

# OBSEG AKTIVNOSTI

Pripravili: dr. Arpad Köveš  
doc. dr. Gabriel Rihar  
dr. Miloš Jovanović

1.1.	<p><b>Obseg aktivnosti</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cilji nadzora na zvarjeni konstrukciji</li> <li>• Osnovne informacije o konstrukciji in standardih kakovosti</li> <li>• Nadzor pred, med in po varjenju</li> <li>• Koncept porušnih in neporušitvenih preiskav (NDT)</li> <li>• Koncept "fitnes for purpose"</li> <li>• Osnovni pojmi pri nadzoru in NDT</li> <li>• Referenčni standardi za varjenje</li> </ul>
------	---

## 1. Cilji nadzora na zvarjeni konstrukciji

Da med izdelavo in tudi med uporabo ne bi prihajalo do resnejših problemov pri izdelkih, je treba zagotoviti kontrolo od faze zasnove do izbire materiala, izdelave in naknadne kontrole. Slaba zasnova za varjenje npr. lahko povzroči resne težave v delavnici, na gradbišču ali med obratovanjem. Napačna izbira materiala lahko povzroči probleme pri varjenju, npr. razpoke v zvarnih spojih.

Za zagotovitev kakovostne in učinkovite izdelave mora vodstvo prepoznati vire možnih težav in uvesti ustrezne postopke za njihovo kontrolo.

Postopki, kot je talilno varjenje, se na široko uporabljajo za izdelavo mnogih izdelkov in imajo v nekaterih podjetjih ključen položaj v proizvodnji. Z varjenjem izdelujemo različne izdelke od enostavnih do zahtevnih. Pri tem imajo postopki varjenja odločilen vpliv na stroške proizvodnje in kakovost izdelka. Zato je pomembno zagotoviti, da se ti postopki izvajajo na najučinkovitejši način in da je za vse faze proizvodnje predviden ustrezen nadzor.

Vemo, da je pot do povečevanja kakovosti stalno izboljševanje proizvodnih procesov. Postavlja se vprašanje, na kakšen način in s katerimi sredstvi lahko dosežemo ta cilj. Eno od orodij za to so standardi zagotavljanja kakovosti. Poznamo splošne standarde, kot je ISO 9001 in produktno naravnane standarde. Za talilno varjenje uporabljamo standard ISO 3834.

## 2. Osnovne informacije o konstrukciji in standardih kakovosti

Poudariti je treba, da ISO 3834 ni standard za sistem vodenja kakovosti, ki bi nadomeščal ISO 9001:2000; vendar je obvezni dodatek za vse, ki uporabljajo varjenje in imajo certifikat po ISO 9001:2000. Po standardu ISO 9001 je varjenje specialen proces, pri katerem ne moremo skladnost izdelka potrditi ali ga dokazati s preskušanjem na ekonomsko sprejemljiv način.

V standardu EN ISO 3834 so zbrana pravila in navodila za obvladovanje kakovosti varjenja in z njem povezanih procesov.

Standard je splošno uporaben. Uporablja se lahko v celoti ali po delih. Dopolnjuje splošni standard ISO 9001. Uporablja se tudi za določanje zahtev v pogodbah in projektih.

Nekateri produktni standardi se sklicujejo na standard EN ISO 3834. V teh primerih je uporaba standarda obvezna.

Naštejmo nekaj možnosti uporabe:

- Je pripomoček za upravljanje s kakovostjo.
- Vsebuje pravila po katerih se ravnamo pri talilnem varjenju.
- V standardu so navedene zahteve, ki naj jih upoštevamo pri varilni proizvodnji.
- Je pripomoček za vodenje varilne proizvodnje.
- Je orodje za upravljanje s kakovostjo v varilni proizvodnji.
- Je osnova za certificiranje varilnih obratov.
- Se uporablja pri določanju zahtev po kakovosti v pogodbah in tehnični dokumentaciji.
- Obvezno se uporablja v povezavi s produktnimi standardi.
- Dopolnjuje splošne standarde (ISO 9001).

Nekateri produktni standardi za varjene izdelke, katerih kakovost in varnost je v javnem interesu, se sklicujejo na standard ISO 3834. V Sloveniji uporabljamo omenjene produktne standarde pri gradnji jeklenih konstrukcij, tlačni opremi, plinovodih in železniških vozilih.

Na področju izdelave kovinskih konstrukcij je prišlo do velikih sprememb. Za vse jeklene in aluminijaste konstrukcije velja, da morajo imeti vsi proizvajalci certificirano notranjo kontrolo proizvodnje skladno z zahtevami Zakona o gradbenih proizvodih. Dokazana mora biti domneva o skladnosti s harmoniziranim standardom SIST EN 1090-1.

Standard EN 1090 – 2. del obravnava tehnične zahteve za izdelavo jeklenih konstrukcij. V njem so konstrukcije glede na potencialne posledice slabe kakovosti razdeljena v štiri izvedbene razrede. Za najnižji 1. razred (EXC 1) zadostuje uporaba osnovnih zahtev, ki so določene v 4. delu standarda ISO 3834. Za drugi razred konstrukcij (EXC 2) se uporabljajo standardne zahteve (ISO 3834 – 3. del). Za najzahtevnejše konstrukcije, ki jih razvrščamo v 3. in 4. razred (EXC 3 in EXC 4), se uporabljajo obširne zahteve po 2. delu standarda ISO 3834.

Podobna določila najdemo v produktnem standardu za tlačno opremo (EN 13445, EN 13448, EN 122952 in EN 122953), v standardu za izdelavo železniških vozil (EN 15085) in v standardu EN 12732 - Sistemi za oskrbo s plinom, varjenje jeklenih cevovodov, funkcionalne zahteve. V vseh navedenih primerih je določena uporaba posameznega dela standarda ISO 3834 (stopnje zahtevnosti) glede na to v kakšni meri lahko objekt ogroža ljudi in okolje.

Poleg stopnje zahtevnosti produktni standardi predpisujejo izobrazbeno stopnjo koordinatorja varjenja ( inženir - IWE, tehnolog - IWT ali specialist –IWS), zahteve za kvalifikacijo varilnega postopka in stopnje sprejemljivosti zvarov.

Več o zagotavljanju kakovosti in omenjenih standardih obravnavamo v poglavju »Zagotavljanje kakovosti«.

### 3. Nadzor pred, med in po varjenju

V nadaljevanju so podane nekatere najbolj osnovne naloge varilskega inšpektorja, ki jih opravlja pred, med in po varjenju, prikazane v tabelarični obliki:

#### Naloge pred varjenjem:

Preverjanje	Vsebina
<b>Material</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>v skladu z načrti/WPS-i</li> <li>preveriti identifikacijo materiala, katero lahko vidimo na priloženem certifikatu</li> <li>v primernem stanju (brez poškodb in onesnaženja)</li> </ul>
<b>WPS-i</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>odobreni in na voljo varilcem (in inšpektorju)</li> </ul>
<b>Varilne naprave</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>v primernem stanju in ustrezno kalibrirane</li> </ul>
<b>Priprava zvarov</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>v skladu z WPS-i (in/ali načrti)</li> </ul>
<b>Kvalifikacije varilcev</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>pregledati, ali so varilci certificirani v skladu z ustreznimi WPS-i, ki se bodo uporabljali</li> <li>vsí certifikati varilcev morajo biti veljavni</li> </ul>
<b>Varilski potrošni materiali (dodajni materiali, zaščitni plini ipd.)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>vsí materiali, ki se bodo uporabljali, morajo biti v skladu z WPS-i, preverjeni, ustrezno shranjeni in specifikirani, kakor to zahteva poslovnik kakovosti</li> </ul>
<b>Zasnova spoja</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>preveriti, ali je zasnova spoja v skladu z WPS-i oz./ali standardi</li> </ul>
<b>Priprava zvara</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>brez napak, poškodb in onesnaženja</li> </ul>
<b>Predgrevanje (v kolikor je potrebno)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>minimalna temperatura mora biti v skladu z WPS-i</li> </ul>

**Naloge med varjenjem:**

Preverjanje	Vsebina
Okolje, v katerem se izvaja varjenje	<ul style="list-style-type: none"> <li>preveriti, če so vremenski pogoji ustrezni (preveriti, če dani pogoji ne bodo negativno vplivali na varjenje)</li> </ul>
Varilni proces	<ul style="list-style-type: none"> <li>v skladu z WPS-i</li> </ul>
Predgrevanje (v kolikor je potrebno)	<ul style="list-style-type: none"> <li>preveriti, ali je minimalna temperatura v skladu z zahtevami, ki so zapisane v WPS-ih</li> </ul>
Medvarkovna temperatura	<ul style="list-style-type: none"> <li>ali je maksimalna temperatura v skladu z WPS-i</li> </ul>
Varilski potrošni material	<ul style="list-style-type: none"> <li>v skladu s pripadajočimi WPS-i, kar je potrebno nadzorovati med potekom procesa varjenja</li> </ul>
Varilni parametri	<ul style="list-style-type: none"> <li>varilni parametri kot so varilni tok, varilna napetost, hitrost varjenja, morajo biti v skladu z WPS-i</li> </ul>
Korenski varek	<ul style="list-style-type: none"> <li>preverjanje na osnovi vizualnega pregleda/kontrole</li> </ul>
Dolbenje/brušenje	<ul style="list-style-type: none"> <li>po odobrenem postopku in določilih dobre prakse</li> </ul>
Varilci	<ul style="list-style-type: none"> <li>ustrezno obvladovanje varilca s certifikatom glede na zahtevan WPS</li> </ul>

**Naloge po varjenju:**

Preverjanje	Vsebina
Identifikacija zvara	<ul style="list-style-type: none"> <li>vsak zvar je označen z oznako/žigom 2, opredeljen z načrtom</li> </ul>
Videz zvara	<ul style="list-style-type: none"> <li>preveriti, ali so zvari ustrezni in primerni za ostale metode NDT, v kolikor so potrebne</li> </ul>
Dimenzijski pregled	<ul style="list-style-type: none"> <li>preveriti dimenzije zvara v skladu z načrtom</li> </ul>
Načrti	<ul style="list-style-type: none"> <li>preveriti, ali so vse spremembe označene na načrtih</li> </ul>
NDT	<ul style="list-style-type: none"> <li>preveriti, ali so bile izvedene vse potrebne NDT preiskave z ustreznimi zapisi in poročili</li> </ul>
Popravila	<ul style="list-style-type: none"> <li>preveriti, ali so bila popravila izvedena v skladu s postopkom</li> </ul>
Zasnova spoja	<ul style="list-style-type: none"> <li>preveriti, ali je zasnova spoja v skladu z WPS-i oz./ali standardi</li> </ul>
Tlačni in obremenitveni preizkus (v kolikor je potreben)	<ul style="list-style-type: none"> <li>preveriti, ali je za preizkus uporabljena kalibrirana oprema</li> <li>preveriti, ali so bili opravljeni vsi potrebni preizkusi</li> </ul>
Dokumentacija	<ul style="list-style-type: none"> <li>preveriti, ali so opravljeni vsi zapisi in poročila</li> </ul>

#### 4. Koncept porušnih (DT) in neporušitvenih preiskav (NDT)

Pri porušnih preiskavah se izvaja preverjanje nepravilnosti na vzorcih, da bi razumeli lastnosti vzorca ali obnašanje materiala pri različnih obremenitvah. Te preiskave je veliko lažje izvesti, ker zagotavljajo več informacij in jih je lažje razumeti kot neporušne preiskave. Za izdelke, ki se množično proizvajajo, je porušna preiskava najprimernejše in ekonomsko upravičeno, saj so stroški uničenja manjšega števila vzorcev zanemarljivi. Običajno ni ekonomično izvajati porušne preiskave v primerih, ko gre za en izdelek ali proizvodnjo v majhni seriji. V porušne preiskave štejejo natezni preskus, merjenje trdote in žilavosti, upogibni preskus itd.

Pri nekaterih področjih je vrednotenje inženirskih materialov ali konstrukcij brez spreminjanja njihovih lastnosti zelo pomembno. Takšni primeri so: kontrola kakovosti izdelkov, analiza nepravilnosti ali preverjanje delovanja inženirskih sistemov med obratovanjem. Takšne ocene je mogoče izvesti z metodami neporušitvenih preiskav (NDT). Materiale ali strukture je mogoče pregledati in/ali izmeriti, ne da bi pri tem uničili njihovo površinsko strukturo in celovitost izdelka ter ne da bi spremenili nadaljnje delovanje izdelka.

NDT je zelo obsežno interdisciplinarno področje, ki ima ključno vlogo pri potrditvi, da strukturne komponente in sistemi zanesljivo opravljajo svojo funkcijo. Zaradi zagotovitve zanesljivosti NDT pri odkrivanju določenih nepravilnosti, ki so lahko posledica netočnosti uporabljene opreme, nepravilne uporabe metode ali nezadostnih izkušenj in znanja kontrolorja, so bili uvedeni določeni standardi. Zato neporušne preiskave temeljijo na uporabi mednarodnih standardov.

Tabela 1.1.1: Najbolj uporabljene NDT metode v industriji

Tehnika NDT	Zmogljivost (uporaba)	Omejitve
Vizualna preiskava	Makroskopske in površinske nepravilnosti	Manjše nepravilnosti je težko zaznati
Mikroskopija	Majhne površinske nepravilnosti	Ni uporabno za večje objekte niti za podpovršinske nepravilnosti
Radiografska preiskava	Podpovršinske nepravilnosti	Najmanjše zaznane nepravilnosti so 2 % debeline; zaščita pred sevanjem; ni za porozne materiale
Penetrantska preiskava	Površinske nepravilnosti	Ni za podpovršinske nepravilnosti; ni za porozne materiale
Ultrazvočna preiskava	Podpovršinske nepravilnosti	Materiali morajo dobro prevajati ultrazvok
Magnetna preiskava	Površinske in nepravilnosti tik pod površino	Samo za feromagnetne materiale
Vrtinčni tokovi	Površinske in nepravilnosti tik pod površino i	Otežena interpretacija; samo za metalne materiale
Akustična emisija	Analiza strukture	Otežena interpretacija; draga oprema

Pravilno izvedene NDT preiskave omogočajo ugotavljanje lastnosti materiala in določanje lege ter velikosti nepravilnosti, ki bi sicer lahko povzročile: letalske nesreče, okvare reaktorjev, iztirjenja vlakov, razpoke na cevovodih in številne druge manj vidne, a enako nevarne dogodke. Vsekakor te tehnike zahtevajo dolgoletne izkušnje kontrolorja, pri čem je interpretacija rezultatov preiskave lahko problematična, ker so rezultati subjektivni. NDT metode se lahko izvajajo na kovinah, plastiki, keramiki, kompozitih, kermetih (*ang.* cermet) in premazih z namenom odkrivanja razpok, notranjih in površinskih votlin, delaminacij, nepravilnosti na zvarih in drugih nepravilnosti, ki bi lahko povzročile prezgodnjo odpoved izdelka. Najpogosteje uporabljene preskusne metode NDT so prikazane v tabeli 1.1.1.

#### 5. Koncept "fitnes for purpose" /1/

Že desetletja lahko dovolj dobro in natančno z neporušnimi metodami določamo in diagnosticiramo napake v zvarnih spojih. Glede na raznolikost materialov in njihovo izkoriščenost ter vrste obremenitve ob prisotnosti različnih medijev v zahtevnih nosilnih konstrukcijah, stopa vse bolj v ospredje problem, kako zanesljivo oceniti dopustno velikost napake v raznih delih zvarnih spojev. Vemo, da zvarni spoji niso brez napak, vendar je možnost njihovega odkrivanja omejena, odkrivanje pa ni vedno izvedljivo. Tako je npr. za nosilnost visoko obremenjene varjene konstrukcije bistvena velikost dopustne napake. Čim večja je, tem varnejša je konstrukcija in tem lažje jo odkrijemo z neporušnimi preiskavami. Zato je za ocenitev varnosti zelo zahtevno obremenjene konstrukcije, strojnega dela ali opreme potrebno upoštevati priporočila, ki jih podajajo različni sistemi, znani pod mednarodnim

izrazom "Fitness for Purpose". Tako lahko npr. določimo, kako je možno na osnovi poznavanja lomne žilavosti materiala, v katerem se nahaja konica utrujenostne razpoke, ki predstavlja najostrejšo možno nezveznost, na osnovi poznavanja zakonitosti elasto-plasto mehanike loma, določiti, ali je dopustna z defektoskopskimi metodami odkrita napaka v zvarnem spoju.

## 6. Osnovni pojmi pri nadzoru in NDT

**Nadzor/inšpekcija** predstavlja ocenjevanje (pregled) proizvoda, procesa, storitve ali inštalacije oz. njihovega projekta ter ugotavljanja njegove skladnosti s specifičnimi zahtevami ali na bazi profesionalne ocene v skladu s splošnimi zahtevami.

### V skladu s standardom EN ISO 17635

#### **Preiskava**

Pregled posameznih lastnosti na osnovi standarda, tehnične specifikacije ali opisa v pogodbi. Elementi preiskave morajo biti natančno določeni kot so: predmet, obseg, stopnja sprejemljivosti, preiskovalna metoda in drugi pogoji preiskave.

#### **Vizualna preiskava**

Metode neporušitvenega preskušanja na osnovi elektromagnetnega sevanja v vidnem območju.

#### **Napaka**

Nepopolnost v materialu, ki zmanjša funkcionalnost tako, da je konstrukcija ali element neuporaben.

#### **Preskusni razred**

Merilo za popolnost in izbiro nastavitve parametrov, s katerimi se preskusni postopek uporablja. Različni preskusni razredi so povezani z različnimi občutljivostmi preskusov in/ali možnostmi ugotavljanja. Preskusni razredi določajo, kako natančno naj izvedemo preskušanje. Izbira preskusnega razreda je običajno odvisna od zahtev po kakovosti. Če so te večje, izberemo višji preskusni razred, pri katerem lahko odkrijemo manjše nepopolnosti.

#### **Prag opazovanja**

Meja preskušanja, od katere je treba ocenjevati indikacijo.

#### **Registrirni prag**

Meja preskušanja, od katere je treba indikacije zapisati.

#### **Stopnja sprejemljivosti (indikacij)**

Meja preskušanja, pod katero so konstrukcijski deli sprejemljivi.

#### **Preskusna organizacija**

Interna ali zunanja organizacija, ki izvaja neporušitvene preiskave.

#### **Indikacija**

Prikaz ali signal nepravilnosti v obliki, ki jo omogoča uporabljeni postopek neporušitvene preiskave. Pri magnetnih preiskavah je to sprememba magnetnega polja, ki jo npr. zaznamo z razporeditvijo delcev po površini.

#### **Notranje nepravilnosti**

Nepravilnosti, ki na površini niso odprte ali niso direktno dostopne.

#### **Stopnja sprejemljivosti (nepravilnosti)**

Fiksne mejne vrednosti nepravilnosti, ustrezajoče pričakovani kakovosti zvara. Mejne vrednosti se določajo glede na vrsto nepravilnosti, njeno velikost in njene dejanske dimenzije.

### V skladu s standardom EN ISO 5817

#### **Nivo kakovosti**

Opis kakovosti zvara na osnovi vrste in velikosti izbranih nepravilnosti.

**Primernost za namen /fitness-for-purpose/**

Sposobnost izdelka, procesa ali storitve, da služi določenemu namenu v določenih pogojih.

**Kratke nepravilnosti**

Ena ali več nepravilnosti skupne dolžine manj kot 25 mm na vsakih 100 mm dolžine zvara oz. z največjo dolžino napake do 25 % skupne dolžine zvara, krajšega od 100 mm, pri čemer se kot osnova upošteva tisto območje, kjer je bilo ugotovljeno največ nepravilnosti.

**Sistematična nepravilnost**

Nepravilnosti, ki so porazdeljene v enakomernih razdaljah v zvaru po celotni dolžini zvara, ki ga pregledujemo, pri čemer so velikosti posameznih nepravilnosti znotraj mej za nepravilnosti, ki so podane v tabeli 1.

**Projicirana površina**

Površina, na kateri so nepravilnosti, porazdeljene v volumnu zvara, ki ga preiskujemo, prikazane dvodimenzionalno.

**Površina prečnega prereza**

Površina, ki jo je treba upoštevati po prelomu ali razrezu.

## 7. Standardi

Zahteve za izvedbo nadzora so podane v naročilu za izvedbo nadzora. Sklicujejo se na standarde in tehnične specifikacije. Ne glede na pogodbeno določila mora inšpektor upoštevati tudi tehnične predpise in obvezne standarde. Dobro poznavanje standardov in tehničnih predpisov je osnovni pogoj za delo inšpektorja. Poznamo več nivojev tehnične zakonodaje.

**Evropske direktive**

Evropske direktive so obvezne smernice, ki urejajo proizvodnjo in predajo (dajanje v promet) izdelkov, katerih varnost je v splošnem interesu.

Na osnovi direktiv države članice izdajo svoje tehnične predpise. Tehnični predpisi se sklicujejo na harmonizirane evropske standarde.

**Splošno o standardih**

Standard je dokument, ki nastane s konsenzom in ga odobri priznani organ, ki določa pravila, smernice ali značilnosti za dejavnosti in njihove rezultate - izdelke, storitve, procese in proizvodne postopke ter je namenjen za občo in večkratno uporabo in usmerjen v doseganje optimalne stopnje urejenosti na danem področju.

V standardih lahko najdemo tehnične specifikacije in druga natančna merila, ki se pogosto uporabljajo kot pravila, navodila, preskusni postopki ali definicije posameznih značilnosti. Standardi se pripravljajo predvsem zato, da bi bili materiali, izdelki, postopki in storitve, ki so skladni z njimi, primerni za uporabo. Pri nas uporabljamo prevzete EN in ISO standarde.

**Harmonizirani standardi**

Harmonizirani standard je evropski standard EN, ki je bil pripravljen po naročilu Evropske komisije in Sekretariata EFTA z namenom, da podpre bistvene zahteve evropskih direktiv. Seznami harmoniziranih standardov se objavljajo v Uradnem listu ES z navedbo direktive, v podporo katere so bili pripravljani. Od takrat dalje uporaba takih standardov ustvarja domnevo o skladnosti z ustrežno evropsko direktivo.

Harmonizirane standarde delimo na produktne standarde in podporne standarde. Evropski produktni standardi (EN standardi) vsebujejo tehnične zahteve za izdelavo posameznih proizvodov, npr.: standardi za tlačno opremo ali kovinske konstrukcije. S tem, da se evropske direktive sklicujejo na produktne standarde je njihova uporaba obvezna. Produktne standarde dopolnjujejo podporni oziroma harmonizirani standardi npr.: standardi za certificiranje varilcev in postopkov. Podporni standardi so praviloma usklajeni z mednarodnimi standardi (EN ISO standardi).



## Direktive, ki se nanašajo tudi na varjenje

V proizvodnji, kjer se uporablja varjenje, imamo že nekaj direktiv. Taka področja so:

- Enostavne tlačne posode
- Tlačna oprema
- Plinovodi
- Železniška vozila
- Gradbeni proizvodi
- Cestna vozila

Kovinske konstrukcije spadajo med gradbene proizvode.

## Skladnost izdelkov na skupnem trgu

Izdelki, ki niso skladni z direktivami ne smejo priti na trg. Za ugotavljanje skladnosti so pristojni PRIGLAŠENI ORGANI. Nadzor in ugotavljanje skladnosti lahko opravljajo samo pooblašene osebe (evropski inšpektorji). Seznam priglasi organov se nahaja na spletni strani Evropske skupnosti:

<http://ec.europa.eu/enterprise/newapproach/nando/>.

Certifikat o skladnosti potrjuje, da je izdelek skladen z zahtevani, ki veljajo na evropskem trgu. Nekateri skladni izdelki so označeni z znakom »CE«. Na urejenem trgu je nadzor obvezen. Nadzor opravljajo organi, ki jih vsaka država priglasijo pri Evropski skupnosti (Notified Body) — organi za ugotavljanje skladnosti. Izvajanje predpisov nadzorujejo vladne službe — Inšpektorati.

## Veljavne izdaje standardov

Evropski in mednarodni standardi se neprestano spreminjajo. Zato je potrebno zasledovati stane in paziti, da uporabljamo zadnjo veljavno verzijo standarda. V naslednji tabeli je nekaj važnejših standardov, ki jih uporabljamo v varilstvu.

## Važnejši standardi – maj 2021

OZNAČEVANJE		
EN ISO 4063:2010	Seznam načinov in številčne oznake	Nomenclature of processes and reference numbers
EN ISO 6947:2019	Položaji pri varjenju - Definicije kotov nagiba in zasuka	Working positions - Definitions of angles of slope and rotation
EN ISO 2553:2019	Simbolično prikazovanje na risbah	Symbolic representation on drawings
EN ISO 9692-1:2013	Priporočila za pripravo zvarnih robov na jeklih	Recommendations for joint preparation
EN ISO 6520-1:2007	Klasifikacija geometrijskih nepopolnosti v kovinskih materialih	Classification of geometric imperfections in metallic materials

PRIPOROČILA ZA VARJENJE		
EN 1011-1:2009	1. del: Splošni napotek za obločno varjenje	Part 1: General guidance for arc welding
EN 1011-2:2001	2. del: Obločno varjenje feritnih jekel	Part 2: Arc welding of ferritic steels
EN 1011-3:2018	3. del: Obločno varjenje nerjavnih jekel	Part 3: Arc welding of stainless steels

<b>CERTIFICIRANJE VARILCEV</b>		
EN ISO 9606-1:2017	Preskušanje varilcev - Talilno varjenje - 1. del: Jeklo	Qualification test of welders - Fusion welding - Part 1: Steels
EN ISO 9606-2:2004	2. del: Aluminij in aluminijeve zlitine	Part 2: Aluminium and aluminium alloys
ISO 14732:2013	Preskušanje usposobljenosti varilcev za popolnoma mehanizirano talilno in uporovno varjenje kovinskih materialov.	Qualification testing of welding operators and weld setters for mechanized and automatic welding of metallic materials (ISO 14732:2013)

<b>VARILNI POSTOPKI</b>		
EN ISO 15614-1:2017	Preskus postopka varjenja. Obločno in plinsko varjenje jekel in niklja.	Specification and qualification of welding procedures for metallic materia.
EN ISO 15609-1:2019	Popis in kvalifikacija varilnih postopkov za kovinske materiale.	Specification and qualification of welding procedures for metallic materials.
OPOMBA	Poznamo standarde za kvalifikacijo varilnih postopkov na osnovi prej pridobljenih rezultatov. Taki standardi so: EN ISO 15607, 15610, 15611, 15612 in 15613. V praksi največ uporabljamo standard EN ISO 15614, ki temelji na laboratorijskem preskušanju zvarov.	

<b>KAKOVOST IN KOORDINACIJA VARJENJA</b>		
EN ISO 3834-1:2006	Merila za izbiro stopenj sprejemljivosti	Criteria for the selection of the appropriate level of quality requirements
EN ISO 3834-2:2021	Obširnejše zahteve za kakovost	Comprehensive quality requirements
EN ISO 3834-3:2021	Standardne zahteve za kakovost	Standard quality requirements
EN ISO 3834-4:2005	Osnovne zahteve za kakovost	Elementary quality requirements
EN ISO 3834-5:2015	Referenčni dokumenti	Documents with which it is necessary to conform to claim conformity to the quality requirements
EN ISO 14731:2019	Koordinacija varilnih del – Naloge in odgovornosti	Welding coordination - Tasks and responsibilities

<b>KONTROLA IN PRESKUŠANJE</b>		
EN ISO 17635:2016	Neporušitvene preiskave zvarnih spojev - Splošna pravila za kovinske materiale	Non-destructive examination of welds - General rules for metallic materials
EN ISO 17637:2016	Neporušitvene preiskave talilnih zvarov. Vizualna preiskava	Non-destructive examination of fusion welds - Visual examination
EN ISO 13916:2017	Navodilo za merjenje temperature predgrevanja, medvarkovne temperature in temperature dogrevanja	Guidance on the measurement of preheating temperature, interpass temperature and preheat maintenance temperature



EN ISO 9712:2012	Kvalificiranje in certificiranje osebja za neporušitvene preiskave - Splošna načela	Qualification and certification of NDT personnel - General principles
EN 10204:2004	Kovinski izdelki – Vrste certifikatov kontrole	Metallic products - Types of inspection documents

<b>STOPNJE SPREJEMLJIVOSTI</b>		
EN ISO 5817:2014	Stopnje sprejemljivosti nepravilnosti	Quality levels for imperfections
EN ISO 10675-1:2016	NDT zvarov. Stopnje sprejemljivosti za radiografske preiskave. Jekla, Ni, Ti in Ni,Ti -zlitine	Non-destructive testing of welds. Acceptance levels for radiographic testing. Steel, nickel, titanium and their alloys
EN ISO 10675-2:2017	NDT zvarov. Stopnje sprejemljivosti za radiografske preiskave. Aluminij in njegove zlitine	Non-destructive testing of welds. Acceptance levels for radiographic testing. Aluminium and its alloys
EN ISO 11666:2018	Ultrazvočno preskušanje - Stopnje sprejemljivosti	Ultrasonic testing of welded joints - Acceptance levels
EN ISO 23279:2017	Ultrazvočno preskušanje - Karakterizacija indikacij v zvarih	Ultrasonic testing - Characterization of indications in welds
EN ISO 23277:2015	Preskušanje zvarnih spojev s penetranti - Stopnje sprejemljivosti	Penetrant testing of welds - Acceptance levels
EN ISO 23278:2015	Preskušanje zvarnih spojev z magnetnimi delci - Stopnje sprejemljivosti	Magnetic particle testing of welds - Acceptance levels

<b>DODAJNI MATERIALI</b>		
ISO 2560:2020	Dodajni materiali za varjenje - Oplaščene elektrode za obločno varjenje nelegiranih in drobnozrnatih jekel - Razvrstitev (ISO 2560:2009)	Nelegirana in drobnozrnata jekla.
ISO 17632:2015	Dodajni materiali za varjenje - Polnjene žice za obločno varjenje nelegiranih in drobnozrnatih jekel po MIG/MAG - Razvrstitev	
ISO 636:2017	Palice, žice in čisti vari pri varjenju nelegiranih in drobnozrnatih jekel po TIG - Razvrstitev (ISO/DIS 636:2013)	
ISO 14171:2016	Dodajni in potrošni materiali za varjenje - Žice, strženske žice in kombinacije žica/prašek za obločno varjenje pod praškom nelegiranih in fino zrnatih jekel - Razvrstitev (ISO 14171:2010)	
ISO 18275:2018	Dodajni materiali za varjenje - Oplaščene elektrode za ročno obločno varjenje visokotrdnih jekel - Razvrstitev	Visokotrdna jekla
ISO 16834:2012	Dodajni in pomožni materiali - Žice in palice ter vari za obločno varjenje visokotrdnostnih jekel v zaščitnih plinih - Razvrščanje	
ISO 26304:2018	Dodajni in potrošni materiali za varjenje - Žice, strženske žice in kombinacije žic in praškov za varjenje visokotrdnih jekel po EPP - Razvrstitev	
ISO 3581:2016	Dodajni materiali za varjenje - Oplaščene elektrode za ročno obločno varjenje nerjavnih in ognjeodpornih jekel - Klasifikacija (ISO 3581:2003+Cor 1:2008+Amd 1:2011)	Nerjavna in ognjeodporna jekla

ISO 17633:2018	Dodajni materiali za varjenje - Strženske žice in samozaščitne žice iz cevi ter palice za obločno varjenje nerjavnih in ognjeodpornih jekel - Razvrščanje	
ISO 14343:2017	Dodajni materiali za varjenje - Žične elektrode, trakovi, žice in palice za obločno varjenje nerjavnih in ognjeodpornih jekel - Razvrstitev (ISO 14343:2009)	
ISO 18276:2017	Dodajni materiali za varjenje – Strženske žice iz cevi za obločno varjenje nerjavnih in ognjeodpornih jekel v zaščitnem plinu in brez zaščite – Razvrščanje (ISO 18276:2005)	
ISO 3580:2017	slovensko: Dodajni materiali za varjenje - Oplaščene elektrode za obločno varjenje jekel, odpornih proti lezenju - Razvrstitev	Kotlovska jekla
ISO 21952:2012	Dodajni materiali za varjenje - Žice in palice za obločno varjenje v zaščitnih plinih jekel, odpornih proti lezenju - Razvrstitev (ISO 21952:2012)	
ISO 17634:2015	Dodajni materiali za varjenje - Strženske žice iz cevi za obločno varjenje jekel, odpornih na lezenje v zaščitnem plinu - Razvrščanje (ISO/DIS 17634:2014)	
ISO 24598:2019	Dodajni materiali za varjenje - Žične elektrode, polnjene žice in kombinacije žic in praškov za varjenje pod praškom jekel, odpornih proti lezenju - Razvrstitev (ISO 24598:2012)	
ISO 1071:2015	Dodajni materiali za varjenje - Oplaščene elektrode, žice, palice in cevne strženske elektrode za talilno varjenje litega železa - Razvrstitev (ISO/DIS 1071:2014)	Lito železo
ISO 14172:2015	Dodajni materiali za varjenje - Oplaščene elektrode za ročno obločno varjenje niklja in njegovih zlitin - Razvrstitev (ISO/DIS 14172:2013)	Nikelj in zlitine
ISO 18274:2010	Dodajni materiali za varjenje - Žične in tračne elektrode, žice in palice za talilno varjenje niklja in nikljevih zlitin - Razvrstitev (ISO 18274:2010)	
ISO 24373:2018	Dodajni materiali za varjenje - Masivne žice in palice za talilno varjenje bakra in bakrovih zlitin - Razvrstitev (ISO 24373:2008)	Baker in zlitine
ISO 18273:2015	Dodajni materiali za varjenje - Žice in palice za varjenje aluminija in aluminijevih zlitin - Razvrstitev	Aluminij in zlitine
ISO 24034:2010	Dodajni materiali za varjenje - Masivne žice in palice za talilno varjenje titana in titanovih zlitin - Razvrstitev - Dopolnilo 1 (ISO 24034:2005/Amd 1:2008)	Titan in zlitine

## PRODUKTNI STANDARDI

EN 1090-1:2009+A1:2012	Izvedba jeklenih in aluminijastih konstrukcij - 1. del: Zahteve za ugotavljanje skladnosti sestavnih delov konstrukcij	Execution of steel structures and aluminium structures - Part 1: Requirements for conformity assessment of structural components
EN 1090-2:2018	Izvedba jeklenih in aluminijastih konstrukcij - 2. del: Tehnične zahteve za izvedbo jeklenih konstrukcij	Execution of steel structures and aluminium structures - Part 2:

		Technical requirements for steel structures
EN 1090-3:2019	Izvedba jeklenih in aluminijastih konstrukcij - 3. del: Tehnične zahteve za aluminijaste konstrukcije	Execution of steel structures and aluminium structures - Part 3: Technical requirements for aluminium structures
EN 13480-1:2017	Kovinski industrijski cevovodi	Metallic industrial piping
EN 12732:2013 +A1:2014	Sistemi oskrbe s plinom - Varjenje jeklenih cevovodov - Funkcionalne zahteve	Gas supply systems - Welding steel pipework - Functional requirements
EN 1775:2007	Oskrba s plinom - Plinovod za stavbe - Najvišji delovni tlak do vključno 5 bar - Funkcionalna priporočila	Gas pipework for buildings - Maximum operating pressure less than or equal to 5 bar
EN 15085-4:2007	Železniške naprave - Varjenje železniških vozil in elementov - 4. del: Zahteve za proizvodnjo	Railway applications - Welding of railway vehicles and components - Part 4: Productions requirements

### KOVINSKI MATERIALI

EN 10027-1:2016	Sistemi označevanja jekel – 1. del: Oznake jekel 2. del: Številčni sistem	Designation systems for steels - Part 1: Steel names Part 2: Numerical system
EN 10025-2:2004	Vroče valjani izdelki iz konstrukcijskih jekel	Hot rolled products of structural steels
EN 10210-1:2006	Vroče izdelani iz nelegiranih in drobnozrnatih konstrukcijskih jekel	Hot finished structural of non-alloy and fine grain steels
EN 10088-1:2014	Seznam nerjavnih jekel	List of stainless steels
EN 10028-3:2017	Ploščati jekleni izdelki za tlačne posode	Flat products made of steels for pressure purposes
EN 573-3.:2013	Aluminij in aluminijeve zlitine	Aluminium and aluminium alloys
CEN ISO/TR 15608:2017	Smernice za razvrščanje kovinskih materialov v skupine	Guidelines for a metallic materials grouping system

#### TLAČNA OPREMA:

SIST EN 13445-1 (2015) /// Neogrevane tlačne posode - 1. Splošno  
 SIST EN 13445-2 (2016+A1) /// Neogrevane tlačne posode - 2. Materiali  
 SIST EN 13445-3 (2016) /// Neogrevane tlačne posode - 3. Konstruiranje  
 SIST EN 13445-4 (2014 +A1 2016) /// Neogrevane tlačne posode - 4. Proizvodna  
 SIST EN 13445-5 (2014) /// Neogrevane tlačne posode - 5. Kontrola in preskušanje  
 SIST EN 13445-6 (2019) /// Neogrevane tlačne posode - 6. Zahteve za konstruiranje in proizvodnjo tlačnih posod in tlačnih delov posode iz sive litine s kroglastim grafitom

/1/ I. Rak, »Ocenitev sprejemljivosti napak odkritih v zvarnih spojih visokotrdnostnih jekel«

# VLOGA OSEBJA ZA NADZOR VARJENJA

Pripravili: Dr. Miloš Jovanović  
Dr. Arpad Köveš

<b>1.2</b>	<p><b>Vloga osebja za nadzor varjenja</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vloga nadzornega osebja v zagotavljanju kakovosti izdelka</li> <li>• Nivoji osebja in njihove kvalifikacije (IIW IAB-041)</li> <li>• NDT osebje in nivoji kvalifikacije/certifikacije (ISO 912)</li> <li>• Odnos do koordinatorja varjenja, NDT osebja in drugega varilskega osebja</li> <li>• Odgovornosti inšpektorja za izvajanje del</li> <li>• Stališče in etični kodeks inšpektorja varjenja (vključno nepristranost, zaupnost in neodvisnost)</li> </ul>
------------	--

## 1. Vloga nadzornega osebja v zagotavljanju kakovosti izdelka

Osebje za kontrolo in s tem za zagotavljanje kakovosti je naslednje:

- Varilni koordinator z določeno izobrazbeno stopnjo
- Osebje, ki izvaja neporušitvene preiskave (NDT) – svojo kvalifikacijo morajo izkazovati skladno s standardom EN ISO 9712 za vse tri stopnje zahtevnosti (npr. za naslednje metode: VT, UT, RT, PT, MT, LT ter dve podmetodi RT-FAS, UTT)
- Varilski inšpektor

Vloga **varilskih koordinatorjev** je podrobneje opisana v standardu EN ISO 14731, med glavne naloge pa v splošnem spadajo naslednje aktivnosti v zvezi z:

- Pregledom zahtev naročila oziroma zahtev pred podpisom pogodbe
- Pregledom tehničnih zahtev
- Podizvajalci
- Varilnim osebjem
- Načrtovanjem proizvodnje
- Potrebni kvalifikacijami varilnih postopkov
- Potrebni specifikacijami varilnih postopkov
- Delovnimi navodili
- Osnovnimi in dodatnimi materiali
- Kontrolo pred, med in po varjenju
- Toplotno obdelavo po varjenju
- Neskladji in korektivnimi ukrepi
- Merilno opremo in kalibracijo le-te
- Sledljivostjo in
- Poročili o kakovosti

### Kontrolorji in vloga osebja za neporušitvene preiskave

Izvajanje kontrole pri varjenju in z varjenjem povezanimi deli je v pretežni meri povezano z ugotavljanjem skladnosti, kot na primer, preverjanje ustreznosti priprave zvarnih robov, uporabo predpisanega osnovnega, dodatnega in pomožnega materiala, upoštevanjem predpisanih varilnih parametrov, doseganje kriterijev sprejemljivosti nepravilnosti v zvarih, itd.

V praksi osebje, ki izvaja kontrolo pri (po) varjenju, običajno enačimo z osebjem za izvajanjem neporušitvenih preiskav (*NDT – Non Destructive Testing*), kot na primer vizualne, radiografske, ultrazvočne ali katere druge preiskave. Vendar pa so neporušitvene preiskave le del kontrolnih aktivnosti, ki jih izvajajo kontrolorji. Nanašajo se predvsem na ugotavljanje sprejemljivosti izvedenih zvarnih spojev z (vnaprej) določenimi kriteriji sprejemljivosti. Je pa zato res, da je kvalifikacija osebja za načrtovanje, predpisovanje in izvajanje neporušitvenih preiskav v okviru vseh kontrolnih dejavnosti praktično najzahtevnejša. NDT kontrolorji, kot jih običajno poimenujemo, morajo imeti primerna znanja, ustrezno usposobljenost in delovne izkušnje. Njihova kvalifikacija je običajno določena z normativnimi zahtevami. /1/

Glavna naloga **varilskih inšpektorjev** je povezana z aktivnostmi kontrole kvalitete (QC), katera zagotavlja, da varjeni elementi izpolnjujejo predpisane zahteve in so primerni za uporabo.

Za proizvajalca je pomembno, da izdelujejo kvalitetne izdelke. V tem kontekstu jim lahko varilski inšpektorji predstavljajo dodano vrednost pri zagotovitvi kvalitete z njihovim nadzorom. Zato morajo varilski inšpektorji razumeti in znati interpretirati predpisane postopke kontrole kakovosti ter dobro poznati tehnologijo varjenja.

Uvedba varilskega inšpektorja je zato v primarnem interesu vsakega podjetja, ki skuša zagotovitev kvalitete postaviti na najvišji možni nivo. Po drugi strani pa je lahko zahteva po varilskem inšpektorju dana tudi s strani naročnika.

Zelo pomembno je, da ima podjetje izdelan »plan kontrole kakovosti«.

Kaj je pomembno za varilskega inšpektorja:

Pred pričetkom dela v okviru posamezne pogodbe standard SIST EN ISO 17637 določa, da mora varilski inšpektor:

- biti seznanjen z ustreznimi standardi, predpisi in specifikacijami za izdelavo
- seznanjen z varilnimi postopki, ki se bodo uporabljali
- imeti dober vid v skladu z SIST EN ISO 9712 (ter da ga preverja vsako leto)

Standard SIST EN ISO 17637 ne govori o zahtevah glede formalne kvalifikacije za vizualno preiskavo zvarov, kljub temu pa je potrebno imeti določena znanja in izkušnje iz tega področja.

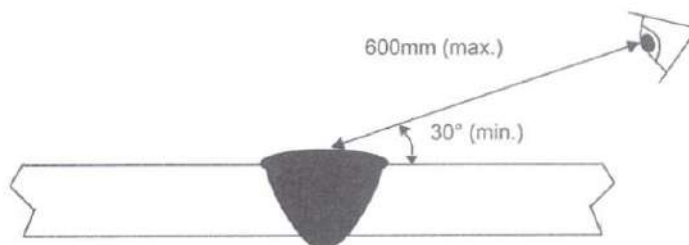
Temeljno obliko nadzora namreč predstavlja vizualna preiskava - VT, kot osnovna metoda neporušitvenih preiskav. Pri zahtevnejših primerih običajno sledi vizualni preiskavi še ena ali več ostalih oblik neporušitvenih preiskav ter ostalih metod pregleda (npr. merskih značilnosti zvara itd.).

Pri nadzoru je potrebno poleg osnovnih zahtev za izdelavo upoštevati vrsto standardov in predpisov, ki govorijo o stopnjah sprejemljivosti zvarov. Le-te so lahko zelo specifične glede na določene uporabljene tehnike za prepoznavanje napak v zvarih in za določitev dimenzijskih odstopanj.

Navodila in osnovne zahteve za vizualno preiskavo so podane v standardu **SIST EN ISO 17637 (Neporušitvene preiskave talilnih zvarov – Vizualne preiskave)**.

Pogoji za vid varilskega inšpektorja:

- osvetlitev – EN ISO 17637 določa, da mora biti minimalna osvetlitev 350 lux, priporočljiva pa bi naj bila 500 lux-ov.
- dostopnost – do površine za neposreden inšpekcijski pregled mora omogočiti, da je oko:
  - na razdalji znotraj 600 mm od površine mesta, ki ga pregledujemo,
  - da je kot opazovanja najmanj 30°



Slika 1.2.1: Dostopnost do površine za neposredni inšpekcijski pregled

Varilski inšpektor mora biti ob podpisu pogodbe seznanjen z vsemi zahtevami, pravili in standardi, da bo lahko izvajal funkcijo nadzora v kontekstu zagotovitve kvalitete.

Tipični dokumenti, na katere bi se naj skliceval, so:

- uporabljeni standardi ali predpisi: npr. kriteriji vizualne sprejemljivosti; čeprav se večina zahtev pri izdelavi nahaja v nacionalnih standardih oziroma zahtevah naročnika oziroma jih opredeljujejo postopki kontrole kakovosti (QC), se nekatere funkcije ne dajo točno opredeliti – v tem primeru se lahko uporabijo določila dobre prakse.
- plan kontrole kakovosti ali inšpekcijski kontrolni sezname: za vrsto in obseg inšpekcijskega pregleda
- postopki kontrole kakovosti: dokument o kontroli oz. zagotovitvi kakovosti, ki ga ima podjetje; npr. za kontrolo dokumentov, ravnanje z materiali, shranjevanje dodatnih materialov, WPS-i itd.

Varilski inšpektor mora tudi zagotoviti, da so vsi inšpekcijski pripomočki, ki jih uporablja:

- v dobrem stanju in
- umerjeni, kot je to potrebno oz. določeno s postopkom za kontrolo kvalitete (QC procedure)

Poleg tega mora varilski inšpektor:

- biti seznanjen z vsemi varnostnimi predpisi za delovno mesto ter
- se prepričati, da je vsa varnostna/zaščitna oprema, ki je na voljo, v primernem stanju

## 2. Nivoji varilski inšpektorjev in njihove kvalifikacije (IAB-041)

### Mednarodni varilski inšpektor

V okviru Mednarodnega inštituta za varilstvo (IIW) poteka izobraževanje "mednarodnih varilnih inšpektorjev na treh stopnjah zahtevnosti:

- IWI-C — obsežno znanje,
- IWI-S — standardno znanje,
- IWI-B — osnovno znanje.

V stopnje C in B se lahko vključijo tisti kandidati, ki izpolnjujejo pogoje za IWE in IWT. Za stopnjo B je potrebno izpolnjevati pogoje za IWS.

Učni program obsega sledeča važnejša poglavja:

- Varilna tehnologija in materiali,
- Preskušanje materialov in NDT,
- Zagotavljanje kakovosti,
- Standardi in tehnične specifikacije s področja varilstva, preskušanja in zagotavljanja kakovosti.

Kandidat, ki zaključi »obširnejšo stopnjo« IWI-C v okviru tega programa, bi naj pridobil obširno teoretično in uporabno znanje o varjenju in inšpekcijskih pregledih, ki bo omogočalo kandidatu razumevanje in učinkovito uporabo znanja na področju:

- Neporušitvenih preiskav, mehanskega preizkušanja in tehnik varilske inšpekcije
- Pregleda in uporabe navodil za varjenje, specifikacij varilnih postopkov in kvalificiranih varilnih postopkov
- Specifikacij materialov
- Specifikacij dodatnih materialov
- Tehničnih risba, pripravah zvarnih spojev in tolerancah pri izdelavi
- Priprav in uporabe specifikacij varilnih postopkov
- Priprav in izvajanja inšpekcijskih postopkov in kriterijev sprejemljivosti
- Programov za nadzor kakovosti
- Funkcionalnosti varilne opreme in njene uporabe/omejitve
- Poznavanja mednarodnih in nacionalnih varilskih kvalifikacij
- Identifikaciji varilskih nepravilnosti, povezanih s predpripravo, izdelavo in naknadno izdelavo
- Inšpekcijskih zahtev, ki temeljijo na nacionalnih predpisih in standardih



Kandidat, ki zaključi »standardno stopnjo« IWI-S v okviru tega programa, bi naj pridobil standardno teoretično in uporabno znanje o varjenju in inšpekcijskih pregledih, ki bo omogočalo kandidatu razumevanje in učinkovito uporabo znanja na področju:

- Neporušitvenih preiskav, mehanskega preizkušanja in tehnik varilske inšpekcije
- Uporabe navodil za varjenje, specifikacij varilnih postopkov in kvalificiranih varilnih postopkov
- Specifikacij materialov
- Specifikacij dodatnih materialov
- Tehničnih risb, pripravah zvarnih spojev in tolerancah pri izdelavi
- Specifikacij varilnih postopkov, kvalificiranih varilnih postopkih in navodilih za varjenje
- Inšpekcijskih postopkih in kriterijev sprejemljivosti
- Funkcionalnosti varilne opreme in njene uporabe/omejitve
- Poznavanja mednarodnih in nacionalnih varilskih kvalifikacij
- Identifikaciji varilskih nepravilnosti, povezanih s predpripravo, izdelavo in naknadno izdelavo
- Inšpekcijskih zahtev, ki temeljijo na nacionalnih predpisih in standardih.

Kandidat, ki zaključi »osnovno stopnjo« IWI-B v okviru tega programa, bi naj pridobil osnovno teoretično in uporabno znanje o varjenju in inšpekcijskih pregledih, ki bo omogočalo kandidatu razumevanje in učinkovito uporabo znanja na področju:

- Neporušitvenih preiskav, mehanskega preizkušanja in tehnik varilske inšpekcije
- Specifikacij materialov
- Specifikacij dodatnih materialov
- Tehničnih risbah, pripravah zvarnih spojev in tolerancah pri izdelavi
- Specifikacij varilnih postopkov
- Inšpekcijskih postopkih in kriterijev sprejemljivosti
- Identifikacije varilskih nepravilnosti, povezanih s predpripravo, izdelavo in naknadno izdelavo

Po dveh letih izkušenj na področju nadzora se mednarodni varilni inšpektorji lahko certificirajo. V postopku certificacije morajo dokazati, da spremljajo stroko ter da so pridobili potrebne izkušnje.

Certifikat se nato obnavlja vsaka tri leta. Poznamo tri stopne certificiranih inšpektorjev:

- CIWIP C Certificirani Mednarodni varilni inšpektor, stopnje C
- CIWIP S Certificirani Mednarodni varilni inšpektor, stopnje S
- CIWIP B Certificirani Mednarodni varilni inšpektor, stopnje B

## Koordinacija varjenja

Evropski standardi za zagotavljanje kakovosti varilnih del (EN ISO 3834 in produkti standardi) poznajo KOORDINACIJO varjenja. Osebe, ki opravljajo koordinacijo varjenja pri proizvajalcih so KOORDINATORJI VARJENJA.

Koordinatorje varjenje imenujejo delodajalci. Imeti morajo ustrezna pooblastila in natančen opis del in nalog.

Koordinatorji varjenja morajo imeti ustrezno tehnično izobrazbo in dodatno specializacijo s področja varilstva, kakor določa standard ISO 14731. Koordinator varjenja je lahko:

- Mednarodni varilski inženir IWE
- Mednarodni varilski tehnolog IWT
- Mednarodni varilski specialist IWS

Izobrazbeno stopnjo izbiramo glede na zahtevnost proizvodnje. Nekateri produkti standardi (kovinske konstrukcije, tlačna oprema) predpisujejo kvalifikacijo koordinatorjev glede na izvedbeni razred. Za višje izvedbene razrede se praviloma zahteva IWE.

Vprašamo se, kakšna je razlika med vlogo koordinatorja in vlogo inšpektorja? Koordinator varjenja skrbi, da so opravljene vse potrebne aktivnosti. Koordinator rešuje tehnična vprašanja. Naloge lahko opravlja sam ali poskrbi, da jih opravijo ustrezne službe. Koordinator na nivoju proizvodnje tudi preverja ali so bile aktivnosti ustrezno opravljene. V tej fazi je delo koordinatorja podobno delu inšpektorja.

Vloga inšpektorja je da, ugotavlja ali je izdelek skladen z zahtevami. Inšpektor ne rešuje tehničnih vprašanj, ne svetuje ter ne posega v proizvodni proces. Njegova naloga je, da poroča naročniku nadzora o ugotovitvah.

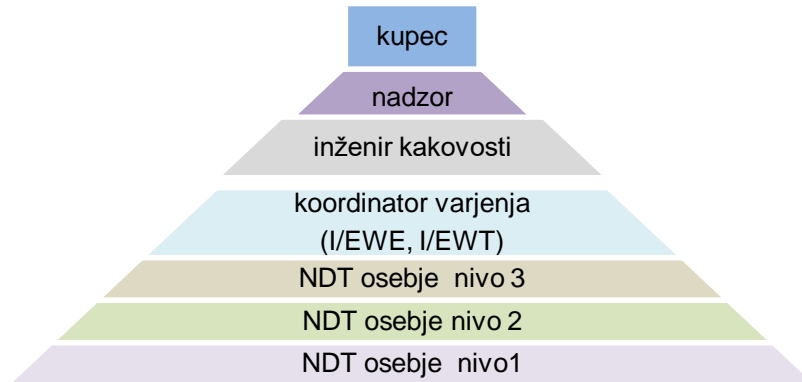
### 3. Osebjja za NDT preiskave in nivoji kvalifikacij

Možne so kvalifikacije za naslednje neporušitvene metode preskušanja v industriji:

- Vizualna preiskava (VT – Visual Testing)
- Preiskava s tekočimi penetranti (PT – Penetrant Testing)
- Ultrazvočna preiskava (UT – Ultrasonic testing)
- Radiografska preiskava (RT – Radiographic Testing)
- Preiskava z magnetnimi delci (MT – Magnetic Particle Testing)
- Preiskava z vrtničnimi tokovi (ET – Eddy Current Testing)
- Preiskava tesnosti (LT – Leak Testing)
- Preiskava z akustično emisijo (AT – Acoustic Emission Testing)
- Termografska preiskava (TT – Infrared Thermographic Testing)

Standard dovoljuje uporabo tudi za morebitne druge metode neporušitvenega preskušanja ali nove tehnike v okviru že obstoječe metode.

Za izvajanje ocenjevanja nepravilnosti v skladu s predpisanimi standardi je potrebno imeti profesionalno, kvalificirano in certificirano osebjja, predvsem na področju neporušitvenih preiskav, kot tudi profesionalno nadzorno osebjja za potrjevanje ali zavračanje določenih vrednotenj.



Slika 1.2.2: Prikaz podrejenosti od končnega kupca do NDT osebjja po EN ISO 9712

Tabela 1.2.1: Aktivnosti certificiranega NDT osebjja po EN ISO 9712

NDT osebjja nivo 1	NDT osebjja nivo 2	NDT osebjja nivo 3
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nastavlja NDT opremo.</li> <li>• Izvaja preiskave.</li> <li>• Zapisuje in klasificira rezultate preiskav v smislu pisnih kriterijev.</li> <li>• Pripravi zapis o rezultatih.</li> </ul> <p>*Opombe: osebjja certificirano za 1. nivo, <b>ni odgovorno</b> za izbiro preiskovalne metode ali tehnike, niti za ocenjevanje ali vrednotenje preiskave</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Izbere NDT tehniko.</li> <li>• Določa omejitve področij uporabe preiskovalne metode</li> <li>• Prevaja standarde in specifikacije za NDT ter navodila in postopke za NDT.</li> <li>• Nastavlja in preverja nastavitve opreme.</li> <li>• Izvaja in nadzira preiskavo.</li> <li>• Interpretira in ocenjuje rezultate glede na ustrezne standarde, pravilnike ali specifikacije.</li> <li>• Pripravlja pisna navodila za NDT.</li> <li>• Izvaja in nadzira vse naloge na 1. nivoju.</li> <li>• Vodi osebjja na 2. nivoju ali nižje.</li> <li>• Organizira in poroča o rezultatih NDT preiskav.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prevzame popolno odgovornost za izpitni center in osebjja.</li> <li>• Sestavlja in potrjuje navodila in postopke za NDT.</li> <li>• Interpretira standarde, pravilnike in postopke.</li> <li>• Izbere preiskovalno metodo, postopke in navodila za NDT, ki jih bomo uporabili.</li> <li>• Izvaja in nadzira vse dolžnosti na 1. in 2. nivoju.</li> <li>• Demonstrira dovolj praktičnega poznavanja ustreznih materialov, izdelave in proizvodne tehnologije, da lahko izbere NDT metode, določi NDT tehniko in pomaga pri določanju kriterijev sprejemljivosti, ko vnaprej niso določeni.</li> <li>• Demonstrira splošno dobro poznavanje vseh NDT metod.</li> <li>• Vodi osebjja z nižjimi nivoji od 3.</li> </ul>

#### 4. Razmerja do koordinatorja varjenja, NDT osebja in drugega varilskega osebja

Vloga varilskega inšpektorja se, podobno kot pri varilskih koordinatorjih, prične že precej pred pričetkom varilskih aktivnosti, se nadaljuje med varjenjem, obsega ukrepe po zaključku varjenja ter je končana šele po ustrezno dokumentiranih rezultatih. Dejansko so varilski inšpektorji nekakšen dodatni člen med varilnimi koordinatorji in kontrolorji. Pomembno je ločiti, da varilni koordinator koordinira varilska dela, varilski inšpektor pa koordinira in tudi izvaja delo nadzora.

Kot del sistema kakovosti so aktivnosti varilskega inšpektorja določene v planih nadzora in kontrole, kjer so točno določene zahteve. Varilski inšpektor je običajno odgovoren za izdelavo dokumentov, ki zagotavljajo sledljivost posameznih komponent in pripadajočih aktivnosti pri izdelavi.

Pred pričetkom varjenja se mora varilski inšpektor na primer prepričati o ustreznosti materialov, o tem, ali so na razpolago odobreni varilni postopki, ustrezno kvalificirani varilci, itd. Pomemben je tudi nadzor nad pripravo zvarnih robov, priprav na varjenje, itn., da je vse v skladu s popisi varilnih postopkov.

Ko varilski inšpektor ugotovi, da so bile vse aktivnosti pred varjenjem ustrezno izvedene, postane njegova vloga nadzor nad izvedbo varjenja. Tukaj sta pomembni dve stvari: zagotavljanje, da so upoštevani vsi pisni postopki, ter obvezni nadzor, da ne pride do kakršnegakoli odstopanja od zahtev.

Z zaključkom varjenja nastopi naslednja serija inšpektorjevih aktivnosti, ki se nadaljujejo z izvajanjem programa nadzora skladno z odobrenimi postopki, spremljanjem izvajanja preiskav in preskusov ter z izbiro posameznih zvarnih spojev za nadaljnje neporušitvene preiskave in mehanske preskuse. Od varilskega inšpektorja se zahteva tudi nadzor nad pravilno izvedbo morebitnih toplotnih obdelav varjencev (npr. predgrevanje, toplotna obdelava po varjenju). Varilski inšpektor mora dobro poznati tehnike, naprave in poročila, ki vplivajo na rezultat.

Po končanih varilskih aktivnostih, ki obsegajo pripravo, izvedbo ter nadzor, mora varilski inšpektor zbrati vsa opažanja, kontrolne liste in rezultate v poročilu, ki mora biti narejeno skladno z zahtevami naročnika, zakonodaje, standardov ali drugih predpisov. Takšno poročilo je v prihodnosti lahko vir sledljivosti izdelovalnih parametrov pri morebitni kasnejši odpovedi varjenega izdelka. Omogoča odkrivanje odgovornosti posameznega dobavitelja ali pogodbenika. Tudi vmesna poročila in opažanja so zelo pomembna, saj zagotavljajo inženirjem in proizvodnji pomembne informacije, ki jih sicer ne bi imeli na voljo. Inšpektorjeva opažanja lahko doprinesejo k odkritju problemov v zvezi z zagotavljanjem kakovosti, ki lahko privedejo do sprememb v načrtovanju ali proizvodnji, če so le odkriti dovolj zgodaj. Varilski inšpektor tako ne sme pozabiti ovrednotiti opažanj, kjerkoli je to možno.

#### Vloga inšpektorja pri preskušanju

V okviru kontrole kakovosti se izvajajo porušne in neporušitvene preiskave materialov in zvarnih spojev. Naloga inšpektorja je, da preveri ali so bili preskusi opravljeni na ustrezen način in da potrdi, da so rezultati preskušanja ustrezni. V določenih primerih je inšpektor prisoten pri izvedbi preskušanja. Ustreznost preskušanja lahko ugotavlja na osnovi zapisov, poročil in drugih dokumentov o preskušanju.

Glavne naloge inšpektorja pri preskušanju so:

- Nadzor pri odvzemanju vzorcev: Pri mehanskem preskušanju zvarnih spojev je predpisan način odvzema vzorcev in izdelava prob. Pri NDT je potrebno preveriti, ali so bile preiskave opravljene na določenih mestih v predpisanem obsegu.
- Kontrola naprav za preskušanje: Kalibracija, merilna negotovost.
- Kontrola pomožnih materialov: Občutljivost filmov, ločljivost penetrantov.
- Osebe ki izvaja preskušanje: Certifikati po ISO 9712
- Izvedba preiskave: Ali so izpolnjene vse zahteve, ali preiskave potekajo po sprejetem planu preskušanja?
- Poročila in zapisi: Ali dokumenti vsebujejo vse potrebne informacije?

#### 5. Odgovornost inšpektorja za izvedbo del

Odgovornost varilskega inšpektorja je v splošnem predpisana v njegovi pogodbi z naročnikom ali delodajalcem. Tako se odgovornost inšpektorja navezuje na njegove glavne naloge, kot so npr.:

- interpretacija načrtov in specifikacij
- preverjanje popisov varilnih postopkov (WPS-ov), kvalifikacije varilcev

- preverjanje uporabe odobrenih varilnih postopkov
- pregled izbranih testnih vzorcev proizvodnje
- interpretacija testnih rezultatov
- priprava poročil in vodenje evidenc
- priprava inšpekcijskih postopkov
- preverjanje pravilne uporabe NDT metod

Inšpektor s svojimi odločitvami prevzema veliko odgovornost. V nekaterih sistemih so inšpektorji zavarovani za primere, ko njihove odločitve povzročijo škodo. Inšpektorji se združujejo v zbornice, ki jih ščiti v primeru tožb za nastalo škodo.

### Nadzornik

Oseba, ki opravlja nadzor, ne sme biti pod nikakršnimi komercialnimi, finančnimi ali drugačnimi pritiski, ki bi lahko vplivali na njeno razsojanje.

Zagotoviti je potrebno, da osebe ali organizacije zunaj kontrolnega organa ne morejo vplivati na rezultate kontrole.

Nadzornik mora biti:

- kvalificirana oseba
- kompetentna oseba
- certificirana oseba

Osebe odgovorno za nadzor mora imeti:

- primerno strokovno izobrazbo,
- dodatna znanja iz stroke npr. varilstva,
- dodatna znanja s področja preskušanja in NDT,
- poznavanje področja zagotavljanje kakovosti,
- poznavanje tehničnih predpisov in standardov,
- ustrezne delovne izkušnje.

Osebe mora biti sposobno, da na podlagi rezultatov preiskave strokovno razsodi o skladnosti s splošnimi zahtevami ter o tem pripravi poročilo. Poleg tega mora dobro poznati tehnologijo izdelave proizvodov, ki jih kontrolira ter načine uporabe ali predvidene uporabe proizvodov in procesov, ki so predmet kontrole.

### Delo nadzornika

- opazuje, ugotavlja in poroča;
- nadzornik sam ne opravlja preiskav ampak jih nadzoruje;
- ne opravlja preskusov - jih nadzoruje;
- ne svetuje in ne rešuje neskladja.

### Predmet nadzora je:

- pregled načrtov,
- kontrola materialov,
- kontrola izdelkov,
- kontrola procesov,
- kontrola proizvodnih sistemov.

Nadzor je delovni proces, ki ima tri faze:

- Pregled stanja ugotavljamo z opazovanjem, merjenjem, preskušanjem in pregledom dokumentacije. Nadzornik o ugotovitvah napravi zapis.
- Primerjava stanja z zahtevami — ugotavljanje skladnosti.
- Poročanje.

## Naročilo za nadzor

Naročilo mora vsebovati:

- predmet nadzora,
- obseg nadzora,
- tehnične zahteve za izdelavo.

## Zahteve

Zahteve so osnova za nadzor. Če zahteve niso jasno določene, nadzora ni mogoče izvesti. Naloga nadzornika je, da pred pričetkom nadzora pregleda zahteve. V naročilu morajo biti jasno določene zahteve.

Zahteve za nadzor se nahajajo v:

- pogodbah,
- tehnični dokumentaciji,
- standardih in drugih tehničnih specifikacijah,
- tehničnih predpisih.

Nadzornik se v specifičnih primerih lahko ravna po splošno priznani strokovni praksi.

## Metode nadzora

Nadzor je delovni proces, ki uporablja sledeče metode:

- pregled dokumentacije,
- pregled vhodnih surovin, polproizvodov in izdelkov,
- prisotnost pri preskušanju in merjenju,
- prisotnost pri proizvodnji,
- občasen nenapovedan pregled.

Za večje objekte se pripravi načrt ali plan nadzora, ki vsebuje popis aktivnosti, roke izvedbe posameznih aktivnosti in referenčne dokumente, ki vsebujejo zahteve za izvedbo nadzora.

## Supernadzor

Supernadzor je nadzor nad nadzorom. Včasih pri gradnji in vzdrževanju velikih objektov uporabljamo izraz »SUPERNAZDOR« kot sinonim za nadzor ali za dvojni nadzor.

## 6. Stališče in etični kodeks inšpektorja varjenja (vključno nepristranost, zaupnost in neodvisnost)

Etični kodeks je ključnega pomena, zlasti na področju industrijskega nadzora, ki daje obilico različnih informacij. Običajno je etični kodeks strošek, ker je v določenih situacijah potrebno reči NE, čeprav je to pogosto v nasprotju z možnimi koristmi. Zato etični kodeks velja za največjo človeško dobro.

Etični kodeks daje jasne smernice in postavlja moralne meje pri vsaki naši odločitvi, ki je povezana z integriteto, navzkrižjem interesov in zaupanjem.

