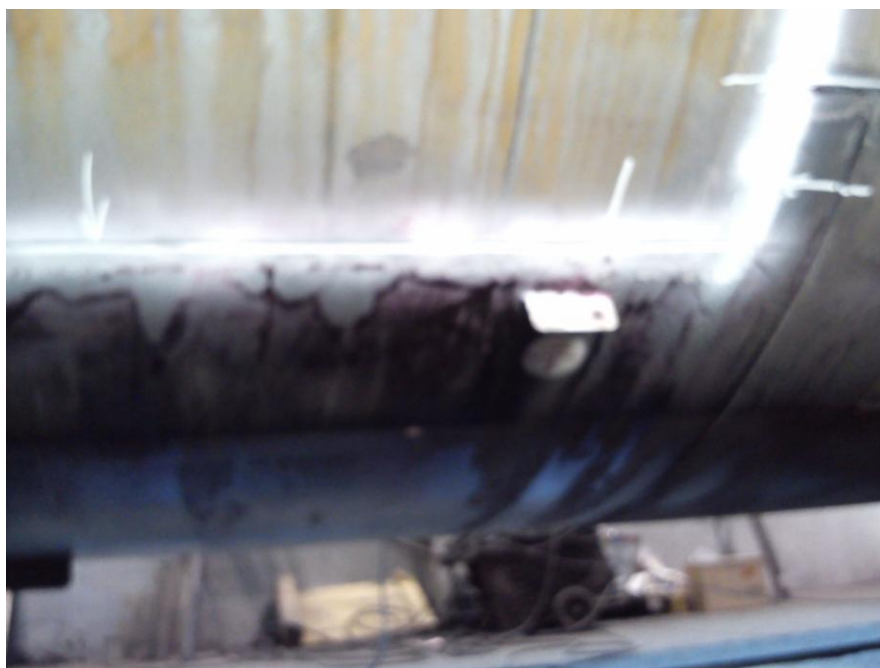
Slika 28. Očišćene površine zavarenih spojeva

Dakle, nakon što su zavareni spojevi pripremljeni za penetrantsko ispitivanje, na spojeve se nanosi penetrant (Slika 29). Potrebno je neko vrijeme da penetrant uđe u nepravilnosti te se nakon toga odstranjuje otapalom.



*Slika 29. Naneseni penetrant na zavarenim spojevima*

Nakon što je višak penetranta odstranjen nanosi se razvijlač bijele boje na penetrant (Slika 30). Bilo je potrebno pričekati da penetrant koji je ostao na zavarenim spojevima, onaj u površinskim nepravilnostima, reagira s razvijlačem i izađe na površinu (slika 31).



*Slika 30. Naneseni razvijlač po zavarenom spoju*



*Slika 31. Mrlje na razvijaču koje označuju nepravilnosti*

Bilo je potrebno da kontrolor pregleda ispitane površine te da utvrdi gdje se nepravilnosti nalaze. Pri tome je koristio svjetiljku da bi se penetrant lakše uočio (slika 32). Mjesta tih nepravilnosti označena su strelicama pomoću krede.



*Slika 32. Pregled zavarenih spojeva nakon ispitivanja*

Ovaj spremnik je također ispitan i radiografijom no to je izvedeno u Zavodu za zavarivanje, ispitivanje i tehnologiju (ZIT) u Zagrebu. Izvještaj se nalazi u Prilogu 4.

#### 4.1.2. Rezultati ispitivanja

Ispitani zavareni spojevi kod sanacije prvog plašta spremnika vagon cisterne trebaju biti što je moguće više kvalitete pošto se radi o spremniku pod tlakom. Takvi spremnici mogu biti opasni jer prevoze razne opasne medije. Pošto je spremnik izrađen pomoću zavarivanja, potrebno je te zavarene spojeve ispitati da bi se znala njihova točna kvaliteta.

Nakon što je ispitivanje završeno te su označena mjesta pogrešaka bilo je potrebno procijeniti o kakvim se greškama radi te o njihovoj ukupnoj količini. Utvrđeno je da postoji nekoliko nedopuštenih nepravilnosti u ispitanim spojevima. Kao što govore izvješća u Prilozima 3 i 5, sve greške koje su pronađene, a pokazalo se da su nedopuštene, bile su nakon toga sanirane (Slika 33) te su ta mjesta ponovo ispitana.



*Slika 33. Izgled zavarenih spojeva nakon sanacije pogrešaka s vanjske strane spremnika*

Radiografsko ispitivanje zavarenih spojeva na tom spremniku također pokazuje da postoji manji broj pogrešaka koje nisu prihvatljive te ih je potrebno sanirati. No ipak spremnik je dobio certifikat da je sposoban za daljnju eksploataciju.

#### 4.1.3. Analiza rezultata

Rezultati ispitivanja zavarenih spojeva na ovom spremniku pokazali su se zadovoljavajući. S obzirom da je bilo pronađeno nekoliko grešaka koje nisu dopuštene prema klasifikaciji prihvatljivosti grešaka u zavarenim spojevima, bila je potrebna njihova naknadna sanacija te ponovno ispitivanje tih mjesta gdje su greške pronađene. Budući da se radi o sanaciji spremnika starosti 30 godina, teško je očekivati visoku kvalitetu zavarenih spojeva zbog stanja materijala. No ipak, upotrebom provjerene tehnologije zavarivanja sanacija spremnika je prošla zadovoljavajuće te može sigurno biti u eksploataciji neko vrijeme.

## 4.2. Ultrazvučno ispitivanje na primjeru čelične konstrukcije u MIDI d.o.o.

### 4.2.1. Opis postupka

U drugom primjeru eksperimentalnog rada provedeno je ispitivanje zavarenih spojeva na limu (Slika 34) koji služi kao pod u konstrukciji koju proizvodi MIDI d.o.o. Na limu se nalazi jedan zavar podijeljen na dva dijela. Zavareni spoj je izveden MIG postupkom, u obliku V-spoja te se nalazi u B kategoriji po klasifikaciji zavarenih spojeva prema standardu EN 5817:2014. Debljina lima iznosi 40 milimetara (mm). Osnovni materijal je LH 380-TLV 12232 (čelični lim) (prema standardu kupca), a dodatni materijal je pobakrena žica SG3 (prema DIN-u).



