

# Primjena nerazornih metoda ispitivanja kod izrade tlačnih posuda

---

**Novak, Josip**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:570669>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-03**



*Repository / Repozitorij:*

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište  
Sjever**

*Završni rad br. 374/PS/2022*

**Primjena nerazornih metoda ispitivanja kod izrade tlačnih  
posuda**

**Novak Josip, 2118/336**

Varaždin, travanj 2022. godine





# Sveučilište Sjever

**Proizvodno strojarstvo**

**Završni rad br. 374/PS/2022**

## **Primjena nerazornih metoda ispitivanja kod izrade tlačnih posuda**

**Student**

Novak Josip, 2118/336

**Mentor**

Marko Horvat, dipl. ing.

Varaždin, travanj 2022. godine

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za strojarstvo		
STUDIJ	preddiplomski stručni studij Proizvodno strojarstvo		
PRISTUPNIK	Josip Novak	MATIČNI BROJ	2118/336
DATUM	11.04.2022.	KOLEGIJ	Tehnologija III
NASLOV RADA	Primjena nerazornih metoda ispitivanja kod izrade tlačnih posuda		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Application of non-destructive testing methods in the production of pressure vessels		

MENTOR	Marko Horvat, dipl.ing.	ZVANJE	viši predavač
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. doc. dr. sc. Zlatko Botak, predsjednik povjerenstva		
	2. Marko Horvat, dipl.ing., viši predavač		
	3. Katarina Pisačić, dipl. ing., član povjerenstva		
	4. doc. dr. sc. Matija Bušić, zamjenski član povjerenstva		
	5.		

## Zadatak završnog rada

BROJ	374/PS/2022
OPIS	

U Završnom radu je potrebno obraditi slijedeće točke:

- temeljem dostupne literature dati uvod u teorijske osnove nerazornih metoda ispitivanja
- prikazati klasifikaciju i kratak opis pogrešaka zavarenih spojeva
- objasniti pojam posuda i opreme pod tlakom, navesti osnovne konstrukcijske zahtjeve i materijale te norme i direktive vezane uz proizvodnju i kontrolu (ispitivanja) posuda pod tlakom
- u praktičnom dijelu Završnog rada prikazati proizvodni proces i odabir nerazornih metoda ispitivanja sukladno odabranoj normi (direktivi) na primjeru tlačne posude
- u zaključku Završnog rada dati osvrt na zadanu temu

ZADATAK URUČEN

15.04.2022.



## **Predgovor**

Izjavljujem da sam ovaj završni rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru dipl. ing. Marku Horvatu na savjetima i pomoći pri izradi ovog završnog rada, također se zahvaljujem svim najbližim suradnicima i kolegama u tvrtki Kostwein.

Veliko hvala obitelji i prijateljima na svemu, a posebno djedu Stjepanu i djevojci Martini kojima posvećujem ovaj uspjeh.

## **Sažetak**

Tema završnog rada su nerazorna ispitivanja kod tlačnih posuda. Završni rad sastoji se od teorijskog i praktičnog dijela. U teorijskom dijelu detaljnije će biti opisani postupci ispitivanja materijala nerazornim metodama, najčešće pogreške koje se otkrivaju metodama nerazorne kontrole, odnosno pogreške koje se događaju kod postupka zavarivanja. Drugi dio teorijskog dijela rada bit će posvećen posudama i opremom pod tlakom, opisati što su i za šta se koriste, koji su zahtjevi i opasnosti. Praktični, odnosno eksperimentalni dio bit će određivanje nerazornih metoda ispitivanja po standardu AD 2000.

Ključne riječi: Nerazorne metode ispitivanja, zavarivanje, posude i oprema pod tlakom.

## **Summary**

The topic of the final paper is non-destructive testing in pressure vessels. The final work consists of a theoretical and a practical part. The theoretical part will describe in more detail the procedures for testing materials with non-destructive testing methods, the most common errors that are detected by non-destructive testing methods, or errors that occur during the welding process. The second part of the theoretical part of the paper will be dedicated to pressure vessels and equipment, describe what they are and what they are used for, what are the requirements and hazards. The practical or experimental part will be the determination of non-destructive testing methods according to the AD 2000 standard.

**Keywords:** Non-destructive testing methods, welding, pressure vessels and equipment.



## Popis korištenih kratica

Oznaka	Jedinica	Opis
NDT	-	Nerazorne metode ispitivanja (engl. Non-Destructive Testing)
KBR	-	Kontrola bez razaranja
WPS	-	Specifikacija postupka zavarivanja (engl. Welding Procedure Specification)
VT	-	Vizualno ispitivanje (engl. Visual Testing)
PT	-	Penetrantsko ispitivanje (engl. Penetration Testing)
MT	-	Magnetsko ispitivanje (engl. Magnetic Testing)
UT	-	Ultrazvučno ispitivanje (engl. Ultrasonic Testing)
RT	-	Radiografsko ispitivanje (engl. Radiography Testing)
UV	nm	Ultraljubičasto zračenje (engl. Ultraviolet)
NN	-	Narodne Novine
ZUT	-	Zona utjecaja topline
VDMA	-	Njemački inženjerski savez
VDEh	-	Njemački institut za čelik
PED	-	Direktiva o tlačnoj opremi (engl. Pressure Equipment Directive)
MAG	-	Zavarivanje u aktivnom zaštitnom plinu (engl. Metal Active Gas)
CE	-	Oznaka proizvođača o sukladnosti sa smjericama EU (engl. European Conformity)
FDBR	-	Njemačka udruga proizvođača parnih kotlova, posuda pod tlakom i cjevovoda
DGUV	-	Njemačko zakonsko osiguranje od nezgoda na radu
VCI	-	Udruženje njemačke kemijske industrije
VdTÜV	-	Njemačko udruženje službi za tehnički pregled

# Sadržaj

1.	Uvod.....	1
2.	Nerazorne metode ispitivanja .....	2
2.1.	Uvod u ispitivanja bez razaranja .....	2
2.2.	Vizualna kontrola .....	3
2.3.	Penetrantska kontrola .....	8
2.4.	Magnetska kontrola .....	15
2.5.	Ultrazvučna kontrola .....	25
2.6.	Radiografska kontrola .....	30
3.	Greške zavarenih spojeva .....	32
3.1.	Pukotine.....	32
3.2.	Poroznost.....	35
3.3.	Čvrsti uključci .....	36
3.4.	Naljepljivanje i nedovoljni provar.....	37
3.5.	Pogreške oblika zavara .....	38
4.	Posude i oprema pod tlakom.....	40
4.1.	Općenito o posudama i opremom pod tlakom .....	40
4.2.	Osiguranje kvalitete.....	42
4.3.	Zahtjevi za konstruiranje i materijali za izradu tlačnih posuda.....	43
4.4.	Norme i direktive vezane za posude i opremu pod tlakom .....	44
4.4.1.	<i>PED</i> .....	44
4.4.2.	<i>AD 2000</i> .....	45
4.4.3.	<i>HRN EN 13445</i> .....	46
4.4.4.	<i>HRN EN 13480</i> .....	47
5.	Praktičan dio .....	48
5.1.	Tlačni spremnik.....	48
5.2.	Proizvodni proces .....	50
5.3.	Određivanje NDT metoda prema AD 2000 .....	54
6.	Zaključak.....	57
7.	Literatura.....	58



# 1. Uvod

Tlačne posude su nepropusni spremnici za pohranjivanje tekućine ili plina. Dizajnirani su da rade tako što postižu razinu tlaka koja je potrebna za obavljanje funkcije primjene. Razine potencijalnog tlaka kreću se od 1 do 10 000 bara. Radne temperature su često iznad 400°C dok se raspon volumena može kretati od nekoliko litara do nekoliko tisuća litara. U posudama se odvijaju fizikalni i kemijski procesi pri visokim temperaturama i tlakovima. Tlačne posude koriste se u različitim industrijama, a 3 vrste pokrivaju većinu tržišta. To su industrija nafte i plina, kemijska industrija i energetska industrija. Tlačne posude se također koriste i u raznim drugim primjenama uključujući i privatni odnosno „obiteljski“ sektor (spremnici tople vode za kućanstvo). Još neki od primjera posuda pod tlakom su ronilački spremnik, stanište svemirskog broda, stanište podmornice, pneumatski i hidraulički rezervoari, spremnici zračnih kočnica željezničkih i cestovnih vozila, te posude za skladištenje ukapljenih plinova kao što su amonijak, klor, propan, butan itd.

Zavarivanje kod tlačnih posuda treba biti visoke kvalitete kako bi izdržalo radne uvjete. Kvaliteta zavarivanja i izrade tlačnih spremnika provjerava se metodama nerazorne kontrole čiji glavni zadatak je svesti mogućnost pogreške u izradi ili u eksploataciji na minimum. Metode koje se najčešće provode kod tlačnih spremnika su ultrazvučna i radiografska kontrola. Zbog cijene i mobilnosti ispitivanja u praksi najčešće se koristi ultrazvučna kontrola. Osim metoda nerazorne kontrole, također se vrše tlačne probe određenim medijem (zrak, dušik, voda) prije nego tlačne posude idu u daljnje korištenje ili na tržište. Razlozi visokih zahtjeva za kontrolu i kvalitetu proizvoda je sigurnost i integritet koji su temeljna briga od projektiranja do proizvodnje raznih tlačnih posuda. Svaka greška može rezultirati gubitkom ljudskih života, zdravlja ljudi, te opasnosti od oštećenja imovine i okoline.

Ugljični i nehrđajući čelici su dva najčešća korištena materijala za proizvodnju tlačnih posuda, iako se očekuje da će u nadolazećim godinama kompozitni materijali postati nova alternativa. Najčešće korišteni dizajn kod izrade tlačnih spremnika je konfiguracija dugog, dvoglavog cilindra. Čelična cilindrična tlačna posuda odgovara zahtjevima različitih primjena tlačnih posuda, te su konstruirane tako da pogoduju jednostavnosti proizvodnje, zadržavajući robusnu i elastičnu geometriju. [1] [2] [3]

## **2. Nerazorne metode ispitivanja**

### **2.1. Uvod u ispitivanja bez razaranja**

NDT (Non-Destructive Testing) ili KBR (kontrola bez razaranja) su ispitivanja bez razaranja koja su ujedno i interdisciplinarna tehnika za provjeru da li proizvodi i sistemi vrše svoju funkciju na pouzdan i ekonomičan način. Ova ispitivanja se vrše s ciljem lociranja i karakterizacije stanja materijala i eventualnih pogrešaka, a ako se te pogreške ne otkriju, može doći do opasnih posljedica kao što su pucanje rezervoara, curenje kemikalija u okolinu, eksplozija i drugo. [4] Ova ispitivanja se provode tako da ne promijene funkcionalnost objekta koji se ispituje, odnosno drugim riječima, proizvodi i materijali se ispituju i mjere tako da pri tom procesu ne budu oštećeni. Tako se osigurava balans između kontrole kvalitete i kontrole troškova. Generalno NDT metode se odnose na industrijska ispitivanja. [4] Nerazorna ispitivanja vrlo su značajna za praćenje kvalitete u proizvodnji i posebno tijekom eksploatacije u svrhu pronalaženja nepravilnosti koje mogu biti volumne i planarne nastalih uslijed tehnoloških ili eksploatacijskih uvjeta. [5] Zadatak nerazornih ispitivanja je također produljenje vijeka trajanja proizvoda ili objekta, smanjiti proizvodne troškove u eksploataciji pravovremenim odvajanjem neispravnih dijelova te omogućiti uvođenje novih materijala i tehnoloških procesa u cilju postizanja jeftinijeg i sigurnijeg proizvoda. [6] [7]

Najčešća nerazorna ispitivanja dijelimo na: [6]

Površinske metode:

- vizualno ispitivanje – VT
- penetrantsko ispitivanje – PT
- magnetsko ispitivanje – MT.

Volumne metode:

- ultrazvučno ispitivanje – UT
- radiografsko ispitivanje – RT.

## 2.2. Vizualna kontrola

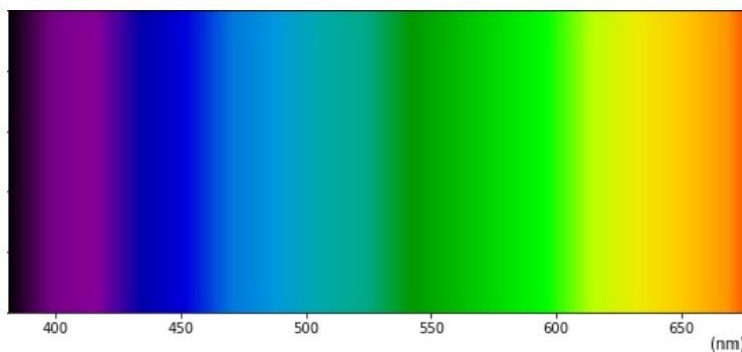
Vizualna kontrola je najstarija i prva metoda kontrole bez razaranja. Od prvih potreba čovjeka da provjeri kvalitetu svog proizvoda razvija se ova metoda kontrole kvalitete. Vizualna kontrola, dobila je naziv na temelju otkrivanja pogrešaka pomoću svjetla. Danas je vizualna kontrola u toliko širokoj i raznolikoj primjeni da je vrlo teško opisati gdje se sve primjenjuje i na koji način. Vizualna kontrola se ne može primijeniti za ispitivanje unutrašnjosti materijala, međutim unutarnje plohe objekta se mogu i vrlo često se moraju ispitati. Vizualna kontrola može se primijeniti na svim slobodnim plohama ispitnog objekta dostupnim svjetlosti bilo direktnim ili indirektnim putem (pomoću opreme za vizualnu kontrolu) i svim objektima koji omogućuju prolaz svjetlosti. Vizualna kontrola podrazumijeva ocjenjivanje karakteristika kvalitete nekog objekta (proizvoda) ljudskim okom kao što su: [8]

- nepravilnosti (greške u materijalu)
- odstupanje od dimenzija
- kvaliteta površine.

Da bi ljudsko oko bilo sposobno za utvrđivanje nepravilnosti na proizvodu, potrebno je osigurati dobru rasvijetljenost površine. Mogu se koristiti prirodni izvori svjetlosti (sunčeva svjetlost) i umjetni (svjetiljke). Karakteristike kvalitete nekog proizvoda mogu se ocjenjivati isključivo onda kada je osiguran dobar kontrast koji se može postići na sljedeće načine: [8]

- razlika u osvjetljenosti površine
- nastajanjem sjene
- razlike u boji.

Svjetlost je elektromagnetno zračenje dualne prirode koje je vidljivo ljudskom oku. Ljudsko oko u prosjeku može vidjeti svjetlost s valnom duljinom u rasponu od 380 do 780 nm. [8]

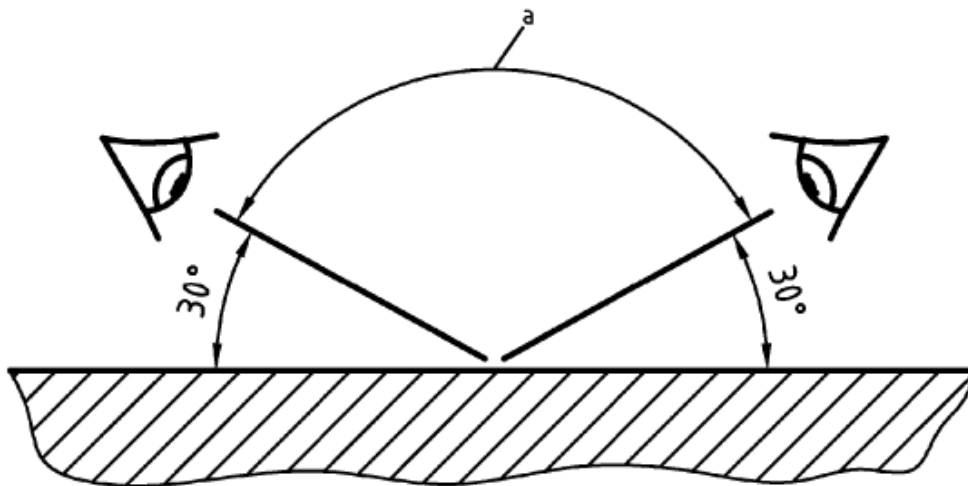


Slika 2.1. Spektar vidljive svjetlosti – valne duljine boja [9]

Postoje dvije tehnike rada pri provedbi vizualnog ispitivanja, a to su: [8]

- tehnika direktnog vizualnog ispitivanja
- tehnika indirektnog vizualnog ispitivanja.

Direktno vizualno ispitivanje je ispitivanje kod kojeg je neprekinut optički put od ispitivačevog oka do ispitnog područja. Može se provesti bez ili sa pomagalima kao što su zrcala, leće, endoskopi ili optička vlakana. Najčešće se provodi kada oko ispitivača nije pozicionirano na udaljenosti većoj od 600 mm i kutu manjim od  $30^\circ$  prema ispitnoj površini. [10] Indirektno vizualno ispitivanje je ono ispitivanje kod kojeg je prekinut optički put od ispitivačevog oka do ispitnog područja. Indirektno vizualno ispitivanje pokriva uporabu fotografije, video sistema, endoskopa, optičkih vlakana, automatiziranih sistema i robota. U praksi se uvijek daje prednost direktnoj tehnici vizualnog ispitivanja. Za slučaj kada iz nekih razloga nije moguć pristup za provedbu direktnog ispitivanja, može se dogoditi da ga zamijeni indirektno vizualno ispitivanje. [8]



Slika 2.2. Tehnika direktnog ispitivanja [10]

Vizualno ispitivanje se provodi prema normi HRN EN ISO 17637, a u normi su navedene definicije i uvjeti koje treba poštivati prilikom ispitivanja : [10]

- osvjetljenje površine koje ispitujemo mora biti minimalno 350 lx (preporučuje se 500 lx)
- indirektna vizualna kontrola pomoću zrcala, boroskopa, optičkih kabela ili kamera mora se uzeti u obzir kada pristupačnost za pregled prema slici 2.2. nije moguća ili kada je to navedeno u standardu primjene

- može se koristiti dodatni izvor svjetlosti kako bi se postigao dobar kontrast
- ako rezultat vizualnog pregleda nije jasan, vizualni pregled treba nadopuniti drugim metodama ispitivanja bez razaranja (površinske metode)
- vizualni pregled zavarenih spojeva i ocjenu rezultata za završnu inspekciju mora obaviti kvalificirano i odgovarajuće osoblje
- ispitivaču se mora omogućiti pristup potrebnoj ispitnoj i proizvodnoj dokumentaciji
- završno vizualno ispitivanje mora se provesti nakon toplinske obrade
- kriterij prihvatljivosti za pronađene pogreške određuje se prema HRN EN ISO 5817 ili HRN EN ISO 10042
- ukoliko se otkriju nepravilnosti, potrebno je poduzeti korektivne radnje
- svaki popravljeni zavar mora se ponovno ispitati prema istim zahtjevima kao i originalni zavar. [10]

Vizualna kontrola može se provesti prije, tijekom i nakon zavarivanja. Ovisno o potrebama proizvođača ili kupca te određenim specifikacijama i normama. Kontrola prije zavarivanja u većini slučajeva odrađuje se kako bi se utvrdilo da su: [10]

- oblik i dimenzije pripreme u skladu sa zahtjevima specifikacije postupka zavarivanja (WPS)
- bokovi spojeva i susjedne površine čisti i da je potrebna površinska obrada provedena prema standardu primjene ili proizvođača
- dijelovi koji se spajaju u ispravnom rasporedu u skladu s crtežima ili uputama.

Tijekom postupka zavarivanja, može se provesti ispitivanje kako bi se utvrdilo: [10]

- da nema vidljivih nepravilnosti (npr. da nisu prisutne pukotine ili šupljine)
- je li prijelaz između zavara i osnovnog materijala takav da se učinkovito spajanje može postići prije zavarivanja sljedećeg sloja
- jesu li dubina i oblik urezivanja u skladu sa WPS-om ili su usporedivi izvornim oblikom urezivanja kako bi se osigurali specificirani uvjeti za potpuno uklanjanje metala šava
- nakon potrebnih popravaka/popravnih mjera, je li zavareni šav u skladu s izvornim zahtjevima WPS-a.



Zahtjevi za osoblje koje provodi vizualno ispitivanje prema HRN EN 13018: [8]

- biti upoznati sa relevantnim normama, pravilnicima, specifikacijama, postupcima i radnim uputama te rukovanjem i kalibracijom opreme koju koristi za provedbu ispitivanja
- biti upoznati sa relevantnim korištenim postupkom proizvodnje i radnim uvjetima komponente koja se ispituje
- imati zadovoljavajuću sposobnost vida u skladu sa normama (HRN EN ISO 9712).

Površina komponente koja će biti podvrgnuta vizualnom ispitivanju mora biti adekvatno pripremljena, odnosno očišćena od svih nečistoća koje bi mogle negativno utjecati na kvalitetu provedbe vizualnog ispitivanja, a to su: [8]

- korozijski produkti, slojevi boje (antikorozivna zaštita)
- okuina, troska (šljaka), ostaci od strojne obrade
- masti i ulja, prašina i sl.

Nakon svakog provedenog ispitivanja potrebno je izraditi ispitno izvješće koje treba, u skladu sa normama HRN EN 13018 i HRN EN ISO 17637, sadržati sljedeće: [8] [10]

- datum i mjesto ispitivanja
- naziv proizvođača zavarenog dijela
- naziv ispitnog tijela
- materijal
- vrsta zavarenog spoja
- debljina materija
- postupci zavarivanja
- korištenje tehnike i oprema ispitivanja
- kriterij prihvatljivosti i radnu uputu odnosno opisati postupak
- broj narudžbe naručitelja
- naziv tvrtke koja izvodi ispitivanje
- opis i identifikacija predmeta ispitivanja
- opseg ispitivanja
- detalji nalaza ispitivanja obzirom na kriterije prihvatljivosti
- ime i prezime osobe koja je provela ispitivanje s datumom (i osobe koja je nadzirala, ukoliko je)
- rezultat ispitivanja.

Kod vizualnog ispitivanja zavara neki od glavnih pomoćnih sredstava i alata su: [8]

- endoskopi (cjevovodi, korijen zavarenih spojeva itd.)
- mjerači nadvišenja kutnih zavarenih spojeva
- mjerači sučeljenih kutnih zavarenih spojeva
- mjerači pripreme zavarenog spoja kod cijevi
- mjerači pripovršinskih grešaka na zavarenim spojevima.



Slika 2.3. Mjerači zavarenih spojeva [11] [12]



Slika 2.4. Fleksibilni endoskop (fibroskop) [13]

### 2.3. Penetrantska kontrola

Penetrantska kontrola ili ispitivanje tekućim penetrantima je jedna od najstarijih metoda nerazornih ispitivanja. Zbog široke mogućnosti primjene i relativno niske cijene provođenja ispitivanja ova metoda ima široku primjenu. Temeljna namjena metode penetrantske kontrole je otkrivanje površinskih prekidnosti i propusnosti. Metoda se upotrebljava za ispitivanje metala, ali i drugih materijala, uz uvjet da su korozijski otporni prema ispitnim medijima. [14]

Penetrantska kontrola zasniva se na fizikalnom principu koji se naziva kapilarni efekt. Kapilarni efekt je svojstvo nekih tekućina da prodiru (penetriraju) ili izlaze iz uskih cjevčica koje se zovu kapilare. Kapilara je cjevčica vrlo malog unutarnjeg promjera (manjeg od 1 mm) koja podržava kapilarnost. Ukoliko se kapilare različitih promjera urone jednim krajem u neku tekućinu, vidjet će se da se tekućina uzdiže više na cjevčicama manjeg promjera nego na onima većeg promjera. Uzrok ovakve pojave je težnja tekućine da unutarnju površinu kapilara što je moguće bolje i potpunije namoči. Zbog površinskih napetosti ona mora pritom povući čestice tekućine koje nisu u kontaktu s površinom kapilare, nego se nalaze u unutrašnjosti cjevčice. Preneseno u praksu, to znači da je penetracija tekućine u pukotine ili poroznosti veća ukoliko je: [15]

- veća površinska napetost tekućine
- manji kontaktni kut tekućine na površini
- manja širina površinske pore.

Mediji i njihova temeljna obilježja su sljedeća: [14]

- penetrant (moćivost površine, visoka mogućnost prodiranja, penetracija i dobra uočljivost)
- razvijlač (dobar kontrast u odnosu na penetrant, te formiranje penetrantskih indikacija)
- odstranjivač (kemijska prilagođenost odstranjivanju penetranta)
- čistač (prilagođen materijalu ispitivanja, neagresivan prema ispitnoj površini)
- emulgator (kemijsko djelovanje na penetrant koje prethodi odstranjivanju suviška penetranta s površine).

Postupak penetrantskog ispitivanja se sastoji od nekoliko koraka: [14]

1. čišćenje ispitne površine (odstranjivanje nečistoća i sadržaja unutar prekidnosti pogrešaka koje se žele otkriti)
2. nanošenje penetranta (močenje ispitne površine penetrantom, penetriranje u pogreške otvorene prema površini)

3. odstranjivanje suviška penetranta (odstranjivanje penetranta s površina uz uvjet da se penetrant zadrži u šupljinama površinskih prekidnosti – ukoliko ih ima)
4. nanošenje razvijača (raspršivanje razvijača po ispitnoj površini nakon odstranjenja penetranta sa ispitne površine)
5. pregled, ocjena indikacija i dokumentiranje (osiguravanje potrebne rasvjete i opreme za trajni zapis)
6. analiza uzorka indikacije i čišćenje ispitne površine (uočavanje uzorka indikacije uz pomoć dodatne opreme za bolje uočavanje i mjerenje parametara pogrešaka te otklanjanje svih ostataka penetrantskih sredstava radi sprječavanja eventualnoga štetnog djelovanja u tijeku uporabe objekta).

Prednosti penetrantske metode: [6] [14] [15]

- velika osjetljivost na površinske prekidnosti uz relativno jednostavni sustav za ispitivanje
- niske cijene opreme i sredstava ispitivanja
- zaštita na radu ispitivača i osoba prisutnih pri postupku ispitivanja lako je održiva i također ne zahtjeva veća ulaganja
- metoda je moguća i na unutarnjim stjenkama cijevi i posuda
- mogućnost primjene neovisno o vrsti materijala (pod uvjetom da su kruti, anorganski i neporozni)
- jednostavnost primjene
- velike površine i dijelovi postrojenja neovisno o težini mogu se ispitati relativno brzo i jeftino
- rutinski se ispituju složene geometrije
- u velikom broju slučajeva nije potrebna električna struja za provedbu ispitivanja.

Nedostaci penetrantske metode: [6] [14] [15]

- ograničenost na otkrivanje samo površinskih pogrešaka
- nemogućnost mjerenja dimenzija pogrešaka
- nije primjenjiva na poroznim strukturama
- zahtjevna priprema površine za ispitivanje
- hrapavost površine može utjecati na osjetljivost rezultata ispitivanja
- zahtjeva se čišćenje nakon ispitivanja
- potrebno pažljivo rukovanje kemikalijama i njihovo skladištenje

- automatizacija postupka je relativno loša
- pouzdanost rezultata ispitivanja u velikoj mjeri ovisi o svojstvima ispitivača.

Penetrant je tekućina koja, kada se nanese na ispitnu površinu, prodire u nepravilnost i tamo se zadržava u količinama koje se mogu detektirati nakon uklanjanja penetranta s površine. Glavni i osnovni uvjet za prodiranje penetranta u neku nepravilnost (pukotina, poroznost) je da ta nepravilnost mora biti otvorena prema površini kako bi penetrant mogao prodrijeti u nju. Standardni penetranti su izrađeni na bazi mineralnih ulja ili alkohola u kojima su rastvorene obojane ili fluorescentne tvari. Vodom perivi penetrant, osim toga sadrži i lipofilni emulgator koji osigurava sposobnost ispiranja penetranta vodom. Neki proizvođači penetrantskih sustava uz to dodaju i male količine nekih tvari (inhibitora) koje sprječavaju nastanak korozije i tvari koje poboljšavaju traženu sposobnost močenja. [15]

Ovisno o namjeni i načinu primjene penetranti se dijele na: [15]

#### 1. Prema tehnici ispitivanja:

- obojani penetranti
- fluorescentni penetranti
- obojano – fluorescentni (dualni) penetranti.

#### 2. Prema načinu odstranjivanja penetranta sa površine:

- vodom perivi penetranti
- emulgatorom odstranjivi penetranti
- otapalom odstranjivi penetranti.

#### 3. Prema osjetljivosti:

- standardne osjetljivosti
- visoke osjetljivosti
- izrazito visoke osjetljivosti.

Za sva penetrantska sredstva važna su sljedeća svojstva: [15]

- kemijska inertnost (korozivna otpornost)
- plamište (točka paljenja, odnosno najniža temperatura na kojoj se u zatvorenoj posudi zapale pare iznad osnovne supstance; ako je plamište niže od 93°C, penetrantske tekućine se smatraju zapaljivima)

- trajnost (sva sredstva moraju zadržavati deklarirana svojstva nakon skladištenja u trajanju od najmanje godinu dana, pod uvjetom da su skladištena na temperaturi od 15 do 40°C)
- otrovnost, miris i iritirajuće djelovanje (sva sredstva izrađena su na bazi kemijskih supstanci koje kod nestručne primjene mogu predstavljati veliku opasnost za čovjeka i okoliš, zbog toga svaki proizvođač mora dostaviti sigurnosni list koji sadrži odgovarajuće podatke kao što su oznake sredstva, broj šarže, kemijski sastav, moguće opasnosti, mjere prve pomoći, zaštitu od požara i drugo).

Prema HRN EN ISO 3452-2 penetranti su podijeljeni prema osjetljivosti na sljedeći način: [15]

- razina osjetljivosti fluorescentnih penetranta (1/2 jako niska, 1 niska, 2 srednja, 3 visoka, 4 izrazito visoka)
- razine osjetljivosti bojom kontrastnih penetranta (1 normalna, 2 visoka).

Provjera svojstava penetrantskog sustava prema HR EN ISO 3452-3 vrši se sa etalonima. [6]

Razvijajući su penetrantska sredstva koja pomažu „izvući“ penetrant iz nepravilnosti i na površini stvoriti obris nepravilnosti. Standardni prahovi razvijajuča izrađeni su na bazi silikata ili karbonata i rastvaraju se u vodi ili otapalu. Najvažnije karakteristike razvijajuča: [15]

- stanje isporuke (može biti pakiran i pripremljen u posudi pod tlakom (aerosol doze) ili u otvorenim posudama, mora imati dobru mogućnost miješanja što je obično riješeno stavljanjem metalnih kuglica za miješanje)
- raspršivost (nakon miješanja mora izlaziti iz aerosol doze poput magle, bez kapljica, ali ne i suh; mora osigurati glatki, ravni i jednolični sloj na površini)
- kontrast (mora imati zadovoljavajuću bjelinu kako bi na ispitnoj površini stvorio dovoljan kontrast u odnosu na penetrant)
- perivost razvijajuča (sve vrste razvijajuča moraju biti lako odstranjive sa površine)
- veličina zrna praška (sitnije zrno znači veća osjetljivost).

Klasifikacija razvijajuča ovisno o namjeni i načinu primjene: [15]

#### 1. Suhi razvijajuč:

- može se upotrebljavati samo za fluorescentni penetrant
- nanosi se jednoliko na površinu jednom od sljedećih tehnika: naprašivanjem, naprašivanjem u komori, pištoljem za razvijajuč
- površina se prekriva vrlo tanko, a mjestimično nakupljanje razvijajuča nije prihvatljivo.

## 2. Razvijač rastvoren u vodi:

- tanki sloj razvijača postiže se potapanjem u suspenziju koja se miješa
- vrijeme i temperatura potapanja određuje se preliminarnim pokusom prema uputama proizvođača
- vrijeme potapanja (imerzije) mora biti što kraće da bi se postigao optimalni rezultat, objekt se suši isparavanjem ili u peći sa cirkulacijom.

## 3. Razvijač rastvoren u otapalu:

- razvijač se nanosi prskanjem
- prskanje treba podesiti tako da razvijač dospije na površinu dok je još rastvoren u otapalu čime se postiže jednoliki sloj.

4. Razvijač na bazi vode ili otapala za specijalne namjene otopljene u vodi (razvijač za odljepljivanje, nakon određenog vremena razvijanja, sloj razvijača se pažljivo odljepljuje i indikacije se pojavljuju na onoj strani sloja razvijača koja je bila u kontaktu sa površinom).

Emulgatori su tvari čije su izdužene molekule na jednoj strani hidrofilne (dobro se miješaju sa vodom), a na drugoj strani lipofilne (dobro se miješaju sa uljem). Zbog toga oni pokazuju tendenciju da se sakupljaju na graničnoj površini između tekućine. To su tvari koje snižavaju površinsku napetost između lipofilnih i hidrofilnih tekućina. [15]

Tablica 2.1. Sredstva za penetrantsku kontrolu [15]

Penetrant		Sredstvo za uklanjanje viška penetranta		Razvijač	
Tip	Naziv	Metoda	Naziv	Oblik	Naziv
I	Fluorescentni penetrant	A	Voda	a	Suhi
				b	U vodi rastvorljiv
II	Bojom kontrastni penetrant	B	Lipofilni emulgator 1 Emulgator na bazi ulja	c	U vodi suspendiran
				d	Na bazi otapala (nevodeni mokri)
III	Dvojake namjene-dualni (fluorescentni bojom kontrastni penetrant)	C	2 Ispiranje tekućom vodom Otapalo (tekućina)	e	Na bazi vode ili otapala za specijalne primjene (npr. razvijač koji se ljušti)
		E	2 emulgator (razrijeđen vodom) 3 završno ispiranje (voda) Voda i otapalo		

Penetrantsko ispitivanje zavarenih spojeva obavlja se u skladu s normom HRN EN ISO 3452, norma je podijeljena na 6 dijelova u kojima je navedeno: [16]

- HRN EN ISO 3452-1, generalni principi za samo izvođenje postupka ispitivanja, zahtjevi za osoblje koje obavlja ispitivanje, zahtjevi za ispitno izvješće, čišćenje
- HRN EN ISO 3452-2, ispitivanje i određivanje materijala za ispitivanje, kontrast, osjetljivost itd. penetranta
- HRN EN ISO 3452-3, referentni etaloni koji se koriste za određivanje razina osjetljivosti i boja u odnosu na hrapavost površine
- HRN EN ISO 3452-4, oprema za ispitivanje
- HRN EN ISO 3452-5, ispitivanje penetrantima na temperaturama većim od 50°C
- HRN EN ISO 3452-6, ispitivanje penetrantima na temperaturama nižim od 10°C.

Ocjenjivanje detektiranih nepravilnosti na zavarenim spojevima obavlja se u skladu s normom HRN EN ISO 23277. U ovoj normi definirana su 3 kriterija prihvatljivosti. Kriterij 1 je najstroži, 2 je srednji, dok je 3 najblaži. Zavareni spoj se ocjenjuje posebno za svaki tip nepravilnosti (može se dogoditi da imamo 2 vrste nepravilnosti na zavaru, jedna može biti prihvatljiva dok druga ne).

[15]

Tablica 2.2. Izvadak iz norme HRN EN ISO 23277 [15]

Tip indikacije	Razine prihvatljivosti <sup>1)</sup>		
	1	2	3
Linearna indikacija l = duljina indikacije	$l \leq 2$	$l \leq 4$	$l \leq 8$
Nelinearna indikacija d = dimenzija po glavnoj osi	$d \leq 4$	$d \leq 6$	$d \leq 8$
<sup>1)</sup> Razine prihvatljivosti 2 i 3 mogu biti specificirane sa sufiksom „X“ koji označava da će sve detektirane linearne indikacije biti ocijenjene u razini 1.			

Ukoliko je razmak između dvije penetrantske indikacije manji od duljine manje indikacije, tada će se to smatrati kao jedna indikacija čija je duljina suma duljina veće indikacije, udaljenosti između dvije susjedne indikacije i duljina manje indikacije, ako je udaljenost između dvije susjedne penetrantske veća od duljine manje indikacije, tada se svaka indikacija bilježi zasebno.

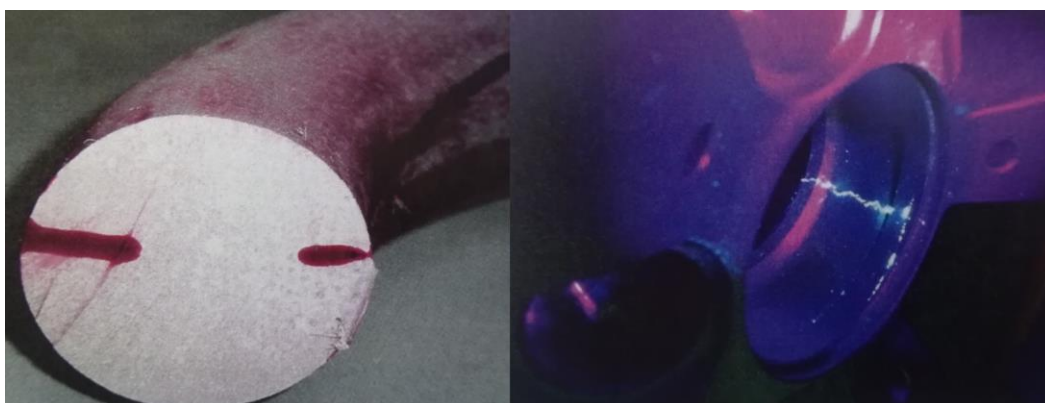
[15]



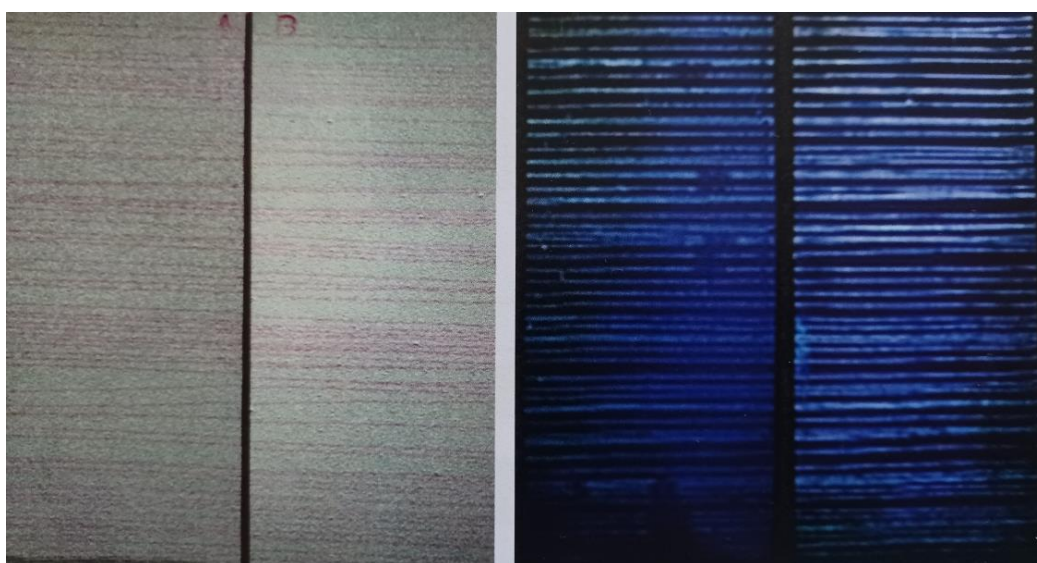
Norma HRN EN ISO 17635 je norma koja daje poveznicu između tehnike kojom se provodi ispitivanje i kriterija prihvatljivosti, a sve u skladu s već unaprijed definiranom klasom zavarenog spoja. [15]

Tablica 2.3. Izvadak iz norme HRN EN ISO 17635 – Penetrantsko ispitivanje [15]

Klasa kvalitete u skladu sa HRN EN ISO 5817 ili ISO 10042	Tehnike i klase ispitivanja u skladu s HRN EN ISO 3452-1	Kriterij prihvatljivosti u skladu s HRN EN ISO 23277
B	Klasa nije specificirana	2×
C	Klasa nije specificirana	2×
D	Klasa nije specificirana	2×



Slika 2.5. Obojani crveni penetrant (lijevo) i fluorescentni penetrant (desno) [15]



Slika 2.6. Referentni etaloni za osjetljivost crvenog i fluorescentnog penetranta [15]

## 2.4. Magnetska kontrola

Ispitivanje magnetskim česticama je jedna od nerazornih metoda otkrivanja površinskih i podpovršinskih nepravilnosti u feromagnetskim materijalima. Termin nepravilnost ili prekidanost podrazumijeva neplanirane nepravilnosti u materijalu, odnosno u proizvodu kao što su pukotine, poroznosti, metalni i nemetalni uključci i mjestimične promjene mikrostrukture. Metoda se temelji na principu pojave izlaznog magnetskog polja na površini magnetiziranoga materijala zbog pojave nepravilnosti. Magnetske čestice se pod djelovanjem magnetizma nakupljaju na mjestu gdje su otkrivene nepravilnosti. [17]

Povijest magnetske metode: [17]

- 1876. kompas je pokazao promjene u magnetskom fluksu u oblasti pukotine na željezničkim šinama
- javljaju se početkom 19. stoljeća u industriji oružja i transportnih vozila
- 1918. Hoke uočava orijentiranje magnetskih čestica oko nepravilnosti u namagnetiziranom čeliku
- 1922. godine objavljen je USA patent koji omogućava industrijsko korištenje metode MT
- 30-ih godina 20. stoljeća A. Forest i F. Doune razvijaju ideje Hoke-a i koriste veće magnetske čestice na bazi ulja
- 1934. A. Forest osniva kompaniju Magnafluks Corporation u SAD-u.
- 1936. u Njemačkoj I. Unger i R. Hilbert su registrirali magnetsku suspenziju na bazi vode i izrađuju sistem za metrološku ocjenu osjetljivosti.

Prije objašnjenja samog načina i vrste postupaka magnetske kontrole, potrebno je definirati nekoliko fizikalnih osnova magnetizma kako bi se lakše shvatio sami postupak: [17]

- magnet je tijelo koje posjeduje svojstvo da privlači predmete iz željeza, kobalta, nikla i nekih njihovih legura; materijali od kojih su načinjeni magneti nazivamo feromagnetima; osim prirodnog magneta od magnetita, postoje i umjetni magneti među kojima razlikujemo trajne ili permanentne magnete i elektromagnete ; magnet može biti u obliku štapa, potkove ili jarma
- permanentni magneti se izrađuju od tzv. tvrdih feromagnetskih materijala koja trajno zadržavaju magnetska svojstva

- elektromagnet je zavojnica sa jezgrom od mekog željeza, koja je magnetska samo dok kroz zavojnicu teče električna struja
- magnetizam je svojstvo magneta da oko sebe proizvodi magnetsko polje
- magnetsko polje je prostor u kojem djeluju magnetske sile ; sile privlačenja mogu djelovati unutar prostora i onda kada magnet i željezo nisu u međusobnom kontaktu ; magnetsko polje opisuje smjer i veličinu djelovanja sile privlačenja, a prikazujemo ga magnetskim silnicama (linijama) koje u prirodi ne postoje nego su pogodne za grafičko prikazivanje magnetskog polja ; mjesta sa najvećom gustoćom silnica zovu se polovi, koji se dijele na sjeverni (N) i na južni (S), s time da se istoimeni polovi odbijaju, a raznoimeni privlače

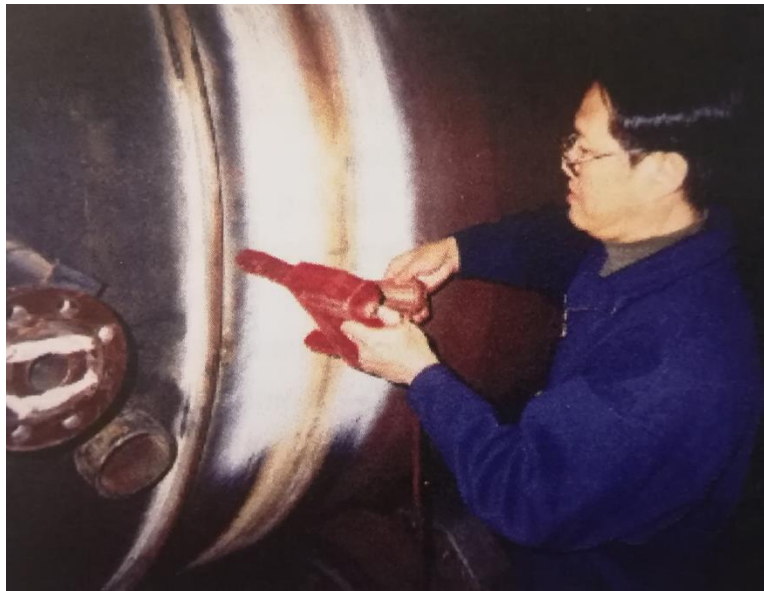


*Slika 2.7. Magnetsko polje [17]*

- magnetska indukcija je bitna karakteristika magnetskog polja, možemo reći da je to mjera magnetičnosti materijala. Magnetska indukcija je bitan parametar u ispitivanju magnetskim česticama jer postoji zavisnost između dubine .nepravilnosti (pukotine) i jakosti magnetske indukcije, prije samog ispitivanja objekta potrebno je odrediti magnetsku indukciju ili definirati iznos magnetskog polja koji je nužan da se u materijalu pobudi potrebna magnetska indukcija.

Magnetizaciju dijelova i objekata moguće je provesti lokalno i u uređaju za magnetizaciju, također se može upotrebljavati istosmjerna i izmjenična struja, razlika je u dubini penetracije. Istosmjerna struja generira magnetsko polje dublje ispod površine (do 10 mm), a izmjenična struja uglavnom teče ispod površine (od 2 do 3 mm u dubinu). Tehnika ispitivanja koju ćemo primijeniti ovisi o geometriji samog objekta, vrste nepravilnosti koju je potrebno otkriti i raspoloživosti opreme. Vrste tehnika magnetizacije su: [17]

- magnetizacija pomoću jarma
- magnetizacija u uređaju za magnetizaciju
- magnetizacija zavojnicom (uzdužna magnetizacija)
- magnetizacija pomoću kontaktnih elektroda (kružna magnetizacija)
- kombinirane tehnike (istovremena magnetizacija u dva smjera pod 90°, što omogućava otkrivanje nepravilnosti u svim smjerovima).



*Slika 2.8. Ispitivanje magnetskim jarmom [17]*



*Slika 2.9. Ispitivanje zavojnicom [17]*



*Slika 2.10. Ispitivanje na stroju za magnetizaciju [17]*

Demagnetizacija je odstranjivanje zaostalog magnetizma i mora se ukloniti zbog sljedećih razloga: [17]

- obrada odvajanjem čestica, poliranje, brušenje, metaliziranje se ne mogu provesti kvalitetno zbog prijanjanja metalnih čestica na površini objekta koji ima zaostali magnetizam
- zavarivanje pozicija se ne može provesti zbog otklanjanja luka
- zaostali magnetizam rotirajućih dijelova strojeva i postrojenja privlači na površinu tih pozicija metalne čestice iz lubrikanta ili ulja što dovodi do nepotrebnog trošenja i oštećivanja površina
- ometa provođenje magnetske kontrole te je smetnja čišćenju nakon ispitivanja.

Demagnetizacija se može provesti na sljedeće načine: [17]

- demagnetizatori sa izmjeničnom strujom
- kabelom izvedena priručna zavojnica
- zavojnica uređaja za magnetiziranje/demagnetiziranje
- demagnetizatori s istosmjernom strujom
- kružna demagnetizacija
- demagnetizacija jarmom.

Feromagnetske čestice su odabrani magnetski materijal odgovarajuće magnetske permeabilnosti, veličine, kontrasta i oblika prema načinu uočavanja i postizanja kontrasta koji zahtjeva traženu osjetljivost metode dijele se na obojene i fluorescentne. Obojene čestice su jednostavnije u primjeni jer se pregled vrši uz bijelo svjetlo, a nedostatak im je slabiji kontrast. Fluorescentne čestice zbog boljeg kontrasta koriste se za ispitivanje proizvoda gdje se očekuju vrlo fine pukotine ili kada obojenost površine umanjuje kontrast indikacije. [17]

U praksi koristimo dva postupka : [17]

- suhi postupak, gdje čestice nanosimo plinom pod pritiskom, tj. uobičajeno zrakom (veličina zrna oko 50  $\mu\text{m}$ )
- mokri postupak, gdje čestice nanosimo pomiješane sa vodom ili uljem (veličina zrna od 0,1 do 20  $\mu\text{m}$ ).

Magnetne čestice ne smiju imati otrovnih supstanci, ne smiju sadržavati nikakve nečistoće, moraju imati određenu veličinu i oblik zrna, moraju imati zadovoljavajuća magnetska svojstva i dobar kontrast. [17]

Postupak ispitivanja magnetskim česticama: [17]

- 1. korak je priprema ispitnog predmeta ili proizvoda koji se sastoji u odstranjivanju sa površine nečistoće, hrđe, kapljica od zavarivanja, masti, ulja i premaza debljih od 50  $\mu\text{m}$ , te ostalih stranih materija koje bi mogle utjecati na osjetljivost ispitivanja
- 2. korak je provođenje magnetizacije u skladu sa normama u kojima su prikazane tehnike magnetizacije (HRN EN ISO 9934-1 ili HRN EN ISO 17638), ujedno se i provodi provjera magnetizacije pomoću uzoraka sa poznatim nepravilnostima koje mogu biti umjetne ili prirodne, mjeri se jakost magnetskog polja pomoću instrumenta
- 3. korak je nanošenje ispitnog sredstva koje se nanosi uobičajeno istovremeno sa magnetizacijom
- 4. korak je promatranje ispitne površine kako bih se uočile otkrivene indikacije gdje se prema normi HRN EN ISO 3059 zahtjeva za obojene kontrastne čestice osvjetljenost na ispitnoj površini min. 500 lx ili za fluorescentne čestice intenzitet UV zračenja koje mora biti veće od 10  $\text{W}/\text{m}^2$  i bijelo svjetlo manje od 20 lx
- 5. korak je zapisivanje otkrivenih indikacija
- 6. korak je čišćenje sredstava za detekciju i demagnetizaciju, koja se definira pisanim dokumentom između ugovornim stranama
- 7. korak je izrada izvješća koje sadržava sljedeće podatke: naziv tvrtke, mjesto ispitivanja, opis dijela koje se ispituje, faze ispitivanja, opis uporabljene opreme, tehnika magnetizacije, jakost magnetsko polja, udaljenost između kontakata ili polova itd., uporabljeno ispitno sredstvo i kontrastna boja, priprema ispitne površine, uvjeti promatranja, način registriranja i označavanje indikacija, datum ispitivanja; ime, kvalifikacija i potpis osobe koja je izvršila ispitivanje.

Norme koje koristimo kod ispitivanja magnetskim česticama možemo podijeliti u 2 grupe: [17]

Norme koje se odnose na tehniku ispitivanja: [17]

- HRN EN ISO 9934-1: Ispitivanje magnetskim česticama – Opći principi
- HRN EN ISO 9934-1: Ispitivanje magnetskim česticama – Sredstva za detekciju
- HRN EN ISO 9934-3: Ispitivanje magnetskim česticama – Oprema
- HRN EN ISO 3059: Ispitivanje magnetskim česticama i penetrantima – Uvjeti promatranja.

Norme koje se odnose na ispitivanje pojedine vrste proizvoda su: [17]

- HRN EN ISO 17638: Ispitivanje bez razaranja zavarenih spojeva – Ispitivanje magnetskim česticama zavarenih spojeva
- HRN EN ISO 23278: Ispitivanje bez razaranja zavarenih spojeva – Kriterij prihvatljivosti
- HRN EN 1369: Lijevanje – Ispitivanje odljevaka metodom magnetskih čestica
- HRN EN 10228-1: Ispitivanje bez razaranja čeličnih otkivaka – Ispitivanje magnetskim česticama.

Tablica 2.4. Kriterij prihvatljivosti prema HRN EN ISO 23278 [17]

Tip indikacije	Razine prihvatljivosti <sup>1)</sup>		
	1	2	3
Linearna indikacija l = duljina indikacije	$l \leq 1,5$	$l \leq 3$	$l \leq 6$
Nelinearna indikacija d = dimenzija po glavnoj osi	$d \leq 2$	$d \leq 3$	$d \leq 4$
<sup>1)</sup> Razine prihvatljivosti 2 i 3 mogu biti specificirane sa sufiksom „X“ koji označava da će sve detektirane linearne indikacije biti ocijenjene u razini 1.			



Slika 2.11. Magnetska indikacija otkrivena fluorescentnom tehnikom [17]



*Slika 2.12. Magnetska indikacija otkrivena crno-bijelom tehnikom [17]*

Oprema za ispitivanje: [17]

- ručni magneti (jarmovi), koriste se za ispitivanje zavarenih spojeva, velikih otkivaka i odljevaka po segmentima. Veličina segmenta koje se ispituje jednim magnetiziranjem ovisi o kvaliteti jarma odnosno induktivitet zavojnice i jakost struje, o međusobnoj udaljenosti polova jarma i kvaliteti kontakta jarma na predmetu ispitivanja



*Slika 2.13. Magnetski jaram [18]*



- stacionarni ispitni radni stolovi kod kojih se može primijeniti kružna ili uzdužna magnetizacija, a ukoliko se vrše istovremeno tada se radi o kombiniranoj magnetizaciji



*Slika 2.14. Stacionarni stoj za magnetiziranje [17]*

- UV svjetiljke, koriste se kod ispitivanja sa fluorescentnim sredstvima



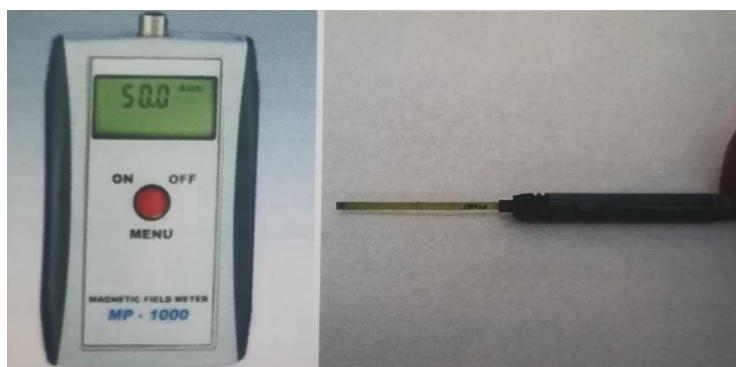
*Slika 2.15. UV svjetiljka [17]*

- uređaji za demagnetizaciju (uređaji izrađeni od zavojnica u obliku tunela)



Slika 2.16. Uređaj za demagnetizaciju [17]

- Hallova sonda koja se koristi za mjerenje jačine magnetskog polja



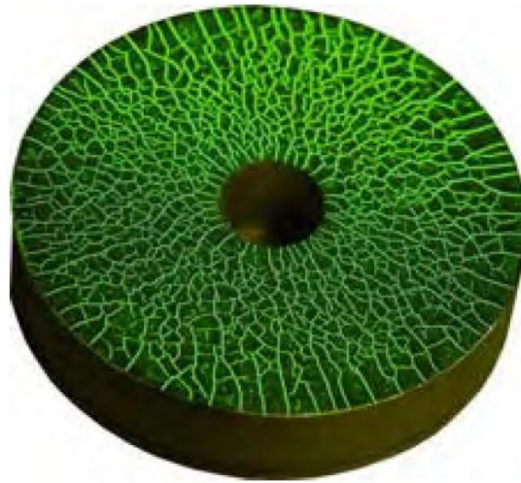
Slika 2.17. Mjerač jakosti magnetskog polja (Hallova sonda) [17]

- Bertholdov indikator, koristi se za provjeru postojanja magnetizacije i smjera magnetskog polja



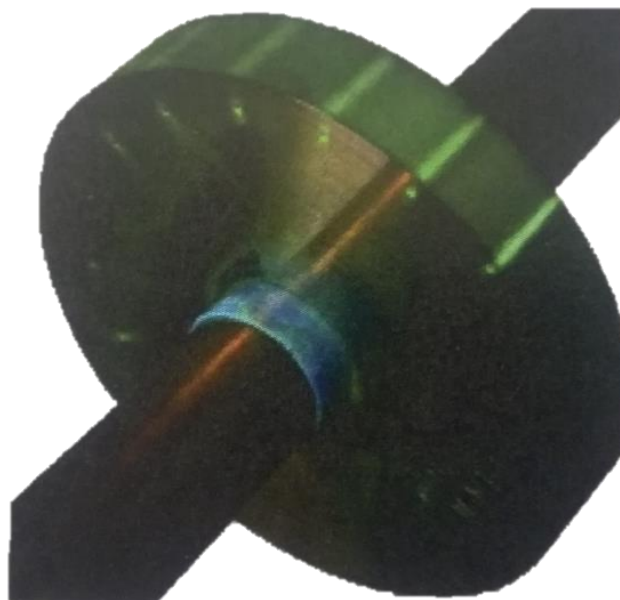
Slika 2.18. Bertholdov indikator [19]

- MTU etalon, koji se koristi za provjeru sposobnosti ispitnog sredstva kod otkrivanja indikacija koristi se etalon 1 prema HRN EN ISO 9934-2



*Slika 2.19. MTU etalon [19]*

- također, prema ASTM normama koristi se etalon za određivanje mogućnosti detekcije po dubini.



*Slika 2.20. MTP-1 etalon [17]*

## 2.5. Ultrazvučna kontrola

Ultrazvučna kontrola je jedna od kontrola koje spadaju u područje nerazornih metoda ispitivanja materijala. Zbog široke primjene ove metode (strojarstvo, elektrotehnika, graditeljstvo) jedna je i od najzastupljenijih metoda ispitivanja. Razlog velike i široke primjene ovog postupka je velika prilagodljivost, izrazito visoka osjetljivost te pouzdanost krajnjeg rezultata. Cilj ultrazvuka je pronaći greške u dubini materijala, odrediti njihov položaj i veličinu. Postupak ultrazvučne kontrole zasniva se na svojstvu ultrazvuka koji se širi kroz homogene materijale i odbija se na granici materijala koji ima različite akustične osobine, odnosno odbija se od nehomogenosti u materijala. Nehomogenosti u materijali mogu biti različite, mogu biti uključci, pukotine, poroznost u materijalu, ali i nerijetko tanja stijenka materijala kod nekih cjevovoda. Postupak ultrazvučne kontrole najčešće upotrebljavamo kod zavarenih spojeva, cijevi i nekih kritičnih mjesta (mjesta mogućih strukturnih promjena prilikom eksploatacije) kod raznih strojeva i uređaja. Da bi smo lakše shvatili sam postupak ultrazvučne kontrole, potrebno je pojasniti nekoliko fizičkih pojmova. [20]

Akustika je područje fizike koje se bavi proučavanjem pojava vezanih uz nastajanje, prenošenje i primanje zvuka, odnosno srodnih titranja u širokom spektru frekvencija i primjene. Danas se akustika bavi zvukom u širem smislu odnosno titranjem materijalnih čestica, bez obzira na njihovu frekvenciju. Izmjena promjena fizičkog stanja u materijalu, koja se širi od mjesta izvora određenom brzinom, može se čuti kao zvuk, šum ili prasak, što ovisi o pravilnosti titranja. Ista pojava može biti izvan čujnih granica čovjeka. Ovisno o frekvenciji mehaničkih titranja i prosječnih slušnih mogućnosti ljudi, uobičajena je sljedeća podjela: [20]

Tablica 2.5. Frekvencije akustičkih titranja [20]

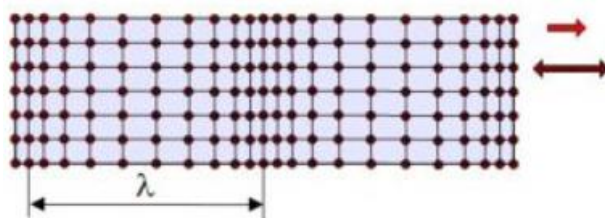
Naziv	Približna frekvencija
Infrazvuk	Do 16 Hz
Čujni zvuk	Od 16 Hz do 20 kHz
Ultrazvuk	Iznad 20 kHz

Izvori ultrazvuka koji se koriste u metodama nerazornih ispitivanja su sonde koje prislanjanjem na objekt ispitivanja ili uranjanjem u tekućinu prenose titranje u sredstvo s kojim su u dodiru. Unutar sonde ugrađen je aktivni dio koji se naziva pretvarač. Pretvarač titra stvarajući ultrazvučne valove zbog različitih vanjskih poticaja. Ultrazvučni valovi se mogu širiti samo u sredstvu i upravo zbog te činjenice koristi se za otkrivanje pogrešaka u ispitivanom objektu. Ultrazvučni valovi na granici sredstva kao i sve druge vrste valove slijede zakonitost valnog gibanja. Radi toga na granici sredstava, bilo da se radi o stijenci ispitnog objekta ili granici ispitnog materijala – nepravilnost, dolaziti će do odraza ultrazvučnih valova i loma, difrakcije odnosno ogiba ili druge vrste međudjelovanja sredstava i odaslane ultrazvučne energije. Pravilnom interpretacijom ultrazvučne energije dobivene prozvučivanjem ispitivanog materijala može se procijeniti stanje materijala i parametri otkrivenih nepravilnosti. Ovisno o jakosti polja ultrazvuka bitno se razlikuje primjena postupka. Sa obzirom na snagu polja, ultrazvuk se dijeli na dvije skupine: [20]

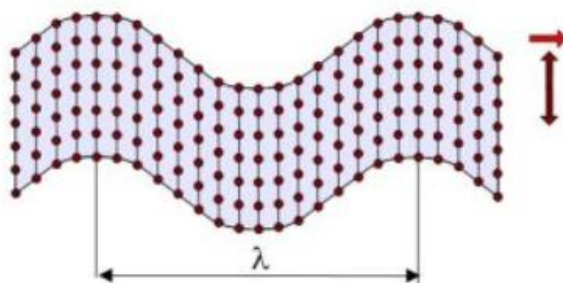
- velike snage kod 10 kW, primjena: čišćenje, zavarivanje, medicina
- male snage 0,001 – 1 W, kontrola i mjerenje u tehnici, medicinska dijagnostika, alarmi, itd.

Ultrazvučni valovi prenose energiju titranja kroz materijal. Ovisno o sredstvu kroz koje se prenosi energija i ostalim značajkama kao što su vrsta materijala, oblik i dimenzije i općenito stanje materijala, posebno njegova elastična svojstva, nastat će razne vrste ultrazvučnih valova. Dvije osnovne vrste valova su longitudinalni ili uzdužni valovi i transverzalni ili poprečni valovi. Longitudinalni i transverzalni ultrazvučni valovi u idealnom obliku titranja mogu nastati samo u beskonačnom sredstvu. U praksi se može smatrati da su valovi longitudinalni ili transverzalni u sredstvu čije se dimenzije mogu smatrati beskonačnim u odnosu na valnu duljinu ultrazvuka. Tumačenjem širenja vala uz pomoć čestica materijala koje titranjem prenose energiju, najjednostavnije je definirati razliku između ovih dvaju osnovnih vrsta valova: [20]

- longitudinalni val – uzdužni val (L-val), je onaj val kod kojega čestice titraju u smjeru širenja vala stoga oni uzrokuju zgušćenja i razrjeđenja u sredstvu u kojem se šire. Mogu se prostirati u sva tri agregatna stanja.
- transverzalni val – poprečni val (T-val), je onaj val kod kojeg čestice titraju okomito na smjer širenja vala stoga oni ne uzrokuju zgušćenja ni razrjeđivanja u materijalu. Mogu se širiti samo u krutim sredstvima.



Slika 2.21. Širenje longitudinalnog vala [21]



Slika 2.22. Širenje transverzalnog vala [21]

Parametri ultrazvučne kontrole uključuju i veličine koje se odnose na ultrazvučnu energiju kojom se provodi ispitivanje, ali i niz drugih fizikalnih veličina koje definiraju opremu, tehniku rada i objekt ispitivanja. Osnovni parametri koji utječu na ispitivanje su: [20]

- frekvencija ultrazvuka – izbor frekvencije određuje duljinu ultrazvučnih valova, a valna duljina je u izravnoj svezi s veličinom pogreške odnosno osjetljivosti metode, povećanjem frekvencije smanjuje se valna duljina.
- brzina ultrazvuka u sredstvu – brzina vala ovisi o vrsti vala, gustoći i elastičnosti materijala u kojem se val širi, te o temperaturi i naprezanju, uz pretpostavku da je materijal izotopan, što znači da ima fizička svojstva jednaka u svim smjerovima.
- impedancija sredstva – to je kompleksna veličina, karakteristična za sredstvo, a izravno ovisi o gustoći materijala i brzini ultrazvučnih valova u određenom materijalu, na temelju vrijednosti impedancije može se preračunati kakav će biti udio prolazne i reflektirane energije ultrazvuka.
- zvučni tlak – fizička veličina kojom se definira djelovanje sile okomito na površinu objekta, kada u njemu postoji ultrazvučno polje.
- intenzitet ultrazvuka – jedan od najznačajnijih parametara ultrazvučnog polja i određuje količinu energije sadržane u ultrazvučnom valu.

Metode ultrazvučnog ispitivanja dijelimo na: [7]

- metoda odjeka (impuls – odjek)
- metoda prozvučavanja
- metoda rezonancije – ne koristi se u praksi više.

Metoda odjeka temelji se na emitiranju ultrazvučnih valova (energije) u objekt ispitivanja i registriranja istom ili drugom sondom odbijenog ultrazvučnog vala. Ovom metodom moguće je identificirati položaj i veličinu raznih nehomogenosti u materijali (pukotine, uključci itd.), odrediti područje u materijalu koje nije dobro toplinski obrađeno, kontrolu zavarenih spojeva i mjerenje debljine stjenke cijevi. Metoda je vrlo točna, međutim nedostatak metode je tzv. nedostatak mrtve zone, to je zona ulaska ultrazvuka u materijal, emitirani impulsi ne mogu biti tako male duljine da odmah otkriju greške u blizini ultrazvučne glave. [7]

Metoda prozvučavanja radi na principu apsorpcije ultrazvuka u unutrašnjim nehomogenostima u materijalu (slično kao i radiografija). Kod ovog postupka koristimo dvije sonde (ultrazvučne glave), jedna odašilja ultrazvučne valove, dok druga prima, ako je uzorak bez defekta, signal na ulazu će biti jednak izlaznom, ovom metodom se mogu otkriti samo krupni defekti, metoda je pogodna za otkrivanje slojevitih grešaka u tankim uzorcima, do debljine 50 mm. [7]

Oprema za ultrazvučno ispitivanje je vrlo različita, s obzirom na široku primjenu ove metode.

Ovisno o području primjene, razlikuje se oprema za: [20]

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

Ovisno o stupnju automatizacije postoji: [7]

- oprema za ručno ultrazvučnu kontrolu s računarskom podrškom ili bez nje
- poluautomatska oprema
- automatski sustavi.

Za provođenje svakog ispitivanja nužno je odabrati odgovarajući ultrazvučni sustav. Ultrazvučni sustav čine:

- ultrazvučni uređaj – ultrazvučni uređaj mora omogućavati aktiviranje sonde električnim impulsima te primanje elektroničkih impulsa iz sonde, te dati prikaz međudjelovanja ultrazvuka i objekta ispitivanja. [20]



Slika 2.23. Ultrazvučni uređaj Krautkramer USM 36 [22]

- ultrazvučne sonde – ključni dio ultrazvučnog sustava, podjelu sondi određujemo prema značajkama bitnim za provođenje kontrolu, razlikujemo ravnu sondu, kutnu, površinsku, dvostruku, fokusirajuću i specijalne sonde [20]



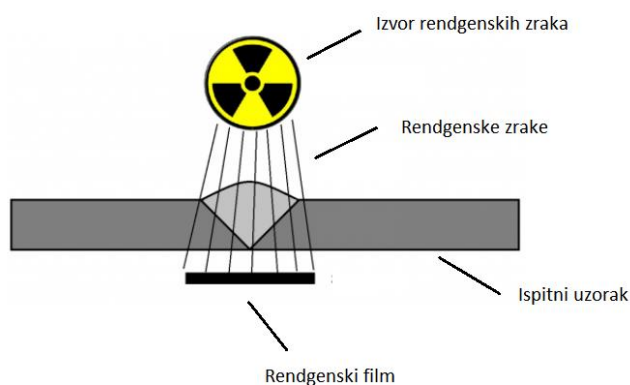
Slika 2.24. Ultrazvučne sonde [23]

- etaloni i referentni uzorci – koriste se za provjeru karakteristika opreme i pripremu ultrazvučnog sustava za provođenje ispitivanja. Etaloni su obvezno popraćeni atestom, tj. dokumentacijom kojom mjerodavna organizacija potvrđuje deklarirana svojstva. Referentni uzorci služe za podešavanje sustava za ispitivanje, izrađuje se iz materijala ispitnog objekta ili materijala u poznatom odnosu prema ispitnom objektu. [20]



## 2.6. Radiografska kontrola

Radiografska kontrola je jedna od metoda nerazornim ispitivanjem materijala i spada u metode ispitivanja zračenjem, odnosno prozračivanjem. Radiografska kontrola također spada pod radijacijske metode kontrole čija je svrha omogućiti kvalitativno i kvantitativno praćenje otkrivenih nepravilnosti ili strukturnih nepravilnosti u volumenu ili kroz presjek ispitivanog materijala. Sve radijacijske metode informaciju o objektu dobivaju prozračivanjem objekta odgovarajućim ionizirajućem zračenjem. Zračenje, nakon prolaza kroz objekt, nosi informaciju o objektu jer je pri prolazu došlo do međudjelovanja zračenja i materijala objekta. Metoda se temelji na registriranju razlike intenziteta ionizirajućeg zračenja koje je prošlo kroz objekt ispitivanja, uzrokovane različitom apsorpcijom u pojedinim dijelovima objekta. Zračenje se radi interpretacije rezultata registrira stvaranjem stalne slike, tj. radiograma. Radiografija je u praksi naziv pod kojim se najčešće podrazumijeva rendgenografija ili gamagrafija. Često se nazivom rendgenogram ili gamagram želi naglasiti vrsta izvora kojim je radiogram postignut. Po načinu prozračivanja ili registriranja zračenja radiografija može biti ručna, poluautomatska ili automatska kontrola. Rendgenski uređaji se obično označavaju i voltažom rendgenske cijevi, što je veći napon to je prodornost zračenja veća i omogućava ispitivanje većih debljina materijala. Napon na rendgenskoj cijevi industrijskih uređaja se kreće u području od 50 kV do 400 kV. Radiografskom kontrolom mogu se ustanoviti pogreške različitih tehnoloških postupaka, te pogreške zbog korištenja proizvoda ili konstrukcije. Radi tako široke primjenjive metode kontrole i znatne različitosti proizvoda za koje se provodi otkrivanje pogrešaka, razvijen je niz tehnika radiografiranja. Radijacijske metode su skupe nerazorne metode jer je cijena filma visoka, a drugi veći nedostatak je nužnost zaštite od ionizirajućeg zračenja. U praksi, već duže vrijeme u mnogim slučajevima metodu radiografije uspješno mijenja metoda ultrazvučne kontrole. [20]

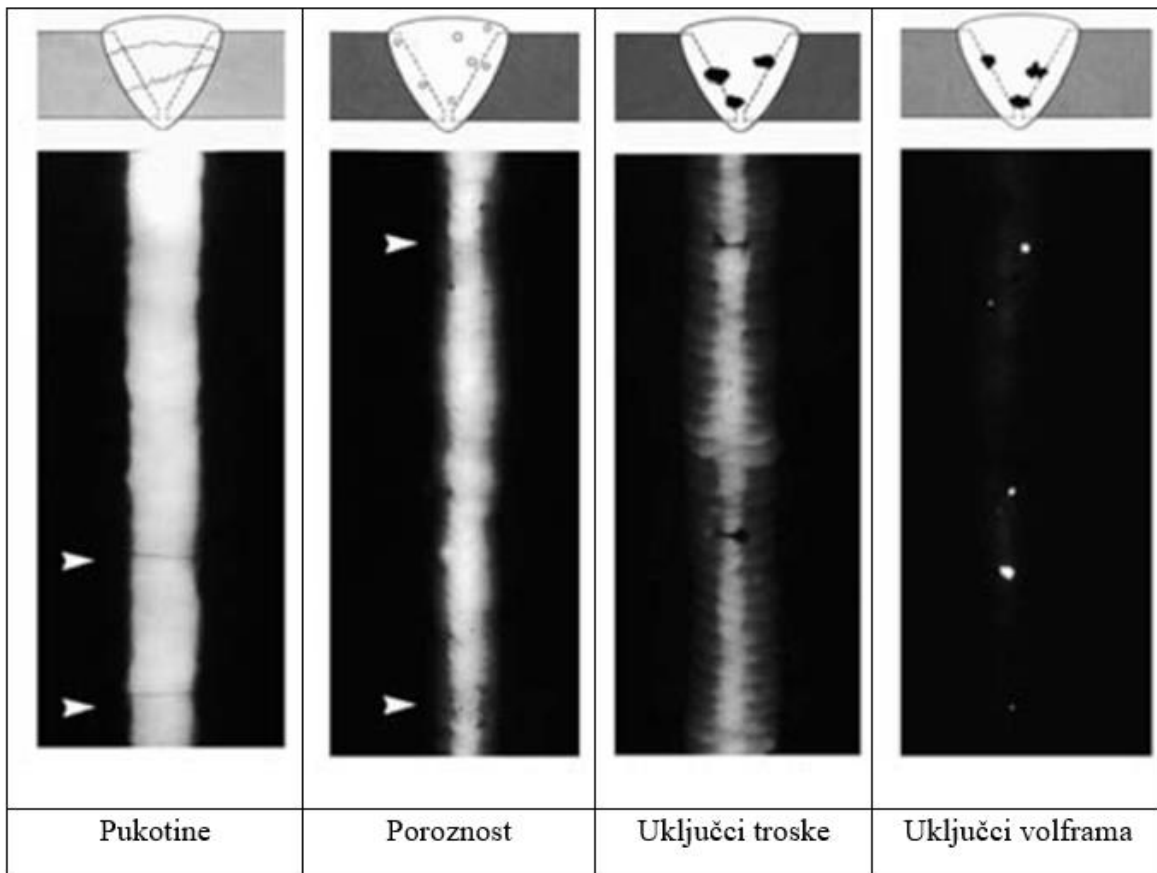


Slika 2.25. Radiografska kontrola zavora [24]

Rendgenske (x) zrake su elektromagnetske prirode, male valne duljine (od 0,66 do 100 nm) i nastaju pri električnom pražnjenju u vakuumu. Metoda u kojoj se umjesto filma postavlja fluorescentni ekran naziva se metoda vizualnog prozračivanja, a metoda prozračivanja na film naziva se foto metoda, za industrijska ispitivanja uglavnom se koriste fotografske metode. [7]

Nehomogenost u materijalu (pukotine, pore, uključci) pokazuju se na filmu kao zacrnjenje, a kvaliteta snima ovisi o jačini rendgenskih zraka, fokusnog rastojanja, veličini sekundarnog zračenja i naknadnoj obradbi filma (sastoji se od razvijanja, fiksiranja i sušenja filma). [7]

Tablica 2.6. Greške zavarenog spoja (poroznost, pukotine, uključci) [7]



### 3. Greške zavarenih spojeva

Pogreške u zavarenom spoju dijele se na vidljive (pogreške koje se mogu otkriti vizualnim pregledom ili nekom od metoda nerazorne kontrole) i nevidljive (pogreške koje se otkrivaju uz uporabu složenih razornih, metalografskih i drugih ispitivanja). [29] Pogreške u tehnikama spajanja u pravilu mogu dovesti do narušavanja pouzdanosti dobivenog proizvoda u uvjetima primjene. Uzroci pogrešaka mogu biti prije provođenja spajanja ili razdvajanja materijala (projektiranje, izbor materijala, izbor tehnike spajanja itd.), nekvalitetna provedba spajanja. Stoga je nužno poznavati vrste i uzroke nastanka pogrešaka koje se mogu pojaviti tijekom spajanja i razdvajanja materijala, kako bi se moglo preventivno utjecati na njihovo uklanjanje ili smanjenje. Prema HRN EN ISO 6520 i EN 26520 pogreške u zavarenom spoju metala izvedenog taljenjem svrstane su u šest osnovnih skupina: [25]

- pukotine (100)
- šupljine ili poroznost (200)
- uključci čvrstih tijela (300)
- nedovoljno vezivanje i penetracija (400)
- pogreške oblika (500)
- ostale pogreške (600).

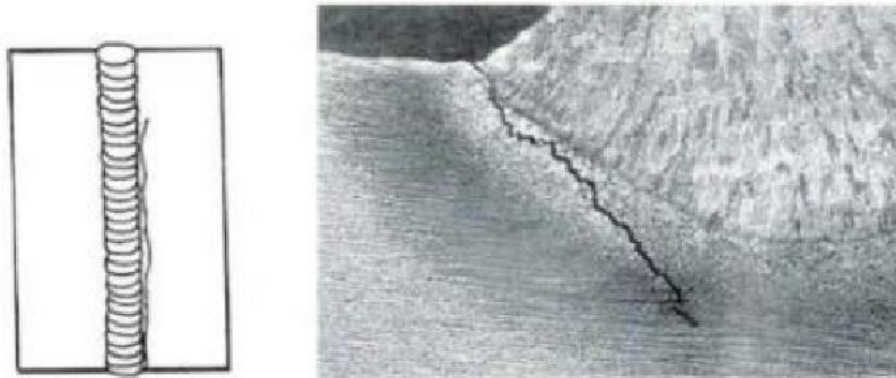
#### 3.1. Pukotine

Pukotine su najopasnije pogreške u zavarenim spojevima i u pravilu nisu dopuštene. Pod djelovanjem promjenjivih naprezanja mala pukotina s vremenom može narasti i dovesti do prijeloma zbog zamora ili do krhkog prijeloma. Prema uzroku nastajanja mogu biti tople i hladne.

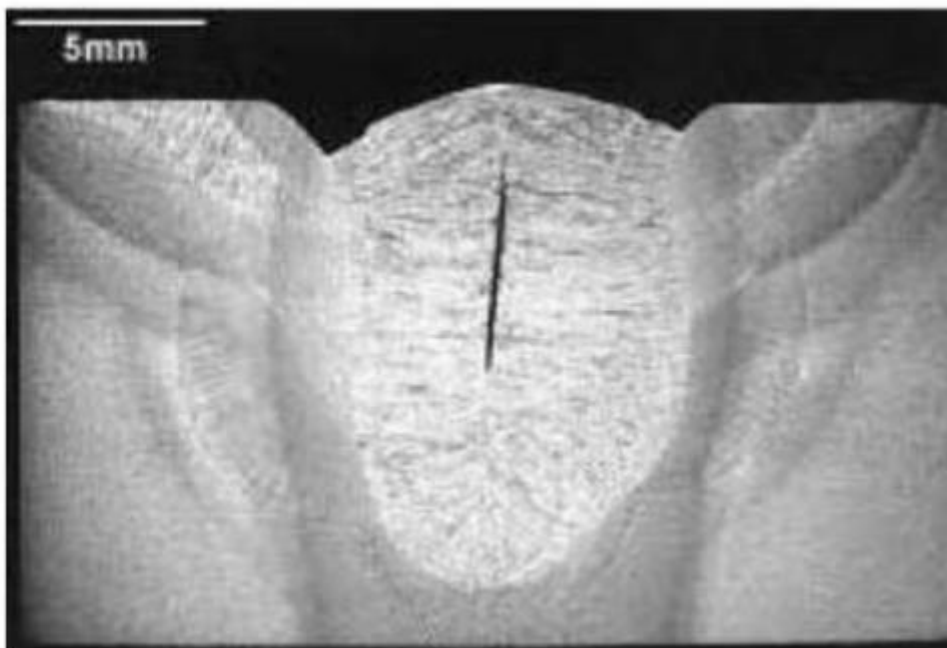
Tople pukotine nastaju tijekom hlađenja taline nakon zavarivanja, a pojavljuju se po granicama zrna (najčešće po dužini u sredini zone taljenja, ali i u ZUT-u). Uzrok njihova nastajanja je gubitak sposobnosti zone taljenja da izdrži naprezanja zbog skupljanja u posljednjoj fazi skrućivanja. Uvjeti koji pogoduju nastajanju toplih pukotina su nečistoće, legiranje, neodgovarajući parametri zavarivanja, nepovoljan oblik žlijeba, a posebice izbor neodgovarajućeg dodatnog materijala.

Hladne pukotine pojavljuju se uglavnom nakon zavarivanja čelika povišene i visoke čvrstoće na temperaturama nižim od 300°C. One mogu biti uzdužne i poprečne na zavar ili na prijelazu na osnovni materijal. Najčešći uzroci nastajanja hladnih pukotina su prisutnost vodika u

zavaru, sklonost materijala otvrdnjavanju (naročito u ZUT-u), naprezanja poradi očvršćivanja zavara i nepovoljan položaj uključaka u zavaru. [25]



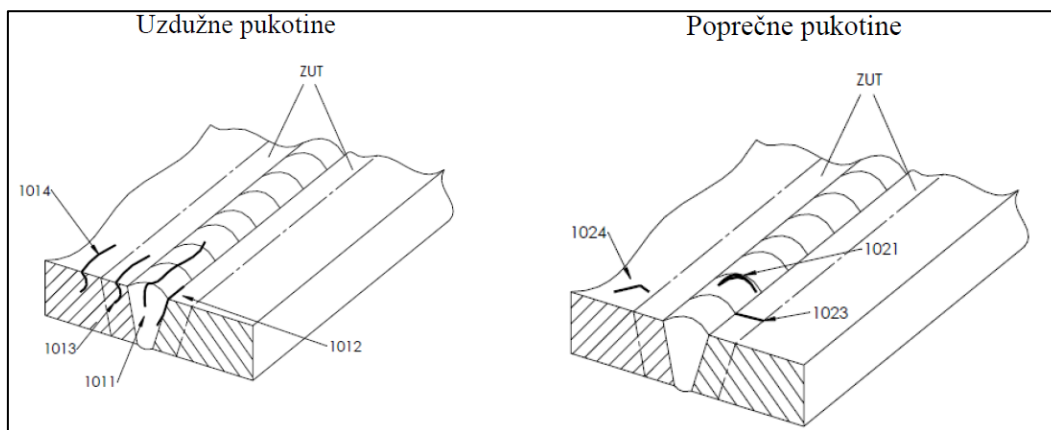
*Slika 3.1. Hladna pukotina u ZUT-u [26]*



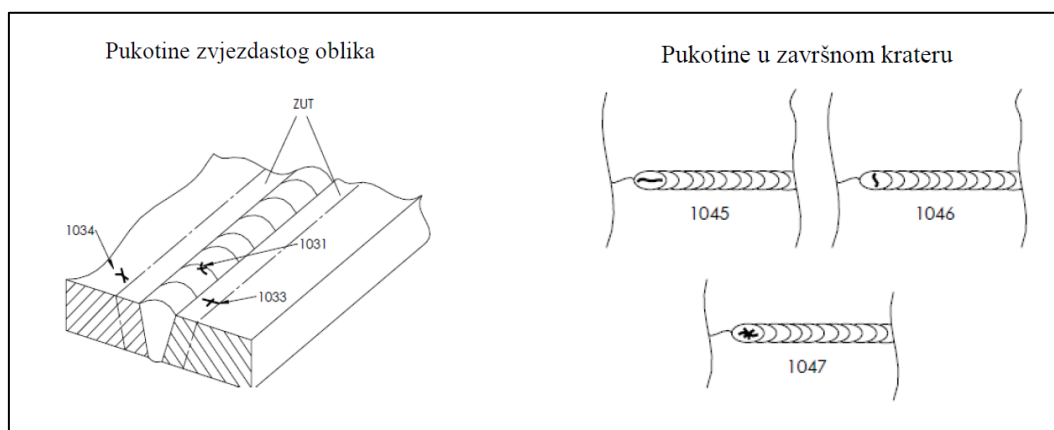
*Slika 3.2. Unutarnja topla pukotina [27]*

Pukotine dijelimo na: [11]

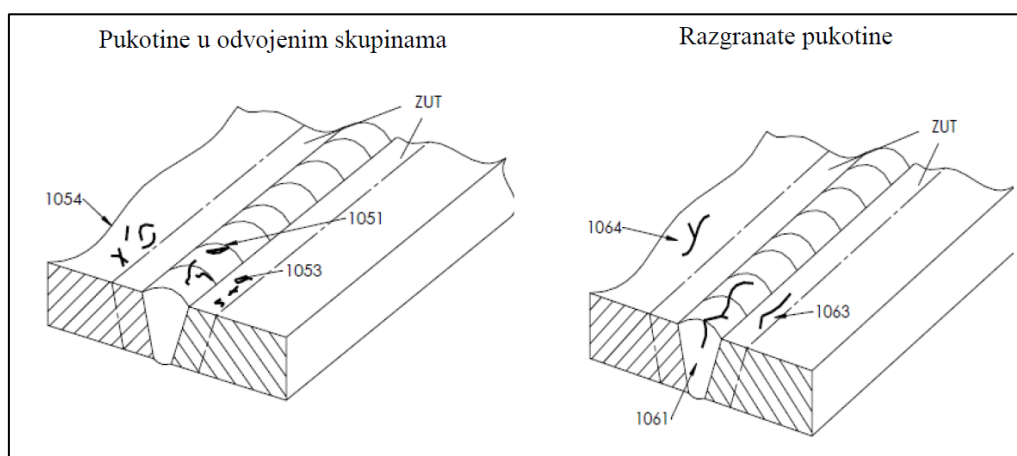
- uzdužna pukotina (101) je pukotina koja se prostire u smjeru zavara
- poprečna pukotina (102) je pukotina koja se prostire poprečno na smjer zavara
- zvjezdasta pukotina (103) je pukotina čije zrake idu iz jedne točke
- pukotine u krateru (104) su pukotine koje mogu biti uzdužne, poprečne i zvjezdaste
- grupa pukotina (105) se definira kao grupa međusobno nepovezanih pukotina
- razgranate pukotine (106) su međusobno povezane pukotine koje polaze od zajedničke pukotine.



Slika 3.3. Uzdužne i poprečne pukotine [25]



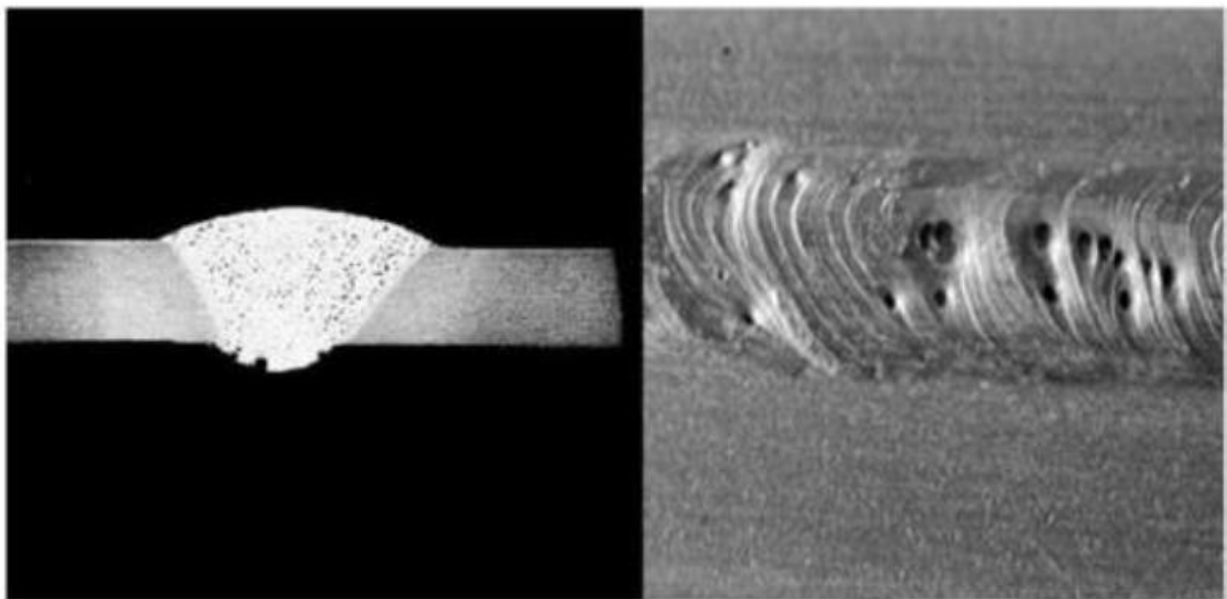
Slika 3.4. Pukotine zvjezdastog oblika i pukotine u završnom krateru [25]



Slika 3.5. Razgranate i grupe pukotina [25]

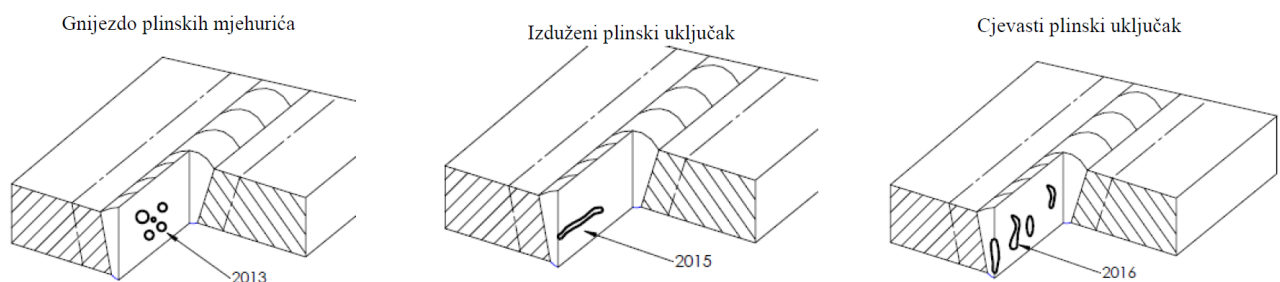
## 3.2. Poroznost

Šupljine ili poroznost u zoni taljenja najčešće su pogreške u zavarima, a predstavljaju mjesta ispunjena stlačenim plinom. Posljedica su različite topljivosti plinova (vodik, dušik i kisik) u tekućem i krutom stanju materijala. Hlađenjem taline plinovi ostaju zarobljeni u metalu, a plinski mjehurići izlazeći iz zavora ponekad ostavljaju vidljive šupljine na površini zavora. Najčešći uzročnici poroznosti u zavaru su nečistoća i vlaga na mjestu zavarivanja i u dodatnim materijalima, slaba zaštita tijekom zavarivanja, neispravni parametri i tehnika rada pri zavarivanju. [25]



Slika 3.6. Poroznost u sučeljenom spoju [28]

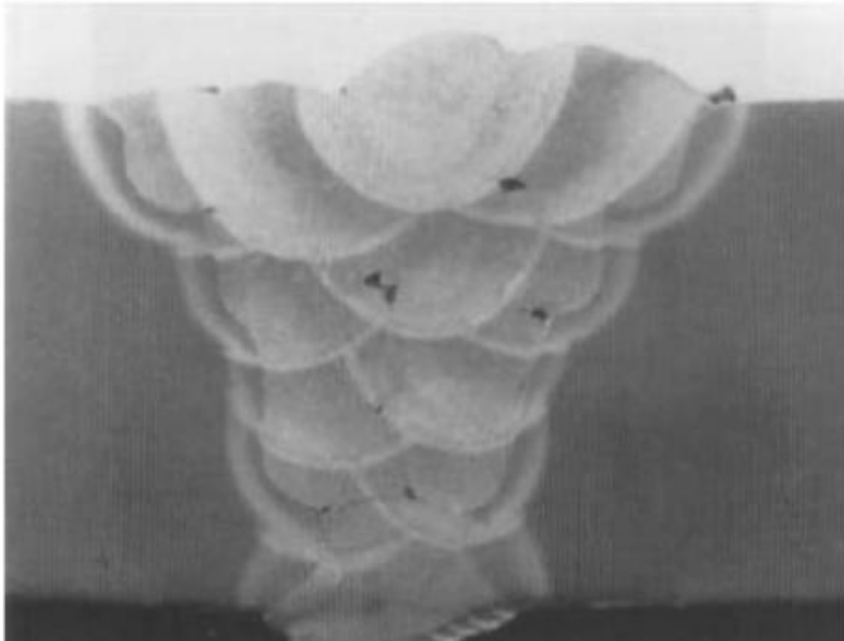
Šupljine ili pore mogu se pojaviti u različitim slučajevima i oblicima, ovisno o parametrima pogrešaka. Razlikujemo gnijezdo pora, poroznost u nizu, izduženu poru (šupljina), crvolike pore, jednoliko raspoređeno pore. [8]



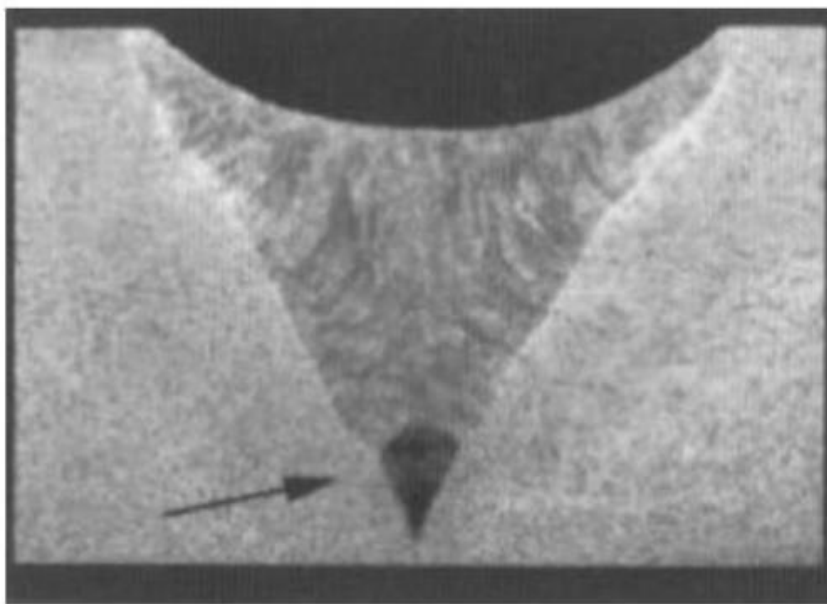
Slika 3.7. Vrste i oblici poroznosti [25]

### 3.3. Čvrsti uključci

Čvrsti uključci su strana tijela u zoni taljenja, a mogu biti nemetali (troska, prašak) i strani metal, npr. uključak volframa ili oksidna kožica u zavaru (aluminij i Al-legura). Uključci troske ili praška najčešće nastaju zbog nedovoljnog čišćenja među slojevima zavara, preuskog žlijeba ili u oštrom kutu kutnog spoja (talina troske podvlači se pod talinu metala), nepravilna tehnika rada itd. Kemijskim reakcijama tijekom zavarivanja mogu nastati sitni silikatni, fosfidni, sulfidni i nitridni uključci koji se izlučuju po granicama zrna. [25]



Slika 3.8. Uključak troske kod MAG postupka zavarivanja [29]



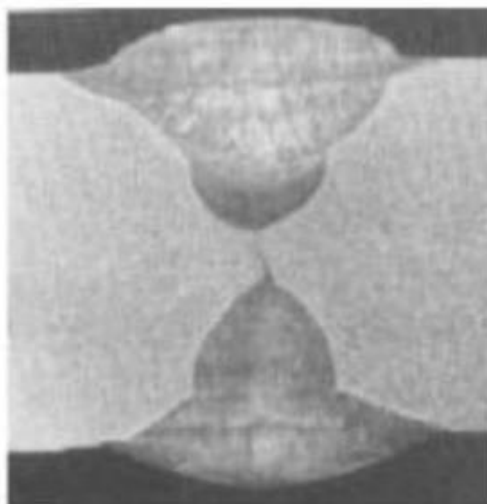
Slika 3.9. Uključak troske kod MAG postupka zavarivanja praškom punjenom žicom [29]

### 3.4. Naljepljivanje i nedovoljni provar

Naljepljivanje je pogreška nepostojanja čvrste strukturne veze u zavarenom spoju ili navaru. Do naljepljivanja najčešće dolazi zbog nepravilne pripreme spoja (preuzak žlijeb), neodgovarajućih parametara zavarivanja (premala ili prevelika jakost struje zavarivanja), nepravilna tehnika rada (nepravilno držanje pištolja). Nedovoljni provar (neprovaren korijen zavora) je greška nedovoljnog protaljivanja po cijelom presjeku korijena zavora, odnosno neprovarivanje korijena zavora. Najčešći uzroci nedovoljnog provara su nepravilna priprema spoja, neodgovarajući parametri zavarivanja (premala struja, a prevelika brzina zavarivanja) i nepravilna tehnika rada. [25]



Slika 3.10. Naljepljivanje u kutnom spoju [29]



Slika 3.11. Neprovareni korijen zavora [29]



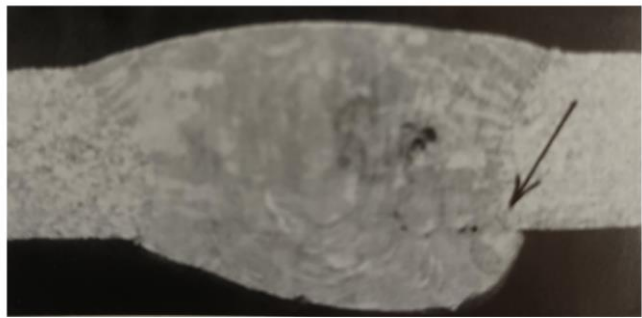
### 3.5. Pogreške oblika zavora

Ova skupina pogrešaka predstavlja svako odstupanje od zadanog oblika zavarivanja. Sve pogreške dobro su vidljive i mjerljive vizualnim pregledom. [25] Danas je svima dobro poznato da pogreške oblika zavora nisu samo estetske prirode, već je njihov utjecaj u smanjenju nosivosti zavarenog spoja vrlo značajan, naročito kod dinamički opterećenih konstrukcija. Sve ove pogreške dobro su vidljive i mjerljive vizualnim pregledom. Stoga je njihovo određivanje relativno jednostavno. Pogreške oblika zavora su sljedeće: [29]

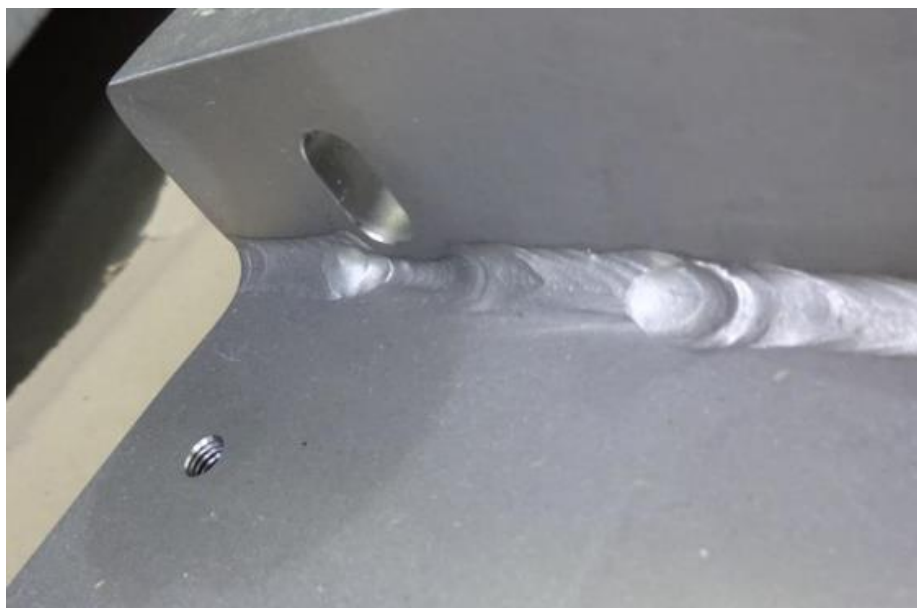
- ugorine uz zavar – to su oštri zarezi uz zavar na prijelazu zavar-osnovni materijal kod sučeljenog i kutnog spoja; Najčešće nastaju oštećenjem električnog luka, nepravilnom tehnikom rada i nepravilnim parametrima zavarivanja (prejaka struja zavarivanja, predugačak električni luk ili preveliki napon luka)
- preveliko nadvišenje zavora – višak nanesenog dodatnog materijala, rezultat najčešće premale brzine zavarivanja
- prevelika ispučenost zavora – razlog greške kod kutnog zavora je premala jakost struje ili premali napon luka
- preveliki provar – preveliko nadvišenje korijena zavora, uzrok je preveliki razmak u grlu žlijeba, prejaka struja zavarivanja ili prema brzina zavarivanja
- prokapljina – mjestimično ispučeni višak metala u korijenu zavora koji je izveden samo sa jedne strane (npr. kod cijevi). Uzrok može biti loša priprema spoja (mjestimično veća zračnost), nedovoljno stručan rad ili nepažnjom zavarivača
- oštar prijelaz zavora – nadvišenje zavora s naglim, stepenastim prijelazom na osnovni materijal kod sučeljenog spoja (premali napon električnog luka ili premala jakost struje zavarivanja)
- nesimetričan kutni zavar – oblik kutnog zavora izvan propisanog, jedna stranica kutnog zavora dulja od druge (neispravni nagib elektrode ili pištolja)
- preklop zavora – kod sučeljenog spoja, može biti na licu i korijenu zavora, ozbiljna greška jer predstavlja inicijalnu pukotinu tako da ga treba otkloniti izbrusivanjem na razinu osnovnog materijala
- postoje još i greške u posmaknutosti u sučeljavanju stijenki i odstupanju od pravca, uleknuce površine zavora, prenizak zavar, uvučen korijen zavora, nedovoljna popuna zavora, nepravilan izgled (neravnomjerna površina i nepravilno izvedeni nastavci te ostale pogreške u koje spadaju oštećenja zavora).



*Slika 3.12. Pogreške oblika zavora – ugorine i ispupčenost kutnog zavora [29]*



*Slika 3.13. Pogreške oblika zavora – oštar prijelaz i preklop [29]*



*Slika 3.14. Pogreške oblika zavora – nepravilan izgled kutnog zavora [1]*

## 4. Posude i oprema pod tlakom

### 4.1. Općenito o posudama i opremom pod tlakom

Pod tlačnu opremu i posude smatramo razne posude, cjevovode, sigurnosni pribor i tlačni pribor, uključujući i prema potrebi elemente koji su pripojeni dijelovima pod tlak kao što su prirubnice, spojnice, potpornji, nosive uške. Posuda znači zatvoren prostor konstruiran i izrađen s namjenom da sadržava fluide pod tlakom uključujući i priključke za povezivanje s drugom opremom, posuda se može sastojati od više zatvorenih posuda (komora). [30]



*Slika 4.1. Primjer tlačnog spremnika [31]*



*Slika 4.2. Dodatni elementi kod tlačnih posuda [32]*

Razvrstavanje opreme pod tlakom provodi se prema kategoriji opreme pod tlakom, grupi fluida te radnim karakteristikama u skladu sa zahtjevima i normama, razvrstavanje provodi ovlašteno inspekcijsko tijelo. [33]

Prije prvog stavljanja u uporabu oprema pod tlakom se obzirom na opasnosti po sigurnost ljudi, okoliša i imovine, razvrstava u dvije razine opasnosti: [33]

- oprema pod tlakom niske razine opasnosti
- oprema pod tlakom visoke razine opasnosti.

Oprema pod tlakom niske razine opasnosti ili jednostavne tlačne posude većinom su proizvedene u serijama i imaju sljedeće značajke: [34]

- posude su u zavarenoj izvedbi, a namijenjene su za zrak i dušik pod unutarnjim predtlakom većem od 0,5 bar
- dijelovi i sklopovi koji pridonose čvrstoći posude pod tlakom izrađeni su od nelegiranog kvalitetnog čelika i nelegiranog aluminija ili aluminijevih legura, koje s vremenom ne stvrdnjaju
- najveći radni tlak posude ne smije prelaziti 30 bar, a umnožak tlaka i volumena ( $PS \times V$ ) ne smije biti veći od 10 000 bar x L
- najniža radna temperatura ne smije biti niža od minus 50°C, a najviša viša od 300 °C za čelične posude, odnosno 100°C za aluminijske ili posude od aluminijskih legura.

Oprema pod tlakom visoke razine opasnosti je sva ona oprema koja kada je u uporabi može predstavljati povećanu opasnost po sigurnosti ljudi, okoliša i imovine. [33]

## 4.2. Osiguranje kvalitete

Tlačna se oprema konstruira, proizvodi i provjerava te i ugrađuje tako da se pri stavljanju u uporabu osigura njezina sigurnost u skladu s uputama proizvođača ili u predvidljivim radnim uvjetima. Prilikom odabira najprikladnijeg rješenja, proizvođači primjenjuju utvrđena načela kako slijedi: [30]

- ukloniti ili umanjiti opasnosti u najvećoj mogućoj mjeri
- primijeniti odgovarajuće zaštitne mjere za opasnosti koje se ne mogu otkloniti
- prema potrebi, obavijestiti korisnike o ostalim opasnostima te naznačiti je li potrebno poduzeti odgovarajuće posebne mjere kako bi se smanjili rizici za vrijeme ugradnje ili uporabe.

Ako postoji opasnost od zlouporabe ili ako se takva opasnost može jasno predvidjeti, tlačna se oprema projektira tako da se spriječi opasnost od zlouporabe ili ako to nije moguće, tako da postoji odgovarajuće upozorenje o tome da se tlačna oprema ne koristi na takav način. [30]

Kako bi se uklonile opasnosti od pogrešaka u najvećoj mogućoj mjeri od neizmjerne važnosti je vršenje pregleda i ispitivanja od strane certifikacijskih i inspeksijskih tijela. Razlikujemo sljedeće preglede: [35]

- prvi pregled prije stavljanja u uporabu – pregledi prije stavljanja u uporabu koji se obavljaju kod nove opreme i opreme koja nije u evidenciji
- periodički pregledi – obavljaju se prema zahtjevima i propisanim rokovima i moraju se obaviti u roku koji počinje teći od dana prvog pregleda
- izvanredni pregledi – obavljaju se izvan periodičkih rokova pregleda kada rezultati periodičkih pregleda ukazuju na potrebu, kada postoji opravdana sumnja da postoji oštećenje i da oprema nije sigurna, kada se od korisnika zaprimi obavijest o različitim situacijama prilikom eksploatacije
- pregledi prije ponovnog puštanja u rad.

Prema vrsti pregled može biti: [35]

- vanjski pregled – vanjskim pregledom dokazuje se ispravnost korištenja, stanja i održavanja opreme pod tlakom
- unutarnji pregled – obuhvaća pregled unutarnjih površina, zavarenih spojeva, priključaka, postojanje naslaga, stanje prevlaka, izolacije i brtvljenje, može se

utvrditi površinska oštećenja i pukotine, stupanj korozije i erozije, stanje zaštite od korozije, utjecaj radnih tvari, dimenzijska kontrola, dvoplasnost i ostalo

- ispitivanje tlakom – može se provoditi kapljevnom ili plinom, ispitni tlak je definiran odgovarajućim propisima (Pravilnik ili dokumentacija proizvođača). Razlozi tlačnih ispitivanja je utvrđivanje kako montažni radovi, preseljenje, popravci ili rekonstrukcije utječu na sigurnosno-tehničke stanje opreme i dobivanje podataka o nepropusnosti i integritetu dijelova opterećenih tlakom, kriterij prihvaćanja je da nema pukotina, propuštanja i vidljivih deformacija.

Ovlašteno inspekcijsko tijelo pri pregledu mora utvrditi jesu li ispunjeni zahtjevi ili kriteriji prihvatljivosti koje traže propisi, norme i proizvođač opreme, ako se pri pregledu utvrdi da stanje opreme pod tlakom ugrožava sigurnosti ili ima sigurnosno-tehničke nedostatke mora se zaustaviti rad postrojenja i staviti izvan upotrebe. Za kvalitetnu ocjenu treba uzeti u obzir sljedeće fakte: [35]

- stanje korozije, utjecaj vodika, promjene materijala zbog starenja, utjecaj opterećenja, eroziju i abraziju, utjecaj radnih fluida, utjecaj servisiranja, nepravilan rad, mehanička oštećenja, loše projektirani tlačni cjevovodi, loše izvedene čvrste točke i nosači, loša montaža opreme i drugo.

### **4.3. Zahtjevi za konstruiranje i materijali za izradu tlačnih posuda**

Tlačna oprema se konstruira prema propisima uzimajući u obzir sve odgovarajuće faktore kako bi se osigurala sigurnost tlačne opreme za vrijeme njezina vijeka trajanja. Tlačna oprema konstruira se i izrađuje tako da se mogu provesti sva potrebna sigurnosna ispitivanja. Konstruiranje se temelji na odgovarajućim koeficijentima sigurnosti i metodama za koje je poznato da imaju sigurnosne granice za sve načine otkazivanja opreme. Konstrukcija uzima u obzir sve predvidljive mehanizme postupnog slabljenja materijala (npr. zbog korozije, puzanja, umora) u skladu s namjernom tlačne opreme. Kod konstruiranja posebno se u obzir uzimaju sljedeći faktori: [30]

- unutarnji i vanjski tlak
- temperatura okoline i radna temperatura
- statički tlak i masa sadržaja u ispitnim uvjetima i uvjetima rada
- opterećenja vezana za promet, vjetar i potres
- sile reakcija i momenti koji proizlaze od oslonaca, priključaka, cijevi itd.
- korozija i erozija, umor materijala
- razdvajanje nestabilnih fluida
- razna opterećenja koja se mogu javiti istodobno.

Materijali za izradu tlačnih posuda biraju se prema vrsti namjene posuda te moraju odgovarati primjeni u predviđenom vijeku trajanja. Neki od zahtjeva za materijale su: [30]

- imati odgovarajuća svojstva za sve radne uvjete koji se mogu predvidjeti i za sve uvjete ispitivanja, a posebno moraju biti dovoljno plastični i žilavi
- biti dovoljno kemijski otporni na fluide koji se nalaze u tlačnoj opremi
- imati kemijska i fizikalna svojstva nužna za siguran rad
- ne smiju biti značajno podložni starenju
- biti primjereni u predviđenim postupcima obrade.

#### **4.4. Norme i direktive vezane za posude i opremu pod tlakom**

Kada govorimo o posudama i opremom pod tlakom, od neizmjerne važnosti je spomenuti neke od norma i direktiva koje se koriste prilikom proizvodnje, inspekcije i korištenja posuda i opreme pod tlakom. Korišteni materijali moraju biti usklađeni s određenim normama, zahtjevima i specifikacijama traženim prema tehničkoj dokumentaciji. Proizvođači materijala moraju imati odgovarajući sustav osiguranja kvalitete (koji je potvrđen od kompetentnog vanjskog tijela) kako bi se povezala sljedivost materijala sa popratnim certifikatima i izvješćima o samim materijalima, nerijetko u praksi, određeni dijelovi i materijali koji se koriste za tlačnu opremu i posudu moraju imati broj šarže na samom strojnom dijelu kako bi se uspješno povezalo sa certifikatom i dobavljačem. [1]

##### **4.4.1. PED**

Da bi se tlačna oprema kao što su posude pod tlakom, generatori pare, tlačni spremnici, industrijski cjevovodi i tlačni pribor s najvećim dopuštenim tlakom većim od 0,5 bar mogla staviti na tržište Europske unije potrebno je zadovoljiti zahtjeve PED direktive (time se dobiva oznaka CE). Trenutno aktualna Europska direktiva je 2014/68/EU (PED), u Hrvatskoj pravilnik o tlačnoj opremi je NN br. 79/16. Neke od najvažnijih zahtjeva i poglavlja ovog pravilnika i direktive su sljedeći:

- 1. poglavlje – Opće odredbe [36]  
U ovom poglavlju nalazi se popis oprema i uređaja na koju se direktiva odnosi, točne definicije o opremi i svim najbitnijih tijelima u direktivi, stavljanje na

raspolaganje na tržište i uporabu, definirani su tehnički zahtjevi te slobodno kretanje opreme.

- 2. poglavlje – Obveze gospodarskih subjekata [36]

U ovom poglavlju nalaze se članci o obvezama proizvođača, obvezama uvoznika, obveze distributera, slučajevi u kojima se obveze proizvođača primjenjuju na uvoznike i distributere te identifikacija gospodarskih subjekata.

- 3. poglavlje – Sukladnost i klasifikacija tlačne opreme i sklopova [36]

Ovo poglavlje se sastoji od 8 članaka koji definiraju pretpostavku sukladnosti, klasifikaciju tlačne opreme (prema razini opasnosti), postupke ocjenjivanja sukladnosti, opća načela i pravila za primjenu oznake CE itd.

- 4. poglavlje – Prijavljivanje tijela za ocjenjivanje sukladnosti [36]

Ovo poglavlje se bavi prijavljivanjem, tijelima i zahtjevima koji provode prijavljivanje, zahtjev i postupak prijavljivanja itd.

- 5. poglavlje – Nadzor nad tržištem unije, kontrola tlačne opreme i sklopova koji ulaze na tržište unije te postupak zaštite u uniji [36]

U ovom poglavlju obuhvaćene su mjere predostrožnosti, odnosno definirana su pravila prema kojima se postupa sa opremom koja predstavlja opasnost za nacionalnu sigurnost, oprema koja ima neku nesukladnost te ne može dobiti oznaku CE.

- 6. poglavlje – Postupak u odboru i delegirani akti [36]

- 7. poglavlje – Prijelazne i završne odredbe [36]

#### **4.4.2. AD 2000**

AD 2000 je njemački standard i regulativa koji se koristi u proizvodnji i kontroli opreme i posuda pod pritiskom, standard je dostupan i na engleskom jeziku, što je donijelo puno prihvaćanja izvan Njemačke. AD 2000 je skup pravila koji navodi sve osnovne sigurnosne zahtjeve koji se moraju poštivati u skladu s Direktivom o opremi pod tlakom. Zbog jasnog, razumljivog i jednostavnog oblika standard se vrlo često koristi u industriji. [37] Standard je izradio Verband der TÜV (njemačka udruga posuda pod tlakom), čiji su članovi: [38]

- Njemačka udruga proizvođača parnih kotlova, posuda pod tlakom i cjevovoda (FDBR)
- Njemačko zakonsko osiguranje od nezgoda na radu (DGUV)
- Udruženje njemačke kemijske industrije (VCI)



- Njemački inženjerski savez (VDMA)
- Njemački institut za čelik (VDEh)
- Njemačko udruženje službi za tehnički pregled (VdTÜV).

AD 2000 podržava visok standard kvalitete. Uz fokus na kvalitetu, sigurnost i potpunost, jasna i nedvosmislena specifikacija (da li za projektiranje, procjenu, ispitivanje ili dokumentaciju) čini AD 2000 tako vrijednim u inženjerskom spektru tlačnih posuda. Ovaj standard koriste gotovo svi uključeni u proizvodnju, rad, izgradnju, marketing i održavanje postrojenja, proizvođači i dobavljači komponenata, cjevovoda, spremnika, posuda pod tlakom, postrojenja i uređaja koji podliježu inspekciji. [38]

Dokumenti standarda AD 2000 sadrže sljedeća područja: [38]

- oprema, montaža i označavanje
- dizajn i osnove
- proizvodnja i ispitivanje
- specijalne posude pod pritiskom
- nemetalni materijali
- posebni slučajevi
- opća provjera stabilnosti tlačnih posuda
- metalni materijali
- smjernice.

Za standard AD 2000 mogli bi smo reći da je nezamjenjiv alat za praktičnu provedbu sigurnosnih zahtjeva kod opreme i posuda pod pritiskom. [38]

#### **4.4.3. HRN EN 13445**

HRN EN 13445 je norma za neložene posude pod tlakom. Norma definira pojmove, definicije, količine, simbole i jedinice koje se koriste u cijeloj seriji norme EN 13445 (1:12) i daje opće informacije o dizajnu i proizvodnji posuda prema ovoj normi. Norma se odnosi na tlačne posude koje nisu zapaljive s najvećim dopuštenim tlakom većim od 0,5 bar, ali može se koristiti za posude koje rade na nižim tlakovima, uključujući i vakuum. Norma nije primjenjiva za posude zakovane konstrukcije, lamelnog lijevanog željeza ili drugih materijala koji nisu obuhvaćeni u normi (dijelovi 2, 6 i 8). [39]

Norma je podijeljena na 12 dijelova, koji sadrže: [39]

- EN 13445-1: Općenito
- EN 13445-2: Materijali
- EN 13445-3: Projektiranje
- EN 13445-4: Proizvodnja
- EN 13445-5: Pregled i ispitivanje
- EN 13445-6: Zahtjevi za projektiranje i proizvodnju tlačnih posuda i dijelova izrađenih od nodularnog lijeva
- EN 13445-7: Smjernice o korištenju postupaka sukladnosti
- EN 13445-8: Dodatni zahtjevi za tlačne posude od aluminijske i aluminijevih legura
- EN 13445-9: Sukladnost norma niza EN 13445 s normom ISO 16528
- EN 13445-10: Dodatni zahtjevi za tlačne posude od nikla i legura nikla
- EN 13445-11: Dodatni zahtjevi za tlačne posude od titana i titanovih legura
- EN 13445-12: Dodatni zahtjevi za tlačne posude od bakra i bakrenih legura.

#### **4.4.4. HRN EN 13480**

HRN EN 13480 je europski standard koji utvrđuje zahtjeve za metalne industrijske cjevovodne sustave i nosače, uključujući sigurnosne sustave, izrađene od metalnih materijala s ciljem osiguranja sigurnog rada. Ovaj europski standard primjenjiv je na metalne cijevi iznad tla, kanalizirane ili ukopane, bez obzira na tlak. Norma je podijeljena na 9 dijelova, koji sadrže: [39]

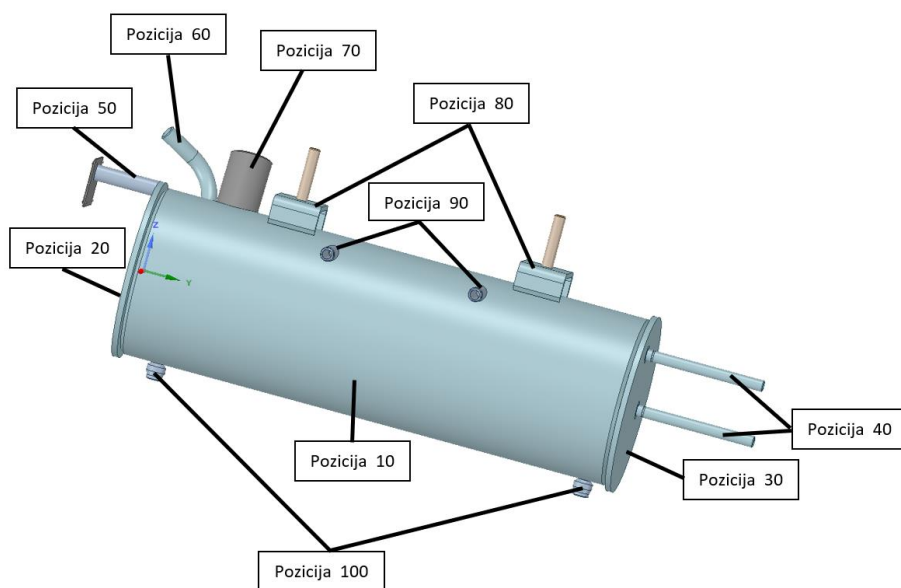
- EN 13480-1: Općenito
- EN 13480-2: Materijali
- EN 13480-3: Projektiranje i proračun
- EN 13480-4: Izrada i ugradnja
- EN 13480-5: Pregled i ispitivanja
- EN 13480-6: Dodatni zahtjevi za ukopane cjevovode
- EN 13480-7: Smjernice za korištenje postupaka ocjenjivanja sukladnosti
- EN 13480-8: Dodatni zahtjevi za cjevovode od aluminijske i aluminijevih legura
- EN 13480-9: Dodatni zahtjevi za cjevovode od nikla i legura nikla.

## 5. Praktičan dio

Zadatak i tema praktičnog dijela završnog rada je određivanje NDT metoda kod tlačnih posuda i opreme prema standardu AD 2000. Primjer je jedan tlačni spremnik koji se izrađuje i sklapa u postrojenje koje proizvodi uže. Tlačni spremnik prerađen je u svrhu završnog rada. [1]

### 5.1. Tlačni spremnik

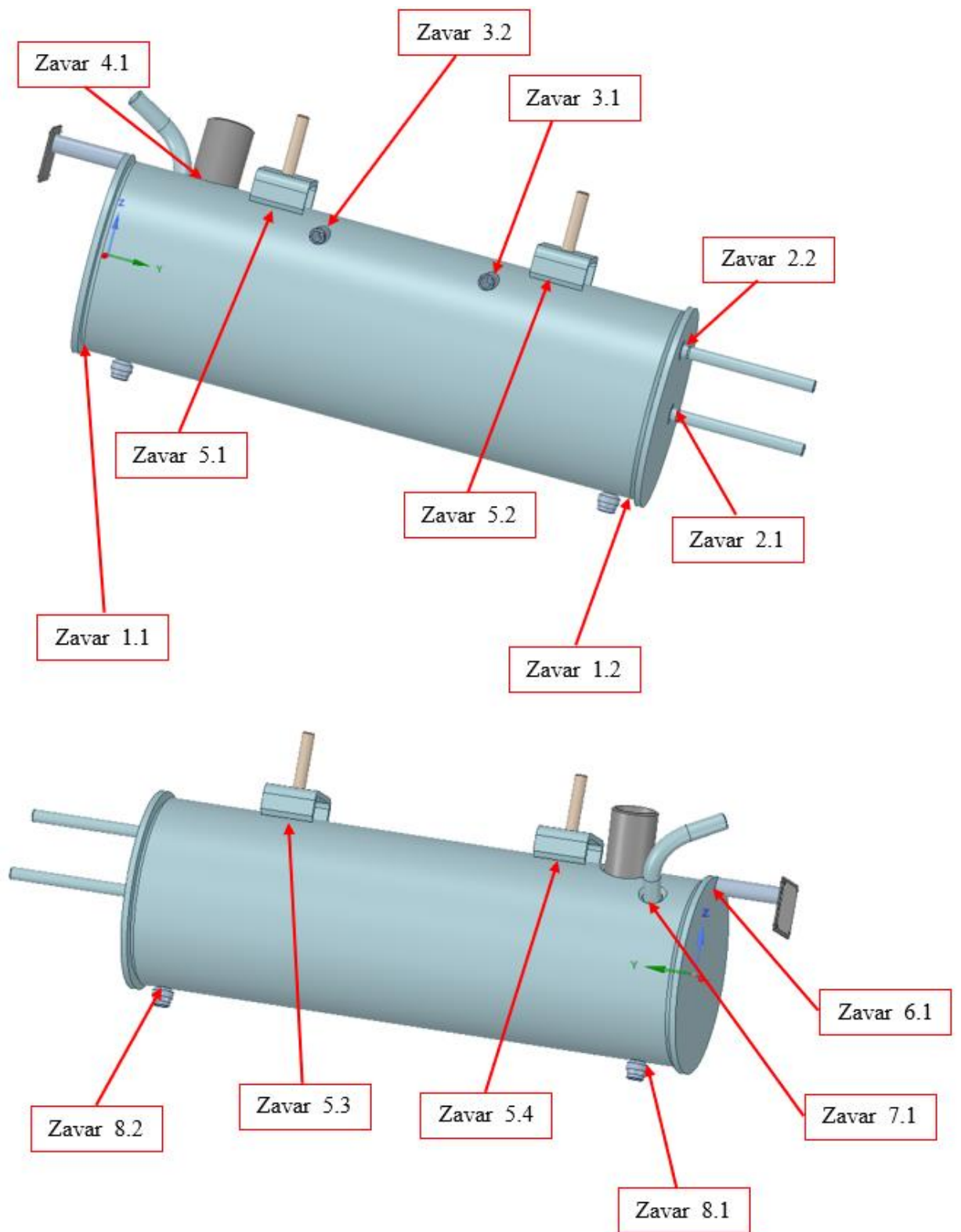
Na slikama 5.1. i 5.2. prikazan je tlačni spremnik sa svim pozicijama i zavarima, dok u tablici 5.1. nalazi se popis materijala i dimenzije pozicije korištene u izradi tlačnog spremnika.



Slika 5.1. Tlačni spremnik - numerirane pozicije [1]

Tablica 5.1. Pozicije za tlačni spremnik [1]

Pozicija (broj)	Materijal	Dimenzije [mm]	Količina [kom.]
10	P265GH TC1	Ø355,6x7,92	1
20	P265GH	Ø375x12	1
30	P265GH	Ø375x12	1
40	1.4541	Ø24x8,75 L=385	2
50	P235GH TC1	Ø33,7x6,3 L=134	1
60	P460N	Ø33,7x3,4 L=400	1
70	P460N	Ø88,9x5,5 L=128	1
80	P265GH	222x100 t=10	2
90	P250GH	Ø30x6,3 L=117	2
100	P460N	Ø40x6,7 L=35	2



Slika 5.2. Numerirani zavari na tlačnom spremniku [1]

Tablica 5.2. Zavarivanja kod tlačnog spremnika [1]

Zavar (broj)	Tip i veličina	Opis
1.1	HV 7,92 + a 5,6	½ „V“ + kutni
1.2	HV 7,92 + a 5,6	½ „V“ + kutni
2.1	DHV 12 + a 5,3	„K“ + kutni
2.2	DHV 12 + a 5,3	„K“ + kutni
3.1	HV 7,92 + a 2,4	½ „V“ + kutni
3.2	HV 7,92 + a 2,4	½ „V“ + kutni
4.1	HV 7,92 + a 3,8	½ „V“ + kutni
5.1	HV 10 + a 6	½ „V“ + kutni
5.2	HV 10 + a 6	½ „V“ + kutni
5.3	HV 10 + a 6	½ „V“ + kutni
5.4	HV 10 + a 6	½ „V“ + kutni
6.1	a 3	Kutni
7.1	HV 7,92 + a 2,4	½ „V“ + kutni
8.1	HV 6, 7 + a 4,4	½ „V“ + kutni
8.2	HV 6, 7 + a 4,4	½ „V“ + kutni

Sve pozicije, materijali i zavarivanja određeni su tehničkom dokumentacijom tlačnog spremnika. [1]  
Materijali koji se koriste u izradi tlačnog spremnika su specificirane bešavne čelične cijevi i ploče za tlačne namjene. Svi navedeni materijali definirani su normama HRN EN 10028 (plosnati proizvodi od čelika za tlačne namjene) i HRN EN 10216 (bešavne čelične cijevi za tlačne namjene). To su čelici koji imaju dobra svojstva plastičnosti, žilavosti, hladnog savijanja i zavarivanja. [40]

## 5.2. Proizvodni proces

Proizvodnja tlačnog spremnika sastoji se od više radnih koraka, nakon narudžbe od kupca, voditelji proizvodnje izdaju radne naloge, koji unaprijed u potpunosti trebaju biti strogo i točno definirani od strane odjela planiranja tako da se zna na kojim proizvodnim mjestima i procesima će se što odrađivati. Nakon što se isplanira radni nalog sa procesima i materijalom, odjel nabave dužan je naručiti i organizirati sav materijal koji će se za taj nalog koristiti. U primjeru ovog tlačnog spremnika kompletan materijal se naručuje i dolazi od strane različitih dobavljača. Nakon što je materijal u skladištu, kreće proizvodni proces, koji se sastoji od: [1]

## 1. Kontrola ulazne robe

Prvi korak proizvodnog procesa je kontrola ulazne robe, čiji su zadaci zapisi o kvaliteti:

- Provjera dimenzije dijelova prema tehničkoj dokumentaciji
- Provjera certifikata prema zadanim normama (PED, AD, ASME)
- Provjera šarže i oznake na pozicijama te slijedivost dokumenata (certifikati, potvrda o prijenosu šarže od strane dobavljača)



Slika 5.3. Oznake na cijevi [1]

Ukoliko kontrola utvrdi da su svi tehnički i dimenzijski zahtjevi ispunjeni i da se fizičke oznake na pozicijama slažu sa dobivenom dokumentacijom, dijelovi mogu ići u daljnju proizvodnju, ako se dogodi greška od strane dobavljača, odjel kvalitete to mora zapisati u obliku reklamacije i iskomunicirati daljnje rješenje sa dobavljačem. Svaka mogućnost pogreške mora biti svedena na minimum jer kod kasnijeg preuzimanja spremnika greška sa oznakama ili certifikatima može biti presudna kod daljnje uporabe proizvoda i stavljanja na tržište ili u eksploataciju. [1]

## 2. Pjeskarenje

Pjeskarenje se ne radi na svim dijelovima koji su u sklopu izrade tlačnog spremnika već samo na dijelovima koji nemaju kasniju strojnu obradu te dijelovi koji su rezani laserom ili plinsko kako bi se uklonio srh ili okuina sa površine materijala. [1]

## 3. Tokarenje i glodanje

Pozicije 40, 90 i 100 naručuju se sa dodatkom kako bi se obradile na tražene tolerancije zadane na tehničkoj dokumentaciji. Obrada se odvija na odjelu glodanja i tokarenja. Dijelovi su jednostavni za obradu, ali zbog obrade po cijeloj površini materijala gubi se oznaka šarže koja treba biti

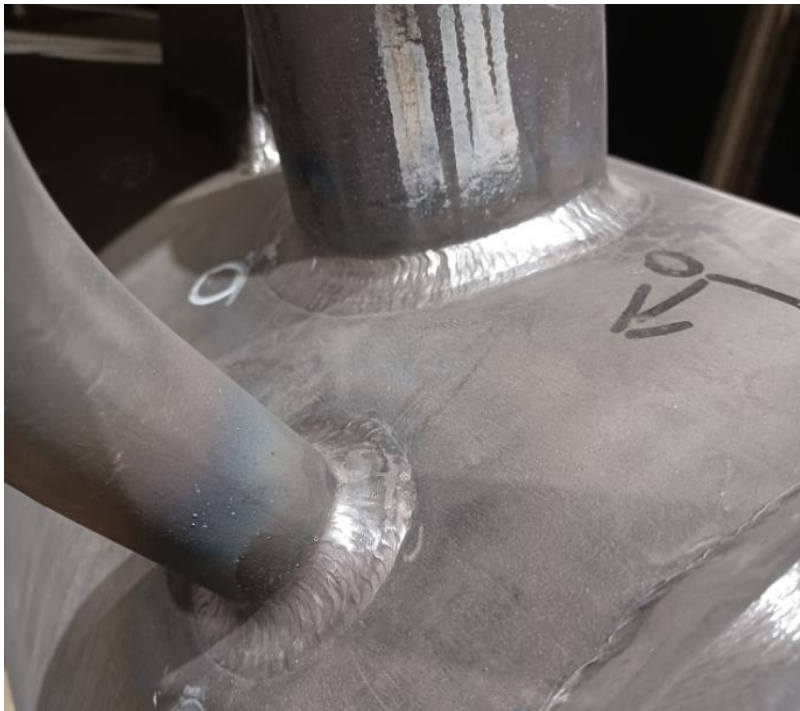
prisutna tijekom cijelog procesa. U tvrtki su ovlaštene 3 osobe za prijenos šarže i to se najčešće radi upravo nakon strojne obrade. [1]



*Slika 5.4. Pozicija 90 sa prenesenom oznakom šarže [1]*

#### 4. Zavarivanje

Glavni postupak procesa, radi se u nekoliko faza, nakon svake faze radi se interna kontrola koja obuhvaća kontrolu dimenzija, vizualnu kontrolu zavara i dijelova, te slijedivost oznaka šarža (u često slučajeva šarža nedostaje zbog gubitka zavarivanjem ili brušenjem). Predviđeno vrijeme zavarivanja za izradu tlačnog spremnika iznosi 40 radnih sati. [1]



*5.5. Zavarene pozicije 60 i 70 [1]*

## 5. Interna kontrola

Nakon završetka procesa zavarivanja, tlačni spremnik prolazi kroz internu kontrolu. Interna kontrola sastoji se od dimenzijske kontrole, kontrole šarža i oznaka, vizualnu kontrolu zavara i dijelova, te priprema cjelokupne dokumentacije za preuzimanje spremnika od vanjskog inspektorata. [1]

## 6. NDT kontrola

Kontrolu nerazornim metodama ispitivanja na tlačnom spremniku provodi vanjska akreditirana tvrtka. Na tlačnom spremniku odrađuje se vizualna, penetrantska, magnetska, ultrazvučna i radiografska kontrola. NDT kontrola i metode rade se prema planu koji je izrađen od strane nadzornog inženjera zavarivanja i osobe odgovorne za kvalitetu. Obujam i vrste nerazornih ispitivanja i kontrole određuju se prema zadanoj normi i tehničkoj dokumentaciji. [1]

## 7. Tlačna proba

Ukoliko je spremnik zadovoljio sve zahtjeve NDT metoda, provodi se tlačna proba. Tlačnu probu također provodi vanjska akreditirana tvrtka. Spremnik se tlačno ispituje na 8 bara. Medij tlačnog ispitivanja je voda. [1]

## 8. TÜV preuzimanje

Vanjska kontrola koja dolazi u inspekciju i preuzimanje tlačnog spremnika, ukoliko su svi uvjeti zadovoljeni, TÜV inspektorat ovlašten je spremniku dati oznaku CE, odnosno tlačni spremnik je klasificiran da može na tržište Europske Unije, a u ovom slučaju u daljnju montažu. [1]

## 9. Lakiranje

Tlačni spremnik prije montaže lakira se temeljnom bojom kako bi se postigla određena razina antikorozivne zaštite. [1]

## 10. Montaža

S obzirom da je ovaj tlačni spremnik samo jedan dio od tlačnog postrojenja koji se proizvodi u tvrtki, nakon lakiranja spremnik se montira sa ostalim tlačnim posudama i opremom, oblaže se u kamenu vunu i vanjski lim zbog bolje izolacije, te je spreman za isporuku kupcu, koji ga koristi u svojoj proizvodnji za izradu sigurnosnih užeta. [1]



### 5.3. Određivanje NDT metoda prema AD 2000

Određivanje NDT metoda za navedeni tlačni spremnik regulira se prema AD 2000 HP 0, AD 2000 HP 5/3 i AD 2000 HP 5/3 (verzija 1). [1]

#### 1. Određivanje ispitnih grupa materijala i zavarenih spojeva [1] [41]

Određivanje se radi prema normi HRN EN ISO 15608 (Smjernice za grupiranje metalnih materijala). Podaci iz tablice niže određeni i uzeti su prema tablici 1a iz AD 2000 HP 0. Kod klasifikacija grupa ukoliko imamo različite ispitne grupe, odnosno križanja grupe, prilikom određivanja metoda i obujma nerazornih ispitivanja uvijek se uzima grupa sa višim, odnosno strožim zahtjevima.

Tablica 5.3. Klasifikacija grupa materijala i ispitnih grupa prema AD 2000 HP 0 [1] [41]

Broj zavara	Kombinacija pozicija	Grupa materijala	Ispitna grupa	Različite ispitne grupe
1.1 1.2	10 + 20 10 + 30	1.1+1.1	1+1	Ne
2.1 2.2	30 + 40	1.1+8.1	1+6	Da
3.1 3.2	10 + 90	1.1+1.1	1+1	Ne
4.1	10 + 70	1.1+1.3	1+3	Da
5.1 5.2 5.3 5.4	10 + 80	1.1+1.1	1+1	Ne
6.1	20 + 50	1.1+1.1	1+1	Ne
7.1	10 + 60	1.1+1.3	1+3	Da
8.1 8.2	10 + 100	1.1+1.3	1+3	Da

## 2. Definiranje i određivanje zavara

Učinkovitost ili iskoristivost zavara unaprijed je definirana tehničkom dokumentacijom, u primjeru tlačnog spremnika iskoristivost zavara na nacrtu je definirana sa 85% i 100%, a prema tim podacima određuje se daljnja kvaliteta zavara i obujam ispitivanja. Prema AD 2000 HP 0 vrste zavara se definiraju sa: [1] [41]

- LN – uzdužni zavari
- RN – kružni zavari
- KN – kutni zavari
- St – križište zavara
- StN – priključni zavari

Tablica 5.4. Klasifikacija zavara prema AD 2000 HP 0 [1] [41]

Broj zavara	Iskoristivost zavara	Debljina zavarene stijenke < 30 mm	Tlačno opterećen zavar	Tip zavara prema AD 2000 HP0
1.1 1.2	100%	Ne < 30 mm	Da	RN
2.1 2.2	85%	Ne < 30 mm	Da	StN
3.1 3.2	85%	Ne < 30 mm	Da	StN
4.1	100%	Ne < 30 mm	Da	StN
5.1 5.2 5.3 5.4	85%	Ne < 30 mm	Ne	StN
6.1	85%	Ne < 30 mm	Ne	KN
7.1	100%	Ne < 30 mm	Da	StN
8.1 8.2	100%	Ne < 30 mm	Da	StN

### 3. Određivanje NDT metoda

Tablica 5.5. NDT metode za tlačni spremnik [1] [41]

Broj zavora	NDT metode prema AD 2000 HP 0 za UT ili RT	NDT metode prema AD 2000 HP 0 za površinsko ispitivanje	NDT metode koje će se primjeniti
1.1	UT ili RT	-	VT 100%
1.2	25%	-	MT 100% RT 25%
2.1	-	-	VT 100%
2.2	-	-	PT 100%
3.1	-	-	VT 100%
3.2	-	-	MT 100%
4.1	UT ili RT 100%	MT 10%	UT 100% MT 10%
5.1	-	-	VT 100%
5.2	-	-	PT 100%
5.3	-	-	MT 100%
5.4	-	-	MT 100%
6.1	-	-	VT 100% MT 100%
7.1	UT ili RT 100%	MT 10%	UT 100% MT 10%
8.1	UT ili RT	MT 10%	UT 100%
8.2	100%	MT 10%	MT 10%

Razlozi zbog kojih nema puno ispitivanja na tlačnom spremniku prema regulativi AD 2000 su:

- tanka debljina stijenke materijala
- relativno male veličine zavora te vrsta i iskoristivost zavora
- sama konstrukcija tlačnog spremnika
- klasifikacija grupe materijala i ispitne grupe

U slučaju proizvodnje ovog spremnika provode se još neka dodatna NDT ispitivanja zbog interne odluke nadzornog inženjera zavarivanja, iako po regulativi AD 2000 to nije potrebno. Razlozi tome su sigurnost i brzina izvođenja metode. [1] [41]

## 6. Zaključak

Tlačne posude podvrgnute su opterećenjima i naprezanjima, stoga tlačne posude i sva oprema pod tlakom moraju biti bez pogrešaka jer i ona najmanja vrsta pogreške može biti kobna za ljudski život i zdravlje, te oštećenje okoline i imovine. Zbog široke primjene i korištenja tlačnih posuda i opreme u svim sektorima, najbitniji faktor je sigurnost. Prilikom zavarivanja tlačnih posuda često se zbog nepažnje, neodgovarajućih parametara, neispravnih tehnika te neiskusnih zavarivača, javljaju pogreške koje su klasificirane u ovom radu prema odgovarajućim normama. Pogreške mogu biti na površini zavarenog spoja ili u zavarenom spoju, pa se zbog toga i teže otkrivaju, pritom je od velike važnosti odabrati pravilnu metodu ispitivanja. Cilj nerazornih metoda ispitivanja materijala je pronalaženje pogrešaka i određivanje vrste, veličine i lokacije iste. Materijali i proizvodi se ispituju da bi osigurali pouzdanost i kvalitetu proizvoda, spriječili nesreće, materijalne i ljudske gubitke te smanjili troškove proizvodnje.

## 7. Literatura

- [1] Vlastita arhiva
- [2] <https://yenaengineering.nl/pressure-vessels-everything-you-need-to-know/>  
dostupno 10.01.2022
- [3] <https://www.ijser.org/researchpaper/Design-and-Analysis-of-the-Pressure-Vessel.pdf>  
dostupno 10.01.2022
- [4] Samir Lemeš: Uvod u ispitivanje bez razaranja
- [5] Damir Martenčić: Metode nerazornih ispitivanja
- [6] Matija Bušić: Suvremene tehnologije u održavanju strojarskih konstrukcija, podloge
- [7] Sanja Šolić: Metode ispitivanja materijala i konstrukcija, podloge
- [8] HDKBR: Vizualna kontrola (stupanj 1+2), skripta
- [9] <https://physics.stackexchange.com/questions/513694/is-there-any-difference-in-the-colour-of-a-620-nm-light-and-a-621-nm-wavelength>  
dostupno 10.01.2022
- [10] EN ISO 17637:2016, Ispitivanje zavarenih spojeva bez razaranja – Vizualni pregled zavarenih spojeva
- [11] <https://www.uweld.com/Welded-joint-gage.html>  
dostupno 15.01.2022
- [12] <http://rktmaya.com/en/welding-gauge.html>  
dostupno 15.01.2022
- [13] [https://www.allegra24.de/Kamerakopf-39-mm-fuer-ALLEGRA-HD-500-Endoskop?curr=EUR&GET=&gclid=EAIaIQobChMIhcGR5Pix9gIVRe7tCh3ztgphEAQYBSABEgJ1TfD\\_BwE](https://www.allegra24.de/Kamerakopf-39-mm-fuer-ALLEGRA-HD-500-Endoskop?curr=EUR&GET=&gclid=EAIaIQobChMIhcGR5Pix9gIVRe7tCh3ztgphEAQYBSABEgJ1TfD_BwE)  
dostupno 15.01.2022
- [14] Vjera Krstelj, Ana Lypolt: Penetrantska kontrola, Zagreb, 2005.
- [15] HDKBR: Penetrantska kontrola (stupanj 1+2), skripta
- [16] EN ISO 3452-1:2013, Ispitivanje zavarenih spojeva bez razaranja – Penetrantsko ispitivanje
- [17] HDKBR: Magnetska kontrola (stupanj 1+2), skripta
- [18] <https://csisupport.rs/ibr/magnetni-jarmovi/>  
dostupno 15.01.2022
- [19] <https://www.kimet.hu/en/berthold-magnetic-field-indicator-penetrator.html>  
dostupno 15.01.2022

- [20] Vjera Krstelj: Ultrazvučna kontrola, odabrana poglavlja, Zagreb, 2003.
- [21] [https://wiki.polymerservice-merseburg.de/index.php/Datei:Brechung\\_Schallwellen2.JPG](https://wiki.polymerservice-merseburg.de/index.php/Datei:Brechung_Schallwellen2.JPG)  
dostupno 15.01.2022
- [22] [idef.hr/ultrazvučni-defektoskopi](http://idef.hr/ultrazvučni-defektoskopi)  
dostupno 15.01.2022
- [23] <https://cygnus-instruments.com/product-category/ultrasonic-probes/>  
dostupno 15.01.2022
- [24] <https://accessndt.co.za/x-ray/>  
dostupno 22.01.2022
- [25] Mirko Gojić: Tehnike spajanja i razdvajanja materijala, Sisak, 2003.
- [26] <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/defects-hydrogen-cracks-in-steels-identification-045>  
dostupno 22.01.2022
- [27] [https://www.researchgate.net/figure/6-Centreline-weld-solidification-cracks-a-buried-sub-surface-12-b-surface\\_fig2\\_312293091](https://www.researchgate.net/figure/6-Centreline-weld-solidification-cracks-a-buried-sub-surface-12-b-surface_fig2_312293091)  
dostupno 30.01.2022
- [28] [https://www.ripublication.com/ijaer19/ijaerv14n15\\_17.pdf](https://www.ripublication.com/ijaer19/ijaerv14n15_17.pdf)  
dostupno 06.02.2022
- [29] I. Juraga, K. Ljubić, M. Živčić: Pogreške u zavarenim spojevima, Zagreb, 1998.
- [30] MINISTARSTVO GOSPODARSTVA: PRAVILNIK O TLAČNOJ OPREMI  
[https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2016\\_09\\_79\\_1804.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2016_09_79_1804.html)  
dostupno 06.02.2022
- [31] <https://www.gsmindustrial.com/custom-fabrication/asme-pressure-vessels-and-tanks/>  
dostupno 16.02.2022
- [32] <https://www.steelavailable.com/en/what-is-a-steel-flange/>  
dostupno 16.02.2022
- [33] MINISTARSTVO GOSPODARSTVA, PODUZETNIŠTVA I OBRTA: PRAVILNIK O PREGLEDIMA I ISPITIVANJU OPREME POD TLAKOM VISOKE RAZINE OPASNOSTI [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020\\_07\\_75\\_1450.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020_07_75_1450.html)  
dostupno 06.03.2022
- [34] MINISTARSTVO GOSPODARSTVA: PRAVILNIK O JEDNOSTAVNIM TLAČNIM POSUDAMA [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2016\\_03\\_27\\_791.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2016_03_27_791.html)  
dostupno 06.03.2022

- [35] MINISTARSTVO GOSPODARSTVA I ODRŽIVOG RAZVOJA : TEHNIČKE UPUTE I PREPORUKE ZA PROVOĐENJE AKTIVNOSTI PERIODIČKIH PREGLEDA I ISPITIVANJA OPREME POD TLAKOM (prema pravilniku o pregledima i ispitivanju opreme pod tlakom visoke razine opasnosti, narodne novine, broj 75/2020)
- [36] DIREKTIVA 2014/68/EU EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32014L0068&from=HR>  
dostupno 06.03.2022
- [37] <https://www.tuvsud.com/de-de/indust-re/druckgeraete-info/regelwerke-weltweit/anwendbare-regelwerke-und-standards/ad-2000>  
dostupno 08.03.2022
- [38] <https://www.beuth.de/en/publication/ad-2000-code-complete-with-ring-binder/48738881>  
dostupno 10.03.2022
- [39] Hrvatski zavod za norme: [repozitorij.hzn.hr](http://repozitorij.hzn.hr)  
dostupno 10.03.2022
- [40] <http://hr.lksteelpipe.com/news/what-s-p235gh-material-23526677.html>  
dostupno 10.03.2022
- [41] AD 2000 Regulatoriva – Generalni principi za dizajn, proizvodnju i ispitivanja  
Izdanje Srpanj 2019.

## Popis slika

Slika 2.1. Spektar vidljive svjetlosti – valne duljine boja [9].....	3
Slika 2.2. Tehnika direktnog ispitivanja [10] .....	4
Slika 2.3. Mjerači zavarenih spojeva i grešaka [11] [12] .....	7
Slika 2.4. Fleksibilni endoskop (fibroskop) [13].....	7
Slika 2.5. Obojani crveni penetrant (lijevo) i fluorescentni penetrant (desno) [15].....	14
Slika 2.6. Referentni etaloni za osjetljivost crvenog i fluorescentnog penetranta [15] .....	14
Slika 2.7. Magnetsko polje [17].....	16
Slika 2.8. Ispitivanje magnetskim jarmom [17] .....	17
Slika 2.9. Ispitivanje zavojnicom [17].....	17
Slika 2.10. Ispitivanje na stroju za magnetizaciju [17].....	17
Slika 2.11. Magnetska indikacija otkrivena fluorescentnom tehnikom [17].....	20
Slika 2.12. Magnetska indikacija otkrivena crno-bijelom tehnikom [17] .....	21
Slika 2.13. Magnetski jaram [18] .....	21
Slika 2.14. Stacionarni stroj za magnetiziranje [17].....	22
Slika 2.15. UV svjetiljka [17] .....	22
Slika 2.16. Uređaj za magnetizaciju [17] .....	23
Slika 2.17. Mjerač jakosti magnetskog polja (Hallova sonda) [17] .....	23
Slika 2.18. Bertholdov indikator [19].....	23
Slika 2.19. MTU etalon [19].....	24
Slika 2.20. MTP-1 etalon [17].....	24
Slika 2.21. Longitudinalni val [21].....	27
Slika 2.22. Transverzalni val [21] .....	27
Slika 2.23. Ultrazvučni uređaj Krautkramer USM 36 [22] .....	29
Slika 2.24. Ultrazvučne sonde [23] .....	29
Slika 2.25. Radiografska kontrola zavora [24] .....	30
Slika 3.1. Hladna pukotina u ZUT-u [26].....	33
Slika 3.2. Unutarnja topla pukotina [27] .....	33
Slika 3.3. Uzdužne i poprečne pukotine [25] .....	34
Slika 3.4. Pukotine zvjezdastog oblika i pukotine u završnom krateru [25] .....	34
Slika 3.5. Razgranate i grupe pukotina [25] .....	34
Slika 3.6. Poroznost u sučeljenom spoju [28] .....	35
Slika 3.7. Vrste i oblici poroznosti [25].....	35
Slika 3.8. Uključak troske kod MAG postupka zavarivanja [29].....	36



Slika 3.9. Uključak troske kod MAG postupka zavarivanja praškom punjenom žicom [29] .....	36
Slika 3.10. Naljepljivanje u kutnom spoju [29] .....	37
Slika 3.11. Neprovareni korijen zavara [29] .....	37
Slika 3.12. Pogreške oblika zavara – ugorine i ispupčenost kutnog zavara [29] .....	39
Slika 3.13. Pogreške oblika zavara – oštar prijelaz i preklop [29] .....	39
Slika 3.14. Pogreške oblika zavara – nepravilan izgled kutnog zavara [1] .....	39
Slika 4.1. Primjer tlačnog spremnika [31] .....	40
Slika 4.2. Dodatni elementi kod tlačnih posuda [32] .....	40
Slika 5.1. Tlačni spremnik – numerirane pozicije [1] .....	48
Slika 5.2. Numerirani zavari na tlačnom spremniku [1] .....	49
Slika 5.3. Oznake na cijevi [1] .....	51
Slika 5.4. Pozicija 90 sa prenesenom šaržom [1] .....	52
Slika 5.5. Zavarene pozicije 60 i 70 [1] .....	52

## Popis tablica

Tablica 2.1. Sredstva za penetrantsku kontrolu [15] .....	12
Tablica 2.2. Izvadak iz norme HRN EN ISO 23277 [15] .....	13
Tablica 2.3. Izvadak iz norme HRN EN ISO 17635 – Penetrantsko ispitivanje [15] .....	14
Tablica 2.4. Kriterij prihvatljivosti prema HRN EN ISO 23278 [17] .....	20
Tablica 2.5. Frekvencije akustičkih titranja [20] .....	25
Tablica 2.6. Greške zavarenog spoja (poroznost, pukotine, uključci) [7] .....	31
Tablica 5.1. Pozicije za tlačni spremnik [1] .....	48
Tablica 5.2. Zavari kod tlačnog spremnika [1] .....	50
Tablica 5.3. Klasifikacija grupa materijala i ispitnih grupa prema AD 2000 HP 0 [1] [41] .....	54
Tablica 5.4. Klasifikacija zavara prema AD 2000 HP 0 [1] [41] .....	55
Tablica 5.5. NDT metode za tlačni spremnik [1] [41] .....	56

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, Josip Novak (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Priručnik uvažavajući metode ispitivanja kod (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:

(upisati ime i prezime)

Novak Josip  
(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, Josip Novak (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Priručnik uvažavajući metode ispitivanja kod (upisati naslov) čiji sam autor/ica. ispitivajući kod metode ključne posude

Student/ica:

(upisati ime i prezime)

Novak Josip  
(vlastoručni potpis)