Integriteta – vsak inšpektor mora ravnati pošteno, strokovno, neodvisno in nepristransko, ne da bi dopuščal kakršna koli odstopanja od odobrenih metod, postopkov ali poročil.

Nepriustranskost (prisotnost objektivnosti): objektivnost pomeni, da ni nasprotujočih si interesov, tj. da se rešujejo tako, da ne ogrožajo nadaljnjega delovanja kontrolnega organa.

Drugi izrazi, ki opredeljujejo elemente nepristranskosti, so: neodvisnost, ni predsodkov, nevtralnost, pravičnost, odprtost duha, enakopravnost, neopredeljenost, ravnotežje.

Zaupanje. Inšpektor mora biti v skladu z zakonsko izvršljivimi obveznostmi odgovoren za upravljanje z vsemi informacijami, ki jih pridobi oz. ki nastanejo med opravljanjem dejavnosti nadzora. O informacijah, ki jih namerava objaviti, mora inšpektor vnaprej obvestiti naročnika.

Neodvisnost. Inšpektor mora biti neodvisen, kolikor je to potrebno glede na pogoje, v katerih opravlja svoje dejavnosti.

# VODENJE POSLOV NADZORA

Pripravili: Dr. Uroš Zupanc  
Mag. Manja Moder

<b>1.3</b>	<b>Vodenje poslov nadzora</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Odgovornosti; organizacija; osebje; upravljanje osebja; disciplina; motivacija zaposlenih; razvoj kadrov; planiranje in razporeditev aktivnosti; vodenje zapisnika</i></li> <li>• <i>Uvod v ISO/IEC 17020</i></li> <li>• <i>Uporaba ISO/IEC 17020</i></li> </ul>

## 1.3.1. Uvod

S prehodom na tržno gospodarstvo postaja naročnik (kupec), najvažnejši faktor in zato mora organizacija, ki ponuja izdelke ali storitve poznati želje, potrebe in zahteve kupca.

Najbolj pogosti in najbolj pomembne zahteve kupcev so:

- sprejemljiva cena
- hitrost izvedbe
- kvaliteta proizvoda/storitve

Kvaliteta je nivo, na katerem skupek tipičnih lastnosti izpolnjuje zahteve.

Nivo = kategorija ali rang dodeljen različnimi zahtevami kakovosti za proizvode, procese ali sisteme z enako funkcionalno uporabo.

Zahteva = potreba ali pričakovanje, ki je izraženo, je samoumevno oz. je obvezno.

### **(ISO 9000: 2015)**

Do nedavnega se je kakovost podjetij/laboratorijev ocenjevala glede na uspešnost v preteklosti oziroma na podlagi nedavnih rezultatov in ugotovitev. V večini primerov taka ocena kupcu ni dala dovolj zaupanja, kar bi lahko vplivalo na prihodnja naročila izdelkov ali storitev. Neuspeh nekaterih podjetij/laboratorijev pri doseganju kakovostnih izdelkov ali točnih in zanesljivih rezultatov v preteklosti je pogosto povzročil neuporabnost izdelka. Za proizvajalca neuporaben izdelek vodi v izgubo posla. Danes si kupec izdelka/storitve tega ne more in ne sme privoščiti. Takšni dogodki so privedli do uvedbe standardov kakovosti v mnogih državah. Mnogi od njih so bili v Evropi sprejeti kot evropski standardi (EN), nekatere pa je Mednarodna organizacija za standardizacijo sprejela kot mednarodne standarde (ISO).

**Enaki pogoji kakovosti za vse ⇒ standardi kakovosti**

#### **Standardi kakovosti:**

- ISO Guide 35
- serija ISO 9000 (ISO 9001)
- serija ISO 14000 (ISO 14001)
- serija ISO/IEC 17000 (17020,17024,17025...)



#### **Skupni cilji standarda kakovosti:**

zaupanje in zadovoljstvo kupca  
(naročnika)

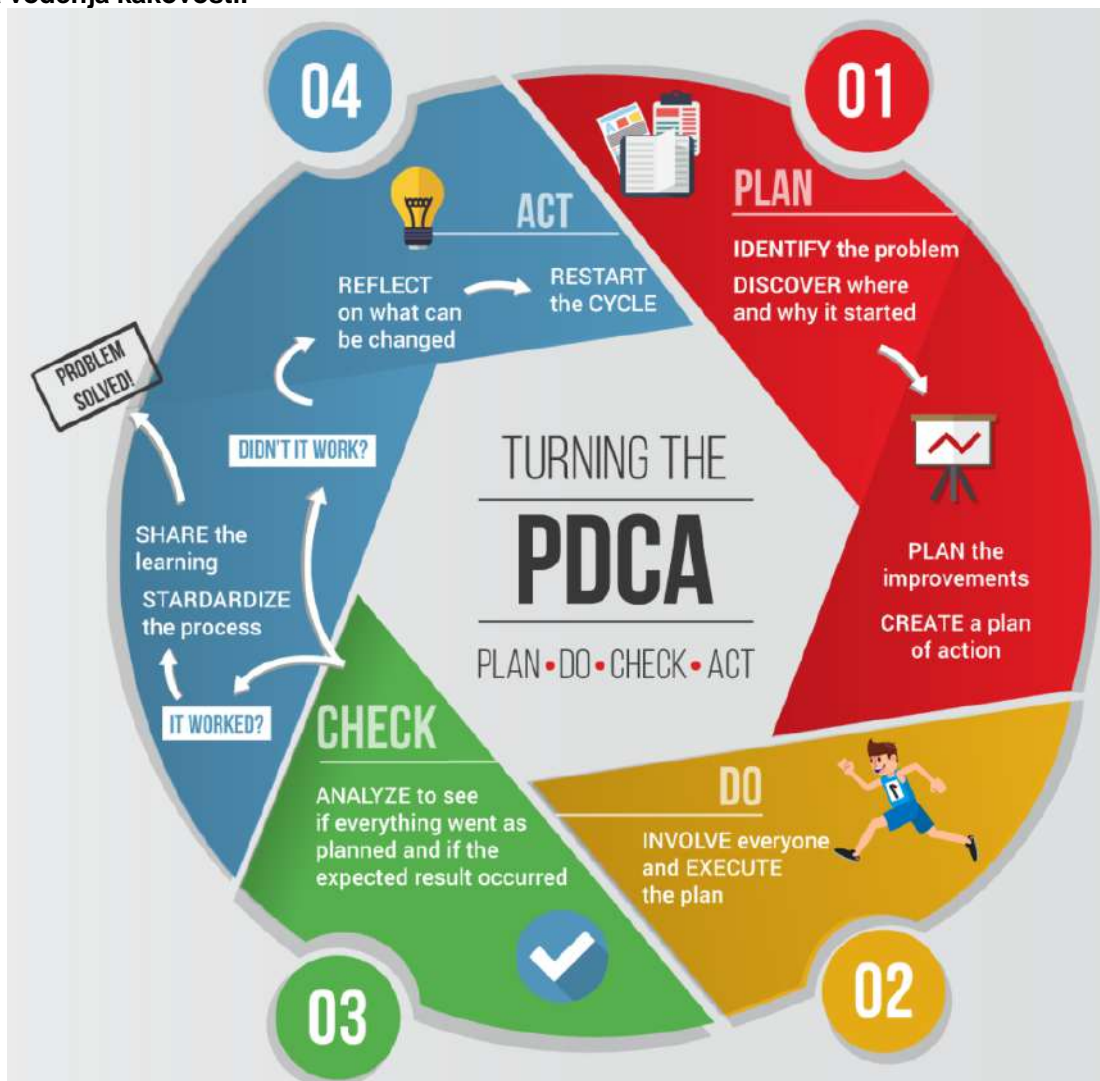


**Osnova vseh standardov kakovosti:**

- vodenje kakovosti
- zagotavljanje kakovosti
- zadovoljevanje kakovosti

**Vodenje kakovosti:**

"koordinirane aktivnosti za usmerjanje in zagotavljanje organizacije za sistem kakovosti" (ISO 9000:2015)

**Osnova vodenja kakovosti:**

Slika 1.3.1. "PDCA" krog (<https://www.siteware.co/en/methodologies/what-is-the-pdca-cycle/>)

**Principi popolnega upravljanja kakovosti (TQM- Total Quality Management):**

- 1 - Osredotočenost na kupce
- 2 - Liderstvo/vodenje
- 3 - Vključenost zaposlenih
- 4 - Procesni pristop
- 5 - Sistemski pristop
- 6 - Nenehno izboljšanje
- 7 - Sprejemanje odločitev zasnovanih na dejstvih
- 8 - Vzajemno koristni odnosi z dobavitelji

**Princip 1: Osredotočenost na kupce**

Organizacija je odvisna od svojih kupcev in je zato potrebno razumeti njihove trenutne in bodoče potrebe, ugoditi zahtevam kupcev in poskusiti preseči pričakovanja kupcev.

**Princip 2: Liderstvo/vodenje**

Vodenje/vodje vzpostavijo enotnost namena in usmeritve organizacije. Ustvariti in vzdrževati morajo notranje okolje (klimo), v katerem so zaposleni lahko v celoti vključeni v doseganje ciljev organizacije.

**Princip 3: Vključenost zaposlenih**

Zaposleni na vseh nivojih so smisel organizacije in njihova polna vključenost omogoča, da se njihove veščine uporabijo v dobro organizacije.

**Princip 4: Procesni pristop**

Želeni rezultat se doseže bolj uspešno, če se z aktivnostmi in s povezanimi resursi upravlja kot s procesom.

**Princip 5: Sistemski pristop**

Identifikacija, razumevanje in vodenje medsebojno povezanih procesov kot sistema omogoča učinkovito in uspešno doseganje ciljev organizacije.

**Princip 6: Nenehne izboljšave**

Nenehne izboljšave celotnega delovanja organizacije morajo biti njen stalni cilj.

**Princip 7: Sprejemanje odločitev, ki so zasnovane na dokazih**

Učinkovite rešitve so zasnovane na analizi podatkov in informacij.

**Princip 8: Vzajemno koristni odnosi z dobavitelji**

Organizacija in njeni dobavitelji so medsebojno odvisni in zato vzajemno koristni odnosi povečujejo sposobnost obeh strani, da ustvarjajo vrednote.

**Zagotavljanje kakovosti (1):**

„Del vodenja kakovosti usmerjen na graditev zaupanja, da se bodo zahteve kakovosti izpolnile.“

(ISO 9000: 2015)

**Zagotavljanje kakovosti (2):**

- pokriva vse načrtovane in sistematske aktivnosti, ki jih izvajamo v sklopu sistema kakovosti s namenom doseganja razumnega zaupanja, da bo določeni subjekt (izdelek / storitev) zadostil zahtevam kakovosti
- namen zagotavljanje kakovosti:
  - notranje zagotavljanje kakovosti - zagotavlja kakovost znotraj organizacije in daje vodstvu in zaposlenim zaupanje v njihov izdelek / storitev
  - zunanje zagotavljanje kakovosti - zagotavlja kakovost v pogodbenih razmerjih in daje zaupanje kupcem (naročnikom)

**Nekateri primeri zagotavljanja kakovosti:**

- podjetje ali laboratorij ima vodstveno in tehnično osebje s pooblastili in viri potrebnimi za izvedbo svojih dolžnosti in prepoznavanje odstopanj od sistema kakovosti
- podjetje ali laboratorij ima vzpostavljen sistem kakovosti in dokumentirane politike, sisteme, programe, postopke in navodila
- uporablja se le oprema, ki je pravilno preverjena / kalibrirana
- uporabljajo se ustrezne metode in postopki za izvedbo preiskav
- določene posle in naloge izvaja ustrezno kvalificirano osebje
- zagotovljeno je, da ni vplivov okolice na proizvod ali rezultate meritev

**Serija ISO 9000:**

- V preteklosti je bilo več kot 20 standardov vključeno v serijo
- Končni cilj ⇒ štiri osnovni standardi:
  - ISO 9000 Sistemi vodenja kakovosti - Osnove in izrazi (2015)
  - ISO 9001 Sistemi vodenja kakovosti - Zahteve (2015)
  - ISO 9004 Vodstvo za trajno uspešnost organizacije - Pristop vodenju kakovosti (2009)

ISO 19011 Smernice za preverjanje sistema vodenja kakovosti in / ali sistema vodenja okolja (2018)

- Standardi sistema kakovosti:
  - splošni (ISO 9000) - osnova
  - industrijski usmerjeni (QS 9000 (avtomobilska industrija), AQAP (NATO), AS 9000 (zrakoplovstvo), TL 9000 (telekomunikacije)) - specifično za industrijo

### 1.3.2 Serija standardov ISO/IEC 17000:

Najbolj uporabljeni/razlagani standardi:

ISO/IEC 17000 Preverjanje usklajenosti - Pojmi in splošni principi

ISO/IEC 17011 Preverjanje usklajenosti - Splošne zahteve za akreditacijske organe, ki akreditirajo organizacije za oceno usklajenosti

ISO/IEC 17020 Splošni kriteriji za delo različnih kontrolnih organov

ISO/IEC 17021 Preverjanje usklajenosti - Zahteve za organizacije, ki preverjajo in certificirajo sisteme vodenja

ISO/IEC 17024 Preverjanje usklajenosti – Splošne zahteve za organizacije na področju certifikacije osebja

ISO/IEC 17025 Splošne zahteve za kompetentnost laboratorijev za preiskave in kalibracijo

ISO/IEC 17065 Preverjanje usklajenosti - Zahteve za organizacije, ki certificirajo proizvode, procese in storitve

**Organizacije/laboratorije so akreditirane, če dokažejo, da delajo v skladu s zahtevami določenega standarda (npr. ISO/IEC 17020, ISO/IEC 17024, ISO/IEC 17025, ISO/IEC 17065).**

**AKREDITACIJA** je službeno priznavanje sposobnosti za izvajanje določenih aktivnosti.

Za doseg tega priznanja mora organizacija / laboratorij izpolniti dva pogoja:

- mora imeti vzpostavljen sistem kakovosti,
- mora pokazati svojo tehnično sposobnost za izvajanje akreditirane aktivnosti.

Odločitev o akreditaciji je prostovoljna in dostopna vsakemu prijavitelju. Odločitev o obsegu akreditacije je tudi prostovoljna, glede na strokovne in tehnične sposobnosti ter poslovne odločitve. Akreditacija je predpisana za izvajanje preiskav (kontrol) na reguliranem področju in naročnik/kupec lahko zahteva, da ima organizacija/laboratorij akreditacijo. Zahteva za laboratorijsko akreditacijo je predpisana v vedno več novih predpisih (npr. Odlok o ravnanju z odpadki, Odlok o sežiganju odpadkov, Odlok o kakovosti tekočega goriva, Odlok o začetnih meritvah in obratovalnem spremljanju odpadnih voda ter pogoji za njegovo izvajanje).

Pridobitev akreditacije je povezana z določenimi stroški: plačilom prijavnine, pred-ocenjevalnim obiskom, preverjevalnim in nadzornim obiskom ter letnimi pristojbinami.

#### Kaj organizacija / laboratorij dobi z akreditacijo?

- pregled / preverba strokovne kompetentnosti in sistema vodenja kakovosti
- poboljšanje kakovosti (laboratorijskih) storitev in načina poslovanja (laboratorij)
- zaupanje v rezultate preiskav (kalibracija, kontrola)
- strankam daje zaupanje v delo akreditacijskega organa in preprečuje preverjanja s strani naročnika pri odločanju o izbiri izvajalcev laboratorijskih storitev (Različni naročniki imajo različne zahteve. Akreditirani laboratoriji morajo izpolnjevati enake zahteve standardov, ki jih naročnik pozna.)
- omogoča mednarodno priznavanje poročil o preiskavi, ker morajo akreditirani laboratoriji izpolnjevati enake zahteve po celem svetu
- omogoča trgu, da zaupa usposobljenosti akreditiranih organov v primerjavi s tistimi, ki niso akreditirani
- zmanjšanje stroškov (Kako? Učinkovit sistem kakovosti vodi in zagotavlja kakovost preiskav → ni potrebe za ponovnimi preiskavami, kalibracijo, kar običajno predstavlja neželene dodatne stroške → zmanjšuje nepotrebno ponavljanje postopkov.)

## EN ISO/IEC 17020:2012

### Splošna merila za delovanje različnih organov, ki izvajajo kontrolo (ISO/IEC 17020:2012)

#### Uvod / Obseg

Kontrolni organi v imenu zasebnih naročnikov, njihovih matičnih organizacij ali javnih organov izvajajo vrednotenja, da pridobijo informacije o skladnosti predmeta kontrole s predpisi, standardi, specifikacijami, kontrolnimi shemami ali pogodbami. Kontrolni parametri zajemajo vprašanja v zvezi s količino, kakovostjo, varnostjo, primernostjo za namen in stalno izpolnjevanje varnostnih zahtev za naprave ali sisteme v obratovanju.

Standard zajema dejavnosti kontrolnih organov, katerih delo lahko vključuje pregledovanje materialov, izdelkov, inštalacij, naprav, procesov, delovnih postopkov ali storitev ter ugotavljanje njihove skladnosti z zahtevami ter poročanje o rezultatih teh dejavnosti naročnikom in po potrebi tudi državnim organom. Kontrola se lahko uporablja za vse faze v življenjski dobi izdelka, vključno z načrtovanjem. Takšno delo običajno zahteva uporabo strokovne presoje med izvajanjem kontrole, zlasti pri ocenjevanju izpolnjevanja splošnih zahtev.

Številne vrste kontrole vsebujejo strokovno oceno za ugotavljanje sprejemljivosti glede na splošne zahteve, kar pomeni, da mora biti kontrolni organ za opravljanje te naloge ustrezno kompetenten.

Razvrstitev kontrolnih organov v tipe A, B ali C je v bistvu merilo njihove neodvisnosti. Očitna neodvisnost kontrolnega organa lahko okrepi zaupanje naročnika v sposobnost organa za nepristransko izvajanje kontrole.

Testiranje, ki ga izvaja kontrolni organ, lahko razvrstimo v eno od dveh kategorij, funkcionalno in analitično. Funkcionalno testiranje, npr. testiranje obremenjenih žerjavov je dejavnost kontrolnega organa in zato spada v področje uporabe standarda ISO/IEC 17020. Analitično testiranje (ki ga je treba opraviti v laboratoriju v nadzorovanih pogojih okolja in z uporabo natančne opreme ali preskusnih postopkov) je laboratorijska dejavnost, in zato ne spada v področje uporabe ISO / IEC 17020. Kontrolni organi, ki želijo v okviru kontrole opraviti takšne laboratorijske preiskave, morajo to storiti v skladu z ISO/IEC 17025.

#### 1. Področje uporabe

#### 2. Povezava s standardi

#### 3. Izrazi in definicije

- **kontrola / izdelek / proces / storitev / kontrolni organ / kontrolni sistem / kontrolna shema / nepristranskost / prizivi / pritožbe**
- **kontrola:** pregled izdelka, procesa, storitve ali inštalacije ali njihovega projekta in ugotavljanje njegove usklajenosti z določenimi zahtevami ali na podlagi strokovne ocene, s splošnimi zahtevami.
  - definicija kontrole se ujema z definicijo preiskave in certificiranja izdelkov, kjer imajo te dejavnosti skupne značilnosti. Pomembna razlika pa je v tem, da številne vrste kontrol vključujejo strokovno oceno za ugotavljanje sprejemljivosti glede na splošne zahteve, zato mora kontrolni organ dokazati, da ima potrebne sposobnosti za opravljanje nalog.
  - obseg ISO/IEC 17020 ne pokriva certifikacije sistema za zagotavljanje kakovosti. Možno je, da bo potrebno da kontrolni organ pregleda določene aspekte sistema zagotavljanja kakovosti ali drugih dokumentiranih sistemov z namenom potrditve rezultatov inšpekcije, npr. preverjanje procesa.
  - na splošno se kontrola nanaša na direktno ugotavljanje usklajenosti s specifičnimi ali splošnimi zahtevami posameznih - pogosto kompleksnih ali kritičnih - proizvodov ali majhnih serij proizvodov, dočim se certifikacija proizvoda večinoma nanaša na indirektno ugotavljanje usklajenosti proizvodov narejenih v dolgih serijah s posebnimi zahtevami. Dokler je kontrola proizvoda med delom (kontrola v eksploataciji) že vzpostavljena disciplina, se certifikacija proizvoda po (ISO/IEC Guide 65) v proizvodnji ne izvaja.

#### 4. Splošne zahteve

##### 4.1 Nepristranskost in neodvisnost

Kontrolni organ mora biti neodvisen v toliki meri, kot je to potrebno glede na okoliščine, v katerih ponuja svoje storitve. Glede na te okoliščine mora izpolnjevati minimalne zahteve, kot je to navedeno v Dodatku A in povzete v nadaljevanju:

A) Kontrolni organ, ki izvaja kontrolo kot tretja stran, mora izpolnjevati zahteve za **kontrolne organe tipa A** navedene v točki A.1 (kontrolni organ kot tretja stran).

B) Kontrolno telo, ki izvaja nadzor kot prva stran, druga stran ali oboje in je ločen in prepoznaven del organizacije, vključen v načrtovanje, proizvodnjo, dobavo, montažo, uporabo ali vzdrževanje predmetov, ki jih kontrolira in ki opravlja kontrolo samo za svojo matično organizacijo (organ notranje kontrole), mora izpolnjevati zahteve za **kontrolne organe tipa B** iz točke A.2.

C) Kontrolni organ, ki izvaja nadzor kot prva stran, druga stran ali oboje in je prepoznaven, vendar ne nujno ločen del organizacije, ki se ukvarja z načrtovanjem, proizvodnjo, dobavo, montažo, uporabo ali vzdrževanje predmetov, ki jih kontrolira in opravlja kontrolo za svojo matično organizacijo ali za druge stranke ali za oboje, mora izpolnjevati zahteve za **kontrolne organe tipa C** iz točke A.3

#### 4.2 Zaupanje

Kontrolni organ mora prevzeti odgovornost za upravljanje z vsemi informacijami pridobljenim ali ustvarjenim med izvedbo kontrolnih aktivnosti.

### 5. Strukturne zahteve

(5.1 Administrativne zahteve / 5.2 Organizacija in vodenje)

### 6. Zahteve po resursih

(6.1 Osebjem )

Zahteve za osebje so naslednje:

- odgovornost osebja v kontrolnem organu
- zaupanje in neodvisnost
- naloge namestnika odgovorne osebe
- popis opravil vseh zaposlenih
- potrditev kompetenc
- definiranje zadostnega števila oseb
- izobraževanje, usposabljanje, izkušnje osebja
- dokumentirani zapisi in postopki
- nadzor nad osebjem in vodenje zapisa
- opazovanje terenskega osebja
- nadzor osebja podizvajalca del

(6.2 Prostori in oprema / 6.3 Podizvajalci)

Zahteve glede opreme in prostorov so:

- definiranje zahtev za pristop prostorom
- ustrezno vzdrževanje prostorov in opreme
- označevanje opreme, ustreznost navodila za uporabo
- vzdrževanje časovnega intervala kalibracije, program kalibracije
- nadzor referenčnih standardov
- interna kalibracija / validacija opreme
- ustreznost programske opreme
- nedvoumno označena poškodovana/pokvarjena oprema
- vidne oznake statusa kalibracije opreme
- zapisniki in navodila

### 7. Zahteve procesa

(7.1 Kontrolne metode in postopki / 7.2 Rokovanje s kontrolnimi predmeti in vzorci / 7.3 Kontrolni zapisi)

7.4 Poročila in potrdila / certifikati kontrole /

Zahteve za poročila in certifikate kontrole:

- izpolnjevanje minimalnih zahtev glede vsebine poročila (kdo, ID številka, datum, obseg aktivnosti, oprema, rezultati, ugotovitve o usklajenosti, vključenost potencialnega osebja podizvajalca, podpisi)
- usklajenost in vzajemno sklicevanje na poročila in certifikate kontrole

(7.5 Prizivi in pritožbe / 7.6 Postopek za prizive in pritožbe)



## 8. Zahteve za sisteme vodenja

(8.1 Opcija / 8.1.1 Opcija A / 8.1.2 Opcija B (več ima ISO 9001))

Zahteve za vzdrževanje sistema kakovosti:

- sistemski dokumenti (poslovnik kakovosti, politika kakovosti, definiranje odgovornosti)
- nadzor nad dokumenti
- nadzor nad zapisniki in poročili
- pregled sistema
- interni nadzor (auditi)
- korektivni ukrepi
- preventivni ukrepi
- nadzor nad prizivi in pritožbami

8.2 Dokumentacija sistema vodenja / 8.3 Vodenje dokumentacije / 8.4 Vodenje zapisov / 8.5 Pregled vodstva / 8.6 Interne presoje / 8.7 Korektivni ukrepi / 8.8 Preventivni ukrepi)

### DODATEK A – zahteve za neodvisnost kontrolnega osebja

**A.1 - kontrolni organ tip A,**

**A.2 - kontrolni organ tip B,**

**A.3 - kontrolni organ tip C.**

Področja akreditiranih kontrolnih organov v SLO v skladu z EN ISO / IEC 17020 (145 akreditiranih organov):

- naftna tekoča goriva, čvrsta goriva (vzorčenje in evaluacija rezultata kemičnih analiz)
- tehtanje, kategorizacija mesa v klavnicah
- oprema za kontrolo eksplozij, Ex oprema
- kontrola manometrov, izpušnih plinov, tehnic, uteži, dolžine,
- kontrola tahografov, merilcev pretoka,
- kontrola števecv za ogrevanje in vodnih števecv
- kontrola kolektorja
- kontrola opreme za tehnične pregled vozil (zavore)
- kontrola števecv za plin
- kontrola dvigal
- kontrola merilcev hitrosti v cestnem prometu
- kontrola vozil za ADR transport
- kontrola RID transportnih vozil
- kontrola opreme pod tlakom
- upravljanje s premično opremo pod tlakom
- kontrola ukrepov za preprečevanje puščanja nevarnih tekočin iz rezervoarjev
- kontrola tesnosti
- kontrola električne prebojnosti izolacije
- kontrola usklajenosti vozil (homologacija)
- kontrola taksimetrov
- kontrola števecv električne energije in merilnih transformatorjev
- kontrola sprejemljivosti in primernosti sežiganja nevarnega odpada
- kontrola sprejemljivosti odlaganja odpada
- neporušne preiskave zvarnih spojev, ulitkov in ploščatih jeklenih izdelkov

### 1.3.3. ZAKLJUČEK

- kakovost je pomembna lastnost na vseh področjih dela in življenja
- ni čarobne formule za uspešno izvedbo sistema vodenja kakovosti
- za uspešno uvedbo in efikasen sistem vodenja kakovosti vgradimo sled aktivnosti kroga „PDCA“ na vseh področjih poslovanja/dela in sledimo principe vodenja kakovosti
- funkcionalen in učinkovit sistem vodenja kakovosti zagotavlja zaupanje v proizvod/storitev
- z zagotavljanjem kakovosti se organizacija (laboratorij) bori za:
  - vzdrževanje in povečanje zaupanja kupcev (naročnikov),
  - širjenje dejavnosti na trgu - pridobitev novih poslov, kupcev (naročnikov),
  - pridobitev certifikata in/ali akreditacije je lahko pogoj za izvedbo del za določenega kupca (naročnika), oz. lahko predstavlja konkurenčno prednost,
  - vzdrževanje že pridobljenega certifikata ali akreditacije.



# PRINCIPI ZAGOTAVLJANJE KAKOVOSTI V VARILSTVU

Pripravili: Dr. Arpad Köveš  
Matej Šandor

<b>1.4</b>	<b>Principi zagotavljanje kakovosti v varilstvu</b>
	Koncept QA in QC (analiza in nenehne izboljšave) Poslovník zagotavljanja kakovosti varilskih del Plan kakovosti (ISO 10005) Auditi proizvajalca (ISO 19011) Ključni elementi za QA/QC, osebje in oprema, vzdrževanje, nadzor Uvedba standardov v proizvodno okolje (ISO 9001, ISO 3834) Zahtevani nivo QA glede na specifikacijo izdelka Tveganje in posledice za napako Odgovornost za izdelek Vloga kontrole kakovosti in nadzora QA

## 1. Koncept zagotavljanja kakovosti (QA) in kontrole kakovosti (QC)

Uvedba kakovosti in njeno vzdrževanje je predpogoj za obstoj in rast podjetij, pa naj bo njena dejavnost proizvodna ali storitvena.

*Kakovost & kvaliteta: Katero besedo uporabiti, je odvisno od namena. Govorimo o kvalitetnih izdelkih, se pravi stvareh. Medtem pa govorimo o skrbi za kakovost, našemu načinu delovanja, ki mora biti podrejeno kakovosti, da naredimo kvaliteten izdelek.*

Proizvajati je potrebno izdelke in storitve, ki izpolnjujejo ali presegajo pričakovanja naročnikov oz. kupcev ob ustrezni stroškovni učinkovitosti.

Organizacija mora doseči takšno kakovost pri proizvodnji izdelkov ali nujenju storitev, da bo trajno izpolnjevala zahteve naročnika oz. kupca.

Osnova vseh standardov kakovosti je:

- Vodenje kakovosti
- Zagotavljanje kakovosti
- Obvladovanje kakovosti

### 1.1 Za razumevanje vodenja kakovosti je potrebno v prvi vrsti definirati pojem kakovost

Pod tem razumemo „koordinirane aktivnosti za usmerjanje in obvladovanja organizacije v smislu kakovosti“.

Kakovost izdelkov in storitev je že od začetka človeštva v središču pozornosti. Ponuditi odjemalcem neoporečno blago ali storitev je bil že od nekdaj prednostni cilj dobaviteljev, prevoznikov in ostalih ponudnikov (Piskar in Dolinšek 2006, 33).

O univerzalni definiciji kakovosti se ne morejo poenotiti niti strokovnjaki za kakovost niti v poslovnem okolju organizacij. Zato je pomembno, da razumemo različne perspektive, s katere lahko gledamo na kakovost. Le tako bomo popolnoma upoštevali njeno vlogo na različnih ravneh določene organizacije. Kakovost pomeni zelo različne stvari za različne ljudi, običajno je povezana s ceno ali stroški. V tehničnem smislu ima lahko dvojni pomen: nanaša se na karakteristike izdelka ali storitve, ki oblikujejo potrebne sposobnosti za zadovoljevanje naprej določenih ali pričakovanih potreb odjemalca ali pa se kakovost nanaša na izdelek ali storitev, ki je brez napak (Piskar in Dolinšek 2006, 35-36).

Standard kakovosti ISO definira kakovost kot stopnjo, v kateri skupek svojevrstnih karakteristik izpolnjuje zahteve odjemalca. W. Edwards Deming je definiral kakovost kot brezhibnost, Joseph M. Juran jo razume kot ustreznost namenu, Philip Crosby kot usklajenost z zahtevami, Feigenbaum pa definicijo kakovosti prepušča odjemalcem (Piskar in Dolinšek 2006, 36).

Piskar in Dolinšek (2006, 41-42) s pomočjo sinteze različnih opredelitev, prideta do naslednjih spoznanj:

- Kakovosten izdelek oziroma storitev je tisto, kar ustreza zahtevam odjemalcev. Mogoče je, da odjemalec že prej določi tehnične specifikacije in jih je treba natančno upoštevati, mogoče pa je, da so tehnične specifikacije že določene in jih pozneje prilagodimo odjemalcu.
- Ocena kakovosti izdelka oziroma storitve je pogosto odvisna od cene in stroškov, ki nastanejo med uporabo izdelka oziroma opravljanjem storitve; vključujejo ljudi, orodja in čas.
- Kakovost izdelka oziroma storitve se izmeri tako, da izmerimo dejavnike, ki vplivajo na to. Ti so odvisni drug od drugega. Marsikateri je izredno težko merljiv. Pri izbiri izdelka oziroma storitve smo se prisiljeni odpovedati nekaterim dejavnikom na račun drugih. Tako imenovanim kritičnim dejavnikom se ne moremo odpovedati. Oceno kakovosti sestavimo iz ocen dejavnikov.
- Obstaja več platí kakovosti, ki si jih lahko predstavljamo kot poglede iz različnih zornih kotov na eno in isto stvar.
- Kakovostni izdelki oziroma storitve nimajo škodljivega vpliva na naravno in družbeno okolje.
- Kakovosten proizvod je posledica razvojnega procesa le-tega, kakovostnih materialov, iz katerih je izdelan, in kakovostnega procesa izdelave.
- Odlična storitev zvišuje lojalnost odjemalcev.
- Kakovost je prihranek zaradi znižanja stroškov, nastalih kot posledica neustrezne kakovosti.
- Odlična storitev je najboljši način za pridobitev konkurenčne prednosti in uspešnosti.

### Načela vodenja kakovosti

Kakovost že dolgo ni več le tehnična kategorija, razumljena kot skladnost izdelka z zahtevami. Z razumevanjem kakovosti kot zadovoljstva kupcev, še več, kot zadovoljstva vseh zainteresiranih strani, tako v organizaciji, pri poslu, kot v družbi, družini ..., kakovost vse bolj povezujemo in doživljamo v povezavi s človeškimi potrebami, hotenji in pričakovanji. Pričakovanja pa so odraz vrednot, predpisov, standardov,.... Čeprav danes kakovost in odličnost še vedno razumemo predvsem kot sredstvo za zagotavljanje dolgoročnega stabilnega razvoja organizacij, verjamemo, da ju bomo v prihodnje sprejemali kot skupno splošno vrednoto (Novak 2001, 12).

Novak (2001, 12-15) navaja osem načel vodenja kakovosti, katere so po skrbni analizi izkušenj vodilnih svetovnih organizacij oblikovali snovalci standardov.

Načelo osredotočenosti na odjemalce pravi, da je organizacija odvisna od svojih odjemalcev, zato mora razumeti njihove sedanje in prihodnje potrebe, izpolnjevati njihove zahteve in si prizadevati za preseganje njihovih pričakovanj.

Načelo voditeljstva pravi, da voditelji vzpostavljajo enotnost namena in delovanja organizacije. Oni so tisti, ki odločilno vplivajo na ustvarjanje in ohranjanje notranjih odnosov, v katerih se zaposleni čutijo polno vključeni v aktivnosti za doseganje ciljev organizacije.

Načelo vključenosti zaposlenih, zaposlene na vseh ravneh vidi kot jedro organizacije, zato njihova polna vključenost omogoča, da se njihove sposobnosti kar najbolje uporabljajo v korist organizacije.

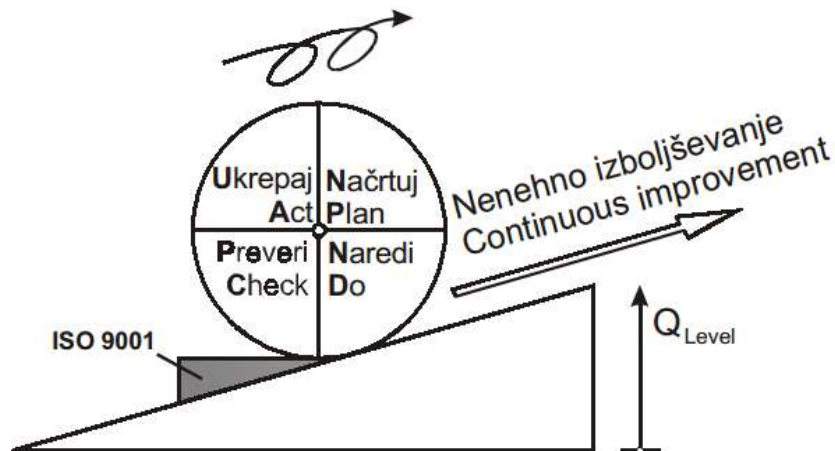
Načelo procesnega pristopa pravi, da želene rezultate uspešneje dosegamo, če aktivnosti in z njimi povezane vire obvladujemo kot proces.



Slika 1.4.1: Shema procesa sistema vodenja kakovosti

Načelo systemskega pristopa k vodenju pravi, da prepoznavanje, razumevanje in vodenje medsebojno povezanih procesov kot sistema omogoča večjo uspešnost organizacij pri doseganju zastavljenih ciljev ter večjo učinkovitost.

Načelo nenehnega izboljševanja postavlja nenehno izboljševanje kot stalen cilj vsake organizacije.



Slika 1.4.2: Demingov krog kakovosti

Načelo odločanja na podlagi dejstev pravi, da učinkovite odločitve temeljijo na analizi podatkov in drugih informacij.

Načelo vzajemno koristnih odnosov z dobavitelji pravi, da vzajemno koristni odnosi povečujejo sposobnost organizacije in njenih dobaviteljev za ustvarjanje vrednosti.

## 1.2 Zagotavljanje kakovosti

Problematiko kakovosti ni mogoče zadovoljivo reševati samo s kontrolo že dokončanih izdelkov. Glavno skrb v zvezi s kakovostjo je treba posvetiti preprečevanju, torej, da ne pride do neustreznih izdelkov. Zagotavljanje kakovosti torej daje poudarek preprečevanju nastanka problemov v zvezi s kakovostjo (*to so torej predhodne aktivnosti v podjetju, ki bodo v bodočnosti zagotavljale višjo kakovost*). V tem kontekstu je potrebno odgovornost za kakovost izdelka razdeliti med vse oddelke, funkcije oz. med vse zaposlene v organizaciji.

## 1.3 Obvladovanje kakovosti

Ishikawa (1987, 48) obvladovanje kakovosti definira kot zmožnost razviti, načrtovati, proizvajati in servisirati kakovosten proizvod, ki je najbolj ekonomičen, najbolj uporaben ter vedno zadovoljuje uporabnika.

Z obvladovanjem kakovosti se moramo ukvarjati, da bi proizvajali kakovostne proizvode, ki bodo zadovoljili potrebe odjemalcev - naročnikov. Ker se zahteve naročnikov razlikujejo in hitro spreminjajo, ni dovolj, da zadovoljimo samo nacionalne standarde ali specifikacije. Treba je proučiti navade in zahteve naročnikov, ki prihajajo tudi iz tujih okolij ter jih upoštevati pri načrtovanju, proizvodnji in prodajanju proizvodov.

Ne glede na to, kako visoka je kakovost, proizvod ne bo zadovoljil kupca, če je precenjen; z drugimi besedami, ne moremo določiti kakovosti brez upoštevanja cene. To je pomembno pri planiranju in načrtovanju kakovosti. Ne more biti obvladovanje kakovosti, če ne upoštevamo cene, dobička in obvladovanja stroškov. Isto lahko rečemo o obsegu proizvodnje. Če tovarna ne more delovati v skladu s številkami glede obsega proizvodnje, količine izmeta ali števila potrebnih popravil ali dodelav, ki so potrebne, tudi ne bo sposobna dognati odstotka neustreznih delov in stopnje dodelav. Brez tega se ne more lotiti obvladovanja kakovosti (Ishikawa 1987, 49).

## 1.4 Stroški kakovosti

Sistem managementa kakovosti dokazuje svojo učinkovitost tudi s prispevkom k uspešnosti organizacije. Uspešnost velikega deleža poslovnih in proizvodnih procesov najpogosteje merimo z njihovo ekonomsko uspešnostjo, ki je običajno izražena s finančnimi kazalci. Podobno, kot je potrebno poznati stroške, npr. proizvodnje, razvoja, prodaje ipd., je treba poznati tudi stroške, povezane s kakovostjo. Organizacija naj, tako kot ostale stroške poslovanja, v načrt poslovne politike vključi tudi planiranje, merjenje in analiziranje stroškov kakovosti s ciljem doseganja predvidene kakovosti ob predvidenih stroških (Marolt in Gomišček 2005, 152).

## 1.5 Makro delitev stroškov kakovosti

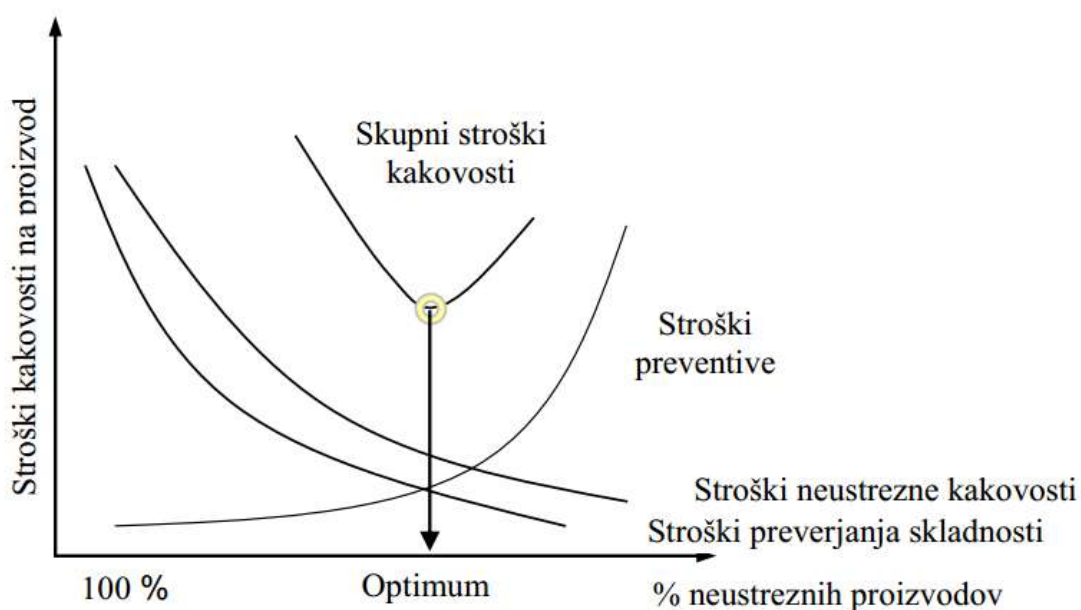
Poznane so različne razdelitve stroškov kakovosti: makro in mikro stroški, direktni in indirektni stroški, planirani in dejanski stroški in podobno. Najpogosteje je omenjen pristop k stroškom kakovosti na makro in mikro osnovi. Makro delitev razdeli vse stroške, ki so kakorkoli povezani s kakovostjo, v tri glavne kategorije, in sicer:

- A – stroški preventive,
- B – stroški preverjanja skladnosti,
- C – stroški neustrezne kakovosti.

**Stroški preventive:** to so stroški, ki imajo namen preprečiti realizacijo neustreznega izdelka ali storitve. Lahko bi jih imenovali tudi stroški investiranja v kakovost in nastanejo še preden pričnemo s serijsko proizvodnjo proizvoda. Stroški preventive nastajajo na vseh področjih organizacije, ki sodelujejo pri razvoju proizvoda in definiranju procesov proizvodnje.

**Stroški preverjanja skladnosti:** to so stroški, povezani predvsem s preverjanjem skladnosti proizvodov in materialov, ugotavljanjem sposobnosti proizvodnih sredstev ter uporabo merilne in preskusne opreme.

**Stroški neustrezne kakovosti:** ti stroški nastanejo, kadar proizvodi niso v skladu s predpisanimi zahtevami, specifikacijami in standardi oziroma jih ne izpolnjujejo. Vsota stroškov preventive (A) in preverjanja skladnosti (B) pogosto tvori tako imenovane stroške doseganja in nadzora kakovosti. Medtem ko so stroški zaradi neustrezne kakovosti (C) pogosto imenovani kar stroški nekakovosti. Vse tri glavne kategorije stroškov kakovosti so si v določenem medsebojnem odnosu, ki ga prikazuje slika 1.4.3 (Božič 2009, 20-21).



Slika 1.4.3: Odnos med glavnimi kategorijami makro stroškov

Stroški preverjanja skladnosti se povečujejo, ko se povečujejo stroški neustrezne kakovosti. Povečanje stroškov preventive vpliva tako na zmanjšanje stroškov preverjanja skladnosti kot tudi na zmanjšanje stroškov neustrezne kakovosti. Večanje stroškov preventive je racionalno samo dotlej, dokler skupna vsota vseh treh kategorij stroškov pada, to je do točke, kjer skupni stroški dosežejo minimum. Ta točka predstavlja optimum, preko katerega običajno ni racionalno povečevati stroškov preventive, saj se bodo s tem povečali skupni stroški vseh treh kategorij makro stroškov.

V okviru managementa celovite kakovosti (TQM) pa se je razvil nov pristop do makro stroškov, ki zagovarja vlaganje v preventivne dejavnosti in dejavnosti preverjanja skladnosti tako dolgo, da dosežemo nivo kakovosti, ko stroškov neustrezne kakovosti ni več.

## 1.6 Mikro ali operativni stroški kakovosti

Če želi organizacija stroške kakovosti zmanjšati, mora k njim pristopiti tudi na operativnem nivoju. To pomeni, da jih mora identificirati in kvantificirati po povzročiteljih, vzrokih in mestih nastanka. Takšen prikaz stroškov v veliki meri pripomore k odkrivanju šibkih točk v poslovanju organizacije in pripomore k racionalnemu odločanju o potrebnih izboljšavah. Denar, prihranjen v povezavi s kakovostjo, je enako vreden kot denar, ki ga organizacija pridobi ali prihrani na kakšen drugi način ali na drugem področju (Marolt in Gomišček 2005, 159).

## 2 Poslovník zagotavljanja kakovosti varilskih del

### Povzetek:

V poslovníku zagotovitve kakovosti varilskih del so zbrane naloge tehničnega vodstva, ki jih je potrebno upoštevati pri varilski proizvodnji. Uporabniki standarda EN ISO 3834 pripravijo poslovník kakovosti, v katerem opišejo, kako se v njihovi varilski proizvodnji izvajajo določila omenjenega standarda. Poslovník zagotovitve kakovosti je lahko samostojen dokument ali pa sestavni del sistemskih dokumentov ISO 9001.

### 2.1 Poslovník kakovosti

Sistemi zagotovitve kakovosti temeljijo na standardih (ISO 9001, serije EN ISO 3834), v katerih so zbrane zahteve, ki naj jih uporabnik sistema upošteva pri svoji proizvodnji. Omenjeni standardi vsebujejo splošna pravila, ki jih je pogosto težko prenesti v proizvodni proces. Proizvajalec v fazi priprave in uvajanja sistema zagotovitve kakovosti pripravi poslovník zagotovitve kakovosti varilske proizvodnje. Omenjeni dokument določa, kako se v podjetju uporabljajo zahteve standarda.

Poslovník določa načine zagotavljanja kakovosti varilskih del v podjetju. V njem so zbrane naloge tehničnega vodstva in varilnega nadzora, ki služijo kot vodilo pri izdelavi in vgradnji izdelkov, pri katerih se v proizvodnem procesu uporabljajo varjenje in njemu sorodni postopki. Poslovník kakovosti naj bo kratek, jedrnat in razumljiv delavcem. Ne prepisujemo standardov in drugih dokumentov. Koristno je, da ima poslovník izdelane vzorce dokumentov, ki se bodo uporabljali, npr. varilni dnevnik, popis varilnega postopka, zapis o odobritvi konstrukcije, pregled pogodbe, poročila o kakovosti. V poslovníku ne ponavljamo stvari, ki so urejene v drugih dokumentih, temveč se nanje le sklicujemo. Če ima podjetje uveden sistem zagotovitve kakovosti ISO 9000, so v njem zajete že nekatere zahteve, ki veljajo za varilsko proizvodnjo. Poslovník kakovosti dopolnjuje delovna navodila - tehnološki postopki in drugi dokumenti, ki se nanašajo na organizacijo proizvodnega procesa. Koristno je, da so v poslovníku kakovosti navodila za izpolnjevanje obrazcev in dokumentov, ki se uporabljajo v varilni proizvodnji. Ko sestavljamo poslovník kakovosti, razmišljamo, kako urediti in organizirati varilno proizvodnjo. Iščemo ustrezne rešitve in se dogovarjamo s sodelavci. Koristno je, da pri sestavljanju poslovníka kakovosti sodelujejo vse službe in oddelki, na katere se nanašajo zahteve iz standarda. Zato ni smiselno kupiti že gotovega poslovníka ali ga prepisati od kakega drugega podjetja.

### 2.2 Vsebina poslovníka kakovosti

Poslovník kakovosti vsebuje okoli 15 poglavij, ki so povzeta po standardu EN ISO 3834. Nekatera poglavja lahko združimo ali jih uredimo po svoje. Združimo lahko npr. pregled pogodbe in konstrukcije ali neskladja in korektivne ukrepe. Tipičen primer poslovníka kakovosti vsebuje sledeča poglavja:

1. Namen uporabe in obseg veljavnosti
2. Referenčni dokumenti - standardi, interni dokumenti
3. Pregled komercialne dokumentacije



4. Pregled tehnične dokumentacije
5. Oddaja del pogodbenikom
6. Varilno osebje - varilci, vodja del, kontrolno osebje
7. Oprema - varilni stroji in pomožna oprema
8. Varilna proizvodnja - plani, popisi postopkov, odobritve postopkov
9. Materiali - osnovni in dodajni
10. Toplotna obdelava po varjenju
11. Kontrola in preizkušanje
12. Neskladja in korektivni ukrepi
13. Označevanje in sledljivost
14. Poročilo o kakovosti, varilna dokumentacija
15. Priloge

## 2.3 Važnejši dokumenti sistema zagotovitve kakovosti

Ko uvedemo sistem zagotovitve kakovosti, začnemo uporabljati nekatere dokumente, ki so značilni za varilsko proizvodnjo. To so popis varilnega postopka (WPS), varilni dnevnik, zapisi o kontroli kakovosti zvarov.

### Popis varilnega postopka (WPS)

- Imenujemo ga tudi popis postopka varjenja. Kratica WPS izhaja iz standarda EN ISO 15609 (Welding Procedure Specification)
- Vsebuje navodila za varjenje, kot so način priprave robov, gradnja varkov, parametri varjenja, materiali, način varjenja in obdelave zvara.
- Popis varilnega postopka se nahaja na varilnem mestu.
- Za vsak tip zvara naj varilni tehnolog pripravi popis varilnega postopka.
- Podjetje shranjuje popise postopkov v katalogu varilnih postopkov.

### Dnevnik varjenja

- Dnevnik varjenja se vodi na delovnem mestu oz. gradbišču kadar izvajamo varilska dela na terenu.
- Vanj delovodja zapisuje podatke o izvedbi del.
- Dnevnik varjenja vsebuje sledeče zapise: kraj in čas varjenja, ime varilca, uporabljeni materiali, pogoji varjenja, oznaka popisa varilnega postopka, oznaka zvara in zapise o opravljeni kontroli.

### Zapisi o kontroli

- Vsa varilska dela je potrebno nadzorovati in kontrolirati.
- Vodja varilnih del vizualno in dimenzijsko kontrolira vse zware.
- Kontrola se opravlja pred varjenjem, med njim in po njem.
- O ugotovitvah kontrole je potrebno pripraviti pisni dokument - zapis ali poročilo o kontroli.

## 2.4 Nadzor varjenja

S tem, ko podjetje sestavi in sprejme poslovnik kakovosti ter spremljajočo dokumentacijo, je opravljen le prvi del zahtevnega projekta uvajanja zagotovitve kakovosti. Prav tako pomembno je, da določilo poslovnika uvede v proizvodni proces. Pomembno vlogo ima pri tem koordinator oziroma vodja varilnih del. V standardu EN ISO 14731 so navedene njegove naloge [5], ki so identične zahtevam standarda EN ISO 3834.

Tabela 1.4.1: Naloge vodje varilskih del

1.1	PREGLED POGODBE pogodba mora imeti vse potrebne podatke o izdelku, skladati se mora z ostalo dokumentacijo
1.2	PREGLED ZASNOVE <ul style="list-style-type: none"> <li>• ustrezni varilno tehnični standardi</li> <li>• lokacija zvarnega spoja v zvezi s konstrukcijskimi zahtevami</li> <li>• dostopnost za varjenje, kontrolo in preizkušanje</li> <li>• detajli zvarnega spoja</li> <li>• zahteve za kakovost in sprejemljivost zvarov (razred zvarov)</li> </ul>
1.3	MATERIALI
1.3.1	Osnovni material <ul style="list-style-type: none"> <li>• varivost osnovnega materiala</li> </ul>



	<ul style="list-style-type: none"> <li>• morebitne dodatne zahteve za dobavne pogoje za osnovni material,</li> <li>• vključno vrsta atesta materiala</li> <li>• označevanje, skladiščenje in ravnanje z osnovnim materialom</li> <li>• sledljivost</li> </ul>
1.3.2	<p>Dodajni materiali</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ustreznost</li> <li>• morebitne dodatne zahteve za dobavne pogoje za dodatne materiale,</li> <li>• vključno vrsta atesta dodatnega materiala</li> <li>• označevanje, skladiščenje in ravnanje z dodajnimi materiali</li> </ul>
1.4	<p>PODIZVAJALCI</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• kvalifikacija podizvajalca, nadzor nad deli</li> </ul>
1.5	<p>PLANIRANJE PROIZVODNJE</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• primernost popisov varilnih postopkov (WPS) in odobritev (PQR)</li> <li>• navodila za delo</li> <li>• vpenjalne priprave in vpenjalno orodje</li> <li>• ustreznost in veljavnost certifikatov varilcev</li> <li>• zaporedje varjenja in montaže sestavnih delov</li> <li>• zahteve za preskušanje</li> <li>• zahteve za kontrolo varjenja</li> <li>• okolni pogoji</li> <li>• zdravje in varnost osebja</li> </ul>
1.6	<p>OPREMA</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• primernost varilnih in pomožnih naprav</li> <li>• razpoložljivost, označevanje in ravnanje s pomožnimi sredstvi in opremo,</li> <li>• zdravje in varnost osebja (atestiranje strojev)</li> </ul>
1.7	<p>IZVEDBA VARJENJA</p>
1.7.1	<p>Predhodne dejavnosti</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• priprava navodil za delo</li> <li>• priprava zvara, sestavljanje in čiščenje</li> <li>• priprava za preizkušanje zvarov v proizvodnji</li> <li>• ustreznost delovnega mesta in okolja</li> </ul>
1.7.2	<p>Varjenje</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• angažiranje varilcev in navodila varilcem</li> <li>• uporabnost in funkcionalnost opreme in pribora</li> <li>• dodatni in pomožni materiali</li> <li>• uporaba spenjalnega varjenja</li> <li>• uporaba varilnih parametrov</li> <li>• uporaba eventualnega vmesnega preizkušanja</li> <li>• uporaba in vrsta predgrevanja in toplotne obdelave po varjenju</li> <li>• zaporedje varjenja</li> <li>• toplotna obdelava po varjenju</li> </ul>
1.8	<p>PREIZKUŠANJE</p>
1.8.1	<p>Vizualna preiskava</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• dimenzije zvarov</li> <li>• oblika, dimenzije in tolerance varjenih konstrukcijskih elementov</li> <li>• videz zvara</li> </ul>
1.8.2	<p>Porušitvene in neporušitvene preiskave</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• uporaba porušitvenih in neporušitvenih preiskav</li> <li>• posebne preiskave</li> </ul>
1.9	<p>SPREJEMLJIVOST ZVAROV</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ocena rezultatov nadzora in preiskav</li> <li>• popravki zvarov</li> <li>• ponovna ocena popravljenih zvarov</li> <li>• ukrepi za izboljšanje (korekcijo)</li> </ul>
1.10	<p>DOKUMENTACIJA</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• priprava in shranjevanje poročil (vključno dejavnosti podizvajalcev)</li> </ul>

### 3 Plan kakovosti (ISO 10005)

Plan kakovosti je dokument, ki določa, kdo in kdaj bo uporabil izbrane procese, postopke in z njimi povezane vire za izpolnjevanje zahtev določenega projekta, izdelka, procesa ali pogodbe.

Ti postopki se običajno nanašajo na procese vodenja kakovosti in procese realizacije izdelkov.

Plan kakovosti se pogosto nanaša na dele priročnika kakovosti ali na dokumente za postopke.

#### Prepoznavanje potreb po planu kakovosti

Organizacija mora ugotoviti katere potrebe za plane kakovosti lahko obstajajo. Obstajajo številne situacije v katerih so plani kakovosti lahko učinkoviti ali celo nujni, npr.:

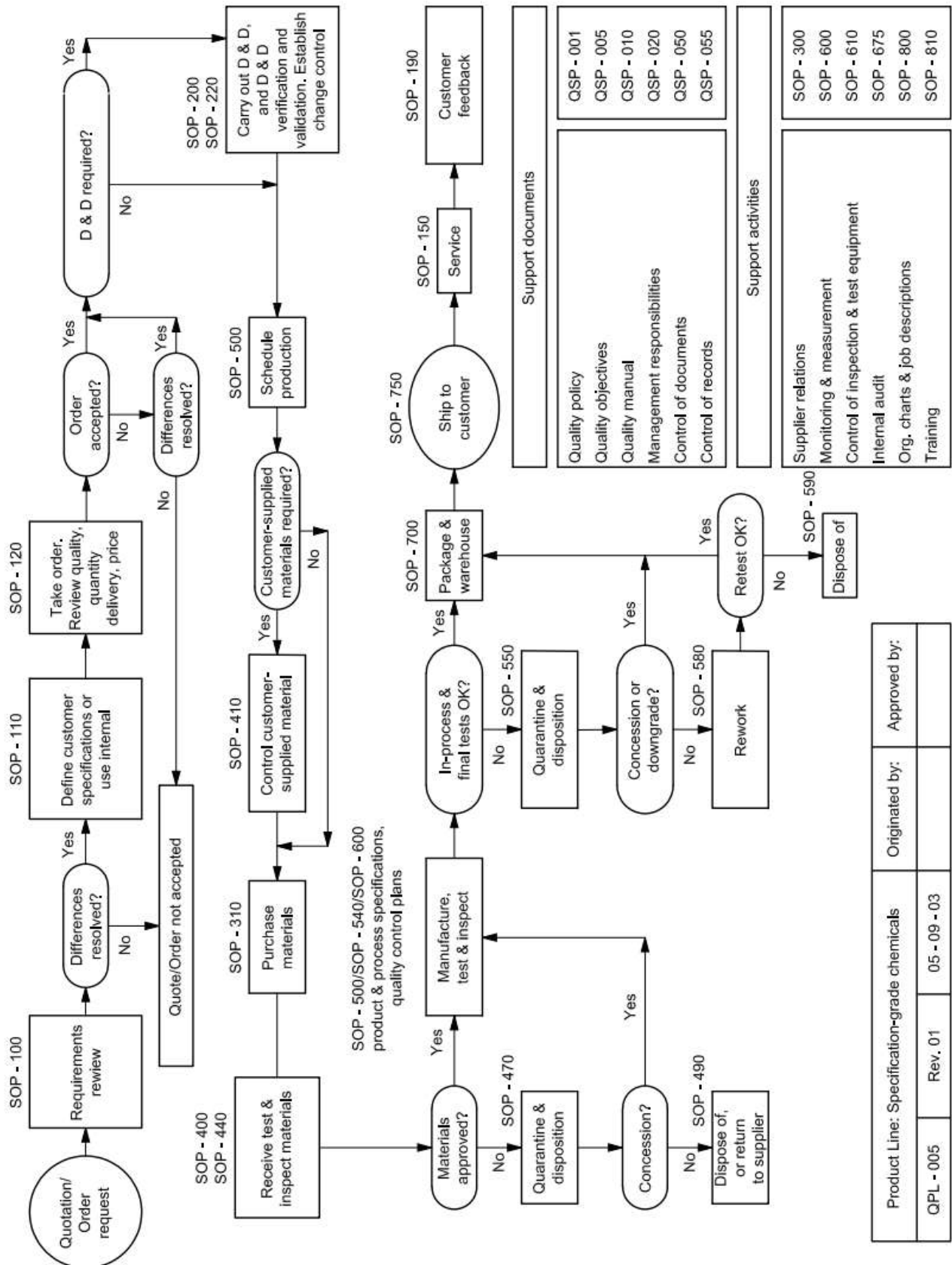
- Da se pokaže kako se sistem vodenja kakovosti organizacije uporablja za posebne primere;
- Da se zadosti zakonskim, regulatornim ali zahtevam kupca;
- Za razvoj in potrditev novih izdelkov ali procesov;
- Da se prikaže interno in eksterno kako bodo dosežene zahteve za kakovost;
- Da se organizirajo in vodijo aktivnosti, s katerimi se dosegajo zahteve in cilji kakovosti;
- Da se optimizira uporaba resursov potrebnih za doseganje ciljev kakovosti;
- Da se zmanjša rizik za nedoseganje zahtev kakovosti;
- Da se uporabi kot osnova za nadzor in oceno usklajenosti s zahtevami kakovosti;
- V primeru pomanjkanja dokumentiranega sistema za vodenje kakovosti.

Za določen primer lahko obstaja potreba za izdelavo plana kakovosti, vendar ni nujno. Organizacija z vzpostavljenim sistemom vodenja kakovosti je lahko sposobna izpolniti vse svoje potrebe po planu kakovosti znotraj obstoječega sistema. V tem primeru se lahko organizacija odloči, da ni treba posebej razvijati plana kakovosti.

Tabela 1.4.2 Plan kakovosti prikazan v obliki tabele (za obdelane materiale) po standardu ISO 10005

QPL - 005	Proizvod / Linija proizvoda: Kemikalije, ki ustrezajo specifikacijam	Pripravil:	Odobril:	Rev: 01	05/09/03
Dejavnost	Opis	Dokument/ Postopek <sup>a</sup>	Področje/ Oddelek <sup>b</sup>		
Področje	Ta plan kakovosti se uporablja za procese proizvodnje in distribucije kemikalij, ki ustrezajo specifikacijam.	-	-		
Cilji kakovosti	Naši cilji kakovosti so donosnost (93 %); pravočasna dostava (+ / - 1 dan).	QSP - 005	različno		
Odgovornosti vodstva	Opisi delovnih mest in organizacijske sheme odgovornosti oseb, ki so vključene v planiranje, izvedbo, nadzor in spremljanje napredka aktivnosti predvidenih tem planom, so navedeni v referenčnih dokumentih.	QSP - 020 SOP - 800	MGMT/ HRS		
Dokumentacija	Posebni zahtev za nadzor dokumentov ni. Pogodbene dokumente bomo hranili najmanj pet let.	QSP - 050	TSS		
Zapisi	Vodili se bodo sledljivi in dostopni zapisi kot dokaz o aktivnostih, ki imajo vpliv na kakovost. Zapisi se bodo hranili najmanj pet let.	QSP - 055	QA		
Izvori	Zahteve za skladiščenjem, predelavo in prevozom surovin in komponent so določene v internih dokumentih.	QSP - 020	MGMT		
	Osebe mora uspešno zaključiti izobraževanje o rokovanju s snovmi, ki so navedene v pogodbi.	SOP - 810	HRS		
	Ne obstajajo nobeno posebni pogoji za infrastrukturo ali zaščito okolja				
Pregled zahtev/ Specifikacije naročnika	Vse date ponudbe in vse dobljene specifikacije kupca in naročila bodo pregledane, da se doseže pravilno definiranje zahtev, zadovoljivo odpravljanje vseh razlik ter, da je podjetje sposobno izpolniti zahteve.	SOP - 100 SOP - 110 SOP - 120	MKT/ TSS/ MFG/QA		
Komunikacija z naročnikom	Povratne informacije od naročnika se dobijo ali preko internetnega obrazca ali z uporabo internega obrazca SOP-190F1, in se potem o njih razpravlja na mesečnih sestankih med naročnikom in ekipo izvajalca.	SOP - 150 SOP - 190	MKT		
Projekt in razvoj	Vse dobljene specifikacije naročnika, ki se bistveno razlikujejo od standardnih specifikacij podjetja, zahtevajo pregled in potrditev (SOP-200). Naročnik lahko zahteva odobritev prototipa ter preverjanje in potrditev postopka.	SOP - 200 SOP - 220	TSS		

<b>Naročilo</b>	Vsi kritični proizvodi, ki jih kompanija dobavlja so predmet pregleda in testiranja kot zahtevajo veljavne specifikacije za surovine in embalaže. Kamioni z razsutim tovorom ne bodo razloženi, dokler se pozitivno ne zaključijo vse zahtevane preiskave. Neustrezni materiali se lahko odobrijo s potrditvijo ali odstranitvijo ali se vrnejo dobavitelju.	<b>SOP - 300 SOP - 310 SOP - 400 SOP - 470 SOP - 490</b>	<b>PUR/MAT</b>
<b>Proizvodnja</b>	Uporabljajo se standardni operativni postopki.	<b>SOP - 500</b>	<b>MFG</b>
<b>Identifikacija in sledljivost</b>	Uporabljajo se standardni operativni postopki.	<b>SOP - 440 SOP - 540</b>	<b>MAT/MFG</b>
<b>Lastnina naročnika</b>	Testne metode specifikacij in lastnina naročnika se bodo obdelali in zaščitili formalnim sistemom specifikacij, da se ohrani njihova celovitost in doseže varnost dobljenih informacij.	<b>SOP - 110</b>	<b>MKT/TSS</b>
	Za posebne embalažne materiale, ki jih priskrbi naročnik, veljajo standardni operativni postopki.	<b>SOP - 410</b>	<b>MAT/MFG</b>
<b>Skladiščenje in rokovanje</b>	Dobavljeni material, polizdelki in končni izdelki bodo shranjeni v varnih kontejnerjih, rezervoarjih in skladiščih. Za preprečitev poškodb, slabljenje ali kontaminacijo izdelkov se bodo uporabile metode pazljivega rokovanja. Rzsuti tovari se bodo dobavljali v posebnih cisternah.	<b>SOP - 400 SOP - 700 SOP - 750</b>	<b>MAT</b>
<b>Neskladni proizvodi</b>	Proizvodi, ki ne izpolnjujejo zahtev končnega kriterija sprejemanja šarže bodo preusmerjeni v posebno karantensko področje ali rezervoar. Pred odpremo katerega koli neskladnega proizvoda je potrebna pisna odobritev naročnika.	<b>SOP - 570 SOP - 580 SOP - 590</b>	<b>MFG/ TSS/QA</b>
<b>Nadzor in meritve</b>	Plani vzorčenja in preiskav morajo zajemati vse postopke realizacije proizvoda.	<b>SOP - 600</b>	<b>QA</b>
<b>Oprema za nadzor in preiskave</b>	Podjetje vzdržuje večje število merilne in kontrolne opreme, da se pokrije področje njegovih razvojnih, proizvodnih in nadzornih dejavnosti. Vse potrebne kalibracije izvaja podjetje ali proizvajalec merilne opreme.	<b>SOP - 610</b>	<b>QA</b>
<b>Audit/presoja</b>	Objekti so lahko podvrženi notranjim presojam, presojam naročnika ali presojam regulatornih organizacij.	<b>SOP-675</b>	<b>QA</b>
<p><sup>a</sup> QSP: Postopek sistema kakovosti; SOP: Standardni operativni postopek.</p> <p><sup>b</sup> HRS: Človeški resursi; MAT: Nadzor materiala; MKT: Trženje in prodaja; MFG: Proizvodnja; QA: Zagotavljanje kakovosti; PUR: Nabava; MGMT: Najvišje vodstvo; TSS: Tehnične storitve.</p>			



Slika 1.4.4 Diagram PLANA KAKOVOSTI iz standarda ISO 10005

## 4 Ocenjevanja/auditi proizvajalca (ISO 19011)

Presoja kakovosti je metodičen pregled učinkovitosti sistema zagotavljanja kakovosti. Na zahodu to metodo imenujejo AUDIT. Izvajajo jo z namenom, da bi ugotovili, kako se načrtovane in predpisane dejavnosti izvajajo v vsakdanji praksi. Vodstvu in drugim službam ali posamezniku nudi podatke o stanju sistema zagotavljanja kakovosti in o izpolnjevanju zahtev tega sistema. Vodstvo pa na osnovi teh podatkov ugotovi, kje so potrebne korektivne akcije za izboljšanje (Žnidaršič 1990, 99).

Presoja kakovosti je postopek, s katerim ne odpravljamo napak ali pomanjkljivosti, z njegovo pomočjo ugotavljamo zgolj vrzeli sistema zagotavljanja kakovosti. Ker program presoje vključuje različna področja poslovanja organizacije, lahko presojo razumemo tudi kot pripomoček, s katerim prikažemo dejansko stanje v organizaciji.

Za vse vrste presoj je skupno, da neodvisna, pooblaščen in kvalificirana oseba ali tim organizirano zbira ter proučuje informacije o dejanskem stanju na objektivni in neposreden način ter ga primerja z zahtevanim stanjem. Vsaka presoja mora biti dobro planirana in pravilno izdelana. Zelo pomembna je pravilna določitev časa in pogostosti izvedbe presoje (Marolt in Gomišček 2005, 549).

Smernice kako se pripraviti in izvesti notranjo presojo integriranega sistema vodenja nam daje standard ISO 19011:2011. Standard zahteva, da presojo izvajajo kompetentne in strokovne osebe, ki poznajo zahteve za sistem vodenja kakovosti in tudi zahteve za izvedbo notranje presoje. Faze procesa presoje so prikazane v tabeli 1.4.3.

Tabela 1.4.3: Faze procesa ocenjevanja

<b>PRIPRAVA PRESOJE</b>	Priprava programa presoj
	<b>Priprava plana presoje</b>
	Individualna priprava na presojo
<b>IZVEDBA PRESOJE</b>	Uvodni sestanek
	Izvedba presoje po procesih
	Zapis ugotovitev presoje
<b>POROČANJE O UGOTOVITVAH</b>	Priprava na zaključni sestanek
	Zaključni sestanek
	Poročilo o presoji

Za presojanje je značilno tudi upoštevanje številnih načel. Ta načela bi naj iz presoje naredila uspešno in zanesljivo orodje za podporo politikam vodenja in obvladovanja, s tem da priskrbi informacije, na podlagi katerih lahko organizacija ukrepa za izboljšanje delovanja sistemov vodenja in zagotavljanja kakovosti. Načela presojanja so:

- Integriteta (poštenost, skrbnost, kompetentnost, nepristranskost, neobčutljiv na zunanje vplive itd.)
- Korektnost predstavitve (dolžnost poročati resnično in skrbno)
- Ustrezna strokovna skrbnost (uporaba prizadevnosti in skrbnosti pri presojanju)
- Zaupnost
- Neodvisnost (je temelj za nepristranskost presoje in objektivnost rezultatov)
- Pristop na podlagi dokazov



## 5 Ključni elementi za zagotavljanje QA/QC, osebje in oprema, nadzor

### Zagotavljanje kakovosti (QA):

- zajema vse planirane in sistematične aktivnosti, izvajanja znotraj sistema vodenja kakovosti, za doseg primernega zaupanja, da bo predmet obdelave (proizvod / storitev) izpolnil zahteve za kakovost
- namen zagotavljanja kakovosti:
  - notranje zagotavljanje kakovosti - zagotavlja kakovost znotraj organizacije in daje vodstvu in zaposlenim zaupanje v svoj proizvod / svojo storitev
  - zunanje zagotavljanje kakovosti - zagotavlja kakovost v pogodbenih razmerjih in daje zaupanje kupcu (naročniku)

### Kontrola kakovosti (QC):

- pomeni izvedbo tehnik in aktivnosti, ki se uporabljajo za izpolnjevanje zahtev kakovosti
- vključuje tehnike in aktivnosti usmerjene v:
  - opazovanje ("monitoring") procesa ali storitve (npr. merjenje procesa / proizvoda / indikatorja: uporaba kontrolnih kart, udeležba v primerjalnih analizah ...)
  - odstranitev vzorcev z nezadostno kakovostjo (rokovanje v primeru zagotavljanj neusklajenosti proizvodov ali del, korektivni ukrepi / preventivni ukrepi)

Tabela 1.4.4: Pregled zahtev v skladu s točkami standarda EN ISO 3834

Poglavje in točka v EN ISO 3834	Zahteve	Izpolnjevanje		
		2	3	4
Pregled pogodbe-5.2	- pogodba mora biti izvedljiva - na razpolago so ustrezne kapacitete - pogodba je usklajena z ostalo dokumentacijo	X	X	X
Pregled tehničnih zahtev-5.3	- preverja se popolnost in tehnična pravilnost načrtov - preverja se usklajenost načrtov z drugimi zahtevami	X	X	X
Podizvajalci-6	- podizvajalci morajo izpolnjevati enake pogoje kot nosilec del	X	X	X
Varilsko osebje (varilci in operaterji varjenja)-7.2	- mora imeti veljavne in ustrezne certifikate v skladu s EN ISO 9606-1/-2/-3/-4/-5; ISO 14732 ili ISO 15618-1/-2	X	X	X
Osebje za koordinacijo varilskih del -7.3	- 2. del - zahteva se IWE prema ISO 14731 - 3. del - zahteva se IWT prema ISO 14731 - 4. del - priporoča se IWS prema ISO 14731	X	X	-
Osebje za izvedbo kontrole-8	- organizirana služba kontrole z ustrezno usposobljenim osebjem	X	X	X
Oprema-9.1-9.4	- na razpolago mora biti zadostna ustrezna oprema	X	X	(X)
Vzdrževanje opreme-9.5	- uvedeno mora biti redno vzdrževanje in periodični pregledi opreme	X	(X)	-
Planiranje proizvodnje-10.1	- pripravljene morajo biti proizvodni plani	X	X	-
Specifikacija tehnologij varjenja - 10.2	- za vse zvarne spoje morajo biti izdelane specifikacije tehnologij varjenja v skladu z ISO 15609	X	X	-
Odobritev varilnih postopkov (Kvalifikacija tehnologij varjenja)-10.3	- proizvajalec se vodi po zahtevah izdelka: za posode pod tlakom, jekla povišane trdnosti, avtomatsko varjenje, so obvezne odobritve	X	X	-
Delovna navodila-10.4	- za vsako fazo proizvodnje morajo biti pripravljena pisna navodila	X	X	-
Dokumentacija-10.5	- vodi se proizvodna dokumentacija	X	-	-
Preverjanje dodatnih materialov-11.2	- če naročnik to zahteva	X	-	-
Skladiščenje osnovnih in dodatnih materialov-11, 12	- vsi materiali v skladišču morajo biti ustrezno označeni - pri razrezu se oznake prenašajo	X	X	-
Toplotna obdelava po varjenju-13	- toplotna obdelava se izvaja po izdelanem postopku - pripravi se poročilo v skladu s ISO/TR 17663	X	X	-
Kontrola zvarov-14.3, 14.4	- izvaja se vizualna preiskava (VT) - porušne in neporušne preiskave - osebje ima certifikate v skladu z EN ISO 9712	X	X	-
Neskladja-15	- obstajati mora postopek za odpravljanje neskladij	X	X	(X)



Poglavje in točka v EN ISO 3834	Zahteve	Izpolnjevanje		
		2	3	4
Kalibracija in validacija merilne in preiskovalne opreme-16	- merilna oprema se periodično kalibrira po zahtevah iz ISO 17662	x	x	-
Identifikacija-17	- zvarni spoji morajo biti označeni - popravki zvarov morajo biti zabeležene	x x	x x	- -
Sledljivost-17	- sledljivost popolno mehaniziranih in avtomatiziranih varilskih enot za določene zware - sledljivost varilcev, operaterjev varjenja in WPS za določene zware	x x	- x	- -
Poročila o kakovosti varilskih del-18	- obstajati mora poročilo, ki vsebuje certifikate, poročila o kontroli, dnevnik varjenja; hraniti se mora vsaj pet let	x	x	-

Legenda: " x " zahteve so izpolnjene  
" - " ni zahtev

## 6 Uvedba standardov v proizvodno okolje

### 6.1 Standardizacija, standardi kakovosti

Standardizacija je dejavnost vzpostavljanja določil glede na dejanske ali možne težave za skupno ali ponavljajočo se uporabo z namenom, da se doseže optimalna stopnja urejenosti na danem področju. Gre za izdelavo materialnih ter nematerialnih predmetov v korist skupnosti, pri čemer sodelujejo vsi zainteresirani. Prednosti standardizacije so predvsem izboljševanje primernosti proizvoda, procesov in storitev za njihove predvidene namene, preprečevanje ovir v trgovanju ter podpiranju tehničnega sodelovanja (Piskar in Dolinšek 2006, 45).

Standard je dokument, ki nastane s konsenzom in ga odobri priznani organ, ki določa pravila, smernice ali značilnosti za dejavnosti ter njihove rezultate in je namenjen za občo ter večkratno uporabo, usmerjen pa v doseganje optimalne stopnje urejenosti na danem področju. Standardi so tako zapisani sporazumi, ki temeljijo na priznanih rezultatih znanosti, tehnike in izkušenj. Namen standardov je, da se zagotovi usklajenost materialov, proizvodov, procesov, storitev z zahtevami standarda in jih je treba dosledno upoštevati (Piskar in Dolinšek 2006, 45).

### 6.2 Standardi kakovosti

Standardi kakovosti omogočajo enoten jezik med odjemalci in proizvajalci. Gre za dokumentirane sporazume, ki vsebujejo tehnične opise in druga natančna merila, kot so pravilniki, navodila, obrazci ... (Piskar in Dolinšek 2006, 45).

Danes so najbolj uveljavljeni standardi za sisteme managementa kakovosti, v slovenskem prevodu »družina standardov ISO za sisteme vodenja kakovosti«, ki podajajo modele organiziranosti v družbi (Piskar in Dolinšek 2006, 45).

### 6.3 Družina standardov za sisteme vodenja kakovosti ISO 9000

Družino standardov kakovosti ISO 9000 sestavljajo standardi:

- ISO 9000; Sistemi vodenja kakovosti – temelji in slovar.
- ISO 9001; Sistemi vodenja kakovosti – zahteve.
- ISO 9004; Sistemi vodenja kakovosti – smernice za izboljševanje delovanja.

### 6.4 Splošno o standardu ISO 9001

Standard ISO 9001:2015 je izdala mednarodna organizacija ISO (International Standardization Organization) leta 2008. Gre za peto izdajo standarda (prva je iz leta 1987), ki zamenjuje predhodno iz leta 2008. Standard je zgrajen na načelih vodenja kakovosti, ki jih danes uporabljajo v svetu uspešne organizacije, tako proizvodne kot storitvene.

Standard se osredotoča predvsem na učinkovitost sistema vodenja kakovosti pri izpolnjevanju zahtev odjemalcev. Namenjen je vsem vrstam organizacij, ne glede na velikost, organiziranost, izdelek ali storitev, ki želijo obvladovati in izboljševati svoje poslovanje ter povečevati zadovoljstvo svojih odjemalcev. Standard je tudi odlična osnova za nadgradnjo z ostalimi sistemi vodenja, ki jih določajo standardi kot npr. ISO 14001:2004, BS OHSAS 18001:2007.

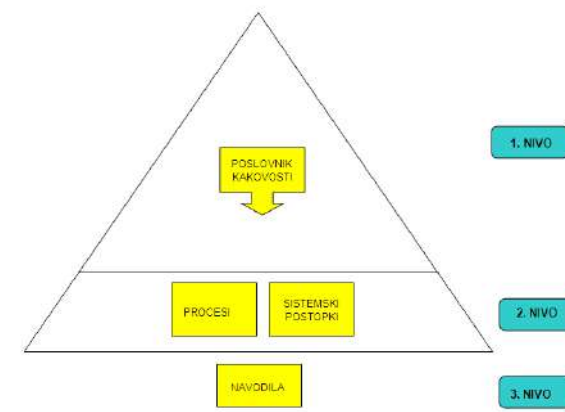
Standard določa zahteve za sistem vodenja kakovosti (sistem vodenja kakovosti), delovanje vodstva (odgovornost vodstva), ravnanje z viri (vodenje virov), izvajanje osnovne dejavnosti (realizacija proizvoda) in nadzor (merjenje, analize in izboljševanje), kot prikazuje slika 1.4.5. Izpolnjevanje vseh zahtev standarda omogoča organizaciji, da, po uspešno zaključenem certifikacijskem postopku, pridobi certifikat za sisteme vodenja kakovosti po ISO 9001.



Slika 1.4.5: Procesni pristop

Standard EN ISO 9001 torej podaja minimalne zahteve, ki jih mora izpolniti sistem vodenja kakovosti v določeni organizaciji, da je organizacija sposobna proizvajati izdelke oz. storitve, ki izpolnjujejo zahteve kupcev (tudi zakonodaje, standardov, ...). Hkrati naj bo sistem vodenja kakovosti podvržen nenehnemu izboljševanju. Obseg dokumentacije in sistema vodenja je prilagojen velikosti organizacije in zahtevnosti izdelkov, ki jih organizacija izdeluje.

Dokumentacija sistema vodenja se gradi nivojsko:



Slika 1.4.6: Dokumentacija

Standard ISO 9001 postavlja minimalne zahteve glede dokumentacije, ki morajo biti izpolnjene ne glede na velikost podjetja in zahtevnost proizvodnje, da lahko potrdimo skladnost z zahtevami standarda ISO 9001:2008. Lahko - oziroma priporočljivo pa je, da je ta obseg dokumentacije večji do te mere, da lahko enolično opišemo

delovanje organizacije v celotnem njenem obsegu.

#### 6.4.1 Dokumentacija, ki je izrecno zahtevana v standardu ISO 9001

**Izdelan in vzdrževan mora biti poslovnik**, ki vključuje:

- a) predmet sistema vodenja kakovosti, vključno z razlogi in s podrobnostmi glede morebitnih opustitev
- b) dokumentirane postopke, vzpostavljene za sistem vodenja kakovosti, ali sklicevanje nanje,
- c) opis medsebojnega vpliva procesov sistema vodenja kakovosti.

**Zahteve za izdelavo sistemskih postopkov v standardu ISO 9001 so naslednje** (Pregled po točkah standarda ISO 9001):

##### **Obvladovanje dokumentov,**

Vzpostaviti je treba dokumentiran postopek, ki opredeljuje potreben način obvladovanja za:

- a) odobritev primernosti dokumentov pred njihovo izdajo,
- b) pregled in posodobitev ter ponovno odobritev dokumentov, ko je to potrebno,
- c) zagotovitev, da so identificirane spremembe in trenutni status popravkov dokumentov,
- d) zagotovitev, da so ustrezne izdaje primernih dokumentov na voljo na mestih uporabe,
- e) zagotovitev, da dokumenti ostanejo čitljivi in prepoznavni brez težav,
- f) zagotovitev, da so dokumenti zunanega izvora, ki jih organizacija določi kot potrebne za planiranje in izvajanje sistema vodenja kakovosti, identificirani, njihovo razdeljevanje pa obvladovano,
- g) preprečitev nenamerne uporabe zastarelih dokumentov in uporabo primerne identifikacije zanje, če se obdržijo za kakršenkoli namen.

##### **Obvladovanje zapisov,**

Organizacija mora vzpostaviti dokumentiran postopek, ki opredeljuje potrebne načine obvladovanja za identifikacijo, shranjevanje, zaščito, dostopnost, hranjenje in odstranjevanje zapisov.

##### **Notranja presoja,**

Odgovornosti in zahteve za planiranje in izvajanje presoj, poročanje o rezultatih in vzdrževanje zapisov morajo biti določene v dokumentiranem postopku.

##### **Obvladovanje neskladnih proizvodov,**

Organizacija mora zagotoviti identifikacijo in obvladovanje proizvoda, ki ni v skladu z zadanimi zahtevami, da bi preprečili njegovo nenadzorovano uporabo ali dostavo. Ti ukrepi za obvladovanje in z njimi povezane odgovornosti in pooblastila za ravnanje z neskladnim proizvodom morajo biti določeni v dokumentiranem postopku.

##### **Korektivni ukrepi,**

Vzpostaviti je treba dokumentirani postopek, ki določa zahteve za:

- a) pregledovanje neskladnosti (vključno s pritožbami odjemalcev),
- b) določanje vzrokov neskladnosti,
- c) ocenjevanje potreb po ukrepih, s katerimi se zagotovi, da se neskladnosti ne ponovijo,
- d) določitev in izvajanje potrebnih ukrepov,
- e) zapise rezultatov izvedenih ukrepov,
- f) pregledovanje uspešnosti korektivnih izvedenih ukrepov.

##### **Preventivni ukrepi.**

Vzpostaviti je treba dokumentirani postopek, ki določa zahteve za:

- a) določitev potencialnih neskladnosti in njihovih vzrokov,
- b) ocenitev potreb za ukrepanje, da se prepreči pojav neskladnosti
- c) določitev in izvedbo potrebnih ukrepov
- d) zapise rezultatov izvedenih ukrepov
- e) pregledovanje uspešnosti izvedenih preventivnih ukrepov (standard ISO 9001).

V standardu ISO 9001 so podane tudi zahteve za zapise, ki jih mora organizacija voditi skladno z dokumentiranim postopkom za obvladovanje zapisov, ki ga je, skladno z gornjimi zahtevami, organizacija sama kreirala in sprejela v uporabo.

Tabela 1.4.5: Pregled zahtevanih zapisov v standardu ISO 9001

Zap. št.	Točka standarda:	Zahtevani zapis:	Navedba v standardu ISO 9001
1	5.6.1 Vodstveni pregled 5.6.1 Splošno	O opravljenem vodstvenem pregledu	Zapise o vodstvenem pregledu je treba vzdrževati (glej 4.2.4).
2	6.2.2 (e) Kompetentnost, usposabljanje in zavedanje	O izobrazbi, usposobljenosti, veščinah in izkušnjah zaposlenih	e) vzdrževati primerne zapise o izobrazbi, usposabljanju, veščinah in izkušnjah (glej 4.2.4).
3	7.1 (d) Planiranje realizacije proizvoda	Dokaz, da procesi realizacije in iz njih izhajajoči proizvod izpolnjujejo zahteve	d) zapise, potrebne za dokazovanje, da procesi realizacije in iz njih izhajajoči proizvod izpolnjujejo zahteve (glej 4.2.4).
4	7.2.2 Pregled zahtev v zvezi s proizvodom	Rezultati pregledov zahtev v zvezi s proizvodom ter ukrepi, ki izhajajo iz pregleda	Zapise rezultatov pregleda in ukrepov, ki izhajajo iz tega pregleda, je treba vzdrževati (glej 4.2.4).
5	7.3.2 Vhodi za snovanje in razvoj	Vhodi za načrtovanje in razvoj v zvezi z zahtevami za proizvod	Vhodi v zvezi z zahtevami za proizvod morajo biti določeni, zapisi pa morajo biti v vzdrževani (glej 4.2.4).
6	7.3.4 Pregled snovanja in razvoja	Rezultati pregledov načrtovanja in razvoja ter vsi potrebni ukrepi	Zapise rezultatov o pregledih in potrebnih ukrepih je treba vzdrževati (glej 4.2.4).
7	7.3.5 Overjanje snovanja in razvoja	Rezultati overjanja načrtovanja in razvoja ter vsi potrebni ukrepi	Zapise rezultatov overjanja in kakršnihkoli potrebnih ukrepov je treba vzdrževati (glej 4.2.4).
8	7.3.6 Validacija snovanja in razvoja	Rezultati validacije načrtovanja in razvoja ter vsi potrebni ukrepi	Zapise rezultatov validacije in kakršnihkoli potrebnih ukrepov je treba vzdrževati (glej 4.2.4).
9	7.3.7 Obvladovanje sprememb snovanja in razvoja	Rezultati pregleda sprememb načrtovanja in razvoja in vsi potrebni ukrepi	Zapise rezultatov pregledov sprememb in kakršnihkoli potrebnih ukrepov je treba vzdrževati (glej 4.2.4).
10	7.4.1 Proces nabave	Rezultati ocenjevanja dobaviteljev in vsi potrebni ukrepi, ki izhajajo iz ocenjevanja	Zapise rezultatov ocenitev in kakršnih koli ukrepov, ki izhajajo iz ocenjevanja, je treba vzdrževati (glej 4.2.4).
11	7.5.2 (d) Validacija procesov za proizvodnjo in izvedbo storitev	Dokazila (kot zahteva organizacija) o validaciji procesov, kjer njihovih rezultatov ni mogoče overiti s poznejšim nadzorovanjem in merjenjem	Zahteve za zapise (glej 4.2.4) in
12	7.5.3 Identifikacija in sledljivost	Enolična identifikacija proizvoda, kjer se zahteva sledljivost	Če se zahteva sledljivost, mora organizacija obvladovati enolično identifikacijo proizvoda in vzdrževati zapise (glej 4.2.4).
12	7.5.4 Lastnina odjemalcev	O lastnini odjemalca, ki je bila izgubljena, poškodovana ali za katero je bilo ugotovljeno, da je kako drugače neprimerna za uporabo	Če pride do izgube ali poškodovanja lastnine odjemalcev ali se ugotovi, da je kako drugače neprimerna za uporabo, mora organizacija o tem obvestiti odjemalca in vzdrževati zapise (glej 4.2.4).
13	7.6 (a) Obvladovanje nadzorne in merilne opreme	O osnovah, uporabljenih za kalibriranje ali overjanje merilne opreme, kjer ni mednarodnih ali nacionalnih etalonov	Če taki etaloni ne obstajajo, je treba dokumentirati osnovo, uporabljeno za kalibriranje ali overjanje (glej 4.2.4);.
14	7.6 Obvladovanje nadzorne in merilne opreme	O veljavnosti predhodnih merilnih rezultatov, če se ugotovi, da merilna oprema ne izpolnjuje zahtev	Poleg tega mora organizacija oceniti in zapisati veljavnost predhodnih merilnih rezultatov, ko ugotovi, da oprema ne izpolnjuje zahtev.
15	7.6 Obvladovanje nadzorne in merilne opreme	O rezultatih kalibracije in overjanja merilne opreme	Zapise rezultatov kalibracij in overjanja je treba vzdrževati (glej 4.2.4).

Zap. št.	Točka standarda:	Zahtevani zapis:	Navedba v standardu ISO 9001
16	8.2.2 Notranja presoja	O rezultatih notranje presoje in ukrepih, ki sledijo	Vzdrževati je treba zapise o presojah in njihovih rezultatih (glej 4.2.4).
17	8.2.4 Nadzorovanje in merjenje proizvodov	O navedbi osebe (oseb), ki sprosti(jo) proizvod za uporabo	Dokazi o skladnosti s kriteriji sprejemljivosti morajo biti vzdrževani. Iz zapisov mora biti razvidna oseba, ki je sprostila proizvod za dostavo odjemalcu (glej 4.2.4).
18	8.3 Obvladovanje neskladnih proizvodov	O naravi neskladnosti proizvoda in kakršnikoli izvedeni ukrepih, vključno s pridobljenim dovoljenjem za izvzetje	Zapise o naravi neskladnosti in kakršnihkoli izvedenih ukrepih, vključno s pridobljenim dovoljenjem za izvzetje, je treba vzdrževati (glej 4.2.4).
19	8.5.2 Korektivni ukrepi	O rezultatih korektivnih ukrepov	Zapise rezultatov izvedenih ukrepov (glej 4.2.4)
20	8.5.3 Preventivni ukrepi	O rezultatih preventivnih ukrepov	Zapise rezultatov izvedenih ukrepov (glej 4.2.4)

### 6.4.2 Integrirani sistemi vodenj

Obstaja več standardov s področja vodenja in zagotavljanja kakovosti, odnosa do okolja, varnosti in zdravja pri delu, ki jih izdajajo različne nacionalne in mednarodne organizacije, združenja, komiteji itd.

Vsak posamezen standard sistema vodenja predstavlja en del vodenja organizacije. Zato je povsem razumljivo, da njihovo združevanje daje možnost za izboljšavo celotnega sistema vodenja organizacije.

V preteklosti so se v podjetjih različna delovna področja pripisovala različnim oddelkom. In strokovnjaki različnih področij so bili zadolženi za doseg ciljev na njihovih delovnih področjih. Pogosto ni obstajala nobena koordinacija ali povezava med njimi.

V nasprotju s tem pa integrirani sistemi vodenja uvajajo med sektorsko obravnavo, ki vsakemu odgovornemu na njegovem področju v določenem delovnem procesu nalaga soodgovornost za kakovost, okolje, varnost in zdravje pri delu.

Integrirani sistem vodenja izrablja sinergije in povezuje resurse v vitko organizacijsko strukturo, ki služi povečevanju konkurenčnosti podjetja. To povečanje pa je možno doseči le z zadovoljnimi kupci, zdravimi in motiviranimi sodelavci, kakor tudi z varovanjem okolja.



Slika 1.4.7: Integracija sistemov vodenja – primer integriranega sistema

Integracija različnih sistemov vodenja v enoten integriran sistem vodenja nam eliminira pomanjkljivosti, ki jih predstavljajo paralelno delujoči sistemi vodenja in nam daje priložnost vzpostaviti sistem vodenja orientiran na: doseganje sinergij, zmanjševanje stroškov in kontroliran obseg.



Osnovni standard sistema vodenja organizacije je trenutno standard za sistem vodenja kakovosti ISO 9001. Je tudi osnova ostalih standardov, ki se nanj nadgrajujejo in ga razširjajo. Katerega od obstoječih standardov bo organizacija poleg standarda ISO 9001 še uporabljala, pa je odvisno od dejavnosti posamezne organizacije.

## 6.5 Sistem zagotovitve kakovosti v varilstvu

Evropski standardi serije EN ISO 3834 obravnavajo koncept zagotovitve kakovosti varjenih izdelkov [4]. Nadomeščajo nacionalne standarde, ki so se nanašali predvsem na proizvodnjo nosilnih jeklenih konstrukcij in tlačnih posod. Na osnovi omenjenih standardov so se izdajala različna spričevala o sposobnosti, ki so veljala le na določenem področju, in so pokrivala posamezne vrste proizvodov. Nov sistem bo univerzalen in bo uporaben povsod tam, kjer je varjenje ena od osnovnih proizvodnih tehnologij. Med take proizvode štejemo:

- jeklene in aluminijaste konstrukcije [5],
- neogrevano in kurjeno tlačno opremo [6],
- cevovode in instalacije [7],
- energetske procesne opreme,
- železniško opremo [8],
- ladjedelništvo,
- letalstvo.

ISO 3834 podaja zahteve za zagotavljanje kakovosti varjenega izdelka – Kako zagotoviti kakovost varjenja. Vpeljan je zato da se določijo vsi dejavniki, ki vplivajo na kakovost varjenega izdelka.

Kakšne koristi prinaša:

a) za naročnika

- Boljša zagotovila za kvaliteto izdelka, zanesljivost in delovanje
- Večja zanesljivost izpolnjevanja rokov izdelave
- Večja varnost naročnika, nižji stroški vzdrževanja in presoj

b) za proizvajalca

- Znižanje stroškov – bolj učinkovita proizvodnja
- Urejeno planiranje – delo končano v roku
- Manj popravil in izmeta
- Matrika odgovornosti – večja odgovornost zaposlenih
- Koordinacija ključnih varilskih aktivnosti v podjetju kot je projektiva-proizvodnja-kontrola-nadzor
- Referenca - kompetentni proizvajalec varjenih izdelkov

EN ISO 3834 je univerzalen standard, uporaben za vsa podjetja, ki v svojem procesu izdelave izdelka uporabljajo varjenje.

Ima šest delov, in sicer:

EN ISO 3834-1 Merila za izbiro stopenj zahtevnosti (vsebuje definicije in opise ter področje uporabe standarda)

EN ISO 3834-2 Obširnejše zahteve za kakovost (vsebuje opise in pojasnila kako uporabljati posamezne elemente)

EN ISO 3834-3 Standardne zahteve za kakovost

EN ISO 3834-4 Osnovne zahteve za kakovost

EN ISO 3834-5 Referenčni dokumenti za izpolnitev zahtev 3834-2,3,4 (vsebuje pregled standardov in njihovo povezavo s posameznimi elementi)

EN ISO 3834-6 Smernice za uporabo (vsebujejo dodatna pojasnila za pravilno razumevanje posameznih zahtev)

- V standardu EN ISO 3834 so zbrana pravila in navodila za zagotavljanje kakovosti varjenja in z njem povezanih procesov.
- Standard je splošno uporaben. Uporablja se lahko v celoti ali po delih. Dopolnjuje splošni standard ISO 9001. Uporablja se tudi za določanje zahtev v pogodbah in projektih.
- Nekateri produktni standardi se sklicujejo na standard EN ISO 3834. V teh primerih je lahko uporaba standarda obvezna.

Naštejmo nekaj značilnosti uporabe standarda:

- Je pripomoček za upravljanje s kakovostjo in vodenje varilske proizvodnje v kontekstu kakovosti
- Vsebuje pravila po katerih se ravnamo pri talilnem varjenju.
- V standardu so navedene zahteve, ki naj jih upoštevamo pri varilni proizvodnji.
- Je osnova za certificiranje varilnih obratov.



- Uporablja se pri določanju zahtev po kakovosti v pogodbah in tehnični dokumentaciji.
- Obvezno se uporablja v povezavi s produktnimi standardi.
- Dopolnjuje splošne standarde (ISO 9001).

### 6.5.1 Uporaba standarda EN ISO 3834

Uporaba standarda EN ISO 3834 bo urejena z novo evropsko tehnično zakonodajo in s produktnimi standardi na mednarodni in nacionalni ravni. Nekaj dokumentov, ki predpisujejo, da morajo proizvajalci izpolnjevati pogoje standarda EN ISO 3834, se že uporablja. Po standardu ISO 9001 bodo morala varilska podjetja že pri pripravi poslovnika kakovosti upoštevati zahteve standarda EN ISO 3834. Razna spričevala o sposobnosti, ki smo jih uporabljali do sedaj, bodo nadomeščena z ustreznim certifikatom po EN ISO 3834. Standard EN ISO 3834 ima pet delov, šesti del je v pripravi. V prvem delu so opisani splošni principi in navodila za uporabo.

Izbira posamezne zahtevnostne stopnje je odvisna od proizvodnega programa. Pri najbolj zahtevni varilski proizvodnji se npr. uporablja drugi del standarda. Nekaj primerov uporabe je prikazanih v tabeli 1.4.6.

Tabela 1.4.6: Uporaba standarda EN ISO 3834

stopnja zahtevnosti	vrsta proizvodnje
visoka EN ISO 3834-2	večje tlačne posode, dinamično obremenjene konstrukcije, elektrarne, visokotlačni cevovodi, železniška vozila, strojogradnja, kotlogradnja, ladjedelništvo, avtomobilska industrija
srednja EN ISO 3834-3	manj zahtevne tlačne posode, kmetijski stroji, cisterne, serijska strojna oprema, vzdrževanje
nizka EN ISO 3834-4	stavbno ključavničarstvo, notranje plinske napeljave, serijska proizvodnja enostavnejših izdelkov

### 6.5.2 Pogoji za pridobitev certifikata EN ISO 3834

V prvem delu standarda EN ISO 3834 je v prilogi A v skrajšani obliki navedeno, katere pogoje morajo izpolnjevati proizvajalci, da dosežejo posamezno zahtevnostno stopnjo. Zahteve so razvrščene v 22 poglavij, od katerih je približno polovica identičnih z zahtevami standarda ISO 9001. Ostala polovica zahtev je specifična za varilsko proizvodnjo. V tabeli 1.4.7 so razložene najpomembnejše zahteve. Prikazano je, v kakšni meri morajo biti izpolnjene za doseganje posamezne stopnje. Priporoča se, da imajo podjetja izdelana posebna navodila, ki urejajo varilsko proizvodnjo. Ta so lahko sestavni del poslovnika kakovosti. Presoja opravi ustrezno usposobljena in pooblaščen skupina presojevalcev pod vodstvom vodilnega presojevalca. Ugotovljena bistvena neskladja morajo biti odpravljena do izdaje spričevala. Za manj bistvena neskladja se sporazumno določi rok za odpravo. Izdana spričevala veljajo pet let. V prilogi spričevala so navedeni vsi bistveni podatki, kot so: vodja varilnih del, načini varjenja, materiali, vrsta proizvodnje in drugo. Izpolnjevanje pogojev se preverja enkrat letno s kontrolnimi obiski

Tabela 1.4.7. Izpolnjevanje zahtev

Poglavje	Zahteve	Izpolnjevanje		
		2	3	4
pregled pogodbe	- pogodba mora biti izvedljiva - na razpolago so ustrezne zmogljivosti - pogodba je skladna z ostalo dokumentacijo	x x x	x x	x
pregled konstrukcije	- preverja se popolnost in tehnična ustreznost načrtov - preverja se skladnost načrtov z ostalimi zahtevami	x x x	x x	x
podizvajalci	- pogodbeniki morajo izpolnjevati enake pogoje kot nosilec del	x x x	x x	x
varilno osebje	- mora imeti veljavne in ustrezne certifikate po EN ISO 9606 in EN 14732	x x x	x x	x

nadzor varjenja	- 2. del - zahteva se IWE - 3. del - zahteva se IWT ali IWS - 4. del - IWS	X X X	X X	X
kontrola	- organizirana služba kontrole z ustrezno usposobljenim osebjem	X X X	X X	X
oprema	- na razpolago mora biti zadosti ustrezne opreme	X X X	X X	X
vzdrževanje opreme	- uvedeno mora biti redno vzdrževanje in periodično preizkušanje opreme	X X X	X X	-
načrtovanje proizvodnje	- pripravljene morajo biti proizvodni plani	X X X	X X	-
popisi varilnih postopkov	- za vse zvarne spoje morajo biti izdelani popisi varilnih postopkov skladno z EN ISO 15609	X X X	X X X	-
odobritev varilnih postopkov	- proizvajalec se ravna po zahtevah proizvodov: za tlačne posode, viksokotrdnostna jekla, avtomatsko varjenje so odobritve obvezne	X X X	X X X	-
delovna navodila	- za vsako fazo proizvodnje morajo biti izdelana pisna navodila	X X X	X X X	-
dokumentacija	- vodi se proizvodna dokumentacija	X X X	-	-
preskus dodatnih materialov	- če zahteva naročnik	X	-	-
skladiščenje osnovnih in dodatnih materialov	- vsi materiali na skladišču morajo biti ustrezno označeni - pri razrezu se oznake prenašajo	X X X	X	-
toplotna obdelava	- toplotna obdelava se izvede po izdelanem postopku - izdelava se poročilo	X X X	X	-
preiskava zvarov	- opravlja se vizualna preiskava - po potrebi tudi druge neporušitvene preiskave - osebje ima certifikate po EN ISO 9712	X X X	X X	X
neskladja	- izdelan mora biti postopek za odpravo neskladij	X X X	X X X	X X X
umerjanje	- merilna oprema se periodično kalibrira	X X X	-	-
označevanje	- zvari morajo biti označeni	X	-	-
sledljivost	- sledljivost v vseh fazah proizvodnje mora biti zagotovljena	X X X	X	-
poročilo o kakovosti	- izdelano mora biti poročilo, ki vsebuje ateste, poročila o preskušanju, dnevniko dela; hrani se pet let	X X X	X X	X

Legenda:

- xxx izpolnitev zahtev v celoti  
 xx izpolnitev zahtev v zmanjšanem posegu  
 x izpolnitev osnovnih zahtev  
 - ni zahtev

## 7 Zahtevani nivo QA glede na specifikacijo izdelka

Kakovost varjenega izdelka razumemo kot skladnost s pogodbenimi določili in določili iz tehničnih predpisov. Pričakujemo, da izdelek ne bo ogrožal varnosti ljudi in škodoval okolju in da bo izdelek služil predvidenemu namenu.

Glede na zahtevano stopnjo varnosti obratovanja izdelka, naročnik v pogodbi določi zahteve, ki jih mora proizvajalec upoštevati v proizvodnem procesu.

Zahteve naj bodo postavljene tako, da je zagotovljena obratovalna sposobnost izdelka v predvideni življenjski dobi in varnost obratovanja.

Absolutne varnosti ni. Pri določanju zahtev se ravnamo po splošno priznani stopnji tehnične varnosti. Za določanje zahtev je kompetenten projektant, ki pozna pogoje obratovanja in obremenitve izdelka. Pozna tudi napetosti v posameznih delih konstrukcije in uporabljene varnostne faktorje.

Čim bolj je rizično obratovanje izdelka, tem višje zahteve moramo postaviti. Če smo izdelek dimenzionirali z več rezerve, bo potrebno manj kontrole.

Za izdelke, katerih obratovanje lahko ogroža varnost in zdravje ljudi in lahko škoduje okolju, so minimalne zahteve določene v tehničnih predpisih in pripadajočih standardih. Področje splošne varnosti imenujemo regulirano področje.

Pri nekaterih proizvodih (npr. ladje) so zahteve vezane na pogoje zavarovanja izdelka. Pri proizvodnji varjenih izdelkov lahko zahteve razdelimo v dve skupini.

Zahteve zagotovitve kakovosti so:

- Certificiranje osebja
- Kontrolni vzorci
- Kvalifikacija varilnih postopkov
- Kvalifikacija in certificiranje koordinatorjev in inšpektorjev
- Kvalifikacija varilnih postopkov
- Neodvisen nadzor
- Uporaba in certificiranje sistemov kakovosti

Zahteve kontrole kakovosti so:

- Vrsta kontrole – metoda NDT
- Obseg kontrole – kakšno dolžino zvarov pregledamo
- Mesta kontrole
- Stopnja sprejemljivosti
- Preskusni razred
- Zahteve glede certificiranja osebja, ki izvaja kontrolo
- Način poročanja

Pri večjih objektih so zahteve zbrane v posebnem dokumentu, ki se imenuje »Načrt zagotovitve kakovosti«. V njem so določena vsa opravila (aktivnosti), njihov vrsti red, kdo jih izvede in način poročanja, ki so potrebna, da se zagotovi izpolnjevanje pogodbenih obvez.

Pri določanju zahtev nam pomagajo standardi in druge tehnične specifikacije. V standardu EN ISO 3834 so zbrane zahteve za proizvodnjo izdelkov s talilnim varjenjem, ki so razvrščene v tri nivoje zahtevnosti:

- Obsežne zahteve
- Standardne zahteve
- Osnovne zahteve

## 8 Tveganje in posledice za napako

Varjenje se največ uporablja za izdelavo:

- Kovinskih konstrukcij
- Cestnih in železniških vozil

- Ladij
- Industrijske opreme
- Cevovodov

Kakovost varjenega izdelka razumemo kot skladnost s pogodbenimi določili in določili iz tehničnih predpisov. Pričakujemo, da izdelek ne bo ogrožal varnosti ljudi in škodoval okolju in da bo izdelek služil predvidenemu namenu. Napake so v principu vedno prisotne, vendar le-te ne smejo preseči vrednosti, ki so jih določili projektanti na osnovi izračunov oziroma pogojev, ki jih opredeljujejo standardi in normativi. V nasprotnem primeru so posledice za napako lahko velike (npr. pride do porušitve konstrukcije in v tej zvezi vseh spremljajočih posledic ipd.).

Tveganja za napake se lahko preprečijo ali v veliki meri zmanjšajo na minimum, v kolikor imamo uveden sistem zagotovitve kakovosti.

#### Zagotovitev kakovosti - QA

Varjenje je specifični tehnološki postopek, pri katerem s preizkušanjem ne moremo vedno potrditi skladnosti zvarov z zahtevami. Samo kontrola torej ne zadostuje, zato v varilstvu uporabljamo tudi zagotovitev kakovosti. Namen zagotovitve kakovosti je, da z ustreznimi sistemskimi ukrepi skušamo zmanjšati možnost nastanka napak, saj QC sama po sebi ni dovolj.

#### Sredstva za zagotavljanje kakovosti so:

- Certificiranje varilcev in posluževalcev strojev
- Kvalifikacija in certificiranje koordinatorjev varjenja in inšpektorjev varjenja
- Kvalifikacija varilnih postopkov
- Kontrola materiala in nadzor nad ravnanjem z materialom
- Nadzor nad pogodbeniki
- Vzdrževanje in kontrola opreme
- Uporaba delovnih navodil
- Uvedba in certificiranje sistemov kakovosti (ISO 9001, EN ISO 3834)

Glede na zahtevnost varilne proizvodnje oziroma glede na specifikacijo izdelka proizvajalec izbere ustrezen nivo QA. V tem kontekstu se upošteva:

- Zahtevana stopnja varnosti izdelkov;
- Zapletenost proizvodnje;
- Raznovrstnost izdelkov;
- Vrste materialov in njihova varivost;
- Vpliv napak na funkcionalnost in varnost obratovanja.
- Zahteve iz produktnih standardov

## 9 Odgovornost za izdelek

V kontekstu odgovornosti za izdelek lahko zapišemo naslednje:

- Proizvajalec je odgovoren za skladnost izdelka z zahtevami, ki izhajajo iz pogodbe.
- Proizvajalec ne more prevzeti vso odgovornosti za izdelek, če se ta izdeluje po načrtih naročnika.
- Za funkcionalnost in varnost obratovanja odgovarja v tem primeru projektant.

Nekaj značilnosti varjenih izdelkov:

- Vsak zvar je unikaten izdelek.
- Pri ročnem varjenju varilčeva spretnost vpliva na kakovost.
- S preizkušanjem izdelkov ne moremo vedno dokazati kakovost izdelka.
- Po standardu ISO 9001 je varjenje specialen proces pri katerem ne moremo skladnost izdelka potrditi ali ga dokazati s preskušanjem na ekonomsko sprejemljiv način.

Naštejmo nekaj razlogov, ki kažejo, da s preskušanjem ne moremo vedno dokazati skladnost zvarov s postavljenimi zahtevami:

- Neporušitvene preiskovalne metode niso dovolj učinkovite.
- Vseh zvarov ne moremo pregledati.
- Pregledi vseh zvarov z neporušitvenimi preiskavami niso ekonomsko upravičeni.
- Zaradi neponovljivosti so rezultati porušnih preiskav na referenčnih vzorcih le delno relevantni.

V tem oziru moramo pri kontroli kakovosti za varilsko proizvodnjo upoštevati naslednje:

- Določimo ali izmerimo lastnosti zvarnega spoja.
- V pogodbi je določeno katere lastnosti je potrebno izmerit.
- Preiskave opravimo po standardnih metodah

Pri kontroli kakovosti opravimo sledeče.

- Vedno opravimo vizualno preiskavo
- Izmerimo dimenzije varov, dimenzije varjenca in izmerimo deformacije
- Za odkrivanje napak uporabljamo neporušitvene preiskave
- Mehanske in tehnološke lastnosti izmerimo na vzorcih.

Vzorci naj bi bili čim bolj podobni zvarom na predmetu

Značilnost kontrole kakovosti zvarov je, da preglede in preiskave opravimo:

- Pred varjenjem
- Med varjenjem
- Po varjenju

V pogodbi morajo biti navedene zahteve za kontrolo kakovosti, kot so:

- Vrsta preiskovalne metode
- Obseg in mesto kontrole
- Stopnje sprejemljivosti
- Preskusni razred
- Zahteve glede certificiranja preiskovalcev.

Rezultati kontrole kakovosti morajo biti dokumentirani v poročilih.

## 10 Vloga kontrole kakovosti in nadzora QA

Razmere na trgu se iz dneva v dan zaostrujejo in organizacije se morajo sproti prilagajati novim tekmovalnim izzivom. Strmeti morajo za doseg čim boljših poslovnih rezultatov in kakovost ima pri tem pomembno vlogo – kakovost procesa in kakovost proizvoda, tj. izdelka ali storitve. Služba kontrole kakovosti lahko pri tem s svojim delovanjem odločilno prispeva k uspešnosti in učinkovitosti organizacij. Pomembno je dejstvo, da odgovornost za kakovost prevzamejo posamezne službe v podjetju, služba kakovosti pa opravlja koordinacijo aktivnosti za zagotavljanje kakovosti v vseh segmentih kroga kakovosti.

Služba kontrole kakovosti je ločena od proizvodnje. Vloga kontrole kakovosti in nadzora QA je torej v tem, da se doseže ustrezna kvaliteta proizvodov in storitev ter preprečijo ali zmanjšajo napake in tveganja v zvezi z napakami na minimum.

### Literatura:

- Ishikawa, Kaoru. 1987. Kako celovito obvladovati kakovost. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije.
- Marolt, Janez in Boštjan Gomišček. 2005. Management kakovosti. Kranj: Moderna organizacija.
- Novak, Rajko. 2001. Novosti in spremembe, ki jih prinaša standard ISO 9001:2000. Ljubljana: Slovenski inštitut za kakovost in meroslovje.
- Piskar, Franka in Slavko Dolinšek. 2006. Učinki standarda kakovosti ISO: od managementa kakovosti do poslovnega modela. Koper: Fakulteta za management.
- Vujošević, Niko. 1992. Sistemi kakovosti po ISO 9000. Ljubljana: Gospodarski vestnik.
- Žnidaršič, Janez. 1990. Razumevanje kakovosti. Ljubljana: Gospodarski vestnik.
- Mateja Koblar. 2010 Zbornik 7. Festivala raziskovanja ekonomije in managementa,
- Slavko Božič. Učbenik Kakovost in zanesljivost proizvodnje, 2009
- EN ISO 19011- Smernice za presojanje sistemov vodenja
- EN ISO 9001-Sistemi vodenja kakovosti - Zahteve
- Mirko Soković – Duško Pavletić; Quality Improvement – PDCA Cycle vs. DAMIAC and DFSS, Strojniški vestnik 53(2007)6

# ODOBRITEV VARILCEV, OPERATERJEV VARJENJA IN VARILNIH POSTOPKOV

<b>1.5</b>	<p><b>Odbritev varilcev, operaterjev varjenja ni varilnih postopkov</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kvalifikacija varilcev (serija standardov ISO 9606)</li> <li>• Kvalifikacija operaterjev varjenja (ISO 14732)</li> <li>• Specifikacija postopka varjenja (WPS) - kako pripraviti in razdelati (ISO 15609)</li> <li>• Kvalifikacija postopka (kot je opisano v ISO 15607 do ISO 15614)</li> <li>• Armaturne palice, varilci/obsluževalci in postopki (ISO 17660)</li> <li>• Trdo spajkanje, spajkalci/obsluževalci (ISO 13585) in postopki (EN 13134)</li> <li>• Operaterji in postopki za varjenje čepov (ISO 14555)</li> </ul>
------------	--

## 1.5.1 Certifikacija varilskega osebja za ročne načine varjenja

### 1.5.1.1 Pojem certifikacije varilskega osebja

Certificiranje varilskega osebja za načine ročnega varjenja temelji na posebej zasnovanih preiskavah za ugotavljanje spretnosti varilca iz sposobnosti izdelave zvarov brez nepravilnosti. Certifikacija varilca je sestavljena iz številnih spremenljivk, vključno s specifičnimi načini varjenja, vrstami materialov (osnovnih in dodajnih), debelino materiala, pripravo zvarnih spojev, lego varjenja in drugo. Certificiranje se običajno izvaja v skladu z določenimi standardi.

V Evropi je Evropski komite za standardizacijo (CEN) sprejel vrsto standardov ISO za certificiranje varilcev (serija EN ISO 9606) kot nadomestilo za serijo standardov EN 287. V Evropi varilce certificirajo nadzorni organi oz. certifikacijski organi, kot je npr. Inštitut za varilstvo (IZV). Varilce, ki se ukvarjajo s proizvodnjo opreme, ki spada v področje uporabe Direktive o tlačni opremi - PED (2014/68 / EU), mora odobriti pristojna tretja oseba, ki je lahko priglašeni organ ali tretja organizacija, ki je priznana s strani države članice EU. V ZDA se certificiranje varilskega osebja izvaja po standardih AWS (American Welding Society), ASME (American Society of Mechanical Engineers) ali API (American Petroleum Institute). Nekateri države izven ZDA zahtevajo tudi certificiranje varilcev v skladu z zgoraj navedenimi standardi, npr. za varjenje jeklenih konstrukcij po AWS, za varjenje tlačnih posod po ASME in za varjenje plinovodov po API. Takšno certificiranje se izvaja za opravljanje varilnih del na projektih, ki so po svojih specifikacijah povezani z omenjenimi ameriški standardi.

Ko varilec opravi izpit (ali več izpitov), tretja organizacija izda pisno listino – certifikat varilca, v katerem je naveden obseg, oziroma omejitve glede pomembnosti določenih parametrov (debelina materiala, vrsta osnovnega in dodajnega materiala, lega varjenja..) ter veljavnost certifikata za določeno obdobje, po katerem mora biti varilec ponovno certificiran. Da bi varilci dokazali svojo usposobljenost, morajo izkazati sposobnost ponovnega certificiranja pri svojem delodajalcu ali tretji organizaciji vsakih 6 mesecev. To ni mišljeno kot certificiranje varilcev, temveč kot dokaz usposobljenosti za ročne spretnosti varjenja v času veljavnosti certifikata.

### 1.5.1.2 Standardi za certifikacijo varilskega osebja za ročne načine varjenja

Certificiranje varilskega osebja izvajamo po standardih in tehničnih predpisih, ki so navedeni spodaj. Pri tem je treba poudariti, da so na splošno tako v ISO kot v ameriškem sistemu preverjanja varilcev zajeti vsi materiali, ki so praktično varljivi (kovinski materiali in termoplasti). Zajeta so preverjanja varilcev za varjenje v letalstvu (strožje zahteve!) ali pod vodo. Edina očitna razlika med ISO in ameriškim sistemom je ta, da skupina standardov EN ISO 9606 ne razlikuje, ali bodo varilci varili tlačne posode ali varjene konstrukcije. Ameriški sistem ni tako dosleden in na splošno razlikuje varilce za varjenje tlačnih posod po ASME Sec. IX od varilcev za varjenje konstrukcij po skupini standardov AWS D1. Pri nas so daleč najpomembnejši standardi za certificiranje varilcev iz skupine EN ISO 9606, ki so skoraj v celoti nadomestili serijo standardov EN 287, ki so veljali kakšnih 15 let. V letu 2022 velja, da bo celotna skupina standardov EN ISO 9606-1 do 5 združena v en sam standard ISO 9606 z enakimi zahtevami za druge kovine po primeru veljavnega standarda EN ISO 9606-1

Najpogosteje uporabljeni standardi za kvalifikacijo varilcev za ročne načine varjenja:



- EN ISO 9606-1: Kvalifikacija varilcev- Talilno varjenje- 1.del: Jekla
- EN ISO 9606-2: Kvalifikacija varilcev- Talilno varjenje - 2.del: Aluminij in Al-zlitine
- EN ISO 9606-3: Kvalifikacija varilcev- Talilno varjenje - 3.del: Baker in Cu-zlitine
- EN ISO 9606-4: Kvalifikacija varilcev- Talilno varjenje - 4.del: Nikelj in Ni-zlitine
- EN ISO 9606-5: Kvalifikacija varilcev- Talilno varjenje - 5.del: Titan in Ti-zlitine ter cirkonij in Zr-zlitine
- AD 2000 – Merkblatt HP 3 (kvalifikacija varilcev za izdelavo zvarjenih posod pod tlakom ali delov posod pod tlakom; zahteva se certifikacija varilcev po EN ISO 9606-1 do 5)
- ASME BPVC Section IX (QW-300): Kvalifikacija varilcev (posode pod tlakom in parni kotli)
- AWS B2.1: Kvalifikacija varilcev (metalni materiali)
- AWS D1.1: Konstrukcijski kod za varjenje – Jekla
- AWS D1.2: Konstrukcijski kod za varjenje – Aluminij
- API 1104: Varjenje cevovodov in podobnih sistemov

### 1.5.1.3 Veljavnost certifikata varilca za ročne načine varjenja po EN ISO 9606-1 do 5

Certifikat velja od dneva, ko je varilec uspešno opravil izpit znanja. V certifikatu je naveden rok veljavnosti v skladu z zahtevami standarda, po katerem je bilo certificiranje opravljeno. V primeru, da je izpitna ocena nesprejemljiva, lahko varilec izpit ponovi. Certifikati običajno veljajo toliko časa, kolikor določa standard, po katerem se certificiranje izvaja. Najpogostejši roki veljavnosti so dve (2) leti (EN ISO 9606-2 do 5) ali tri (3) leta (EN ISO 9606-1) s potrjevanjem delodajalca ali pooblaščenice organizacije vsakih 6 mesecev. Kot pooblaščenica oseba lahko certifikat podaljša koordinator varjenja IWE ali IWT ali odgovorna oseba delodajalca. Pri najpogosteje uporabljenem standardu EN ISO 9606-1 za certificiranje varilcev za talilno varjenje jekla se lahko ponovno (periodično) preverjanje varilcev izvede na 3 različne načine:

- Ponovno certificiranje po treh (3) letih.
- Vsake dve (2) leti; pri čemer mora varilec v zadnjih 6 mesecih pred iztekom veljavnosti zavariti 2 preskusna primerka, ki morata imeti drugačno debelino ali premer cevi kot originalni preskusni primerki. Potrebno je opraviti RT in UT preiskavo ali porušno preiskavo z izdelavo zapisnika o preskusu.
- Za potrebe ameriškega trga je po vzoru standardov ASME in AWS predvideno, da delodajalec vsakih 6 mesecev podaljša certifikat varilca brez ponovnega certificiranja, le če so izpolnjeni naslednji pogoji:
  - Varilec dela za istega proizvajalca, ki je odgovoren za varilno proizvodnjo in izdelke.
  - Sistem kakovosti varilnih del proizvajalca je v skladu z EN ISO 3834-2/3.
  - Proizvajalec je dokumentiral, da varilec vari zware sprejemljive kakovosti glede na standarde izdelkov (tlačne posode, jeklene konstrukcije).

### 1.5.1.4 Certifikacija varilskega osebja za talilno varjenje metalnih materialov v skladu s skupino standardov EN ISO 9606-1 do 5

Vsi deli standarda EN ISO 9606 obravnavajo ročno ali delno mehanizirano varjenje za splošno industrijsko prakso. V tabeli 1 so podatki za načine varjenja, ki jih zajema ta serija standardov.

Tabela 1: Načini varjenja za certifikacijo varilcev po EN ISO 9606

osnovni material	Del standarda EN ISO 9606*				
	1	2	3	4	5
	jekla	Al-zlitine	Cu- zlitine	Ni- zlitine	Ti- zlitine Zr- zlitine
Način varjenja (ISO 4063)	111 (ROV) 114 (MAG samozaščitn polnjena žica) 121 (EPP) 131 (MIG) 135 (MAG) 136, 138 (MAG polnjena žica) 141 (TIG) 142 (TIG brez dodajanja) 15 (plazma) 311 (plamensko)	131 (MIG) 141 (TIG) 15 (plazma)	111 (ROV) 131 (MIG) 141 (TIG) 15 (plazma) 311 (plamensko)	111 (ROV) 131 (MIG) 135 (MAG) 136 (MAG polnjena žica) 141 (TIG) 15 (plazma)	131 (MIG) 141 (TIG) 15 (plazma)

\*v letu 2022 bodo vsi deli poenoteni v en sam standard ISO 9606

Simboli in okrajšave, ki se uporabljajo pri označevanju certifikata varilca in obsega veljavnosti:

- a.) za izpitne vzorce:  
 BW...sočelni zvar  
 FW...kotni zvar  
 P.....plošča  
 T.....cev (eng. *pipe, tube, hollow section*)  
 D.....zunanji premer cevi  
 a.....višina kotnega zvara
- b.) za dodatne materiale:  
 nm....brez dodatnega materiala  
 wm...z dodatnim materialom (za ISO 9606-3,4,5)  
 S.....s polno žico (za ISO 9606-1,2)  
 A, B, C, RA, RB, RC, RR....tip plašča elektrode pri REL (za ISO 9606-1)  
 B, R, P, M, V, W, Y.....vrsta polnjenja pri MAG načinu s poljnjeni žico (za ISO 9606-1)
- c.) drugi detajli zvarnih spojev:  
 bs....varjenje z obeh strani (obojestransko)  
 ss.... varjenje z ene strani (enostransko)  
 sl....enovarkovno varjenje  
 ml....večvarkovano varjenje  
 mb... varjenje na podložko  
 nb... varjenje korena vara brez podložke, zaščite ali popravka korena  
 gb... varjenje s plinsko zaščito korena  
 lw.... varjenje v levo  
 rw.... varjenje v desno
- d.) za načine prehoda materiala pri MIG/MAG varjenju:  
 S....sprej prehod (eng. *spray*)  
 G....grobokapljicasti prehod (eng. *globular*)  
 D....kratkostični prehod (eng. *dip, short-circuit*)  
 P....pulzni prehod (eng. *pulse*)

**1.5.1.5 Bistvene spremenljivke in obseg certifikacije varilca**

Certificiranje varilcev temelji na bistvenih spremenljivkah. Za vsako bistveno spremenljivko se definira obseg certificiranja (kvalifikacije). Če mora varilec variti produkt, ki je izven obsega certifikata, mora opraviti nov certifikacijski preizkus varjenja. Bistvene spremenljivke so:

- postopek varjenja (definicija po ISO 857-1 in oznaka po ISO 4063),
- tip produkta (plošča ali cev),
- tip zvara (sočelni ali kotni),
- skupina dodatnih materialov (velja le za jekla po EN ISO 9606-1 in Al-zlitine po ISO 9606-2),
- skupina osnovnih materialov po ISO/TR 15608 (velja za EN ISO 9606-2 do 5),
- dimenzije osnovnih materialov (debelina plošče, zunanji premer cevi),
- lege varjenja (definicija po EN ISO 6947),
- detajli zvarnih spojev (eno- in večvarkovno varjenje, enostransko, obojestransko, varjenje na podložko, plinska zaščita korena; velja le za EN ISO 9606-1,2).

Po novem načinu kvalifikacij varilcev (EN ISO 9606-1, jekla, Ni-zlitine) osnovni material ni več bistvena spremenljivka za obseg kvalifikacije, pač pa je to skupina dodatnih materialov. To pomeni, da so znotraj skupine dodatnih materialov kvalificirani vsi, ki sodijo znotraj produktnih standardov za določeno vrsto dodatnih materialov. V tabeli 2 je podana razdelitev skupin dodatnih materialov za talilno varjenje jekel in nikljevih zlitin po EN ISO 9606-1.

Tabela 2: Skupine dodatnih materialov za kvalifikacijo varilcev po EN ISO 9606-1

Skupina	Dodatni material za varjenje	Primeri produktnih standardov dodatnih materialov in postopki varjenja (številčne oznake postopkov)
FM1	Nelegirana in drobnozrnata jekla	ISO 2560 (111); ISO 14171 (121); ISO 14341 (135); ISO 17632 (136); ISO 636 (141); ISO 20378 (311)
FM2	Visokotrnostna jekla	ISO 18275 (111); ISO 26304 (121); ISO 16834 (135, 141); ISO 18276 (136)
FM3	Proti lezenju odporna jekla Cr < 3.75%	ISO 3580 (111); ISO 24598 (121); ISO 21952 (131, 141); ISO 17634 (136); ISO 20378 (311)
FM4	Proti lezenju odporna jekla 3.75% < Cr < 12%	ISO 3580 (111); ISO 24598 (121); ISO 21952 (131, 141); ISO 17634 (136);
FM5	Nerjavna in ognjeodporna jekla	ISO 3581 (111); ISO 14343 (121, 131, 141, 15), ISO 17633 (136)
FM6	Nikelj in Ni-zlitine	ISO 14172 (111); ISO 18274 (121, 131, 141, 15); ISO 12153 (136)

### 1.5.2 Certificiranje varilnega osebja za mehanizirane in avtomatizirane postopke varjenja (varilni operaterji) po EN ISO 14732

Certificiranje varilnih operaterjev in posluževalcev varilnih naprav se izvaja za različna področja varilske tehnologije. Za razliko od ročnih spretnosti, ki so potrebne pri ročnem varjenju, se pri varilnih operaterjih zahtevajo tudi obvezna funkcionalna znanja (npr. obvladovanje delovanja varilnih izvorov za mehanizirano in avtomatizirano varjenje, programiranje izvorov za uporovno varjenje, programiranje varilnih robotov...), zaradi tega se izvaja tudi certificiranje po drugih standardih.

Avtomatizirano varjenje je po definiciji varjenje, kjer se vse operacije izvršujejo brez poseganja varilnega operaterja v varilni proces. Ročno nastavljanje varilnih parametrov med varjenjem ni možno.

Mehanizirano varjenje je po definiciji varjenje, kjer se zahtevani pogoji za varilni proces vzdržujejo na mehanski ali elektronski način in jih je mogoče ročno spreminjati med varjenjem.

V industrijski praksi je najbolj pomemben standard za certifikacijo varilnih operaterjev EN ISO 14732: Varilno osebje – Preskušanje varilnih operaterjev in varilnih nastavljalcev za mehanizirano in avtomatizirano varjenje kovinskih materialov.

#### 1.5.2.1 Bistvene spremenljivke in obseg certifikiranja varilnih operaterjev

Avtomatsko varjenje:

- varilni proces,
- senzorji obloka in/ali senzorji sledenja spoja (reže),
- eno ali večvarkovno varjenje,
- tip varilne enote in robotskega kontrolnega sistema.

Postopki varjenja, ki so kvalificirani za certificiranje varilnih operaterjev (oznake po ISO 4063):

- obločno varjenje v zaščitnem plinu s taljivo elektrodo (MIG/MAG): 114, 131, 135, 136, 138
- obločno varjenje v zaščitnem plinu z netaljivo elektrodo (TIG, plazemsko varjenje): 141, 142, 15
- obločno varjenje s taljivo elektrodo pod praškom (EPP): 121, 122
- uporovno varjenje: 21, 22, 23, 24, 25
- varjenje s trenjem: 41, 42, 44, 45
- torno varjenje z gnetenjem (FSW): 43
- varjenje z elektronskim snopom (EBW): 51
- lasersko varjenje (LW): 52
- talilno varjenje pod elektroprevodno žlindro (EPŽ): 72
- obločno varjenje čepov: 78

### 1.5.2.2 Veljavnost certifikata varilnega operaterja

Certifikat je veljaven od dne, ko je varilni operater uspešno opravil preizkus znanja. Na certifikatu je naveden rok veljavnosti skladno z zahtevami standarda, po katerem se je certificiranje izvedlo. V primeru, da je ocena izpita nesprejemljiva, lahko varilni operater izpit ponavlja. Certifikati veljajo navadno toliko časa, kolikor določa standard, po katerem se izvaja certificiranje. Najpogostejši čas veljavnosti je 6 let (po EN ISO 14732) ob potrjevanju s strani delodajalca ali pooblaščenice organizacije na vsakih 6 mesecev. Kot pooblaščenec naj certifikat podaljša varilni koordinator IWE oziroma IWT ali pa odgovorna oseba delodajalca. Za najpogosteje uporabljen standard EN ISO 14732 za certificiranje varilnih operaterjev se ponovno (periodično) preskušanje varilnega operaterja lahko izvede po 3 različnih metodah:

- a.) Ponovno certificiranje po 6 letih.
- b.) Vsake 3 leta, kjer mora varilni operater v zadnjih 6 mesecih pred koncem veljavnosti zavariti 2 preskusna vzorca, ki sta enaka kot je bil originalni preskusni vzorec. Opraviti je potrebno RT in UT preiskave oziroma porušitve preiskave z izdelavo zapisa o preskušanju.
- c.) Za potrebe ameriškega tržišča je po vzoru ASME in AWS standardov predvideno podaljševanje certifikata varilnega operaterja vsakih 6 mesecev s strani delodajalca brez ponovnega certificiranja, če so le izpolnjeni naslednji pogoji:
  - varilni operater dela pri istem proizvajalcu, ki je odgovoren za varilsko proizvodnjo in produkte,
  - sistem kakovosti varilskih del proizvajalca je skladen z EN ISO 3834-2/3,
  - proizvajalec ima dokumentirano, da varilni operater vari zware sprejemljive kakovosti glede na produktne standarde (tlačne posode, jeklene konstrukcije).

### 1.5.3 Certificiranje varilnega osebja za varjenje betonskega jekla po EN ISO 17660

Da bi lahko varilci za ročno varjenje varili obremenjene zvarne spoje na betonskem jeklu, morajo imati v osnovi certifikat za varjene kotnih zvarnih spojev po EN ISO 9606-1. Poleg tega morajo pridobiti usposabljanje za varjenje relevantnih zvarnih spojev, ki jih varijo v praksi. Za sočelne, prekrivne in pasovne (angl. *strap*) zvarne spoje po slikah 11-13 morajo zavariti po 3 preskusne vzorce, ki pokrivajo najbolj kritične varilne pogoje v proizvodnji (premeri palic betonskega jekla, lege varjenja). Vsak vzorec mora biti preskušen na natezni preskus. Sočelni zvari potem pokrivajo le sočelne zware, prekorovni ali pasovni pa prekrivajo prekrivne in pasovne zvarne spoje. Veljavnost certifikata varilca za varjenje betonskih jekel je dve (2) leti.

Za podaljšanje certifikata (brez ponovnega certificiranja varilca) po tem obdobju je mogoče z dodatnimi zapisi (8 nateznih preskusov proizvodnih zvarov v zadnjih 24 mesecih, zvarjenih v najtežji poziciji varjenja) dokumentirati veljavnost certifikata in ga s tem avtomatsko podaljšati. Za varilne operaterje, ki varijo betonske mreže z uporovnimi postopki varjenja, velja certificiranje po standardu EN ISO 14732.

### 1.5.4 Certificiranje varilnega osebja za obločno varjenje čepov po EN ISO 14555

Operaterji za obločno varjenje čepov po postopkih varjenja št. 783, 784, 785 in 786 morajo imeti ustrezno znanje za delo z varilno opremo, za nastavitve varilnih parametrov in za izvedbo varjenja. Poleg tega morajo posvetiti pozornost dobremu kontaktu na minus pol in enakomerni porazdelitvi feromagnetnih materialov. Certificiranje se izvaja skladno s standardom EN ISO 14732 (operaterji za mehanizirane in avtomatizirane postopke varjenja). Obločno varjenje čepov spada pod mehanizirane postopke varjenja. Obseg certificiranja velja zgolj za en postopek obločnega varjenja čepov in za katerokoli varilno opremo, če so le varilni parametri takšni, kot so bili pri preskusnem varjenju (za najmaši in največji premer čepov). Sprememba postopka varjenja zahteva novo certificiranje varilnega operaterja za ta postopek.

Teoretični test poznavanja varilnih postopkov obločnega varjenja čepov naj pokriva naslednje:

- nastavitve varilne opreme skladno z WPS;
- osnovno poznavanje priključitve varilnih kablov, polaritete na čepih in vpliva pihanja oblaka na rezultat varjenja čepov;
- osnovno presojo nepravilnosti pri varjenju po Aneksu A v EN ISO 14555;
- varno izvedbo varilnih operacij (dober kontakt čepa in držala čepa, brez premikanja čepa med varjenjem, preverjanje in ustrezna lega varilne pištole),

## 1.5.5 Certificiranje osebja za spajkanje (ročno in mehanizirano) po EN ISO 13585

### 1.5.5.1 Osnove

Certificiranje osebja za spajkanje (ročni postopki in mehanizirani z operaterji) izvajamo po standardu EN ISO13585:Spajkanje - Preskušanje spajkalcev in spajkalnih operaterjev..

Po definiciji sodi spajkanje med postopke spajanja kovinskih materialov, kjer je temperatura tališča spajke (dodajnega materiala) nad +450 °C. Ročni postopki spajkanja so vsi tisti, kjer mora spajkalec ročno voditi vir toplote in dovajati dodajni material v spajkani spoj, da se doseže z zasnovo zahtevan spoj. Operaterji za spajkanje pripravljajo in sestavijo opremo za spajkanje in imajo neposredni vpliv na kakovost spajkanega spoja. Primeri za spajkalno opremo so: mehanizirani držalniki gorilnikov, peči, solne kopeli, indukcijska oprema.

### 1.5.5.2 Veljavnost certifikata spajkalca

Certifikat je veljaven od dne, ko je spajkalec uspešno opravil preizkus znanja. Na certifikatu je naveden rok veljavnosti skladno z zahtevami standarda, po katerem se je certificiranje izvedlo. V primeru, da je ocena izpita nesprejemljiva, lahko spajkalec izpit ponavlja. Certifikati veljajo navadno toliko časa, kolikor določa standard po katerem se izvaja certificiranje, in sicer 3 leta (EN ISO 13858) ob potrjevanju s strani delodajalca ali pooblaščenca organizacije vsakih 6 mesecev. Kot pooblaščenec naj certifikat podaljša varilni koordinator IWE oziroma IWT ali pa odgovorna oseba delodajalca.

### 1.5.5.3 Bistvene spremenljivke in obseg certificiranja spajkalcev

Certificiranje spajkalcev temelji na bistvenih spremenljivkah. Za vsako bistveno spremenljivko se definira obseg certificiranja (kvalifikacije). Če mora spajkalec spajkati produkt, ki je izven obsega certifikata, mora opraviti nov certifikacijski preizkus spajkanja. Bistvene spremenljivke so:

- a.) postopek spajkanja (definicija po ISO 857-2 in oznaka po ISO 4063),
- b.) tip produkta (plošča P ali cev T),
- c.) tip spoja (sočelni B, prekrovni O ali T-spoj),
- d.) skupina dodatnih materialov (tip spajke po ISO 17672),
- e.) skupina osnovnih materialov po ISO/TR 15608,
- f.) način dodajanja lema (dodan v čelo FF ali prej položen PP),
- g.) dimenzije osnovnih materialov (debelina plošče t, zunanji premer cevi D, dolžina prekritja L),
- h.) smer toka spajke v reži (horizontalno, vertikalno navzdol in navzgor - glej slika 2),
- i.) stopnja mehanizacije (ročno, mehanizirano).

Postopki spajkanja, ki so kvalificirani za certificiranje spajkalcev:

- 911....infrardeče spajkanje
- 912....plamensko spajkanje, spajkanje z gorilnikom
- 916....indukcijsko spajkanje
- 918....uporovno spajkanje
- 919....difuzijsko spajkanje
- 921....spajkanje v peči
- 922....vakuumsko spajkanje
- 923....potopno spajkanje v kopeli
- 926....spajkanje s potapljanjem

Preskusni vzorci za izvedbo certificiranja spajkalcev in operaterjev spajkanja so enako kot tisti pri kvalifikaciji postopkov spajkanja (BPQR), glej sliko 18. Preskušanje vzorcev po spajkanju obsega obvezno 100 % VT preiskavo ter enega ali več naslednjih preskusov:

- porušitveni: luščilni preskus, makroskopska preiskava, upogibni preskus (skladno z EN 12797);
- NDT preskušanje: RT ali UT (skladno z EN 12799)

### Zahteve za stopnje sprejemljivosti spajkanih spojev:



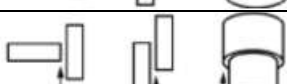
Spajkalec je kvalificiran, če so nepravilnosti v spajkanem spoju znotraj nivoja kakovosti B po ISO 18279, razen za preveliko količino spajke (oznaka nepravilnosti 6BAAA), kjer se dovoljuje nivo kakovosti C in nobena nepravilnost ne poteka skozi dolžino spajkanega spoja.



**Obseg kvalifikacije:**

- a.) postopki spajkanja: Vsak kvalifikacijski test spajkalca kvalificira le en posopek spajkanja, zato sprememba postopka spajkanja zahteva novo kvalifikacijo. Vrsta atmosfere pri spajkanju v pečeh je omejena le na isto vrsto atmosfere (reduktivna, inertna, ogljičenje, razogljčenje, vodik, disociiran amoniak). Vrsta gorljivega plina pri plamenskem spajkanju je omejena le na isti tip gorljivega plina.
- b.) vrste polproizvodov: Kvalifikacija na pločevinah je omejena le na pločevine. Kvalifikacija spajkanja na ceveh velja za pločevine in cevi.
- c.) tip spajkanega spoja: Vsak posamezni tip spajkanega spoja (sočelni, prekrovni, T-spoj) kvalificira le enakega.
- d.) skupine osnovnih materialov: Da bi znižali število izvedenih BPQR, so osnovni materiali za trdo spajkanje označeni v skupine po M-številih. Osnovni material, uporabljen v kvalifikaciji spajkalca kvalificira vse ostale osnovne materiale znotraj iste skupine M-števil (glej tabelo 23).
- e.) spajke in talila: Tip spajke na osnovi razreda spajk po ISO 17672 kvalificira vse ostale spajke znotraj istega razreda. Preiskus s talilom, klasificiranim skladno z ISO 19496, kvalificira le spajkanje s talili znotraj iste klasifikacije talil.
- f.) debelina osnovnih materialov  $t$ : Debelina preskusnega vzorca  $t < 3 \text{ mm}$  kvalificira debeline  $0.5xt$  do  $2xt$ . Debelina preskusnega vzorca  $3 \text{ mm} \leq t < 10 \text{ mm}$  kvalificira debeline  $1.5 \text{ mm}$  do  $2xt$ . Debelina preskusnega vzorca  $10 \text{ mm} \leq t < 25 \text{ mm}$  kvalificira debeline  $5 \text{ mm}$  do  $2xt$ .
- g.) zunanj premer cevi  $D$ : Zunanji premer cevi  $D$  kvalificira le zunanje premere cevi, ki so enaki ali manjši od tega
- h.) dolžina prekritja  $L$ : Dolžina prekritja  $L$  kvalificira vse dolžine prekritja, ki so manjše ali enake  $1.25xL$ .
- i.) smer toka spajke: Za kvalifikacijo spajkalca je dovoljeno odstopanje kota toka spajke  $\pm 15^\circ$ . Obseg kvalifikacije je podan v tabeli 3.

Tabela 3: Obseg kvalifikacije spajkalca za smer toka spajke

Skica smeri toka spajke	Smer toka spajke na preskusnem vzorcu	Obseg kvalifikacije
	Horizontalni tok (H)	H in VD
	Tok vertikalno navzdol (VD)	VD
	Tok vertikalno navzgor (VU)	Vse smeri toka spajke

**1.5.6 Splošna pravila za popis (specifikacijo) in kvalifikacijo varilnih postopkov za kovinske materiale po EN ISO 15607**

Specifikacije postopkov varjenja (angl. *Welding Procedure Specifications, WPS*) so potrebne za zagotovitev dobro definiranih osnov za načrtovanje varilnih operacij in za kontrolo kakovosti med varjenjem. Varjenje se smatra kot poseben postopek v smislu sistemov kakovosti. Standardi za sisteme kakovosti običajno zahtevajo, da so posebni postopki izvedeni skladno z napisanimi specifikacijami (popisi).

Priprava WPS predstavlja potrebno osnovo za to, da zvari dosežejo potrebne zahteve, vendar ne sama po sebi. Odstopanja, predvsem nepopolnosti zvarnih spojev, se lahko ocenjujejo z neporušnimi metodami. Metalurške nepravilnosti predstavljajo poseben problem, ker na trenutnem nivoju NDT preiskav ni mogoča neporušna evaluacija mehanskih lastnosti. To je vodilo v postavitve serije pravil za kvalifikacijo postopkov varjenja pred samo izdajo specifikacij za dejansko proizvodnjo.

Standard EN ISO 15607 definira splošna pravila za popis in kvalifikacije varilnih postopkov za kovinske materiale. Uporablja se za ročno, mehanizirano in avtomatsko varjenje. Postopki varjenja so kvalificirani s skladnostjo z eno ali več kvalifikacijami varilnih postopkov (angl. *Welding Procedure Qualification Record, WPQR*). Uporaba določene metode kvalifikacije varilnega postopka je pogosto zahteva produktnega standarda



za varjene proizvode. Predpostavlja se, da se WPS uporabljajo v varilski proizvodnji s kompetentnimi varilci, ki so certificirani skladno z relevantnimi deli standarda EN ISO 9606 (ročno varjenje) oziroma EN ISO 14732 (mehanizirano in avtomatizirano varjenje).

### 1.5.6.1 Razvoj in kvalifikacija varilnih postopkov – preliminarni popis varilnega postopka pWPS

Preliminarni popis varilnega postopka (pWPS) je dokument, ki vsebuje območje parametrov, ki naj bi se kvalificirali za postavitev kvalificiranih WPQR. Formular oz. obrazec mora biti skladen z EN ISO 15609-1-Dodatek A. Preliminarni varilni postopek kvalificiramo glede na tabelo 4:

Tabela 4: Metode kvalifikacije postopkov varjenja po EN ISO 15607

Metoda na osnovi	Uporaba
Preizkusa postopka varjenja	Se vedno lahko uporabi, razen če test postopka ni v skladu z geometrijo zvarnih robov, omejitvami ter pristopnostjo dejanskih zvarov. Uporabijo se standardi serije EN ISO 15614, standarda EN ISO 14555 in EN ISO 15620.
Preizkusa dodatnih materialov	Preizkus dodatnih materialov pokriva osnovne materiale, uporabljene v proizvodnji. Ostale omejitve glede materialov in parametrov so v EN ISO 15610.
Predhodnih izkušenj varjenja	Uporaba je omejena na postopke, ki so se pred tem uporabljali v velikem številu zvarov v primerljivih izdelkih, spojih in materialih. Zahteve so podane v standardih EN ISO 15611, EN ISO 14555 in EN ISO 15620.
Standardnega varilnega postopka	Podobno je preizkusu postopka varjenja, omejitve so podane v standardu EN ISO 15612.
Pred-proizvodnega preizkusa (gradbiščnega preizkusa)	Se vedno lahko uporabi, vendar zahteva izdelavo preizkusnega kosa pri pogojih proizvodnje. Primerno za množično proizvodnjo. Zahteve so podane v EN ISO 15613, EN ISO 14555 in EN ISO 15620.

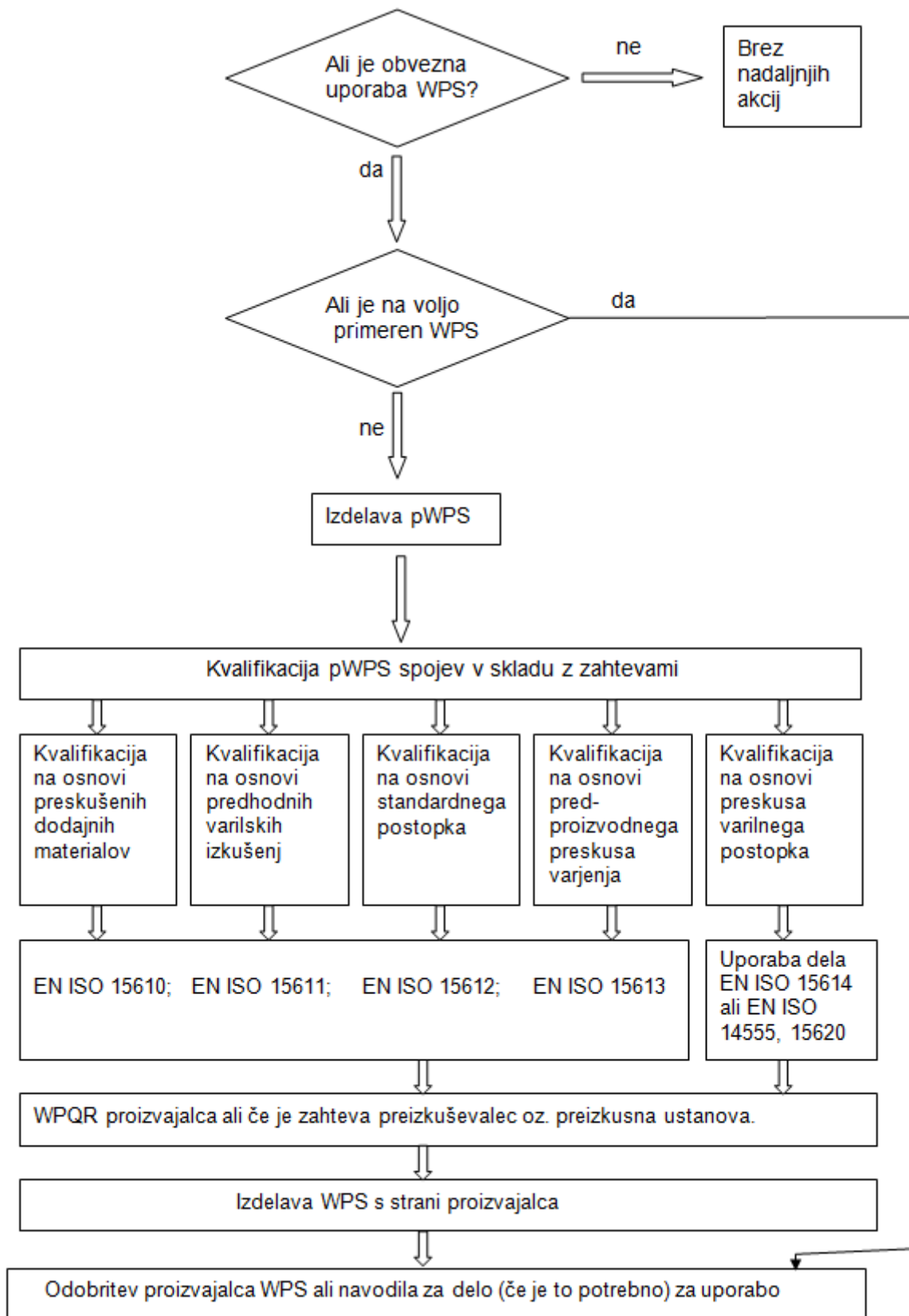
Tabela 5: Detajli standardov, ki se uporabljajo za popis in kvalifikacijo varilnih postopkov

Process	Arc welding	Gas welding	Electron beam welding	Laser beam welding	Resistance welding	Stud welding	Friction welding
General rules				EN ISO 15607			
Guidelines for a grouping system		CR ISO/TR 15608		Not applied		CR ISO/TR 15609	
WPS	EN ISO 15609-1	EN ISO 15609-2	EN ISO 15609-3	EN ISO 15609-4	EN ISO 15609-5	EN ISO 14555	EN ISO 15620
Tested consumables	EN ISO 15610			Not applied			
Previous welding experience				EN ISO 15611	EN ISO 15611 EN ISO 14555		EN ISO 15611 EN ISO 15620
Standard procedure	prEN ISO 15612			Not applied			
Pre-production test				EN ISO 15613	EN ISO 15613 EN ISO 14555		EN ISO 15613 EN ISO 15620
Welding procedure test	prEN ISO 15614 Part 2: Aluminum Part 3: Cast iron Part 4: Finishing welding of aluminum castings Part 5: Titanium/zirconium Part 6: Copper Part 7: Overlay welding Part 8: Tube to tube sheet Part 9: Wet hyperbaric Part 10: Dry hyperbaric	prEN ISO 15614 Part 1: Steel/Inconel Part 3: Cast iron Part 6: Copper Part 7: Overlay welding	prEN ISO 15614 Part 7: Overlay welding Part 11: Electron beam/Laser beam		prEN ISO 15614 Part 12: Spot, seam and projection Part 13: Flash and out		EN ISO 14555 EN ISO 15620

Tabela 6: Različne faze pri kvalifikaciji varilnega postopka

Aktivnost	Rezultat	Odgovornost
Razvoj / določitev tehnologije varjenja	Izdelava pWPS	Proizvajalec
Kvalifikacija glede na katerokoli standardno metodo	WPQR (obseg veljavnosti glede na rezultate preskušanja testnega vzorca)	Proizvajalec in če je uporabljivo Preskusna ustanova / organizacija
Finalizacija varilnega postopka	Izdelava WPS na podlagi odobrenega WPQR	Proizvajalec
Implementacija v proizvodnji	Kopija WPS na varilno mesto	Proizvajalec

## 1.5.6.2 Diagram poteka za razvoj in kvalifikacijo varilnih postopkov WPS



## 1.5.7 Popis postopkov varjenja (WPS) po EN ISO 15609

Za potrditev predvidenega postopka varjenja (določeni parametri varjenja), je potrebno preizkusiti zvarni spoj tudi mehansko s porušitvijo. S tem se določijo mehanske lastnosti zvarnega spoja, predvsem kadar je proces spajanja materiala zahteven tako v varu, kakor v toplotno vplivanem območju. Pri varjenju poskušamo dobiti čim bolj homogen spoj, to pomeni, da naj bi imel enake mehanske lastnosti kot osnovni material, ki se spaja. Najmanj zaželena je trda struktura zvara oz. toplotno vplivanega območja. Povečanje trdote materiala je največkrat znak za krhko in ne za žilavo strukturo materiala. Seveda pa trdnost zvara ne sme biti nižja od zahtev za osnovni material, kajti v tem primeru je osnovni material trdnostno neizkoriščen.

Standard EN ISO 15607 določa načine preskušanja kakovosti varjenja. Standard je namenjen za določene načine varjenja. Upoštevani so načini za obločno varjenje, varjenje z elektronskim snopom, varjenje z laserskim žarkom, uporovno varjenje in plamensko varjenje. Dodana sta še načina varjenja za čepe in torni varjenje. Osnovna pravila so namenjena za ročno, mehanizirano in avtomatsko varjenje. Kvalifikacijo po pWPS naj praviloma opravijo že kvalificirani oz. certificirani varilci. Popis oz. specifikacija varilnega postopka (WPS) se sestavlja na osnovi kvalifikacije postopka varjenja WPQR. Sestavi ga koordinator varjenja (IWE, IWT), odobri pa proizvajalec.

Serijski standardi EN ISO 15609 je sestavljena iz naslednjih delov, kateri so namenjeni vsak za svoj način varjenja (glede na obliko energije pri varjenju):

- EN ISO 15609-1: Specifikacija varilnega postopka -1.del: Obločno varjenje (111, 12, 13, 14, 15)
- EN ISO 15609-2: Specifikacija varilnega postopka -2.del: Plamensko varjenje (311)
- EN ISO 15609-3: Specifikacija varilnega postopka -3.del: Varjenje z elektronskim snopom (51)
- EN ISO 15609-4: Specifikacija varilnega postopka -4.del: Lasersko varjenje (52)
- EN ISO 15609-5: Specifikacija varilnega postopka -5.del: Uporovno varjenje (21, 22, 23, 24, 25)
- EN ISO 15609-6: Specifikacija varilnega postopka -6.del: Lasersko-obločno hibridno varjenje (521+131)

WPS je dokument, ki je odobren na podlagi ene izmed metod po EN ISO 15607. Obrazec je skladen z EN ISO 15609-1-Dodatek A in je v osnovi identičen pWPS. Podjetje lahko izdela WPS le na podlagi predhodne kvalifikacije in še to le znotraj varilnih zmožnosti in sposobnosti podjetja oz. znotraj s certifikatom odobrenega območja (skupina materiala, območje debelin, dodajni material, vnos energije v material, toplotna obdelava, temperaturni režimi...).

### 1.5.7.1 Tehnična vsebina WPS za obločno varjenje po EN ISO 15609-1

WPS naj vsebuje vse potrebne informacije, ki se zahtevajo za izdelavo zvarnega spoja:

- Oznaka (ime) proizvajalca, številka WPS, referenca na WPQR in ostale zahtevane dokumente;
- Oznaka osnovnega materiala (OM) in produktni standard, skupina materiala po ISO/TR 15608;
- Dimenzije OM: obseg debeline in obseg zunanjih premerov (velja za cevi);
- Oznaka varilnega postopka po EN ISO 4063 (samo obločni postopki varjenja);
- Skica priprave zvarnih robov in gradnja varkov (zaporedje varjenja) pri večvarkovnem varjenju;
- Pozicije varjenja po EN ISO 6947;
- Priprava zvarnih robov (brušenje, ščetkanje, čiščenje, razmaščevanje...);
- Uporaba spenjalnih varkov in vpenjalnih priprav;
- Tehnika varjenja (širina nihanja elektrode, parametri gorilnikov za TIG, kot žice za MIG/MAG);
- Žlebljenje, če se uporabi (globina, oblika);
- Ščitenje korena (podložke, zaščitni plini po ISO 14175);
- Dodajni materiali (oznaka, proizvajalec, dimenzije, vrsta oplaščenja za ROV, tip praškov za EPP);
- Električni parametri (izmenični tok AC, enosmerni tok DC in polariteta, detajli pulznega varjenja, obseg varilnega toka in obločne napetosti, način prehoda materiala pri MIG/MAG varjenju);
- Območje hitrosti gibanja gorilnika pri mehaniziranem / avtomatiziranem varjenju in območje hitrosti podajanja žice ali traku;
- Minimalna temperatura predgrevanja in maksimalna medvarkovna temperatura;
- Toplotna obdelava po varjenju (PWHT) in segrevanje za odpravo vodika po varjenju;
- Oznaka zaščitnega plina po ISO 14175;
- Obseg vnosa toplote (če je zahtevano).

Primer: Vnos energije glede na kvalifikacijo postopka varjenja WPQR je lahko največ do  $\pm 25\%$ . Na ta način nam vnos energije še vedno ostane znotraj odobrenega območja:

- če so podatki v WPQR  $\Rightarrow I=100\text{ A}, U=20\text{ V}, v=15\text{ cm/min}$ ,
- so podatki v WPS  $\Rightarrow I=80\div 120\text{ A}, U=16\div 24\text{ V}, v=12\div 18\text{ cm/min}$

### 1.5.7.2 Tehnična vsebina WPS za plamensko varjenje PO EN ISO 15609-2

WPS naj vsebuje vse potrebne informacije, ki se zahtevajo za izdelavo zvarnega spoja:

- Oznaka (ime) proizvajalca, številka WPS, referenca na WPQR in ostale zahtevane dokumente;
- Oznaka osnovnega materiala (OM) in produktni standard, skupina materiala po ISO/TR 15608;
- Dimenzije OM: obseg debeline in obseg zunanjih premerov (velja za cevi);
- Oznaka varilnega postopka po EN ISO 4063;
- Skica priprave zvarnih robov in gradnja varkov (zaporedje varjenja) pri večvarkovnem varjenju;
- Pozicije varjenja po EN ISO 6947;
- Priprava zvarnih robov (brušenje, ščetkanje, čiščenje);
- Tehnika varjenja (v levo ali v desno);
- Podatki o varjenju (velikost šobe, tip in tlak gorilnega plina, tlak kisika, tip plamena);
- Dodajni materiali (oznaka, proizvajalec, dimenzije);
- Toplotna obdelava po varjenju (PWHT).

### 1.5.8 Kvalifikacije postopkov varjenja izven serije EN ISO 15609

#### 1.5.8.1 Kvalifikacija postopkov varjenja na osnovi preizkušenih dodatnih materialov (EN ISO 15610)

Standard EN ISO 15610 določa metodo za kvalifikacijo postopka varjenja z uporabo preizkusa dodatnega materiala za naslednje postopke varjenja:

- ročno obločno varjenje (111),
- varjenje v zaščitnih plinih z masivno žico (131, 135),
- varjenje v zaščitnih plinih s stržensko žico (114, 136, 138),
- varjenje v zaščitnih plinih z netaljivo elektrodo (141),
- plazemsko varjenje (15),
- plamensko varjenje (311).

Ta standard je omejen za uporabo osnovnih materialov, ki dajejo sprejemljivo mikrostrukturo in lastnosti v toplotno vplivani coni (TVC) ter se znatno ne poslabšajo v uporabi. Standard ni uporaben povsod tam, kjer so zahteve za trdoto ali udarno žilavost, predgrevanje, kontroliran vnos toplote in toplotno obdelavo po varjenju (PWHT). To so materiali skupin 1.1, 8.1 (jekla) in skupin 21, 22.1, 22.2 (aluminij in Al-zlitine) po ISO/TR 15608. Kombinaciji spajanja osnovnih materialov sta dovoljeni samo za skupine 22.1 in 22.2. Standard se uporablja samo za debeline osnovnega materiala od 3 mm do vključno 40 mm. Za kotne zveze se uporablja za višine zvarov 3 mm in več. Za cevi se uporablja za zunanje premere nad 25 mm. Lega varjenja velja samo enaka kot je bila uporabljena pri preizkusu dodatnega materiala. Enako velja za zaščitne pline.

Poročilo o kvalifikaciji postopka varjenja WPQR mora biti sestavljeno na osnovi ustreznih publikacij, katerih kopije morajo biti priložene. Zapisan mora biti tudi ustrezen standard in podatki parametrov, če so ti določeni oz. če so na voljo. Poročilo mora biti datirano in podpisano zaradi dokaza za preizkuševalca ali inšpekcijskega pregleda. Postopek varjenja se lahko uporablja tako dolgo, dokler se dosega pogoji varjenja, priporočeni od proizvajalca dodatnih materialov.

#### 1.5.8.2 Kvalifikacija postopkov varjenja na osnovi predhodnih varilskih izkušenj (EN ISO 15611)

Preliminarni popis varilnega postopka (pWPS) naj bo izdelan glede na relevantni del standarda EN ISO 15609. Območje uporabe mora biti v skladu s standardom EN ISO 15614. Varjenje mora biti dokumentirano s preizkusi ali z dokumentacijo o zadovoljivi operativni uporabi. To naj vključuje:

- a.) zadovoljivo dokumentacijo, ki pokriva bistvene lastnosti preizkusov zvarov proizvoda (npr. NDT preiskave, porušitvene preiskave, tesnostni ali tlačni preizkus);

IN KARKOLI OD:

b.) dokumentiran pregled varilske proizvodnje v času vsaj enega leta v primernem obdobju (pet let);

ALI

c.) primernost zvarnih spojev v uporabi za primerno obdobje (pet let).

### 1.5.8.3 Kvalifikacija postopkov varjenja s sprejetjem standardnega postopka varjenja (EN ISO 15612)

Ta standard daje proizvajalcu možnost, da uporablja popise varjenja na osnovi certificiranja postopkov varjenja, ki so jih izvedle druge organizacije. Uporabljen postopek varjenja mora biti izdelan v skladu s standardom EN ISO 15614 in potrjen s strani preskusne ustanove. Uporaba tega standarda je lahko omejena s produktnim standardom ali specifikacijo. Uporablja se za skupine materialov in kombinacije po spodnji tabeli:

Tabela 7: Skupine osnovnih materialov po ISO/TR 15608 za sprejetje standardnega postopka varjenja po ISO 15612

Kvalificiran postopek za varjenje skupin materialov	Območje veljavnosti
1 – 1	1 – 1
1 – 11	1 – 1 1 – 11 11 – 11
8 <sup>a</sup>	8 – 8
21	21 – 21
22.1 – 22.2	21.1 – 22.1 22.2 – 22.2 22.1 – 22.2
31 do 38 <sup>a</sup>	vsaka skupina varjena z ustreznim dodajnim materialom
41 do 47 <sup>a</sup>	vsaka skupina varjena z ustreznim dodajnim materialom
<sup>a</sup> razen zlitin, ki so ekstremno občutljive na pokljivost v vročem	

Za uspešno uporabo certificiranega postopka varjenja je potreben pregled možnosti nastavitve parametrov, ki so navedeni na certifikatu. Upoštevati je potrebno omejitve uporabnika, opreme in osebja. V poročilu morajo biti navedene omejitve. WPS mora biti datiran, podpisan in odobren od proizvajalca. Če je zahteva, mora biti potrjen tudi od preizkuševalne ustanove. Uporabnik standardnega postopka varjenja je odgovoren za primerno izbiro in uporabo le-te. Zahteva se, da ima proizvajalec ustreznega varilnega koordinatorskega po EN ISO 14731 ter da zadošča zahtevam za kakovost varilskih del po ustreznem delu standarda EN ISO 3834. Varilci in varilni operaterji, ki uporabljajo standardne postopke varjenja, morajo biti preskušeni skladno z relevantnimi deli standarda EN ISO 9606 oziroma EN ISO 14732.

### 1.5.8.4 Kvalifikacija postopkov varjenja na osnovi predproizvodnega preizkusa varjenja (EN ISO 15613)

Preskus varjenja se izvede v pogojih izvajanja varilskih del, za katerega se pripravlja kvalifikacija postopka varjenja. Uporaba tega standarda je lahko omejena s produktnim standardom ali specifikacijo. Uporabi se material, ki bo uporabljen tudi v proizvodnji ter za obločno, plamensko, uporovno varjenje, varjenje z žarki, varjenje s trenjem in varjenje čepov. Drug izraz za tak preizkus varjenja je tudi gradbiščni preizkus.

Preiskave na kosu, varjenem s talilnimi postopki varjenja, morajo biti izvršene vsaj v obsegu:

- VT preiskava 100 %;
- NDT preiskava na morebitne razpoke površine zvarnega spoja s tekočimi penetranti PT ali magnetnimi delci MT (za nemagnetne materiale samo PT preiskava);
- meritve trdote (ni zahtev za feritna jekla skupine 1.1 z  $R_m < 420$  MPa ali  $R_e < 275$  MPa ali za skupine materialov 8 ter aluminija in Al-zlitin skupin 21 in 22 po ISO/TR 15608);
- makroskopske preiskave (število je odvisno od geometrije varjene konstrukcije).

Preiskave za prekrivno uporovno ali bradavično varjenje morajo biti vsaj v obsegu:

- VT preiskava 100 %;
- preizkus za določitev velikosti zvara in oblike pretrga;



- makroskopska preiskava za določitev najmanjšega premera zvarne leče oziroma širine kolutnega zvara (število je odvisno od geometrije varjene konstrukcije);
- preizkus luščenja z dletom po ISO 10447.

Preiskave za sočelno obžigalno, uporovno varjenje morajo biti vsaj v obsegu:

- VT preiskava 100 %;
- porušitveni test, posebno upogibni preizkus zvarnega spoja.

Obseg kvalifikacije je v splošnem v skladu z relevantnim delom standarda EN ISO 15614 za kvalifikacijo postopkov varjenja. Obseg kvalifikacije debeline se uporabi za vsako komponento spoja, kot tudi za debelino zvara. V primeru uporovnega varjenja je obseg kvalifikacije omejen na predproizvodni testni vzorec, ki je bil preizkušen. Poročilo WPQR se nanaša na preizkusni kos z vpisanimi vsemi podrobnostmi. Podpiše ga preizkuševalec ali preizkusna ustanova.

### 1.5.9 Odobritev/certifikat/kvalifikacija varilnega postopka (WPQR/WPAR, WPQ)

Kvalifikacija varilnega postopka (angl. *Welding Procedure Qualification Record, WPQR*) oziroma odobritev varilnega postopka (angl. *Welding Procedure Approval Record, WPAR*) je dokument, ki beleži vse v varilni proces vključene podatke oz. parametre, ki so potrebni za doseg kvalitete zvarnega spoja, ki jo želimo.

Najpogosteje uporabljeni standardi za kvalifikacijo varilnih postopkov:

- EN ISO 15614 (talilno varjenje kovinskih materialov),
- EN ISO 11970 (obločno varjenje jeklenih ulitkov),
- EN ISO 14555 (varjenje čepov),
- EN ISO 15620 (varjenje s trenjem),
- ISO 16338 (uporovno varjenje v letalstvu),
- EN ISO 17660 (varjenje betonskega jekla),
- EN ISO 25239-4 (FSW varjenje Al-zlitin v letalstvu),
- AD-2000 Merkblatt HP 2/1 (tlačne posode),
- ASME BPVC Section IX (QW-400): Kvalifikacija postopkov varjenja (tlačne posode in parni kotli)
- AWS B2.1 (talilno varjenje kovinskih materialov),
- AWS B2.4 (varjenje termoplastov),
- AWS drugo (specifična uporaba, npr. ladjedelništvo, letalstvo, železnica, uporovno varjenje...).

V praksi se največkrat uporablja izraz atest postopka oz. atest varilnega postopka oz. kvalifikacija varilnega postopka oz. odobritev varilnega postopka oz. certificiranje varilnega postopka. Vsi izrazi pomenijo enako.

- Odobritev varilnega postopka je vezana na podjetje, ki izvaja varjenje;
- Predpogoj za odobritev je skladno s pWPS ali WPS izveden preskus varilnega postopka in odobren s strani neodvisnega organa (kontrolni organ, certifikacijski organ);
- Odobritev se izda na podlagi uspešno prestanih porušitvenih in neporušitvenih testov (sklop standardov EN ISO 15614 še ne zahteva akreditiranega laboratorija za preskušanje, novi, ki prihaja bo to zahtevo imel, zahteva pa ga EN ISO 17065);
- Varilec, ki opravlja certificiranje varilnega postopka, mora biti certificiran po EN ISO 9606;
- Pravilo je, da so varilni izvori ustrezno pregledani, saj so le taki zagotovilo za pravilno pripravljene WPQR.

#### 1.5.9.1 Vpliv na lastnosti zvarnega spoja

Na lastnosti zvarnega spoja v praksi velikokrat vpliva veliko različnih dejavnikov, ki se med seboj seštevajo ali pa izključujejo. Najbolj vplivni faktorji so tako:

- vnos toplote v material,
- oblika zvarnega spoja (na dostopnost, izbiro procesa 111, 141, 135, avtomatsko, ročno..),
- lega varjenja vpliva na dostopnost in na vnos toplote,
- vnos toplote vpliva na mehanske lastnosti zvarnega spoja,
- jemanje epruvet je odvisno od vnosa toplote (npr. žilavosti iz pozicije, ki ima največji vnos toplote (PF) trdota pa iz pozicije, ki ima najmanjši vnos toplote (PC),
- vnos toplote lahko odstopa na WPS max.  $\pm 25$  %.



### 1.5.9.2 Obseg odobritve

Odobritev je vezana na proizvajalca in ne na varilca. Veljavnost je praviloma časovno neomejena, seveda v primeru, da ni večjih sprememb v procesu varjenja ali če ni drugače določeno (npr. EN 1090 govori o recertifikaciji WPQR, ki v zadnjih treh letih ni bil uporabljen; AD-2000 govori o izvedbi delovnih vzorcev v določenem časovnem obdobju ali glede na število izdelanih kosov v seriji...);

Odobritev je vezana na WPS (skupina (tip) materiala, ki se je varil po ISO/TR 15608, podobnost zvarnega spoja, debelino materiala, ki se je varila, premer cevi, lego varjenja, vnos energije, tip uporabljenega dodatnega materiala, varilni prašek, tip varilnega toka (AC ali DC), temperaturo predgrevanja, toplotno obdelavo po varjenju, medvarkovno temperaturo, postopek varjenja (111, 135...), zaščitni plin, zaščita korena...). To velja za obločne postopke varjenja.

### 1.5.10 Kvalifikacija in odobritev varilnih postopkov po EN ISO 15614

Standardi serije EN ISO 15614 se uporabljajo pri procedurah za kvalifikacijo varilnih postopkov pri talilnih varjenjih kovinskih materialov. Vsi novi preizkusi varilnih postopkov se morajo izvajati v skladu s temi standardi. Ti standardi specificirajo način, kako kvalificirati predhodne WPS. Vse preiskave zvarnih spojev (porušitvene, neporušne, metalografske, korozijske) se morajo izvajati skladno s temi standardi. Standardi skupine EN ISO 15614 imajo skupno ime »Specifikacija in kvalifikacija varilnih postopkov za kovinske materiale - Preizkusi varilnih postopkov« in obsegajo naslednje dele:

- EN ISO 15614-1: Obločno in plinsko varjenje jekel ter obločno varjenje niklja in nikljevih zlitin;
- EN ISO 15614-2: Obločno varjenje aluminija in aluminijevih zlitin;
- EN ISO 15614-3: Talilno varjenje nelegiranega in legiranega litega železa;
- EN ISO 15614-4: Reparaturno varjenje novih ulitkov iz aluminijevih zlitin;
- EN ISO 15614-5: Obločno varjenje titana, cirkonija in njunih zlitin;
- EN ISO 15614-6: Obločno varjenje bakra in bakrovih zlitin;
- EN ISO 15614-7: Navarjanje;
- EN ISO 15614-8: Varjenje cevnih sten;
- EN ISO 15614-10: Hiperbarično suho varjenje;
- EN ISO 15614-11: Varjenje z elektronskim snopom in lasersko varjenje;
- EN ISO 15614-12: Točkovno, kolutno in bradavično uporovno varjenje;
- EN ISO 15614-13: Uporovno sočelno varjenje in uporovno obžigalno varjenje;
- EN ISO 15614-14: Laser-obločno hibridno varjenje jekel, niklja in nikljevih zlitin.

Glede na novo izdajo standarda EN ISO 15614-1:2017 se v nadaljevanju tega poglavja vse zahteve pri kvalifikaciji in odobritvi varilnih postopkov nanašajo na Nivo 2 (Level 2), ki je bolj restriktiven (ima strožje zahteve) od zahtev po Nivoju 1 (Level 1). Nivo 1 povzema zahteve ameriškega standarda ASME BPV Code-Section IX. Nivo 2 povzema zahteve starejše izdaje standarda ISO 15614-1 ter je na določenih mestih posodobljen. Če se izdelava kvalifikacija in odobritev varilnega postopka po Nivoju 2, so avtomatično izpolnjene zahteve Nivoja 1, obratno pa ne velja.

Tabela 8: Uporaba standardov serije EN ISO 15614

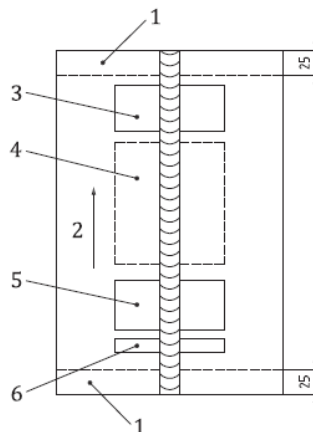
Del	Osnovni materiali po ISO/TR 15608	Postopki varjenja po ISO 4063	Oblika osnovnih materialov	Tipi zvarnih spojev	Obvezne preiskave	Dodatne preiskave
1	1-11 (jekla) 41-48 (nikelj in Ni-zlitine)	111, 114, 12, 131, 135, 136, 137, 141, 15, 311	plošče, cevi	sočelni, kotni, T-spoj, odcep cevi na cevi	VT, PT, MT, RT, UT, porušitvene, makroskopske	korozijske, kemična analiza, delta ferit, mikroskopske, križni test
2	21-26 (aluminij in Al-zlitine)	131, 141, 15	plošče, cevi, ulitki	sočelni, kotni, T-spoj, odcep cevi na cevi	VT,PT,RT,UT, porušitvene, makroskopske	kemične, križni test, določitev R <sub>po,2</sub>
3	71-74 (lito železo)	111, 114, 121, 131, 135, 136, 141, 15, 311	ulitki	sočelni, navari	VT, PT, natezne, makroskopske	RT ali UT, trdota, upogib, korozijske, kemična analiza
4	22-26 (Al-zlitine)	131, 141, 15	ulitki	navari	VT, PT, RT, prelomne, mikroskopske	/

5	51-54 (titan in Ti-zlitine) 61, 62 (cirkonij in Zr-zlitine)	131, 141, 15	plošče, cevi	sočelni, kotni, T-spoj, odcep cevi na cevi	VT, PT, RT, porušitvene, makro in mikroskopske, obarvanje	korozijske, kemična analiza, trdota, udarna žilavost
6	31-38 (baker in Cu- zlitine)	111, 131, 141, 15, 311	plošče, cevi	sočelni, kotni, T-spoj, odcep cevi na cevi, sočelni z zavihki	VT, PT, RT, porušitvene, makroskopske	korozijske, kemična analiza, trdota
7	1-11 (jekla)	111, 12, 13, 14, 15, 153, 72, 311	plošče, cevi	navari (korozijsko odporni in trdi navari)	VT, PT, MT, UT, upogib, trdota, makro in mikroskopske, kemična analiza, delta ferit	/
8	vsi razen železnih litin	111, 114, 13, 141	plošča, cevi	cevne stene (snop cevi skozi ploščo v različni razporedbi)	VT, PT, RT, trdota, makroskopske	izvlečenje
10	1, 2, 3 (feritna jekla)	111, 1114, 13, 141, 15	cevi	sočelni	VT, PT, MT, RT, UT, porušitvene, makroskopske (EN 288-9)	CTOD, natezni preizkus čistega vara
11	vsi materiali	51, 52	plošče, cevi	sočelni, kotni, T-spoj, prekrovni	VT, PT, MT, RT, UT, porušitvene, makroskopske (odvisno od stopenj sprejemljivosti B, C, D)	udarna žilavost, tesnost, luščilni test
12	vsi razen železnih litin	21, 22, 23	pločevina	prekrovni	VT, strižni, torzijski, natezni, luščilni, upogibni, tesnostni, makroobrus	trdota
13	vsi razen železnih litin	24, 25	palice, profili, votli profili, plošče	sočelni	VT, PT, MT, ET, UT, porušitvene, makroskopske (odvisno od tipa obremenitve)	trdota
14	1-11 (jekla) 41-48 (nikelj in Ni-zlitine)	521+131	plošče, cevi	sočelni, kotni, T-spoj, robni, odcep cevi na cevi in na plošči	VT, PT, MT, RT, UT, porušitvene, makroskopske	korozijske, kemična analiza, delta ferit, mikroskopske, križni test

### 1.5.10.1 Lokacije odvzema vzorcev za porušitvene in ostale preiskave zvarnih spojev

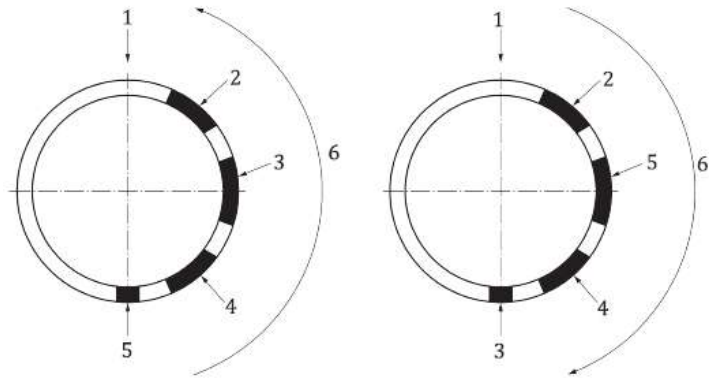
Vrste porušitvenih preiskav (vzdolžni in prečni natezni preizkusi, čelni in stranski upogibni preizkusi, udarna žilavost, meritve trdote...) so nadalje odvisne tudi od tipa zvarnega spoja, npr. na kotnih zvarih ne moremo izvesti nateznega preizkusa. Na slikah 1-10 so prikazani vzorci, ki jih je potrebno zavariti za preizkus varilnega postopka ter lokacije odvzema vzorcev za izvedbo porušitvenih in ostalih preiskav glede na tabelo 8, razen NDT.

- 1...odvreči 25 mm
- 2...smer varjenja
- 3...1×nateg, upogibni (in lomni) preizkusi
- 4...udarna žilavost in ostali preizkusi
- 5...1×nateg, upogibni (in lomni) preizkusi
- 6...1×makroskopija
- 6...1×trdota (razen Al-, Cu-zlitin)
- 6...1×mikroskopija (aluminij in Al-zlitine)



Slika 1: Lokacije odvzema vzorcev za porušitvene preiskave na sočelnem zvaru na plošči (EN ISO 15614-1,2,5,6,11)

- 1...vrh fiksirane cevi (konec/začetek varjenja)
- 2...1×nateg, upogibni (in prelomni) preizkusi
- 3...udarna žilavost in ostali preizkusi
- 4...1×nateg, upogibni (in prelomni) preizkusi
- 5...1×makroskopija,
- 5...1×trdota (razen Al-, Ti-, Zr-, Cu-zlitin)
- 5...1×mikroskopija (Al-, Ti-, Zr-zlitine)
- 6...smer varjenja (samo za EN ISO 15614-1)

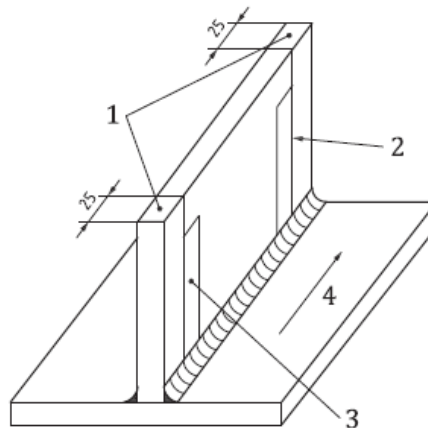


smer PH

smer PJ

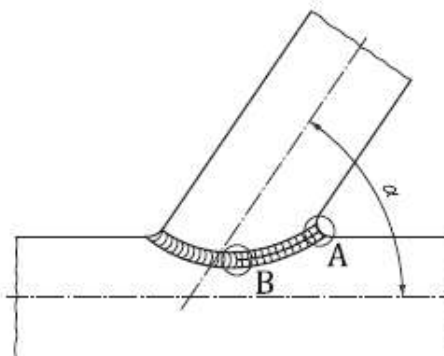
Slika 2: Lokacije odvzema vzorcev za porušitvene preiskave na sočelnem zvaru na cevi (EN ISO 15614-1,2,5,6)

- 1...odvreči 25 mm
- 2...makroskopija
- 2...mikroskopija (Al-, Ti-, Zr-zlitine)
- 3...makroskopija in trdota (samo jekla)
- 3...mikroskopija (Ti-, Zr-zlitine)
- 4...smer varjenja

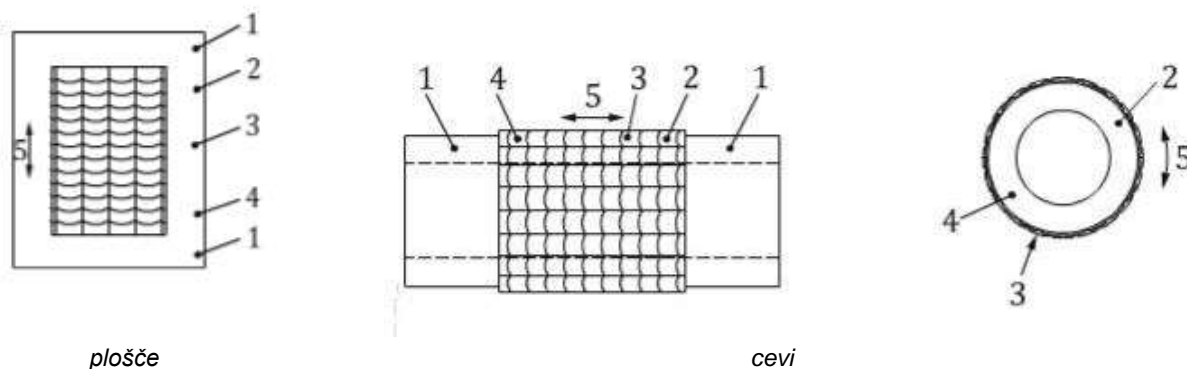


Slika 3: Lokacije odvzema vzorcev za porušitvene preiskave na kotnem zvaru na plošči (EN ISO 15614-1,2,5,6)

- A...makroskopija
- A...trdota (razen Al-, Cu-zlitin)
- A...mikroskopija (samo Al-zlitine)
- B...makroskopija
- $\alpha$ ...kot odcepa

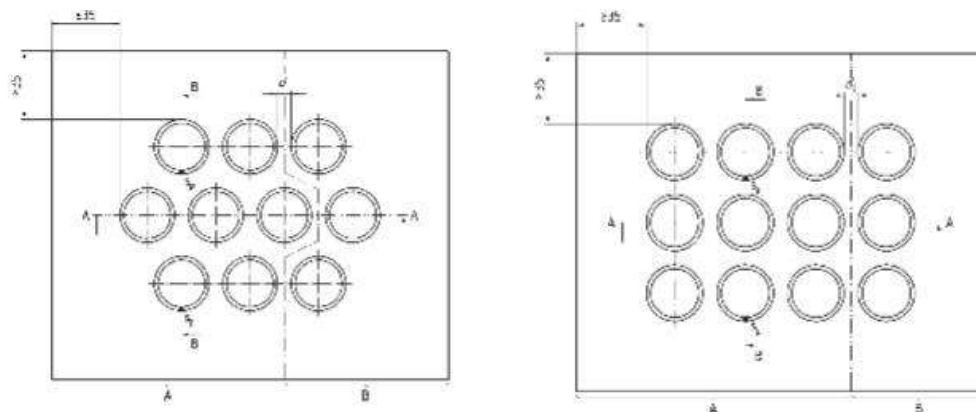


Slika 4: Lokacije odvzema vzorcev za porušitvene preiskave na kotnem zvaru na odcepu cevi (EN ISO 15614-1,2,5,6,14)



- 1...odvreči 25 mm navara
- 2...stranski upogib
- 3...makroskopija, kemična analiza, feritno število, trdota
- 4...stranski upogib
- 5...smer varjenja

Slika 5: Lokacije odvzema vzorcev za porušitvene preiskave navarov na ploščah in ceveh (EN ISO 15614-7)

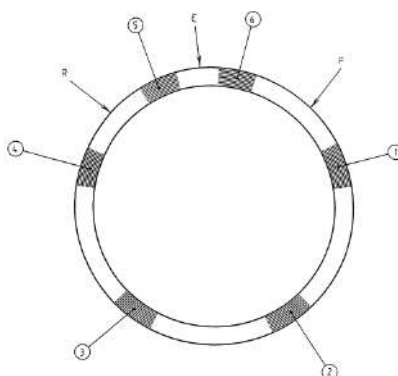


trikotna razporeditev cevi

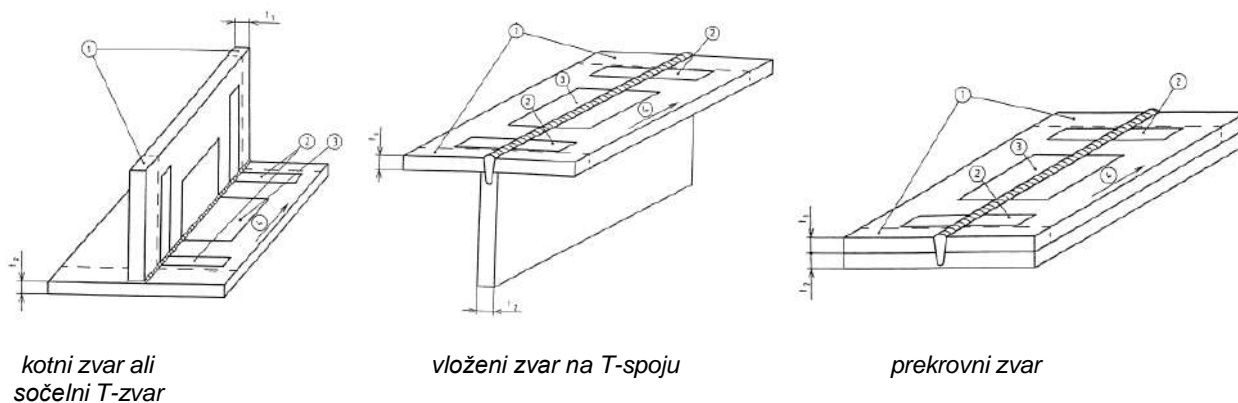
kvadratna razporeditev cevi

Slika 6: Preizkusni vzorci za cevne stene (EN ISO 15614-8)

- 1...1x nateg, upogibni preizkusi
- 2...udarna žilavost
- 3...1x nateg, upogibni preizkusi
- 4...makroskopija, trdota (če se zahteva)
- 5...makroskopija
- 6...makroskopija
- R...lokacija prekritja zvara



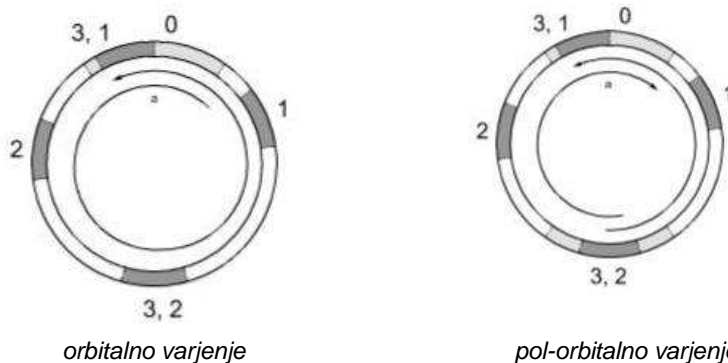
Slika 7: Lokacije odvzema vzorcev za porušitvene preiskave na ceveh (EN ISO 15614-11)



- 1...odvreči 25-50 mm (odvisno od debeline obeh varjencev)
- 2...makroskopija, trdota (če se zahteva)
- 3...ostali preizkusi (če se zahteva)
- 4...smer varjenja

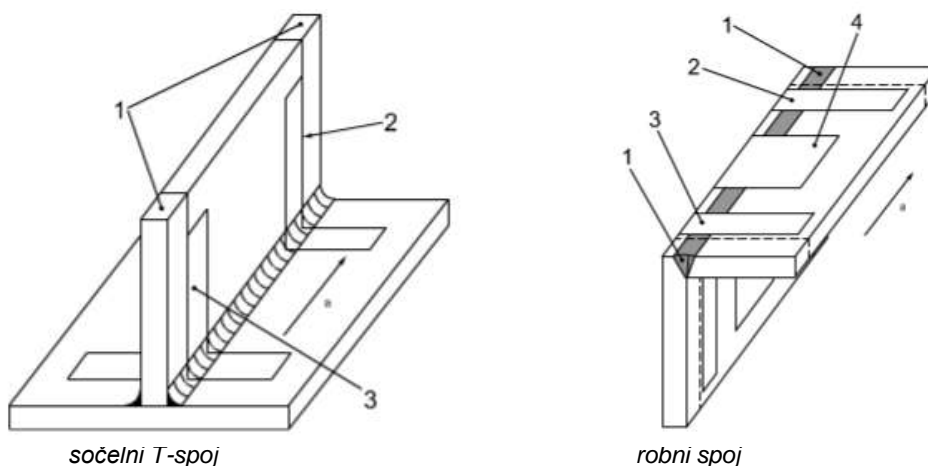
Slika 8: Lokacije odvzema vzorcev za porušitvene preiskave na ploščah (EN ISO 15614-11)

- 0...cona prekritja zvara
- 1...1x nateg, upogibni preizkusi
- 2...udarna žilavost
- 3...makroskopija, trdota
- a...smer varjenja



Slika 9: Lokacije odvzema vzorcev za porušitvene preiskave na cevih (EN ISO 15614-14)

a...smer varjenja



- 1...odvreči 25 mm
- 2...makroskopija
- 3...makroskopija, trdota

- 1...odvreči 25 mm
- 2...makroskopija
- 3...makroskopija, trdota
- 4...ostali preizkusi (če se zahteva)

Slika 10: Lokacije odvzema vzorcev za porušitvene preiskave na sočelnih T in robnih spojih (EN ISO 15614-14)



### 1.5.10.2 Stopnje sprejemljivosti zvarov za porušitvene preiskave

Za določene vrste osnovnih materialov se zahteva, da zvari pri porušitvenih preiskavah dosegajo določene minimalne vrednosti (natezna trdnost, kot upogiba) ali ne presežejo maksimalnih vrednosti npr. trdote.

- a.) natezna trdnost zvarov na aluminiju in Al-zlitinah po EN ISO 15614-2: Natezna trdnost varjenega preizkušanca  $R_m(w)$  v stanju kot varjeno (angl. *as welded*) mora dosegati določen del (T) natezne trdnosti osnovnega materiala  $R_m(pm)$  kot je zahtevano v relevantnem produktnem standardu za osnovne materiale (tabela 9). Zahteve veljajo tudi za FSW varjenje Al-zlitin po ISO 25239-4 (poglavje 10), razen za zlitine skupine 23.2.

Tabela 9: Izkoristek natezne trdnosti sočelnih zvarov na aluminiju in Al-zlitinah

Skupina materialov po ISO/TR 15608	Stanje dobave osnovnega materiala pred varjenjem	Stanje materiala po varjenju	$T=R_m(w)/R_m(pm)$
21	vsa stanja	kot varjeno	1,0
22	vsa stanja	kot varjeno	1,0
23.1	T4	T4, T6	0,7
	T5 in T6	T4	0,6
	T5 in T6	T6	0,7
23.2	T4	T4	0,95
	T4	T6	0,75
	T6	T4, T6	0,75

- b.) upogibni preizkus: Ta porušitveni preizkus je odločilen za dokazovanje duktilnosti zvarov, ki so bili varjeni z različnimi postopki varjenja. Preizkus se izvaja do kota upogiba 180°. Za FSW varjenje Al-zlitin po ISO 25239-4 (poglavje 10) se izvaja upogib do kota minimalno 150°. Kot sprejemljivo se smatra, da po upogibu ni vidnih nobenih površinskih razpok, ki bi bile daljše od 3 mm. Razpok na robovih preizkušancev se ne upošteva. Za večino kovinskih materialov razen aluminija in njegovih zlitin veljajo naslednje zahteve za premer trna  $d$ , s katerim se izvaja upogib ( $A$  je minimalni raztezek pri nategu osnovnega materiala iz produktnega standarda;  $t$  je debelina preizkušanca):
- jekla, nikelj in Ni-zlitine, titan skupine 51:  $d=4xt$  za  $A \geq 20\%$  in  $d=(100xt/A) - t$  za  $A < 20\%$ ,
  - titanove in cirkonijeve zlitine:  $d=6xt$  za  $A \geq 20\%$  in  $d=(100xt/A) - t$  za  $A < 20\%$ ,
  - aluminij, Al-zlitine, baker, Cu-zlitine:  $d=(100xt/A) - t$  za  $A > 5\%$  (za  $A \leq 5\%$  je potrebno vzorce pred upogibom žariti). Tabela 10 podaja vrednosti za maksimalni izračunan premer trna glede na raztezke in debeline za Al- in Cu-zlitine.

Tabela 10: Maksimalni izračunan premer trna  $d$  za upogibne preizkuse na Al- in Cu-zlitinah

Debelina preizkušanca za upogibni preizkus $t$ [mm]	Raztezek $A$ [%]							
	8	10	12	15	17	20	25	35
	Maksimalni izračunan premer trna $d$ [mm]							
4	46	36	29	23	20	16	12	7
6	69	54	44	34	29	24	18	11
8	92	72	59	45	39	32	24	15
10	115	90	73	57	49	40	30	19
12	138	108	88	68	59	48	36	22
15	172	135	110	85	73	60	45	28
20	230	180	147	113	98	80	60	37
25	288	225	183	142	122	100	75	46
30	345	270	220	170	146	120	90	56
35	402	315	257	198	171	140	105	65
40	460	360	293	227	195	160	120	74

- c.) trdota: zaradi zagotavljanja dobre varivosti je maksimalna vrednost trdote najpomembnejši parameter, ki potrjuje ustreznost določenega varilnega postopka za feritno jeklo. Pri obločnih in plamenskih postopkih varjenja jekel, pri navarjanju jekel, pri laser-obločnem hibridnem varjenju jekel je dovoljena maksimalna trdota jekla v varu, v obeh ali v eni toplotno vplivani coni (TCV) ter v obeh ali v enem osnovnem materialu glede na tabelo 11. Pri navarjanju je trdota trdega navara specificirana in zanjo ne velja spodnja tabela.



Tabela 11: Dovoljene maksimalne trdote zvarov na feritnih jeklih (HV 10)

Skupina materialov po ISO/TR 15608	Brez toplotne obdelave po varjenju (PWHT)	Toplotno obdelano (PWHT)
1 <sup>a</sup> , 2 <sup>b</sup>	380	320
3 <sup>b</sup>	450	380
4, 5	380 <sup>c</sup>	350 <sup>c</sup>
6	/	350
9.1	350	300
9.2	450	350
9.3	450	350

a...če se zahteva meritev trdote

b...za jekla z minimalno mejo elastičnosti  $R_{eH} > 890$  MPa se lahko specificirajo specialne vrednosti

c...za nekatera jekla se lahko sprejmejo višje vrednosti, če se jih specificira pred preiskavami

### 1.5.10.3 Stopnje sprejemljivosti zvarov za neporušitvene preiskave (NDT)

#### Obločno in plamensko varjenje jekel in obločno varjenje Ni-zlitin po EN ISO 15614-1:

- stopnje sprejemljivosti B po EN ISO 5817, razen za tiste nepopolnosti, ki so podane v tabeli 12.

#### Obločno in varjenje Al in Al-zlitin ter obločno/plamensko varjenje Cu in Cu-zlitin po EN ISO 15614-2/6:

- stopnja sprejemljivosti B po EN ISO 10042, razen:
- stopnja sprejemljivosti C po EN ISO 10042 za napake 502, 503, 504 in 5214.

#### Reparaturno varjenje Al-ulitkov po EN ISO 15614-4:

- stopnja sprejemljivosti B po EN ISO 10042 za dele pod tlakom, drugače:
- stopnja sprejemljivosti C po EN ISO 10042.

#### Navarjanje jekel po EN ISO 15614-7:

- korozijsko odporni navari (VT): razpoke in ostale linearne nepravilnosti niso dovoljene; površinske pore niso dovoljene,
- trdi navari (VT): linearne in druge površinske nepravilnosti niso dovoljene; površinske pore  $\leq 2$  mm so dovoljene,
- vsi navari (PT, MT): nivo sprejemljivosti 2X po ISO 23277 (PT) in ISO 23278 (MT)

#### Varjenje cevni sten po EN ISO 15614-8:

- VT preiskave: Tabela 2 v zgoraj omenjenem standardu
- RT preiskave: Tabela 3 v zgoraj omenjenem standardu
- PT preiskava: Katerekoli indikacije v varu ali v TVC niso sprejemljive
- Makroskopija: Tabela 4 v zgoraj omenjenem standardu


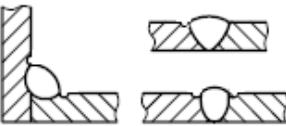
#### Varjenje jekla, aluminija in Al-zlitin z laserjem ali elektronskim snopom po EN ISO 15614-11:



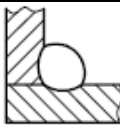

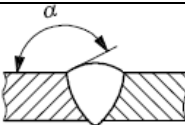
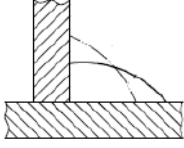
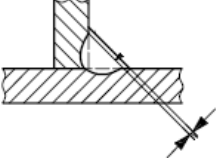
- po specifikacijah stopnje sprejemljivosti B, C ali D po EN ISO 13919-1 za jekla
- po specifikacijah stopnje sprejemljivosti B, C ali D po EN ISO 13919-2 za Al in Al-zlitine

#### Laser-obločno hibridno varjenje jekel in Ni-zlitin po EN ISO 15614-14:

- stopnja sprejemljivosti B po EN ISO 12932, razen:
- stopnja sprejemljivosti C po EN ISO 12932 za napake 502, 503, 504 in 5214

Tabela 12: Stopnje sprejemljivosti nepopolnosti za NDT preiskave zvarov po EN ISO 15614-1

ISO 5817 Referenčna številka	ISO 6520-1 Referenčna številka	Opis in skica nepopolnosti	Stopnja sprejemljivosti po ISO 5817
1.1	100	Razpoke*	B (ni dovoljeno)
1.5	401	Zlep (pomanjkljiva spojitve)	B (ni dovoljeno)
1.6	4021	Slaba prevaritev v korenu 	B (ni dovoljeno)
1.7	5011	Neprekinjena zajeda 	C

1.7	5012	Prekinjena zajeda 	C
1.9	502	Čezmerna višina temena (sočelni zvar) 	C
1.10	503	Čezmerna izboklina kotnega zvara 	C
1.11	504	Čezmerna izboklina korena 	C
1.12	505	Nepravilen prehod korena 	C
1.16	512	Prevelika asimetrija kotnega zvara 	B
1.21	5214	Prevelika višina kotnega zvara 	C

\*materiali, ki so občutljivi na mikrorazpoke, zahtevajo še dodatne specifične preiskave

#### 1.5.10.4 Obseg odobritev kvalifikacij varilnih postopkov po EN ISO 15614

- a.) Obseg odobritev skupin osnovnih materialov po ISO/TR 15608: Da bi znižali število preizkusov varilnih postopkov, so vsi varivi kovinski materiali združeni v določene skupine in podskupine. Če je določen osnovni material pokrit z dvema podskupinama (npr. pri isti kemični sestavi imajo debelejši materiali nižje mehanske lastnosti od tanjših), potem se ga vedno razvrsti v nižjo podskupino. Minimalne razlike v kemični sestavi podobnih materialov, ki izhajajo iz uporabe nacionalnih produktivnih standardov (npr. DIN, BS, NF...) ne potrebujejo ponovne kvalifikacije varilnega postopka. V tabelah 13-17 so podani obsegi odobritev za skupine osnovnih materialov po ISO/TR 15608 glede na različne dele standarda EN ISO 15614. Pri tem je pomembno, da so kot osnovni materiali podane tudi kombinacije materialov med seboj, npr. pri »črno-belem« varjenju avstenitnih nerjavnih jekel skupine 8 s feritnimi črnimi jekli skupine 1.

Tabela 13: Obseg odobritev osnovnih materialov po EN ISO 15614-1,14 (jeklo)<sup>a,b,c</sup>

Material testnega kosa A	Material testnega kosa B										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1-1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
2	1-1 2-1	1-1 2-1 2-2	/	/	/	/	/	/	/	/	/
3	1-1 2-1 3-1	1-1 2-1 2-2 3-1 3-2 3-2	1-1 2-1 2-2 3-1 3-2 3-3	/	/	/	/	/	/	/	/
4	4-1	4-1	4-1	4-1	/	/	/	/	/	/	/

		4-2	4-2 4-3	4-2 4-3 4-4							
5	5-1	5-2	5-3	5-4	5-1 5-2 5-5	/	/	/	/	/	/
6	6-1	6-1 6-2	6-1 6-2 6-3	6-1 6-2 6-3 6-4	6-1 6-2 6-3 6-4 6-5	6-1 6-2 6-3 6-4 6-5 6-6	/	/	/	/	/
7	7-1	7-1 7-2	7-1 7-2 7-3	7-4	7-5	7-5 7-6	7-7	/	/	/	/
8	8-1	8-1 8-2	8-1 8-2 8-3	8-4	8-1 8-2 8-3 8-4 8-6	8-1 8-2 8-4 8-5 8-6	8-7	8-8	/	/	/
9	9-1	9-1 9-2	9-1 9-2 9-3	9-4	9-5	9-6	9-7	9-8	10-9	/	/
10	10-1	10-1 10-2	10-1 10-2 10-3	10-4	10-1 10-2 10-3 10-4 10-6	10-1 10-2 10-4 10-6	10-7	10-8	10.0	10-10	/
11	11-1 1-1	11-1 11-2	11-1 11-2 11-3	11-4	11-5	11-6	11-7	11-8	11-9	11-10	1-1 11-1 11-11

a...materiali testnih kosov v skupinah 1, 2, 3 in 11 kvalificirajo jekla z enako ali nižjo mejo plastičnosti, ne glede na debelino materiala

b...materiali testnih kosov v skupinah 4, 5, 6, 8 in 9 kvalificirajo jekla znotraj podskupine in vsa jekla nižjih podskupin znotraj iste skupine

c...materiali testnih kosov v skupinah 7 in 10 kvalificirajo le jekla znotraj iste podskupine

Tabela 14: Obseg odobritev osnovnih materialov po EN ISO 15614-2 (aluminij in Al-zlitine)

Material testnega kosa A	Material testnega kosa B										
	21	22.1	22.2	22.3	22.4	23.1	23.2	24.1	24.2	25	26
21	21-21	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
22.1	/	22.1-22.1 22.2-22.2	22.1-22.2	/	/	/	/	/	/	/	/
22.2	/	22.2-22.1	22.2-22.2 22.1-22.1	/	/	/	/	/	/	/	/
22.3	/	22.3-22.1 22.3-22.2 22.3-22.4	22.3-22.2 22.3-22.1 22.3-22.4	22.3-22.3 22.1-22.1 22.2-22.2 22.4-22.4	22.3-22.4 22.3-22.1 22.3-22.2	/	/	/	/	/	/
22.4	/	22.4-22.1 22.4-22.2 22.4-22.3	22.4-22.2 22.4-22.1 22.4-22.3	22.4-22.3 22.4-22.1 22.4-22.2	22.4-22.4 22.1-22.1 22.2-22.2 22.3-22.3	/	/	/	/	/	/
23.1 <sup>a</sup>	/	/	/	/	/	23.1-23.1 22.1-22.1 22.2-2.2 22.3-2.3 22.4-22.4	/	/	/	/	/
23.2 <sup>a</sup>	/	/	/	/	/	23.2-23.1	23.2-23.2 23.1-23.1 22.1-22.1 22.2-2.2 22.3-2.3 22.4-22.4	/	/	/	/
24.1	/	/	/	/	/	/	/	24.1-24.1	/	/	/
24.2	/	/	/	/	/	24.2-23.1 <sup>b</sup>	/	24.2-24.1	24.2-24.2 24.1-24.1 23.1-23.1	/	/

25	/	/	/	/	/	/	/	25-24.1	25-24.2	25-25 24.1-24.1 24.2-24.2	/
26	/	/	/	/	/	/	/	26-24.1 <sup>c</sup>	26.24.2 <sup>c</sup>	26-25 <sup>c</sup>	26-26 24.1-24.1 24.2-24.2 25-25

a...materiali iz podskupin 23.1 in 23.2 kvalificirajo tudi vse kombinacije med materiali podskupin 22.1, 22.2, 22.3 in 22.4, če se varijo z dodatnimi materiali TIPA 5 (Al-Mg)

b...samo z uporabo dodatnih materialov TIPA 4 (Al-Si)

c...samo za ulitke

Tabela 15: Obseg odobritev debelin osnovnih materialov po EN ISO 15614-1,2,5,6,14

Del	Sočelni zvarni spoji			Kotni zvarni spoji, sočelni T-spoji (a...višina kotnega zvara)			
	Debelina preizkušanca	Obseg enovarkovno	Obseg večvarkovno	Debelina preizkušanca; višina kotnega zvara	Obseg debeline	Obseg višine kotnega zvara enovarkovno	Obseg višine kotnega zvara večvarkovno
1	$t \leq 3$ mm	0.5t – 2t		$t \leq 3$ mm	0.7t-2t	0.75a-1.5a	ni omejitev
	$3 < t \leq 12$	0.5t-1.3t	3 mm -2t	$3 < t < 30$	3 mm-2t	0.75a-1.5a	ni omejitev
	$12 < t \leq 40$	0.5t-1.1t	0.5t-2t	$t \geq 30$ mm	$\geq 5$ mm	0.75a-1.5a	ni omejitev
	$40 < t \leq 100$	/	0.5t-2t				
$t > 100$ mm	/	50 mm -2t					
2	$t \leq 3$ mm	0.5t – 2t		$a < 10$ mm	/	0.75a – 1.5a	
	$3 < t \leq 20$	3 mm – 2t		$a \geq 10$ mm	/	$\geq 7.5$ mm	
	$t > 20$ mm	$\geq 0.8t$					
5	$t \leq 3$ mm	0.7t-1.5t	0.7t-2t	$t \leq 3$ mm	0.7t-2t	/	/
	$3 < t \leq 12$	0.7t-1.3t	3 mm -2t	$3 < t \leq 12$	3 mm-2t	/	/
	$t > 12$ mm	0.7t-1.1t	0.5t-2t	$t > 12$ mm	0.5t-2t	/	/
6	$t \leq 3$ mm	0.5t – 2t		a	vse	0.75a–1.5a	
	$3 < t \leq 20$	3 mm – 2t					
	$t > 20$ mm	$\geq 0.8t$					
14	$t < 5$ mm	t		$t < 5$ mm	t	/	/
	$t \geq 5$ mm	0.8t - t		$t \geq 5$ mm	0.8t - t	/	/

- b.) Debelina materialov in premer cevi: Obseg odobritev debelin osnovnih materialov plošč in cevi ( $t$ ) ter obseg odobritev (zunanjih) premerov cevi ( $D$ ) ima pri racionalizaciji števila preizkusov varilnih postopkov bistven pomen, saj se z izbiro ugodne debeline/premera osnovnega materiala lahko izognemo previsokim stroškom zaradi opravljanja prevelikega števila preizkusov. V tabelah 18-20 so podani obsegi odobritev za debeline materialov in premerov cevi za različne dele standarda EN ISO 15614 glede na tip zvarnih spojev oziroma postopek varjenja.

Tabela 16: Obseg odobritev premerov cevi in odcepv osnovnih materialov po EN ISO 15614-1,2,5,11,14

Del	Premer preizkusnega kosa D [mm]	Obseg kvalifikacije
1	D	$\geq 0.5 D$
2, 5, 14	$D \leq 25$ mm	$0.5 D - 2 D$
	$D > 25$ mm	$\geq 0.5 D$ (25 mm minimalno)
11	D	$\geq 0.75 D$

- c.) Proces varjenja: Kvalifikacija je veljavna le za postopek (postopke) varjenja, kateri so bili uporabljeni v preizkusu varilnega postopka. Ni dovoljeno, da bi uporabili preizkus več postopkov varjenja (npr. kombinacija TIG/RO varjenje) za kvalifikacijo posameznih postopkov, ki so sestavljali ta preizkus (torej da bi izdali še dve ločeni kvalifikaciji za TIG in RO varjenje). Vsak nivo mehanizacije varjenja (ročno, delno ali popolnoma mehanizirano, avtomatizirano) mora biti kvalificiran ločeno.
- d.) Pozicije varjenja: Varjenje preizkusnega vzorca v katerikoli poziciji (plošča ali cev) kvalificira varjenje v vseh legah, če se ne izvajata preizkus udarne žilavosti ali trdote. Če pa se zahteva, se kvalifikacija izvaja z dvema vzorcema, in sicer v legah, kjer je najvišji vnos toplote (PA, PF) in kjer je najnižji vnos toplote (PC, PE). Udarne žilavost se preizkuša na legah z najvišjim vnosom toplote, trdota pa se meri na legah, kjer je vnos toplote najnižji. Za varjenje v legah vartikalno navzdol PG, PJ in J-L045 se zahteva ločen preizkus. Pri varjenju jekel skupine 10 (duplex nerjavna jekla) je potrebno izvesti preizkus udarne žilavosti v pozicijah z najnižjim (PC, PE) in najvišjim (PA, PF) vnosom toplote v zvar.
- e.) Tipi zvarnih spojev/zvarov: Za kvalifikacijo po EN ISO 15614-1,2,5 (jekla, Ni-, Al-, Ti-, Zr-zlitine) veljajo omejitve glede tipov zvarnih spojev po točki 8.4.3 omenjenih standardov oziroma po točki 9.4.3 iz EN ISO 15614-6 za baker in Cu-zlitine.

- f.) Dodajni materiali: En dodajni material pokriva ostale dodatne materiale, dokler imajo enake mehanske lastnosti, enak tip oplasčenja, stržena ali praška, enako nominalno kemično sestavo in enak ali nižji nivo difundirajočega vodika. Če se zahteva preizkus udarne žilavosti osnovnega materiala pri temperaturah nižjih od -20 °C, je obseg veljavnosti za procese 111, 114, 12, 136 in 137 omejen samo na uporabo dodatnega materiala proizvajalca, ki je bil uporabljen pri izdelavi preizkusa varjenja. To ne velja za masivne žice in palice z enako oznako ter enako nominalno kemično sestavo. Dovoljeno je spremeniti premer dodajnih materialov, razen za laser-obločno hibridno varjenje. Premer varilne žice se lahko spreminja, vendar morajo biti zahteve glede obsega linijskega vnosa toplote (alineja h) zadovoljene.
- g.) Tip varilnega toka: Kvalifikacija je dana za tip varilnega toka (AC-izmenični, DC-enosmerni, pulzni), ki je bil uporabljen pri preizkusu varilnega postopka. Pri RO varjenju (111) AC-varilni tok kvalificira tudi DC+ in DC-tok, če ni zahteve po preizkusu udarne žilavosti.
- h.) Vnos toplote v zvar:  
-jekla po EN ISO 15614-1: Če se zahteva preizkus udarne žilavosti, se kvalificira zgornja meja vnosa toplote 25 % nad tisto, ki je bila uporabljena v preizkusu. Če se zahteva meritev trdote, se kvalificira spodnja meja vnosa toplote 25 % pod tisto, ki je bila uporabljena v preizkusu. V primeru izvedbe obeh preiskav je torej obseg kvalifikacije vnosa toplote ± 25 % glede na tisto, ki je bila uporabljena v preizkusu. Vnos toplote v zvar se izračuna v skladu z EN 1011-1 (ISO/TR 17671-1):

$$Q = k \frac{U \times I}{v} \times 10^{-3} \quad [\text{kJ/mm}]$$

kjer je:

U...obločna napetost [V]

I...varilni tok [A]

v...hitrost varjenja [mm/s]

k...termični izkoristek varilnega procesa: k=1 (121); k=0.8 (111, 114, 131, 135, 136, 138); k=0.6 (141, 15)

-Al- in Cu-zlitine po EN ISO 15614-2.6: Obseg kvalifikacije vnosa toplote je ± 25 % glede na tisto, ki je bila uporabljena v preizkusu. Vnos toplote v zvar se izračuna v skladu z EN 1011-1 (ISO/TR 17671-1).

-jekla in Ni-zlitine po EN ISO 15614-14: Obseg kvalifikacije vnosa toplote je ± 15 % glede na tisto, ki je bila uporabljena v preizkusu. Nominalni vnos toplote se izračuna kot:

$$Q_{\text{nom}} = \frac{(P + U \times I)}{v} \times 10^{-3} \quad [\text{kJ/mm}]$$

kjer je:

P...nominalna moč laserja [kW]

U...obločna napetost [V]

I...varilni tok [A]

v...hitrost varjenja [mm/s]

- i.) Temperatura predgrevanja in medvarkovna temperatura: Znižanje temperature predgrevanja za več kot 50 °C glede na izmerjeno po WPQR zahteva novo kvalifikacijo postopka varjenja. Povišanje medvarkovne temperature za več kot 50 °C glede na najvišjo doseženo medvarkovno temperaturo po WPQR zahteva novo kvalifikacijo postopka varjenja.
- j.) Toplotna obdelava po varjenju (PWHT): Dodatna toplotna obdelava ali odstranitev PWHT ni dovoljena. Temperature toplotne obdelave (npr. žarjenje) lahko odstopajo za ± 20 °C glede na preizkus postopka varjenja. Velja za jekla, Ni-, Ti- Zr-zlitine. Za Al- in Cu-zlitine velja obseg temperature in pogoji staranja (umetno, naravno) kot je specificirano v WPS. Sprememba v začetnem stanju dobave pred varjenjem zlitin za izločilno utrjevanje (jekla, Ni-zlitine) ni dovoljena.

### 1.5.10.5 Specifične zahteve glede na postopek varjenja

- postopek 12 (EPP varjenje): Vsaka varianta EPP postopka (121-125) mora biti kvalificirana ločeno;
- postopki 131, 135, 136, 137 (MIG/MAG z masivno/stržensko žico): Kvalifikacija glede uporabe zaščitnih plinov po ISO 14175 je omejena na simbol zaščitnega plina po tem standardu. Vsebnost CO<sub>2</sub> naj ne preseže ± 20 % kvalificirane vrednosti. Kvalifikacija kratkostičnega prehoda materiala (D) kvalificira samo tega. Kvalifikacija pršečega (S), pulznega (P) ali grobokapljičnega (G) prehoda kvalificira vse tri. Pri varjenju s kontrolo oblike toka (*Waveform*) sprememba varilnega izvora zahteva izdelavo novega WPQR.

- postopek 141 (TIG varjenje): Kvalifikacija glede uporabe zaščitnih plinov po ISO 14175 je omejena na simbol zaščitnega plina po tem standardu. Varjenje z dodatnim materialom (141) ne kvalificira varjenja brez dodatnega materiala (142-avtogeni TIG). Deviacija helija za  $\pm 10\%$  v zaščitnem plinu je dovoljena.
- postopek 15 (plazma varjenje): Kvalifikacija je omejena za sestavo plazemskih plinov po WPQR. Kvalifikacija glede uporabe zaščitnih plinov po ISO 14175 je omejena na simbol zaščitnega plina po tem standardu (tudi za zaščito korena). Varjenje z dodatnim materialom ne kvalificira varjenja brez dodatnega materiala.
- postopek 311 (plamensko varjenje): Varjenje z dodatnim materialom ne kvalificira varjenja brez dodatnega materiala.
- postopki 131, 141, 15 za varjenje Cu-zlitiin: Sprememba vsebnosti helija (He) za več kot  $\pm 25\%$  zahteva drugo kvalifikacijo postopka.

### 1.5.11 Kvalifikacija in odobritev varilnih postopkov po ostalih ISO standardih

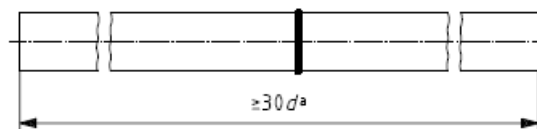
Nekateri specialni postopki varjenja (npr. varjenje s trenjem, varjenje čepov) oziroma nekatere oblike osnovnih materialov (npr. jekleni ulitki) zahtevajo odobritev varilnih postopkov izven zahtev skupine standardov EN ISO 15614. V tabeli 21 je prikazana uporaba nekaterih standardov za odobritev varilnih postopkov, ki niso v obsegu EN ISO 15614.

Tabela 17: Uporaba standardov za kvalifikacijo postopkov varjenja izven EN ISO 15614

Oznaka standarda	Osnovni materiali po ISO/TR 15608	Postopki varjenja po ISO 4063	Oblika osnovnih materialov	Tipi zvarnih spojev	Obvezne preiskave	Dodatne preiskave
ISO 11970	A,B,C,D,E,F,G,H,I,J,K (jekla in Ni-zlitine)	111, 114, 121, 131, 135, 136, 138, 141	ulitki	sočelni, navari	VT, RT, PT, MT, natezni, udarna žilavost	trdota, upogib, korozijske, makroskopske, mikroskopske
ISO 14555	1-6, 8, 10, 11.1, 21, 22, 32	78 (obločno varjenje čepov)	čepi	sočelni	VT, RT, natezni, upogibni, torzijski, makroskopske	če se zahtevajo
ISO 15620	vsi	42 (varjenje s trenjem)	palice, votli profili	sočelni	upogib	VT, PT, MT, ET, natezni, udarna žilavost, makroskopske
ISO 25239-4	21-26	43 (torno varjenje z gnetenjem-FSW)	plošče, cevi, ulitki	sočelni, prekrivni	VT, porušitvene, makroskopske	PT, RT, UT, ET, luščilni, strižni

### 1.5.12 Kvalifikacija in odobritev tehnologije varjenja betonskih jekel po standardu EN ISO 17660-1

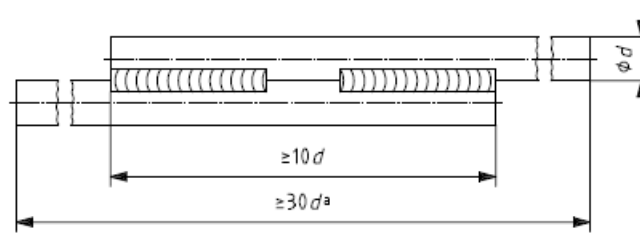
Specifikacije postopkov varjenja (WPS) betonskih jekel se pripravljajo skladno z ISO 15609-1 (postopki št. 111, 114, 135, 136) ali z ISO 15609-2 (postopek št. 47) ali z ISO 15620 (postopek št. 42). Preskusni vzorci za izdelavo kvalifikacije postopkov varjenja betonskih jekel se izdelajo skladno s slikami 11-13.



<sup>a</sup>  $L_{\min} = 300 \text{ mm}$ .

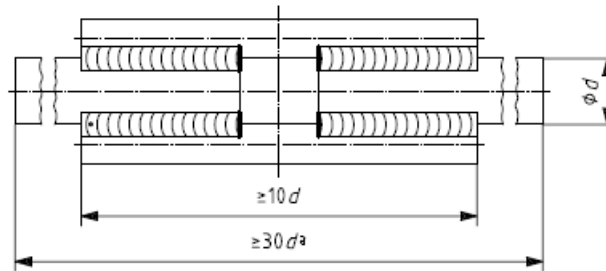
Slika 11: Preskusni vzorec za sočelni zvarni spoj na betonskem jeklu





<sup>a</sup>  $L_{\min} = 300 \text{ mm}$ .

Slika 12: Preskusni vzorec za prekrojni zvarni spoj na betonskem jeklu



<sup>a</sup>  $L_{\min} = 300 \text{ mm}$

Slika 13: Preskusni vzorec za pasovni zvarni spoj na betonskem jeklu

Tabela 18: Preiskave zvarnih spojev na betonskem jeklu za izdelavo WPQR (za izdelavo proizvodnih vzorcev)

Postopek varjenja	Tip zvarnega spoja	Število preskusnih vzorcev za WPQR (proizvodni vzorci)		
		Natezni preskus	Upogibni preskus	Strižni preskus
111, 114 135, 136	sočelni	3 (1)	3 (1)	/
	križni	6 (1)	3 (1)	3 (1)
	prekrojni/pasovni	3 (1)	/	/
42	sočelni	3 (1)	3 (1)	/
47	sočelni	3 (1)	3 (1)	/

#### **Zahteve za stopnje sprejemljivosti pri nateznem preskusu:**

Prelomna površina zvara ne sme vsebovati nobenih nepravilnosti, ki bi bile večje od zahtev razreda kakovosti C skladno z EN ISO 5817. Minimalna natezna sila  $F_{\max}$  [N] ob prelomu mora biti večja od:

$$F_{\max} \geq A_n \cdot R_m$$

$A_n$ ...nominalni presek palice [ $\text{mm}^2$ ]

$R_m$ ...nominalna natezna trdnost palice [MPa]

#### **Zahteve za stopnje sprejemljivosti pri upogibnem preskusu:**

Preskusni vzorci morajo biti upognjeni za kot minimalno  $60^\circ$ , pri tem mora biti premer trna enak vrednostim v naslednji tabeli:

Obseg premerov palice betonskega jekla (mm)	Premer trna za upogib
$d \leq 8$	$5xd$
$8 < d \leq 12$	$6xd$
$12 < d \leq 20$	$8xd$
$20 < d \leq 32$	$10xd$
$d > 32$	$12xd$

Po upogibu se vzorec pregleda vizualno. Ne sme biti prisotnih nobenih razpok, ki bi se opazile brez povečave.

**Obseg kvalifikacije:**

- WPQR na eni kvaliteti jekla ne kvalificira drugih kvalitet jekla (npr. jeklo B500A ne kvalificira B500B);
- Ogljikov ekvivalent CEV materiala, uporabljenega za WQPR kvalificira materiale z enakim ali nižjim CEV;
- WPQR na obremenjenih spojih kvalificira neobremenjene spoje, ne pa obratno;
- Obseg premerov palic betonskega jekla in ostalih materialov je podan v EN ISO 17660-1, Tabela 5.

**1.5.13 Kvalifikacija in odobritev tehnologije elektro-obločnega varjenja čepov po standardu EN ISO 14555**

Priprava, nastavitev in varjenje preskusnih vzorcev mora biti izvedeno skladno z pWPS pri splošnih pogojih proizvodnega varjenja. Do minus pola (ozemljitve) mora biti dovolj velika razdalja, da ne prihaja do pihanja obloka. Kvalifikacija postopkov obločnega varjenja čepov mora biti izvedena na najmanjših in največjih premerih čepov, ki se varijo v proizvodnji. Minimalno število zavarjenih čepov, mehanske in NDT preiskave so podane v tabelah 19-21.

Tabela 19: Preskušanje vzorcev zvarov, varjenih z obločnim varjenjem čepov s keramičnimi obročki (783)

Vrsta preskusa / preiskave	Število preskušanih čepov (d...premer čepa)		
	uporaba ≤ 100 °C	uporaba ≤ 100 °C	uporaba > 100 °C
	d ≤ 12 mm	d > 12 mm	vsi premeri
VT preiskava	vsi	vsi	vsi
RT preiskava	N/A	5 (opcijsko namesto nateznega preskusa)	/
Upogibni preskus	10 (kot upogiba 60°)	5 (kot upogiba 60°)	10 (kot upogiba 30°)
Upogib z moment ključem (samo za čepe na kotlih)	N/A	N/A	10
Natezni preskus	/	5	/
Makroskopska preiskava (izrez 90° čez center čepa)	/	2	2 (samo za zveze pod tlakom na ceveh)

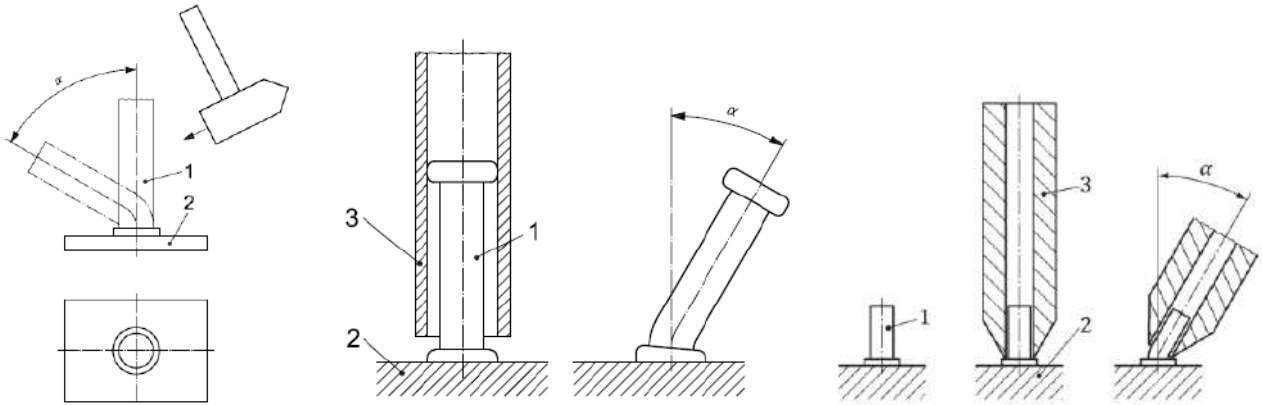
Tabela 20: Preskušanje vzorcev zvarov, varjenih z obločnim varjenjem čepov s kratkim ciklom (784) s premerom d ≤ 12 mm

Vrsta preskusa / preiskave	Število preskušanih čepov
VT preiskava	vsi
Upogibni preskus	10 (kot upogiba 60°)
Torzijski preskus ali makroskopska preiskava (izrez 90° čez center čepa)	10 (torzijski preskus) 2 (makroskopska preiskava)

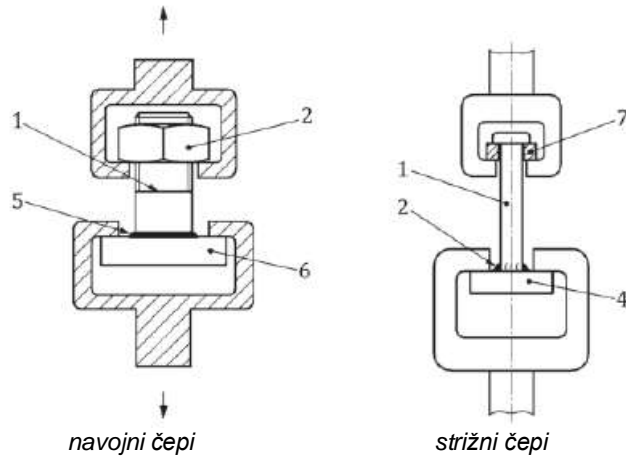
Tabela 21: Preskušanje vzorcev zvarov, varjenih s kondenzatorskim varjenjem čepov (785, 786)

Vrsta preskusa / preiskave	Število preskušanih čepov
VT preiskava	vsi
Upogibi preskus	20 (kot upogiba 30°)
Natezni preskus	10

Mehanske in NDT preiskave zvarnih spojev za varjenje čepov so izbrane glede na uporabo. V določenih primerih (npr. parni kotli, ladjedelnštvo, nuklearna industrija) se lahko zahtevajo še dodatne preiskave in preskusi (npr. merjenje trdote ali UT preiskava).



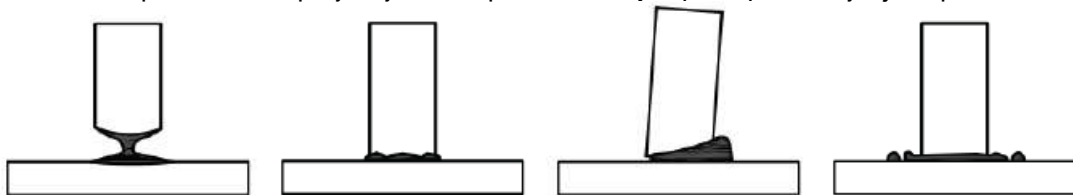
Slika 14: Upogibni preskusi za varjenje čepov po ISO 14555



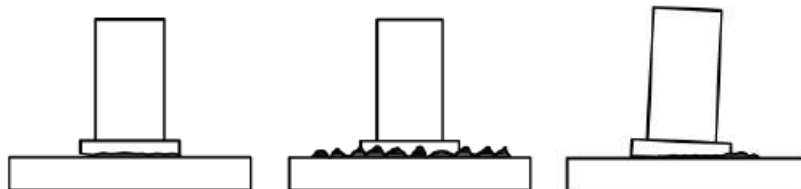
Slika 15: Natezni preskusi za varjenje čepov po ISO 14555

**Zahteve za stopnje sprejemljivosti pri VT preiskavi:**

Na slikah 16 in 17 so prikazani nesprejemljivi zvari pri kvalifikacijah postopkov varjenja čepov.



Slika 16: Nesprejemljivi zvari pri VT preiskavi, varjeni po postopku 783 (oblačno varjenje čepov s keramičnimi obročki)



Slika 17: Nesprejemljivi zvarni spoji pri VT preiskav, varjeni po postopku 785 in 786 (kondenzatorsko varjenje čepov)

**Zahteve za stopnje sprejemljivosti pri nateznem preskusu:**

Prelom v območju zvara ni dovoljen, razen za kondenzatorsko varjenje čepov (postopka 785 in 786) in uporabo prirobničnih čepov, kjer neprevarjeno področje ne sme presežati 35 % prereza prirobnice in je dosežena nominalna natezna trdnost materiala čepa.

**Zahteve za stopnje sprejemljivosti pri upogibnem preskusu:**

Zvar je sprejemljiv, če ni pojava razpok v zvaru po upogibanju na zahtevani kot po tabelah 16-18. V primeru kratkih čepov (velik premer v primerjavi z dolžino), varjenja dveh različnih materialov (čep/osnova) ter za čepe z mejo plastičnosti nad 355 MPa, je potrebno doseči dovolj veliko plastično deformacijo na drugačen način, ker z upogibom to ni mogoče.

**Zahteve za stopnje sprejemljivosti pri metalografski preiskavi:**

Celotna dolžina vseh vidnih nepravilnosti naj ne presega 20 % vidne širine cone varjenja. Zajeda, ki ni širša od 5 % vidne širine cone varjenja, je sprejemljiva. V primeru uporabe pri temperaturah nad 100 °C je dovolj velik zvar med čepom in cevjo pod tlakom dosežen, če minimalno 2 mm debeline stene cevi ni pretaljene.

**Obseg kvalifikacije:**

- WPQR je veljaven le za varilni postopke, uporabljen po pWPS;
- Obseg varilnih parametrov se lahko spreminja glede na priporočila proizvajalca varilne opreme;
- Kvalifikacija, izvedena na enem od jekel skupine po ISO/TR 15608, pokriva vsa jekla z nižjo mejo plastičnosti znotraj iste skupine ali manj legirana jekla znotraj iste skupine jekel. Jekla skupin 8 in 10 (nerjavna jekla) pokrivajo nelegirana jekla skupin 1 in 2 ter tudi obratno. Tehnično čisti aluminij skupine 21 pokriva Al-zlitine za gnetenje skupine 22 in obratno (to velja tudi za materiale čepov iz Al-zlitin);
- Za materiale čepov velja, da pri postopku varjenja 783 jekla iz skupin 8 in 10 (nerjavna jekla) pokrivajo jekla skupin 1 in 2.1 ter obratno za premer čepov do 13 mm. Pri postopku varjenja 785 jekla iz skupine 8 (nerjavna jekla) pokrivajo jekla iz skupin 1-6 ter 11.1 in obratno;
- Pri postopkih varjenja 783 in 784 kvalifikacija v legi varjenja čepa na steni (PC) pokriva lege PA in PE, ne pa obratno. Varjenje v legi PE pokriva varjenje v legi PA, ne pa obratno. Pri postopkih varjenja 785 in 786 varjenje v katerikoli legi pokriva varjenje v vseh legah.

**1.5.14 Kvalifikacija in odobritev postopkov spajkanja (BPQR)**

Kvalifikacija postopka spajkanja (angl. *Brazing Procedure Qualification Record, BPQR*) oziroma odobritev postopka spajkanja (angl. *Brazing Procedure Approval Record, BPAR*) je dokument, ki beleži vse v proces (trdega) spajkanja vključene podatke oz. parametre, ki so potrebni za doseg kvalitete spajkanega spoja, ki jo želimo.

**Najpogosteje uporabljeni standardi za kvalifikacijo postopkov spajkanja:**

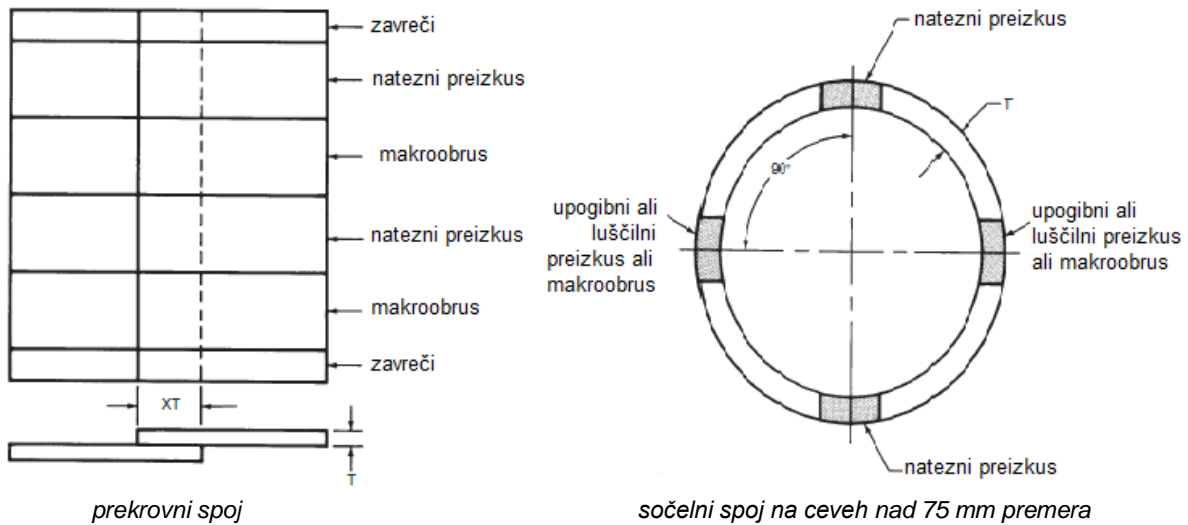
- EN 13134 (Odobritev postopka spajkanja)
- ASME BPVC Section IX (QB-200): Kvalifikacija postopkov spajkanja (tlačne posode in parni kotli)
- AWS B2.2 (Kvalifikacija postopkov spajkanja)

**Relevantne spremenljivke za kvalifikacijo postopkov spajkanja:**

- specifikacija osnovnega materiala,
- preiskave spajk (npr. tekočnost), če so bile uporabljene,
- številka postopka spajkanja po ISO 4063,
- tip spajke in talila (če je bilo uporabljeno),
- oblikovanje spoja,
- število preizkusnih vzorcev,
- obseg metalografskih, porušitvenih in NDT preiskav,
- kriteriji sprejemljivosti,
- obseg odobritev, če je mogoče.

**Preiskave spajkanih spojev:**

- obvezno: VT in metalografske preiskave,
- dodatno: PT, RT, UT, LT, TT, tlačni, strižni, natezni, upogibni, luščilni preizkusi, meritve trdote.



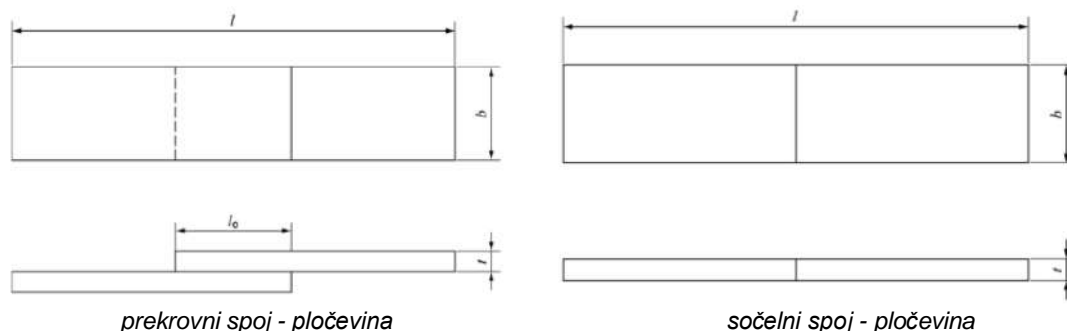
Slika 18: Pozicije odvzema vzorcev za porušitvene preiskave spajkanih spojev

**1.5.14.1 Kvalifikacija postopka spajkanja po standardu ISO/DIS 17779**

Namesto standarda EN 13134 se bo za kvalifikacijo postopkov trdega spajkanja v prihodnje uporabljal mednarodni standard ISO 17779, ki naj bi izšel še v letu 2021. V primerjavi s predhodnim standardom so tukaj bolj natančno določene zahteve za izvedbo kvalifikacij postopkov trdega spajkanja BPQR.

**Glavni postopki trdega spajkanja, za katere veljajo zahteve za izdelavo BPQR (oznake po ISO 4063):**

- 911 (infrardeče spajkanje)
- 912 (plamensko spajkanje)
- 916 (indukcijsko spajkanje)
- 918 (uporovno spajkanje)
- 921 (spajkanje v peči v atmosferi ali ob ščitjenju s plinom)
- 922 (vakuumsko spajkanje)
- 923, 924, 925 (spajkanje v različnih kopelih)
- 972 (obločno varilno spajkanje)

**Preskusni vzorci za izvedbo kvalifikacije postopkov spajkanja in obseg preskušanja**



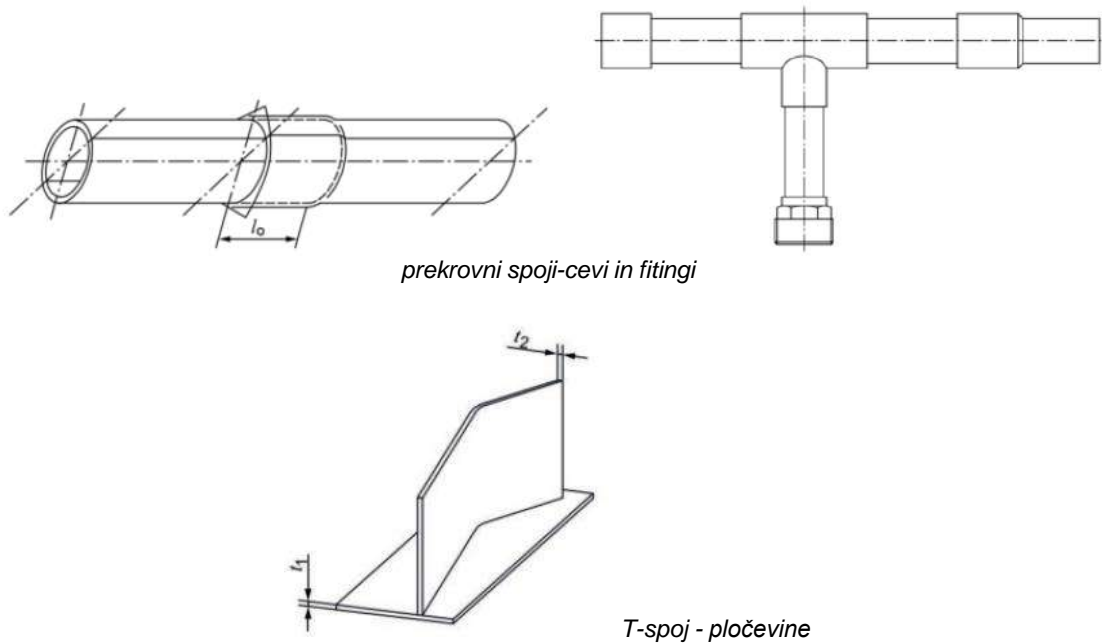
Slika 19: Primeri preskusnih vzorcev za izvedbo BPQR ( $l_0$  je dolžina prekritja)

Tabela 22: Obseg preskušanja preskusnih vzorcev za izvedbo BPQR

Preskusni vzorec	Vrsta preskusa	Obseg preizkušanja
Sočelni spoj	VT preiskava*	100 %
	makroskopija	2 prereza
	natezni preskus ali upogib	2 vzorca
Prekrovni spoj	VT preiskava*	100 %
	makroskopija	2 prereza
	strižni ali luščilni preskus	2 vzorca
T-spoj	VT preiskava*	100 %
	makroskopija	2 prereza
	upogibni preskus (namesto makroskopije)	2 vzorca

\*ocenjevanje se izvaja skladno z EN 12799

Vsi porušitveni preskusi (upogib, luščilni preskus, prečni natezni preskus, strižni preskus) se morajo izvajati in ocenjevati skladno s standardom EN 12797. Natezna trdnost spoja ne sme biti nižja od specificirane minimalne natezne trdnosti šibkejšega osnovnega materiala v žarjenem stanju ali 95 % te vrednosti, če pride do porušitve v osnovnem materialu.

Aplikativni standardi oziroma pogodbene zahteve pa lahko določajo še dodatne preskuse / preiskave:

- vzdolžni natezni preskus
- RT in UT preiskave
- AE in PT preiskave
- preskus tesnosti (LT)
- termografija (TT)
- korozijski preskusi
- kemična analiza
- križni natezni preskus
- meritve trdote
- hidrostatični preskus (angl. *proof test*)

### Zahteve za stopnje sprejemljivosti spajkanih spojev

Postopek spajkanja je kvalificiran, če so nepravilnosti v spajkanem spoju znotraj nivoja kakovosti B po ISO 18279, razen za preveliko količino spajke (oznaka nepravilnosti 6BAAA), kjer se dovoljuje nivo kakovosti C in nobena nepravilnost ne poteka skozi dolžino spajkanega spoja.



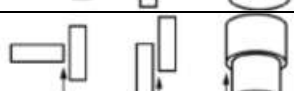
#### Obseg kvalifikacije:

- j.) postopki spajkanja: Vsak BPQR kvalificira le en posopek spajkanja, zato sprememba postopka spajkanja zahteva novo kvalifikacijo. Vrsta atmosfere pri spajkanju v pečeh je omejena le na isto vrsto atmosfere (reduktivna, inertna, ogljičenje, razogljčenje, vodik, disociiran amoniak). Vrsta gorljivega plina pri plamenskem spajkanju je omejena le na isti tip gorljivega plina.
- k.) vrste polproizvodov: Kvalifikacija postopka spajkanja na pločevinah je omejena le na pločevine. Kvalifikacija spajkanja na ceveh velja za pločevine in cevi.
- l.) tip spajkanega spoja: Vsak posamezni tip spajkanega spoja (sočelni, prekrovni, T-spoj) kvalificira le enakega.
- m.) skupine osnovnih materialov: Da bi znižali število izvedenih BPQR, so osnovni materiali za trdo spajkanje označeni v skupine po M-številih. Osnovni material, uporabljen v kvalifikaciji postopka spajkanja kvalificira vse ostale osnovne materiale znotraj iste skupine M-števil (tabela 23)

Tabela 23: Obseg kvalifikacij BPQR za osnovne materiale

Material preskusnega vzorca (M-število)	Obseg kvalifikacije materialov
100, 110, 120, 170 (feritna črna jekla in lito železo)	100, 110, 120, 170
130, 140, 150, 160, 180 (nerjavna jekla)	130, 140, 150, 160, 180
200, 210, 220 (aluminij in Al-zlitine)	200, 210, 220
300, 310, 320, 330, 340, 350, 360 (baker in Cu-zlitine)	300, 310, 320, 330, 340, 350, 360
400, 410, 420, 430 (nikelj in Ni-zlitine)	400, 410, 420, 430
500 (titan in Ti-zlitine)	500
600 (cirkonij in Zr-zlitine)	600
700 (Mg-zlitine)	700
800 (Co-zlitine)	800

Tabela 24: Obseg kvalifikacij BPQR za smer toka spajke

Skica smeri toka spajke	Smer toka spajke na preskusnem vzorcu	Obseg kvalifikacije
	Horizontalni tok (H)	H in VD
	Tok vertikalno navzdol (VD)	VD
	Tok vertikalno navzgor (VU)	Vse smeri toka spajke

- n.) spajke in talila: Tip spajke na osnovi razreda spajk po ISO 17672 kvalificira vse ostale spajke znotraj istega razreda. Preiskus s talilom, klasificiranim skladno z ISO 19496, kvalificira le spajkanje s talili znotraj iste klasifikacije talil.
- o.) debelina osnovnih materialov  $t$ : Debelina preskusnega vzorca  $t < 3 \text{ mm}$  kvalificira debeline  $0.5xt$  do  $2xt$ . Debelina preskusnega vzorca  $3 \text{ mm} \leq t < 10 \text{ mm}$  kvalificira debeline  $1.5 \text{ mm}$  do  $2xt$ . Debelina preskusnega vzorca  $10 \text{ mm} \leq t < 25 \text{ mm}$  kvalificira debeline  $5 \text{ mm}$  do  $2xt$ .
- p.) zunanj premer cevi  $D$ : Zunanji premer cevi  $D < 10 \text{ mm}$  kvalificira le zunanje premere cevi  $D < 10 \text{ mm}$ . Zunanji premer cevi  $10 \text{ mm} \leq D < 15 \text{ mm}$  kvalificira zunanje premere cevi  $0.5xD$  do  $2xD$ . Zunanji premer cevi  $D \geq 25 \text{ mm}$  kvalificira le zunanje premere cevi  $D \geq 25 \text{ mm}$ .
- q.) smer toka spajke: Za kvalifikacijo BPQR je dovoljeno odstopanje kota toka spajke  $\pm 15^\circ$ . Obseg kvalifikacije je podan v tabeli 24.

### 1.5.14.2 Priporočila za praktično uporabo kvalifikacij postopkov spajkanja BPQR po EN 13134

Preden se izvede odobritev postopka spajkanja, je potrebno preučiti vse relevantne faktorje, ki vplivajo na uporabnost takega postopka. Preizkus odobritve procedure spajkanja BPAR ni namenjen kot navodilo za doseganje ponovljivosti v proizvodnji spajkanih delov in elementov. Pri izvedbi preizkusov postopkov spajkanja je potrebno izvesti realistične preiskave spajkanih spojev, ker bi lahko neprimerni preizkusi vodili k zavajanju glede lastnosti spajkanih spojev. Vrste preiskav, predvsem dodatnih, je potrebno izbrati glede na funkcijo, ki jo bo spajkani spoj opravljal. Če mora npr. spajkani spoj držati visok vakuum v sistemu, potem je LT preiskava (tesnost) primerna za odobritev postopka spajkanja. Tudi velikost in oblika preizkusnega vzorca ima pomembno vlogo pri spajkanju, to pa je pri varjenju redko pomembno. Splošno povedano imajo vzorci varjencev nad določeno minimalno velikostjo podobne lastnosti, kar je razlog, da lahko ena kvalifikacija varilnega postopka pokriva več različnih spojev, to pa v splošnem ne velja za spajkane spoje. Kot ekstremni primer navedimo spajkanje dveh različnih materialov z močno različnima koeficientoma termičnega raztezka. Majhni kosi se spajkajo brez velikih težav, pri velikih pa razlika v raztezu/skrčku povzroča izdelavo spajkanega spoja. Celo pri podobnih osnovnih materialih lahko sprememba v ponoru toplote povzroča težave, posebej, če je toplotna prevodnost materialov nizka. Posledično to pomeni, da je potrebno izvesti v določenih primerih odobritev postopka spajkanja na spajkanih spojih dejanske velikosti, kot bodo uporabni v praksi. V tabeli 25 je podan seznam relevantnih spremenljivk pri različnih postopkih spajkanja, ki se jih v praksi najpogosteje kvalificira.

Tabela 25: Relevantne spremenljivke pri odobritvi postopkov spajkanja

Spremenljivka	Postopek spajkanja in oznaka po ISO 4063					
	plamensko (912)	indukcijsko (916)	uporovno (918)	vakuumsko v peči (922)	v odprti peči (921)	potopno, v kopeli (923, 924, 925)
Osnovni material (tip, debelina)	X	X	X	X	X	X
Spajka (tip, oblika, točka dodajanja)	X	X	X	X	X	X
Talilo (tip, oblika, točka dodajanja)	X	X	X	X	X	X
Oblika in konfiguracija spoja (priprava, velikost reže, temperatura spajkanja)	X	X	X	X	X	X
Čiščenje pred in po spajkanju	X	X	X	X	X	X
Toplotna obdelava po spajkanju	X	X	X	X	X	X
Cikel temperatura-čas in meritev temperature		X		X	X	X
Ogrevalni plin (tip, tlak); velikost in številka gorilnika	X					
Izvor energije (tip, frekvenca, nastavitve)		X				
Indukcijska tuljava (oblika, pozicija glede na spajkani spoj)		X				
Elektroda (oblika, material)			X			
Nastavitve stroja (pritisk elektrode, tok, čas)			X			
Tip peči				X	X	
Zaščitna atmosfera (tip, čistost, pretok)		X			(X)	
Tlak vakuuma		X		X		
Zaščitni plin (tip, tlak)				X		
Sestava kopeli						X
Predgrevanje pred spajkanjem						X

# MERITVE, NADZOR IN KONTROLA PRI VARJENJU

Pripravili: dr. Janko Tomc  
dr. Miro Uran  
dr. Miloš Jovanović

<b>1.6</b>	<p><b>Meritve, nadzor in kontrola pri varjenju</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Metode, inštrumenti za meritve</li> <li>- naslednjih velikosti: električni parametri (napetost, tok in moč)</li> <li>- temperature (ISO 13916), vlage, vetra</li> <li>- časa ohlajanja npr. t 8/5 in t 12/8,</li> <li>- hitrosti varjenja in hitrosti žice, pretoka plina</li> <li>- kontrola pri toplotni obdelavi (npr. hitrost segrevanja in ohlajanja, CR ISO 17663, ocena skladnosti s specifikacijami)</li> <li>• Zahteve za kalibracijo, verifikacijo in validacijo opreme (ISO 17662), vključno NDT opremo</li> <li>• Preverjanje dokumentov o kalibraciji</li> </ul>
------------	---

## 1.6.1 Uvod v meritve in kontrolo varilnih parametrov

Na osnovi standardov iz serije EN ISO 15614 in različnih direktiv je potrebno pred varjenjem izdelati popis varilnega postopka (WPS) in pridobiti odobritev različnih postopkov varjenja (WPQR). Da bi ugotovili vrednosti, navedene v WPS, je treba izvesti naslednje naloge:

Ohranitev in dokumentiranje vsaj naslednjih veličin:

- obločna napetost  $U_o$ ,
- varilni tok  $I_v$ ,
- hitrost varjenja  $v$ ,
- hitrost dovajanja žice  $v_z$ ,
- pretok zaščitnega plina  $Q$ ,
- temperatura (predgrevanje, medvarkovna temperatura, čas ohlajanja  $\Delta t_{8/5}$ ).

Merilna tehnika lahko prevzame še veliko več nalog, kot npr.:

- kasnejši nadzor skladnosti varjenja z odobrenimi varilnimi postopki,
- primerjava varilnih mest in naprav,
- optimiziranje varilnih parametrov in mest,
- nadzor varilnih procesov,
- krmiljenje odsesovalnih sistemov itd.



Slika 1.6.1: Merilniki parametrov varjenja pri elektro obločnem varjenju

Na trgu najdemo veliko varilnih naprav, ki omogočajo meritev določenih parametrov. Preko različnih signalnih izhodov je omogočeno odčitavanje vseh potrebnih podatkov v različne računalniške programe za nadzor in

shranjevanje varilnih parametrov. Obstaja pa še dovolj "starih" oz. "poceni" strojev, ki pri uporabi izpolnjujejo svoje naloge za "zagotovitev kakovosti", vendar pa dajejo le nezadostne vrednosti varilnih parametrov. Pri takšnih primerih je možna nadgradnja tovrstnih naprav z namenskimi zunanjimi merilnimi sistemi.

Do podatkov pa lahko pridemo tudi preko meritev z univerzalnimi merilnimi instrumenti. V nadaljevanju bo prikazano, kako lahko z relativno enostavnimi sredstvi dobimo najvažnejše podatke o varilnih parametrih.

Za sprotno kontrolo in nastavljanje varilnih parametrov pri mnogih sistemih kakovosti uporabljamo kar instrumente na varilnih napravah. Varilne naprave in izvori morajo biti v takšnem primeru umerjene po seriji standardov EN 60974, v okviru katerih se varilna naprava oziroma oprema pregledajo z vidika varnosti in so na koncu kalibrirane na način, da vse meritve na napravi oziroma opremi dosegajo 5 % točnost. Preizkus je zahteven predvsem pri preizkusih z visoko napetostjo ob prisotnosti vedno več elektronike v varilnih napravah. To nalogo lahko zato izvajajo samo šolani preizkuševalci, seznanjeni z nalogo in predpisi z ustreznimi aparati. Da je preizkus širše veljaven, mora meritve po standardu opraviti akreditiran laboratorij.

## 1.6.2 Merjenje osnovnih varilnih parametrov

### 1.6.2.1 Merjenje električnih parametrov (varilni tok, obločna napetost)

#### 1.6.2.1.1 Jakost varilnega toka $I_v$

Ker se varilni tok pri obločnih postopkih varjenja običajno nahaja v velikostnem redu nekaj 10 do nekaj 100 A, ki ga z običajnimi merilniki ni mogoče več meriti direktno, moramo uporabiti različne pripomočke za posredno merjenje.

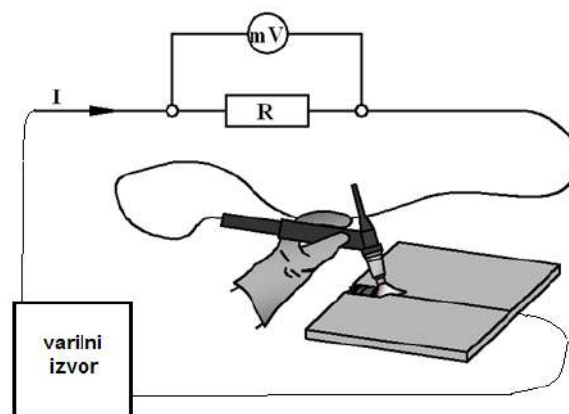
#### a) shunt

Shunt je merilni upor, ki je serijsko vezan v varilni tokokrog in ima znano velikost upornosti. Iz Ohmovega zakona izhaja:

$$U = I \times R$$

Da bi bila izguba moči zaradi merjenja čim manjša, mora biti upornost shunta čim manjša. Pri upornosti shunta  $R_{sh} = 0,0001 \Omega$  dobimo pri varilnem toku  $I_v = 200 \text{ A}$  merljivo napetost  $U = 20 \text{ mV}$  ( $0,02 \text{ V}$ ). Izguba moči  $4 \text{ W}$  je za varilni proces nepomembna. Jakost varilnega toka  $I_v$  je določena preko meritve padca napetosti na shuntu:

$$I_v = U/R_{sh}$$



Slika 1.6.2: Shema priklučka shunta v električnem krogu





Slika 1.6.3: Shunt

### b) kleščni ampermeter

S kleščnim ampermetrom se da enostavno in hitro meriti jakost varilnega toka. Točnost ni preveč velika, zadostuje pa za večino primerov. Pri nakupu takšnega merilnika je potrebno paziti, da je primeren tudi za *enosmerni in pulzni tok*. Imeti mora torej izračun efektivne vrednosti toka (»*True RMS*«). Tok razgibane oblike, kot je to primer pri varjenju, se namreč meri v ekvivalentu enosmernega toka, ki daje enako toplotno moč (koren povprečja integrala kvadrata funkcije). Vsekakor imajo takšni merilniki na razpolago izbiro med merjenjem čistih izmeničnih varilnih tokov AC ter čistih enosmernih DC(+) ali DC(-). Čisti enosmerni tokovi so lahko tudi pulzne oblike, zato je zanje pomembno poznati velikost efektivne vrednosti toka.



Slika 1.6.4: Merilne klešče

#### 1.6.2.1.2 Obločna napetost $U_o$

Obločno napetost se da enostavno meriti z univerzalnim merilnikom – voltmetrom. Na eni strani ga je samo potrebno priključiti na kabel mase in z drugo stranjo v območje dovajanja toka za varilno žico (elektrodo). Težave nastopijo le pri meritvah zelo dinamičnih procesov, kjer moramo izbrati merilnik z ustreznim dušenjem ali ustrezno hitrostjo vzorčenja in preračunavanja. Zelo moramo biti pazljivi le pri meritvah TIG procesov varjenja, kjer nam visokofrekvenčni vžig lahko uniči merilne instrumente.

#### 1.6.2.2 Merjenje hitrosti varjenja $v$

Hitrost varjenja, ki predstavlja pomikanje gorilnikov pri MIG/MAG, TIG, EPP postopkih oziroma hitrost pomikanja varilne pištole pri RO varjenju, merimo v enotah (cm/min ali m/min). Določimo jo s pomočjo merjenja časa s štoparico in dolžine zvara. Razmerje med merjeno dolžino zvara in časovno enoto je hitrost varjenja  $v$ . To je izredno pomemben parameter za izračun linijskega vnosa toplote  $q_L$ .

#### 1.6.2.3 Merjenje hitrosti dovajanja žice $v_z$

Hitrost dovajanja žice  $v_z$  pri varjenju MIG/MAG in EPP varjenjih lahko določimo s prostim tekom žice pri gorilniku v nekem merjenem času. Dolžino žice delimo s časom in dobimo iskano vrednost. To funkcionira le pri

varilnih napravah, pri katerih se dovajanje žice takoj v celoti vključi in med procesom poteka konstantno. Pri napravah, ki imajo polno dovajanje šele pri gorečem obloku, jo lahko ugotovimo z merjenjem obsega zadnjega ovoja žice na kolutu in z merjenjem časa za 1, 2, 3 ali več ovojev koluta med varjenjem (obseg x ovoji/čas). Lažje je merjenje z merilnikom hitrosti, katerega merilno kolo se nahaja direktno na žici. Običajno uporabljamo prilagojene merilnike z optopretvornikom. Merilniki na osnovi magnetnega polja niso uporabni zaradi hudih motenj, ki jih povzroča varilni tok.



Slika 1.6.5: Merilnik hitrosti žice

#### 1.6.2.4 Merjenje pretoka zaščitnih plinov Q

Pretok zaščitnih plinov pri MIG/MAG in TIG varjenjih običajno nastavimo z reducirnim ventilom na jeklenki ali krožnem vodu. Regulatorji tlaka z navpično cevko (rotametrom) kot pokazatelj pretoka se dajo zanesljivo odčitavati in nastaviti. Ker pa se pri dovajanju plina v območju med priključkom cevi in plinsko šobo vedno znova pojavljajo motnje, je potrebno s pomočjo merilne cevke redno meriti pretok plina pred plinsko šobo. Pri meritvah s cevko moramo paziti za kakšen plin je bila cevka umerjena in po potrebi upoštevati tudi preračunski faktor iz tabele. Razlika med pretokom čistega Ar in čistega CO<sub>2</sub> je sicer majhna, ker imata oba plina podobno molsko maso. Pri zaščitnih plinih za ščitenje korena (formirni plini, npr. mešanica dušika N in vodika H) pa rotametri za Ar/CO<sub>2</sub> niso uporabni, zato je potrebno imeti rotametre za dušik. Meritve lahko izvajamo tudi preko meritve tlaka, ki je v praksi zelo nezanesljiva ali pa meritve pretoka medija, ki pa je običajno predraga.



rotameter in reducirni ventil



rotameter za kontrolo nastavitve pretoka

Slika 1.6.6: Merilniki pretoka s cevko (rotametrom)

## 1.6.3 Merjenje temperature pri varjenju in toplotni obdelavi

### 1.6.3.1 Merjenje temperature pred in med varjenjem

Najbolj običajno merjenje temperature je danes z elektronskimi tipali na podlagi termočlenov ali laserskimi termometri. Treba pa je paziti, da imajo tipala na podlagi termočlena minimalni odzivni čas in da trenutno odčitana vrednost ne ustreza vedno dejanski vrednosti. Brezstične meritve z infrardečimi termometri (pirometri) imajo zelo veliko razsipanje, ki je odvisno od kakovosti površine, zato so težje za uporabo. Enostaven pripomoček je temperaturna kreda, katere barva se spremeni, ko doseže ali prekorači določeno temperaturo. Ti svinčniki se dobijo za različna temperaturna območja.

Pri meritvah temperatur se običajno uporablja standard **EN ISO 13916** ki vsebuje navodila za merjenje temperature predgrevanja, medvarkovne temperature in temperature dogrevanja materiala pri difuzijskem varjenju. Prav tako se ga lahko primerno uporabi pri drugih varilnih procesih. Ni pa uporaben za merjenje temperature po varjenju.

Za natančno določitev temperature, kot je npr. merjenje porazdelitve temperature v TVC, ali določitev časa ohlajanja  $\Delta t_{8/5}$ , je termočlen idealno merilno sredstvo. Termočlen tvori dve žici, ki sta iz različnih kovin ali kovinskih zlitin. Obe žici sta na enem koncu zvarjeni. Tako je na drugem koncu mogoče izmeriti napetost, odvisno od temperature v merilni točki. Ta napetost je odvisna od materiala žice in temperature. Najpogosteje uporabljeni termočleni so Ni + NiCr. Vrednosti temperatura/napetost so navedene v spodnji tabeli.

Tabela 1.6.1. Odvisnost temperature in napetosti merjenjem s pomočjo termoelementa

Temperatura [°C]	0	100	200	400	600	700	900	1000	1300
Napetost [mV]	0	4,10	8,13	16,40	24,91	29,14	37,38	41,31	52,46

Zgoraj prikazane vrednosti se zdijo morda nekoliko komplicirane, vendar so današnji merilniki preko notranjih komponent tako prilagojeni, da vpliv sobne temperature, kot tudi preračun iz [mV] v [°C] potekata avtomatsko.

**Čas ohlajanja  $\Delta t_{8/5}$**  zajema več pomembnih parametrov, ki vplivajo na cikel temperature in čas ohlajanja varjenega spoja. Zajema temperaturo predgretja, vnos toplotne energije, debelino varjenca in geometrijo varjenja. Čas ohlajanja  $\Delta t_{8/5}$  je torej čas, ko se varilna kopel in toplotno vplivana cona (TVC) ohladita iz temperature +800 °C na +500 °C. Pri natančnih meritvah časa ohlajanja  $\Delta t_{8/5}$  je važno, da se vrh termočlena v točki merjenja nahaja v območju, predpisanem v standardu EN ISO 13916. Tedaj je potrebno vrh termočlena zavariti na varjenec s kondenzatorskim varjenjem čepov. Edino tesen kovinski stik med termočlenom in jeklom zagotavlja natančno merjenje temperature.



kontaktni termometer s termočlenom Ni-NiCr

infrardeči (IR) brezstični termometer

Slika 1.6.7: Merilniki temperature predgrevanja in medvarkovne temperature

### 1.6.3.2 Merjenje temperature pri toplotni obdelavi po varjenju (PWHT)

Standard **EN ISO 17663** zajema smernice za kakovostne zahteve za toplotno obdelavo v povezavi z varjenjem in sorodnimi postopki. Ker je merjenje temperature bistveno za kvalitetno izvedbo PWHT, so v tem standardu podane tudi zahteve za merilno opremo za merjenje temperature. Vse meritve temperature na varjencih se izvajajo s termočleni, ki so privarjeni na varjenec s kondenzatorskim varjenjem čepov, podobno, kot se izvaja

merjenje časa ohlajanja  $\Delta t_{8/5}$ . Vsi termočleni morajo ustrezati zahtevam IEC 60584-2 (tip termočlena in tolerančni razred). Vsak termočlen je dobavljen s certifikatom, kjer je podan tolerančni razred in merilno območje, zato ponovna validacija ni potrebna. Minimalno število termočlenov pri meritvah temperature pri PWHT je odvisno od volumna peči, kot to kaže spodnja tabela. Vsi termočleni morajo biti zaščiteni pred direktnim segrevanjem. Zahtevana natančnost meritev temperature je  $\pm 10$  °C.

Tabela 1.6.2: Zahteve za število termočlenov pri PWHT

Volumen peči i V [m <sup>3</sup> ]	Minimalno število termočlenov
V < 40	2
40 ≤ V < 60	3
60 ≤ V < 80	4
80 ≤ V < 100	5
V > 100	6

#### 1.6.4 Kalibracija in validacija varilne opreme

Standard **EN ISO 17662: Kalibracija, verifikacija in validacija varilne opreme** določa zahteve za kontrolo procesnih spremenljivk med izdelavo ter za kontrolo lastnosti opreme za varjenje in sorodne postopke, kjer se končni rezultat ne more pokazati v ekonomskem smislu z naknadnim preizkušanjem. Zahteve za novo varilno opremo so formulirane v produktih standardih, če je to potrebno, zato zanje ta standard ne velja.

Formalne zahteve v zvezi s kalibracijo in validacijo varilne opreme, ki se tičejo kontrole varjenja in sorodnih postopkov, so podane v standardih serije ISO 3834 za talilno varjenje in ISO 14554 za uporabno varjenje. Opravljanje kalibracije in validacije varilne opreme naj bi se izvajalo enkrat (1) letno, če ni drugače določeno. Če obstaja dokazan zapis o ponovljivosti in uporabnosti, se lahko pogostnost kalibracije in validacije zniža. Če pa proizvajalec instrumentov določa krajše čase, se je treba držati slednjega.

**Opremo je potrebno izvzeti iz uporabe in jo kalibrirati ter validirati v naslednjih primerih:**

- če obstajajo znaki, da instrumenti ne kažejo pravilno,
- če je oprema vidno poškodovana in ima ta poškodba vpliv na enega ali več instrumentov,
- če je bila oprema napačno uporabljena, npr. mehansko preobremenjena, tako da so se instrumenti poškodovali,
- če je bila oprema obnovljena ali popravljena.

Kalibracija in validacija naj bo v principu izvedena za vse instrumente, ki so uporabljeni za kontrolo varilnih procesnih spremenljivk, specificiranih v WPS (varjenje) oziroma BPS (spajkanje). Kalibracija, verifikacija in validacija opreme se lahko popolnoma opusti v naslednjih primerih:

- če verifikacija procesa ni zahtevana (npr. z zahtevami pogodbe): plamensko in plazma rezanje, obločno žlebljenje,
- pri množični proizvodnji, če je kontrola podprta s statistično kontrolo kakovosti, če je proces stabilen med rednimi intervali preizkušanj produktov in če je pred proizvodno testiranje ter vzorčenje izvedeno ločeno za vsako proizvodno linijo (varilne celice),
- pri serijski in posamični proizvodnji, če je dejanska proizvodnja izvedena na enakih varilnih virih, kot je bila med proceduro preizkušanja ali če je proces podprt s kalibriranim on-line sistemom spremljanja varilnih parametrov.

##### 1.6.4.1 Kalibracija in validacija merilne opreme za merjenje električnih veličin

Potrebna je validacija ampermetrov in voltmetrov ter merilnikov trenutne moči (wattmetrov). Signale je potrebno spremljati kontinuirano. Čas vzorčenja naj bo zadosten za dajanje razumno stabilnih odčitkov. V poštve je potrebno vzeti tudi razlike med srednjo vrednostjo in RMS vrednostjo merilnih instrumentov. Za natančnost validacije merilnikov toka in napetosti veljajo zahteve standarda EN 50504 in sicer ločeno za standardne varilne izvore in za precizne varilne izvore, glej tabeli spodaj.

Tabela 1.6.3: Natančnost validacije za standardne varilne izvore (izvedba enkrat letno)

Veličina	Natančnost	
Varilni tok $I_v$ in obločna napetost $U_o$	$\pm 10 \%$	od prave vrednosti, med 100 % in 25 % od max. nastavitve
	$\pm 2,5 \%$	od max. nastavitve, pod 25 % od max. nastavitve
Analogni merilniki - vsi	Razred 2.5	$\pm 2,5 \%$ odmika celotne skale
Digitalni merilniki toka	$\pm 2,5 \%$	od max. nazivnega varilnega toka
Digitalni merilniki napetosti	$\pm 2,5 \%$	od napetosti prostega toka ali po specifikacijah proizvajalca

Tabela 1.6.4: Natančnost validacije za precizne varilne izvore (izvedba na 6 mesecev ali pogosteje)

Veličina	Natančnost	
Varilni tok $I_v$	$\pm 2,5 \%$	od prave vrednosti, med 100 % in 40 % od max. nastavitve
	$\pm 1 \%$	od max. nastavitve, pod 40 % od max. nastavitve
Obločna napetost $U_o$	$\pm 5 \%$	od prave vrednosti, med 100 % in 40 % od max. nastavitve
	$\pm 2 \%$	od max. nastavitve, pod 40 % od max. nastavitve
Analogni merilniki - vsi	Razred 1	$\pm 1 \%$ odmika celotne skale
Digitalni merilniki toka	$\pm 1 \%$	od max. nazivnega varilnega toka
Digitalni merilniki napetosti	$\pm 1 \%$	od napetosti prostega toka ali po specifikacijah proizvajalca

### 1.6.4.2 Validacija opreme za pogon varilne žice

Absolutna kalibracija hitrosti dovajanja žice  $v_z$  pri obločnih postopkih varjenja, kjer je hitrost dovajanja žice povezana s funkcijo varilnega izvora (MIG/MAG in EPP varjenje), ni potrebna. Metoda validacije sloni na merjenju časa s štoparico za cca. 1 m žice, ki je izšla iz gorilnika. Hitrost dovajanja žice se izračuna kot dolžina žice [mm] deljena s časom meritve [s]. Drug način je meritev s tahogeneratorjem, ki direktno meri hitrost dovajanja žice v povezavi s prikazovalnim instrumentom.

Natančnost validacije za opremo za pogon žice je:

- standardna oprema:  $\pm 10 \%$
- precizna oprema:  $\pm 2,5 \%$

## 1.6.5 Kalibracija, verifikacija in validacija opreme za NDT metode

### 1.6.5.1 Oprema za UT preiskave

Osnovne zahteve za verifikacijo UT opreme za preiskave so podane v **EN ISO 22232-1: Karakterizacija in verifikacija UT opreme - Del 1: Inštrumenti**, **EN ISO 22232-2: Karakterizacija in verifikacija UT opreme - Del 2: Ultrazvočne glave** in **EN ISO 22232-3: Karakterizacija in verifikacija UT opreme - Del 3: Kombinirana oprema**.

Ultrazvočni kalibracijski bloki se uporabljajo za prilagajanje povezave glave in elektronike senzorja ob vsaki uporabi opreme. Kalibracijski bloki morajo biti izdelani v skladu z ustrežno specifikacijo ali standardom. Vse kalibracijske bloke je treba redno preverjati (vsaj enkrat letno), kot sledi:

- vizualna preiskava za poškodbe, kot so korozija ali mehanske poškodbe,
- preverjanje polmera in drugih dimenzij z opremo, ki je sledljiva po nacionalnih ali mednarodnih standardih.

Kadar se za prilagoditev uporabljajo kalibracijski bloki, izdelani iz materiala preskusnega izdelka, mora biti status kalibracije testnih blokov naveden v končnem poročilu o preiskavi. V vseh takih primerih je treba izmeriti in zabeležiti hitrost prenosa impulza skozi material bloka, razen če ima telo alternativno metodo za dokazovanje sledljivosti bloka. Pravilno delovanje instrumentov, glav in povezovalnih kablov je treba redno in pravilno preverjati; rezultate je treba dokumentirati. Pregled mora biti v skladu s specifikacijami nadzora.

Ultrazvočne instrumente je treba pregledovati v intervalih, ki ne presegajo 12 mesecev, v skladu s kontrolnimi specifikacijami. Preverjanje v skladu z EN ISO 22232-1 mora vključevati:

- linearnost časovne baze,
- linearnost ojačanja,
- natančnost kalibriranega dušenja.



Delovanje ultrazvočnih glav in sistema je potrebno preveriti vsaj enkrat na dan ali pred uporabo. Preverjanje v skladu z EN ISO 22232-2 mora vključevati:

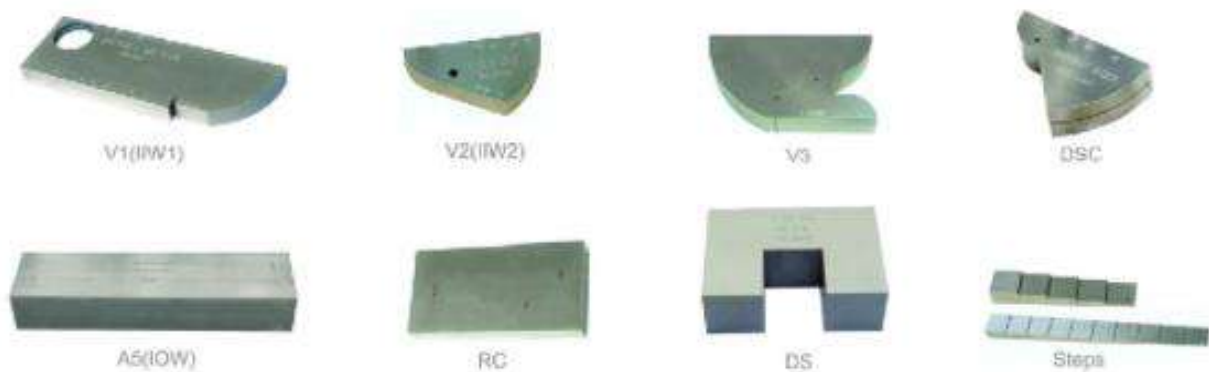
- oznako glave,
- kot ultrazvočnega vala iz glave,
- vizualni pregled poškodb.

Komplete za ultrazvočne preiskave (inštrumente, kable in ultrazvočne glave) je potrebno preveriti vsaj enkrat na teden ali pred uporabo. Preverjanje v skladu z EN ISO 22232-3 mora vključevati:

- linearnost časovne baze,
- linearnost ojačanja,
- občutljivost in razmerje signal/šum,
- trajanje impulza.

Kalibracija referenčne merilne opreme, ki se uporablja za interno kalibracijo, mora slediti (mednarodnim) standardom in mora biti potrjena s certifikatom, ki ga izda pooblaščen laboratorij v skladu s ILAC politiko P10.

UT naprave, glave in priključne kable je treba skrbno hraniti. Referenčni bloki, kontrolni vzorci in kalibracijski bloki morajo biti shranjeni tako, da se prepreči korozija. Kadar se uporablja avtomatizirana preskusna oprema, je treba posebno pozornost nameniti usposabljanju in izobraževanju operaterjev, sistemu za odkrivanje napak in shranjevanju podatkov. Preveriti je potrebno pravilen geometrijski položaj glave glede na izhodni signal



Slika 1.6.8: Kalibracijski bloki za UT preiskavo

### 1.6.5.2 Oprema za RT preiskavo

Za morebitne pomembne spremembe je treba spremljati karakteristike gorišča rentgenskih žarkov v rentgenskih ceveh ali gama žarkov v radioaktivnih izotopih. Občutljivost radiografije se določi s pomočjo indikatorjev kakovosti slike (IQI) ali penetrometra, ki ustrezajo materialu in debelini. Ti IQI morajo imeti certifikate proizvajalca o skladnosti. Stanje IQI in penetrometra je treba spremljati in po potrebi odstraniti poškodovane naprave iz uporabe. Vrsta in lokacija IQI ali penetrometra morata ustrezati zahtevam dogovorjenega standarda ali specifikacije.

Stroje za razvijanje radiografskih filmov je treba vzdrževati v skladu s priporočili proizvajalca. Procesor je treba redno spremljati z uporabo pred-eksponiranega filma, da se zagotovi pravilno delovanje razvijalnega stroja in da se preveri, ali so izpolnjene zahteve sistema za razvrščanje filmov po stopnjah.

Počrnitev radiografskih filmov je treba določiti z denzitometrom. Zahtevana natančnost določa, ali so potrebni analogni ali digitalni odčitki. Denzitometri se kalibrirajo v določenih intervalih glede na referenčni pas gostote ali niz sivih filtrov z znano (kalibrirano) počrnitvijo. Vsakič, ko se uporabljajo, morajo biti ročni denzitometri nastavljeni na ničelni položaj glede na osvetlitev ozadja, pri kateri bodo uporabljeni. Med kalibracijami se izvajajo redni pregledi, da se ugotovi, ali denzitometer še naprej pravilno deluje in če je bil kalibriran.

Referenčni filmi za počrnitev filmov morajo biti enoznačno prepoznavni in sledljivi s certifikatom do (mednarodnega) merilnega etalona in morajo imeti certifikat proizvajalca, ki ni starejši od petih let, razen če ni drugače določeno. Referenčni filmi za ugotovitev počrnitve morajo imeti počrnitev vsakega koraka določeno s kalibriranim in certificiranim denzitometrom in zabeleženo neposredno v filmu ali na trak za kartice, ki je trajno pritrjen na film. Datum prve kalibracije je treba zabeležiti na trak. Vse referenčne filme, starejše od treh let, ali tiste, ki so bili nepravilno obdelani, je treba odstraniti iz uporabe in uničiti. Trakovi morajo imeti veljavna potrdila. Referenčni filmi za določanje počrnitve se lahko obarvajo ali zbledijo, zato jih je treba skrbno

vzdrževati in shranjevati.

### 1.6.5.2.1 Kontrola radiografskih filmov na zameglitev

Da bi se izognili pretirani počrtnitvi zaradi zameglitve, ki lahko nastane zaradi staranja filmov, razvijalcev ali temperature, nepravilnega skladiščenja filma - dolgotrajne izpostavljenosti svetlobi, previsoki temperaturi, sevanju itd. je treba redno izvajati kontrolo zamegljenosti filma z uporabo ne-eksponiranega filma. Vzamemo ga iz odprtih škatel/paketov filmov, ki so v uporabi. Razvijanje poteka skupaj z razvijanjem eksponiranih filmov pod enakimi pogoji. Počrnitev nerazvitega filma ne sme presegati 0,3. V primeru, da kontrola filma na zamegljenost pokaže, da ima ne-eksponirani film počrnitev večjo od 0,3, je treba druge nerabljene neosvetljene filme iz iste škatle/embalaže zavreči in opraviti dodatne preglede na ne-eksponiranih filmih, za katere utemeljeno sumimo, da so bili v enakih okoliščinah kot film s prvim negativnim rezultatom. Pred-eksponirani film je v originalni vakuumski embalaži proizvajalca in po razvijanju kaže 10 različnih počrnitev (polj). Ima tudi jasno vidno polje »0«, s katerim tudi zaznavamo ali preverjamo zameglitev filma (angl. *fogging*).

### 1.6.5.2.2 Kontrola kemikalij za strojno razvijanje filmov

Kemična kontrola se izvaja s pomočjo pred-eksponiranih filmov (angl. *pre-exposed film strips*) ali PMC (Process Monitoring Control) filmov, ki jih je treba hraniti na hladnem in suhem mestu. Kontrola kemikalij s pred-eksponiranimi filmi se izvaja **z vsako novo pripravo/spremembo kemikalij**. Za zagotovitev doslednosti preskusa morajo biti pred-eksponirani filmi od istega proizvajalca, kot so uporabljeni filmi. V primeru, da so kemikalije in pred-eksponirani filmi od istega proizvajalca, za nadzor kemikalij zadostuje razvoj prvega pred-eksponiranega filma. Pred-eksponirani filmi so v originalni vakuumski embalaži proizvajalca, po razvoju pa kažejo 10 različnih počrnitev (polj). Jasno je vidno polje "0", kjer je počrnitev minimalna ali blizu nič.

Za sprejemljiv postopek razvijanja filmov in uporabnost kemikalij morajo biti izpolnjeni naslednji pogoji:

- da je pred-počrnitev  $D_0$  manjša od 0,3;
- da je ugotovljeni indeks hitrosti  $S_x$  znotraj meja  $\pm 10\%$  referenčnega indeksa hitrosti;
- da ugotovljeni indeks kontrasta  $C_x$  ne odstopa od referenčnega indeksa kontrasta  $C_r$  za več kot  $-10\%$  ali  $+15\%$ ;
- da je dosežena ustrezna kakovost slike brez poškodbe emulzije.

V primeru, da niso izpolnjeni vsi pogoji, se kontrola procesa razvijanja in kemikalij ponovi z dodatnim pred-eksponiranim filmom. Če tudi v tem primeru niso izpolnjeni vsi pogoji, je treba kemikalije ponovno pripraviti. Če zgornjih pogojev ni mogoče izpolniti niti po dodatnih na novo pripravljenih kemikalijah, je treba obvestiti proizvajalca kemikalij in pred-eksponiranih filmov.

### 1.6.5.2.3 Kalibracija denzitometra

Pred merjenjem počrnitve radiografskih filmov z denzitometrom je potrebno preveriti denzitometer s pomočjo certificiranega ali tovarniško kalibriranega eksponiranega kontrolnega filma s stopničastim klinom (Certified Density Wedge Film - 15 stopnic/polj počrnitve ali na *Calibrated Step Tablet* s 17 korakov / polj). Veljavnost certificiranega kontrolnega filma (CKF) traja največ 2 leti od odpiranja embalaže. Datum prejema in odprtja CKF mora biti napisan na hrbtni strani embalaže. Vsak CKF ima svoje poročilo o kalibraciji s podatki o rezultatih kalibracije, pridobljenih s primerjavo ali sledljivostjo do nacionalnih standardov. Vsak CKF ima svoje natančne vrednosti počrnitve (na 3 decimalna mesta) za posamezno polje. Šteje se, da je denzitometer kalibriran, če so njegove izmerjene vrednosti znotraj  $\pm 0,05$  vrednosti od tistih v poročilu o kalibraciji.

**Kalibracija denzitometra se izvaja vsake 3 mesece.** Če so izmerjene vrednosti v poljih 1, 5, 10, 12 ali 15 CKF zunaj območja  $\pm 0,05$ , je treba kalibracijo izvesti s pomočjo nastavitvenega vijaka, ki se nahaja na zgornji desni strani denzitometra. Za to nastavitve potrebujemo ustrezen ključ v obliki palice, s katerim nežno zavrtimo vijak. Po kalibraciji z nastavljenim vijakom ponoviti meritve na posameznih poljih CKF. Ko so odčitane vrednosti v območju  $\pm 0,05$  dosežene, je denzitometer kalibriran in pripravljen za nadaljnjo uporabo.



Slika 1.6.9: Densitometer za merjenje počrtnitve radiografskih filmov

#### 1.6.5.2.4 Kontrola osvetlitve iluminatorja

Meritve površinske osvetljenosti je treba opraviti s kalibriranim luksmetrom, ki ga je treba kalibrirati najmanj vsaki dve leti. Enkrat letno je treba preveriti jakost in enakomernost iluminatorja. Faktor izenačenosti "g" mora biti večji od 0,5. Za kakovostno merjenje se kontrola izvaja v temni komori. Pri merjenju enakomernosti osvetlitve zaslona se uporablja kalibriran luksmeter, ki je nameščen na zaslon z okroglo odprtino za iluminatorje. Paziti je treba, da celotno površino sensorja izpostavimo sevanju. Svetlečo površino iluminatorja razdelimo v tri vrstice in merimo v območjih od 3,5 cm ob upoštevanju standarda, ki pravi, da mora biti osrednje področje centrirano na sredino svetleče površine. V primeru merjenja v področju na koncu senzor premaknemo tako, da je popolnoma v osvetljenem polju. V primeru, da ima iluminator regulator svetlobe, ga je treba nastaviti na maksimum. Po kontrolnih meritvah na iluminator postavimo oznako z datumom veljavnosti kalibracije osvetljenosti. Zahteve za iluminatorje so podane v u standardu **EN 25580: Oprema za osvetlitev v industrijski radiografiji - Minimalne zahteve**.



Slika 1.6.10: Digitalni luksmeter

#### 1.6.5.3 Oprema in sredstva za MT preiskave

Vsebnost trdnih delcev v magnetni suspenziji se mora preverjati z metodo navedeno v kontrolnem standardu. V primeru aerosola, certifikati o skladnosti morajo se dobiti od proizvajalca za vsako serijo. Standard **EN ISO 9934-2: Preiskava z magnetnimi delci - Del 2: Mediji za detekcijo**, določa preiskave aerosolnih materialov,

ki so v uporabi.

Ko se uporabljajo fluorescentni delci v suspenziji ali suhi praški, je potrebno preveriti naslednje:

(a) Jakost UV (A) svetlobe na preiskovani površini se preverja tako pogosto, da se spremlja morebitno poslabšanje osvetljenosti. V primeru umazanega, prašnega ali drugega onesnaženega okolja je treba to preveriti ob vsaki uporabi opreme. To preverjanje zahteva uporabo merilnika UV (A) svetlobe.

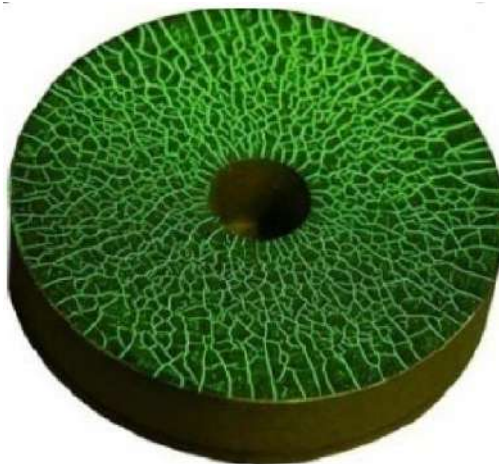
(b) Raven (osvetljenost) bele svetlobe okolice je treba preveriti najmanj enkrat na tri mesece, ko se osvetlitev spremlja dlje časa in se preveri vsakič, ko se oprema uporablja, pri čemer se lahko osvetlitev od preskusa do preskusa razlikuje (npr. podnevi). Ta preverjanja zahtevajo uporabo merilnika bele svetlobe.

Kadar se uporabljajo ne fluorescentni delci v suspenziji ali suhi prah, je treba raven osvetlitve na preiskovani površini preverjati v rednih časovnih presledkih če je osvetlitev umetna, in preverjati vsakič, ko se uporablja oprema in je prisotna dnevna svetloba. Ta preverjanja zahtevajo uporabo merilnika bele svetlobe. Naprave in pomožno opremo je treba redno preverjati.

Moč (dvižna sila) trajnih magnetov in magnetnih jarmov se redno preverja. Moč tangencialnega magnetnega polja je treba izmeriti s tangencialnimi metri. Za prikaz smeri električnega toka je treba uporabiti indikatorje magnetnega polja (Bertholdovo telo). Sledljivost ni potrebna. Teste za potrditev občutljivosti zahtevanih indikacij je treba opraviti z ustreznimi vzorci

### 1.6.5.3.1 Preverjanje občutljivosti MT sistema

Suspenzija za MT metodo je pripravljena po navodilih proizvajalca. Referenčni blok TIP 1 ali TIP 2 v skladu z EN ISO 9934-2 (priloga B) je treba očistiti z ustrežno metodo, da se zagotovi, da ne vsebuje fluorescenčnega materiala, oksidov, umazanije in maščobe ter da ni sledi vode. Suspenzija se nanese na referenčni blok z brizganjem v trajanju 3-5 sekund. Kontrolni sistem MT se testira z referenčnim blokom TIP 1 in rezultati se zabeležijo s fotografijo ali drugo ustrežno metodo. Indikacije se nato primerjajo z indikacijami, ustvarjenimi v času testiranja nove serije uporabljenega sistema MT. To je mogoče doseči s katero koli primerno metodo, na primer s fotografijo ali z uporabo ohranjenih ustreznih vzorcev. O rezultatih primerjave se naredi zapisnik. Vsak referenčni blok TIP 1 ali TIP 2 je enolično identificiran. Potrdilo o skladnosti z EN ISO 9934-2 je priloženo vsakemu referenčnemu bloku



Slika 1.6.11: Referenčni blok TIP 1 po EN ISO 9934-2 za preverjanje občutljivosti MT sistema

### 1.6.5.4 Sredstva za PT preiskave

Penetrant mora biti primeren za predvideno uporabo in izpolnjevati zahteve **EN ISO 3452-2: Preiskave s penetranti - Del 2: Testiranje penetrantskih materialov**. Potrebna je posebna izjava proizvajalca, ki je lahko v oblik pisma, certifikata, tehničnega letaka ali je vključena v oznako proizvoda.

Pri preiskavi s fluorescentnimi penetranti se pogosto preverja osvetlitev UV (A) svetlobe na preskusni površini, tako, da je mogoče zaznati kakršno koli spremembo osvetlitve. V primeru umazanega, prašnega ali drugega kontaminiranega okolja preverite vsakič, ko uporabljate opremo. Ta preverjanja zahtevajo uporabo merilnikov UV (A) svetlobe.



Pri preiskavi z barvnim penetrantom (tj. kontrastno barvo) je treba intenzivnost osvetlitve na preskusni površini preveriti vsaj enkrat na tri mesece, če je osvetlitev nadzorovana dlje časa, in preveriti vsakič, ko se oprema uporablja v pogojih spremenljivih svetlobnih razmer (npr. dnevne razmere). Ta preverjanja zahtevajo uporabo merilnika bele svetlobe.

Za preverjanje postopka je treba uporabiti standardne preskusne vzorce. Potrebno je nadzorovati temperaturo sredstva v rezervoarju in vode. Tlak vodnega pralnika in izpuha stisnjenega zraka je treba izmeriti, če so vrednosti določene v standardih ali postopkih. Uporaba preskusnih vzorcev običajno ni predvidena za prenosno preskusno opremo (pršilo).

#### 1.6.5.4.1 Preverjanje občutljivosti PT sistema

Preskušanje občutljivosti z uporabo referenčnih blokov TIP 1 in TIPA 2 z znanimi referenčnimi umetnimi napakami se izvede pri uporabi fluorescentnega penetranta ali kadar je zahtevana najvišja raven občutljivosti v skladu z EN ISO 3452-2. Če se PT preiskava izvaja na srednje ali bolj hrapavih površinah (stanje po varjenju), se lahko preverjanje PT sistema **izvaja periodično** na referenčnih primerjalnih vzorcih z znanimi indikacijami (prvi zapis preverjanja PT sistema). Takšni primerjalni vzorci se lahko uporabljajo, dokler indikacije na vzorcih ne začnejo izgubljati vrednosti, zabeležene na prvem zapisu periodičnega pregleda sistema PT zaradi zapiranja odprtih napak. Primer: če velikost nelinearne indikacije prvič kaže indikacijo 8,0 mm, je preverjanje sprejemljivo, dokler kaže indikacijo 7,5 mm.

Vzorci je treba zamenjati z drugimi vzorci po znatnem zmanjšanju velikosti indikacij ali po vsakem desetem pregledu. Preverjanje sistema PT se uporablja predvsem pri dobavi novih šarž PT sistemov (komplet pršil: čistilec-penetrant-razvijalec) ali pri ponovni uporabi PT sistemov, ki niso bili v uporabi že dolgo časa.



Slika 1.6.12: Referenčni bloki TIP 1 po EN ISO 3452-3 za preverjanje občutljivosti PT sistema

#### 1.6.6 Preverjanje kalibracijskih certifikatov opreme/instrumentov

Vsebina kalibracijskih certifikatov mora slediti zahtevam standarda **EN ISO/IEC 17025: Splošne zahteve za usposobljenost kontrolnih in kalibracijskih laboratorijev**. Vsaki kalibracijski certifikat opreme ali inštrumenta mora vsebovati naslednje informacije:

- a) naziv (npr. "potrdilo o kalibraciji");
- b) ime in naslov kalibracijskega laboratorija;
- c) lokacija izvajanja laboratorijskih aktivnosti;
- d) unikatna identifikacija laboratorija (znak akreditacije);
- e) ime in kontaktni podatki stranke;
- f) identifikacija uporabljene metode;
- g) opis, unikatna identifikacija in stanje opreme/inštrumenta, kadar je to potrebno;
- i) rezultati, in kadar je to potrebno, z merilnimi enotami;

- j) merilna negotovost rezultata merjenja, ki je prikazan v isti enoti kot merjena velikost ali izražen v razmerju do merjene velikosti (npr. procenti);
- k) izjava o tem, kako so meritve metrično sledljive;
- l) izjavo o skladnosti z zahtevami ali specifikacijami, ko je to potrebno;
- m) če je potrebno mnenje in pojasnilo;
- n) izjava, da se rezultati nanašajo samo na opremo/inštrumente, ki je bila kalibrirana;
- o) datum izvedbe kalibracije;
- p) datum izdaje poročila;
- r) identifikacija osebe iz laboratorija, ki je odobrila poročilo.



# VRSTE NEPRAVILNOSTI

Pripravljen: Matej Žgavec  
Revizija: dr. Miloš Jovanović

1.7	Vrste nepravilnosti
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pregled nepravilnosti, vzroki in lastnosti</li> <li>• Poroznost in votline</li> <li>• Nepravilnosti oblike</li> <li>• Obžig</li> <li>• Razpoke</li> <li>• Vključki</li> <li>• Zlep</li> <li>• Nепrevarjenost</li> <li>• Lamelarno trganje</li> <li>• Prelitje</li> <li>• Slabo stanje površine</li> <li>• Dvoplastnost in prekritje</li> <li>• Obrizgi</li> <li>• Zajede</li> <li>• Klasifikacija nepravilnosti po EN ISO 6520</li> <li>• Druge nepravilnosti po ISO 18279, ISO 17658</li> </ul>

## 1.7.1 Uvod

Vsak zvar ima lahko kakršnokoli nepravilnost, nastalo med procesom varjenja. Njihov učinek na kvaliteto in samo obnašanje zvarnega spoja je odvisen od zahtev, ki jih podaja objekt, katerega sestavni del je tudi zvarni spoj. Mnogi dejavniki, ki vplivajo na sposobnost zvarnega spoja so v veliki meri optimizirani do najsprejemljivejšega stanja. Pa vendar, tudi kvalitetno izveden zvar ni nikoli popoln ali idealen. Zakaj potem uporabljamo varjenje? Ker je to danes še vedno najbolj ekonomičen, najhitrejši in najvarnejši postopek spajanja materiala v nerazdružljivo stanje.

### Definicije:

**Nepopolnost v materialu:** naravna ali umetna sprememba v materialu

**Nepravilnost zvarnega spoja:** prekinitev v zvaru oz. odklon od nameravane geometrije; v bistvu je to vsako odstopanje od idealnega zvara

**Napaka:** nesprejemljiva nepravilnost oz. nepopolnost v materialu, ki zmanjša funkcionalnost tako, da lahko konstrukcija ali element postane tudi neuporaben(a).

Torej, kot napako definiramo vsako odstopanje od zahtevane oblike, teže, dimenzije, videza, strukture, mehanskih in fizikalnih lastnosti, predpisanih s tehničnimi predpisi (standardi) ali tehničnimi pogoji, kot so dogovorjeni med pogodbenimi stranmi oziroma so določeni s pogodbo

### Na podlagi določil ustreznih standardov nepravilnosti delimo na:

- **Dopustne nepravilnosti:** Odstopanja, dovoljena s standardi in so dovoljena oz. dopustna tudi po tehnoloških pogojih in jih ni potrebno popravljati.
- **Napake:** Odstopanja od ustreznih standardov, tehničnih pogojev ali določil v pogodbi, katerih ni možno popraviti, ker je to nedopustno.
- **Nepravilnosti, ki jih je mogoče popraviti:** Odstopanja, ki jih s pravilnim postopkom lahko popravimo ali odstranimo, v kolikor standardi tak poseg dovoljujejo ali ga izrecno ne prepovedujejo.
- **Napake, katere je potrebno odstraniti:** Odstopanja od določenih pogojev, ki jih je možno odstraniti samo v dogovoru z naročnikom s posebnimi postopki, ki sicer niso predvideni v tehnološkem postopku.
- **Vidne nepravilnosti:** Nepravilnost, ki jo je možno opaziti pri preiskavi s prostim očesom.
- **Nevidne, skrite nepravilnosti:** Latentne nepravilnosti, ki jih opazimo šele po preiskavi z ustreznimi postopki (NDT, metalografija, kemijske analize...).

### Na osnovi oblike delimo nepravilnosti na:

- Ravninske ali planarne: Razpoke, zlepi, neprevaritve...

- Prostorske ali volumnske: Mehurčki, pore, vključki...

**Glede na lokacijo kje se nepravilnosti nahajajo, jih delimo na:**

- Zunanje oz. površinske – VT, PT.
- Notranje oz. globinske – RT, UT.
- Podpovršinske, ki se nahajajo tik pod površino – MT.

Klasifikacijo in razlago nepravilnosti nam podaja standard **EN ISO 6520-1: Klasifikacija geometrijskih nepravilnosti v kovinskih materialih – 1. del: Talično varjenje** in na podlagi tega standarda lahko nepravilnosti tolmačimo glede na:

- Vzrok nastajanja:
  - konstrukcijska napaka,
  - metalurška napaka,
  - tehnološka napaka.
- Položaj:
  - notranje napake,
  - površinske in podpovršinske,
  - napake po celotnem preseku.
- Velikost:
  - majhne napake,
  - srednje velike napake,
  - velike napake.
- Vrsto:
  - razpoke (100),
  - votlinice (200),
  - trdni vključki (300),
  - nepravilnosti v vezavi (400),
  - oblikovne nepravilnosti (500),
  - ostale različne nepravilnosti (600),
- Obliko:
  - kompaktne napake,
  - razvlečene,
  - napake ostrih linij (velik zarezni učinek),
  - zaobljene napake (manj izražen zarezni učinek),
  - ravninske napake (zanemarljiva tretja dimenzija),
  - prostorska napaka (trodimenzionalne napake).
- Številčnost:
  - posamezna napaka,
  - pogosta ali večkratna napaka,
  - skupina ali gnezdo napak.

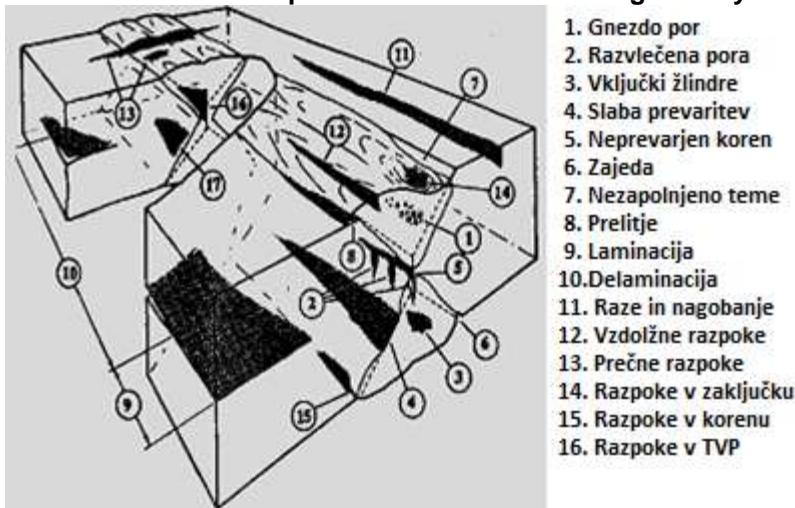
**Konstrukcijske napake** nastajajo predvsem zaradi slabega konstrukcijskega oblikovanja zvarjene konstrukcije npr. varjenje na slabo dostopnih in utesnjenih mestih, slabo oblikovanje posameznega detajla iz stališča dinamične trpežnosti itd.

**Metalurške napake** so vezane na metalurške, termodinamične in hidrodinamične pojave, ki spremljajo proces taljenja materiala, kristalizacije in hlajenja zvarnega spoja. Napake, ki se zato pojavljajo, so lahko različne vrste razpok, poroznosti, razni vključki, preveč zakaljena struktura.

**Tehnološke napake** so večinoma posledica slabo predpisanih tehnologij varjenja oz. kar je bolj pogosto v praksi, da se kvalitetna predpisana tehnologija varjenja ne izvaja v popolnosti pri varjenju konstrukcije. Da bi se predpisana tehnologija v praksi resnično izvajala, je potreben nadzor (notranji in zunanji) ter spremljanje tako stabilnosti varilnega procesa kot tudi kvaliteto dela posameznega varilca in naprav. Najpogostejše napake tega tipa so zajede, prelitja, pomanjkljiv koren, zvarni kapniki, poroznosti v žrelcih, geometrijske nepravilnosti zvarnega spoja in same konstrukcije, prevelike deformacije in napetosti.

**Nekateri faktorji, ki vplivajo na lastnosti zvarnega spoja:**

<b>Metalurški pogoji</b>	- Lastnosti osnovnega materiala - Stanje osnovnega materiala - Lastnosti dodajnega materiala - Lastnosti področja taljenja - Lastnosti TVP	
<b>Tehnološki pogoji</b>	- Izbira vrste zvarnega spoja - Oblika zvarnega spoja - Parametri varjenja - Zaporedje varjenja - Vnos toplote	- Hitrost ohlajanja - Toplotna obdelava - Pričakovane napake ali nepravilnosti v zvarnem spoju
<b>Pogoji, ki veljajo v praksi</b>	- Preobremenjene konstrukcije - Različni nepričakovani šoki - Korozija - Erozija	- Vpliv nosilnega ali delovnega medija - Možni vpliv okolice (potresi, poplave...)

**Prikaz varilnih diskontinuitet poAWS – American Welding Society**

Slika 1.7.1: Klasifikacija varilnih nepravilnosti po AWS

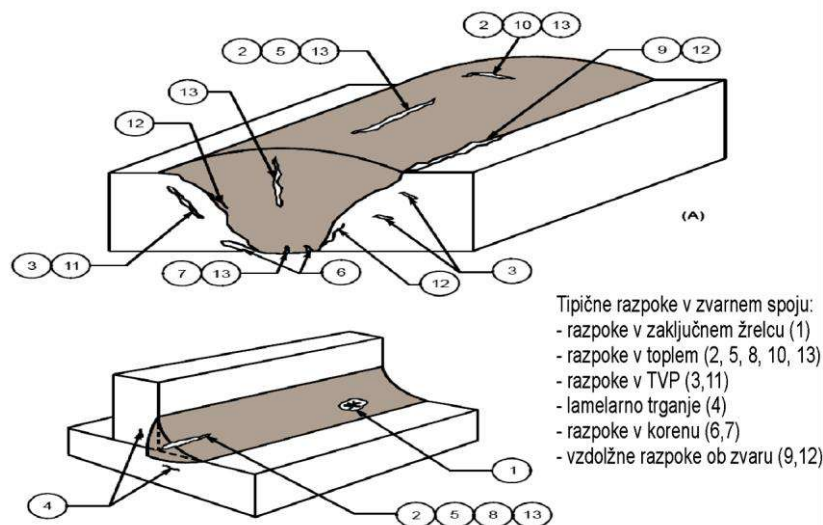
**1.7.2 Razpoke (skupina nepravilnosti 100)**

Daleč najnevarnejše napake v izdelavi zavarjenih konstrukcij so razpoke. To so mesta prekinitve v materialu, običajno gre za dvodimenzionalne nezveznosti, ki se lahko pojavljajo v samem zvaru, v toplotno vplivnem področju ali pa v osnovnem materialu. Zaradi njihove geometrije (dve dimenziji sta izrazito večji v primerjavi s tretjo dimenzijo, ostri robovi, neugodni položaji...) je nosilni presek konstrukcije, še posebej, če se pojavljajo prečno na smer delovanja napetosti, močno oslavljen in z njim tudi sama trdnost konstrukcije.

Vzrok za njihov nastanek, če poenostavimo, je nastanek notranje napetosti in kritičnega neravnovesja med segrevanjem in ohlajanjem. Njihova delitev glede na obliko in vrsto je opisana v EN ISO 6520-1 (vključno s prilogo A). Razpoka je ena izmed najbolj raziskanih napak med teoretiki in praktiki, predvsem zaradi porušitve večjih konstrukcij ravno zaradi te napake.

**Razdelitev razpok glede na njihov vzrok je sledeča:**

- Razpoke v hladnem (angl. *Cold cracking*) - oznaka Ea
- Razpoke v vročem (angl. *Hot cracking*) - oznaka Ef
- Razpoke, ki so posledica naknadne toplotne obdelave zvara (angl. *Post weld heat treatment cracking*)
- Razpoke, ki so posledica slojastega ali lamelnarnega iztrga (angl. *Lamellar tearing*) - oznaka Ej



Slika 1.7.2: Tipične razpoke v sočelnih in kotnih zvarnih spojih

Ko govorimo o površinskih razpokah in razpokah, ki se raztezajo po celotni dolžini zvara, se je izkazalo, da je najbolj primerna preiskava s tekočimi penetranti in magnetnimi delci, pri predhodno opravljeni vizualni preiskavi in najbolj občutljivimi svetlobnimi pogoji (npr. pod UV svetlobo). Za razpoke, ki se nahajajo v notranjosti zvara, se je najboljša izkazala preiskava z ultrazvočno preiskavo, čeprav je uporabna tudi radiografska, pod pogojem, da je smer razpoke nastavljena pravokotno na smer rentgenskega žarka.

### 1.7.2.1 Razpoke v hladnem

Do nastanka razpok v hladnem pri varjenju jekla lahko pride med varjenjem, najpogosteje pa po varjenju. Nastanek hladnih razpok je znano tudi kot vodikovo ali zapoznelo tvorjenje razpok. Pojavlja se tako v TVP kot v zvaru. Verjetnost pojava hladnih razpok med varjenjem je odvisna od kaljivosti in prekaljivosti jekla. Oboje je v funkciji kemične sestave jekla. Stopnja kaljivosti nelegiranih, drobnozrnatih in nizko legiranih konstrukcijskih jekel se ocenjuje z uporabo vrednosti parametra CE (večinoma C-Mn jeklo) ali CET. Obstajajo trije razlogi za te razpoke:

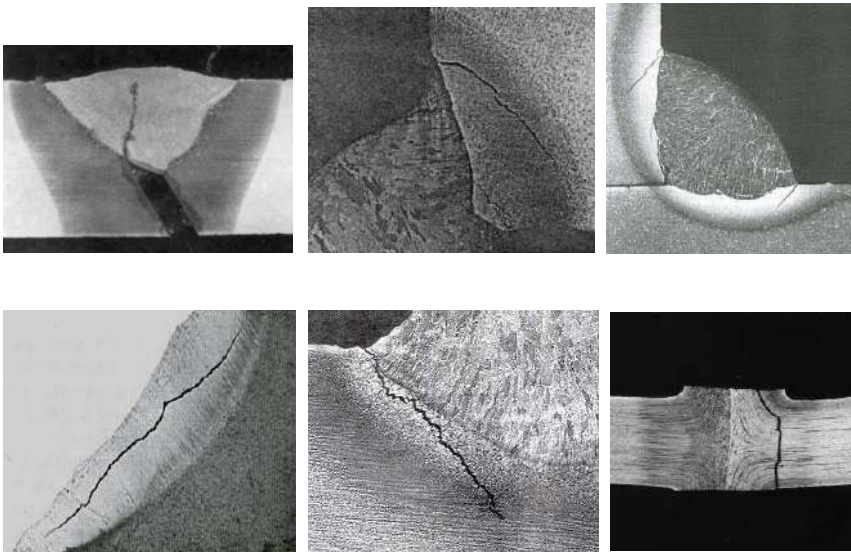
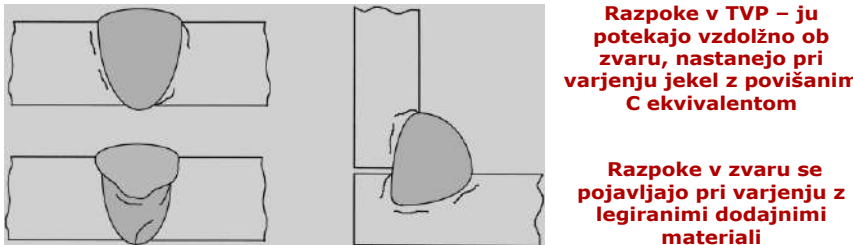
- Martenzitna premena ali nagnjenost materiala k samozakalitvi, posebej v TVP
- Nastanek zaostalih notranjih napetosti, zaradi krčenja zvara
- Izločevanje in količina prisilno raztopljenega, difundiranega vodika
- Neugoden položaj vključkov v zvaru

Za nastanek hladnih razpok so pomembni **trije vzroki**, in verjetnost za njihov nastanek je večja, v kolikor je večji njihov vpliv.

Tabela 1.7.1: Vzroki za nastanek razpok v hladnem

	Mikrostruktura	Vodik	Zaostale napetosti
Kemična sestava	+	-	-
Debelina zvara	+	+	+
Vnos toplote	+	+	+
Vpliv okolice	-	+	+
Dodajni material	-	+	-
Način varjenja	+	+	+
Oblika zvara	-	+	+
Vključki	-	+	+

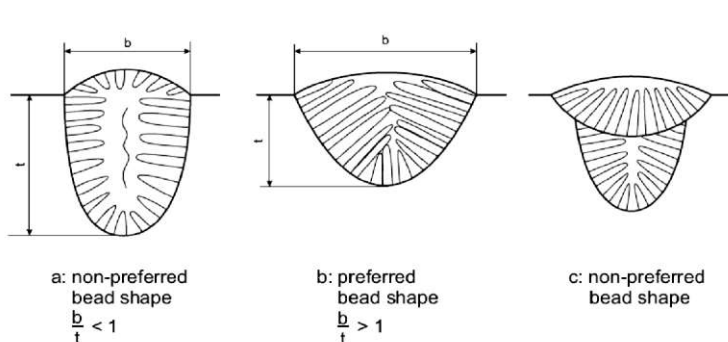
Kot je razvidno iz tabele 1.7.1, je vodik glavni vzrok za nastanek hladnih razpok. Vodik, ki je pri visokih temperaturah difundiral v talino zvara, je v atomskem stanju. Med hlajenjem vodik običajno preide v molekularno stanje in prodra v prostore v strukturi materiala, ki vsebujejo nepravilnosti - prazna mesta. Njegova porazdelitev je odvisna od količine in vrste različnih vključkov, razporeditve mikro in makro por, ki se zaradi vpliva visokega tlaka vodika lahko med seboj povežejo v večjo ali manjšo razpoko. To še posebej velja, kadar je zvar izpostavljen velikim napetostim, ki jih povzročata krčenje zvarov ali zaradi krhkega stanja močnejšega TVP.



Slika 1.7.4: Makro obrusi zvarov, ki vsebujejo hladne razpoke

### 1.7.2.2 Razpoke v vročem

Razpoke v vročem nastanejo pri visokih temperaturah, med procesom strjevanja zvara zaradi krčenja kovine pri prehodu iz tekoče v trdno fazo. Pojavljajo se po mejah zrn v materialu, najpogosteje vzdolžno po sredini zvara, lahko pa se pojavijo tudi v TVP.



Slika 1.7.5: Vpliv oblike zvara na smer rasti kristalnih zrn (razpoke v vročem); (a) in (c) - nezaželena, (b) - zaželena

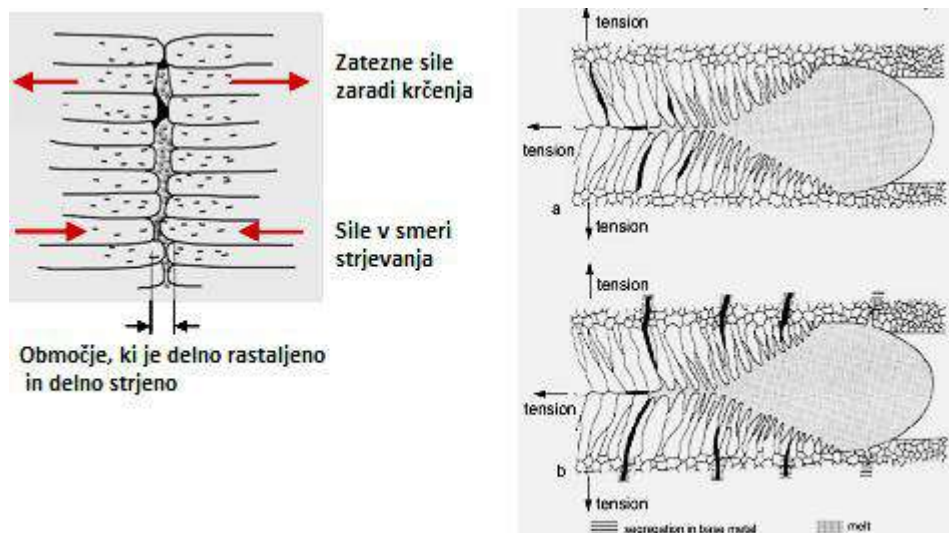
Zaradi nagnjenosti zvara k krčenju med utrjevanjem in ohlajenja, območja bogate z nečistočami, ki imajo nižjo trdnost kot osnova, ne prenesejo nateznih napetosti in zvar se poruši. Zaradi tega nastane razpoka tudi pri razmeroma visokih temperaturah, pri kakšnih 200-300 K pod točko strjevanja, vzdolž osi zvara.



Občutljivost zvarov na nastanek razpok v vročem je odvisna od grobozrnate mikrostrukture, količine in vrste segregacij, oblike spoja, pri avstenitnih zvarih pa od deleža  $\delta$ -ferita.

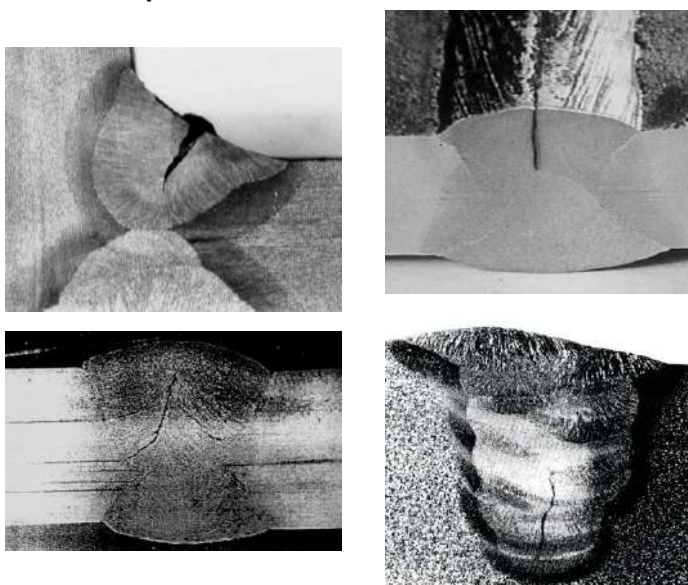
Nastanek razpok v vročem lahko enostavno opišemo:

- Ohlajanje taline se začne na robovih nekoliko prej kot na sredini. Dendritni kristali rastejo od roba proti sredini varilne kopeli, ki se zato zadnja strdi.
- Nečistoče in segregacije se težje vgrajujejo v kristale, njihova koncentracija pa narašča pred strjevalno fronto.
- Ko se zrna skoraj dotaknejo, je koncentracija nečistoč v talini najvišja. Zato je na sredini zvara po kristalizaciji varilne kopeli film strjenih nečistoč



Slika 1.7.6: Mehanizem nastanka razpok v vročem tokom strjevanja taline

### Primeri razpok v vročem



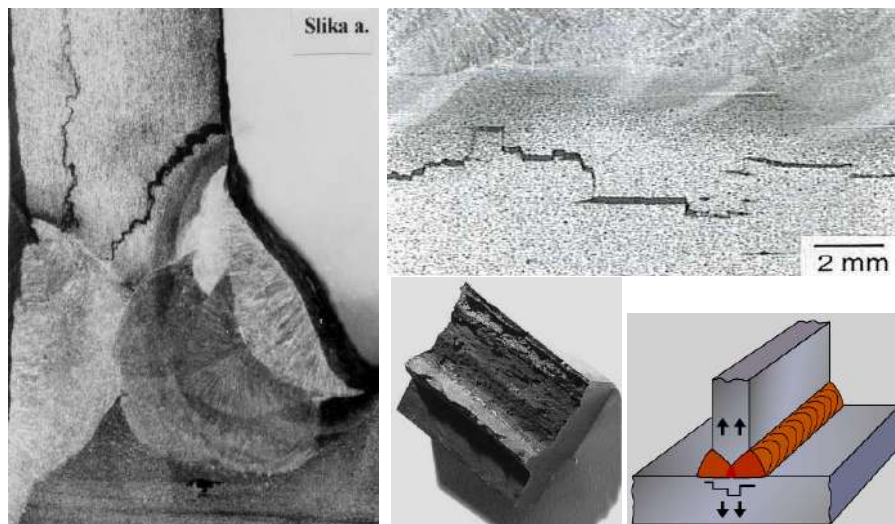
Slika 1.7.7: Makro obrusi zvara, ki vsebuje razpoke v vročem



### 1.7.2.3 Razpoke, ki so posledica lamelnega trganja

Razpoke, ki so posledica lamelnega trganja, nastanejo v toplotno vplivanem področju in se običajno razširijo naprej v osnovni material. Posledice tega je pojav nehomogenosti v osnovnem materialu in delovanje napetostnih sil zaradi vnosa toplote med varjenjem. Te razpoke se lahko pojavijo tako na debelejši kot na tanki pločevini, v kateri so zaradi izdelave pločevine z valjanjem prisotne strukturne nehomogenosti in se običajno nahajajo v srednjem delu pločevine (dvopastnost). Z delovanjem napetosti navpično na smer širjenja nehomogenosti med ohlajanjem in krčenjem zvara in osnovnega materiala prihaja do lamelnega trganja, ki se kaže kot vrsta razpoke. Pojavlja se pri kotnih in polu V zvarih, v nepomirjenih in polpomirjenih jeklih.

#### Primeri razpok zaradi lamelnega trganja

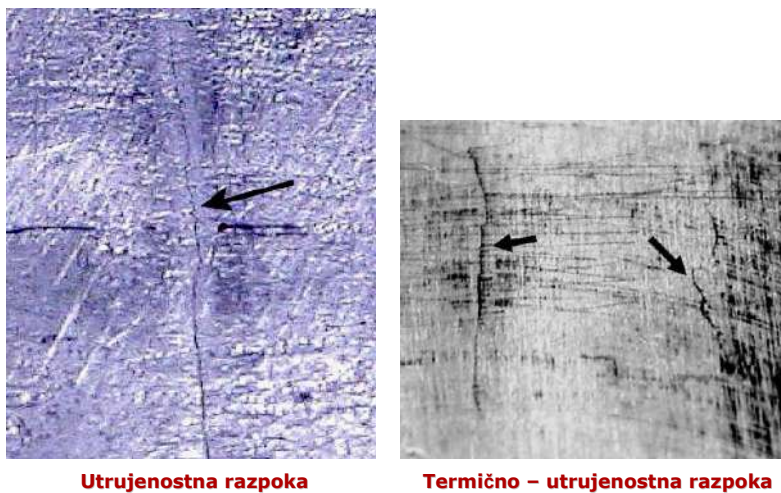


Slika 1.7.8: Primeri lamelnega trganja na zvarnih spojih

### 1.7.2.4 Ukrepi za preprečitev nastanka razpok

- Pravilna izbira načina in pogojev varjenja
- Pravilna izbira dodatnega materiala
- Sušenje elektrod ali praška pred varjenjem
- Čistost varilnega žleba; brez vlage, rje, mastnih predelov, trdnih vključkov, obvezno brušenje
- Predgrevanje je treba izvesti na ustrezno temperaturo in potem to temperaturo vzdrževati
- Med varjenjem je potreben omejen in pravilen vnos toplote
- Večvarkovano varjenje izvajati z ozkimi in rahlo izbočenimi varki
- Pravilno izvajati začetke in zaključke zvarnega spoja ter zapolnitev zaključnega kraterja
- Izbrati pravilno zaporedje varjenja, da se izognemo nastanku zaostalih napetosti v zvaru
- Izogibati se je treba varjenju pripomočkov na površino osnovnega materiala. Če se temu ni mogoče izogniti, jih je treba zvariti na enak način kot glavni zvar, njihovo odstranitev izvesti z brušenjem in ne s trganjem.
- Izogibajte se poškodbam površine materiala z električnim tokom ali drugim ostrim orodjem
- Pri varjenju debelejših materialov, pa tudi tam, kjer lahko pričakujemo razpoke, je po toplotni obdelavi potrebna dodatna kontrola.

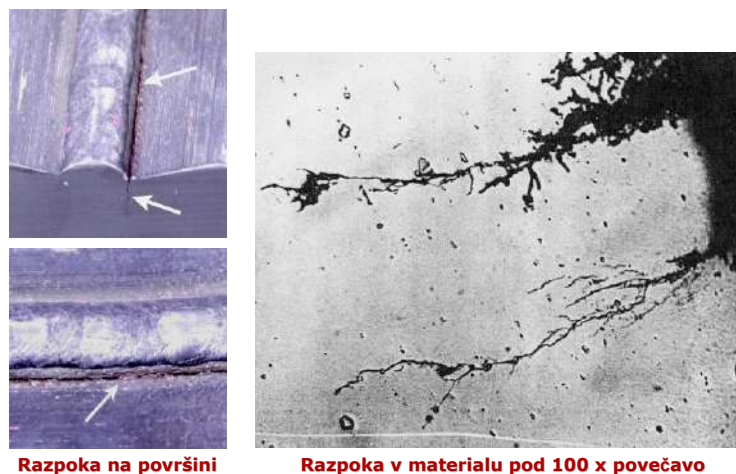
**Primeri termičnih in utrujenostnih razpok**



**Utrujenostna razpoka**

**Termično – utrujenostna razpoka**

Slika 1.7.9: Primeri toplotnih in razpok zaradi utrujanja



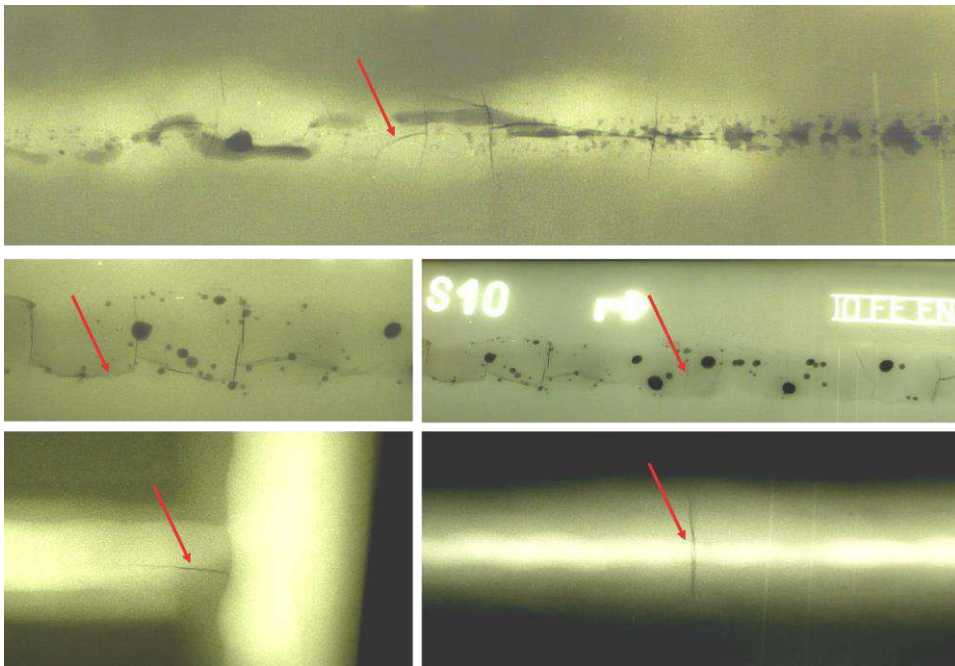
**Razpoka na površini**

**Razpoka v materialu pod 100 x povečavo**

Slika 1.7.10: Primeri razpok zaradi napetostne korozije



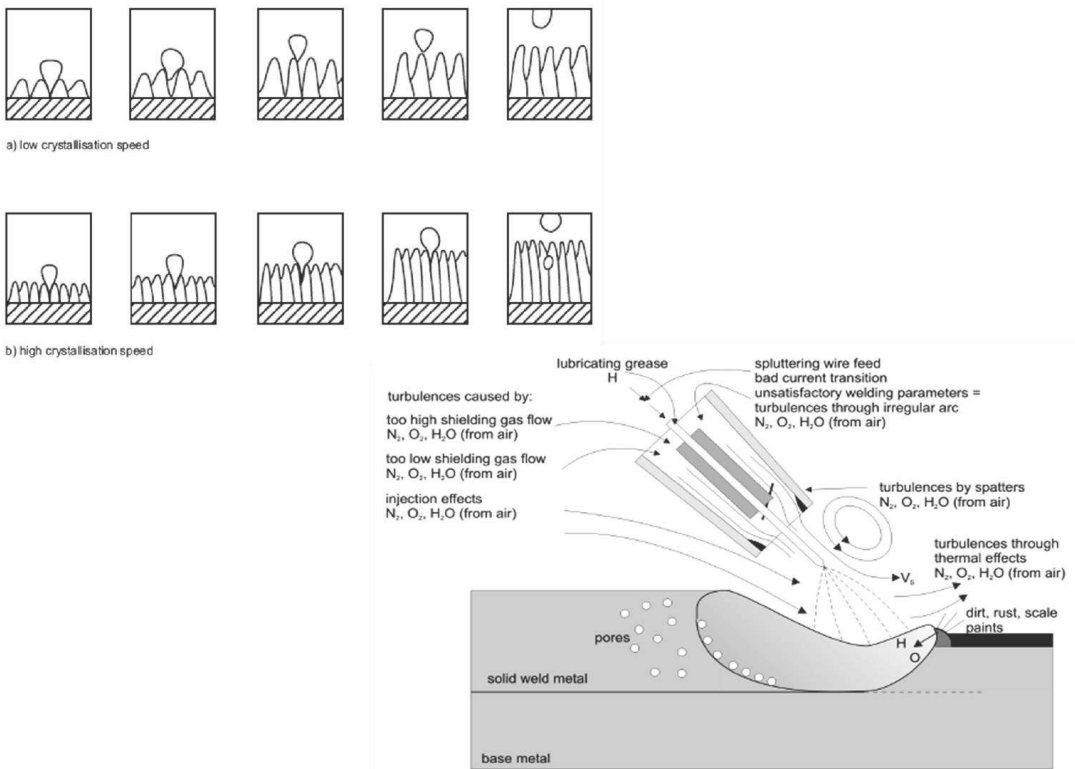
Slika 1.7.11: Primeri razpok v vročem na površini zvara



Slika 1.7.12: Prikaz razpok na radiogramih

### 1.7.3. Poroznost

Poroznost v zvaru predstavljajo votlinice kroglaste oblike, napolnjene s plinom, ki je po strjevanju ostal v zvaru ali so ujete pri izstopanju na površino. Nastajajo zaradi onesnaženosti osnovnega in dodajnega materiala, zaradi neustrezne plinske zaščite ter neustreznih varilnih parametrov.



Slika 1.7.13: Primeri izstopanja plinskih mehurčkov (a,b) in njihovega nastanka med varjenjem (spodaj desno)



Poroznost nastaja zato, ker kopel zvara v raztaljenem stanju lahko absorbira velike količine plinov. Vodik in dušik prehajata v kopel neposredno, medtem ko se kisik veže z ogljikom. Z ohlajanjem taline ti plini pričnejo izhajati v smeri proti površini v obliki mehurčkov. V primeru, ko je hitrost potovanja mehurčkov manjša od hitrosti strjevanja taline, ostanejo plinski mehurčki ujeti v zvaru. Velikost in oblika posameznih mest por je odvisna od količine vsrkanih oz. izhodnih mehurčkov iz taline zvara in od hitrosti strjevanja.

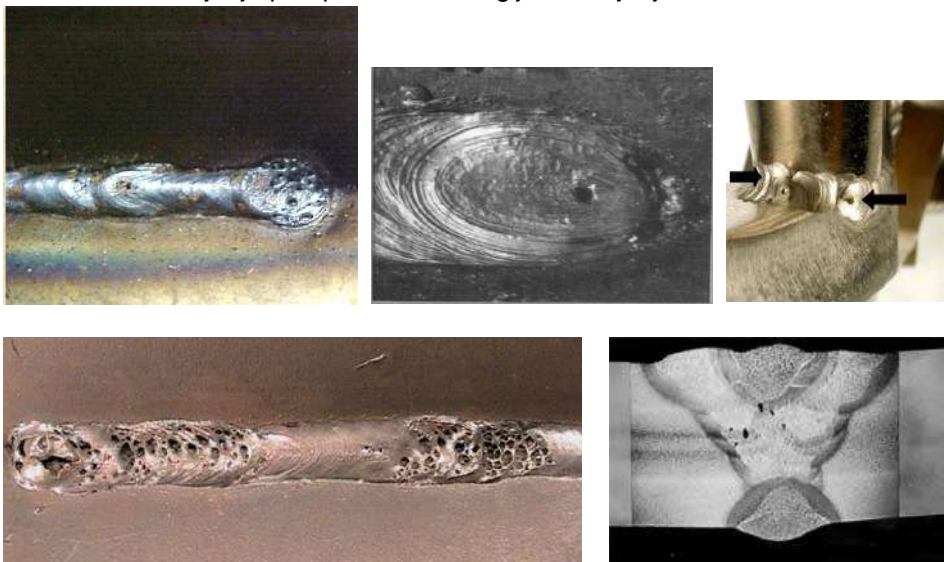
Vodik, kisik in dušik prehajajo v talino predvsem iz zunanje okolice, preko dodatnega materiala, nečistoč na površine zvara, CO pa nastaja zaradi nezadostne dezoksidacije taline, tako, da se ostanek kisika veže z ogljika v ogljikov monoksid.

Vpliv poroznosti na trdnost zvarnega spoja je odvisen od številčnosti, velikosti, obliki in mesta, kjer se nahaja, ter od zahteve za kakovost določenega zvara. Zaradi tega te vrste nepravilnosti različno vplivajo na trdnost zvara. Raziskave kažejo, da posamezne pore krogličaste oblike v sočelnih spojih nimajo velikega vpliva na zmanjšanje trdnosti, v primerih, ko pa so pore na površino odprte ali se jim z brušenjem odpre oz. "preseka" njihovo kroglično obliko lahko nevarno vplivajo na trajno dinamično trdnost zvara. Večji vpliv imajo pore pri kotnih zvarih. Posebej pri nizkih temperaturah in pri izmeničnih obremenitvah konstrukcije.

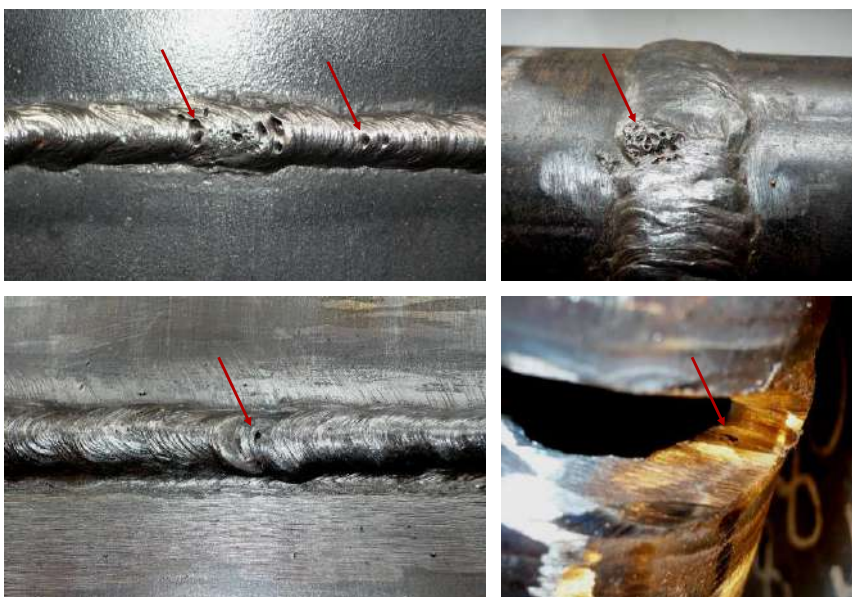
Pri dinamično obremenjenih konstrukcijah ima poroznost večji vpliv na nosilnost zvarnega spoja. Zaradi spremenljivih obremenitev prihaja do povezovanja posameznih kar lahko privede do nastanka razpok, še posebej v primerih, ko so zelo blizu druga zraven druge.

### 1.7.3.1 Ukrepi za preprečevanje in izogibanje nastanka por

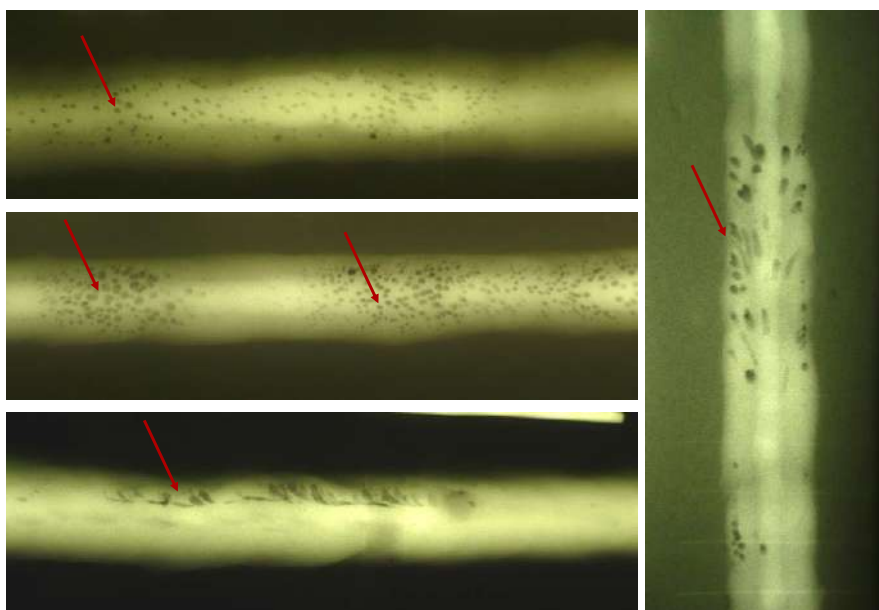
- Čiščenje in odmaščevanje zvarnega žleba neposredno pred varjenjem nerjavnih jekel
- Čiščenje in odstranjevanje oksidov iz površine neposredno pred varjenjem aluminija in njegovih zlitin
- V slabih vremenskih pogojih (vlaga, mraz) priporočena uporaba plinskega gorilnika za osušitev površine pred varjenjem
- Pravilno vzpostavljanje in prekinjanje električnega obloka
- Vzdrževanje ustrezne dolžine obloka, pravilen naklon gorilnika ali elektrode
- Ustrezen pretok zaščitnega plina
- Sušenje oplaščenih elektrod in praškov
- Ustrezna čistost zaščitnega plina
- Pravilna ureditev mesta za varjenje (prepih)
- Pravilni parametri varjenja
- Pravilno izvajanje predpisane tehnologije za varjenje



Slika 1.7.14: Primeri poroznosti na površini zvara, v zaključnem kraterju in v makropreseku



Slika 1.7.15: Primeri poroznosti na površini zvara in po brušenju



Slika 1.7.16: Primeri poroznosti na radiogramih

#### 1.7.4. Trdni vključki

Pogosta nepravilnost v zvarnih spojih so trdni vključki. To so lahko ostanki žlindre, večji skupki oksidov, kovinski vključki tujih kovin (W) ali pa oksidna kožica pri varjenju aluminija. Vključki žlindre v zvaru so najpogosteje nepravilnost varilca zaradi nezadostnega čiščenja večvarkovnih zvarov. Je pa tudi res, da se žlindra kdaj težko očisti, še posebej pri globokih zvarnih žlebovih in ostrih robovih ter pri preveč zaobljenih varkih.

Neizkušen ali površen varilec poskuša mesta z ostanki žlindre enostavno pretaliti z uporabo povišanih jakosti el. toka, vendar pa mu to običajno ne uspeva.

Vključki tujih kovin, zlasti volframa se kot delci nerazstajene kovine pojavljajo kot ostanek "okrušene" volframove elektrode (TIG).

Vpliv prisotnosti trdnih vključkov se kaže v zmanjšanju trdnosti zvarnega spoja, predvsem zaradi nehomogenosti in zmanjšanju preseka materiala zvara. Poleg tega se na teh mestih pojavljajo povečane koncentracije napetosti. Vpliv vključkov je tako, kot pri drugih nepravilnostih povezan z njihovo količino, obliko in velikostjo. Vključki ostrih



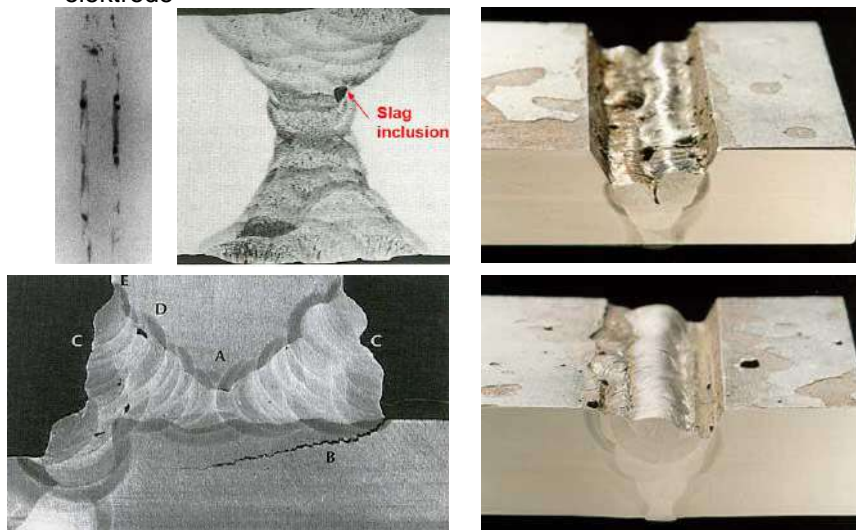
robov se lahko obnašajo kot iniciatorji za nastanek razpok, podolgovati vključki pa lahko kritično zmanjšajo presek zvara. Majhni trdni vključki kroglastih oblik v manjših količinah niso nevarni in se obnašajo kot posamezne pore manjših dimenzij.

Vključki oksidne kožice v zvaru se v glavnem pojavljajo pri varjenju TIG in MIG postopka aluminija.

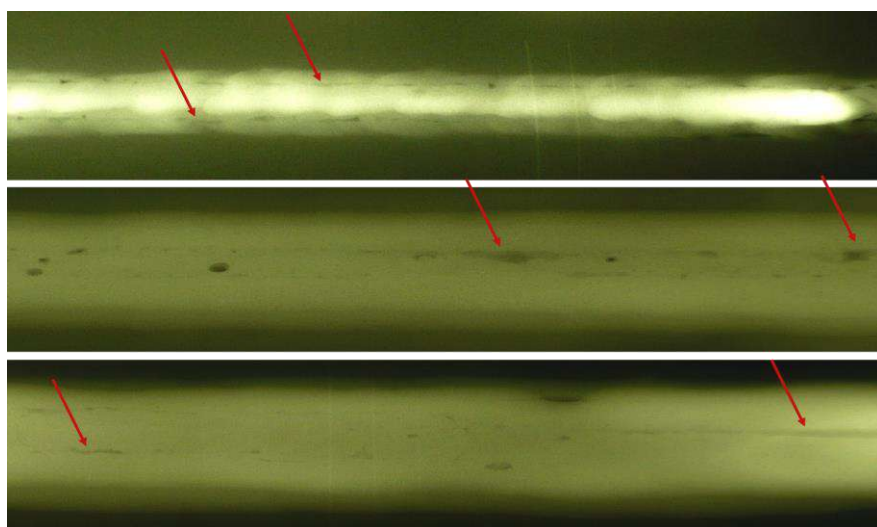
Pri varjenju EPP se lahko v zvaru pojavlja vključek bakra, kot posledica varjenja na bakreno podložko, obravnavamo ga kot vse druge nekovinske vključke.

#### 1.7.4.1 Ukrepi za preprečevanje ostankov trdnih vključkov

- Pravilna priprava zvarnega spoja – pravilen kot
- Obvezno čiščenje žindre pri varjenju večvarkovnih zvarov
- Pri morebitnih poškodbah stranic žleba ali pa pri preveč zaobljenih varkih, je potrebno obvezno brušenje za izravnavo ostrih prehodov
- Varjenje je potrebno izvršiti s pravilnimi parametri in pravilno tehniko
- Pri varjenju nepomirjenih in polpomirjenih jekel je potrebno uporabiti bazične elektrode, bazično polnjene žice in bazične praške
- Pri varjenju aluminija in njegovih zlitin je potrebno odstraniti oksidno kožico z ščetkanjem neposredno pred varjenjem
- Pri TIG varjenju aluminija je potrebno paziti, da talina zvara ne prihaja v neposredni stik z vrhom volframove elektrode



Slika 1.7.17: Primeri ostankov trdnih vključkov v zvarih



Slika 1.7.18: Primeri ostankov trdnih vključkov prikazani na radiogramu

### 1.7.5 Pomanjkljive spojitve zvarnega spoja in slaba prevaritev

Skupini nepravilnosti zlep in neprevaritev, poleg razpok, prištevamo k enim izmed najbolj nevarnih za nosilnost zvarnega spoja.

**Zlep** v zvaru definiramo kot nepopolno spojitve taline zvara z osnovnim materialom. Nastaja zaradi nepravilne hitrosti ter drugih parametrov varjenja, neustreznega vodenja obloka, slabih spretnosti varilca itd. Med varjenjem prihaja do nalaganja taline dodatnega materiala na hladno – nepretaljeno površino stranice zvarnega spoja ali predhodnega varka. Vzrok za zlep je tudi neustrezna konstrukcija spoja (preveč zaprt žleb).

**Neprevaritev** je posledica nezadostnega pretaljevanja stranic žleba v korenskem delu zvarnega spoja. Neprevaritev v notranjosti zvara se pojavlja predvsem pri obojestranske varjenju, neprevaritev na zunanji strani zvara pa je posledica varjenja iz ene strani. Neprevaritev v sredini zvara se pojavlja zaradi nezadostnega žlebljenja korena ali zaradi nedostopnosti ter nepravilnih parametrov varjenja.

Prevaritev korena pri ročnem ali polavtomatskem načinu varjenja je ena najzahtevnejših nalog za varilca.

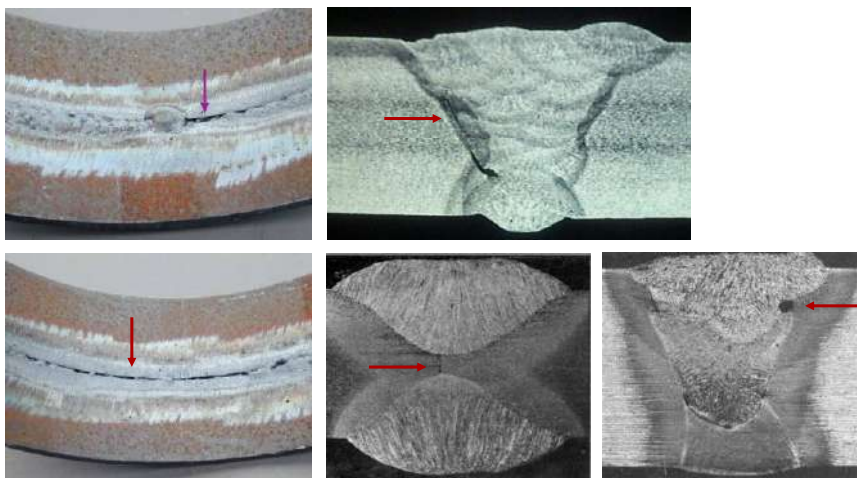
Vpliv na zmanjšanje trdnosti zvara pri zlepih se kaže v slabi strukturni vezavi zvarnega spoja. Po geometriji nepravilnosti so zlepi primerljivi z razpokami in so lahko začetna točka porušitve v pogojih pretirane obremenitve konstrukcij, kar pomeni, da se njihova nevarnost potencira pri dinamično obremenjenih konstrukcijah. Zaradi svoje geometrije in položaja je te nepravilnosti težje odkriti z uporabo klasičnih NDT metod. Večkrat je potrebna kombinacija UT in RT metode. Nove tehnike UT metod- Phased Array in TOFD sta zaradi svoje narave delovanja dosti bolj zanesljivi pri odkrivanju zlepih.

Vplivi na zmanjšanje trdnosti zvarnega spoja so pri neprevaritvah zelo podobni kot pri zlepih. Torej so prav tako lahko začetna točka porušitve pri neugodnih dinamičnih obremenitvah konstrukcij.

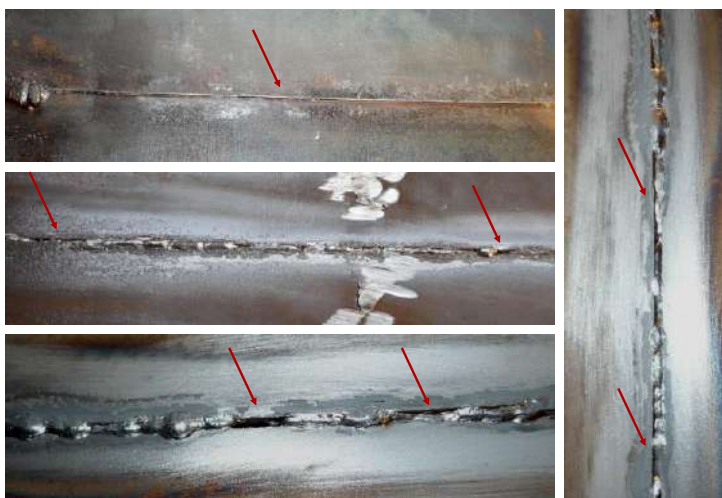
Obe nepravilnosti se ne tolerirata pri ocenjevanju zvarnih spojev, vendar pa standardi za posamezne razrede in namen, nepravilnosti v določenih količinah in mejah dopuščajo kot sprejemljive.

#### 1.7.5.1 Ukrepi za izogibanje in preprečevanje zlepih in neprevarjenosti

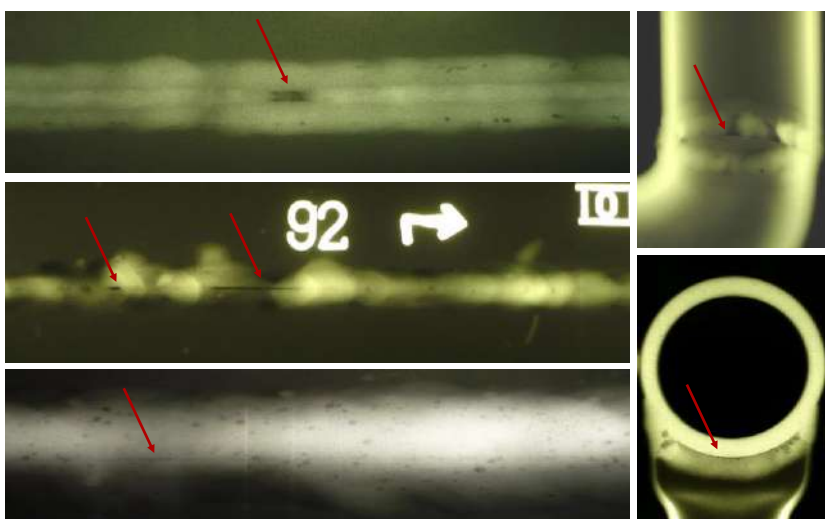
- Pri varjenju debelejših materialov z MIG/MAG postopkom je potrebno je striktno upoštevanje parametrov varjenja ter iskušen varilec.
- Pri varjenju z velikimi jakostmi el. toka v vodoravnem položaju, je potrebno posebno pozornost dati na hitrost varjenja, tako da nam talina ne uhaja pred oblokom, še posebej v ozkih žlebovih.
- Pri varjenju debelejših materialov in kotnih zvarov se priporoča varjenje z več varki
- Priprava zvarnega spoja: če se zahteva prevaritev korena, je obvezen pravilen razmak zvarnega žleba.
- Pri visokih zahtevah glede kvalitete zvarnega spoja, posebej tam, kjer je dostop iz obeh strani nemogoč, se je dobro poslužiti varjenja po TIG postopku za zapolnitev korena v zvarnem žlebu.
- Priporoča se tudi varjenje na keramično podložko za MIG/MAG postopek z uporabo polnjene žice.
- Kjer se zahteva žlebljenje korena, je to potrebno opraviti brezhibno, se pravi do čiste površine zvara.



Slika 1.7.19: Primeri zlepih in neprevarjenosti na makro obrusih zarov



Slika 1.7.20: Primeri neprevarjenosti na sočelnih zvarih



Slika 1.7.21: Primeri zlepov in neprevarjenosti na radiogramih

### 1.7.6 Oblikovne in dimenzijske napravnosti

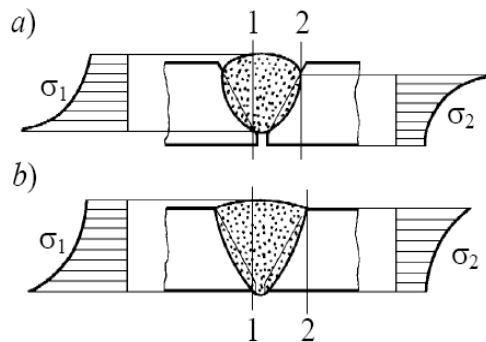
Skupina nepravilnosti, ki obravnava dimenzijska in oblikovna odstopanja pri zvarnih spojih, je po svoji klasifikaciji najboljšejša. Predstavlja nepravilnosti, ki so posledica vsakega odstopanja od projektiranih oblik in dimenzij zvara. Danes je dobro poznano, da ta skupina nepravilnosti ne predstavlja samo slabega estetskega videza, temveč se njihov vpliv kaže tudi v zmanjšanju nosilnosti zvarnega spoja, še posebej pri dinamično obremenjenih konstrukcijah. V to skupino spadajo zajede, visoko ali prenizko teme zvara, povešen koren, različni zamiki varjenčev, prelitja itd.

Vse te nepravilnosti je mogoče zaznati in ovrednotiti z vizualno preiskavo ob ustrezni uporabi pripomočkov ter ustreznih pogojih.

Zaradi njihove navidezne neškodljivosti in dokaj enostavnega vrednotenja so bile v preteklosti pogosto zanemarjene (prednost so imele podpovršinske nepravilnosti), danes pa se jim posveča veliko več pozornosti.

**Zajede** z ostrimi robovi definiramo kot poglobitve varjenega sloja v osnovni material. Nastajajo zaradi prevelikega varilnega toka, nepravilnega držanja elektrode, velikega varilnega obloka, predolgega zadrževanja na stranici žleba, nepravilnih parametrov varjenja...

Njihov vpliv je odvisen od njihove dolžine in globine ter od smeri in vrste delovanja napetosti konstrukcije. Pri dinamično obremenjenih konstrukcijah se ta oster poseg v zvarni spoj lahko razvije celo v razpoko, medtem ko pri statično obremenjenih konstrukcijah ta ne predstavlja tako velike nevarnosti.



- a) V-zvar s slabo prevarjenim korenem  
b) V-zvar z dobro prevarjenim korenem

Slika 1.7.22.: Porazdelitev napetosti za primera slabe in dobre prevaritve v korenu zvara

**Preveliko nadvišanje temena zvara** pri sočelnih spojih definiramo kot višek nanesenega dodatnega materiala. Največkrat je to posledica premajhne hitrosti varjenja ali pa previsokega nanosa predzadnjega sloja.

**Prevelika izbočenost kotnega zvara** je rezultat želje, da se z enim varkom poskuša izvesti tak zvar, za katerega je predpisanih več varkov.

Vzrok za **preveliko prevaritev** ali **preveliko nadvišanje** korena je v prevelikem razmaku samega grla zvarnega žleba, premočan el. tok ali pa premajhna hitrost varjenja pri enostranskem varjenju.

**Čezmerna vzboklina korena** ali **zvarni kapnik** je mestoma prevelika izbočenost korena zvara, ki je enostransko varjen, še posebej lahko to nepravilnost vidimo pri varjenju cevi. Nastane zaradi nepravilnosti varilca, ki se večkrat predolgo zadržuje na enem mestu in zaradi prevelikega razmaka med varjencema. Zvarni kapnik običajno spremljajo še druge nepravilnosti, kot so plinski mehurčki, trdni vključki žlindre in redko tudi majhne razpoke.

**Oster prehod zvara** je preveliko nadvišanje zvara, z določenim stopničastim prehodom na osnovni material. Pri EPP in MIG/MAG varjenju je vzrok za to nepravilnost v premajhni napetosti in premajhni jakosti el. toka varjenja. Pojavlja pa se tudi pri varjenju "v steno", predvsem zaradi sile težnosti, kjer talina na spodnjem delu zvara oblikuje stopničasti prehod na osnovni material. Ta nepravilnost se zaradi velikega odmika napetostnih silnic zelo nevarna, saj se na teh mestih pri dinamično obremenjenih konstrukcijah lahko razvije v začetke širjenja razpok.

**Nesimetričen kotni zvar** je oblika kotnega zvara izven predpisanim mer. Prepoznamo ga takrat, ko je ena stranica trikotniga vrisanega v preseku zvara daljša od druge. Običajno ima tak zvar premajhno zahtevano višino. Pojavlja se pri varjenju kotnih zvarov v vodoravnem položaju pri nepravilnem naklonu gorilnika ali elektrode. Do nepravilnosti prihaja tudi zato, ker se poskuša z enim varkom doseči predpisano višino zvara, takrat pa se prevelika količina taline pod vplivom sile težnosti, prične razlivati na spodnjo stranico osnovnega materiala.

**Prelitje zvara** se lahko kot oblika nestaljenega prehoda med osnovnim materialom in zvarom, pojavi pri sočelnih spojih, tako na temenski kot na korenski strani. Najpogosteje se pojavi zaradi prevelike količine taline, katera nato deloma zaide na površino osnovnega materiala in se razlije (zalepi) na nerastaljeno površino, kar povzroči mestoma nehomogeno strukturo. Predstavlja resno nepravilnost, ki tudi lahko vodi v nastanek razpok pri dinamično obremenjenih zvarnih spojih.

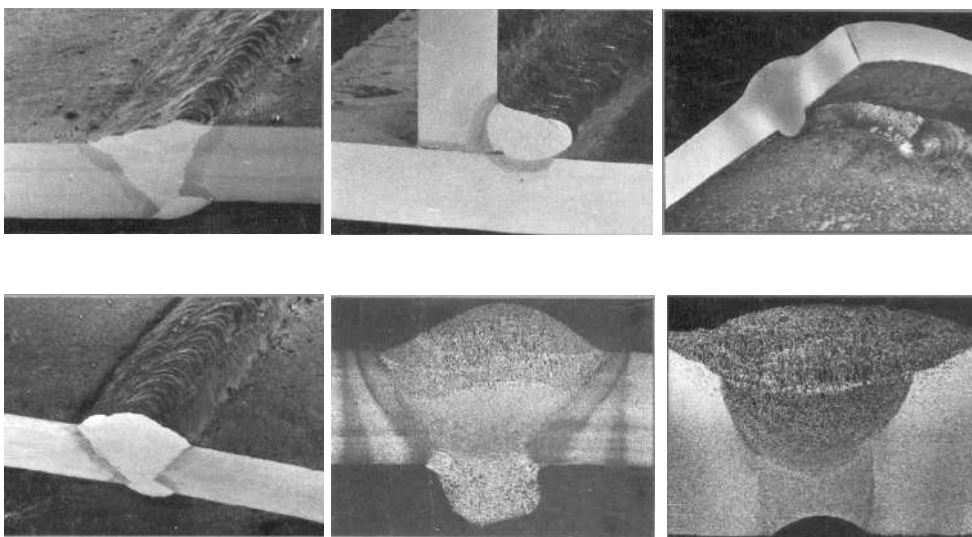
**Zamaknitve robov** med varjencema je najpogosteje nepravilnost delavca, ki opravlja pripravo spoja. Pri varjenju cevi pa je za to lahko odgovoren ali dobavitelj ali tisti, ki naroča material (prevelika ali premajhna kolena). Kot nepravilnost predstavlja mesto, kjer se pojavi odstopanje od osi med nasproti ležečima varjencema. Zaradi izredno slabega vpliva napetostnih silnic (te se lahko tudi prelomijo) se trdnost zvarnega spoja precej zmanjša. Pri cevovodih na teh mestih najprej prihaja do korozije in erozije, nato do motnje pri prehodu medija, končna posledica je nezadosten prehod medija ali celo uhajanje le-tega.

**Pomanjkljiv koren** nastaja zaradi krčenja sočelnega zvara pri ohlajanju taline ali pa zaradi vpliva sile težnosti pri nadglavnem varjenju. Pomanjkljiv koren je potrebno razlikovati od neprevarjenega korena, in tudi sicer ne gre za tako veliko nepravilnost.

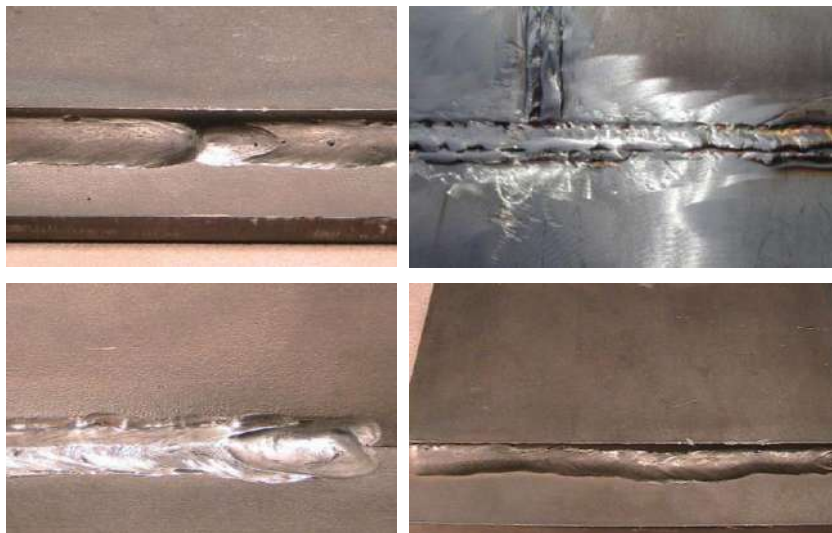


**Neenakomerna širina zvara** se vidi kot mestoma ožje ali širše teme zvara. Gre za oblikovno nepravilnost, katero povzroči varilec začetnik z neenakomerno hitrostjo varjenja ali pa z neenakim povprečnim gibanjem obloka. Te nepravilnosti so pomembne pri izdelavi bioprocesne opreme in ih obravnavajo ASME standardi.

**Nepravilnost pri začenjanju** je mestoma neenakomerno teme ali koren, ki se kaže kot vdolbina ali izbočenost in se največkrat pokaže pri prekinjanju ali začetku varjenja. Poleg estetske anomalije je to mesto podvrženo veliki oslavitvi in taka mesta lahko predstavljajo možne porušitve zvara. Temu se izognemo tako, da vzpostavimo oblok pred mestom, kjer je prišlo do prekinitve in se nato postavimo na mesto prekinitve varjenja. S tem izkoristimo dva efekta; segrevanje površine, ki jo bomo varili dalje in pretopitev plinskih mehurčkov, ki so ostali ujeti v zaključnem žrelcu.

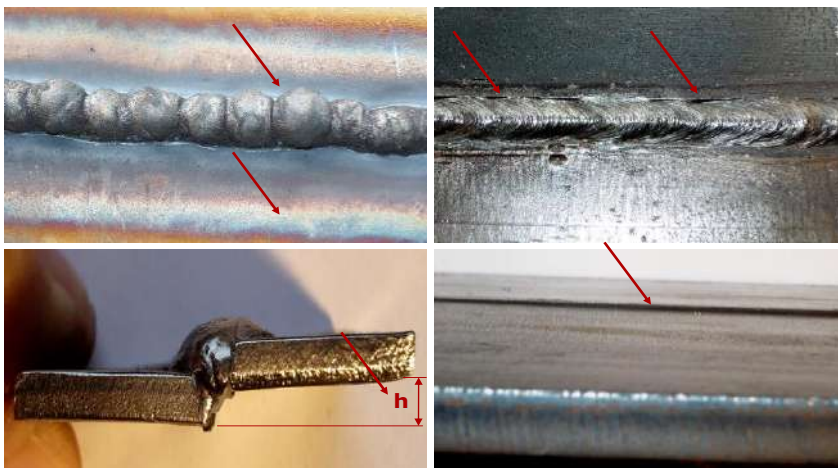


Slika 1.7.23: Primeri dimenzijskih in nepravilnosti oblike (zamaknitev, asimetrija, kapnik, nepravilen koren...)

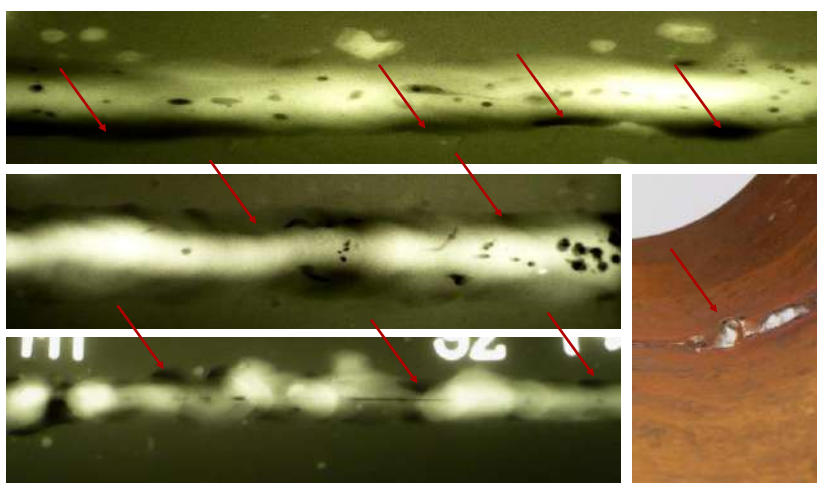


Slika 1.7.24: Primeri dimenzijskih in nepravilnosti oblike (nezapolnjenost, zajede)

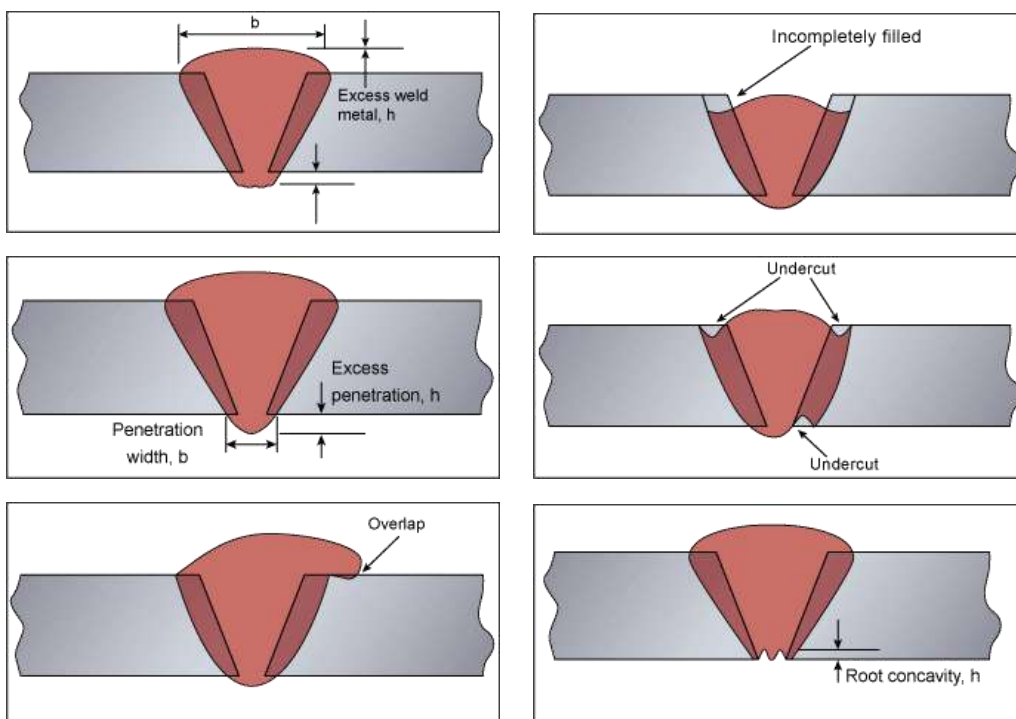




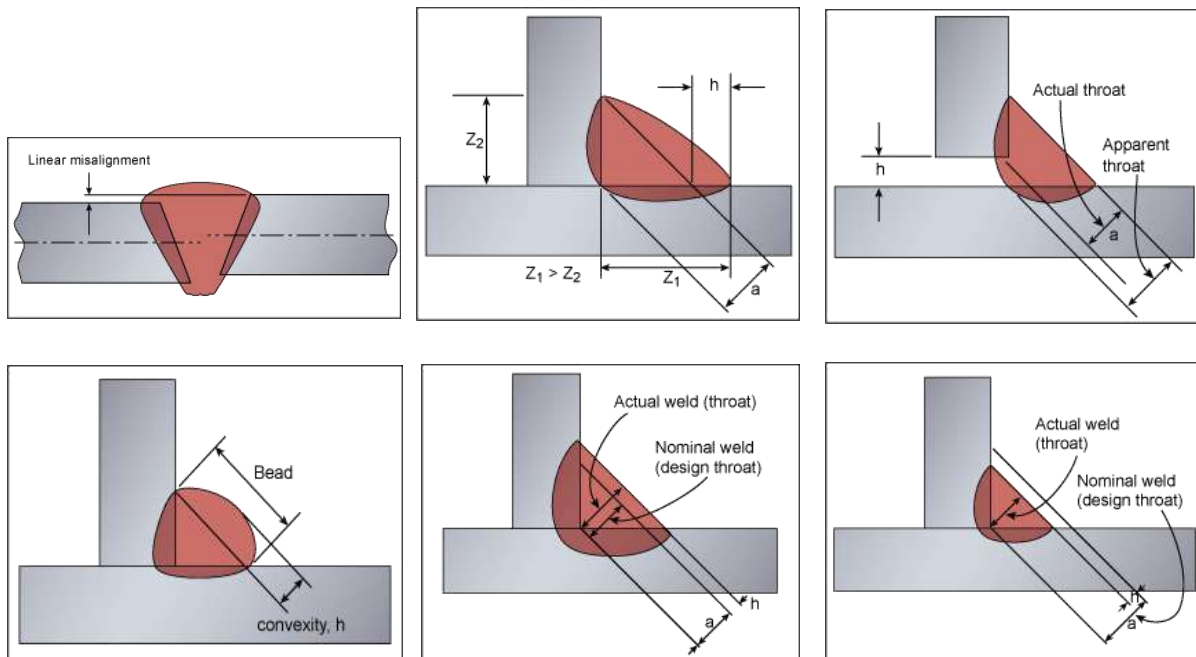
Slika 1.7.25: Primeri dimenzijskih in nepravilnosti oblike (zajede, zamaknitve)



Slika 1.7.26: Primeri dimenzijskih in nepravilnosti oblike na radiogramih



Slika 1.7.27: Shematski prikaz dimenzijskih in nepravilnosti oblike (zajede, prelitje, kapniki, nezapolnjenost)



Slika 1.7.28: Shematski prikaz dimenzijskih in nepravilnosti (zamaknitev, asimetrija, višina zvara)

### 1.7.7 Druge nepravilnosti

V skupino drugih nepravilnosti spadajo odstopanja na zvarih, ki se jih ne da uvrstiti v nobeno od 5 predhodnih skupin. Kažejo se kot poškodbe na površini zvara in ob njem zaradi varjenja ali obdelav po varjanju. Tovrstne nepravilnosti nastanejo zaradi brizganja raztaljene kovine, prižiganja obloka in na stikih z maso, pri obdelavi zvara z brušenjem, pri mehanskem ravnanju, odstranjevanju iztočnih etalonov, obarvanosti, nagobanosti itd.

Standard SIST EN ISO 6520 – 1 sicer klasificira 16 nepravilnosti, vendar pa standard SIST EN ISO 5817 in podobni, kriterijev sprejemljivosti za te nepravilnosti ne predvidevajo. Zato je presoja dopustne sprejemljivosti prepuščena naročniku oz. tehnologu in/ali projektantu. Pri tem je kontrolno osebje zadržano v NDT poročilih te nepravilnosti zabeležiti. Nekatere izmed teh nepravilnosti so lahko kritične za same konstrukcije in zato niso dovoljene. Tako je nedopustna prevelika obarvanost zvarov na nerjavnih jeklih, podobno zabrusi in zaseki niso dovoljeni na tlačni opremi ali nosilnih konstrukcijah.



Slika 1.7.29: Primeri drugih nepravilnosti (obrizgi, obarvanost, vzpostavitev obloka, zabrus, zasek)

V naslednjih standardih je podana klasifikacija nepravilnosti za področja, s katerimi se nekoliko manj srečujemo v varilni praksi:

EN ISO 6520-2 - Welding and allied processes- Classification of geometric imperfections in metallic materials- Part 2: Welding with pressure (ISO 6520-2:2013)

EN ISO 18279 – Brazing- Imperfections in brazed joints (ISO 18279:2003)

EN ISO 17658 – Imperfections in oxyfuel flame cuts, laser beam cuts and plasma cuts – Terminology (ISO 17658:2002)

# VREDNOTENJE NEPRAVILNOSTI

Pripravil: Matej Žgavec  
Revizija: dr. Miloš Jovanović

<b>1.8.</b>	<b>Vrednotenje nepravilnosti</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Karakteristike nepravilnosti pri zvarnih spojih (volumske, površinske; velikost, lega, smer)</li> <li>• Razmerje med izdelavo izdelka, konstrukcijskih standardov in nivoja kakovosti</li> <li>• Kriteriji sprejemljivosti (ISO 5817, ISO 10042, ISO 9013, ISO 13919-1/2, ISO 17635 in nacionalni standardi)</li> </ul>

## 1.8.1 Uvod

Zahteve in pričakovanja po kakovostnem, zanesljivem in konstrukcijsko uporabnem izdelku se že vrsto let povečujejo, zato je potreba po usposobljenih kontrolorjih in nadzornikih vse večja.

Zaradi nekakovostnih izdelkov imajo lahko podjetja dodatne stroške (popravila, škart, ponovna izdelava, kontrola). Zavrnitve končnih izdelkov zaradi reklamacije končnega kupca, da izdelek nima želenih lastnosti oziroma da ni skladen z zahtevami tehničnih standardov, so lahko v nekaterih primerih celo usodne za nadaljnje poslovanje podjetja. Izdelek mora biti poleg tega, da je izdelan v skladu s tehničnimi standardi (predpisi, regulativami, specifikacijami), tudi varen za svoje obratovanje. Porušitve izdelkov zaradi slabega načrtovanja ali neodkritih nepravilnosti, predvsem v začetku 20. stoletja, so vplivale na razvoj mnogih pristopov o zagotavljanju kakovosti kot na razvoj preiskav brez porušitve.

Zato sta nadzor in preizkušanje neločljivo povezana v vseh stopnjah nastajanja in obratovanja posameznega izdelka ali v kontekstu tega izobraževanja, varjenega izdelka.

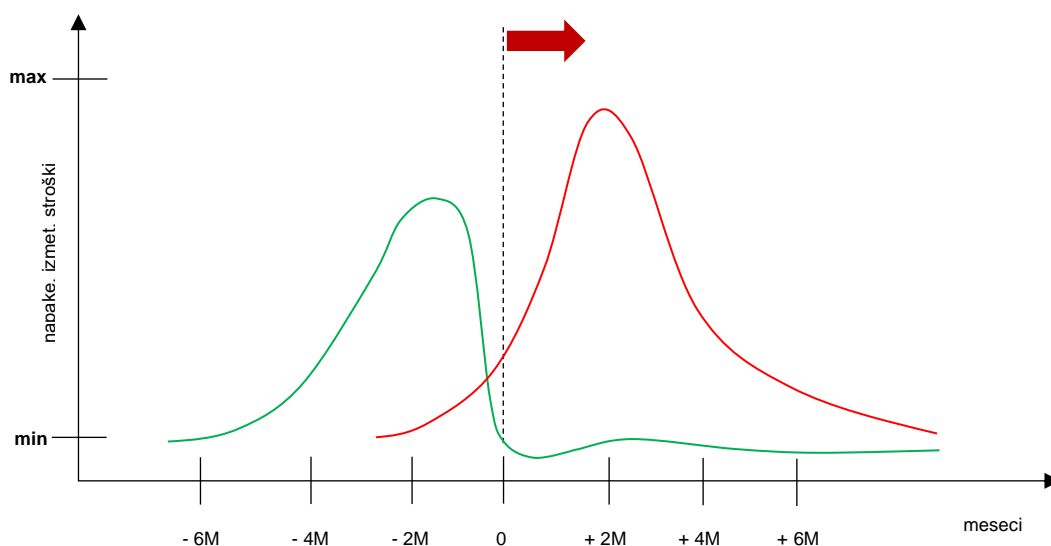
V sedanjem času velja, da se s prisotnostjo nadzora in preizkušanja materialov in izdelkov, zagotavlja:

- skladnost izdelka in posledično njegovo zanesljivost obratovanja,
- izogibanje porušitvam, preprečevanje drugih izrednih dogodkov in varnost ljudi,
- dobičkonosnost uporabnika izdelka,
- zadovoljstvo končnih kupcev in vzdrževanje dobrega ugleda proizvajalca izdelkov,
- podporo pri boljšem načrtovanju izdelkov,
- nadzor proizvodnih procesov,
- zmanjšanje proizvodnih stroškov in
- vzdrževanje enakomerne zahtevane stopnje kakovosti izdelave.

Proizvajalci izdelkov, ki s svojim sistemom kakovosti zagotavljajo vse zgoraj naštetu, uporabljajo pri svojem dnevnem delovanju naslednji načeli:

*“Napake se preprečuje tako, da se predvidijo že v zgodnjih fazah razvoja izdelka in procesa izdelave”*

*“Za pravočasno odkrivanje napak mora biti vzpostavljen sistem kakovosti. Vzroki za napake naj se sistematično odkrivajo in iste napake naj se ne pojavljajo več”.*



Slika 1.8.1: Prikaz odkrivanja napak že v zgodnjih fazah razvoja izdelka: krivulja **zelene** barve prikazuje **optimalno** načrtovanje izdelka, krivulja **rdeče** barve prikazuje **ne-optimalno** načrtovanje izdelka

## 1.8.2 Kakovost in zahteve

Splošno veljavne definicije za kakovost v bistvu ni. Obstaja pa nešteto definicij, katerim je skupno, da vključujejo besede kot so: dosegati, izpolnjevati, zahteve, zadovoljstvo, kupec itd.

Dve definiciji o kakovosti:

- Kakovost je dinamično stanje, povezano z izdelki, storitvami, ljudmi, procesi in okoljem, ki izpolnjujejo ali presegajo pričakovanja kupcev.
- Kakovost je skupek značilnosti in značilnih vrednosti izdelka ali storitve glede na njegove sposobnosti, da izpolnjuje predpisane in predpostavljene zahteve.

Razvoj izdelkov, pričakovanja kupcev in konkurenčnost med podjetji, so v zgodovini postavljali kakovost na različna prioriteta mesta.

Tabela 1.8.1: Zgodovinski pregled kakovosti in konkurenčnosti

Zgodovinski pregled kakovosti in konkurenčnosti					
1960	1970	1980	1990	2008	2017
Cena <b>Kakovost</b>	Cena <b>Kakovost</b> Rok	<b>Kakovost</b> Cena Rok	<b>Kakovost</b> Rok Cena	Rok <b>Kakovost</b> Cena Unikatnost	Cena / Rok <b>Kakovost</b> Unikatnost

Gornja tabela prikazuje, da se je k kakovosti izdelka najbolj stremelo v zadnjih desetletjih 20. stoletja. Da se v sedanjem času postavlja kakovost na »drugo« mesto je posledica tega, da štejemo kakovost že za nekaj samoumevnega. Kupec želi dobro kakovost izdelka s čim manjšimi stroški izdelave in v čim krajšem času.



### 1.8.2.1 Zahteve, kriteriji, standardi

Merila oz. kriteriji vplivov napak na nosilnost zvarnega spoja v današnjem času še vedno niso poenotena in so v veliki meri podvržena raznim tehničnim dejavnikom posameznega izdelka. Merila so ponekod odvisna tudi od gospodarskih, ponekod celo od političnih pogojev in okoliščin.

To dokazujejo primeri in prakse, ko se za gradnje in vzdrževanja nuklearnih elektrarn ali petrokemijskih rafinerij, navkljub nacionalnim normam in direktivam, na primer uporabljajo smernice in pravila *ASME norm*, ne glede na izbiro proizvajalca. V ladjedelništvu se največ uporabljajo *Lloyd's Register norme*. Ali pa na primer, ko moramo za prodajo nekaterih izdelkov (npr. tlačne posode) v Nemčijo, izpolnjevati zahteve, katere predpisujejo *TÜV norme*.

Če izdelujemo sklope in podslope za večje multinacionalne dobavitelje, moramo izpolnjevati njihove lastne specifikacije o doseganju kakovosti (npr. gradbena oprema, avtomobilska industrija, hidro oprema itd.).

V določeni meri je taka uporaba zahtev razumljiva, saj so se omenjene specifikacije pojavile mnogo prej, pred nastankom mednarodne standardizacije ISO.

Splošno sprejeto mišljenje, da so tehnične norme zasnovane izključno na podlagi znanstvenih spoznanj, lahko pripeljejo do napačnega zaključka. Norme, ki veljajo danes, so ali stvar dogovora ali pa sredstvo za ohranitev določene prednosti lastne tehnologije, kar velja predvsem za izdelke, ki se uporabljajo v posamezni državi.

V Evropski uniji poteka veliko aktivnosti, predvsem na področjih, ki se ukvarjajo z uveljavljanjem in uporabo enotnih norm/standardov. Vendar pa se države z močnimi gospodarstvi (Nemčija, Francija, VB, Skandinavske države) za določene izdelke še vedno raje poslužujejo svojih predpisov in jih celo zahtevajo od njihovih uvoznikov. Uporaba in razmišljanja o drugih pristopih se mnogokrat obrestujejo v novo idejo in s tem v nov razvoj izdelkov.

Na evropskem trgu za proizvodnjo in izdelavo večine varjenih izdelkov uporabljamo EN ISO standardizacijo oziroma dogovorjene kriterije ali kompromise, ki izpolnjujejo minimalne zahteve za sprejemljivost varjenega izdelka. Eden takih standardov je tudi standard EN ISO 5817 in vsi ostali namenski standardi, ki se v veliki meri nanašajo nanj.

Pri uporabi standardov, bodisi nacionalnih ali mednarodnih, ne gre za namero, da bi bil zvarni spoj slabši ali boljši, temveč gre za težnjo, da ima neka konstrukcija dovolj veliko trdnost in da so nepopolnosti, ki so prisotne v zvarnih spojih take, da je obratovanje konstrukcije varno skozi njeno življenjsko dobo.

### 1.8.2.2 NDT, NDI, NDE

Definicija neporušitvenega preizkušanja, ki jo podaja Ameriško združenje za neporušitvene preiskave - ASNT (American Society for Nondestructive Testing), se glasi:

*Nondestructive testing (NDT) is the process of inspecting, testing, or evaluating materials, components or assemblies for discontinuities, or differences in characteristics without destroying the serviceability of the part or system. In other words, when the inspection or test is completed the part can still be used.*

Prevod: neporušitveno preizkušanje je proces nadzora, preiskave ali ocenitve materialov, komponent ali sestavov na diskontinuitete ali razlike v lastnostih, brez porušitve uporabnosti elementa ali sistema. Z drugimi besedami, ko je pregled ali nadzor ali preizkušanje na preizkušancu zaključeno, se ta lahko dalje uporablja.

Pri uporabi NDT metod gre za delovanje NDT metod in tehnik, ki ne povzročajo nobene škode na objektu, ob njihovem pravilnem ravnanju (npr.: PT, MT: možna korozija). NDT predstavlja odlično orodje za zagotavljanje kakovosti in zagotavlja ravnotežje med učinkovitostjo kontrole in stroški, povezani s tem.

Za označbo NDT preiskav so včasih uporabljali tudi termin defektoskopija - gledati napako (defekt-napaka; skopija-gledati).

V vojaški in predvsem letalski industriji se uporablja izraz NDI - *Non Destructive Inspection*. Razlog za tako rabo je v tem, da se preizkušanja, pregledi ali nadzori, izvajajo med obratovanjem posameznega izdelka.

Uporablja se tudi izraz NDE - *Non Destructive Examination*, ki se najbolj uporablja pri gradnji in vzdrževanju jedrskih elektrarn in ki se ga ne sme zamenjevati z NDE - *Non Destructive Evaluation*.

Z razvojem obstoječih NDT metod, novih smeri v NDT-ju in kvalitativno (raziskovanje)-kvantitativnih (statistika) analiz se je pojavila še ena kratica NDE - *Non Destructive Evaluation*, katerih načela se največ uporablja v akademsko raziskovalnem prostoru. NDE v tem smislu predstavlja vrednotenje nepopolnosti za določitev velikosti, oblike, tipa, orientacije in lokacije posameznih nepopolnosti ter omogoča kontrolorju, da določi ali je nepopolnost napaka ali ne. Z uporabo načel NDE-ja se lahko določijo tudi lastnosti materiala, kot so lomna žilavost, geometrijska popolnost in ostale fizikalne karakteristike.

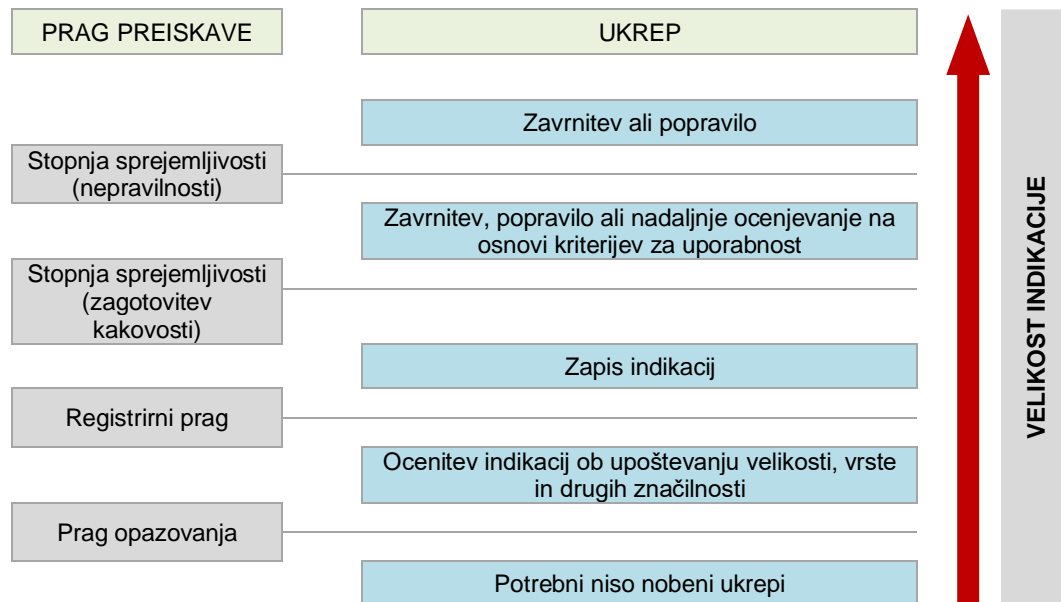
NDE se uporablja pri vseh "real-time" procesih NDT-ja za opazovanje proizvodnje in objektov, za periodična "in-service" opazovanja in spremljanje rasti napak z nalogo določiti zanesljivo in kontinuirano delovanje objekta.

Pogosto je izdelek enostavno predrag, da bi si lahko privoščili izvajanje porušitvenih preiskusov, k vedno večji uporabi NDT-ja in načel NDE-ja pa vodi tudi vedno večja odgovornost za okolje in varnost ljudi.

### 1.8.3 Definicije vrednotenja in vrste občutljivosti

Splošni standard za neporušitvena preizkušanja za kovinske materiale EN ISO 17635:2016 je nadomestil evropski standard EN 12062. Četudi se standarda EN 12062:1998/A2:2004 ne uporablja več, so bile v njem zapisane definicije, ki še vedno veljajo:

- Nivo preizkušanja:** to je merilo za popolnost in izbiro nastavitve parametrov, s katerimi se preizkusni postopek (NDT metoda in njena tehnika) uporablja. Različni nivoji preizkušanja so povezani z različnimi občutljivostmi stopnjami preizkusov in/ali možnostmi ugotavljanja (vrednotenje). Izbira nivoja preizkušanja je običajno odvisna od zahtev po kakovosti.
- Prag opazovanja:** to je meja preizkušanja, od katere je treba ocenjevati indikacije.
- Registrirni prag:** to je meja preizkušanja, od katere je potrebno indikacije zapisati.
- Stopnja sprejemljivosti (indikacij):** to je meja preizkušanja, pod katero so konstrukcijski deli sprejemljivi.



Slika 1.8.2: Prikaz poteka postopka za vrednotenje indikacij

Ostale definicije:

- Indikacija:** prikaz ali signal nepravilnosti v obliki, ki jo omogoča uporabljeni postopek neporušitvene preiskave.
- Notranje nepravilnosti:** to so nepravilnosti, ki na površino niso odprte ali niso direktno dostopne.

- Stopnja sprejemljivosti (nepravilnosti): fiksne oz. nesprejemljive mejne vrednosti nepravilnosti, ustrezajoče pričakovani kakovosti zvara. Mejne vrednosti se določajo glede na vrsto nepravilnosti, njeno velikost in njene dejanske dimenzije.

### 1.8.3.1 Vrste občutljivosti

Zanesljivost neporušitvenih preiskav je določena šele po definiranju občutljivosti metode preiskav, verjetnosti odkrivanja nepravilnosti in verjetnosti razlage rezultatov preizkušanja.

Občutljivost je določena z najmanjšo nepravilnostjo, ki jo z določeno metodo lahko še odkrijemo. Obstaja več vrst občutljivosti:

- Občutljivost metode.
- Pogojna občutljivost sistema.
- Mejna občutljivost.
- Delovna občutljivost.
- Ekvivalentna občutljivost.

#### Občutljivost metode:

Določena je z najmanjšo nepravilnostjo, ki jo je mogoče z določeno metodo preiskave še ugotoviti ali izmeriti. Tako je na primer za preiskavo s tekočimi barvnimi penetranti možno odkriti razpoko širine  $> 0,1 \mu\text{m}$ , globine  $1 \mu\text{m}$  in dolžine  $> 1 \text{mm}$ .

#### Pogojna občutljivost:

Določa občutljivost sistema za preiskavo. Določena je s parametri referenčnih nepravilnosti, ki so izdelane na vzorcih ali etalonih. Pogojna občutljivost je vedno manjša ali enaka od občutljivosti izbrane metode preiskave.

#### Mejna občutljivost:

Mejno občutljivost določa pogoj, ki mora biti izpolnjen, da bi obstajala dovolj velika rezerva občutljivosti za doseg zahtevane občutljivosti.

#### Delovna občutljivost:

Delovna občutljivost je prisotna med potekom preiskave. Največkrat je manjša od pogojne ali ekvivalentne. Odvisna je od izbire občutljivosti za preiskavo in od pogojev preiskave. Zato jo je potrebno med preiskavo večkrat preverjati.

#### Ekvivalentna občutljivost:

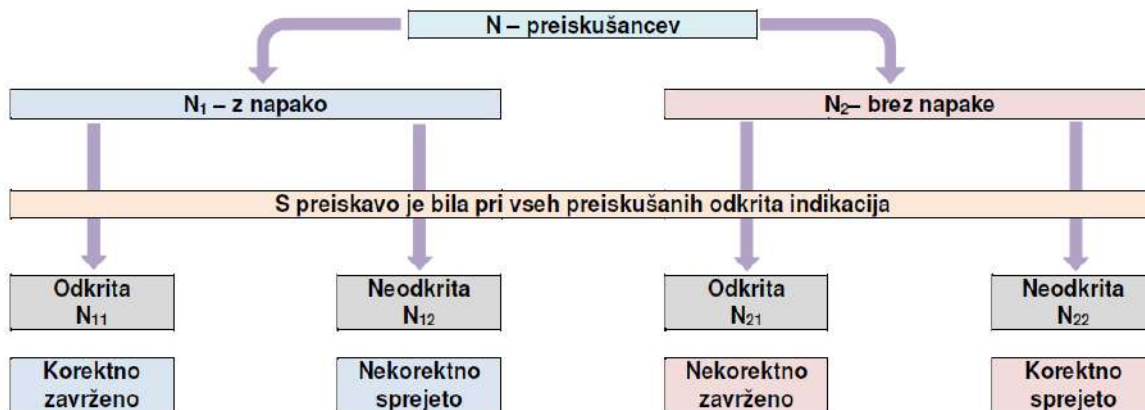
Ekvivalentna občutljivost je mera občutljivosti sistema za realne nepravilnosti v osnovnem materialu ali v standardnem etalonu, kadar se ne more izdelati ustrezen referenčni vzorec z referenčnimi nepravilnosti, definiranimi z velikostjo nespremenljivih nepravilnosti.

Preiskave brez porušitve imajo lahko štiri izhode, ki so odvisni od vplivnih faktorjev. Kadar izberemo visoko občutljivost preiskovalnega sistema in uporabljene metode, je možno pričakovati visoko verjetnost odkrivanja nepravilnosti v velikosti napake.

Nasprotni učinek visoke občutljivosti je otežena razlaga rezultatov. Tako lahko na primer da visoka občutljivost pri ultrazvočni preiskavi množico signalov odmeva iz materiala, ki v večini primerov niso rezultat obstoječe nepravilnosti, temveč odmevov od raznih vogalov, robov ali izvrtin znotraj preiskovanca. Tako dobimo lažne indikacije.

Lažna indikacija je vsaka indikacija, ki prikazuje prisotnost nepravilnosti, vendar njen vzrok ni dejanska nepravilnost. Lažne indikacije se morajo predvideti že pri pripravi postopka preiskave, da ne bi pri obdelavi odkritih indikacij prišlo do zmede in bi lažno indikacijo razglasili za napako, ki bi povzročila izmet izdelka.

Štirje izhodi pri neporušitvenih preiskavah se lahko pregledno prikažejo in analizirajo, če si zamislimo skupino N preizkušancev, pri čemer je dosežen rezultat preiskave kot je prikazano v naslednji shemi.



Slika 1.8.3: Prikaz analize izhodov signalov indikacij z uporabo NDT metode

Drugi in tretji izhod peljeta k napačnemu zaključku. Prisotno indikacijo vzamemo za sprejemljivo (predmet ocenimo kot pozitivnega) ali prisotno indikacijo vzamemo kot nesprejemljivo (predmet ocenimo kot negativnega in ga zavržemo).

Z povečanjem občutljivosti in povečanjem obsega kontrole se lahko opazno poveča nepotreben izmet.

Konstrukcije, ki z eventualno porušitvijo, lahko povzročijo velike nevarnosti za materialne dobrine ali človeška življenja, kot so na primer nuklearne elektrarne, petrokemijske naprave, letala ali podobno, spadajo v vrsto, ko se zavestno sprejme povečanje izmeta zaradi zgrešenega izmeta, ampak s tem se nam tudi zmanjša tveganje zaradi neodkritih napak.

Verjetnost odkrivanja in razlage indikacije so tako v veliki meri določene že pred pričetkom same NDT preiskave.

Zato se lahko pojavijo naslednji vprašanji:

- V kolikšni meri postopek NDT preiskave zagotavlja, da bo nepravilnost določene velikosti odkrita?
- Katera največja nepravilnost lahko ostane neodkrita, kljub občutljivosti, ki omogoča odkrivanje nepravilnosti manjših velikosti?

Odgovora na postavljeni vprašanji narekujeja tehnologija preiskave in s tem zanesljivost rezultatov preiskave.

Napako lahko potrdimo kot odkrito, ko so potrjeni tisti parametri nepravilnosti, ki so bili potrebni in potrjeni s predpisano NDT metodo preiskave.

**Parametri napake so naslednji:**

- Položaj.
- Velikost.
- Usmerjenost.
- Pogostnost ali številčnost.

Vsak od navedenih parametrov ima lahko več dimenzij. Položaj je na splošno določen s tremi dimenzijami. Velikost je prav tako določena s tremi dimenzijami, to so:

- dolžina,
- širina in
- globina.

## 1.8.4 Ocenjevanje, evaluacija

**1.8.4.1 EN ISO 5817:2014:** Talični zvarni spoji na jeklu, niklju, titanu in njihovih zlitinah (varjenje s snopom izključeno) – Stopnje sprejemljivosti nepravilnosti (**vizualna preizkušanja – VT**).

Ta mednarodni standard vsebuje stopnje sprejemljivosti za nepravilnosti na talilnih zvarnih spojih na jeklu, niklju, titanu in njihovih zlitinah. Velja za debeline varjencev, večje od 0,5 mm.

Poglavitni poudarki standarda:

- Stopnje sprejemljivosti so določene s črkami B, C in D.
- Stopnja sprejemljivosti B pomeni najvišje zahteve za zvar.
- Stopnje sprejemljivosti se nanašajo na kakovost izdelave in ne na uporabnost.

Ta mednarodni standard velja za:

- nelegirana in legirana jekla,
- nikelj in nikljeve zlitine,
- titan in titanove zlitine,
- ročno, mehanizirano in avtomatsko varjenje,
- vse lege varjenja,
- vse vrste zvarov.

Velja za naslednje načine varjenja:

- 11 – 111 – ročno obločno,
- 12 – 121 – EPP,
- 13 – 131 – MIG, 135 – MAG,
- 14 – 141 – TIG,
- 15 – 151 – Plasma,
- 31 – 311 – plamensko kisik – acetilen,  
312 – plamensko kisik – propan,  
313 – plamensko kisik – vodik,

Definicije za **kratke nepravilnosti**:

- **Kratke nepravilnosti** (zvar dolg 100 mm **ali več**): to so nepravilnosti, katerih skupna dolžina ni večja od 25 mm na 100 mm dolžine zvara, ki vsebuje največje število nepravilnosti.
- **Kratke nepravilnosti** (zvar dolg **manj od 100 mm**): to so nepravilnosti, katerih skupna dolžina ni večja od 25% dolžine zvara.

Uporabljeni simboli v Tabeli 1

- a – nazivna debelina kotnega zvara,
- b – širina temena zvara,
- d – premer pore,
- h – višina ali širina nepravilnosti,
- l – dolžina nepravilnosti v vzdolžni smeri zvara,
- lp – dolžina projicirane površine ali površine prečnega prereza,
- s – nazivna debelina/uvarjanje sočelnega zvara
- t – debelina cevne stene ali pločevine
  
- wp – širina zvara ali širina prelomne površine
- z – dolžina kraka kotnega zvara,
- $\alpha$  – kot prehoda zvara,
- $\beta$  – kot zamika med varjenci.



## Izseki iz standarda SIST EN ISO 5817:2014:

Tabela 1 – Meje za nepravilnosti


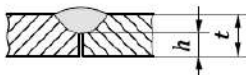
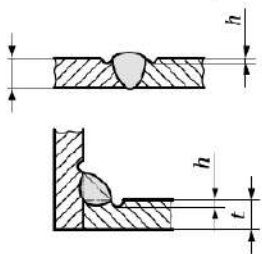
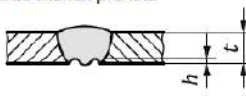
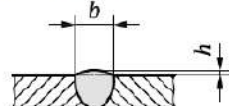
St.	Po ISO 6520-1	Nepravilnost (pomenovanje)	Opombe	$t$ [mm]	Meje za nepravilnosti za stopnje sprejemljivosti		
					D	C	B
<b>1 - Površinske nepravilnosti</b>							
1.1	100	Razpoka	-	$\geq 0,5$	Ni dopustno	Ni dopustno	Ni dopustno
1.2	104	Razpoka v žrelcu	-	$\geq 0,5$	Ni dopustno	Ni dopustno	Ni dopustno
1.3	2017	Površinska pora - sočelne zware - kotne zware	Maks. izmere posamezne pore pri - sočelnih zvarih - kotnih zvarih	0,5 do 3	$d \leq 0,3s$ $d \leq 0,3a$	Ni dopustno	Ni dopustno
				$> 3$	$d \leq 0,3s$ toda maks. 3 mm $d \leq 0,3a$ toda maks. 3 mm	$d \leq 0,2s$ toda maks. 2 mm $d \leq 0,2a$ toda maks. 2 mm	Ni dopustno
1.4	2025	Čevasta votlina v žrelcu		0,5 do 3	$h \leq 0,2t$	Ni dopustno	Ni dopustno
				$> 3$	$h \leq 0,2t$ toda maks. 2 mm	$h \leq 0,1t$ toda maks. 1 mm	Ni dopustno
1.5	401	Zlep (pomanjkljiva spojitev)	-	$\geq 0,5$	Ni dopustno	Ni dopustno	Ni dopustno
		Mikro zlep	Dokazati samo z mikroskopsko preiskavo		Dopustno	Dopustno	Ni dopustno
1.6	4021	Slaba prevaritev v korenu	Samo za enostransko varjene sočelne zware 	$\geq 0,5$	Kratka nepravilnost: $h \leq 0,2t$ toda maks. 2 mm	Ni dopustno	Ni dopustno

Tabela 1 – Meje za nepravilnosti (nadaljevanje)

St.	Po ISO 6520-1	Nepravilnost (pomenovanje)	Opombe	$t$ [mm]	Meje za nepravilnosti za stopnje sprejemljivosti		
					D	C	B
1.7	5011 5012	Neprekinjena zajeda Prekinjena zajeda	Zahteva se mehak prehod. Ne smatra za sistematično nepravilnost. 	0,5 do 3	Kratka nepravilnost $h \leq 0,2t$	Kratka nepravilnost $h \leq 0,1t$	Ni dopustno
				$> 3$	$h \leq 0,2t$ toda maks. 1 mm	$h \leq 0,1t$ toda maks. 0,5 mm	$h \leq 0,05t$ toda maks. 0,5 mm
1.8	5013	Zajeda v korenu	Zahteva se mehak prehod. 	0,5 do 3	$h \leq 0,2\text{mm} + 0,1t$	Kratka nepravilnost $h \leq 0,1t$	Ni dopustno
				$> 3$	Kratka nepravilnost: $h \leq 0,2t$ toda maks. 2 mm	Kratka nepravilnost: $h \leq 0,1t$ toda maks. 1 mm	Kratka nepravilnost: $h \leq 0,05t$ toda maks. 0,5 mm
1.9	502	Čezmerna izboklina zvara; čezmerna višina temena (sočelni zvar)	Zahteva se mehak prehod. 	$\geq 0,5$	$h \leq 1\text{mm} + 0,25b$ toda maks. 10 mm	$h \leq 1\text{mm} + 0,15b$ toda maks. 7 mm	$h \leq 1\text{mm} + 0,1b$ toda maks. 5 mm

## Izseki iz standarda SIST EN ISO 5817:2014:

Tabela 1 – Meje za nepravilnosti (nadaljevanje)

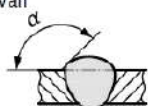
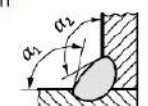
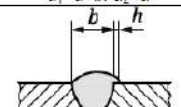

St.	Po ISO 6520-1	Nepravilnost (poimenovanje)	Opombe	t [mm]	Meje za nepravilnosti za stopnje sprejemljivosti		
					D	C	B
1.12	505	Nepravilen prehod tomona	- sočelni zvari 	≥ 0,5	$\alpha \geq 90^\circ$	$\alpha \geq 110^\circ$	$\alpha \geq 150^\circ$
			- kotni zvari  $\alpha_1 \geq \alpha$ in $\alpha_2 \geq \alpha$	≥ 0,5	$\alpha \geq 90^\circ$	$\alpha \geq 100^\circ$	$\alpha \geq 110^\circ$
1.13	506	Prelitje; prelitni var		≥ 0,5	Kratka nepravilnost: $h \leq 0,2b$	Ni dopustno	Ni dopustno
1.14	509	Povešanje	Zahteva se mehak prehod.	0,5 do 3	Kratka nepravilnost: $h \leq 0,25t$	Kratka nepravilnost: $h \leq 0,1t$	Ni dopustno
	511	Nezadostno zapolnjen zvarni žleb		≥ 3	Kratka nepravilnost: $h \leq 0,25t$ toda maks. 2 mm	Kratka nepravilnost: $h \leq 0,1t$ toda maks. 1 mm	Kratka nepravilnost: $h \leq 0,05t$ toda maks. 0,5 mm
1.15	510	Pregor	-	≥ 0,5	Ni dopustno	Ni dopustno	Ni dopustno

Tabela 1 – Meje za nepravilnosti (nadaljevanje)

St.	Po ISO 6520-1	Nepravilnost (poimenovanje)	Opombe	t [mm]	Meje za nepravilnosti za stopnje sprejemljivosti		
					D	C	B
<b>2 - Notranje nepravilnosti</b>							
2.1	100	Razpoka	Vse vrste razpok razen mikro razpok in razpok v žrelcu	≥ 0,5	Ni dopustno	Ni dopustno	Ni dopustno
2.2	1001	Mikro razpoka	Razpoka, običajno vidna le pod mikroskopom (50x)	≥ 0,5	Dopustno	Dopustnost je odvisna od vrste osnovnega materiala in predvsem nagnjenosti k razpokam	
2.3	2011 2012	Plinska pora Enakomerno porazdeljena poroznost	Izpolnjeni morajo biti naslednji pogoji in mejne vrednosti za nepravilnosti; za informacije glej tudi Dodatek A:				
			a1) Maks. izmere površine nepravilnosti (vključno sistematična nepravilnost), nanašajoče se na projicirano površino	≥ 0,5	enoslojno: ≤ 2,5% večslojno: ≤ 5%	enoslojno: ≤ 1,5% večslojno: ≤ 3%	enoslojno: ≤ 1% večslojno: ≤ 2%
			OPOMBA: Poroznost na površini slike je odvisna od števila slojev (volumen zvara)				
a2) Maks. izmere nepravilnosti na površini prečnega prereza (vključno sistematična nepravilnost), nanašajoče se na prelomno površino (samo za testne vzorce: v proizvodnji, uporabljivo pri atestiranju varilcev, postopkov)	≥ 0,5	≤ 2,5%	≤ 1,5%	≤ 1%			
b) Maks. izmere posamezne pore pri	≥ 0,5						
- sočelnih zvarih		$d \leq 0,4s$ toda maks. 5 mm	$d \leq 0,3s$ toda maks. 4 mm	$d \leq 0,2s$ toda maks. 3 mm			
- kotnih zvarih		$d \leq 0,4a$ toda maks. 5 mm	$d \leq 0,3a$ toda maks. 4 mm	$d \leq 0,2a$ toda maks. 3 mm			

## Izseki iz standarda SIST EN ISO 5817:2014:

Tabela 1 – Meje za nepravilnosti (nadaljevanje)

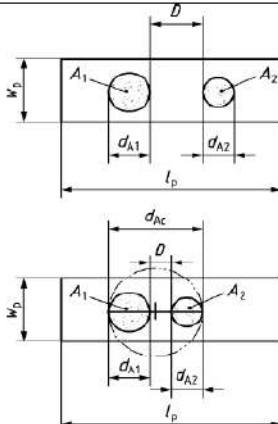
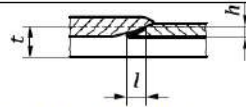
St.	Po ISO 6520-1	Nepravilnost (poimenovanje)	Opombe	t [mm]	Meje za nepravilnosti za stopnje sprejemljivosti		
					D	C	B
2.4	2013	Gnezdo por	 <p>Referenčna dolžina za <math>l_p</math> je 100 mm.          Celotno področje plinskih por znotraj gnezda predstavlja krog premera <math>d_A</math>, ki zajema vse pore.          Zahteva za posamezno plinsko poro mora biti zadoščena za vse pore znotraj tega kroga.          Dovoljen področje poroznosti mora biti lokalno. Potrebno se je zavedati dejstva, da gnezdo por lahko skriva lahko zakrije druge nepravilnosti.          Kadar je <math>D</math> manjši od <math>d_{A1}</math> ali <math>d_{A2}</math>, pri čemer je merodajen manjši premer, je površina plinske pore enaka krogu premera <math>d_{AC}</math> (<math>d_{AC} = d_{A1} + d_{A2} + D</math>).          Sistemska gnezda por niso dovoljena.  <math>d_A</math> se nanaša na <math>d_{A1}</math>, <math>d_{A2}</math> ali <math>d_{AC}</math> odvisno katera velikost se uporablja.</p>		$d_A \leq 25\text{mm}$ ali $d_{A,max} \leq w_p$	$d_A \leq 20\text{mm}$ ali $d_{A,max} \leq w_p$	$d_A \leq 15\text{mm}$ ali $d_{A,max} \leq w_p/2$

Tabela 1 – Meje za nepravilnosti (nadaljevanje)

St.	Po ISO 6520-1	Nepravilnost (poimenovanje)	Opombe	t [mm]	Meje za nepravilnosti za stopnje sprejemljivosti		
					D	C	B
2.6	2015 2016	Podolgovata votlina, črvasta pora	- sočelni zvari	$\geq 0,5$	$h \leq 0,4s$ toda maks. 4 mm $l \leq s$ toda maks. 75 mm	$h \leq 0,3s$ toda maks. 3 mm $l \leq s$ toda maks. 50 mm	$h \leq 0,2s$ toda maks. 2 mm $l \leq s$ toda maks. 25 mm
			- kotni zvari	$\geq 0,5$	$h \leq 0,4s$ toda maks. 4 mm $l \leq s$ toda maks. 75 mm	$h \leq 0,3s$ toda maks. 3 mm $l \leq s$ toda maks. 50 mm	$h \leq 0,2s$ toda maks. 2 mm $l \leq s$ toda maks. 25 mm
2.7	202	Votlina zaradi krčenja	-	$\geq 0,5$	Dopustna kratka nepravilnost, toda ne do površine: - sočelni zvari: $h \leq 0,4s$ toda maks. 4 mm - kotni zvari: $h \leq 0,4a$ toda maks. 4 mm	Ni dopustno	Ni dopustno
2.8	2024	Čevasta votlina v žrelcu	 <p>Izmerimo večjo od dimenzij <math>h</math> ali <math>l</math>.</p>	0,5 do 3	$h$ ali $l \leq 0,2t$	Ni dopustno	Ni dopustno
				$> 3$	$h$ ali $l \leq 0,2t$ toda maks. 2 mm		



## Izseki iz standarda SIST EN ISO 5817:2014:

Tabela 1 – Meje za nepravilnosti (nadaljevanje)

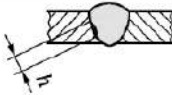
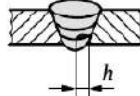
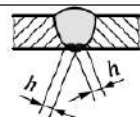
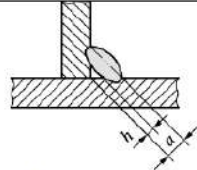
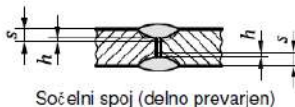
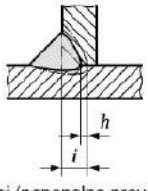
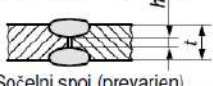
St.	Po ISO 6520-1	Nepravilnost (poimenovanje)	Opombe	t [mm]	Meje za nepravilnosti za stopnje sprejemljivosti			
					D	C	B	
2.9	300 301 302 303	Trdni vključek Vključek zlinde Vključek talila Oksidni vključek	- Sočelni zvari	≥ 0,5	$h \leq 0,4s$ toda maks. 4 mm $l \leq s$ toda maks. 75 mm	$h \leq 0,3s$ toda maks. 3 mm $l \leq s$ toda maks. 50 mm	$h \leq 0,2s$ , toda maks. 2 mm $l \leq s$ , toda maks. 25 mm	
			- Kotni zvari	≥ 0,5	$h \leq 0,4s$ toda maks. 4 mm $l \leq s$ toda maks. 75 mm	$h \leq 0,3s$ toda maks. 3 mm $l \leq s$ toda maks. 50 mm	$h \leq 0,2s$ toda maks. 2 mm $l \leq s$ toda maks. 25 mm	
2.10	304	Kovinski vključek razen bakra	- Sočelni zvari	≥ 0,5	$h \leq 0,4s$ toda maks. 4 mm	$h \leq 0,3s$ toda maks. 3 mm	$h \leq 0,2s$ toda maks. 2 mm	
			- Kotni zvari	≥ 0,5	$h \leq 0,4a$ toda maks. 4 mm	$h \leq 0,3a$ toda maks. 3 mm	$h \leq 0,2a$ toda maks. 2 mm	
2.11	3042	Vključek bakra	-	≥ 0,5	Ni dopustno	Ni dopustno	Ni dopustno	
2.12	401	Zlep (pomanjkljiva spojitve)		≥ 0,5	Dopustna kratka nepravilnost:  - sočelni zvari: $h \leq 0,4s$ toda maks. 4 mm  - kotni zvari: $h \leq 0,4a$ toda maks. 4 mm	Ni dopustno	Ni dopustno	
	4011	- na zvarnem robu						
	4012	- med varki						
	4013	- v korenu						

Tabela 1 – Meje za nepravilnosti (nadaljevanje)

St.	Po ISO 6520-1	Nepravilnost (poimenovanje)	Opombe	t [mm]	Meje za nepravilnosti za stopnje sprejemljivosti		
					D	C	B
2.13	402	Slaba prevaritev	 T spoj (kotni zvar)	≥ 0,5	Kratka nepravilnost: $h \leq 0,2a$ toda maks. 2 mm	Ni dopustno	Ni dopustno
			 Sočelni spoj (delno prevarjen)	≥ 0,5	Kratka nepravilnost: - sočelni spoj: $h \leq 0,2s$ toda maks. 2 mm	Kratka nepravilnost: - sočelni spoj: $h \leq 0,1s$ , toda maks. 1,5 mm - T spoj: $h \leq 0,1a$ , toda maks. 1,5 mm	Ni dopustno
			 T spoj (nepopolno prevarjen)	≥ 0,5	Kratka nepravilnost: $h \leq 0,2s$ toda maks. 2 mm		
 Sočelni spoj (prevarjen)	≥ 0,5	Kratka nepravilnost: $h \leq 0,2s$ toda maks. 2 mm	Ni dopustno	Ni dopustno			

**1.8.4.2 EN ISO 10675-1:2017:** Neporušitveno preskušanje zvarov - Stopnje sprejemljivosti pri **radiografiji (RT)** - 1. del: Jeklo, nikelj, titan in njihove zlitine (ISO 10675-1:2016):

**Izseki iz standarda SIST EN ISO 10675-1:2017:**

**Table 2 — Acceptance levels for internal indications in butt welds**

No.	Type of internal imperfections in accordance with ISO 6520-1	Acceptance level 3 <sup>a</sup>	Acceptance level 2 <sup>a</sup>	Acceptance level 1
1	Cracks (100)	Not permitted	Not permitted	Not permitted
2a	Porosity and gas pores (2012, 2011) Single layer	$A \leq 2,5 \%$ $d \leq 0,4s$ , max. 5 mm $L = 100$ mm	$A \leq 1,5 \%$ $d \leq 0,3s$ , max. 4 mm $L = 100$ mm	$A \leq 1 \%$ $d \leq 0,2s$ , max. 3 mm $L = 100$ mm
2b	Porosity and gas pores (2012, 2011) Multilayer	$A \leq 5 \%$ $d \leq 0,4s$ , max. 5 mm $L = 100$ mm	$A \leq 3 \%$ $d \leq 0,3s$ , max. 4 mm $L = 100$ mm	$A \leq 2 \%$ $d \leq 0,2s$ , max. 3 mm $L = 100$ mm
3 <sup>b</sup>	Clustered (localized) porosity (2013)	$d_A \leq w_p$ , max. 25 mm $L = 100$ mm	$d_A \leq w_p$ , max. 20 mm $L = 100$ mm	$d_A \leq w_p/2$ , max. 15 mm $L = 100$ mm
4	Linear porosity (2014)	$l \leq s$ , max. 75 mm $d \leq 0,4s$ , max. 4 mm $L = 100$ mm	$l \leq s$ , max. 50 mm $d \leq 0,3s$ , max. 3 mm $L = 100$ mm	$l \leq s$ , max. 25 mm $d \leq 0,2s$ , max. 2 mm $L = 100$ mm
5 <sup>d</sup>	Elongated cavities (2015) and wormholes (2016)	$h < 0,4s$ , max. 4 mm $\Sigma l \leq s$ , max. 75 mm $L = 100$ mm	$h < 0,3s$ , max. 3 mm $\Sigma l \leq s$ , max. 50 mm $L = 100$ mm	$h < 0,2s$ , max. 2 mm $\Sigma l \leq s$ , max. 25 mm $L = 100$ mm
6 <sup>e</sup>	Shrinkage cavity (202) (other than crater pipes)	$h < 0,4s$ , max. 4 mm $l \leq 25$ mm	Not permitted	Not permitted
7	Crater pipe (2024)	$h \leq 0,2t$ , max. 2 mm $l \leq 0,2t$ , max. 2 mm	Not permitted	Not permitted
8 <sup>d</sup>	Slag inclusions (301), flux inclusions (302) and oxide inclusions (303)	$h < 0,4s$ , max. 4 mm $\Sigma l \leq s$ , max. 75 mm $L = 100$ mm	$h < 0,3s$ , max. 3 mm $\Sigma l \leq s$ , max. 50 mm $L = 100$ mm	$h < 0,2s$ , max. 2 mm $\Sigma l \leq s$ , max. 25 mm $L = 100$ mm
9	Metallic inclusions (304) (other than copper)	$l \leq 0,4s$ , max. 4 mm	$l \leq 0,3s$ , max. 3 mm	$l \leq 0,2s$ , max. 2 mm
10	Copper inclusions (3042)	Not permitted	Not permitted	Not permitted
11 <sup>e</sup>	Lack of fusion (401)	Permitted, but only intermittently and not breaking the surface $\Sigma l \leq 25$ mm, $L = 100$ mm	Not permitted	Not permitted
12 <sup>e</sup>	Lack of penetration (402)	$\Sigma l \leq 25$ mm, $L = 100$ mm	Not permitted	Not permitted

<sup>a</sup> Acceptance levels 3 and 2 may be specified with suffix X, which denotes that all indications over 25 mm are unacceptable.

<sup>b</sup> See [Figure C.1](#) and [Figure C.2](#) (normative).

<sup>c</sup> See [Figure C.3](#) and [Figure C.4](#) (normative).

<sup>d</sup> See [Figure C.5](#) and [Figure C.6](#) (normative).

<sup>e</sup> If the length of the weld is below 100 mm, then the maximum length of indications shall not exceed 25 % of that weld.



## Izseki iz standarda SIST EN ISO 10675-1:2017:

Table 3 — Surface imperfections

No.	Type of surface imperfections in accordance with ISO 6520-1	Acceptance level 3 <sup>a</sup>	Acceptance level 2 <sup>a</sup>	Acceptance level 1
13	Crater cracks (104)	Not permitted	Not permitted	Not permitted
14a	Undercut, continues and intermittent (5011,5012) $t > 3$ mm	Smooth transition is required $h \leq 0,2t$ , max. 1 mm	Smooth transition is required $h \leq 0,1t$ , max. 0,5 mm	Smooth transition is required $h \leq 0,05t$ , max. 0,5 mm
14b	Undercut, continues and intermittent (5011,5012) $0,5$ mm $\leq t \leq 3$ mm	Smooth transition is required $l \leq 25$ mm, $h \leq 0,2t$	Smooth transition is required $l \leq 25$ mm, $h \leq 0,1t$	Smooth transition is required Not permitted
15a	Shrinkage groove (root undercut 5013) $t > 3$ mm	Smooth transition is required $l \leq 25$ mm, $h \leq 0,2t$ , max. 2 mm	Smooth transition is required $l \leq 25$ mm, $h \leq 0,1t$ , max. 1 mm	Smooth transition is required $l \leq 25$ mm, $h \leq 0,05t$ , max. 0,5 mm
15b	Shrinkage groove (root undercut 5013) $0,5$ mm $\leq t \leq 3$ mm	Smooth transition is required $h \leq 0,2$ mm + $0,1t$	Smooth transition is required $l \leq 25$ mm, $h \leq 0,1t$	Smooth transition required Not permitted
16a	Excess penetration (504) $0,5$ mm $\leq t \leq 3$ mm	$h \leq 1$ mm + $0,6b$	$h \leq 1$ mm + $0,3b$	$h \leq 1$ mm + $0,1b$
16b	Excess penetration (504) $t > 3$ mm	$h \leq 1$ mm + $1,0b$ , max. 5 mm	$h \leq 1$ mm + $0,6b$ , max. 4 mm	$h \leq 1$ mm + $0,2b$ , max. 3 mm
17	Stray arc (601)	Permitted, if the properties of the parent metal are not affected.	Not permitted	Not permitted
18	Spatter (602)	Acceptance depends on application, e.g. material, corrosion protection.		
19a	Root concavity (515) $0,5$ mm $\leq s \leq 3$ mm	$h \leq 0,2$ mm + $0,1t$	$l \leq 25$ mm, $h \leq 0,1t$	Not permitted
19b	Root concavity (515) $s > 3$ mm	$l \leq 25$ mm, $h \leq 0,2t$ , max. 2 mm	$l \leq 25$ mm, $h \leq 0,1t$ , max. 1 mm	$l \leq 25$ mm, $h \leq 0,05t$ , max. 0,5 mm
20	Poor restart (517) $s \geq 0,5$ mm	Permitted, The limit depends on the type of imperfection (see ISO 5817).	Not permitted	Not permitted
21a	Sagging (509) Incompletely filled groove (511) $0,5$ mm $\leq s \leq 3$ mm	$l \leq 25$ mm, $h \leq 0,25t$	$l \leq 25$ mm, $h \leq 0,1t$	Not permitted
21b	Sagging (509) Incompletely filled groove (511) $s > 3$ mm	$L \leq 25$ mm, $h \leq 0,25t$ , max. 2 mm	$l \leq 25$ mm, $h \leq 0,1t$ , max. 1 mm	$l \leq 25$ mm, $h \leq 0,05t$ , max. 0,5 mm
22a	Linear misalignment (507) $0,5$ mm $\leq s \leq 3$ mm	$h \leq 0,2$ mm + $0,25t$	$h \leq 0,2$ mm + $0,15t$	$h \leq 0,2$ mm + $0,1t$
22b	Linear misalignment, longitudinal welds (507) $s > 3$ mm	$h \leq 0,25t$ , max. 5 mm	$h \leq 0,15t$ , max. 4 mm	$h \leq 0,1t$ , max. 3 mm
22c	Linear misalignment, circumferential welds (507) $s \geq 0,5$ mm	$h \leq 0,5 t$ , max. 4 mm	$h \leq 0,5 t$ , max. 3 mm	$h \leq 0,5 t$ , max. 2 mm

NOTE The acceptance levels are those defined for visual testing. These defects are normally evaluated by visual testing.

<sup>a</sup> Acceptance levels 3 and 2 may be specified with suffix X, which denotes that all indications over 25 mm are unacceptable.

**1.8.4.3 EN ISO 23277:2015** Neporušitvene preiskave zvarnih spojev - Preiskave zvarnih spojev s **penetranti (PT)** - Stopnje sprejemljivosti (ISO 23277:2015).

**Table 1 — Acceptance levels for indications**

Dimensions in millimetres

Type of indication	Acceptance level <sup>a</sup>		
	1	2	3
Linear indication <i>l</i> = length of indication	$l \leq 2$	$l \leq 4$	$l \leq 8$
Nonlinear indication <i>d</i> = major axis dimension	$d \leq 4$	$d \leq 6$	$d \leq 8$

<sup>a</sup> Acceptance levels 2 and 3 can be specified with a suffix, "X", which denotes that all linear indications detected shall be evaluated to level 1. However, the probability of detection of indications smaller than those denoted by the original acceptance level can be low.

**1.8.4.4 EN ISO 23278:2015:** Neporušitvene preiskave zvarnih spojev - Preiskave zvarnih spojev z **magnetnimi delci (MT)** - Stopnje sprejemljivosti (ISO 23278:2015).

**Table 1 — Acceptance levels for indications from imperfections**

Dimensions in millimetres

Type of indication	Acceptance level <sup>a</sup>		
	1	2	3
Linear indication <i>l</i> = length of indication	$l \leq 1,5$	$l \leq 3$	$l \leq 6$
Non-linear indication <i>d</i> = major axis dimension	$d \leq 2$	$d \leq 3$	$d \leq 4$

<sup>a</sup> Acceptance levels 2 and 3 may be specified with a suffix "X", which denotes that all linear indications detected shall be assessed to level 1. However, the probability of detection of indications smaller than those denoted by the original acceptance level can be low.

**8.1.4.5 SIST EN ISO 11666:2018:** Neporušitveno preskušanje zvarnih spojev - **Ultrazvočno preskušanje (UT)**  
- Stopnje sprejemljivosti (ISO 11666:2010).

**Table A.1 — Acceptance levels 2 (AL 2) and 3 (AL 3) for techniques 1, 2, 3 and 4**

Technique (according to ISO 17640)	Evaluation level		Acceptance level 2 (AL 2)		Acceptance level 3 (AL 3)	
	for AL 2	for AL 3	8 mm ≤ t < 15 mm	15 mm ≤ t < 100 mm	8 mm ≤ t < 15 mm	15 mm ≤ t < 100 mm
1 (side-drilled holes)	$H_0 - 14$ dB	$H_0 - 10$ dB	For $l \leq t$ : $H_0 - 4$ dB For $l > t$ : $H_0 - 10$ dB	For $l \leq 0,5 t$ : $H_0$ For $0,5 t < l \leq t$ : $H_0 - 6$ dB For $l > t$ : $H_0 - 10$ dB	For $l \leq t$ : $H_0$ For $l > t$ : $H_0 - 6$ dB	For $l \leq 0,5 t$ : $H_0 + 4$ dB For $0,5 t < l \leq t$ : $H_0 - 2$ dB For $l > t$ : $H_0 - 6$ dB
2 [flat-bot- tomed holes (disk-shaped reflectors)]	$H_0 - 8$ dB in accordance with Table A.2 or A.3	$H_0 - 4$ dB in accordance with Table A.2 or A.3	For $l \leq t$ : $H_0 + 2$ dB For $l > t$ : $H_0 - 4$ dB	For $l \leq 0,5 t$ : $H_0 + 6$ dB For $0,5 t < l \leq t$ : $H_0$ For $l > t$ : $H_0 - 4$ dB	For $l \leq t$ : $H_0 + 6$ dB For $l > t$ : $H_0$	For $l \leq 0,5 t$ : $H_0 + 10$ dB For $0,5 t < l \leq t$ : $H_0 + 4$ dB For $l > t$ : $H_0$
3 (rectangular notch)	$H_0 - 14$ dB	$H_0 - 10$ dB	For $l \leq t$ : $H_0 - 4$ dB For $l > t$ : $H_0 - 10$ dB	—	For $l \leq t$ : $H_0$ For $l > t$ : $H_0 - 6$ dB	—
4 (tandem technique)	$H_0 - 22$ dB	$H_0 - 18$ dB	—	For $l \leq 0,5 t$ : $H_0 - 8$ dB For $0,5 t < l \leq t$ : $H_0 - 14$ dB For $l > t$ : $H_0 - 18$ dB	—	For $l \leq 0,5 t$ : $H_0 - 4$ dB For $0,5 t < l \leq t$ : $H_0 - 10$ dB For $l > t$ : $H_0 - 14$ dB
NOTE 1 Recording levels are 4 dB below the corresponding acceptance levels.						
NOTE 2 $H_0$ is the reference level.						

### 1.8.5. TEORETIČNI PRIMERI VREDNOTENJA NEPRAVILNOSTI (EN ISO 5817:2014)

#### PRIMER 1:

Nazivna debelina sočelnega zvara  $s = 5,0$  mm.  
Stopnja sprejemljivosti – razred C.  
Velikost nepravilnosti v obliki posamezne pore  $d = 1,0$  mm.  
Kriterij:  $d \leq 0,2 \cdot s$ , toda maks. 2 mm.

Vprašanje: Ali je velikost indikacije v obliki posamezne pore dovoljena in ali ustreza razredu C?  
Odgovor: DA.

Razlaga:  $0,2 \cdot 5,0$  mm = 1,0 mm, to pomeni da zadošča kriteriju za razred C.

#### PRIMER 2:

Nazivna debelina sočelnega zvara  $s = 8,0$  mm.  
Stopnja sprejemljivosti – razred C.  
Velikost nepravilnosti v obliki posamezne pore  $d = 1,8$  mm.  
Kriterij:  $d \leq 0,2 \cdot s$ , toda maks. 2 mm.

Vprašanje: Ali je velikost indikacije v obliki posamezne pore dovoljena in ali ustreza razredu C?

Odgovor: NE.

Razlaga:  $0,2 \cdot 8,0$  mm = 1,6 mm, to pomeni da ne zadošča kriteriju za razred C.

#### PRIMER 3:

Nazivna debelina sočelnega zvara  $s = 12,0$  mm.  
Stopnja sprejemljivosti – razred C.  
Velikost nepravilnosti v obliki posamezne pore  $d = 2,2$  mm.  
Kriterij:  $d \leq 0,2 \cdot s$ , toda maks. 2 mm.

Vprašanje: Ali je velikost indikacije v obliki posamezne pore dovoljena in ali ustreza razredu C?

Odgovor: NE.

Razlaga:  $0,2 \cdot 12,0$  mm = 2,4 mm, to pomeni da ne zadošča kriteriju za razred C.

#### PRIMER 4:

Debelina pločevine  $t = 2,5$  mm.  
Stopnja sprejemljivosti – razred C.  
Velikost nepravilnosti v obliki neprekinjene zajede  $h = 0,2$  mm in dolžine 20 mm.  
Kriterij: kratka nepravilnost oz.  $h \leq 0,1 \cdot t$ .

Vprašanje: Ali je velikost indikacije v obliki neprekinjene zajede dovoljena in ali ustreza razredu C ?

Odgovor: DA.

Razlaga:  $0,1 \cdot 2,5$  mm = 0,25 mm, to pomeni da zadošča kriteriju za razred C

#### PRIMER 5:

Debelina pločevine  $t = 7,0$  mm.

Stopnja sprejemljivosti – razred C.  
Velikost nepravilnosti v obliki prekinjene zajede  $h = 0,6$  mm in dolžine 300 mm.  
Kriterij:  $h \leq 0,1 \cdot t$ , toda maks. 0,5 mm.

Vprašanje: Ali je velikost indikacije v obliki prekinjene zajede dovoljena in ali ustreza razredu C?

Odgovor: NE.

Razlaga:  $0,1 \cdot 7,0$  mm = 0,7 mm, to pomeni da zadošča prvemu kriteriju za razred C, ne zadošča pa drugemu kriteriju  $h =$  maks. 0,5 mm

#### PRIMER 6:

Debelina pločevine  $t = 3,0$  mm.  
Stopnja sprejemljivosti – razred B.  
Velikost nepravilnosti v obliki prekinjene zajede  $h = 0,5$  mm in dolžine 150 mm.  
Kriterij: ni dopustno.

Vprašanje: Ali je velikost indikacije v obliki prekinjene zajede dovoljena in ali ustreza razredu B?

Odgovor: NE.

Razlaga: ker ni dopustno.

#### PRIMER 7:

Debelina pločevine  $t = 3,0$  mm.  
Stopnja sprejemljivosti – razred C.  
Velikost nepravilnosti v obliki neprekinjene zajede  $h = 0,2$  mm in dolžine 30 mm.  
Kriterij: kratka nepravilnost oz.  $h \leq 0,1 \cdot t$ .

Vprašanje: Ali je velikost indikacije v obliki neprekinjene zajede dovoljena in ali ustreza razredu C?

Odgovor: NE.

Razlaga: KER ne zadošča prvemu kriteriju, zadoščala pa bi sicer drugemu  $0,1 \cdot 3,0$  mm = 0,3 mm.

#### PRIMER 8:

Debelina pločevine  $t = 3,0$  mm.  
Stopnja sprejemljivosti – razred C.  
Velikost nepravilnosti v obliki neprekinjene zajede.  
 $h = 0,2$  mm in dolžine 25 mm, skupna dolžina zvara je 90 mm.  
Kriterij: kratka nepravilnost oz.  $h \leq 0,1 \cdot t$ .

Vprašanje: Ali je velikost indikacije v obliki neprekinjene zajede dovoljena in ali ustreza razredu C?

Odgovor: NE.

Razlaga: KER ne zadošča prvemu kriteriju,  $25/90$  mm =  $0,27 \cdot 100 = 27$  %, kar pomeni, da presega drugi kriterij o kratki nepravilnosti.



# KRITIČNA INŽENIRSKA OCENA

Pripravil: dr. Janko Tomc

<b>1.9</b>	<b>Kritična inženirska ocena</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pomembnost nepravilnosti (morfologija in lokacija nepravilnosti)</li> <li>• Tehnike kritične inženirske ocene - ECA</li> <li>• Referentni dokumenti, standardi in specifikacije</li> </ul>

## 1.9.1. Pomembnost nepravilnosti (morfologija in lokacija nepravilnosti)

Pomen različnih vrst nepravilnosti v zvarnih spojih je odvisen od zahtev glede kakovosti končnih izdelkov v uporabi. Na njih lahko vplivajo različni dejavniki, kot so:

- velikost in mesto nepravilnosti,
- vrsta napetosti (nateg, tlak, strig), kjer se nahaja nepravilnost,
- trdnost in občutljivost na zarez v varu in TVC,
- trdnost in občutljivost na zarez osnovnega materiala v primerjavi z varom,
- delovna temperatura,
- delovno okolje - korozivno ali nekorozivno.

Ekperimentalno je dokazano, da je vse večja uporaba zvarov na visokotrdnostnih jeklih povzročila dejavnike, ki so znižali standarde sprejemljivosti za nepravilnosti v zvarnih spojih. Zarezni učinek bolj vpliva na visokotrdnostno jeklo kot na nelegirano jeklo. Prisotnost previsokega temena zvarov skupaj z obrobniimi zajedami resno vpliva na obratovanje kritičnega zvara. To ima lahko večji učinek kot vključki žindra v varu ali poroznost. Nepopolna prevaritev lahko vpliva na krhki lom pri statičnih ali dinamičnih obremenitvah. To postane še bolj nevarno, če je zvar izpostavljen temperaturam pod 0 °C. Učinek pomanjkljive pretalnitve je skoraj enak kot nepopolna prevaritev. Obžig obloka je še ena resna nepravilnost, ki ji je redko namenjena dovolj pozornosti. Območje obžiga obloka je sestavljeno iz nepopoljšanega martenzita in lahko vsebuje veliko mikro razpok. Te majhne razpoke lahko kasneje privedejo do krhkega zloma. Kakršnekoli razpoke običajno niso dovoljene. Dokazano je, da je poroznost najmanj nevarna nepravilnost, vendar jo manj izkušeni inšpektorji pogosto prezrejo. Toda poroznost je lahko znak slabih standardov izdelave in neželenih praks. Vključki žindre lahko vplivajo na dejansko debelino nosilnega prereza in jih je do neke mere mogoče dopuščati. Nepravilnosti, ki niso nevarne, če so prisotne same (niso v interakciji s sosednjimi), imajo lahko drugačen učinek, če so prisotne skupaj z nekaterimi drugimi nepravilnostmi (glej slika 1).

Med varjenjem se lahko pojavijo napake ali nepravilnosti. V nekaterih primerih bi lahko te napake vplivale na celovitost zvarnega spoja, kar bi povzročilo okvaro zaradi utrujenosti, lezenja, krhkega loma ali plastifikacije. Zato je treba razviti kode za določanje kakovosti zvarov. Tradicionalno varilne kode temeljijo na merilih proizvodnega varjenja. Ta merila se določijo empirično, običajno z oceno ravni kakovosti varjenja, ki se pričakuje od usposobljenega varilca. Čeprav so bila ta merila v preteklosti zanesljiva, izboljšave v varilski tehnologiji in znanosti o materialih niso upoštevane. Kot rezultat so sčasoma kriteriji proizvodnega varjenja postajali vse bolj konzervativni. Ta konzervativnost povzroči nepotrebna popravila (reparature), kar lahko poveča stroške gradnje in povzroči neželene zaostale napetosti na mestu sanacije zvara.

## 1.9.2 Tehnike kritične inženirske ocene (ECA)

### 1.9.2.1 Osnove ECA varjenih konstrukcij

Inženirska kritična ocena (ECA) je postopek, s katerim je mogoče določiti varnost varjene konstrukcije z napakami ali nepravilnostmi. ECA uporablja lastnosti materiala in pričakovano zgodovino napetosti za določitev kriterijev sprejemljivosti napak, ki bodo zagotovila, da se zvari med montažo ali življenjsko dobo varjene konstrukcije ne bodo porušili. Oceno je mogoče uporabiti, preden je konstrukcija v uporabi, ali med pregledom med obratovanjem, da se ugotovi, ali je treba določen zvar popraviti. ECA se uporablja v celotni energetski,

proizvodni in infrastrukturni industriji. ECA temelji v veliki meri na načelih lomne mehanike in odraža izboljšanje tradicionalnih metod zagotavljanja kakovosti zvarnih spojev, ki so lahko poljubne ali preveč konzervativne.

Od poznih sedemdesetih do zgodnjih osemdesetih let so se začele pojavljati inženirske kritične ocene (ECA) kot alternativa tradicionalnim kriterijem izdelave. Te ECA ocene so se močno zanašale na nedavni razvoj na področju lomne mehanike. Ker so bili kriteriji izdelave razviti z omejenim razumevanjem značilnosti materialov in so upoštevali le z dolžino določene nepravilnosti zvara, so kriteriji ECA za sprejemljivosti nepravilnosti upoštevali dodatne dejavnike, kot so:

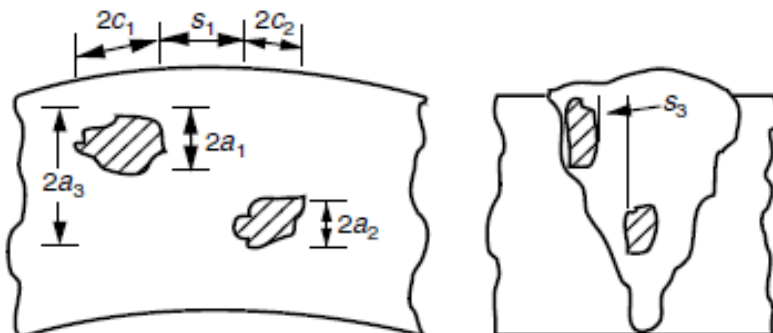
- zgodovina napetosti v zvaru, vključno z vsemi cikličnimi in statičnimi napetostmi, pričakovanimi v celotni življenjski dobi varjene konstrukcije;
- trdnost osnovnega materiala in čistega vara;
- lomna žilavost (merjena s preskusom premika odprtine konice razpoke-CTOD ali z preizkusom s Charpyjevim kladivom) osnovnega materiala in čistega vara;
- usmerjenost nepravilnosti (npr. merjenje dolžine in višine nepravilnosti v nasprotju samo z dolžino nepravilnosti).

Ti dodatni dejavniki skupaj omogočajo izdatnejša merila za kriterije sprejemljivosti nepravilnosti, kar povzroči manj reparatur zvarnih spojev. Da bi izpolnili merila za kriterije sprejemljivosti nepravilnosti, razvite med ECA, je treba uporabiti NDT preiskave. Nepravilnosti v zvarnih spojih pogosto odkrijemo z vizualnim pregledom (VT) ali z volumetričnima preiskavama, kot sta UT in RT preiskava. Ko odkrijemo nepravilnost, je popravilo lahko zelo drago, če je konstrukcija težje dostopna, ali če popravilo zahteva zaustavitev npr. elektrarne ali kakega postrojenja. Če je popravilo drago ali celovito, je lomna mehanika zelo uporabno orodje, s katerim lahko ocenimo nepravilnosti v zvarih. Vse nepravilnosti niso kritične za življenjsko dobo varjene konstrukcije in z analizo lahko ocenjujemo, ali bo napaka dosegla kritično velikost v življenjski dobi konstrukcije.

Merila sprejemljivosti za nepravilnosti, ki temeljijo na ECA, se pogosto uporabljajo v industriji nafte in plina, zlasti glede kvalifikacije sočelnih krožnih zvarov na kopenskih naftovodih in plinovodih. Razlog za to je, da so sočelni krožni zvari običajno enaki od zvara do zvara, kar izvajalcem montaže omogoča uporabo mehaniziranega varjenja (npr. orbitalno MAG varjenje). Mehanizirano varjenje poveča produktivnost v primerjavi z ročnimi tehnikami varjenja, tako da omogoča boljši in bolj enakomeren nadzor nad lastnostmi zvarnega spoja. Kriteriji sprejemljivosti nepravilnosti, ki temeljijo na ECA, lahko izkoristijo visoko trdnost in žilavost izvedenih zvarov, da razvijejo manj stroge kriterije sprejemljivosti nepravilnosti. Poleg tega so nepravilnosti, ki nastanejo med mehaniziranim varjenjem, običajno usmerjene drugače kot nepravilnosti, ki so nastale pri ročnem varjenju. Kriteriji sprejemljivosti nepravilnosti, ki temeljijo na ECA, učinkoviteje ocenjujejo te nepravilnosti z upoštevanjem usmerjenosti nepravilnosti in ne le z njihovo dolžino.

### 1.9.2.2 Primer maksimalnih dovoljenih velikosti nepravilnosti za krožne zvarne spoje na plinovodih z uporabo tehnike ECA

Primer uporabe tehnike ECA je povzet po standardu **API 1104: Welding of Pipelines and Related Facilities, Annex A**. Evaluacija vseh nepravilnosti v sočelnih krožnih zvarnih spojih, ugotovljenih z UT ali RT neporušno metodo preiskave privede do kriterijev za ugotavljanje interakcije med različnimi nepravilnostmi (slika A.11 v omenjenem standardu). Če interakcija obstaja, se izračuna efektivna velikost nepravilnosti, sicer pa se ocenjujejo posamezne odkrite nepravilnosti (volumetrične in ravninske).



Slika 1: Evaluacija volumskih nepravilnosti v zvaru (a...polovična višina nepravilnosti; c...polovična dolžina nepravilnosti)

**Volumske nepravilnosti:** To so plinske poroznosti, vključki žilindre (skupina 300) in pregor (angl. *burn-through*). V visokotrdnostnih jeklih so te nepravilnosti manj nevarne za povzročitev porušitve, kot ravninske nepravilnosti (npr. razpoke, zlepi, obrobne zajede). V tabeli 1 so podane stopnje sprejemljivosti volumskih nepravilnosti, ki niso odprte na površino. Nepravilnost obžig obloka (angl. *arc burn, arc strike*) je vključena zaradi boljše preglednosti vseh zajetih nepravilnosti, čeprav ne sodi niti pod volumetrične, niti pod ravninske nepravilnosti.

Tabela 1: Stopnje sprejemljivosti zaprtih volumskih nepravilnosti v sočelinih krožnih zvarnih spojih (t...debelina stene cevi)

Tip nepravilnosti	Oznaka nepravilnosti po ISO 6520-1	Polovična višina (a)	Širina (b)	Polovična dolžina (c)
Poroznost (do 3 % projekcije na radiogramih)	2012, 2013, 2014	$\leq t$ ali 6.3 mm	$\leq t$ ali 6.3 mm	$\leq t$ ali 6.3 mm
Vključki žilindre	3011, 3012, 3013	$\leq t$ ali 6.3 mm	$\leq t$ ali 6.3 mm	$\leq 4xt$
Pregor (brez reparature)	510	$\leq t/4$	$\leq t/4$	$\leq 2xt$
Obžig obloka	601	$\leq 1.6$ mm	$\leq t$ ali 8 mm	$\leq t$ ali 8 mm

**Ravninske nepravilnosti:** Dolžina (2c), višina (2a) in globina pod površino teh nepravilnosti mora biti določena z ustrežno NDT metodo, preden se sprejme odločitev za sprejetje ali zavrnitev. Klasična filmska RT metoda je ustrežna za meritve dolžine nepravilnosti, vendar neprimerna za določitev višine, posebej za ravninske nepravilnosti, kot so razpoke, zlepi, obrobne zajede in določene vrste pomanjkljive pretalitve (angl. *lack of penetration*). Zato je potrebno za določitev višine nepravilnosti uporabiti katerokoli NDT metodo, da se kolikor toliko natančno lahko izmeri višina na konzervativen način (npr. z uporabo UT preiskave).

Določitev sprejemljivih velikosti ravninskih nepravilnosti zavisi od vrednosti lomne žilavosti CTOD osnovnega materiala. Na slikah 2 in 3 so prikazane mejne vrednosti razmerja polovična višina nepravilnosti proti debelini stene cevi  $a/t$  ter razmerja polovične dolžine nepravilnosti proti zunanjemu premeru cevi  $c/D$ . Vse te vrednosti pa so odvisne od nivoja obremenitve cevi  $P_r$ , ki je definiran kot:

$$P_r = 10 \times t \times (R_{eH} + R_{m,min}) / (p \times D)$$

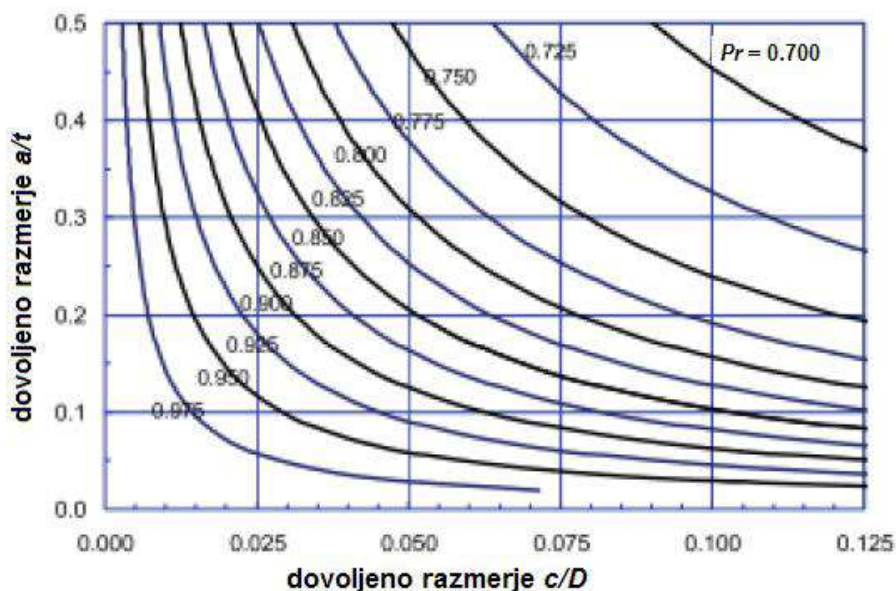
$R_{eH}$ ...minimalna zgornja meja elastičnosti materiala cevi (MPa)

$R_{m,min}$ ...minimalna natezna trdnost materiala cevi (MPa)

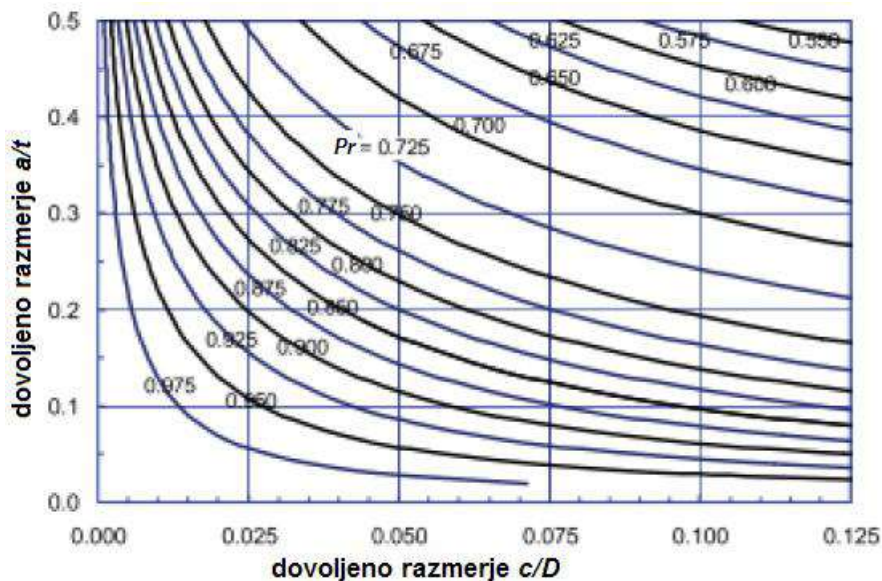
$t$ ...debelina stene cevi (mm)

$D$ ...zunanji premer cevi (mm)

$p$ ...računski tlak v cevovodu (bar)



Slika 2: Meje velikosti ravninskih nepravilnosti za CTOD  $\geq 0.25$  mm



Slika 3: Meje velikosti ravninskih nepravilnosti za  $0.1 \text{ mm} \leq \text{CTOD} \leq 0.25 \text{ mm}$

### 1.9.3 Uvod v tehnično poročilo CEN/TR 15235

Tehnično poročilo **CEN/TR 15235: Varjenje – Metode za ocenjevanje nepravilnosti v kovinskih konstrukcijah** je zasnovan na britanskem standardu *BS 7910: Guide on Methods for Assessing the Acceptability of Flaws in Metallic Structures* in na evropskem SINTAP poročilu (*Structural Integrity Assessment Procedures for European industry*).

Za izpolnjevanje zahtev industrije so potrebne evropske zahteve za oceno nepravilnosti v kovinskih konstrukcijah. Ta tehnologija se uporablja v številnih panogah za izbiro materialov, načrtovanje in izdelavo ter ocenjevanje v delavnicah z uporabo obstoječih metod. Metoda kritične inženirske ocene (ECA) za ocenjevanje nepravilnosti je dobila dodatno podporo z direktivo PED 2014/68 / EU (tlačna oprema), ki omogoča uporabo tovrstnih metod kot alternativo običajnim metodam.

Konvencionalni postopki načrtovanja vključujejo uporabo matematičnih modelov, kot je teorija elastičnosti. Obremenitve so opisane z lastnostmi, kot sta napetost in deformacija. Odpornost je opisana z lastnostmi, kot sta meja tečenja in natezna trdnost. Projektant mora zagotoviti ustrezno odpornost konstrukcije z uporabo ustreznih varnostnih faktorjev, parcialnih koeficientov ipd. Matematični modeli predvidevajo, da je material homogen.

Številne vrste poškodb vključujejo razpoke. Odpoved izdelka lahko povzroči razpoka ali pa se poškodba širi (počasi ali hitro) kot razpoka. Uporaba običajne teorije elastičnosti pri konstrukciji z razpokami vodi do singularnosti na vrhu razpoke, ker se napetosti približujejo neskončnosti. Dodati je treba, da je poglobljena študija procesa loma pokazala, da lahko nehomogenosti, kot sta struktura zrn in celo atomska struktura, vplivajo na obliko loma. Iz teh razlogov običajnih projektnih postopkov ni mogoče uporabiti v primerih, ko je potrebna analiza pomembnosti vrste razpok, in jih ni mogoče uporabiti za analizo širjenja utrujenostnih razpok, razpok zaradi lezenja, razpok zaradi napetostne korozije itd.

Razvite so bile alternativne metode mehanike loma z zahtevo po modeliranju obnašanja konstrukcij, ki vsebujejo razpoke. Lomna mehanika obravnava silo širjenja razpoke in odpornost materiala prek alternativnega niza parametrov, kot so faktor intenzivnosti napetosti KIC, odpiranje vrha razpoke (CTOD) itd.

Pri kritičnih inženirskih ocenah se uporablja kombinacija projektiranja s konvencionalnimi postopki projektiranja in mehanike loma, odvisno od narave nepravilnosti in pričakovane vrste nepravilnosti. Na splošno korozija povzroči zmanjšanje preseka in jo je mogoče analizirati z običajnimi postopki načrtovanja, medtem ko je treba širjenje razpok zaradi utrujenosti analizirati z metodami lomne mehanike.



V nadaljevanju je dano nekaj okrajšav, ki se nanašajo na Kritično inženirsko oceno (ECA):

**ECA (Engineering Critical Assessment) - Kritična inženirska ocena** – metode za ocenjevanje pomebnosti nepravilnosti za odpornost in uporabnost konstrukcije

**FAD (Failure Assessment Diagram) – Diagram ocenjevanja napak** – kombinira analizo varnosti napram plastični nestabilnosti in končnemu prelomu v enem diagramu

**CDF (Crack Driving Force plot)** – Diagram sile za širjenje razpoke

**ETM (Engineering Treatment Model)** – Model inženirske obdelave

**FITNET (European Fitness-for-service Network)** – Evropska mreža primerenosti za uporabo - FFS

**HIDA (High Temperature Defect Assessment)** – Ocena napake zaradi visoke temperature

**SINTAP (Structural Integrity assesment procedures for European Industry)** – Postopki za ocenjevanje celovitosti konstrukcij v evropski industriji

**CTOD (Crack Tip Opening Displacement)** – Pomik odpiranja konice razpoke

### 1.9.3.1 Princip kritične inženirske ocene - ECA

ECA je oznaka za metode, ki se uporabljajo za oceno sprejemljivosti nepravilnosti. Ocena sprejemljivosti vključuje obdelavo:

#### a) Zakonske zahteve

Zakonske zahteve in/ali odredbe kodov za konstrukcije pri pogodbenih zahtevah lahko omejijo sprejemljivost. Obvezni kriteriji sprejemljivosti, ki se uporabljajo za izdelavo novih konstrukcij, so lahko določeni s kodi ali s pogodbami, ki se nanašajo na konstrukcije.

#### b) Pogodbene zahteve

Uporaba ECA metoda mora biti sprejemljiva za pogodbene strani za vsaki posamezni primer.

#### c) Komercialne zahteve

Stroški in tržini položaj lahko vplivajo na prednosti ali pomanjkljivosti uporabe.

#### d) Zahteve za izdelavo

Pomembno vodilo je zagotavljanje ustrezne kontrole kakovosti.

#### 1.9.3.1.1 Konvencionalna določila za sprejemljivost zvarjenih konstrukcij

Standardi za projektiranje in izdelavo zvarjenih konstrukcij praviloma vključujejo določila za pregled in preiskavo zvarnih spojev. Standardi običajno določajo:

- Nivoje sprejemljivosti za nepravilnosti, običajno z referenco na stopnjo kakovosti na področju standarda kot je EN ISO 5817.
- Meporušitvene metode s sklicevanjem na obsežen sistem EN ISO standardov, z upoštevanjem vsaj EN ISO 17635.
- Obseg preiskav (100 % ali pregled samo dela zvarov).
- Korektivne ukrepe, ko se odkrije neskladje, običajne zahteve za popravilo, ponovni pregled in določene dodatne neporušitvene preiskave.
- Ustrezne varnostne faktorje.



Konvencionalne NDT metode vključujejo element subjektivne presoje in za rezultat preiskave šteje ocena, in ne meritev (čeprav so podatki lahko del poročila). Vrednotenje lahko ima dva končna rezultata: sprejemljivo ali nesprejemljivo.

#### 1.9.3.1.2 Uporaba ECA za nove izdelke

Uporaba ECA kot orodja za določanje meril kakovosti za nove konstrukcije je v teoriji možna, v praksi pa problematična. ECA se ne sme uporabljati kot izgovor za sprejemanje slabe izdelave.

Uporaba ECA vključuje naslednje zahteve:

- a) Potrebno je določiti lomno žilavost in druge pomembne podatke o materialih zvara, toplotno vplivano področje (TVP) in osnovni material. To se izvaja kot del kvalifikacije postopka varjenja (WPQR). Za zagotovitev, da so podatki med preskusom resnično reprezentativni, je potreben strog nadzor varjenja.
- b) Zvare je potrebno pregledati z enim ali več postopki neporušitvenih preiskav, da bi:
  - odkrili vse potencialno nevarne nepravilnosti,
  - določili vrsto nepravilnosti, vsaj z razlikovanjem med ravninskimi in volumetričnimi nepravilnostmi,
  - izmerili velikost, položaj in smer nepravilnosti.
- c) Vse postopke NDT preiskav je treba validirati na reprezentativnih vzorcih in določiti preskusno negotovost.
- d) Izračunati je treba varnostne faktorje, da se izravnajo vse negotovosti NDT preiskav. To lahko vključuje uporabo sodobnih verjetnostnih metod.
- e) Določiti je treba kriterije sprejemljivosti, obseg preiskav in druge kriterije kakovosti.

Najpogostejši postopek za ugotavljanje velikosti nepravilnosti v zvarjenih spojih je ultrazvočna preiskava (UT), ki je standardizirana v več evropskih specifikacij. UT preiskava zahteva visokokakovostne zvarne spoje glede na poroznost in vključke žilindre, ki lahko skrijejo nevarnejše nepravilnosti.

#### 1.9.3.1.3 Uporaba ECA za preiskave med obratovanjem

Uporaba ocenjevanja s '*primerenostjo za uporabo - FFS*' pregledovanjem v obratovanju (eng. *in-service*) je dokaj pogosta in ima veliko manj komplikacij kot je to v primeru novih konstrukcij. Ostajata dva različna tipa uporabe:

- a) Za običajne postopke preiskav je značilna zelo visoka negotovost. Konstrukcija zlahka vsebuje nepravilnosti, ki presegajo kriterije sprejemljivosti, ki so zahtevani v času začetnih neporušitvenih preiskav. Takšne nepravilnosti lahko (po naključju) ugotovimo pri nadzornem pregledu med obratovanjem. Lastnik konstrukcije lahko uporabi oceno „primernosti za uporabo“, da dokumentira sprejemljivost teh nepravilnosti.
- b) Običajna praksa je tudi uporaba ECA za oceno rasti razpok, korozije, obrabe in stanjšanja ter drugih poškodb, odkritih med preiskavo v obratovanju. Določbe za večletno obdobje so vključene v številne kode za tlačno opremo in druge konstrukcije. Pregled med obratovanjem je olajšalo dejstvo, da slabljenje običajno rezultira kot ena znana nepravilnost, ki je pogosto lokalnega tipa (npr. utrujenostne razpoke). To omogoča uporabo posebnih postopkov neporušitvenih preiskav, ki zagotavljajo kvantitativne podatke o velikosti nepravilnosti. Oslabitev lahko spremljamo med več nadzornih pregledov s spremljanjem rasti razpok, napredovanja korozije itd.

Priporočajo se naslednji ukrepi:

a) ECA lahko zahteva informacije o lomni žilavosti in drugih lastnostih materiala. Te informacije je treba določiti med kvalifikacijo postopka varjenja WPQR. V fazi načrtovanja je treba razmisliti o uporabi „nadzornih pregledov med obratovanjem“.

b) Na končni konstrukciji je treba pred uporabo opraviti pregled prstnih odtisov (eng. *fingerprint inspection*), da se odkrijejo pomembne nepravilnosti, ki izhajajo iz proizvodnje, čeprav so bile predvidene ali napačno razložene pri običajnem pregledu [pod a)].

### 1.9.4 Koristni referenčni dokumenti, standardi in kodi

1. API RP 579-1 / ASME FFS-1: Fitness-for-Service
2. API RP 579-2 / ASME FFS-2: Fitness-for-Service – Example Problem Manual
3. API Standard 1104: Welding of Pipelines and Related Facilities
4. BS 7910: Guide on Methods for Assessing the Acceptability of Flaws in Metallic Structures
5. CEGB R6: Assessment of the Integrity of Structures Containing Defects
6. FITNET: Fitness-for-Service, fracture-fatigue-creep-corrosion
7. IIW/IIS-SST-1157-90: IIW Guidance on Assessment of the Fitness-for-Purpose of Welded Structures
8. IIW-1767-06: FITNET Fitness-for-Service Procedure-An Overview
9. IIW-1768-06: Treatments of Structural Welds Using FITNET Assessment Procedure
10. WES 2805: Methods of Assessment for Defects in Fusion welded Joints with Respect to Brittle Fracture and Failure due to Fatigue Crack Growth

# PORUŠNE PREISKAVE NA ZVARNIH SPOJIH

Pripravi: dr. Janko Tomc  
Rok Andjelov

## 2.1.1. Mehanske preiskave zvarnih spojev

Kontrola in preiskave sta neločljivi dejavnosti v vseh fazah izdelave in uporabe zvarnega spoja. Njihova najpomembnejša naloga je zagotoviti pogoje za brezhibno izdelavo zvarov kot tudi odkriti in odpraviti nastale napake.

Najprej je treba razlikovati med pojmi kontrole in preiskav ter zagotavljanja kakovosti. Zagotavljanje kakovosti je zelo zapleten sklop organizacijskih in tehničnih nalog in ukrepov za doseganje zahtevane ravni tehnološke discipline, znanja in veščin oziroma za ohranjanje dosežene ravni kakovosti in zanesljivosti proizvodnje. Kontrola in preiskava sta le del sistema zagotavljanja kakovosti. Večina tistih, ki se pripravljajo na pridobitev certifikatov po EN ISO 9000, EN ISO 3834 ali EN ISO/IEC 17025, se šele začenjajo zavedati, kaj in koliko je treba narediti za izpolnjevanje zahtev teh standardov in norm.

Postopke kontrole zvarov je treba vključiti v postopek varjenja kot njegov sestavni in nujen del povsod, kjer je kakovost zvarov pomembna. Preiskave v primerjavi s kontrolo izvajajo predvsem organizirani laboratoriji oziroma ustanove, ki proučujejo pojave, povezane z materialom in z razvojem varilne tehnologije. Ni nujno, da ima vsaka varilna delavnica svoj laboratorij, ampak za vsako zahtevnejšo nalogo ali preskusni postopek (neporušitvene preiskave, mehanske preiskave, kemijske analize, metalografija, ...) mora sodelovati z institucijo oz. laboratorijem, ki bo lahko dovolj hitro rešila njihov problem.

### 2.1.1.1 Naloge preiskav zvarov

Najpomembnejša naloga laboratorijskih preiskav je ugotavljanje in dokazovanje določenih lastnosti zvarov, ki jih z neporušitvenimi preiskavami ni bilo mogoče v celoti opredeliti, čeprav so pogosto sestavni del laboratorijske dejavnosti. Strogo gledano, te preiskave (razen vmesnih in neporušitvenih) niso časovno pogojene, zato je seznam najpomembnejših preiskav nalog razdeljen na tiste, ki se izvajajo dnevno v delavnici in tiste, ki zahtevajo opremljene laboratorije in nekaj več časa za natančnejše meritve. Po tej logiki so preiskave razvrščene v tabeli 2.1.1.

Tabela 2.1.1: Seznam porušnih preiskav na zvarnih spojih

Delavniške preiskave	Laboratorijske preiskave
<ul style="list-style-type: none"> <li>- določitev in izbira ustreznega načina varjenja</li> <li>- ugotavljanje sposobnosti delavnice za varjenje ( delovni preskus)</li> <li>- priprava in certifikacija varilcev, zlasti za zahtevnejše materiale, kombinacijo materialov in zahtevnejše lege</li> <li>- certifikacija postopka varjenja</li> <li>- ugotavljanje nagnjenosti k deformacijam in krhkem prelomu</li> <li>- preverjanje, ali je potrebna določena toplotna obdelava med ali po varjenju</li> <li>- preiskava nosilnosti (statične) z eksperimentalnimi obremenitvami konstrukcije</li> <li>- preverjanje trdnosti tlačnih posod s porušitvijo (tlačni preskus)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- vse preiskave v zvezi s postopkom varjenja in druge preiskave v delavnici</li> <li>- določanje lastnosti zvara</li> <li>- ugotavljanje metalurške skladnosti osnovnega z dodajnim materialom</li> <li>- določitev konstrukcijskih predpostavk</li> <li>- določitev nosilnosti kritičnih spojev</li> <li>- določitev notranjih napetosti zaradi varjenja</li> <li>- ugotavljanje nagnjenosti k krhkem lomu</li> <li>- določanje trajne trdnosti konstrukcije</li> <li>- vse preiskave, ki so potrebne za dokazovanje kakovosti nadzornem organu</li> </ul>

Iz pregleda je razvidno, da se velik del testiranja izvaja v sami delavnici ali v bližini varilnega mesta. Razlika je le v tem, da laboratorijskih preiskav ne izvajajo ljudje širšega spektra poklicev (na primer kontrolorji), temveč so večinoma specialisti za določene postopke preiskav ali strokovnjaki iz določenih ožjih strokovnih področij. Število postopkov in vrst preiskav lastnosti materialov in zvarov je v sodobnih, dobro opremljenih laboratorijih veliko, uvajajo pa se tudi novi. Moč napredka in prodora na tem področju so pokazali tudi računalniki. Laboratorijske preskusne metode služijo širjenju znanja o lastnostih materialov in zvarov na področjih, ki jih zajema tabela 1.2.2.

Tabela 2.1.2: Faktorji, ki vplivajo na lastnosti zvara

<b>Faktorij:</b>	
Metalurški	- lastnosti osnovnega materiala - stanje osnovnega materiala - lastnosti dodajnega materiala - lastnosti področja taljenja - lastnosti TVP
Tehnološki	- izbira vrste zvara - oblika priprave žleba - parametri varjenja - zaporedje varjenja - vnos toplote - hitrost ohlajanja - toplotna obdelava - napake (nepravilnosti) v zvaru
Eksploatacijski	- preobremenitev - stres - korozija - erozija - vpliv delovnega okolja (medij) - možni vplivi okolice (potresi, poplave,...)

Navedene so le najpomembnejše lastnosti, katerih preverjanja so najpogosteje predpisana v standardih ali drugih predpisih za dokazovanje kakovosti zvarov. Večinoma gre za porušne preiskave, torej tiste, ki po opravljenih preizkusih pustijo poškodbe na zvaru, zaradi česar ga ni več mogoče vgraditi v izdelek. Preiskave za kontrolne in inšpekcijske/nadzorne namene se torej izvajajo na posebnih vzorcih ali v podaljških zvara na izdelku z enakimi parametri priprave in varjenja, kot so določeni za zvar na izdelku ali v konstrukciji.

#### