

Metode ispitivanja zavarenih spojeva bez razaranja i njihova primjena

Ivačić, Nikola

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:630967>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-12**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





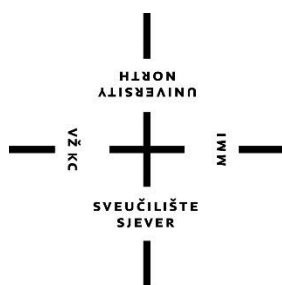
**Sveučilište
Sjever**

282/PS/2018

**Metode ispitivanja zavarenih spojeva bez razaranja
i njihova primjena**

Nikola Ivačić, 3323/601

Varaždin, rujan 2018. godine



Sveučilište Sjever

Odjel strojarstva

282/PS/2018

Metode ispitivanja zavarenih spojeva bez razaranja i njihova primjena

Student

Nikola Ivačić, 3323/601

Mentor

Marko Horvat, dipl. ing.

Varaždin, rujan 2018. godine

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za strojarstvo		
PRISTUPNIK	Nikola Ivačić	MATIČNI BROJ	3323/601
DATUM	24.09.2018.	KOLEGIJ	Tehnologija III
NASLOV RADA	Metode ispitivanja zavarenih spojeva bez razaranja i njihova primjena		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Non-destructive testing methods of welded joints and their applications		
MENTOR	Marko Horvat, dipl. ing.	ZVANJE	predavač
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. dr. sc. Zlatko Botak, viši predavač		
	2. Marko Horvat, dipl. ing., predavač		
	3. Veljko Kondić, mag. ing. mech., predavač		
	4. Katarina Pisačić, dipl. ing., predavač		
	5. _____		

Zadatak završnog rada

BROJ	282/PS/2018
OPIS	U Završnom radu je potrebno: <ul style="list-style-type: none">• dati uvod u tehnologiju spajanja zavarivanjem i sistematizaciju pogrešaka u zavarenim spojevima• opisati osnovne metode nerazornih ispitivanja zavarenih spojeva• za opisane metode prikazati primjere ispitivanja iz prakse• detaljnije obraditi temu magnetskog ispitivanja zavarenih spojeva: teorijske osnove, oprema, postupak• na praktičnom primjeru prikazati i dokumentirati postupak magnetske metode nerazornog ispitivanja: zahtjevi, priprema, postupak, dokumentiranje• u zaključku Završnog rada dati osvrt na zadanu temu

ZADATAK URUČEN

27. 9. 2018.



Predgovor

Ovaj završni rad izrađen je vlastitim znanjem koje sam stekao tijekom studija strojarstva na Sveučilištu Sjever uz pomoć navedene literature.

Prije svega zahvaljujem svom mentoru dipl. ing. Horvat Marku na pomoći i podršci za vrijeme izrade završnog rada. Također veliku zahvalnost dugujem svim profesorima, asistentima i suradnicima Sveučilišta Sjever.

Zahvaljujem se i poduzeću Te-Pro d.o.o., te djelatnicima i kolegama koji su mi uvijek izašli u susret radi potreba studiranja i izrade završnog rada.

Na kraju, ali ne i manje važno, zahvaljujem svojoj obitelji, curi i prijateljima, na beskrajnoj podršci i poticaju za vrijeme studija.

Sažetak

U ovom završnom radu, na početku je dan uvid u tehnologiju spajanja zavarivanjem i sistematizaciju pogrešaka u zavarenim spojevima. Opisane su i metode nerazornih ispitivanja zavarenih spojeva, te su za njih dani primjeri iz prakse. Navedene su njihove prednosti i nedostaci, te je navedeno kojom metodom nalazimo koju vrstu grešaka i na kojoj vrsti materijala se mogu primjenjivati.

Detaljnije je obrađena tema magnetskog ispitivanja zavarenih spojeva za koju su navedene teorijske osnove, oprema potrebna za pravilno izvođenje postupka, te je detaljno opisan postupak ispitivanja i dokumentiranje. Provedena, opisana i dokumentirana su magnetska ispitivanja na dva primjera iz proizvodnog pogona, te su interpretirani rezultati ispitivanja.

Ključne riječi: tehnologija spajanja zavarivanjem, greške u zavarenim spojevima, metode nerazornog ispitivanja, magnetska kontrola, dokumentacija

Summary

In this work, insight into welding technology in welding and systematization of welded joints is given. The non destructive methods of welded joints are described and practical examples are shown. Their advantages and disadvantages were stated and it was stated by which method we find the type of defects and the type of material they can be applies on.

The topic of magnetic testing of welded joints is elaborated in detail, and the theoretical basis, the equipment required for proper execution of the procedure, the examination and documentation procedure are described in detail. The conducted, described and documented magnetic tests on two examples from the manufacturing plant, and the results of the test were interpreted.

Key words: welding technology, welded joints, non-destructive testing, magnetic control, documentation

Popis korištenih kratica

NDT – kontrola bez razaranja (Non-Destructive Testing)

PT – ispitivanje penetrantima

MT – ispitivanje magnetskim česticama

UT – ispitivanje ultrazvukom

RT – radiografsko ispitivanje

VT – vizualno ispitivanje

MIG – elektrolučno zavarivanje u zaštiti inertnog plina taljivom elektrodom

MAG – elektrolučno zavarivanje u zaštiti aktivnog plina taljivom elektrodom

TIG – elektrolučno zavarivanje u zaštiti inertnog plina netaljivom elektrodom

ISO – međunarodna organizacija za standardizaciju

LUX – mjerna jedinica osvjetljenja

kA/m – jedinica za jakost magnetskog polja

Sadržaj

1.	Uvod.....	1
2.	Zavarivanje i greške kod zavarivanja	2
2.1.	Općenito o zavarivanju.....	2
2.2.	Podjela postupaka zavarivanja	3
2.3.	Greške kod zavarivanja	9
2.3.1.	Pukotine.....	10
2.3.2.	Šupljine ili poroznost	12
2.3.3.	Čvrsti uključci	15
2.3.4.	Naljepljivanje i nedovoljan provar	16
2.3.5.	Pogreške oblika zavara	18
3.	Kontrola zavarenih spojeva bez razaranja	21
3.1.	Općenito o kontroli zavarenih spojeva bez razaranja.....	21
3.2.	Vizualna kontrola	24
3.2.1.	Općenito o vizualnoj kontroli.....	24
3.2.2.	Alati i pribor potrebni za obavljanje vizualne kontrole	26
3.2.3.	Primjer iz prakse.....	29
3.3.	Penetrantska metoda.....	30
3.3.1.	Općenito o penetrantskoj metodi.....	30
3.3.2.	Oprema i alati potrebni za magnetsku metodu	34
3.3.3.	Primjena penetrantske metode u proizvodnji	35
3.4.	Magnetska metoda.....	37
3.4.1.	Općenito o magnetskoj metodi.....	37
3.5.	Ultrazvučna metoda.....	40
3.5.1.	Općenito o ultrazvučnoj metodi	40
3.5.2.	Alati i oprema potrebni za ultrazvučnu metodu	42
3.5.3.	Primjena ultrazvučne metode u proizvodnji	44
3.6.	Radiografska metoda.....	47
3.6.1.	Općenito o radiografskoj metodi.....	47
4.	Praktična primjena magnetskog ispitivanja	50
4.1.	Opis postupka ispitivanja zavarene konstrukcije hidrauličkog cilindra.....	50
4.2.	Opis postupka zavarivanja zavarene konstrukcije osovine s lopaticama	61
5.	Zaključak.....	68
6.	Literatura.....	69

1. Uvod

U ovom završnom radu tema su ispitivanja zavara nerazornim metodama i njihova primjena u praksi. Na samom početku je dan kratak uvid u tehnologiju spajanja zavarivanjem kako bi se stvorila podloga za bolje razumijevanje problematike vezane uz sam proces. Proces spajanja zavarivanjem je u današnjem modernom svijetu vrlo raširen i razvijen. Samim time, s vremenom se javila potreba za kontrolu zavarenih spojeva kako bi se podigla pouzdanost i sigurnost zavarenih spojeva i konstrukcija. Postoje metode razornog ispitivanja i nerazornog ispitivanja. Nužna je primjena obje vrste kontrole jer svaka ima svoje prednosti i nedostatke.

U procesu stvaranja zavarenog spoja može doći do raznih grešaka koje mogu nastati iz različitih razloga. Glavne vrste grešaka su: pukotine, šupljine i poroznosti, čvrsti uključci, naljepljivanje ili nedovoljna provarenost, te greške oblika zavara. Svaka vrsta grešaka nosi svoje rizike, a one mogu biti čak i dopuštene u određenoj mjeri, ali često je, ako se greška uoči, potrebno izvesti reparaturno zavarivanje ili čak izrada novog komada.

Kako bi bili sigurni da ćemo sve eventualne greške i nepravilnosti u zavarenom spoju uočiti na vrijeme i sa određenom dozom sigurnosti, primjenjujemo metode nerazornih ispitivanja. Jedna od najraširenijih metoda, iako ne i najjednostavnija, je metoda ispitivanja magnetskim česticama.

2. Zavarivanje i greške kod zavarivanja

2.1. Općenito o zavarivanju

Zavarivanje je spajanje dvaju ili više, istorodnih ili raznorodnih materijala, taljenjem ili pritiskom, sa ili bez dodavanja dodatnog materijala, na način da se dobije homogeni zavareni spoj. [1] S obzirom na to da je zavarivanje trajno spajanje dva različita dijela, potrebno je osigurati da se postupak odradi bez nepravilnosti.

Kao energetska izvor za zavarivanje mogu se koristiti mlazovi vrućih plinova, električni lukovi, tokovi nabijenih čestica, tokovi zračenja, el. struja, trenje, ultrazvuk i dr.. Zavarivanje možemo vršiti u raznim okolinama kao što su zatvoreni prostor, otvoreni prostor, voda, svemir, itd..

Metal se spaja već tisućama godina, kroz brončano i željezno doba, sve do danas. Glavni povod za razvijanje sve naprednijih tehnika spajanja metala, u početku bilo je izrađivanje oružja. Spajanje metala primjenjivalo se i kod kovača, zlatara i ljevača.

Pred, a posebno poslije Drugog svjetskog rata, počinje razvoj i primjena zavarivanja u zaštitnom plinu - zavarivanje TIG postupkom. Zavarivanje MIG postupkom se počinje primjenjivati 1948., a od 1953. u Sovjetskom Savezu se prvi puta primjenjuje zavarivanje MAG postupkom s CO₂ zaštitnim aktivnim plinom. Hladno zavarivanje pod pritiskom se primjenjuje od 1948. [2]

Noviji postupci kao što su zavarivanje troskom, zavarivanje trenjem, zavarivanje snopom elektrona razvijaju se pedesetih godina 20. stoljeća, a zavarivanje laserom i zavarivanje plazmom šezdesetih godina.



Slika 1: Prikaz zavarivačice u 20. Stoljeću [22]

Zavarene konstrukcije su konstrukcije za čije spajanje elemenata je zaslužno zavarivanje. Danas su vrlo raširene i jedan su od najčešćih vrsta konstrukcija, iako ih često niti ne primjećujemo oko sebe. Zbog činjenice da je moguće slabljenje na mjestu gdje su elementi konstrukcije zavareni, može se reći da je najbolja zavarena konstrukcija ona konstrukcija na kojoj ima najmanje zavara. [3]

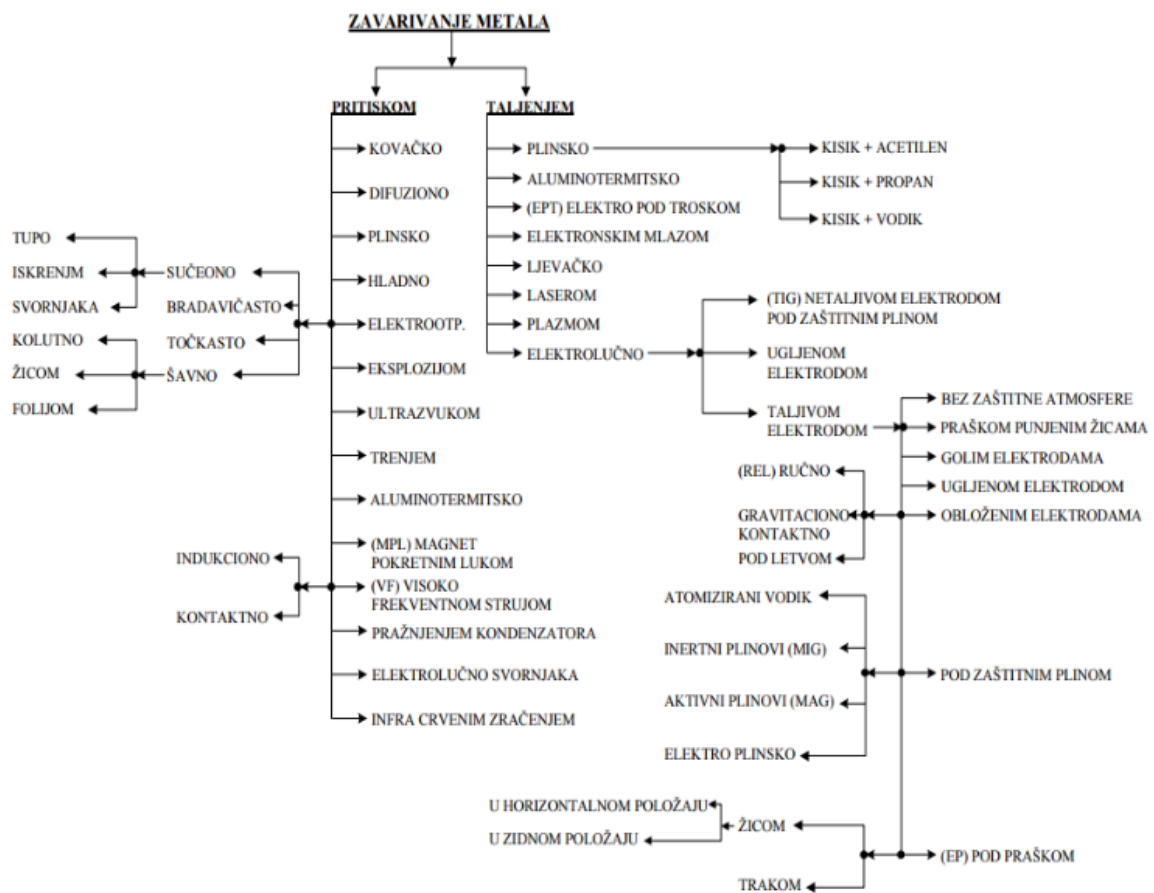
2.2. Podjela postupaka zavarivanja

Postupci zavarivanja se mogu podijeliti na one koji se vrše uz djelovanje pritiska i one kod kojih se događa taljenje osnovnog i dodatnog materijala.

Zavarivanje uz djelovanje pritiska je spajanje metalnih dijelova pritiskom, bez ili uz lokalno ograničeno zagrijavanje, uglavnom bez korištenja dodatnog materijala. [4]

Zavarivanje taljenjem je spajanje metalnih dijelova u rastaljenom stanju na mjestu spajanja, s korištenjem ili bez dodatnog materijala, bez djelovanja pritiska ili udaraca. [4]

Na slici (Slika 2) se može vidjeti detaljna podjela tehnika i postupaka zavarivanja metala.



Slika 2: Prikaz podjele postupaka zavarivanja metala [5]

Na slici (Slika 3) je prikazan zavarivač koji zavaruje MAG postupkom zavarivanja. Taj postupak spada pod zavarivanje metala taljenjem; elektrolyčno; taljivom elektrodom; pod zaštitom aktivnog plina.



Slika 3: Prikaz zavarivača koji zavaruje MAG postupkom

Na slici (Slika 4) prikazano je kovačko zavarivanje, koje spada pod zavarivanje pritiskom, ujedno i jedan od najstarijih oblika zavarivanja.



Slika 4: Prikaz kovačkog zavarivanja [24]

Na slici u nastavku prikazan je moderan zavarivački aparat za MIG/MAG zavarivanje s digitalnim ekranom za prikaz i podešavanje svih parametara zavarivanja.



Slika 5: Moderan zavarivački aparat Fronius TPSi 500











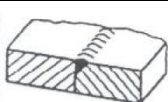









Vrste spojeva kod zavarivanja su:

- sučeljeni spoj
- preklopni spoj
- kutni spoj
- križni spoj
- kutni rubni spoj
- prirubni spoj

Na čvrstoću i ostale fizikalne karakteristike zavara i materijala oko njega utječe mnogo različitih faktora. Neki od tih faktora su odabir odgovarajućeg procesa zavarivanja, zavarljivost osnovnog materijala, vrsta dodatnog materijala, geometrija željenog zavarenog spoja, količina ulazne topline, itd.. [4]

U tablici (Tablica 1) u nastavku, prikazane su vrste spojeva kod zavarivanja:

Tabela 1: Prikaz vrsta, izgleda i oznaka zavarenih spojeva prema ISO 2553[6]

Br.	Naziv	Izgled	Oznaka
1	Rubni zavar između limova s potpunim taljenjem povijenih stranica		
2	Jednostrani "I" zavar		
3	Jednostrani "V" zavar		
4	Jednostrani "V" zavar (s jednom zakošenom stranicom)		
5	Jednostrani "Y" zavar		
6	Jednostrani "Y" zavar (s jednom zakošenom stranicom)		
7	Jednostrani "U" zavar (s paralelnim ili kosim stranicama)		
8	Jednostrani "J" zavar		
9	Korijeni zavar		
10	Kutni zavar		





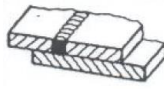





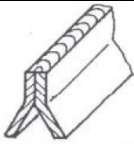

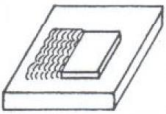

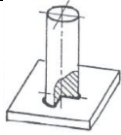

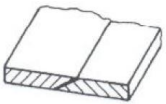

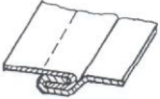

11	Zavar u otvoru		
12	Točkasti zavar		
13	Linijski zavar		
14	Jednostrani "V" zavar (sa strmim stranicama)		
15	Jednostrani "V" zavar (sa jednom strmo zakošenom stranicom)		
16	Rubni zavar		
17	Navar		
18	Površinski spoj		
19	Nagnuti spoj		
20	Presavijeni spoj		

Tabela 2: Prikaz glavnih mjera zavara i način upisivanja na crtežima [6]



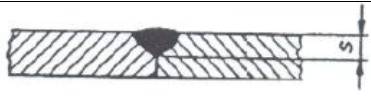

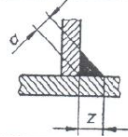
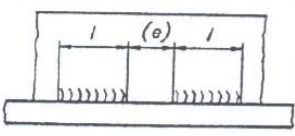
GLAVNE MJERE ZAVARA I NAČIN UPISIVANJA NA CRTEŽIMA				
B roj	Vrste zavara	Definicija	Natpis	
1	Sučeoni zavar	Jednostrani "V"		V
		Jednostrani "II"		s
		Jednostrani "Y"		sY
		Limovi s povijenim stranicama		s
2	Neprekidni kutni zavar		a△ z△	
3	Isprekidani kutni zavar		$\bar{a}\triangle nxl(e)$ $z\triangle nxl(e)$	

Tabela 3: Značenje oznaka u Tabela 2[6]

Značenje veličina iz Tabela 2	
s	najmanji razmak od površine komada do dna provara (ne veći od debljine najtanjeg lima u spoju)
a	visina najvećeg trokuta koji se može ucrtati u presjek zavara
z	stranica najvećeg trokuta koji se može ucrtati u presjek zavara
n	broj segmenata zavara
l	duljina segmenta zavara (bez kratera)
e	razmak između segmenta zavara
c	širina otvora; širina zavara
d	promjer otvora; promjer točke

2.3. Greške kod zavarivanja

Kao što smo vidjeli u prethodnom poglavlju, postoji mnogo vrsta i procesa zavarivanja, a svaki od njih može dovesti do određenih grešaka tijekom izvođenja.

Pogreške u zavarenom spoju mogu se podijeliti na vidljive i nevidljive. U tablici (Tabela 4) prikazana je podjela grešaka prema normama ISO 6520/1982 i EN 26520/1991.

Tabela 4: Vrste grešaka prema ISO 6520/1982 i EN 26520/1991 [23]

Oznaka	Vrsta greške
100	Pukotina
200	Šupljina (poroznost)
300	Uključci čvrstih tijela
400	Nedovoljno vezivanje i penetracija
500	Pogreške oblika
600	Ostale pogreške

Možemo ih podijeliti po obliku [5]:

- kompaktne
- izdužene
- oštre
- zaobljene
- ravninske
- prostorne

Možemo ih podijeliti po brojnosti grešaka [5]:

- pojedinačne
- učestale
- gnijezdo

2.3.1. Pukotine

Pukotine su jedan od najopasnijih oblika grešaka u zavarenom spoju i one ni u kom slučaju nisu dopuštene jer mogu dovesti do ozbiljne havarije i otkaza zavarene konstrukcije.

Prema EN26520, pukotine su mjestimično razdvojen materijal u zavarenom spoju zbog loma nastalog utjecajem procesa zavarivanja.

U nastavku je tablica (Tabela 5) prema normi EN26520, koja donosi podjelu pukotina prema vrsti.

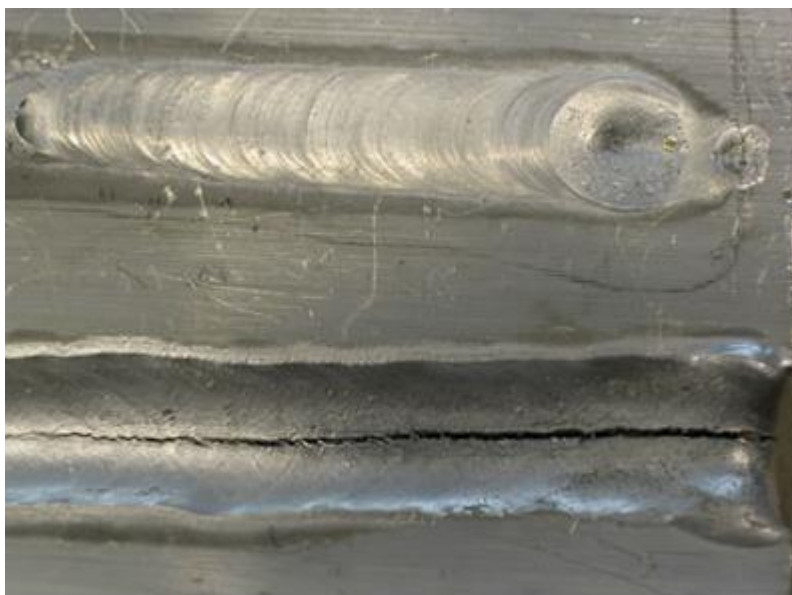
Tabela 5: Prikazuje vrste pukotina prema normi EN 26520 [25]

Naziv vrste pukotine	Oznaka	Opis
Uzdužna pukotina	101	Pukotina koja se proteže uglavnom uzdužno na zavar
Poprečna pukotina	102	Pukotina koja se proteže uglavnom poprečno na zavar
Pukotina zvjezdastog oblika	103	Pukotina koja polazi iz jednog mjesta i zrakasto se rasprostire
Pukotina u završnom krateru	104	Pukotina koja se nalazi na mjestu završetka zavarenog spoja
Pukotine u odvojenim skupinama	105	Pukotine koje mogu biti u zavaru, u ZUT-u i u osnovnom materijalu
Razgranate pukotine	106	Pukotine koje su međusobno ovisne i proizlaze iz jedne zajedničke pukotine

Prema uzroku nastajanja, pukotine se dijele na:

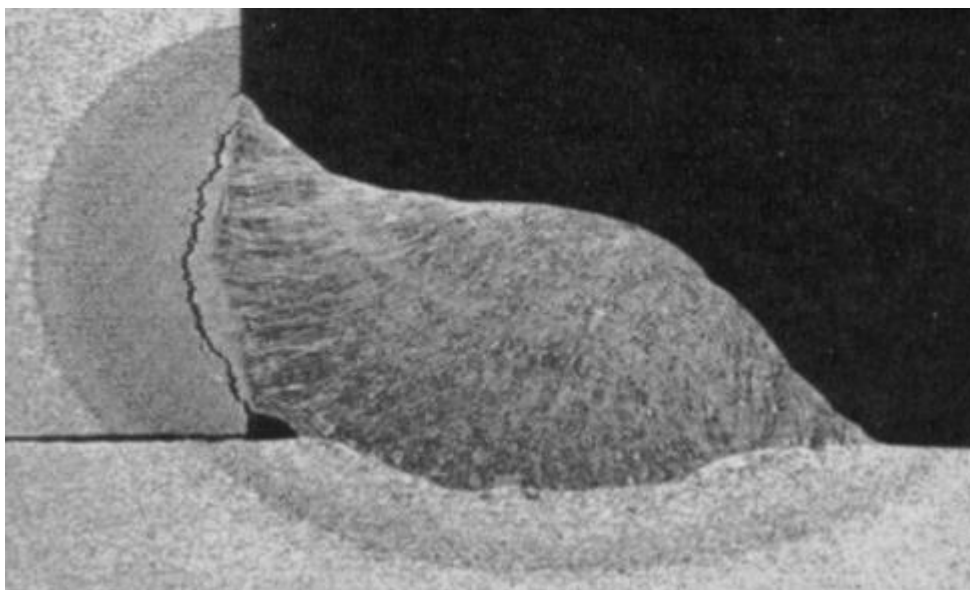
- tople
- hladne

Tople pukotine nastaju uslijed hlađenja taline s visoke temperature do čvrstog stanja. Glavni uzrok nastajanja toplih pukotina je gubitak sposobnosti metala zavara da izdrži naprezanja nastala skupljanjem u posljednjoj fazi skrućivanja kod visokih temperatura. [7]



Slika 6: Uzdužno puknuće aluminjskog zavara [14]

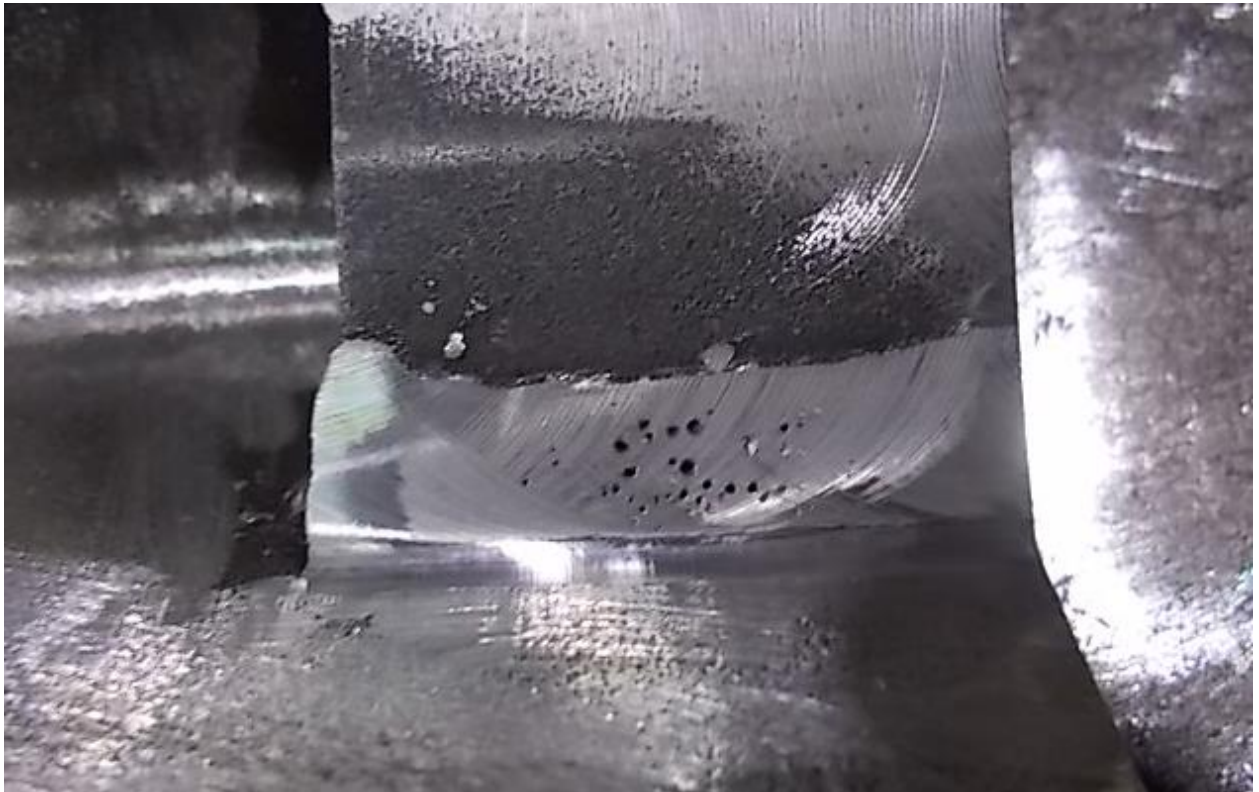
Hladne pukotine (kao na slici) nastaju nakon što se zavarivanje izvrši na temperaturi manjoj od 300 stupnjeva celzijevih. Karakteristične su za čelike visoke čvrstoće i mogu se pojaviti čak nekoliko sati nakon zavarivanja. [7]



Slika 7: Hladna pukotina [15]

2.3.2. Šupljine ili poroznost

Poroznosti ili šupljine (Slike 8 i 9) u zavarenom spoju su mjesta koja su ispunjena stlačenim plinom i mogu biti različitih veličina. Plinovi u pravilu izranjaju iz zavarenog spoja, no ako je brzina izranjanja manja od brzine skrućivanja materijala, onda se unutar zavarenog spoja javljaju šupljine. Ovu vrstu grešaka najčešće nije moguće otkriti vizualnim pregledom jer se često nalaze unutar zavarenog spoja.



Slika 8: Poroznost zavarenog spoja



Slika 9: Šupljine u zavarenom spoju, dio indiciran penetrantskom metodom

Šupljine se mogu javiti zbog nečistoće i vlage na mjestu zavarivanja, zbog slabe zaštite procesa zavarivanja, neispravna tehnika rada, itd.. [7]



Slika 10: Šupljina u završnom krateru zavarenog spoja

Prema normi EN 26520, šupljine u zavarenom spoju prikazane su u tablici (Tabela 6).

Tabela 6: Naziv, oznake i vrste šupljina prema normi EN 26520 [25]

Naziv vrste šupljine	Oznaka	Opis
Plinski mjehurić - pora	2011	Pojedinačni plinski uključak, mjehurić ili pora, kuglastog oblika u zavaru
Plinski mjehurić – poroznost	2012	Više plinskih mjehurića jednoliko raspoređenih u metalu zavara
Gnijezdo plinskih mjehurića	2013	Mjestimična skupina plinskih mjehurića – pora u metalu zavara
Plinski mjehurići u nizu	2014	Plinski mjehurići u nizu u metalu zavara raspoređeni duž linije osi zavara ili usporedno s osi zavara
Izduženi plinski uključak	2015	Veći plinski uključak izduženog oblika u metalu zavara, približno usporedan s osi zavara
Cjevasti plinski uključak	2016	Plinski uključak cjevastog oblika koji se u metalu zavara rasprostire okomito ili razgranato na os zavara
Površinski otvoreni mjehurići	2017	Na površini zavara vidljivi otvori - pore
Šupljine	202	Šupljina u zavaru nastala u skrućivanju zavara
Makrošupljina	2021	Šupljina izduženog oblika okomito na zavar, nastala u skrućivanju zavara.
Mikrošupljina	2022	Šupljine u zavaru vidljive samo mikroskopom
Međukristalna mikrošupljina	2023	Međukristalne šupljine u zavaru vidljive samo mikroskopom
Šupljine u završnom krateru	2024	Šupljine u završnom krateru nastaju kod prekidanja električnog luka i skrućivanjem taline

2.3.3. Čvrsti uključci

Čvrsti uključci su strana tijela u zavarenom spoju koja se tamo mogu naći iz raznih razloga. Ona mogu biti metali, ali i nemetali. Primjer nekih od nemetala su troska i prašak, a metal može biti uključak volframa kod naprimjer postupka TIG. Najčešći razlog pojave troske kao čvrstog uključka je nedovoljno ili nepostojeće čišćenje slojeva zavara. Te uključke možemo svrstati pod grube uključke, a unutar zavarenog spoja mogu se javiti još i sitni uključci kao što su silikatni, fosfidni, sulfidni i nitridni uključci. Oni često mogu biti izvor nastajanja pukotina u zavarenom spoju. [7]

Prema normi EN 26520, čvrsti uključci u zavarenom spoju prikazani su u tablici (Tabela 7).

Tabela 7: Naziv, vrste i opis čvrstih uključaka prema normi EN 26520 [23]

Naziv vrste čvrstog uključka	Oznaka	Opis
Uključak troske	301	Uključak troske od obloge elektrode, troske od praška ili od žice, u metalu zavara
Uključak praška	302	Ostatak praška zarobljen u zavaru
Uključak oksida	303	Metalni oksid kod skrućivanja ostao zarobljen u metalu zavara
Uključak oksidne kože	3031	Uključak oksidne kože ili filma metalnog oksida, najčešće kod zavarivanja aluminija i aluminijskih legura
Uključak stranog metala	304	Zarobljeni komadići druge vrste metala u metalu zavara

Čvrsti uključci negativno utječu na kvalitetu i izdržljivost zavarenog spoja jer smanjuju površinu njegovog presjeka. Na mjestima gdje se javljaju uključci su povećana naprezanja, što je još jedan negativan faktor.

2.3.4. Naljepljivanje i nedovoljan provar

Naljepljivanje je pogreška nepostojanja čvrste strukturne veze u zavarenom spoju ili navaru. To je mjesto gdje nema čvrste strukturne veze u zavarenom spoju ili navaru. Ona se često teško nalazi danas dostupnim metodama kontrole, ali iskusno oko može je primjetiti kod izraženijih slučajeva.

Najčešći uzroci naljepljivanja su nepravilna priprema spoja i nepravilna tehnika rada. Ova greška je karakteristična za zavarivače početnike.

Nedovoljan provar je greška kod koje nije provaren cijeli željeni presjek zavarenog spoja. Najčešće je to slučaj kad korijen zavara nije do kraja ili nije uopće pretaljen.

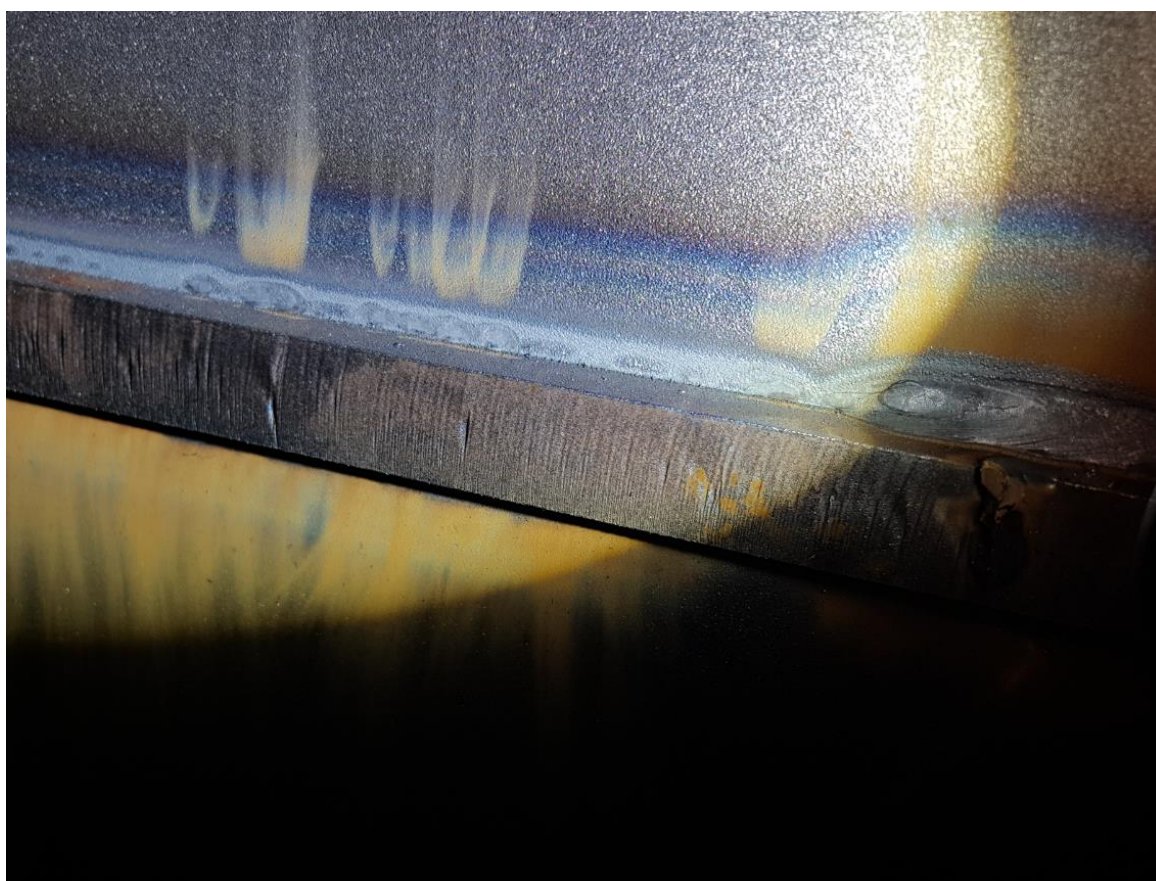
Najčešći uzroci nedovoljnog provara su nepravilna priprema spoja i nepravilna tehnika rada. Najčešće se za ovu vrstu spojeva koriste najsposobniji zavarivači jer se često radi o spojevima vitalnim za cijelu zavarenu konstrukciju. Često nije dovoljno ni samo provarivanje, već provar mora biti i određenog oblika. [7]



Slika 11: Naljepljivanje utvrđeno vizualnom kontrolom



Slika 12: Naljepljivanje utvrđeno vizualnom kontrolom



Slika 13: Nepotpuna provarenost utvrđena vizualnom kontrolom

Prema normi EN 26520, naljepljivanje i nedovoljan provar u zavarenom spoju prikazani su u tablici (Tabela 8)

Tabela 8: Nazivi, oznake i opis grešaka kod naljepljivanja prema EN26520 [25]

Naziv	Oznaka	Opis
Naljepljivanje	400	Naljepljivanje je pogreška nepostojanja čvrste veze u zavarenom spoju
Nedovoljni provar	402	Nedovoljni provar je nedovoljno protaljivanje po cijelom presjeku zavarenog spoja

2.3.5. Pogreške oblika zavara

Pogreškom oblika zavara smatra se svako odstupanje od oblika zavara. Nedovoljna veličina ili varirajući oblik zavara može imati značajan utjecaj na sposobnost zavarene konstrukcije da izdrži statička i dinamička naprezanja, što je suprotno čestom mišljenju da je to problem estetske prirode. Razumijevanjem naprezanja u zavarenim konstrukcijama, uvažamo težinu ovakvih pogrešaka.

Ove pogreške otkrivamo vizualnim pregledom zavara i školovano i iskusno oko kontrolora vrlo brzo i lako može uočiti sve nepravilnosti. [7]



Slika 14: Pogreška oblika zavara zbog loše tehnike zavarivanja



Slika 15: Pogreška oblika zavora zbog loše tehnike zavarivanja

Prema normi EN 26520, pogreške u obliku zavora u zavarenom spoju prikazane su u tablici (Tabela 9).

Tabela 9: Nazivi, oznake i opis pogrešaka u obliku zavora prema EN 26520 [25]

Naziv	Oznaka	Opis
Ugorine uz zavar	501	Ugorine uz zavar su oštećenja oblika oštih udubina uz zavar na stranicama žlijeba ili kutnog zavora
Preveliko nadvišenje zavora	502	Preveliko nadvišenje ili preveliko ispupčenje lica zavora
Preveliko nadvišenje korijena zavora	504	Preveliko nadvišenje korijena zavora može biti na većim dužinama korijena zavora i mjestimično
Oštar prijelaz zavora	505	Premali kut kod prijelaza površine zavora na osnovni materijal

Preklop zavara	506	Preklop materijala zavara na površinu osnovnog materijala izvan žlijeba bez staljivanja s osnovnim materijalom
Posmaknutost u sučeljavanju	507	Odstupanje od ravnine u sučeljavanju dvaju elemenata
Odstupanje od zadanog pravca	508	Odstupanje od zadanog pravca kod dva ili više zavarenih elemenata
Utonulost zavara	509	Utonulost zavara kod zavarivanja pod utjecajem sile teže
Progaranje	510	Otvor u zavaru nastala progaranjem ili propaljivanjem
Nedovoljno popunjen zavar	511	Pokrovni sloj ili popuna zavara preniska, mjestimično ili po cijeloj dužini
Nesimetričan kutni zavar	512	Nesimetričan kutni zavar, najčešće položena stranica kutnog zavara duža od okomite
Nepravilan izgled zavara	513	i Neravnomjerna širina i
	514	neravnomjerna površina
Uvučen korijen zavara	515	Nedovoljno popunjen, plitak korije zavara
Šupljikav korijen zavara	516	Stvaranja šupljikavog materijala spužvastog izgleda u korijenu zavara
Neppravilno izveden nastavak	517	Neppravilno izveden nastavak na površini zavara, nedovoljno spojen ili previše nadvišen

3. Kontrola zavarenih spojeva bez razaranja

3.1. Općenito o kontroli zavarenih spojeva bez razaranja

Opća definicija nerazornih ispitivanja (NDT) je pregled, ispitivanje ili procjena bilo kojeg tipa objekta bez mijenjanja ili oštećenja objekta u bilo kojem obliku, kako bi se utvrdila odsutnost ili prisutnost stanja ili diskontinuiteta koji može imati utjecaja na korisnost ili upotrebljivost tog objekta. [8]

Nedestruktivna ispitivanja mogu se provesti i za mjerenje drugih karakteristika testnih objekata, kao što je veličina, dimenzija, konfiguracija ili struktura, uključujući sadržaj legure, tvrdoću, veličinu zrna, itd..Iako je ova tehnologija djelotvorna i već je desetljećima u upotrebi i dalje je nepoznata širem spektru ljudi, koji uzimaju zdravo za gotovo da se zgrada neće urušiti, da se avion neće srušiti i da drugi proizvodi neće otkazati.



Slika 16: Ultrazvučno ispitivanje zavarenog spoja [16]

NDT, kao tehnologija, vidjela je značajan rast i velike inovacije tijekom posljednjih trideset godina. Danas je riječ o jednoj od najbrže rastućih tehnologija s gledišta jedinstvenosti i inovativnosti. Nedavna poboljšanja i modifikacije opreme, kao i detaljnije razumijevanje materijala i uporaba raznih proizvoda i sustava, su doprinjeli tehnologiji koja je vrlo važna i nalazi široku primjenu kroz razne industrije.

Ova tehnologija svakodnevno utječe na naše živote. Vjerojatno je učinila više za našu sigurnost nego bilo koja druga tehnologija, uključujući i medicinsku struku. Može se samo zamisliti ogroman broj nezgoda i neplaniranih kvarova koji bi se mogli pojaviti da se NDT metode ne koriste učinkovito. Tehnologija je postala sastavni dio gotovo svakog procesa u industriji, gdje neuspjeh proizvoda može rezultirati nesrećama ili tjelesnim ozljedama.

Neke tehnike NDT-a vrlo su slične onima koje se primjenjuju u proizvodnji i uporabi medicinske opreme, samo što se u ovom slučaju ispitivanja provode na neživim objektima. Metoda omogućava uvođenje novih materijala i tehnoloških procesa u cilju postizanja jeftinijeg i sigurnijeg proizvoda. [8]

Prednosti NDT ispitivanja [8]:

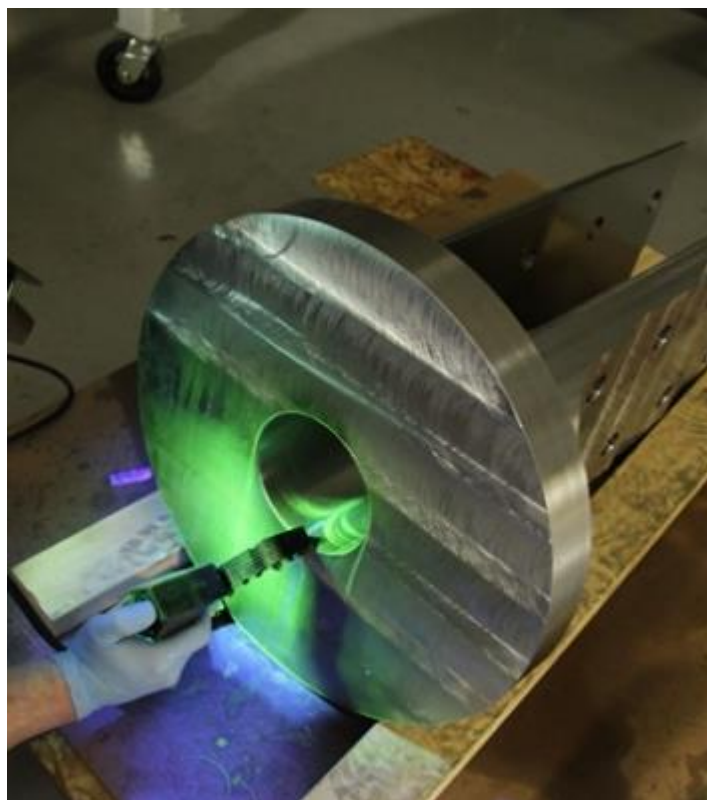
- moguće je provoditi stopostotnu kontrolu
- objekt je moguće ispitati više puta i s više metoda
- kontrola se može vršiti u toku proizvodnje
- oprema je u većini slučajeva lako prenosiva
- ispitivanja se mogu provoditi izravno na proizvodu

Nedostaci NDT ispitivanja [8]:

- pojedine metode zahtjevaju pojačanu zaštitu na radu
- potrebno školovano osoblje i relativno visoka razina znanja

Vrste NDT ispitivanja [7]:

- vizualna kontrola
- penetrantska kontrola
- magnetska kontrola
- ultrazvučna kontrola
- radiografska kontrola
- akustična emisija
- dimenzionalna kontrola
- ostale metode



Slika 17: Postupak ispitivanja zavarenog spoja magnetskom metodom

Tabela 10: Metode nerazorne kontrole zavara obzirom na tipove pogrešaka i mogućnosti primjene [7]

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

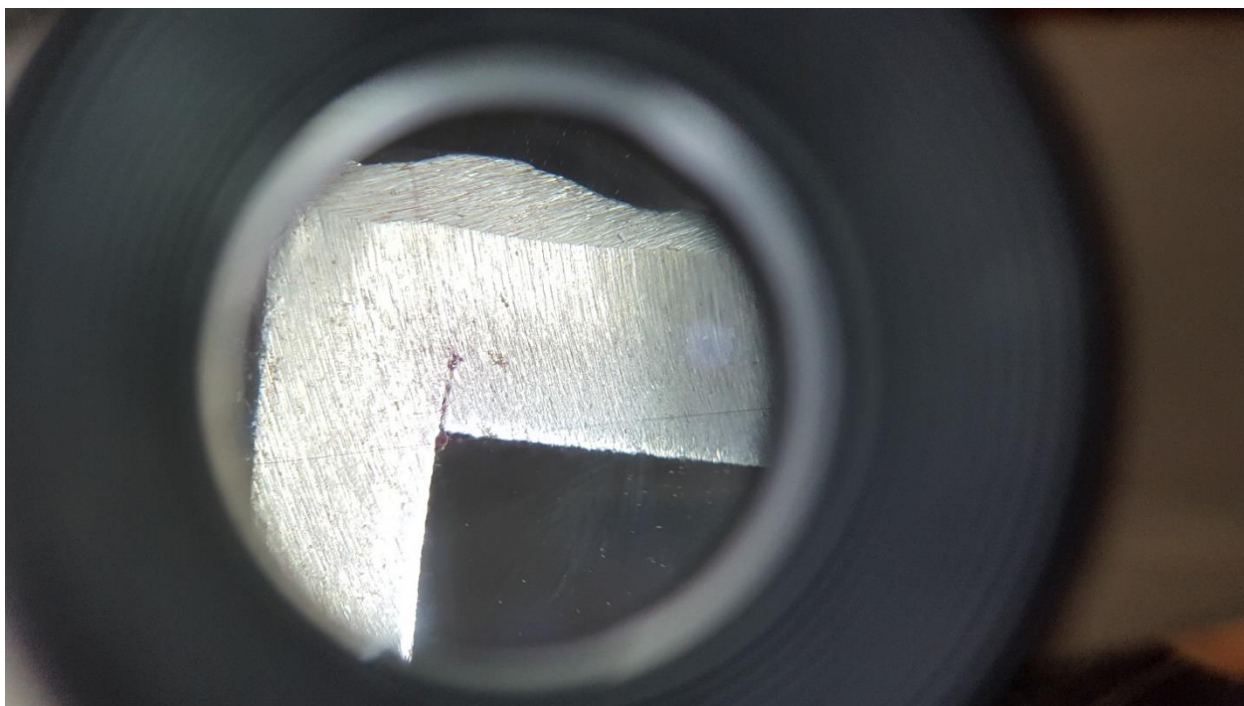
3.2. Vizualna kontrola

3.2.1. Općenito o vizualnoj kontroli

Vizualna kontrola primjenjuje se prije svih ostalih vrsta kontrola bez razaranja. S obzirom na relativno malu cijenu, ne oduzima mnogo vremena, a može dati ključne i vrlo važne informacije o kvaliteti zavarenih spojeva. Slijedom vizualne, određuje se i eventualna potreba za nekom drugom metodom. Vizualna kontrola je metoda koja je dugo vremena bila zanemarivana u industrijskoj primjeni, ali je naposljetku našla svoje mjesto.

Najveće ograničenje vizualne kontrole zavara je to što njome možemo otkriti samo površinske greške ili greške koje imaju otvor na površinu.

Za pomoć kod vizualne kontrole, na ponekad nepristupačnim mjestima možemo se koristiti raznim pomagalima, a nekad je dovoljno i samo golo oko.



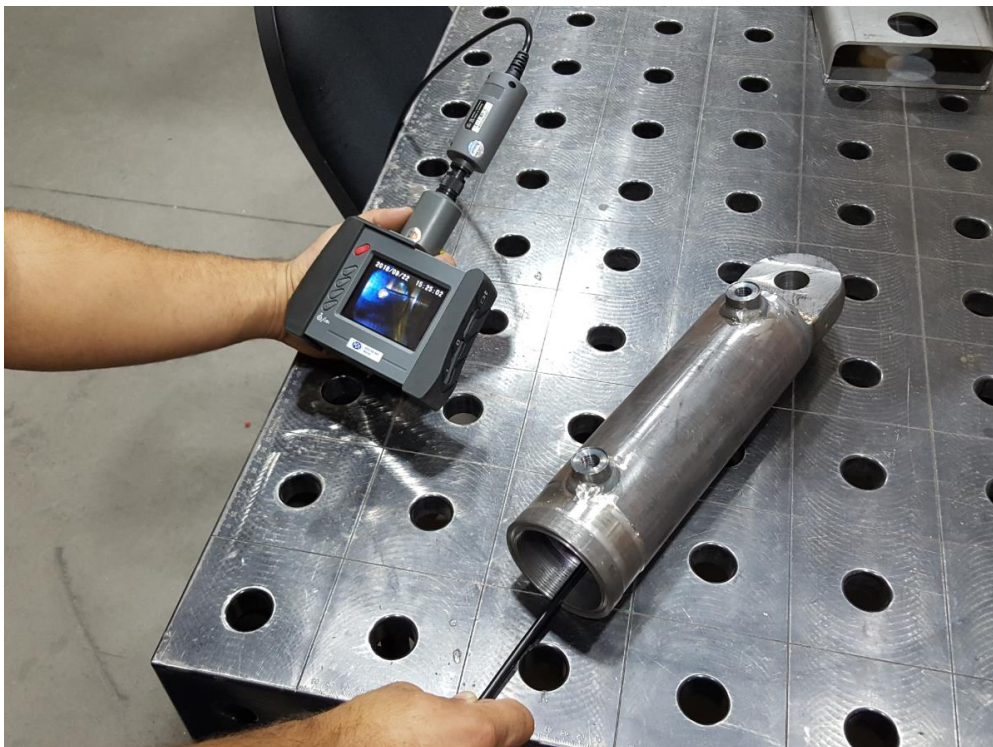
Slika 18: Prikaz provarenosti zavarenog spoja uz pomoć povećala

Za kvalitetno provođenje vizualne površine, površina ispitnog predmeta mora biti dobro očišćena i osvijetljena, uvjeti moraju biti što više prilagođeni ljudskom oku.

Uvjeti za vizualnu kontrolu su:

- vizualna oštrina
- svjetlost
- čistoća
- oblik objekta
- veličina objekta
- temperatura
- tekstura i refleksija
- ljudski čimbenici

Ako se izuzme sam čin zavarivanja vizualna kontrola je najvažniji i najbitniji čimbenik u nastajanju zavarenog spoja. To je jedina od svih metoda nerazorne kontrole koja može uočiti, predvidjeti uzrok i mjesto nastajanja pogreške. [10]



Slika 19: Vizualna kontrola provarenosti zavarenog spoja glave i cijevi hidrauličkog cilindra

Prednosti vizualne kontrole su [8]:

- ekonomična
- neposredna
- visoko učinkovita
- široko upotrebljiva
- jednostavna

Nedostaci vizualne kontrole su [8]:

- mogućnost otkrivanja samo površinskih grešaka

3.2.2. Alati i pribor potrebni za obavljanje vizualne kontrole



Slika 20: Svjetiljka



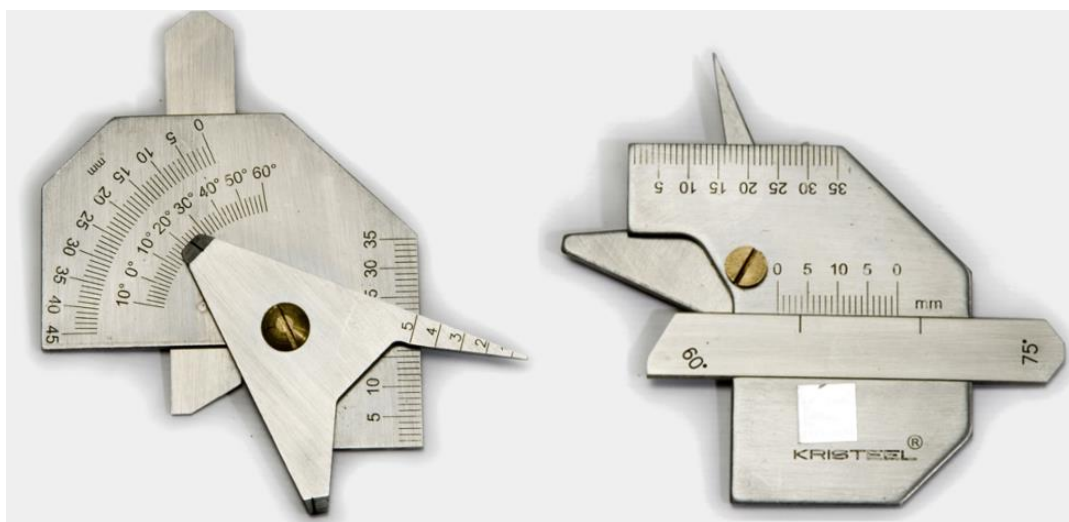
Slika 21: Pomično ogledalce



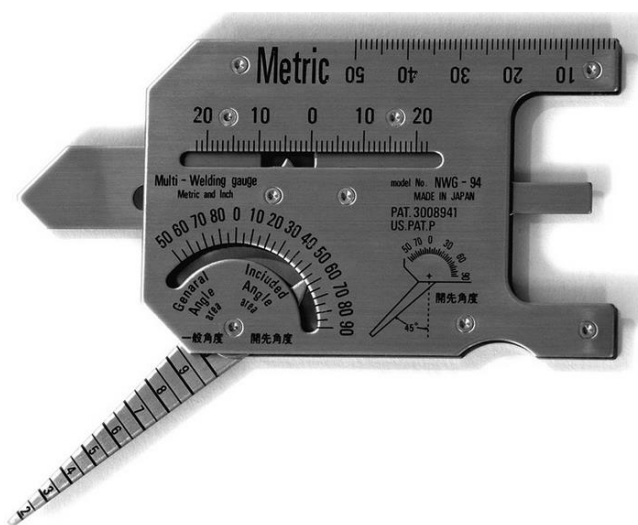
Slika 22: Povečalo



Slika 23: Mjerač veličine zavora



Slika 24: Mjerači veličine zavora [17]



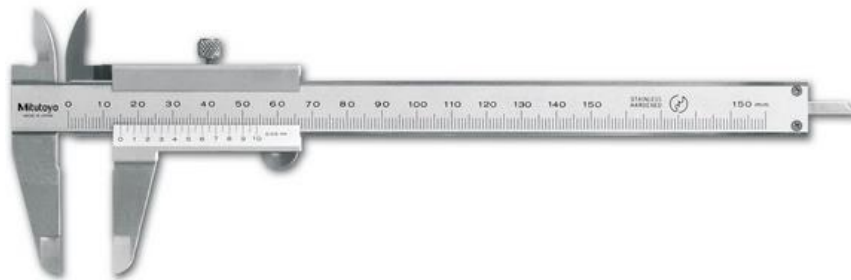
Slika 25: Mjerač veličine zavora [18]



Slika 26: Boroskop [19]



Slika 27: Video endoskop [20]



Slika 28: Pomično mjerilo



Slika 29: Mjerenje veličine zavarenog spoja

3.2.3. Primjer iz prakse

Za primjer vizualne kontrole uzeli smo uzdužne zavare stupa za betonsku pumpu, koja je izrađena od sitnozrnatog čelika (S690). Potrebno je bilo zavariti fazni zavar veličine 4mm s provarom i kutni zavar veličine 4mm, dužine šest metara. Vizualnom kontrolom uz pomoć mjerača zavara utvrđeno je da imamo potpunu provarenost i zadovoljavajuću veličinu zavara.



Slika 30. Mjerenje veličine zavara s donje strane



Slika 31: Mjerenje zavora s gornje strane



Slika 32: Kontrola provara s unutarnje strane

3.3. Penetrantska metoda

3.3.1. Općenito o penetrantskoj metodi

Penetrantska metoda je jedna od najšire korištenijih metoda bez razaranja površine. Zasigurno je najšire korištena metoda za otkrivanje površinskih nepravilnosti materijala jer se može primjeniti na praktički bilo koji magnetični ili nemagnetični materijal. Isto tako pogodna je za ispitivanje komada svih veličina i oblika. Velika prednost ove metode je da je potreban alat iznimno lako prenosiv što omogućuje ispitivanja na zabačenim i teško dostupnim područjima.

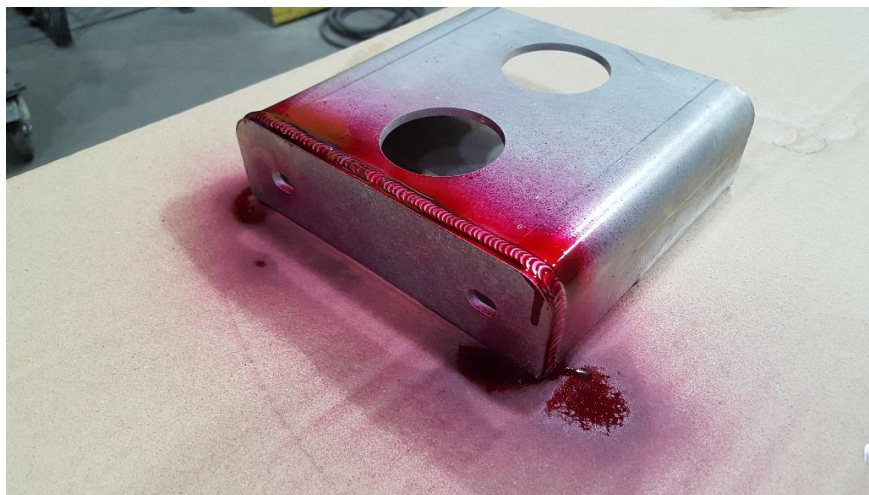
Datum prve primjene ove metode je nepoznat, ali vjeruje se da su se prva ispitivanja obavljala krajem 19. stoljeća. Prvenstveno se koristila u ispitivanju dijelova za željezničku industriju. Počeci su bili primitivni, no bilo je moguće otkriti neke veće greške. U 1930-im godinama, došlo je do smanjenja obujma korištenja ove metode zbog pojave ispitivanja na temelju magnetizma. Povećanje obujma korištenja ove metode javlja se uslijed sve većeg korištenja aluminija u proizvodnji, gdje se metode temeljene na magnetizmu ne mogu primjeniti. U ožujku 1949. godine patentiran je i penetrant vidljive boje kakvog poznajemo danas. [8]

Materijali na kojima se ova metoda može primjeniti su [11]:

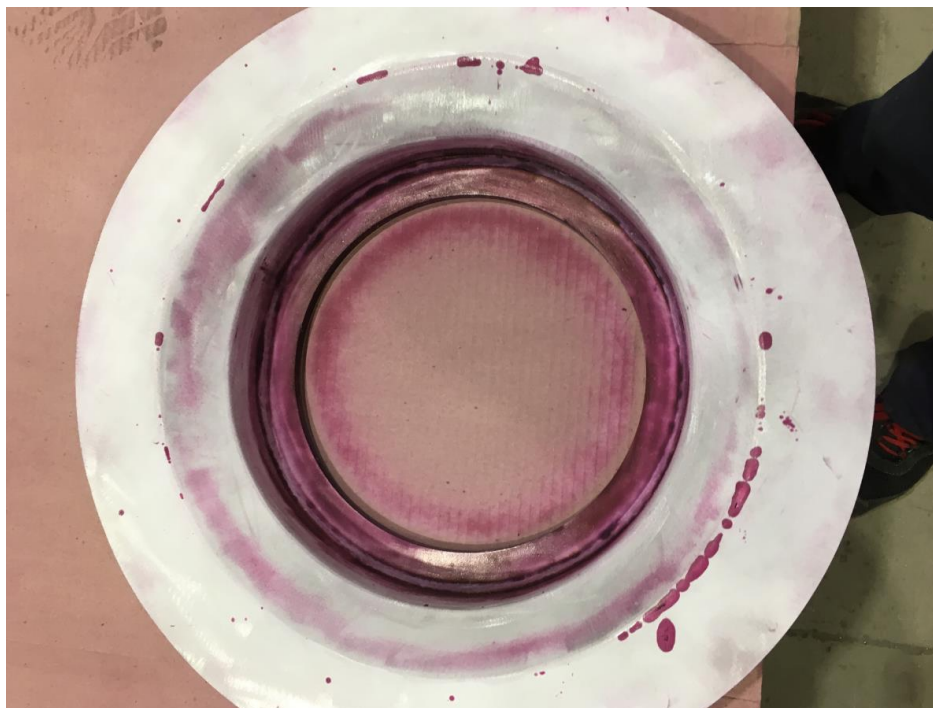
- željezo (ugljično i austenitno)
- bakar
- titan
- keramika
- plastika
- aluminij

Temelj ove metode je u korištenju tekućina na bazi lakih ulja koja nazivamo penetranti, a koji na temelju kapilarnosti prodiru u površinske nepravilnosti i ispunjavaju ih. Kapilarnost je fizikalna pojava usisavanja tekućine u tanke cjevčice ili na „zidove“ pukotina. Nakon toga se izvlače iz šupljine na pogodan način i ako ga uspijemo učiniti vidljivim, stvaraju se uvjeti za penetrantsku metodu kontrole. [11]

Poželjna karakteristika dobrog penetranta je da s lakoćom ulazi u uske otvore, da se u njima zadrži i da ima dobru sposobnost kvašenja površine. Isto tako bitna karakteristika je da se nakon određenog vremenskog odmaka lako uklanja s površine predmeta ispitivanja. S obzirom na način nanošenja, penetrante dijelimo na vodoisperive i s naknadnim emulgiranjem. [8]



Slika 33: Ispitivanje zavarenog spoja penetrantima (faza nanošenja penetranta)



Slika 34: Ispitivanje zavarenog spoja penetrantima (faza prikaza indikacija)

Prednosti ove metode ispitivanja su [11]:

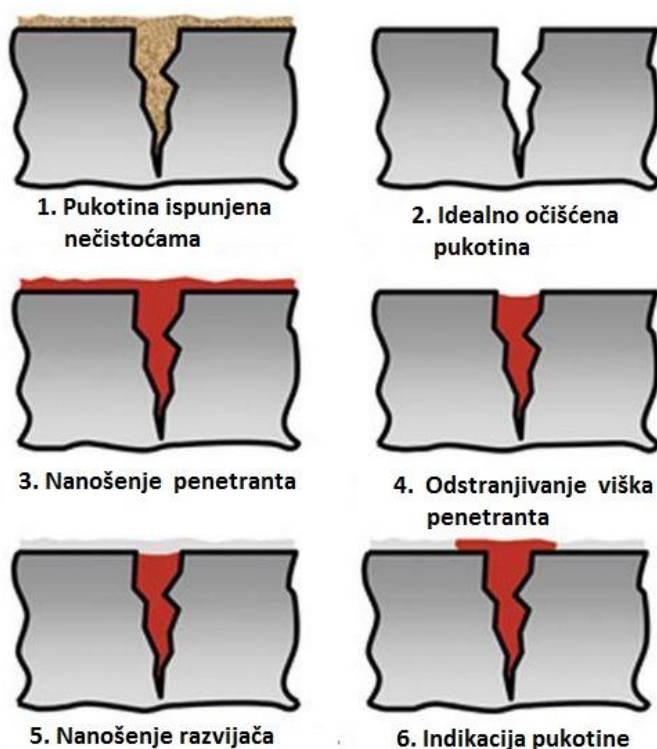
- jednostavna primjena
- može se primjenjivati na raznovrsnim materijalima
- relativno niski troškovi ispitivanja
- dobra vidljivost grešaka na površini

Nedostaci ove metode su [11]:

- osjetljivost na temperaturu
- ne primjenjuje se kod materijala sklonih koroziji
- ne primjenjuje se na artiklima namjenjenim prehrambenoj industriji
- kvaliteta ovisi o stanju površine

Postupak penetrantske metode uključuje sljedeće korake:

1. Priprema površine za ispitivanje (predčišćenje i sušenje)
2. Nanošenje penetranta
3. Vremenski odmak od petnaest minuta
4. Odstranjivanje viška penetranta i sušenje
5. Nanošenje razvijaača
6. Vremenski odmak od petnaest minuta
7. Promatranje indikacija i interpretacija rezultata
8. Završno čišćenje



Grafički prikaz penetrantskog ispitivanja

Važno je napomenuti da ćemo greške penetrantskom metodom uočiti ako imaju otvor prema površini, ako nisu ispunjene i prekrivene bojom, uljem, nečistoćama ili vodom, ako ispitna površina nije prekrivena šljakom i ako na površini nema agresivnih tvari kao što su kiseline, boje za označavanje, koje bi prouzročile kemijsku reakciju s penetrantom.

3.3.2. Oprema i alati potrebni za magnetsku metodu

Oprema i alati potrebni za izvršenje kontrole penetrantima su:

- penetrant
- četka
- sredstvo za čišćenje
- razvijač
- sat
- krpa ili papir
- povećalo (opcija)



Slika 35: Sredstvo za čišćenje Tiede RL-40



Slika 36 : Crveni penetrant Tiede SKL-WP2



Slika 38: Razvijač Tiede SKD-S2



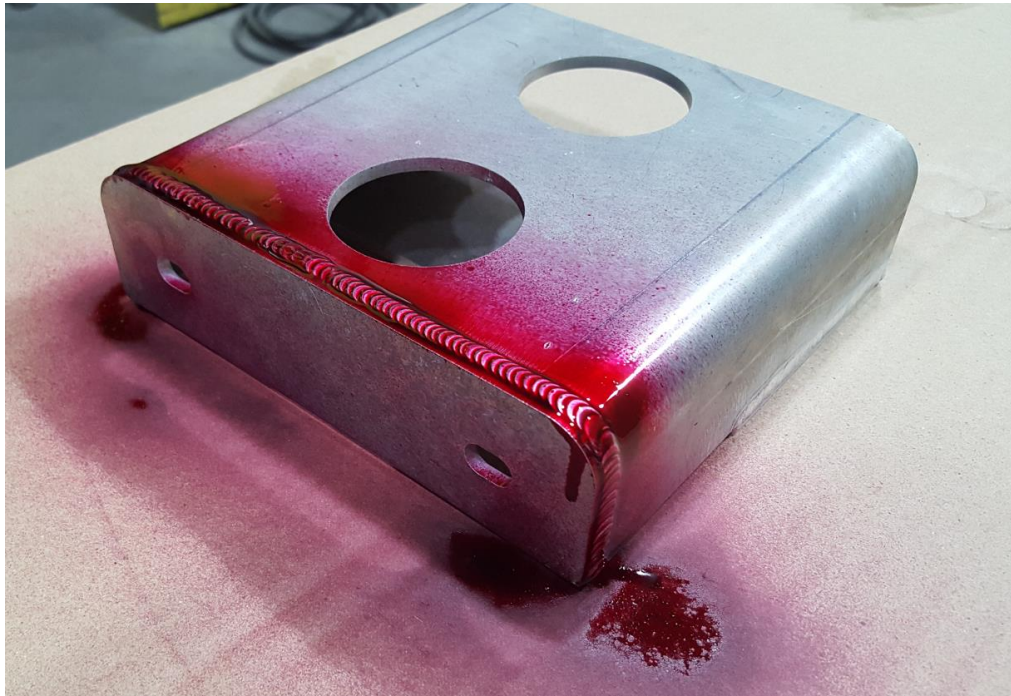
Slika 37: Četka za čišćenje površine

3.3.3. Primjena penetrantske metode u proizvodnji

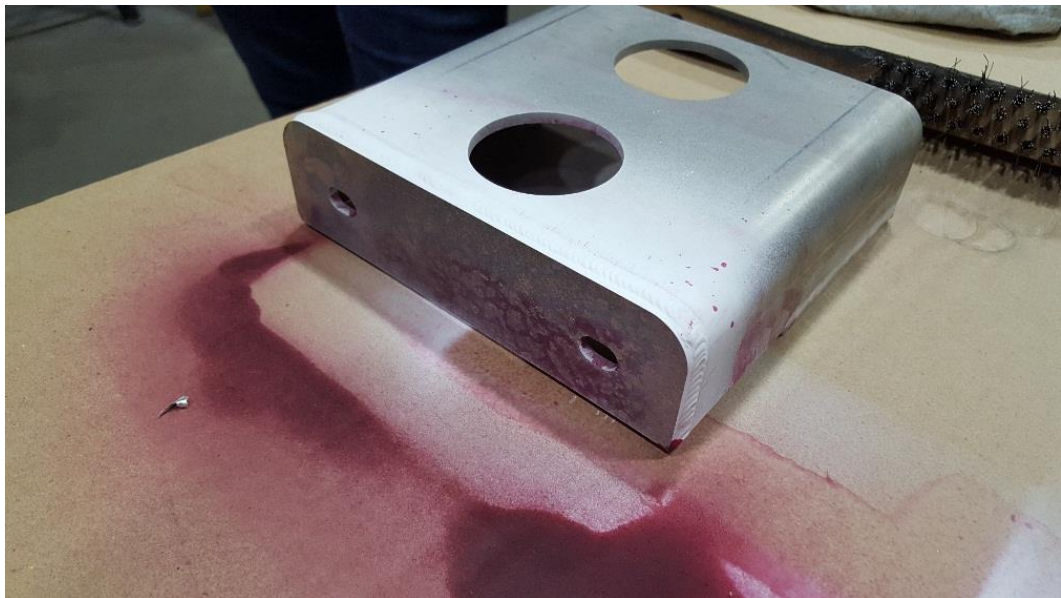
Penetrantsku kontrolu izvršit ćemo na aluminijskom komadu (velika prednost penetrantske metode je što se može koristiti na svim vrstama metala). Otkrivena je greška u zavarenom spoju, naljepljivanje. Kod ovog artikla reparaturno zavarivanje nije dopušteno i artikl će biti škartiran.



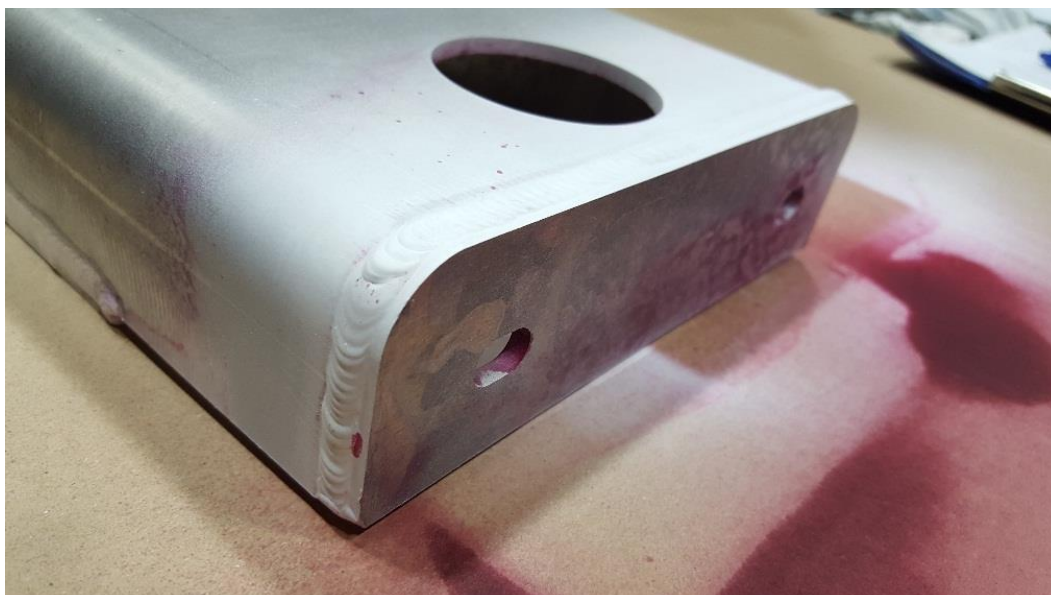
Slika 39: Čišćenje i četkanje komada prije početka ispitivanja



Slika 40: Nanošenje penetranta



Slika 41: Nanošenje razvijачa s vremenskim odmakom od petnaest minuta



Slika 42: Uz vremenski odmak od petnaest minuta, promatranje indikacija i interpretacija rezultata (naljepljivanje)

3.4. Magnetska metoda

3.4.1. Općenito o magnetskoj metodi

Magnetska metoda počinje se koristiti početkom 20. stoljeća, kada je otkriveno da se primjenom magnetskih čestica mogu otkriti površinske nepravilnosti na materijalima. Ova metoda je također u današnje vrijeme u vrlo širokoj primjeni. Vrlo poželjnom metodom čini ih relativno niska cijena i jednostavan postupak. Tom metodom se vrlo lako otkrivaju pogreške tipa: pukotina, zarez, većih uključaka naročito onih uz ili blizu površine pregleda. [8]



Slika 43: Ispitivanje artikla za rudarsku industriju magnetskom metodom

Metoda ispitivanjem magnetnim česticama je metoda koja se koristi za otkrivanje grešaka na feromagnetičnim materijalima, koje se nalaze na površini ili blizu površine. Već iz naziva je jasno da se ovom metodom mogu ispitivati samo feromagnetski materijali.

Materijali koji se mogu ispitivati magnetskom metodom su [12]:

- feromagnetsko željezo
- kobalt
- nikal

Ova metoda zasniva se na principu magnetske indukcije. Greške otkrivamo na način da se zbog poremećaja u gustoći magnetskog toka, magnetske čestice nakupljaju na mjestu greške i time je čine vidljivom ispod UV svjetla.



Slika 44: Ispitivanje artikla za rudarsku industriju magnetskom metodom

Postoje dvije vrste magnetizacije ispitnog predmeta. Prva je u stroju za magnetizaciju, koji ima mogućnost magnetizacije kružnim i uzdužnim magnetskim poljem, kojega osigurava protok električnog toka ili magnetsko polje. Druga je lokalno, s pomoću ručnog jarma ili kontaktnih elektroda, kod čega moraju biti realizirani smjerovi magnetizacije, približno devedeset stupnjeva jedna u odnosu na drugu. Odabir tehnike ovisi o geometriji ispitnog predmeta, vrste grešaka koje je potrebno otkriti i o raspoloživosti opreme. [12]

Prednosti ove metode su [12]:

- pouzdanost
- visoka osjetljivost
- učinkovitost
- visoka produktivnost
- laka prenosivost (u slučaju ručnog jarma)

Nedostaci ove metode su [12]:

- pojava lažnih indikacija
- stvaranje dodatnih pogrešaka
- primjenjivost samo na feromagnetnim materijalima
- može se odrediti samo jedna dimenzija greške

Postupak magnetske kontrole uključuje sljedeće korake:

- 1) čišćenje površine
- 2) mjerenje jakosti magnetskog polja
- 3) mjerenje osvjetljenja
- 4) nanošenje fluorescentnih magnetnih čestica
- 5) ispitivanje magnetskim jarmom i UV lampom
- 6) interpretacija rezultata
- 7) demagnetiziranje (opcija)



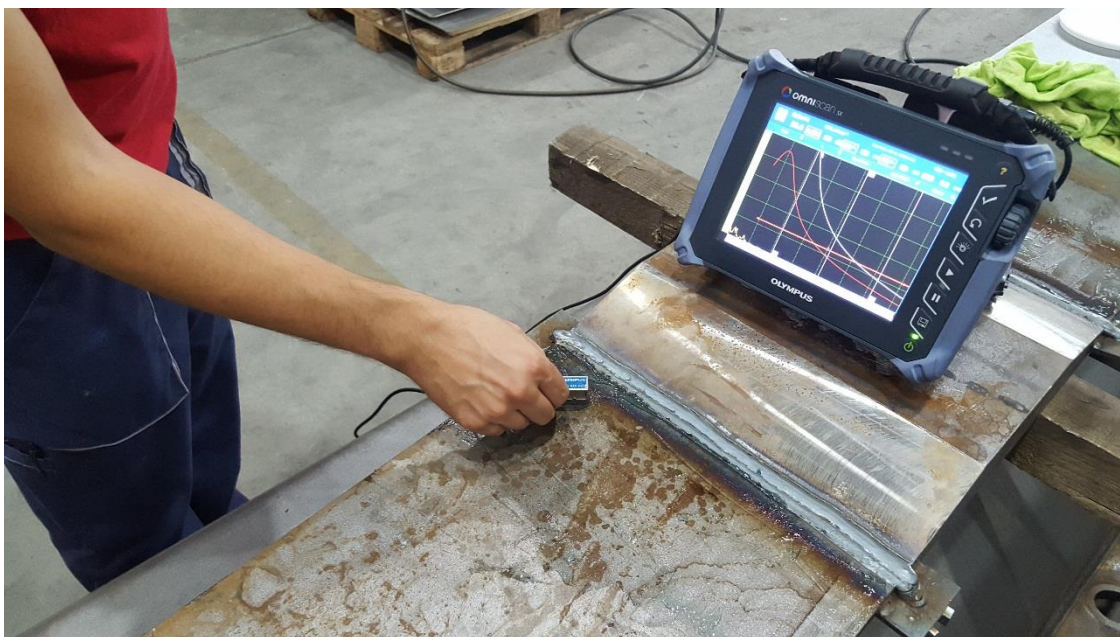
Slika 45: Po mjeri dizajnirana i izrađena „Magnetska bench naprava“

3.5. Ultrazvučna metoda

3.5.1. Općenito o ultrazvučnoj metodi

Prva primjena ultrazvučne metode ispitivanja je bila 1929. godine, a ispitivani materijali bili su lijevano željezo i čelik. Čovjek koji je proveo prva ispitivanja je S. Y. Sokolov. To ispitivanje nije bilo slično današnjem u kojem se novijim istraživanjima razvio sustav „Real-time imaging“, odnosno praćenje mjerenja u realnom vremenu. [8]

Ultrazvuk predstavlja mehaničko titranje u području frekvencija većih od 16 000 Hz (iznad slušnog područja čovjeka). Najčešće se koriste frekvencije između 1 MHz i 5 MHz. Postoji više zakona rasprostiranja ultrazvuka: zakon refleksije, zakon rasprostiranja, zakon transmisije i zakon apsorpcije. Ultrazvučno ispitivanje omogućuje određivanje oblika i dimenzija koje se klasičnim metodama mjerenja ne mogu obuhvatiti, no najčešće se koristi za otkrivanje odstupanja oblika i dimenzija od zadanih vrijednosti.



Slika 46 : Ispitivanje zavarenog spoja ultrazvučnom metodom

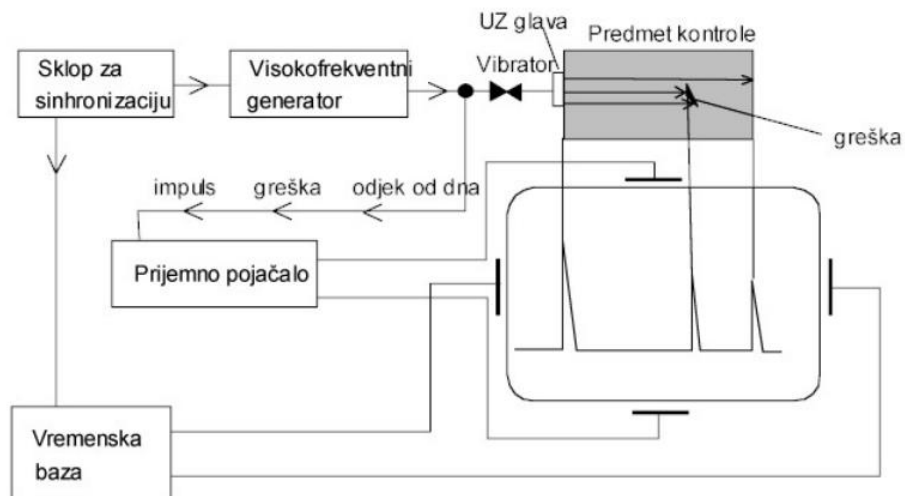
Kako bi se zavar ispitaio ultrazvučnom metodom, kroz njega je potrebno poslati zvučne valove određene frekvencije. Taj postupak može se nazvati ultrazvučna defektoskopija.

Od sonde, koja predstavlja izvor ultrazvuka, šire se zvučni valovi. Ti zvučni valovi šire se materijalom u određenom smjeru i u slučaju da naiđu na grešku, oni će se od nje odbiti i samim time će oslabiti ili ih uopće nećemo očitati. Tu se javlja lom zvučnih valova ili refrakcija. Greška se može detektirati refleksijom, rezonancijom, difrakcijom i mjerenjem prigušenja. [8]

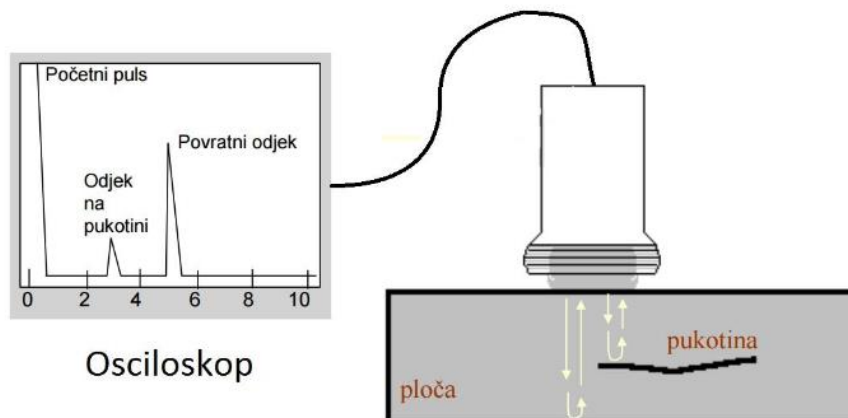
Metode ispitivanja ultrazvukom su:

- metoda transmisije (prozvučivanje)
- metoda rezonancije
- „puls echo“ metoda

U praksi se najčešće koristi metoda prozvučavanja pri čemu se koriste ravne ili kutne ultrazvučne glave. Za kvalitetno provođenje ispitivanja ovom metodom potrebno je mnogo iskustva i znanja, što može biti i prednost i nedostatak ove metode. Greške koje se mogu otkriti ovom metodom su: uključci, pukotine, poroznost, neprovarenost, itd.. [13]



Slika 47: Shematski prikaz ultrazvučnog ispitivanja [2]



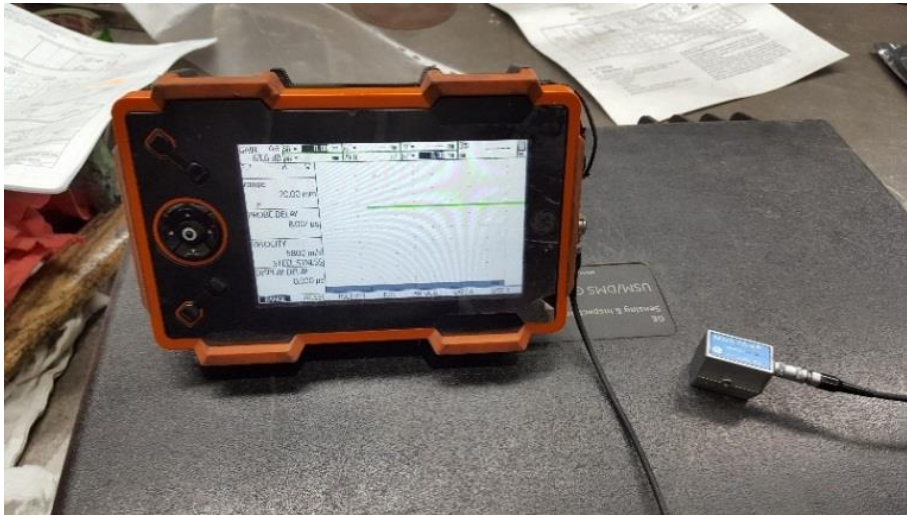
Slika 48: Grafički prikaz ultrazvučnog ispitivanja [2]

Prednosti ispitivanja ultrazvukom:

- potreban je pristup samo s jedne strane zavarenog spoja
- uređaj i pribor su relativno mali i lako prenosivi
- okolina nema utjecaja na ispitivanje
- debljina materijala nema utjecaja

Nedostaci ove metode su:

- složeni oblici mogu biti nepogodni za provođenje
- uvježbavanje operatera je dugotrajno
- ne preporuča se ispitivanje kroz lakirane površine jer dolazi do prigušenja signala



Aparat starije generacije – Krautkramer USM/DMS Go

3.5.2. Alati i oprema potrebni za ultrazvučnu metodu

Oprema i alati potrebni za provođenje ultrazvučne kontrole su [13]:

- elektronski generator signala
- pojačalo signala
- sonda koja emitira i prihvata UZ valove
- zaslon za očitavanje rezultata
- elektronski referentni sat



*Slika 49: Aparat za provođenje ultrazvučne kontrole OLYMPUS
OMNI SCAN SX*



Slika 50: Sonda OLYMPUS 4L16-8X9-DGS1-P-2.5



Slika 51: Gel za bolji i glađi kontakt sonde s površinom



Slika 52: Alat za čišćenje površine

3.5.3. Primjena ultrazvučne metode u proizvodnji

Aparat koji se koristi kod ispitivanja je OLYMPUS OMNI SCAN SX (slika 49) čija vrijednost je cca. 25 000 EUR-a. Sonda koja se koristi je OLYMPUS 4L16-8X9-DGS1-P-2.5 (Slika 53), čija je vrijednost cca. 5 000 EUR-a. Radi se o vrhunskoj i veoma vrijednoj opremi, za čije rukovanje je potrebno mnogo znanja i vještine. Aparat i sonda koji su korišteni imaju jednu veliku prednost, a to je da se jednom sondom mogu ispitati svi kutevi odjednom (na starijim, standardnim aparatima za svaki kut ispitivanja imamo drugu sondu!).



Slika 53: Sonda novije generacije OLYMPUS 4L16-8X9-DGS1-P-2.5 mijenja sve sonde sa (Slika 54)



Slika 54: Razne sonde starije generacije



Slika 55: Čišćenje i priprema površine prije ispitivanja



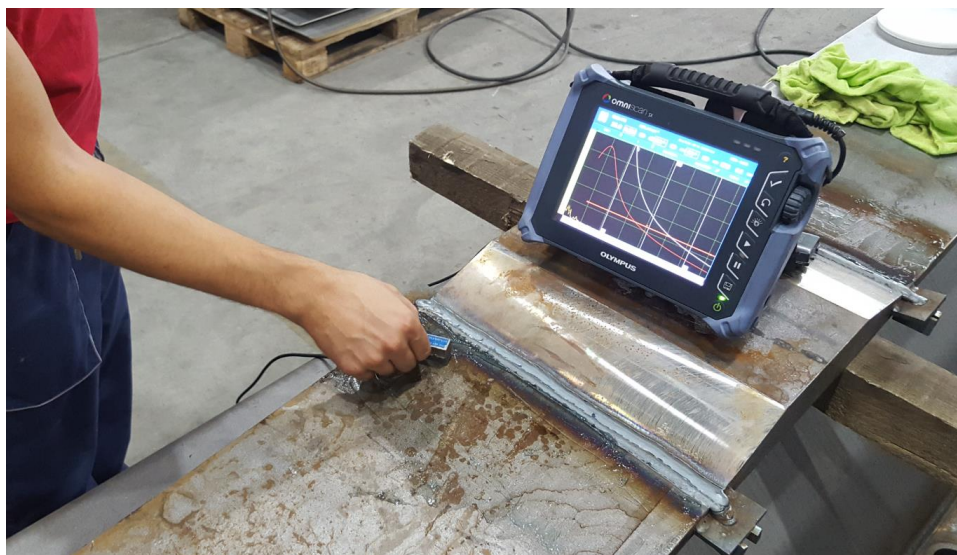
Slika 56: Opcionalna kalibracija sonde



Slika 57: Unošenje parametara ispitnog predmeta (debljina materijala, vrsta materijala, brzina ispitivanja i kut)



Slika 58: Premazivanje površine gelom



Slika 59: Ispitivanje i interpretacija rezultata



Slika 60: Završno čišćenje površine

3.6. Radiografska metoda

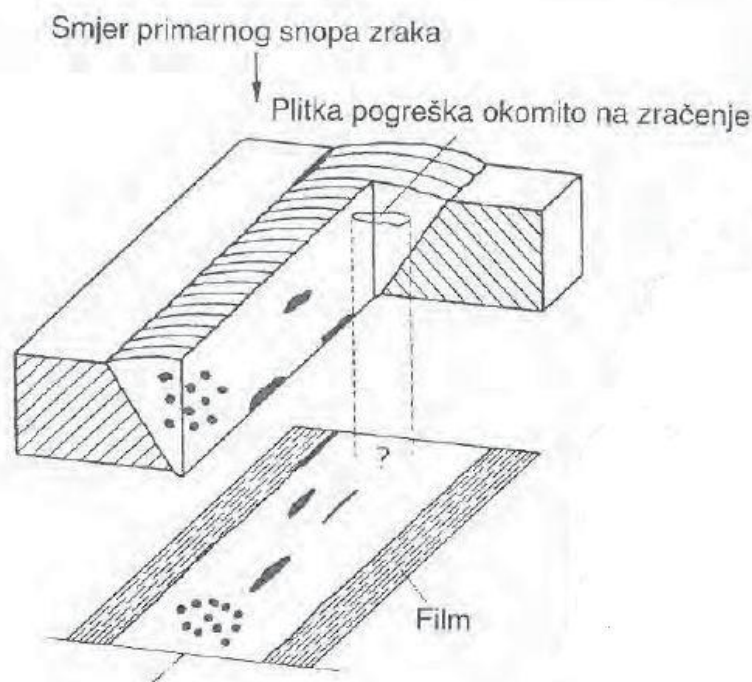
3.6.1. Općenito o radiografskoj metodi

Godine 1931., razvitkom milijun volti snažnog generatora, stvaraju se uvjeti za primjenu radiografije u industriji. Iste godine, vodeći ljudi ASME sekcije dopustili su korištenje X-zraka kao jednu od metoda nerazornog ispitivanja kod zavarenih posuda pod tlakom, kojom su otvorili

vrata za industrijsku primjenu radiografske metode. Radiografska se metoda osobito koristi pri ispitivanju zavarenih spojeva. Tehnički zahtjevi koji osiguravaju zahtjevanu osjetljivost i kvalitetu radiografske slike propisani su normom HRN EN 1435. Međutim, kod ispitivanja koja se provode u terenskim uvjetima zahtjevi propisani normom često se ne mogu ispuniti jer svi elementi ispitnih sustava nisu osigurani. [8]

Radiografija je metoda koja se kako bi otkrila nepravilnosti unutar zavarenog spoja koristi rendgenskim ili gama zrakama. Oba ta zračenja su elektromagnetska. Prolaskom kroz materijal, te zrake su sve više i više prigušene, ali zadržavaju smjer. Te zrake ostavljaju zapis na filmskoj emulziji, na čemu se metoda i zasniva. Nepravilnosti se na filmu kasnije interpretiraju kao različite nijanse crne boje, jer je energija zraka koje su prošle kroz nepravilnost različita od ostalih.

Zbog visoke cijene, bez obzira na neke izrazite prednosti, kao što je mogućnost spremanja snimaka i njihovo arhiviranje, korištenje radiografije ograničeno je na kontrolu proizvoda veće pojedinačne vrijednosti. [7]



Slika 61: Grafički prikaz radiografskog ispitivanja [7]

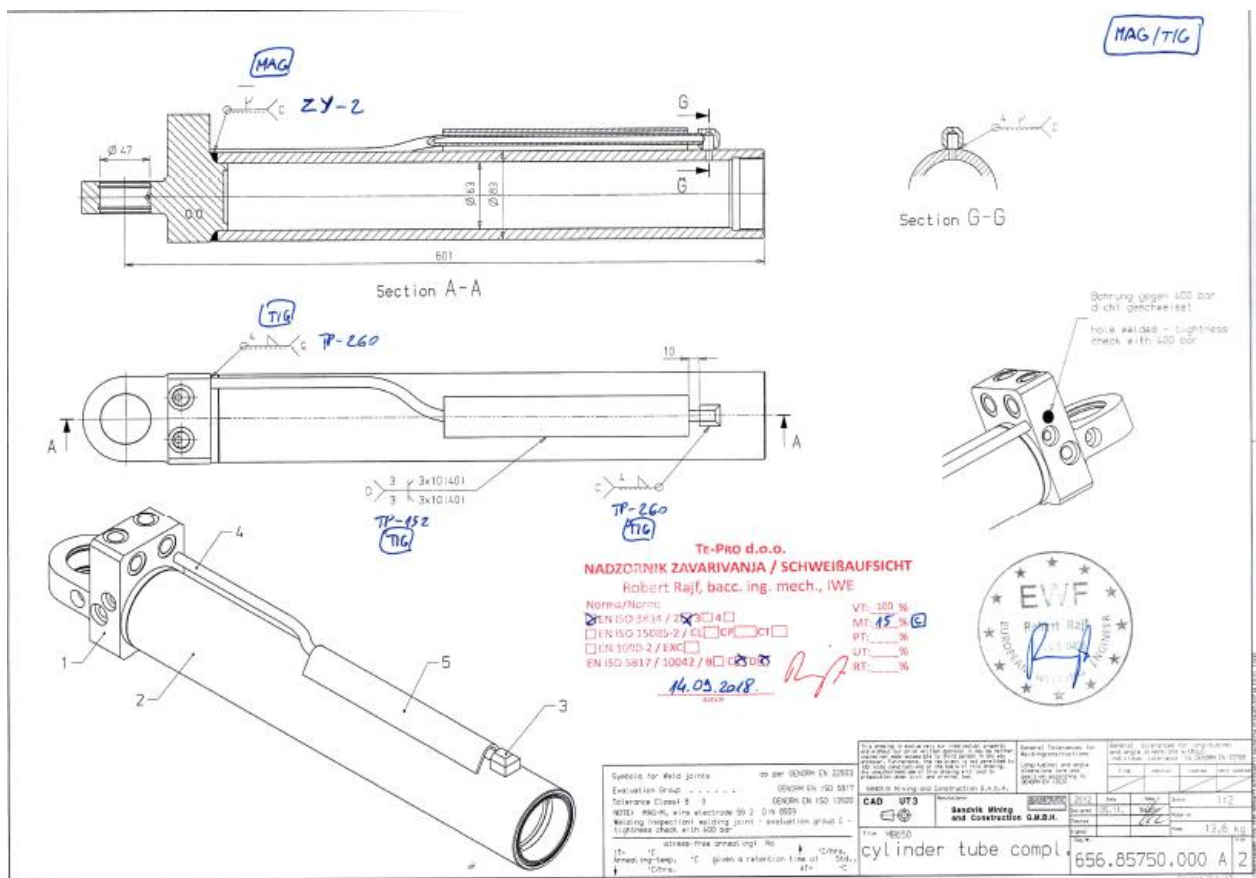


Slika 62: Radiografsko ispitivanje zavara na cjevovodu [21]

4. Praktična primjena magnetskog ispitivanja

4.1. Opis postupka ispitivanja zavarene konstrukcije hidrauličkog cilindra

Predmet ispitivanja magnetskom kontrolom je zavarena konstrukcija hidrauličkog cilindra "Cylinder tube compl." 656.85750.000, koji je zavaren MAG i TIG postupkom zavarivanja. Temeljem radioničkog nacrt (Slika 63 i Prilog 1), provjerenog i izdanog od strane inženjera zavarivanja, možemo iščitati koja su sve ispitivanja potrebna i u kojem obujmu.



Slika 63: Radionički nacrt artikl "Cylinder tube compl." 656.85750.000

Nacrtom su definirane „C“ i „D“ klase zavara (prema normi EN ISO 5817). Prema internoj uputi AA-QM-04, iščitavamo da za „D“ klasu zavara nije potrebno MT ispitivanje, a za „C“ klasu je potrebno i to u obujmu od 15%. Isto tako iščitavamo da se postupak ispitivanja mora odraditi prema normi ISO 17638, a kriterije prihvatljivosti određuje norma ISO 23278. U toj radnoj uputi nalazimo i poveznicu klase zavara i razine prihvatljivosti grešaka, a to je u ovom slučaju razina 2 (kasnije u izvješću kontrole X2). Svi podaci se nalaze na radioničkom nacrtu koji uz predmet ispitivanja dolazi na kontrolu. Tim načinom kontroloru koji vrši ispitivanje uvelike je olakšan odabir metode i kriterija i ne gubi se dragocjeno vrijeme u proizvodnji.

Prvi korak je čišćenje i odmašćivanje predmeta ispitivanja (Slika 64). Predmet ispitivanja treba očistiti od svih nečistoća, masti, šljake, ulja, tekućina, prskotina i stranih tijela koja mogu utjecati na ispitivanje. Isto tako, površina mora obavezno biti suha. Obujam čišćenja i odmašćivanja određuje stanje u kojem je predmet ispitivanja. Kontrolor zaključuje da je stanje relativno dobro, pa nije potrebno mnogo vremena da bi se komad pripremio za ispitivanje.



Slika 64: artikl "Cylinder tube compl." 656.85750.000

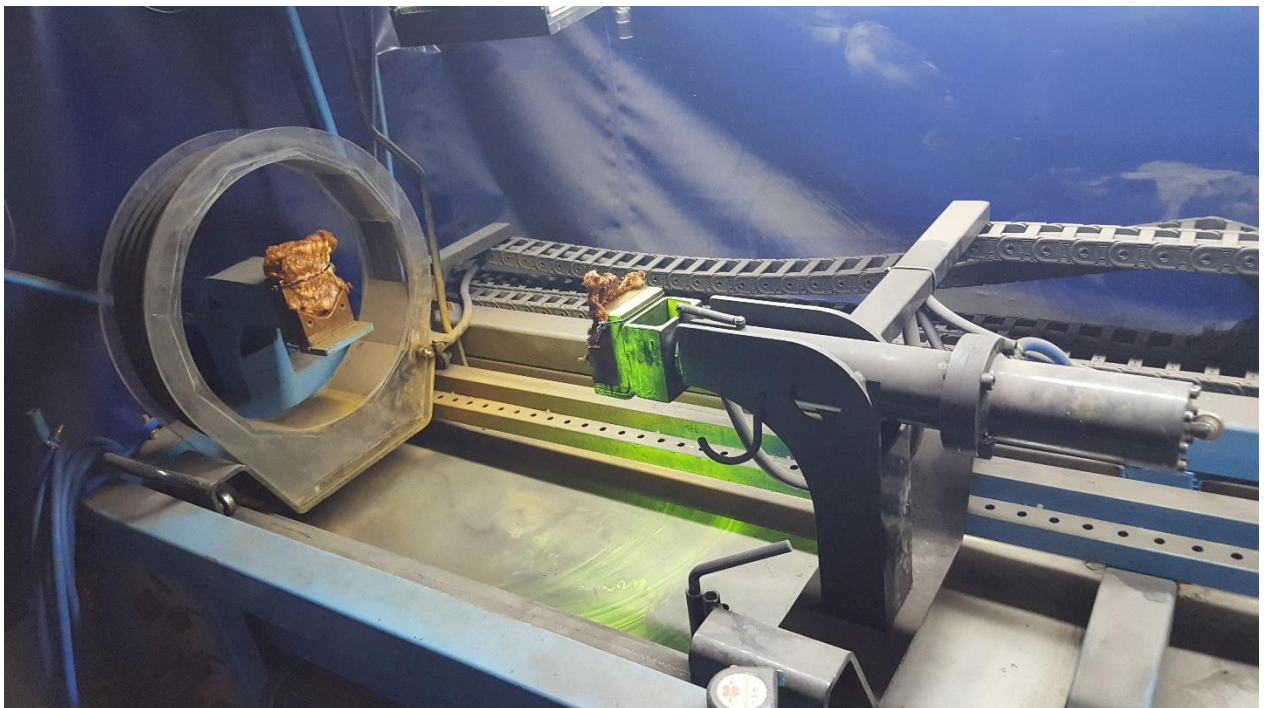
Uvidom u geometriju i oblik predmeta ispitivanja, kontrolor odlučuje da će najprimjereniji način ispitivanja biti ispitivanje fluorescentnom tehnikom na stroju posebno dizajniranom i izrađenom za ispitivanje cilindara (Slika 65). Taj stroj internog naziva „Magnetska bench naprava“, ima mogućnost uključivanja magnetskog toka direktno kroz predmet ispitivanja, čime se ispituju uzdužne nepravilnosti, a ima i mogućnost magnetiziranja pomoću tvrde zavojnice koja stvara magnetsko polje. Zavojnica je pomična i može se pomicati uzduž cijelog komada i njome se otkrivaju poprečne nepravilnosti. Stroj ima i integriranu pomičnu UV lampu čime se isključuje potreba za ručnom.

Primjenom ovog stroja za ispitivanje štedi se vrijeme i povećava se učinkovitost i kvaliteta ispitivanja.



Slika 65: „Magnetska bench naprava“

Sljedeći korak je paljenje stroja i UV lampe.



Slika 66: Paljenje stroja i UV lampe

Sljedeći korak je provjera osvjetljenja unutar prostora ispitivanja. Prema normi ISO 3059, ako se koristi fluorescentna tehnika ispitivanja, UV lampica mora na ispitnoj površini omogućavati UV-A zračenje $>10\text{W/m}^2$ i osvjetljenje $<20\text{ LUX}$ -a. U slučaju korištenja crno-bijele tehnike

ispitivanja (obojenim magnetnim česticama) osvjjetljenje mora biti 500 LUX-a i više. Provjeru osvjjetljenja vršimo pomoću Lux metra (Slika 67).



Slika 67: Lux metar SPECTROLINE XRP-3000

Ispitivanjem LUX metrom utvrdili smo da je razina osvjjetljenja 4,52 LUX-a, što ispunjava uvjete za ispitivanje (Slika 68). Također smo utvrdili da je UV-A zračenje 1728 μW , što također zadovoljava potrebe za ispitivanje (Slika 68).



Slika 68: Rezultati mjerenja Lux metrom

Sljedeći korak je provjera jakosti magnetskog polja. Naime, za pravilno ispitivanje magnetskom tehnikom, potrebno je osigurati određenu jakost tangencijalne komponente magnetskog polja. Ta jakost magnetskog polja mora biti od 2 - 6 kA/m, prema EN ISO 17638. Jakost tangencijalne komponente magnetskog polja određuje se pomoću neke od metoda prema EN ISO 17638, 5.5.2.. Mi smo koristili magnetometar (Slika 69).



Slika 69: Magnetometar LIST MAGNETIK MP-1000

Ispitivanjem magnetometrom utvrdili smo jakost magnetskog polja od 2,3 kA/m, što ispunjava uvjete za ispitivanje (Slika 70).



Slika 70: Rezultati dobiveni magnetometrom

Sljedeći korak je provjera osjetljivosti i valjanosti suspenzije (Tiede 690.1)(Slika 71). Prvo se provjerava šarža i datum valjanosti suspenzije. Ovi podaci obično se nalaze na dnu spreja. Pregledom, utvrđujemo da je broj šarže 180510 i da suspenzija ima rok valjanosti do svibnja, 2021. godine. Nakon toga, krećemo u provjeru osjetljivosti suspenzije pomoću kontrolnog bloka (referentnog tijela), naziva MTU-3 (Slika 72).



Slika 71: Suspenzija za ispitivanje magnetima Tiede 690.1



Slika 72: Kontrolno (referentno) tijelo MTU-3

Nanošenjem suspenzije na kontrolni blok i izlaganjem UV svjetlu, provjeravamo ako je suspenzija dovoljno osjetljiva. To se radi na način da se uspoređi izgled bloka i referentnom slikom koja je pripadajuća našem referentnom bloku (Slika 73).

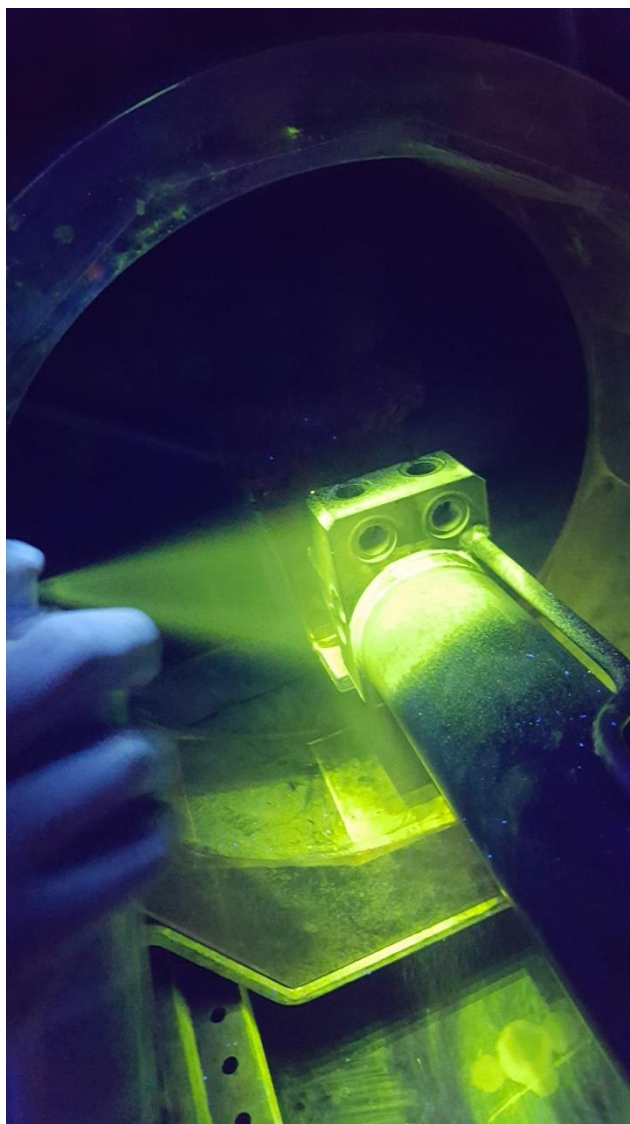


Slika 73: Referentno tijelo MTU-3 prekriveno suspenzijom i osvjetljeno UV lampom

Usporedbom, zaključujemo da je suspenzija dovoljno osjetljiva i možemo je koristiti u ispitivanju.

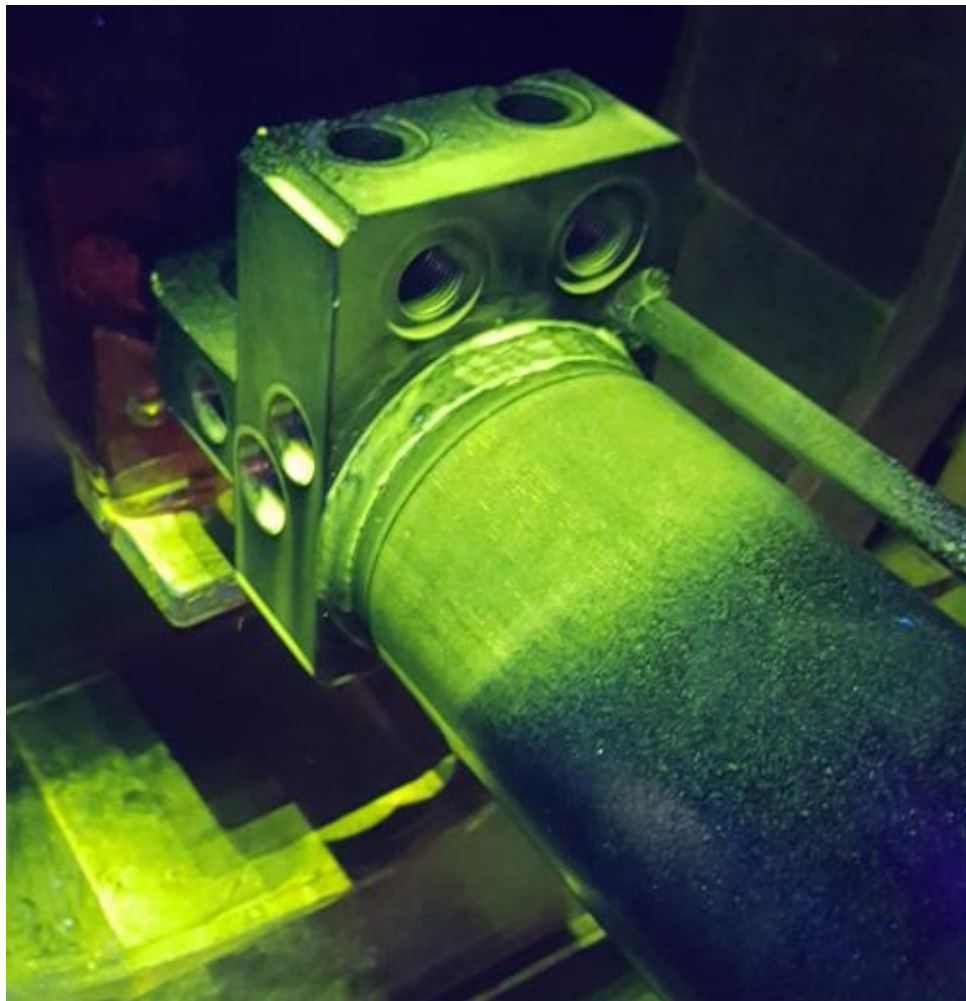
Time smo ispunili sve uvjete za početak ispitivanja. Sve ove podatke odmah upisujemo u „Izveštaj o magnetskoj kontroli“ (Privitak 2).

Sljedeći korak je nanošenje suspenzije na predmet ispitivanja (Slika 74).



Slika 74: Nanošenje suspenzije na predmet ispitivanja

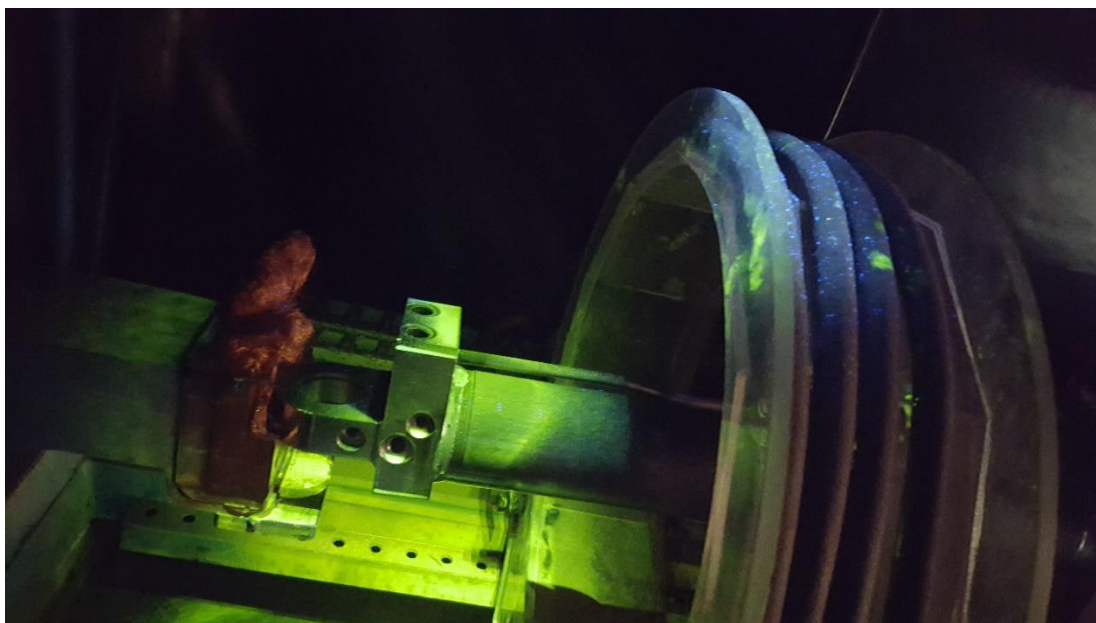
Nakon nanošenja suspenzije, prvo ispitujeemo uključanjem magnetskog toka direktno kroz predmet ispitivanja, uz osvjetljenje UV lampe. Tom metodom trebali bi uočiti sve uzdužne nepravilnosti.



Slika 75: Predmet ispitivanja prekriven suspenzijom i osvjetljen UV lampom

Pregledom komada, pod UV zračenjem, golim okom traže se indikacije. Interpretacijom, mjerenjem i ocjenjivanjem indikacija, zaključuje se da nepravilnosti nema i da se pojavilo samo nekoliko lažnih indikacija (Slika 75).

Sljedeće ispitivanje vršimo pomoću tvrde zavojnice, koju kliznom stazom pomičemo uzduž komada (Slika 76). Tom metodom tražimo sve poprečne nepravilnosti.



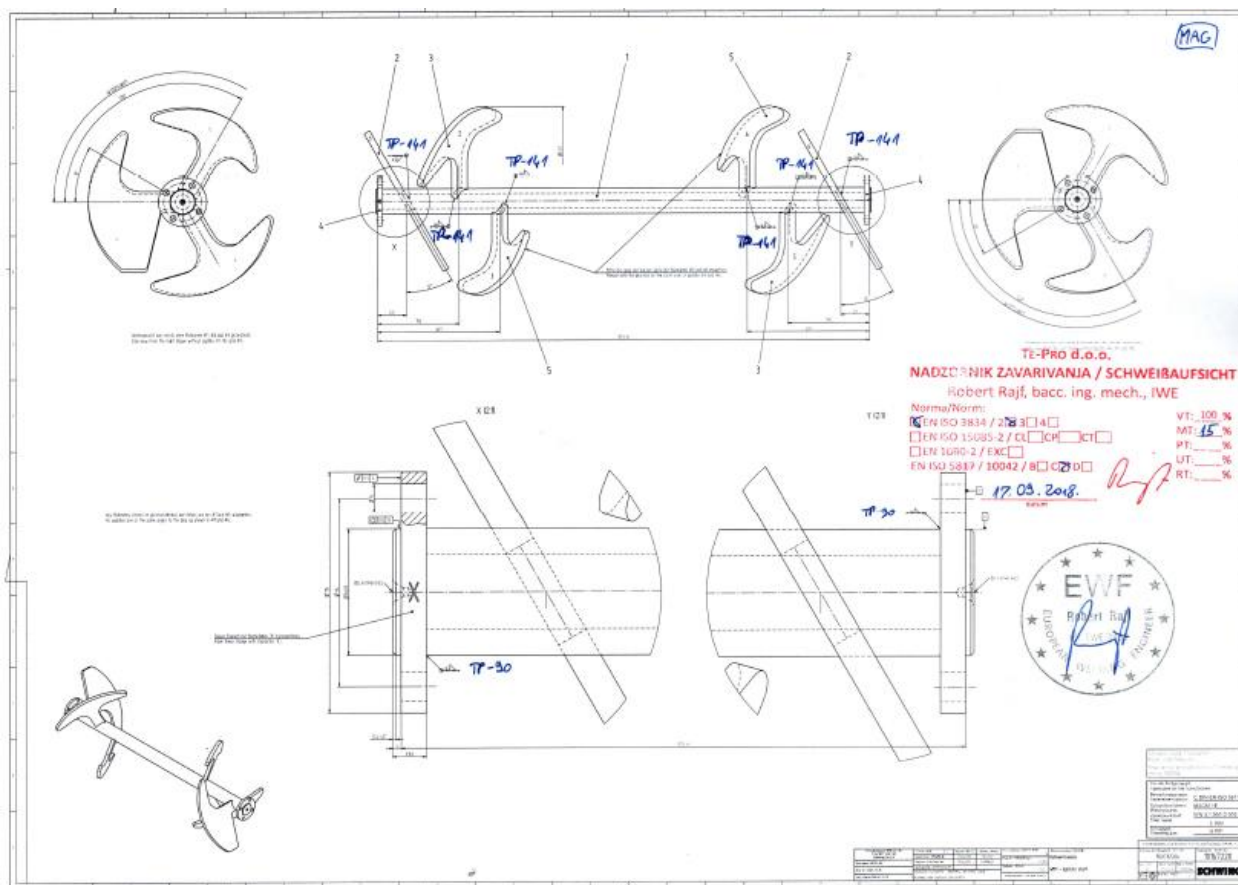
Slika 76: Ispitivanje komada pomoću tvrde zavojnice na kliznoj stazi

Pregledom komada, pod UV zračenjem, golim okom traže se indikacije. Interpretacijom, mjerenjem i ocjenjivanjem indikacija, zaključuje se da nepravilnosti nema i da se pojavilo samo nekoliko lažnih indikacija.

U slučaju da je potrebno, može se provesti i demagnetizacija. U ovom slučaju kupac nije naveo taj zahtjev, pa se ona neće ni izvršiti. U izvještaj o magnetskoj kontroli (Prilog 2) bilježimo da nepravilnosti nema i označavamo predmet ispitivanja kao prihvatljiv. Ispitani komad označuje se flomasterom, oznakom „MT-OK“.

4.2. Opis postupka zavarivanja zavarene konstrukcije osovina s lopaticama

Predmet ispitivanja magnetskom kontrolom je zavarena konstrukcija osovina s lopaticama; Ruehrwerkswelle; 10167220, koja je zavarena MAG postupkom zavarivanja. Temeljem radioničkog nacrtu (Slika 77 i Prilog 3), provjerenog i izdanog od strane inženjera zavarivanja, možemo iščitati koja su sve ispitivanja potrebna i u kojem obujmu.



Slika 77: Slika radioničkog nacrtu Ruehrwerkswelle; 10167220

Nacrtom je definirana „C“ klasa zavara (prema normi EN ISO 5817). Prema internoj uputi AA-QM-04, iščitavamo da je za „C“ klasu potrebno MT ispitivanje i to u obujmu od 15%. Isto tako iščitavamo da se postupak ispitivanja mora odraditi prema normi ISO 17638, a kriterije prihvatljivosti određuje norma ISO 23278. U toj radnoj uputi nalazimo i poveznicu klase zavara i razine prihvatljivosti grešaka, a to je u ovom slučaju razina 2 (kasnije u izvješću kontrole X2). Svi podaci se nalaze na radioničkom nacrtu koji uz predmet ispitivanja dolazi na kontrolu. Tim načinom kontroloru koji vrši ispitivanje uvelike je olakšan odabir metode i kriterija i ne gubi se dragocjeno vrijeme u proizvodnji.

Prvi korak je čišćenje i odmašćivanje predmeta ispitivanja (Slika 78). Predmet ispitivanja treba očistiti od svih nečistoća, masti, šljake, ulja, tekućina, prskotina i stranih tijela koja mogu utjecati na ispitivanje. Isto tako, površina mora obavezno biti suha. Obujam čišćenja i odmašćivanja određuje stanje u kojem je predmet ispitivanja. Kontrolor zaključuje da je stanje relativno dobro, pa nije potrebno mnogo vremena da bi se komad pripremio za ispitivanje.



Slika 78: Artikel Ruehrwerkswelle; 10167220

Uvidom u geometriju i oblik predmeta ispitivanja, kontrolor odlučuje da će najprimjereniji način ispitivanja biti ispitivanje fluorescentnom tehnikom ručnim magnetskim jarmom.

Sljedeći korak je provjera osvjetljenja unutar prostora ispitivanja. Prema normi ISO 3059, ako se koristi fluorescentna tehnika ispitivanja, UV lampa mora na ispitnoj površini omogućavati UV-A zračenje $>10\text{W/m}^2$ i osvjetljenje $<20\text{ LUX}$ -a. Provjeru osvjetljenja vršimo pomoću Lux metra (Slika 79).



Slika 79: Lux metar SPECTROLINE XRP-3000

Ispitivanjem LUX metrom utvrdili smo da je razina osvjetljenja 8,72 LUX-a, što ispunjava uvjete za ispitivanje (Slika 80). Također smo utvrdili da je UV-A zračenje 1728 μW , što također ispunjava uvjete za ispitivanje (Slika 80).



Slika 80: Rezultati mjerenja Lux metrom

Sljedeći korak je provjera jakosti magnetskog polja. Naime, za pravilno ispitivanje magnetskom tehnikom, potrebno je osigurati određenu jakost tangencijalne komponente magnetskog polja. Ta jakost magnetskog polja mora biti od 2 - 6 kA/m, prema EN ISO 17638. Jakost tangencijalne komponente magnetskog polja određuje se pomoću neke od metoda prema EN ISO 17638, 5.5.2.. Mi smo koristili magnetometar (Slika 81).



Slika 81: Magnetometar LIST MAGNETIK MP-1000

Ispitivanjem magnetometrom utvrdili smo jakost magnetskog polja od 3,4 do 4,3 kA/m, što ispunjava uvjete za ispitivanje (Slika 82).



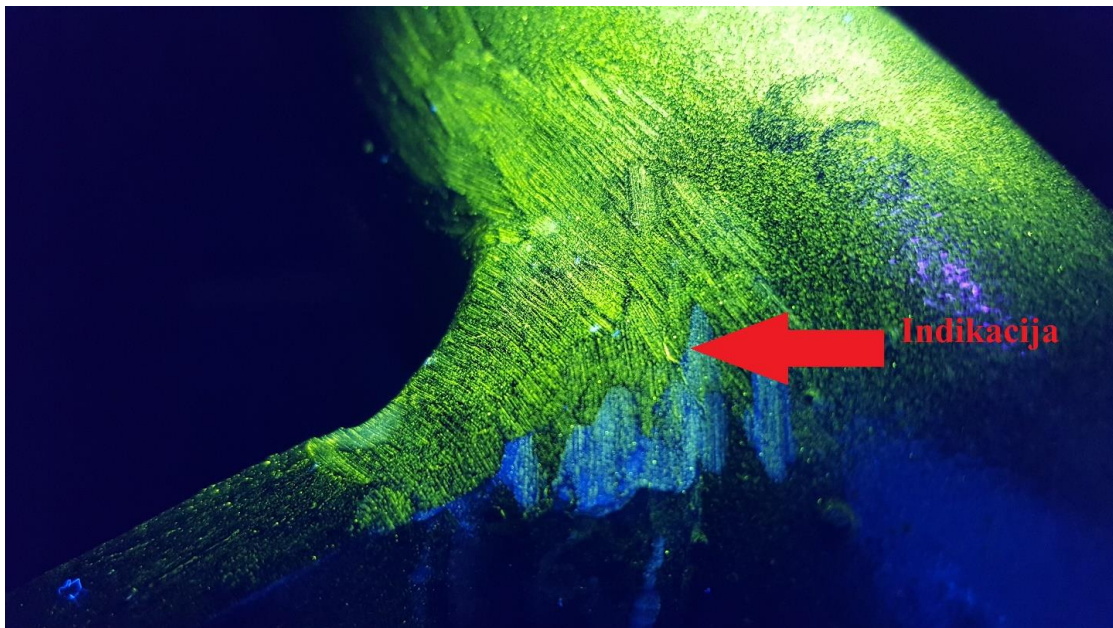
Slika 82: Rezultati mjerenja magnetometrom

Provjeru osjetljivosti suspenzije i saržu ovaj put ne moramo provjeravati jer je ona provjerena kod prethodnog ispitivanja (Tiede 690.1).

Sljedeći korak je nanošenje suspenzije na predmet ispitivanja i pregled pod UV lampom. Pregledom komada, golim okom traže se indikacije.



Slika 83: Indikacija otkrivena nakon što je na komad nanescna suspenzija i osvjetljena UV lampom



Slika 84: Indikacija otkrivena nakon što je na komad nanescna suspenzija i osvjetljena UV lampom

Interpretacijom, mjerenjem i ocjenjivanjem indikacija, zaključujemo da imamo dvije nepravilnosti. Nepravilnosti su pukotine na zavarima. Mjerenjem geometrijskih veličina pukotina zaključujemo da je prva pukotina dužine 20mm (Slika 83 i Slika 85), što je prema EN ISO 23278, klasa 2, nedopušteno. Prema klasi 2, dopuštene su nepravilnosti do dužine 3mm.



Slika 85: Označavanje i mjerenje dužine greške na zavarenom spoju

Nepravilnost se označava flomasterom i u izvještaj o magnetskoj kontroli bilježi, uz skicu, kao nedopuštena (Prilog 4).

Mjerenjem geometrijskih veličina druge nepravilnosti, zaključujemo da je dužina nepravilnosti 2mm (Slika 84 i Slika 86). što je prema EN ISO 23278, klasa 2, dopušteno. Prema klasi 2, dopuštene su nepravilnosti do dužine 3mm. U izvještaj o magnetskoj kontroli dopuštenu nepravilnost ne bilježimo.



Slika 86: Označavanje i mjerenje dužine greške na zavarenom spoju

Posljedica nedopuštene nepravilnosti na predmetu ispitivanja je saniranje nepravilnosti brušenjem i reparaturnim navarivanjem TIG postupkom. Nakon reparaturnog navarivanja, predmet ispitivanja se ponovno ispituje na isti način kao i prvi put, ali se zbog pojavljivanja greške, opseg ispitivanja povećava na 100%. Rezultat ponovnog ispitivanja je pozitivan i komad označen kao sukladan. Izrađen je i novi izvještaj o magnetskoj kontroli (Prilog 5) U slučaju da je potrebno, može se provesti i demagnetizacija. U ovom slučaju kupac nije naveo taj zahtjev, pa se ona neće ni izvršiti.

5. Zaključak

Uz sam proces spajanja materijala zavarivanjem, kao i uz svaki drugi proces, javljaju se pogreške. Pogreške u procesu zavarivanja su veliki problem, koji dobiva na težini ukoliko se one javljaju iznova. Kako bi bili što sigurniji da do pogrešaka neće ni doći ili da se one javljaju u što manjem broju, moramo koristiti atestirane postupke zavarivanja, koristeći ispravne alate i uvježbano i školovano osoblje.

Ukoliko unatoč svemu do grešaka ipak dođe, moramo imati na raspolaganju kvalitetne procese i postupke, te školovano osoblje kako bi ih na vrijeme otkrili i pravilno interpretirali. Svaka metoda nerazornog ispitivanja ima svoje prednosti i nedostatke, te se svaka specijalizira za određeni način i uvjete ispitivanja. Često je u praksi, kako bi se osigurala maksimalna vjerojatnost za otkrivanje pogrešaka unutar zavarenog spoja, potrebno kombinirati više metoda u različitim fazama proizvodnje.

Iz praktičnih primjera navedenih u radu vidljivo je da greške nisu uvijek prisutne u zavarenim spojevima, a i kad jesu to ne mora nužno značiti da je potreban popravak. Na primjeru hidrauličnog cilindra zaključujemo da je moguće proizvesti zavarenu konstrukciju bez nepravilnosti.

Na primjeru osovine s lopaticama vidljivo je da na jednoj zavarenoj konstrukciji možemo imati greške za koje je potreban popravak i one za koje nije potreban popravak. Kako bi mogli i znati kvalitetno i pouzdano uočiti razliku između ta dva pojma, kontrolori moraju poznavati norme i pravila struke, te imati određen stupanj obrazovanja. Svaki proces ispitivanja, kao i interpretacija indikacija, propisani su normama, koje je potrebno slijediti u procesu ispitivanja.

Svi uključeni u proces stvaranja zavarenog spoja, od pripreme pozicija, do pripreme samog spoja, izvedbe i kontrole moraju biti školovani i svjesni svih rizika koje taj proces donosi kako bi na najbolji način mogli spriječiti sve vrste pogrešaka koje se eventualno mogu dogoditi. U slučaju da se one i dogode, moramo imati sredstva i ljude da ih otkrijemo, pravilno interpretiramo i na vrijeme saniramo.

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, NIKOLA IVAČIĆ (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom METODE ISPITIVANJA ZAVRŠENIH SPOJEVA BEZ RAZARANJA I NJIHOVA PRIMJENA (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:

NIKOLA IVAČIĆ (upisati ime i prezime)Nikola Ivčić

(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, NIKOLA IVAČIĆ (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom METODE ISPITIVANJA ZAVRŠENIH SPOJEVA BEZ RAZARANJA I NJIHOVA PRIMJENA (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:

NIKOLA IVAČIĆ (upisati ime i prezime)Nikola Ivčić

(vlastoručni potpis)

6. Literatura

- [1] "Povijest zavarivanja", Dr.sc. Ivan Samardžić, izv. prof., Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, 2012.
- [2] Z. Lukačević : Zavarivanje, Slavonski Brod , 1998
- [3] http://www.sfsb.unios.hr/kth/zavar/sto_zav_kon.html
- [4] "Zavarivanje I", izv. prof. dr. sc. Duško Pavletić, dipl. ing., Tehnički fakultet Rijeka, 2011
- [5] I. Samardžić: Nastavni materijali –Moodle
- [6] Interna radna uputa poduzeća Te-Pro; preuzeto iz norme ISO 2553
- [7] Ivan Juraga, Kruno Ljubić, Milan Tivić: Pogreške u zavarenim spojevima, Hrvatsko društvo za tehniku zavarivanja, Zagreb, 2007
- [8] Charles Hellier, Handbook of nondestructive evaluation, 2003.
- [9] "Metode nerazornih ispitivanja" www.fsb.unizg.hr, 2012
- [10] http://www.sfsb.unios.hr/kth/zavar/na_dipl4/5.pdf ;dostupno 15.9.2018
- [11] QTECHNA priručnik za penetrantsku metodu
- [12] QTECHNA priručnik za magnetsku kontrolu
- [13] QTECHNA priručnik za ultrazvučnu metodu
- [14] <http://www.esabna.com/shared/content/images/gtaw-welds-1.jpg>;
dostupno 15.9.2018
- [15] <https://inspektorkimpalan.files.wordpress.com/2015/08/capture1.jpg>;
dostupno 15.9.2018
- [16] <http://www.swelda.se/wp-content/uploads/2015/07/Ultrasonic-testing-probe-Swelda-1-500x333.jpg> ;dostupno 15.9.2018
- [17] <http://www.kristeel.com/images/engineering-guages/engineegauges27.png>
dostupno 15.9.2018
- [18] https://www.galgage.com/comb-gauge_Metric.jpg dostupno 15.9.2018
- [19] <https://www.everestvit.pl/images/Boroskopy/HSW080-21614K-A4-4C.jpg>;
dostupno 15.9.2018
- [20] <https://dasdb9h4gaafx.cloudfront.net/601316/630/14b4ead2c1c6e20cf3e8c9bba24857e5.jpg> ;dostupno 15.9.2018
- [21] <https://4.imimg.com/data4/TK/LL/MY-25371246/rt-500x500.jpg>;
dostupno 15.9.2018
- [22] <https://timedotcom.files.wordpress.com/2014/12/141208-women-steel-workers-wwii-08.jpg?quality=85>;dostupno 15.9.2018

- [23] Norma ISO 6520/1982
- [24] https://www.kmc.ac.uk/wp-content/themes/multi-child/img/courses/Welding%20and%20Fabrication%20and%20Blacksmithing_image_course.jpg;
dostupno 15.9.2018
- [25] Norma EN 26520

Popis slika

Slika 1: Prikaz zavarivačice u 20. Stoljeću [22]	2	
Slika 2: Prikaz podjele postupaka zavarivanja metala [5]	3	
Slika 3: Prikaz zavarivača koji zavaruje MAG postupkom	4	
Slika 4: Prikaz kovačkog zavarivanja [24]	4	
Slika 5: Moderan zavarivački aparat Fronius TPSi 500	5	
Slika 6: Uzdužno puknuće aluminjskog zavara [14]	11	
Slika 7: Hladna pukotina [15]	11	
Slika 8: Poroznost zavarenog spoja	12	
Slika 9: Šupljine u zavarenom spoju, dio indiciran penetrantskom metodom	13	
Slika 10: Šupljina u završnom krateru zavarenog spoja	13	
Slika 11: Naljepljivanje utvrđeno vizualnom kontrolom	16	
Slika 12: Naljepljivanje utvrđeno vizualnom kontrolom	17	
Slika 13: Nepotpuna provarenost utvrđena vizualnom kontrolom	17	
Slika 14: Pogreška oblika zavara zbog loše tehnike zavarivanja	18	
Slika 15: Pogreška oblika zavara zbog loše tehnike zavarivanja	19	
Slika 16: Ultrazvučno ispitivanje zavarenog spoja [16]	21	
Slika 17: Postupak ispitivanja zavarenog spoja magnetskom metodom	23	
Slika 18: Prikaz provarenosti zavarenog spoja uz pomoć povećala	24	
Slika 19: Vizualna kontrola provarenosti zavarenog spoja glave i cijevi hidrauličkog cilindra ...	25	
Slika 20: Svjetiljka	Slika 21: Pomično ogledalce.....	26
Slika 22: Povećalo		27
Slika 23: Mjerač veličine zavara		27
Slika 24: Mjerači veličine zavara [17]		27
Slika 25: Mjerač veličine zavara [18]		27
Slika 26: Boroskop [19]		28
Slika 27: Video endoskop [20]		28
Slika 28: Pomično mjerilo		28
Slika 29: Mjerenje veličine zavarenog spoja		29
Slika 30: Mjerenje veličine zavara s donje strane		29
Slika 31: Mjerenje zavara s gornje strane		30
Slika 32: Kontrola provara s unutarnje strane		30
Slika 33: Ispitivanje zavarenog spoja penetrantima (faza nanošenja penetranta)		31
Slika 34: Ispitivanje zavarenog spoja penetrantima (faza prikaza indikacija)		32

Slika 35: Sredstvo za čišćenje Tiede RL-40	34
Slika 36 : Crveni penetrant Tiede SKL-WP2	34
Slika 37: Četka za čišćenje površine	35
Slika 38: Razvijač Tiede SKD-S2	35
Slika 39: Čišćenje i četkanje komada prije početka ispitivanja.....	35
Slika 40: Nanošenje penetranta	36
Slika 41: Nanošenje razvijača s vremenskim odmakom od petnaest minuta	36
Slika 42: Uz vremenski odmak od petnaest minuta, promatranje indikacija i interpretacija rezultata (naljepljivanje)	37
Slika 43: Ispitivanje artikla za rudarsku industriju magnetskom metodom	37
Slika 44: Ispitivanje artikla za rudarsku industriju magnetskom metodom	38
Slika 45: Po mjeri dizajnirana i izrađena „Magnetska bench naprava“.....	39
Slika 46 : Ispitivanje zavarenog spoja ultrazvučnom metodom	40
Slika 47: Shematski prikaz ultrazvučnog ispitivanja [2]	41
Slika 48: Grafički prikaz ultrazvučnog ispitivanja [2]	41
Slika 49: Aparat za provođenje ultrazvučne kontrole OLYMPUS OMNI SCAN SX.....	43
Slika 50: Sonda OLYMPUS 4L16-8X9-DGS1-P-2.5	43
Slika 51: Gel za bolji i glađi kontakt sonde s površinom	43
Slika 52: Alat za čišćenje površine.....	44
Slika 53: Sonda novije generacije OLYMPUS 4L16-8X9-DGS1-P-2.5 mijenja sve sonde sa (Slika 54)	44
Slika 54: Razne sonde starije generacije	45
Slika 55: Čišćenje i priprema površine prije ispitivanja.....	45
Slika 56: Opcionalna kalibracija sonde	45
Slika 57: Unošenje parametara ispitnog predmeta (debljina materijala, vrsta materijala, brzina ispitivanja i kut).....	46
Slika 58: Premazivanje površine gelom	46
Slika 59: Ispitivanje i interpretacija rezultata	47
Slika 60: Završno čišćenje površine	47
Slika 61: Grafički prikaz radiografskog ispitivanja [7]	48
Slika 62: Radiografsko ispitivanje zavora na cjevovodu [21]	49
Slika 63: Radionički nacrt artikl “Cylinder tube compl.” 656.85750.000	50
Slika 64: artikl “Cylinder tube compl.” 656.85750.000	51
Slika 65: „Magnetska bench naprava“.....	52
Slika 66: Paljenje stroja i UV lampe	52

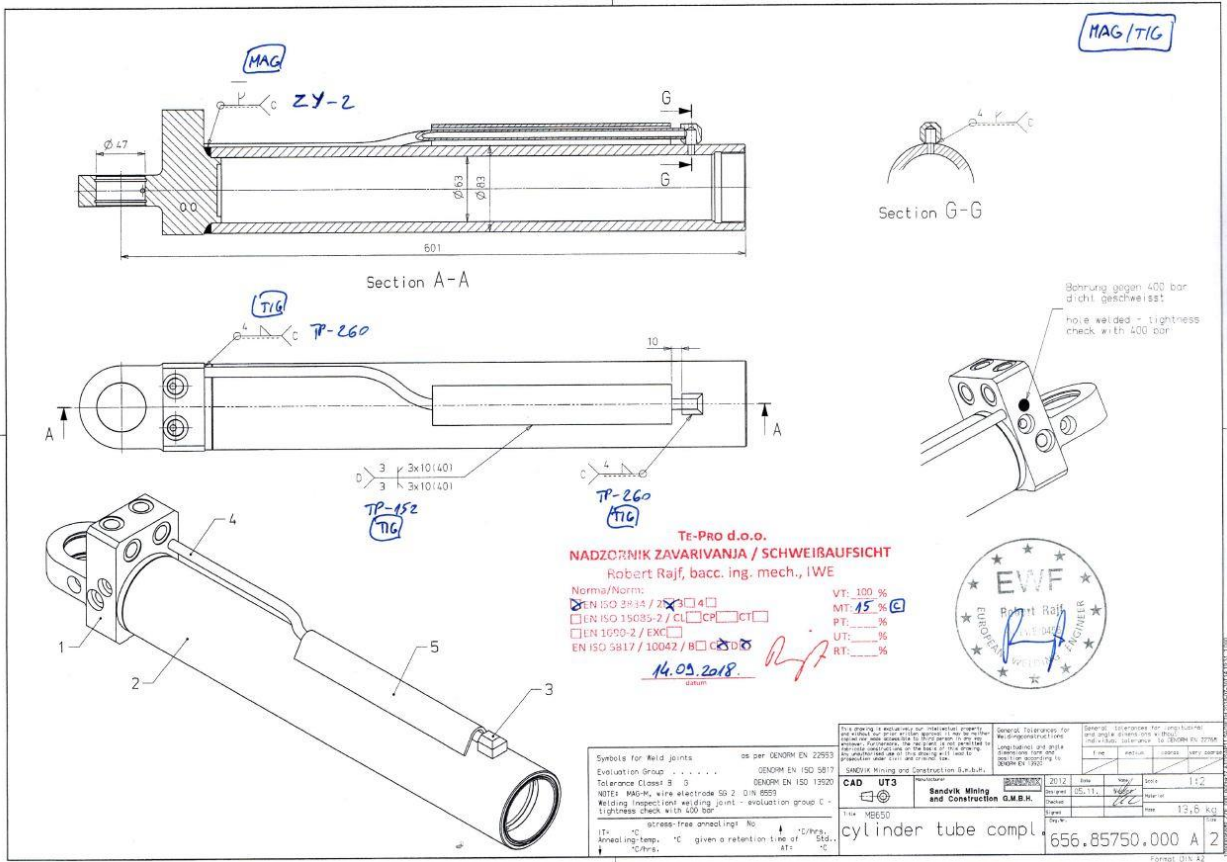
Slika 67: Lux metar SPECTROLINE XRP-3000.....	53
Slika 68: Rezultati mjerenja Lux metrom.....	53
Slika 69: Magnetometar LIST MAGNETIK MP-1000.....	54
Slika 70: Rezultati dobiveni magnetometrom	55
Slika 71: Suspenzija za ispitivanje magnetima Tiede 690.1	56
Slika 72: Kontrolno (referentno) tijelo MTU-3	56
Slika 73: Referentno tijelo MTU-3 prekriveno suspenzijom i osvjetljeno UV lampom.....	57
Slika 74: Nanošenje suspenzije na predmet ispitivanja.....	58
Slika 75: Predmet ispitivanja prekriven suspenzijom i osvjetljen UV lampom	59
Slika 76: Ispitivanje komada pomoću tvrde zavojnice na kliznoj stazi.....	60
Slika 77: Slika radioničkog nacрта Ruehrwerkswelle; 10167220.....	61
Slika 78: Artikl Ruehrwerkswelle; 10167220	62
Slika 79: Lux metar SPECTROLINE XRP-3000.....	62
Slika 80: Rezultati mjerenja Lux metrom.....	63
Slika 81: Magnetometar LIST MAGNETIK MP-1000.....	64
Slika 82: Rezultati mjerenja magnetometrom	64
Slika 83: Indikacija otkrivena nakon što je na komad nanescna suspenzija i osvjetljena UV lampom	65
Slika 84: Indikacija otkrivena nakon što je na komad nanescna suspenzija i osvjetljena UV lampom	65
Slika 85: Označavanje i mjerenje dužine greške na zavarenom spoju	66
Slika 86: Označavanje i mjerenje dužine greške na zavarenom spoju	67

Popis tablica


Tabela 1: Prikaz vrsta, izgleda i oznaka zavarenih spojeva prema ISO 2553[6]	6
Tabela 2: Prikaz glavnih mjera zavara i način upisivanja na crtežima [6]	8
Tabela 3: Značenje oznaka u Tabela 2[6].....	8
Tabela 4: Vrste grešaka prema ISO 6520/1982 i EN 26520/1991 [23].....	9
Tabela 5: Prikazuje vrste pukotina prema normi EN 26520 [25].....	10
Tabela 6: Naziv, oznake i vrste šupljina prema normi EN 26520 [25]	14
Tabela 7: Naziv, vrste i opis čvrstih uključaka prema normi EN 26520 [23]	15
Tabela 8: Nazivi, oznake i opis grešaka kod naljepljivanja prema EN26520 [25]	18
Tabela 9: Nazivi, oznake i opis pogrešaka u obliku zavara prema EN 26520 [25].....	19
Tabela 10:Metode nerazorne kontrole zavara obzirom na tipove pogrešaka i mogućnosti primjene [7]	23

Prilozi

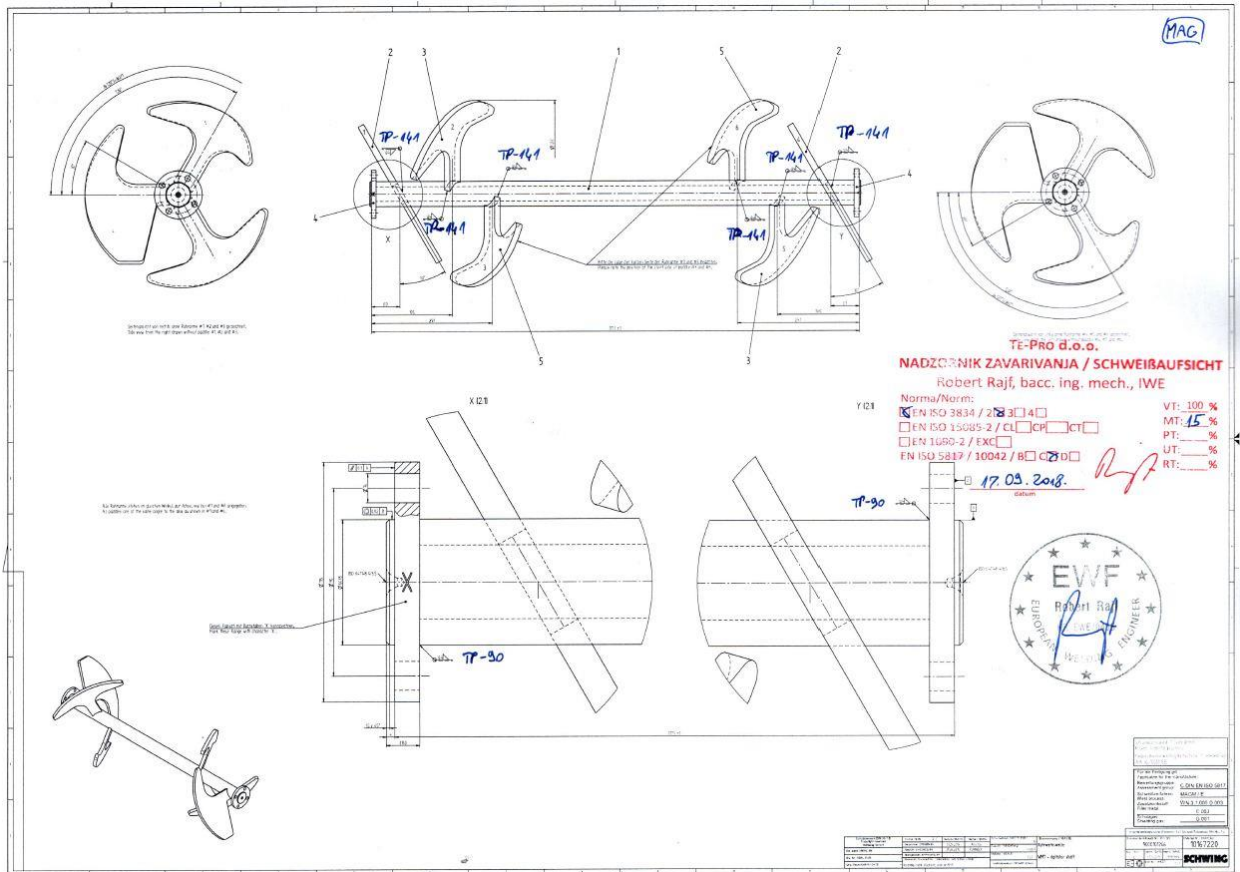
Prilog 1.



Prilog 2.

NDT		Izveštaj o MAGNETSKOJ kontroli Report of MAGNETIC testing IMT - 0		TE-PRO D.O.O TICINSKI PRISTUP	
Formular: IMT-02/2014 0		Izradio i provjerio: Created and checked by: Petarmanec		Odobrio: Approved by: QM	
Strana: Page: 1/1		Proizvod: Product: CISLAKOVAR BTUDE 0011		Radni nalog: Working order: √ 223 911 0	
Br. Crteža / Indeks: Nr. Drawing / Index: 656.0530.0009		Tvornički broj: Serial number: 0		Klijent: Client: SANDVILE 0	
Br. narudžbe: Nr. Order: 558905 0					
PODACI O PREDMETU ISPITIVANJA: INFORMATION ABOUT TEST OBJECT:			PODACI O TEHNICI ISPITIVANJA: INFORMATION ABOUT TECHNOLOGY TESTING:		
Oblik proizvoda / Product form: <input checked="" type="checkbox"/> ZAVARNA KONTROLA / WELD EXAMINATION <input type="checkbox"/> OSNOVNI MATERIJAL / BASIC MATERIAL		Broj šarže / Heat no.:		Ispitivanje u skladu sa / Examination in accordance with: <input checked="" type="checkbox"/> EN ISO 17613 <input type="checkbox"/> EN ISO 17613-1 <input type="checkbox"/> EN ISO 17613-2	
Materijal / Material: <input type="checkbox"/> USAVAN / ALLOWED <input checked="" type="checkbox"/> NEUSAVAN / UNALLOWED <input type="checkbox"/> AUSTENITNI / AUSTENITIC <input type="checkbox"/> KVALITETA MATERIJALA / MATERIAL QUALITY		Opseg ispitivanja ZAVARA / Extent of examination of welds: <input checked="" type="checkbox"/> 15% (vanjske površine / external surface) <input type="checkbox"/> 100% (vanjske površine / external surface)		Klasa/Class: <input checked="" type="checkbox"/> U	
Površinska obrada / Surface condition: <input type="checkbox"/> SPOKAVAN / SPOT-BLASTED <input type="checkbox"/> BRUSAN / GRINDING <input checked="" type="checkbox"/> OSTAKAN / BRUSHED <input type="checkbox"/> OSTAKAN / OTHER		Opseg ispitivanja OSNOVNOG MATERIJALA / Extent of examination of basic material: <input type="checkbox"/> 100% vanjske površine / external surface			
Vrijeme početka ispitivanja / Waiting period of examination (h): <input type="checkbox"/> 0h <input type="checkbox"/> 30h <input type="checkbox"/> 24h <input type="checkbox"/> 48h <input checked="" type="checkbox"/> 96h		Vrsta zavarenog spoja / Type of welded joint:		Tehnika pregleda / Technique of examination: <input checked="" type="checkbox"/> UV-ZRAČENJE / UV IRRADIATION <input type="checkbox"/> SVJETLOST / LIGHT	
PODACI O OPREMI: INFORMATION ABOUT THE EQUIPMENT:			PODACI O UVJETIMA ISPITIVANJA: INFORMATION ABOUT EXAMINATION CONDITIONS:		
MAGNETSKO (JAKOST) / MAGNETIC (FIELD STRENGTH) (ZAVIJEŠNI TOK) / ALTERNATING CURRENT TJEDE, No. 1246200 UREĐAJ ZA ISPITIVANJE PUKOTINA / CRACK DETECTION UNIT KOMBINIRANA MAGNETIZACIJA / COMBINED MAGNETIZATION TJEDE, Ferrotek-40, No. 0943513			Osvjetljenje / Lighting: <input type="text" value="4"/> LUX		
UV LAMP/UV LAMP – PH200 UV Spot LAMP – 30443 FLUORESCENTNA SUSPENZIJA/FLUORESCENT SUSPENSION UV METAR (UV METER)/UV METER – LIK METER – Serijski broj: AR-1000 – (01)822484 200.0000 – (01)822485 SREDNJE JAKOSTI MAGNETNOG POLJA/MAGNETOMETER – MP-1000,896, P-12 REFERENTNO TJEDE 1 / REFERENCE BOOK 1 - Sr. 7050 - MTU 3			UV-zračenje / UV radiation: <input type="text" value="5232"/> μW/cm²		
			Jakost magnetskog polja / Magnetic field strength: <input type="text" value="2,5"/> kA/m		
			Ident. suspenzije; reference / Ident. suspension; References: <input type="text" value="16.05.20"/>		
Ocjena rezultata ispitivanja: EVALUATION OF EXAMINATION RESULTS:					
Broj zavora / Nr. of Weld		Broj(naziv) komada / Nr. (name) of piece		Redni broj greške ¹⁾ / Form of error ²⁾	
				Velicina greške ³⁾ [mm] / Size of error:	
				Ocjena - RESULT: ZADOVOLJAVAJUĆE / CONFORMING: <input checked="" type="checkbox"/> NE ZADOVOLJAVAJUĆE / NOT CONFORMING: <input type="checkbox"/>	
SKICA: SKETCH:		1) Ordinal number of error: 2) Form of error: 3) Size of error: Oblik greške / Form of error - L - linearna / linear NL - nelinearna / non-linear Velicina greške / Size of error: najveća dimenzija / largest dimension			
		KONACNA OCJENA - FINAL RESULT <input checked="" type="checkbox"/> PRIHVATLJIVO / CONFORMING <input type="checkbox"/> NEPRIHVATLJIVO / NOT CONFORMING			
Dodatne mjere / Komentar: Additional actions / Comment:				Potpis/Signature: 	
Mjesto/Location VRHOVLJAN		Datum/Date: 15. 05. 2019		Ime i prezime/Name and surname: PATRIK HORVAT / MT II	


Prilog 3.



Prilog 4.

NDT		Izveštaj o MAGNETSKOJ kontroli Report of MAGNETIC testing IMT - 0		TE-PRO D.O.O Technical Personnel	
Formular: MT-02/2014 0		Izradio i provjerio: Created and checked by:		Dobio: Approved by: QM	
Strano: 1/1		Vrsta / Pattern:		Strano: 1/1	
Proizvod: Product:		2014.04.04.08.10		Radni nalog: Working order: U 225051 0	
Br. Crteža / Indeks: Nr. Drawing / Index:		10167220 0		Tvornički broj: Serial number: 2W41-9AC 0	
Br. narudžbe: Nr. Order:		0		Klijent: Client: SCHWING 0	
PODACI O PREDMETU ISPITIVANJA: INFORMATION ABOUT TEST OBJECT:			PODACI O TEHNICI ISPITIVANJA: INFORMATION ABOUT TECHNOLOGY TESTING:		
Oblik proizvoda / Product form:		Broj šarže / Heat no.:		Ispitivanje u skladu sa / Examination in accordance with:	
<input checked="" type="checkbox"/> ZAVARENA KONSTRUKCIJA / WELDED CONSTRUCTION <input type="checkbox"/> OSNOVNI MATERIJAL / BASIC MATERIAL				<input checked="" type="checkbox"/> EN ISO 3183 <input type="checkbox"/> EN ISO 3183-1 <input type="checkbox"/> EN ISO 3183-2	
Materijal / Material:				Klasa/Class: 2X	
<input type="checkbox"/> LEGIRAN / ALLOYED <input checked="" type="checkbox"/> NELEGIRAN / UNALLOYED <input type="checkbox"/> ALUMINIUM / ALUMINUM <input type="checkbox"/> KVALITETA MATERIJALA / MATERIAL QUALITY				Opseg ispitivanja ZAVARA / Extent of examination of welds:	
Površinska obrada / Surface condition:				<input checked="" type="checkbox"/> 15 % <input type="checkbox"/> 100 %	
<input type="checkbox"/> NEOPREPARIRAN / UNPREPARED <input checked="" type="checkbox"/> OPREPARIRAN / PREPARED <input type="checkbox"/> OSTALO / OTHER				Opseg ispitivanja OSNOVNOG MATERIJALA / Extent of examination of basic material:	
Vrijeme početka ispitivanja / Waiting period of examination [h]:		Vrsta zavarenog spoja / Type of welded joint:		Tehnika pregleda / Technique of examination:	
<input type="checkbox"/> 0 h <input type="checkbox"/> 1 h <input type="checkbox"/> 2 h <input type="checkbox"/> 4 h <input checked="" type="checkbox"/> 8 h				<input checked="" type="checkbox"/> UVRAČENJE / UV RADIATION <input type="checkbox"/> SVETLOST / LIGHT	
PODACI O OPREMI: INFORMATION ABOUT THE EQUIPMENT:			PODACI O UVJETIMA ISPITIVANJA: INFORMATION ABOUT EXAMINATION CONDITIONS:		
<input checked="" type="checkbox"/> MAGNETSKI NAPAJANJE / MAGNETIC POWER SUPPLY (IZVJEŠAJI TIK / ACTING AS REFERENCE) TIK/DC No. 124620			<input type="checkbox"/> UREĐAJ ZA ISPITIVANJE FUKOTINA / CRACK DETECTION UNIT (KOMBINIRANA MAGNETIZACIJA / COMBINED MAGNETIZATION) TIK/DC, Ferrator 40, No. 65433.15		
UV LAMPA/UV LAMP - PH205 UV Spot LAMP - 2042 FLUORESCENTNA SUSPENZIJA/FLUORESCENT SUSPENSION UV METAR/LUX METER/UV METER - Spectralux XP-3000 - SW42340 ADS-1000-SM12249C MERAČ JAKOSTI MAGNETNOG POLJA/MAGNETOMETER - MP-1000.8956, A-72 REFERENTNO TIJELO 1/REFERENCE BODY 1 - 56-T059, MTU/3			Osvjetljenje / lighting: 8 LUX		
			UV-zračenje / UV radiation: 1728 µW/cm²		
			Jakost magnetskog polja / Magnetic field strength: 315-413 kA/m		
			Ident. suspenzije; reference / Ident. suspension; References: 180510		
OCJENA REZULTATA ISPITIVANJA: EVALUATION OF EXAMINATION RESULTS:					
Broj zavara / Nr. of Weld		Broj(naziv) komada / Nr. (name) of piece		Redni broj greške ¹⁾	
				Oblik greške ²⁾	
				Veličina greške ³⁾ [mm]	
				OCJENA - RESULT:	
				ZADOVOLJAVAJUĆE / CONFORMING	
				NE ZADOVOLJAVAJUĆE / NOT CONFORMING	
				X	
SKICA: SKETCH:			1) Ordinal number of error: 2) Form of error: 3) Size of error:		
			Oblik greške / Form of error - L - linearna / linear - NL - nelinearna / nonlinear		
			Veličina greške / Size of error: najveća dimenzija / largest dimension		
KONAČNA OCJENA - FINAL RESULT					
			<input type="checkbox"/> PRIHVATLJIVO / CONFORMING <input checked="" type="checkbox"/> NEPRIHVATLJIVO / NOT CONFORMING		
Dodatne mjere / Komentar: Additional actions / Comment:				Potpis/Signature:	
Mjesto/Location	Datum/Date:	Ime i prezime/Name and surname:			
VRHOVLJAN	26. 07. 2016	PATRIK HORVAT / MT II			

Prilog 5.

NDT		Izveštaj o MAGNETSKOJ kontroli Report of MAGNETIC testing IMT - 0			
Formular: MT-02/2014		Izradio i provjerio: Vrančić / Petarmanec		Odobrio: QM	
Created and checked by:		Approved by:		Page: 1/1	
Proizvod: ZUHNERWERK WOLLE		Radni nalog: V225001		0	
Br. Crteža / Indeks: 10167220 00		Tvornički broj: RWW-9AC		0	
Nr. Drawing / Index:		Serial number:			
Br. narudžbe: 0		Klijent: SCHWING		0	
Nr. Order:		Client:			
PODACI O PREDMETU ISPITIVANJA: INFORMATION ABOUT TEST OBJECT:			PODACI O TEHNICI ISPITIVANJA: INFORMATION ABOUT TECHNOLOGY TESTING:		
Oblik proizvoda / Product form:		Broj šarže/ Heat no.:		Ispitivanje u skladu sa / Examination in accordance with:	
<input checked="" type="checkbox"/> ZAVARIVA KONTROLA / WELD CONTROL <input type="checkbox"/> OŠIVNI MATERIJAL / BASE MATERIAL				<input checked="" type="checkbox"/> EN 50 2709 <input type="checkbox"/> EN 50 2828-2 EN 50 2829-2 <input type="checkbox"/> EN 50246-2 EN 50 2629-2	
Klasa/class: 2A					
Materijal / Material: <input type="checkbox"/> LEGIRANJ / ALLOYED <input checked="" type="checkbox"/> NELEGIRANJ / UNALLOYED <input type="checkbox"/> METALNA / METALIC <input type="checkbox"/> KVALITETA MATERIJAL / MATERIAL QUALITY			Opseg ispitivanja ZAVARA / Extent of examination of welds: <input checked="" type="checkbox"/> 15 % <input type="checkbox"/> 100 % <input type="checkbox"/> 100 % vanjske površine / 100 % external surface		
Površinska obrada / Surface condition: <input type="checkbox"/> NEČIŠĆENJ / UNCLEANED <input checked="" type="checkbox"/> BRUSENJ / GROUND <input checked="" type="checkbox"/> ČIŠĆENJ / BRUSHED <input type="checkbox"/> OSTALO / OTHER			Opseg ispitivanja OSNOVNOG MATERIJALA / Extent of examination of basic material: <input type="checkbox"/> 100 % vanjske površine / 100 % external surface		
Vrijeme početka ispitivanja / Waiting period of examination [h]: <input type="checkbox"/> 0h <input type="checkbox"/> 1h <input type="checkbox"/> 2h <input type="checkbox"/> 3h <input checked="" type="checkbox"/> 4h		Vrsta zavarenog spoja / Type of welded joint: <input type="checkbox"/>		Tehnika pregleda / Technique of examination: <input checked="" type="checkbox"/> VISUALNA / VISUAL <input type="checkbox"/> VISUALNO / VISUAL	
PODACI O OPREMI: INFORMATION ABOUT THE EQUIPMENT:			PODACI O UVJETIMA ISPITIVANJA: INFORMATION ABOUT EXAMINATION CONDITIONS:		
<input checked="" type="checkbox"/> MAGNETSKO JARJAM / MAGNETIC PINS UREĐAJ ZA ISPITIVANJE PUKOTINA / CRACK DETECTOR UNIT TRIDE, No. 226290			Osvjetljenje / Lighting: 8 LUX UV-zračenje / UV radiation: 1728 µW/cm² Jakost magnetskog polja / Magnetic field strength: 3,3-9,3 kA/m Ident. suspenzije; reference / Ident. suspension; References: R0510		
OCJENA REZULTATA ISPITIVANJA: EVALUATION OF EXAMINATION RESULTS:					
Broj zavora / Nr. of Weld		Broj(naziv) komada / Nr. (name) of piece		Redni broj greške ²⁾ / Oblik greške ²⁾ / Veličina greške ³⁾ [mm]	
				OCJENA - RESULT: ZADOVOLJAVAJUĆE / CONFORMING: <input checked="" type="checkbox"/> NE ZADOVOLJAVAJUĆE / NOT CONFORMING: <input type="checkbox"/>	
SKICA: / SKETCH:		1) Ordinal number of error: / 2) Form of error: / 3) Size of error: Oblik greške / Form of error - L - linearna / linear - NL - nelinearna / nonlinear Veličina greške / Size of error: najveća dimenzija / largest dimension			
		KONAČNA OCJENA - FINAL RESULT <input checked="" type="checkbox"/> PRIHVATLJIVO / CONFORMING <input type="checkbox"/> NEPRIHVATLJIVO / NOT CONFORMING			
Dodatne mjere / Komentar: NAKON POPRAVE GREŠKA U NORMI PRIHVATLJIVOSTI Additional actions / Comment:				Potpis/Signature: W H	
Mjesto/Location: VRHOVLJAN		Datum/Date: 14. 05. 2019		Ime i prezime/Name and surname: PATRIK HORVAT / MT II	