*Slika 34. Objekt ispitivanja u MIDI d.o.o.*

Nakon što je završeno zavarivanje te se spoj ohladio (Slika 35), bilo ga je potrebno pobrusiti da bi smo dobili ravnu i glatku površinu radi lakšeg ispitivanja ultrazvukom (slika 36). Zavareni spoj nije bio naknadno termički obrađivan.

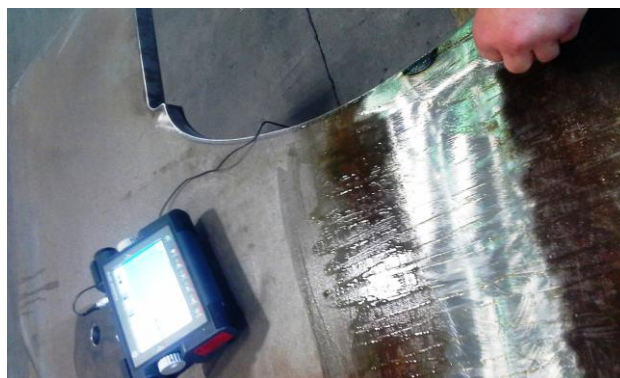


*Slika 35. Zavareni spoj prije brušenja*



*Slika 36. Zavareni spoj nakon brušenja*

Prije ispitivanja ultrazvukom potrebno je bilo zavareni spoj premazati sredstvom za povezivanje (Slika 37) radi lakšeg i nesmetanog kliženja sonde po zavarenom spoju. Kod ovog ispitivanja bio je korišten sprej TIEDE FluoFLUX 690.1 (Slika 38).

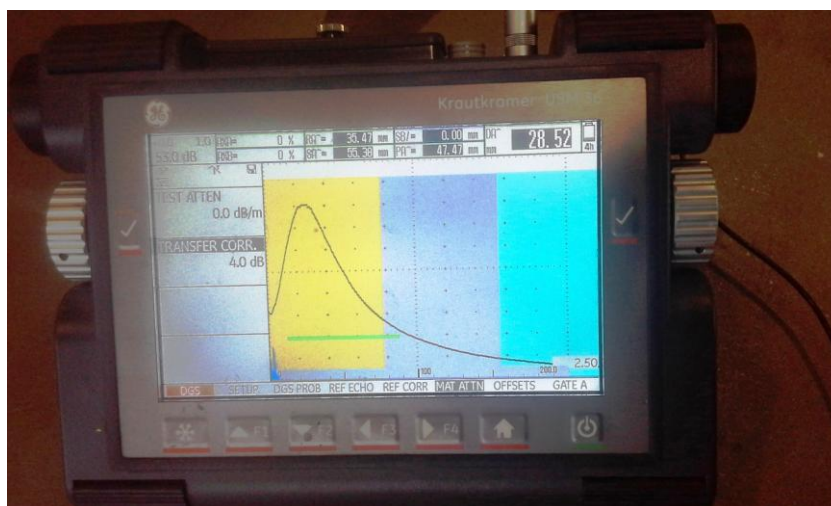


*Slika 37. Priprema zavarenog spoja za ultrazvučno ispitivanje*



*Slika 38. Sprej TIEDE FluoFLUX 690.1*

Kod ovog ispitivanja korišten je detektor grešaka Kraukramer USM 36 (Slika 39), te sonda kutna ultrazvučna glava. Bile su primijenjene dvije ultrazvučne glave tako da je zavareni spoj bio ispitan u dva prolaza, a to su MWB 60 te MWB 70 dimenzija 8×9 mm. Ispitivanje je izvedeno na dužini od 890 mm koliko iznosi i duljina zavarenog spoja.



Slika 39. Detektor grešaka Krautkramer USM 36

Tokom ispitivanja bilo je potrebno stalno pratiti detektor pogrešaka koji je pokazivao kad bismo naišli na neku pogrešku u zavarenom spoju. Znak da smo naišli na pogrešku je manja uzvisina na dijagramu detektora, dok velika uzvisina znači donju površinu objekta koji se ispituje.

Tabela 7. Parametri ultrazvučnog ispitivanja

Parametar	Vrijednost	Jedinica	Oznaka jedinice
Razina procjene	-8	decibel	dB
Razina snimanja	4	decibel	dB
Razina prihvatljivosti	100	posto	%
Frekvencija	4	megahertz	MHz

#### 4.2.2. Rezultati ispitivanja

Prema Prilogu 6 u ovom zavarenom spoju nema grešaka koje nisu dopuštene te je zavareni spoj označen kao prihvatljiv, te spreman za eksploataciju. Nije bilo potrebe za toplinskim obradama na zavarenom spoju, a također ni za popravkom istog.

#### 4.2.3. Analiza rezultata

Pošto je za ovaj zavareni spoj propisana visoka kvaliteta, rezultati ispitivanja dokazuju da je taj zahtjev u potpunosti ispunjen. Činjenica da nije bilo grešaka u zavaru govori da je spoj pravilno konstruiran i izveden.

## 5. ZAKLJUČAK

U industrijskoj proizvodnji pojavljivanje pogrešaka u zavarenom spoju, a naročito njihovo ponavljanje, uzrokuje velike probleme. Uzroci im, međutim, mogu biti u fazama prije proizvodnje kao i u načinu uporabe zavarene konstrukcije. Popravci, kao nužno zlo, mogu uzrokovati trajne negativne posljedice na sposobnost konstrukcije. Zato je za stručnjaka u zavarivanju svih razina važno poznavanje pogrešaka u zavarenom spoju. Shodno tome su analizirane i svrstane pogreške koje se najčešće javljaju. Svrstane su u šest skupina. Dana su mjerila prihvatljivosti pogrešaka, a nakon toga je analizirana kontrola zavarenih spojeva.

Te iste pogreške, ukoliko se pojave, potrebno je i na neki način pronaći u zavarenom spoju da bi se one mogle sanirati ili da se utvrdi je li zavareni spoj potrebno odbaciti. Jedan od najčešćih načina za to su ne razorna ispitivanja. Postoji više metoda nerazornih ispitivanja te svaka od njih ima primjenu za različitu vrstu grešaka. Prva od njih, vizualna kontrola, je i najčešća te se upotrebljava kod svakog ispitivanja i većinom prethodi ostalim metodama kod ispitivanja. Primjena ostalih metoda ovisi o potrebi, a i o mogućnostima.

Prvi primjer nerazornog ispitivanja sadrži vizualno kontrolu te ispitivanje tekućim penetrantima. Pošto je provedena sanacija spremnika vagon cisterne koji prevozi opasne kemikalije, bila je potrebna i dodatna provjera radiografijom. Kod ispitivanja su nađene pogreške no one su sanirane te se spremnik mogao vratiti natrag u eksploataciju.

Kod drugog primjera upotrijebljeno je ispitivanje ultrazvukom zbog visoke propisane kvalitete zavarenog spoja koji je bio ispitivan. Nisu bile pronađene nikakve pogreške nakon dva prolaza te je ispitani spoj bez poteškoća označen kao prihvatljiv.

Mihael Zorković

---



## 6. LITERATURA

- [1] I. Juraga; K. Ljubić; M. Živčić: *Pogreške u zavarenim spojevima*. Zagreb 2000.
- [2] Norma HRN EN ISO 25817
- [3] Z. Lukačević: *Zavarivanje*. Slavonski Brod 1998.
- [4] <https://www.sfsb.hr/kth/zavar/tii/greske.pdf> (22.3.2016.)
- [5] M. Willcox; G. Downes: *A Brief Description of NDT Techniques*. Insight NDT 2000.
- [6] P.E. Mix: *Introduction to Nondestructive Testing*. 2nd edition. New Jersey 2005.
- [7] <http://eu.magnaflux.com/mdprit/uploads/Tiede-PWL-1-Product-Data-Sheet-Apr-15-English.pdf> (19.5.2016.)
- [8] <http://eu.magnaflux.com/product-solutions/liquid-penetrant-inspection/cleaners/pds-tiede-rl-40/> (19.5.2016.)
- [9] <http://eu.magnaflux.com/mdprit/uploads/Tiede-DL-20-Product-Data-Sheet-Apr-15-English.pdf> (19.5.2016.)
- [10] Dokumentacija procesa zavarivanja i kontrole kvalitete, RŽV Čakovec d.o.o., 2016.
- [11] Dokumentacija procesa zavarivanja i kontrole kvalitete, MIDI d.o.o., 2016.
- [12] [https://www.gemeasurement.com/sites/gemc.dev/files/krautkramer\\_usm\\_36\\_brochure.pdf](https://www.gemeasurement.com/sites/gemc.dev/files/krautkramer_usm_36_brochure.pdf) (24.5.2016.)

## Popis slika

Slika 1. Klasa kvalitete na primjeru zavarenog nosača .....	8
Slika 2. Hladna pukotina u ZUT – u kod sučeljenog spoja [1] .....	15
Slika 3. Shema uzročnika nastajanja pukotina [3].....	15
Slika 4. Prikaz rastvorivosti vodika i dušika u čistom željezu [3].....	16
Slika 5. Shematski prikaz mehanizma nastajanja toplih pukotina [1] .....	17
Slika 6. Karakteristična topla pukotina kod zavarivanja aluminijske – sučeonog spoja [1].....	17
Slika 7. Primjer pukotine nastale naknadnim zagrijavanjem zavarenog spoja [5] .....	18
Slika 8. Primjeri pukotine u smjeru osi zavarenog spoja uslijed lamelnog odvajanja [1].....	18
Slika 9. Poroznost u zavarenom spoju kod MIG zavarivanja aluminijske [1].....	19
Slika 10. Uključci troske u zavarenom spoju kod MAG zavarivanja [1].....	20
Slika 11. Primjer naljepljivanja u zavarenom spoju [1] .....	20
Slika 12. Neproverenost korijena kod kutnog spoja [1] .....	21
Slika 13. Preveliko nadvišenje zavara [1] .....	21
Slika 14. Primjer vizualne kontrole uz pomoć mjerila .....	25
Slika 15. Nanošenje penetranta na zavareni spoj.....	26
Slika 16. Postupci penetrantske kontrole.....	27
Slika 17. Shematski prikaz kontrole magnetskim česticama.....	28
Slika 18. Pogled na nakupine magnetskih čestica oko pukotine .....	28
Slika 19. Tehnika ispitivanja strujnim prolazom pomoću dvije elektrode .....	29
Slika 20. Primjer ultrazvučnog ispitivanja zavarenog spoja na cijevi .....	30
Slika 21. Shematski prikaz ultrazvučnog ispitivanja zavarenog spoja [3] .....	30
Slika 22. Primjer radiografskog ispitivanja zavarenog spoja na cijevi.....	31
Slika 23. Shematski prikaz radiografskog ispitivanja zavarenog spoja [4] .....	32
Slika 24. Radionica željezničkih vozila Čakovec d.o.o.....	33
Slika 25. MIDI d.o.o. ....	33
Slika 26. Vagon cisterna serije Zas – Z [10] .....	34
Slika 27. Dimenzije spremnika cisterne [10].....	34
Slika 28. Očišćene površine zavarenih spojeva.....	35
Slika 29. Naneseni penetrant na zavarenim spojevima .....	36
Slika 30. Naneseni razvijajući po zavarenom spoju .....	36
Slika 31. Mrlje na razvijaju koje označuju nepravilnosti.....	37
Slika 32. Pregled zavarenih spojeva nakon ispitivanja.....	37
Slika 33. Izgled zavarenih spojeva nakon sanacije pogrešaka s vanjske strane spremnika .....	38

Slika 34. Objekt ispitivanja u MIDI d.o.o. ....	39
Slika 35. Zavareni spoj prije brušenja .....	39
Slika 36. Zavareni spoj nakon brušenja.....	40
Slika 37. Priprema zavarenog spoja za ultrazvučno ispitivanje .....	40
Slika 38. Sprej TIEDE FluoFLUX 690.1 .....	40
Slika 39. Detektor grešaka Kraukramer USM 36.....	41

## Popis tablica

Tabela 1. Postupci kontrole u fazama zavarivanja .....	6
Tabela 2. Klase kvalitete zavarenih spojeva prema HRN EN 25817 [2] .....	9
Tabela 3. Vrste pukotina – podjela po kriterijima .....	14
Tabela 4. Mogućnost primjene metoda nerazorne kontrole [1].....	23
Tabela 5. Osnovna svojstva penetranta PWL-1.....	35
Tabela 6. Osnovna svojstva razvijča DL-20 .....	35
Tabela 7. Parametri ultrazvučnog ispitivanja .....	41

# Prilozi

Prilog 1. Ovjerenje o sposobnosti izvođenja ispitivanja zavarenih spojeva



# CERTIFIKAT

Broj: 0839/2014-1  
Ime i prezime: **DRAGAN ZORKOVIĆ**  
Datum i mjesto rođenja: 03. 04. 1970., Čakovec, Hrvatska  
Područje: Certifikacija osoba za nerazorna ispitivanja  
Primjenjena norma: **HRN EN ISO 9712:2012**

Metoda	Stupanj	Vrijedi do	Industrijski sektor Proizvodi	Certifikacija
ET	--	--	--	--
MT	--	--	--	--
PT	1	16.10.2019.	B; f, w, wp; PED	IC
RT	--	--	--	--
UT	--	--	--	--
VT	2	17.07.2019.	B; f, w, wp; PED	IC

ET - ispitivanje vrtložnim strujama, MT - ispitivanje magnetskim česticama, PT - ispitivanje penetrantima, RT - radiografsko ispitivanje, UT - ispitivanje ultrazvukom, VT - vizualno ispitivanje

A - proizvodnja, B - ispitivanje opreme prije i za vrijeme eksploatacije, uključujući proizvodnju, C - održavanje željeznica, D - zrakoplovstvo, E - brodogradnja

c - odljevi, f - otkivci, w - zavareni spojevi, wp - vučeni proizvodi, t - cijevi

PED - Direktiva o tlačnoj opremi EU 97/23/EC

IC - prva certifikacija, AP - administrativno produženje, P - proširenje certifikacije, R - recertifikacija

*Dragan Zorković*

Potpis certificirane osobe

*Miro Džapo*

mr. sc. Miro Džapo, dipl. ing.  
Vođitelj Centra za certifikaciju

Zagreb, 24. 10. 2014.

OVAJ CERTIFIKAT IZDAN JE U SKLADU S HDKBR-OVOM SHEMOM ZA CERTIFIKACIJU OSOBA ZA NERAZORNA ISPITIVANJA KOJA JE MULTILATERALNIM SPORAZUMOM (MIRA) PRIHVACENA I CERTIFIKACIJU OD EFNDT-A I ICNDT-A.

Centar za certifikaciju Hrvatskog društva za kontrolu bez razaranja d.o.o. akreditiran je od Hrvatske akreditacijske agencije za certifikaciju osoba za nerazorna ispitivanja (Potvrda o akreditaciji broj 5060).

Certifikacijsko tijelo ovlašteno je od Ministarstva gospodarstva za certifikaciju osoba za nerazorna ispitivanja prema odredbama Pravilnika o tlačnoj opremi (NN 58/2010) koji je sukladan Direktivi o tlačnoj opremi PED 97/23/EC.



**HRVATSKO DRUŠTVO ZA  
KONTROLU BEZ RAZARANJA d.o.o.**  
Centar za certifikaciju  
Hrvatski inženjerski savez



Prilog 2. Okulističko ovjerenje o sposobnosti izvođenja vizualne kontrole zavarenih spojeva

PRIMJER POTVRDE O IZVRŠENOM PREGLEDU VIDA  
(zahtjevi sukladni točki 7.4 EN ISO 9712)

OČNI PREGLED

I. Osobni podaci

Ime: DRAGAN	Prezime: ŽORKOVIĆ	OIB: 03808268612
Mjesto i datum rođenja: ČAKOVEC, 03.04.1970.	Adresa: VARAŽDINSKA 56	Poštanski broj, grad: 40305 NEDELIŠĆE

II. Nalaz pregleda

a) Vid na blizinu omogućuje čitanje najmanje broja 1 na standardnoj Jaegerovoj tablici ili N 4.5 Times Romana ili ekvivalentnog znaka (visine 1,6 mm) na udaljenosti ne manjoj od 30 cm, za najmanje jedno oko:

- bez uporabe korektivnih sredstava     s uporabom korektivnih sredstava
- zadovoljava     ne zadovoljava

b) Sposobnost prepoznavanja i razlikovanja kontrasta među bojama ili nijansi sive boje (u zavisnosti od metode nerazornog ispitivanja kojom se osoba u svom radu koristi):

- u boji     nijanse sive boje
- zadovoljava     ne zadovoljava

Mjesto i datum izdavanja: Čakovec, 21.07.2014


Zdravstvena ustanova:  
SPECIJALISTIČKA ORDINACIJA  
MEDICINE RADA  
Marina Moharić-Pranjić, dr.med.  
specijalist medicine rada  
ČAKOVEC, I. G. Kovačića 1a

Liječnik:


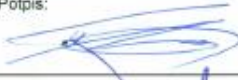

Marina Moharić-Pranjić  
Marina Moharić-Pranjić, dr.med.  
specijalist medicine rada  
192490

Žig, potpis





 <p><b>TUV</b> CROATIA TUV NORD GROUP</p>	<p><b>POTVRDA INSPEKCIJSKOG NADZORA</b></p>	<p>Dok. br.: <u>PIN-7B-62/15</u>  Mjesto: <u>Čakovec</u>  Datum: <u>2.12.2015.</u></p>
<p>NARUČITELJ: <u>RŽV Čakovec d.o.o.</u></p>		
<p>OPIS NADZORA: <u>Nadzor sanacije spremnika vagon cisterne</u></p>		
<p>NALAZ INSPEKTORA: <u>Prema elaboratu za sanaciju spremnika vagon cisterne serije Zas-z broj: 33 79 796 1150-2, spremnik broj: 1816, godina proizvodnje 1986. izvršen je početak sanacije podnog dijela na platu broj 1 (od ukupno 5 plata da bi kojih se sastoji spremnik).</u>  <u>Prvi segment podnog dijela je zamijenjen novim te pripojen uz prethodni pripremu prema crtežu broj 796001 i ostaloj elaboriranoj dokumentaciji.</u>  <u>Sa unutarne strane spremnika zavarena su po 2 prolaza na poduznim spojevima i kružnom spoju da podnice. Sa vanjske strane je očišćen (klijen) kruženjem jedan poduzni spoj te ispitan obujnim tekućim penetrantima. Nakon ponovljenog ispitivanja odstranjene su nedozvoljene indikacije te stvoreni preduvjeti za dalje zavarivanje.</u>  <u>Primijenjena provjerena tehnologija zavarivanja (kvalificirani WPS) i kvalificirani zavarivač te slijed zavarivanja za prvi segment zadovoljava potrebne preduvjete za nastavak uspješnog zadanog posla na sanaciji spremnika vagon cisterne.</u>  <u>Ukrucenja koja osiguravaju geometriju će se postavljati i na sljedećim segmentima</u>  <u>Kadno vrijeme: 7<sup>00</sup> - 15<sup>00</sup> ?</u></p>		
<p>ZA NARUČITELJA: <u>Dražen Zorković</u> D. Zorković</p>	<p>ZA TUV CROATIA: <u>B. Erchelmacher</u> B. Erchelmacher</p>	
<p>ZP-21-TPC Izd./Rev. 2/0 <span style="float: right;">1/1</span></p>		

Prilog 4. Izvještaj o radiografskom ispitivanju od strane ZIT-a

	<b>ZIT – ZAVOD ZA ZAVARIVANJE ISPITIVANJE I TEHNOLOGIJU d.o.o. ZAGREB, Rakitnica 2</b>	Završni izvještaj br.: 8364-02-16	
		Izmjena br.: 0	
<h2>IZVJEŠTAJ O ISPITIVANJU PROZRAČIVANJEM</h2>			
<p>ZA OBJEKT :</p> <h3>SPREMNIK VAGONA – DERIVACIJSKA CISTERNA MILLET 1816</h3>			
ZIT-0A-025-O-H	Izradio: Filip Flego, mag.ing.	Datum: 8.2.2016.	Potpis: 
	Odobrio: William Turnšek, L2	Datum: 8.2.2016.	Potpis: 



 <b>ZIT – Zavod za zavarivanje, ispitivanje i tehnologiju d.o.o.</b> ZAGREB, Rakitnica 2		<b>LABORATORIJ ZA ISPITIVANJA BEZ RAZARANJA</b> <b>IZVJEŠTAJ O ISPITIVANJU PROZRAČAVANJEM</b> REPORT OF RADIOGRAPHIC TESTING			Strana broj/ Page No.: 1	Broj strana/ No. of Pages: 3			
Naručilac/Customer:		Projekt/Project:		Objekt/Object:		Veza na/Related with:			
Radionica željezničkih vozila Čakovec d.o.o. Kolodvorska 6, 40000 Čakovec		/		SPREMNIK VAGONA - DERIVACIJSKA CISTERNA MILLET 1816		8364-02-16			
Broj ugovora/Contract No.:		Broj narudžbe/Order No.:	Broj crteža/Sketch No.:	Radni nalog/Work order:	Broj ispitivanja/ No. of testing:	Datum/Date:			
/		/	/	16-037	4776-1-02/16	8.2.2016.			
Norma ispitivanja/Code of testing:		Kriterij prihvatljivosti/Applicable code:		Postupak ispitivanja/Procedure testing:		Radna uputa/Working instructions:			
HRN EN ISO 17636-1:2014		HRN EN ISO 5817 (B):2014		PRO 024		/			
Materijal/Material:		Stanje površine/Surface condition:		Vrijeme ispitivanja/Time of testing:		Opseg ispitivanja/Testing range:			
Č.0562		Očišćeno		Nakon zavarivanja		100% križnih spojeva saniranog dijela			
Predmet ispitivanja/Testing Item:									
Zavareni spoj									
Zavar/ Weld	Linija – pozicija Line – Position	Dimenzija Dimension	Žig zavarivača Welder Stamp	Broj filma Film No.:	SKR Wire No.:	Zacrnjenje Density	Nalaz prema Indication acc. to HRN EN ISO 6520-1	Ocjena Evaluation A NA	Napomena Remark
Z1	1816	Ø2900 x 7	/	F1	W 14	2,70	2011, 3012	X	
Z1R	1816	Ø2900 x 7	/	F1	W 14	2,61	2012, 3012	X	
Z2	1816	Ø2900 x 7	/	F2	W 14	2,63	5012	X	
Z3	1816	Ø2900 x 7	/	F3	W 14	2,66	5012	X	
Z4	1816	Ø2900 x 7	/	F1	W 14	2,60	2012, 402		X
Z4R	1816	Ø2900 x 7	/	F1	W 14	2,58	2011	X	
Z5	1816	Ø2900 x 7	/	F1	W 14	2,60	5013, 2011	X	
Z6	1816	Ø2900 x 7	/	F1	W 14	2,58	2011, 3012, 402		X
Z6R	1816	Ø2900 x 7	/	F1	W 14	2,68	2011	X	
Z7	1816	Ø2900 x 7	/	F1	W 14	2,50	2011	X	
Z8	1816	Ø2900 x 7	/	F1	W 14	2,57	2011	X	
Z9	1816	Ø2900 x 7	/	F1	W 14	2,60	2011, 3012, 402		X
Z9R	1816	Ø2900 x 7	/	F1	W 14	2,56	2011	X	
Z10	1816	Ø2900 x 7	/	F1	W 14	2,61	3012, 514	X	
Z11	1816	Ø2900 x 7	/	F1	W 14	2,60	514, 5012	X	
Z12	1816	Ø2900 x 7	/	F1	W 14	2,59	2011, 3012		X
Z12R	1816	Ø2900 x 7	/	F1	W 14	2,53	2012	X	
Z13	1816	Ø2900 x 7	/	F1	W 14	2,57	514, 3012	X	
Z14	1816	Ø2900 x 7	/	F1	W 14	2,66	513, 5012	X	
Z15	1816	Ø2900 x 7	/	F1	W 14	2,56	5012, 2011	X	
Z16	1816	Ø2900 x 7	/	F1	W 14	2,62	2013, 5012		X

Oznake / Symbols:  
 A – Prihvatljivo/Acceptable; NA – Nije prihvatljivo/Not acceptable – (U Napomenu upisati/Remark: NR – Nije prihvatljivo popravak/Not acceptable-Repair; NC – Nije prihvatljivo-rezati/Not acceptable - Cut-Out; RS – Nije prihvatljivo-greška na filmu/Not acceptable - Re-Shoot; S – Oznaka "dodatno snimanje"/Additionally radiogram; R – Oznaka "nakon popravka"/Sign for "after reparation"; FF – Greška na filmu/Film fault; 1, 2, 3, 4 – Način ispit/WP No.; SKR – Stupanj kvalitete radiograma/Wire No.

Klasa ispitivanja/Testino Class:	Tehnika ispitivanja/Exposure arrang.:	Klasa filma/Film Class:	Film/ Film Type:	Dimenzije filma/Film dimensions:
A*	F1	C4	KODAK T200	100 x 480 mm
Razvijanje/Film developing:	Kaseta/Cassette:	Folija/Screens:	Prednja folija/Front screen (mm):	Stražnja folija/Rear screen (mm):
Ručno	Plastična	Olovna	0,02	0,02
Vrsta izvora – dimenzija/Source – dim.:	Ekspozicija – fokus/Exposure – Focus:	Aktivnost/Activity (GBq)	Stupanj kvalitete radiograma/Wire No.:	Položaj IKR-a/QI-position:
Iridium 192 2,0 x 2,97 mm Tv.br.: 78910	500 mm	426,1 – 402,7	W 14	Na filmu

Ispitao – Nivo certifikata/Tester by – Certificate Level: (ime i potpis/Name and Signature)	Odobrio za ZIT/Approved by: (ime i potpis/Name and Signature)	Nadzor/Surveyor (ime i potpis/Name and Signature)	Inspektor/Inspector (ime i potpis/Name and Signature)
Josip Gauranović, L2	William Turnšek, L2		
Datum/Date:	Datum/Date:	Datum/Date:	Datum/Date:
29.1. – 4.2.2016.	29.1. – 4.2.2016.		

ZIT – QA – 215 – 0 – E



ZIT – Zavod za zavarivanje, ispitivanje i tehnologiju d.o.o. ZAGREB, Rakitnica 2

LABORATORIJ ZA ISPITIVANJA BEZ RAZARANJA  
IZVJEŠTAJ O ISPITIVANJU PROZRAČAVANJEM  
REPORT OF RADIOGRAPHIC TESTING

Strana broj/ Page No.:	Broj strana/ No. of Pages:
2	3



Naručilac/Customer:		Projekt/Project:		Objekt/Object:		Veza sa/Related with:	
Radionica željezničkih vozila Čakovec d.o.o. Koldvorska 6, 40000 Čakovec		/		SPREMNIK VAGONA - DERIVACIJSKA CISTERNA MILLET 1816		8364-02-16	
Broj ugovora/Contract No.:	Broj narudžbe/Order No.:	Broj crteža/Sketch No.:	Radni nalog/Work order:	Broj ispitivanja/ No. of testing:	Datum/Date:		
/	/	/	16-037	4776-1-02/16	8.2.2016.		
Norma ispitivanja/Code of testing:		Kriterij prihvatljivosti/Applicable code:		Postupak ispitivanja/Procedure testing:		Radna uputa/Working instructions:	
HRN EN ISO 17636-1:2014		HRN EN ISO 5817 (B):2014		PRO 024		/	
Material/Material:		Stanje površine/Surface condition:		Vrijeme ispitivanja/Time of testing:		Opseg ispitivanja/Testing range:	
Č.0562		Očišćeno		Nakon zavarivanja		100% križnih spojeva saniranog dijela	
Predmet ispitivanja/Testing item:							
Zavareni spoj							

Zavar Weld	Linija – pozicija Line – Position	Dimenzija Dimension	Zig zavarivača Welder Stamp	Broj filma Film No.:	SKR Wire No.:	Začrnjenje Density	Nalaz prema Indication acc. to HRN EN ISO 6520-1	Ocjena Evaluation		Napomena Remark
								A	NA	
Z16R	1816	Ø2900 x 7	/	F1	W 14	2,63	2011	X		
Z17	1816	Ø2900 x 7	/	F1	W 14	2,66	3012, 2011	X		
Z18	1816	Ø2900 x 7	/	F1	W 14	2,60	5012, 514	X		
Z19	1816	Ø2900 x 7	/	F1	W 14	2,50	2011	X		
Z20	1816	Ø2900 x 7	/	F1	W 14	2,60	5012		X	Mehaničko oštećenje
Z20R	1816	Ø2900 x 7	/	F1	W 14	2,67	5011, 2012	X		
Z21	1816	Ø2900 x 7	/	F1	W 14	2,60	2011, 5012	X		
Z22	1816	Ø2900 x 7	/	F2	W 14	2,60	2011	X		
Z23	1816	Ø2900 x 7	/	F3	W 14	2,60	2011	X		

Oznake / Symbols:  
 A – Prihvatljivo/Acceptable; NA – Nije prihvatljivo/Not acceptable – (U Napomenu upišati/Remark; NR – Nije prihvatljivo-popravak/Not acceptable-Repair; NC – Nije prihvatljivo-rezati/Not acceptable - Cut-Out; RS – Nije prihvatljivo–greška na filmu/Not acceptable - Re-Shoot; S – Oznaka "dodatno snimanje"/Additionally radiogram; R – Oznaka "nakon popravka"/Sign for "after reparation"; FF – Greška na filmu/Film fault; 1, 2, 3, 4 – Način ispit/WP No.; SKR – Stupanj kvalitete radiograma/Wire No.

Klasa ispitivanja/Testno Class:	Tehnika ispitivanja/ Exposure arrang.:	Klasa filma/Film Class:	Film/ Film Type:	Dimenzije filma/Film dimensions:
A*	F1	C4	KODAK T200	100 x 480 mm
Razvijanje/Film developing:	Kasete/Cassette:	Folja/Screens:	Prednja folija/Front screen (mm):	Stradnja folija/Rear screen (mm):
Ručno	Plastična	Olovna	0,02	0,02
Vrsta izvora - dimenzija/Source - dim.:	Ekspozicija – fokus/Exposure – Focus:	Aktivnost/Activity (GBq)	Stupanj kvalitete radiograma/Wire No.:	Položaj (KR-a)/QI-position:
Iridium 192 2,0 x 2,97 mm Tv.br.: 78910	500 mm	426,1 – 402,7	W 14	Na filmu

Ispitao – Nivo certifikata/Tested by – Certificate Level: (ime i prezime/Name and Signature)	Odobrio za ZIT/Approved by: (ime i prezime/Name and Signature)	Nadzor/Surveyor (ime i prezime/Name and Signature)	Inspektor/Inspector (ime i prezime/Name and Signature)
Josip Gavranović, L2	William Turmansk, L2		
Datum/Date:	Datum/Date:	Datum/Date:	Datum/Date:
29.1. – 4.2.2016.	29.1. – 4.2.2016.		

ZIT – QA – 215 – 0 – E

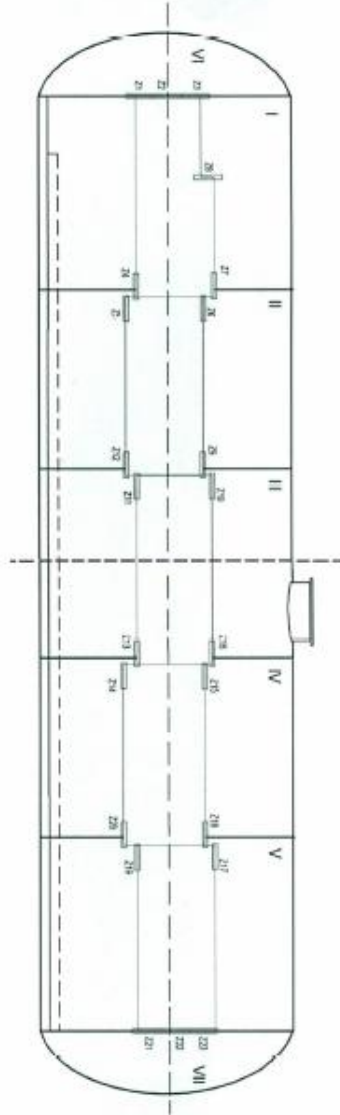


ZIT - ZAVOD ZA ZAVARIVANJE, ISPITIVANJE  
I TEHNOLOGIJU d.o.o. - ZAGREB, Rakitnica 2

SKICA UZ IZVJEŠTAJ RADIOGRAFSKOG ISPITIVANJA  
RADIOGRAPHIC TESTING REPORT - SKETCH

Ispitivanje broj/Testing No.	Veza na/Related to:	Datum/Date:	Broj stranice / Page No.:	Ukupno stranica/ No. of Pages
4776-1-02/16	8364-02-16	8.2.2016.	3	3

Skica / Sketch:



Napomena / Remark

ZIT - QA - 216 - 0 - E

	Izradio /E Created by	Odobrio / Approved by	Nadzor / Surveyor	Inspektor / Inspector
Ime / potpis: Name / Signature:	Filip Flego, mag.ing.	William Turmek, S2		
Nivo certifikata: Certificate level:				
Datum: Date:	29.1. - 4.2.2016.	29.1. - 4.2.2016.		



**HRVATSKO DRUŠTVO ZA KONTROLU BEZ RAZARANJA**  
*Croatian Society of Non-Destructive Testing*

CENTAR ZA CERTIFIKACIJU

*Certification centre*

Član / Member of

**ICNDT**  
*The World Organization for NDT*

**EF** *European Federation for Non-Destructive Testing*  
**NDT**

Akreditiran prema  
*Accredited by*



**CERTIFIKAT br. 6636**  
*CERTIFICATE No.*

*Ovime se potvrđuje / Hereby we certify that*

Ime i prezime:  
*Full name:*

**Josip GAVRANOVIĆ**

Identifikacijski br:  
*ID No.:*

**34390520103**

stručnost za sljedeće područje nerazornih ispitivanja  
*competence for the following non-destructive testing*

Metoda:  
*Method:*

**Radiografsko ispitivanje RT**

Stupanj:  
*Level:* **2**

Sektor:  
*Sector:*

**Ispitivanje opreme prije i za vrijeme eksploatacije (w)  
*Pre and in-service testing (w)***

*u skladu s / according to*

Primijenjene norme:  
*Applicable standards:*

**HRN EN 473:2008, ISO 9712:2005**

Osoba kojoj je dodijeljen ovaj Certifikat osposobljena je sukladno odredbama Pravilnika o tlačnoj opremi (NN 58/2010) koji je sukladan Direktivi o tlačnoj opremi PED 97/23/EC / *Holder of this Certificate is trained in accordance to requirement of the Pressure equipment regulations (NN 58/2010) conforming to the Pressure equipment directive PED 97/23/EC*

*Ovaj je certifikat / This certificate is*

Datum izdavanja:  
*Date of issue:*

**17.10.2011.**

Vrijedi do:  
*Valid thru:*

**14.10.2016.**

Potpis certificirane osobe  
*Signature of the certificated person*

Josip Gavranović

Voditelj Centra za certifikaciju  
*Head of the Certification Centre*





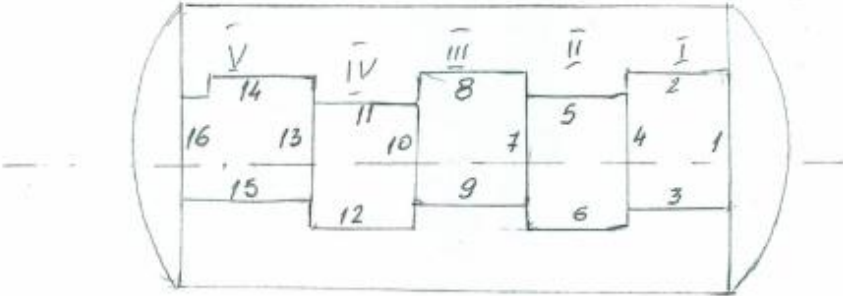

Mato Cvitanović, dipl. ing.

Ovaj certifikat vlasništvo je HDKBR-a. Svojom potpisom gore navedena osoba prihvata pravila Etičkog kodeksa HDKBR-a. Kalkuje jedne ili više odredbi Etičkog kodeksa može biti razlog povlačenja certifikata

This certificate is property of CrSNDT. Signing the certificate above stated person accepts CrSNDT's ethic rules. If one or more of the ethic rules are violated CrSNDT can withdraw the certificate.


OB-12/4

Prilog 5. Izvještaj o penetratskom ispitivanju zavarenih spojeva kod spremnika

		Radionica željezničkih vozila Kolodvorska 6, Čakovec			
<b>IZVJEŠTAJ O PENETRATSKOM ISPITIVANJU ZAVARENIH SPOJEVA</b>					
Tehnika ispitivanja:		Kriterij prihvatljivosti:	Materijal:	Vrsta uzorka:	Broj zavora:
PT		EN 5817	S 355 J2 IN	W	16
Ispitivanje provedeno:			Parametri ispitivanja:		
Proizvođač:		Tiede	Etalon, ref. uzorak:		
Penetrant:		PWL-1	Priprema površine:		DRUŠENO
Odstranjivač:		RL-40	Vrijeme penetriranja:		30'
Razvijlač:		DL-20	Vrijeme razvijanja:		20'
Skica/napomene: ISPITIVANJE KORJENA ZAVARA					
					
- SVI KORJENI ZAVARA ISPITANI SU PENETRANTOM - Gdje se pojavila greška sanirana je te se ponovno ispitala - SLIKE U PRILOGU					
Legenda:					
Vrsta uzorka:		c - odlijevak	f - otkivak	w - zavareni spoj	
		t - cijev	wp - vučeni proizvod		
Ocjena:		NI - nema nepravilnosti	NRI - prihvatljive indikacije (zabilježiti parametre)	RI - neprihvatljive indikacije (pogreške, obavezne za bilježenje)	
Datum:		Ispitao:		Potpis:	
29. 01. 2016.		VALENT SLAVIČEK ID NO CE36/2015-0			

RŽV-UK-XX

Prilog 6. Izvještaj o ultrazvučnom ispitivanju u MIDI d.o.o.

	<b>ULTRASONIC EXAMINATION REPORT</b>	Test certification No. UT - MI - 99-03/16 Blatt 1/3	
<i>General</i>			
<i>Customer</i>	<u>LIEBHERR - FRANCE</u>	<i>Acceptance criteria</i>	
<i>Perform of examination</i>	<u>MIDI d.o.o</u>	<u>EN ISO 11666</u>	
<i>Object of examination</i>	<u>Floor Sheet</u>	<i>Class of weld joint</i>	
<i>Drawing No.</i>	<u>1376 8030 15 001</u>	<u>EN5817 B</u>	
<i>Project No.</i>	<u>10830642</u>	<i>Scope of examination</i>	
		<u>100% BW</u>	
		<i>Place location and date of examination</i>	
		<u>MIDI Ivanovec</u>	
		<u>13.04.2016.</u>	
<i>References</i>			
<i>Ultrasonical examination</i>	<u>EN ISO 17640, EN ISO 11666, EN 583</u>		
<i>Visual examination</i>	<u>EN ISO 17637</u>		
<i>Information about examined product</i>			
<i>Producer</i>	<u>MIDI d.o.o. Ivanovec</u>		
<i>Object of examination</i>	<u>Weld</u>		
<i>Drawing</i>	<u>1376 8030 15 001</u>		
<i>Type of welded joint</i>	<u>BW- V</u>		
<i>Welding procedure</i>	<u>MAG 135</u>		
<i>Base material</i>	<u>LH 380-TLV 12232</u>		
<i>Filler material</i>	<u>SG3</u>		
<i>Cleanliness of surface</i>	<u>OK</u>		
<i>Thermal processing</i>	<u>NO</u>		
<i>Final surface condition</i>	<u>Cleaned</u>		
<i>Requirements for examination</i>			
<i>Evaluation level</i>	<u>-8 db</u>	<i>Recording level</i>	
		<u>-4 dB</u>	
		<i>Acceptance level</i>	
		<u>:100 %AVG</u>	
<i>Test Conditions</i>			
<i>Method of examination</i>	<u>Method 2 DGS, AVG 2mm</u>		
<i>Equipment used for examination.</i>			
	<i>Ultrasonic probe :Type</i>	<i>Frequency</i>	<i>Dimensions</i>
	<u>MWB 60</u>	<u>4 MHZ</u>	<u>8X9</u>
	<u>MWB 70</u>	<u>4 MHZ</u>	<u>8X9</u>
<i>Type of ultrasonic instrument</i>	<u>USM 36</u>		
<i>Calibration block</i>	<u>K2</u>		
<i>Coupling media</i>	<u>Paste ZG-F</u>		
<i>Number of ultrasonic beam reflection</i>	<u>2</u>		
	Verification of equipment EN 12668-3 tab. 1c	<input checked="" type="checkbox"/> YES	Verification of equipment ASME B&PV Code V T-460
			<input type="checkbox"/> NO



# ULTRASONIC EXAMINATION REPORT

MI-99-3/16  
UT  
Blatt 2/3

*Findings*

No.	Weld Mark	Length	Type	Thickness of examined item	Designation					Acceptable	Date
					<i>X</i>	<i>Probe</i>	<i>depth errors</i>	<i>tx</i>	$\Delta V(\text{dB})$	YES/No	
<i>Drawing: 1376 8030 15 001</i>											
1		890	V	40	-	-	-	-	-	YES	13.4.2016

Examiner: Igor Strahija Certifikat Nr.Z-SC-058601-UT2  <div style="text-align: center; font-size: small;">Name and Surname</div>	Approved:   <div style="text-align: center; font-size: small;">Name and Surname</div>
<div style="font-size: x-small;">Date/Signature</div>	<div style="font-size: x-small;">Date/Signature</div>



ULTRASONIC EXAMINATION REPORT

No.MI 99-03/16


UT

Blatt 3/3

*Sketch or photo of examined part*

1376 8030 15 001



<p><i>Examiner:</i> Igor Strahija Certifikat. Nr.Z-SC-058601-UT2</p>		<p><i>Approved:</i></p>	
<p><i>Name and Surname</i></p>	<p><i>Date/Signature</i></p>	<p><i>Name and Surname</i></p>	<p><i>Date/Signature</i></p>



Prilog 7.

CD-primjerak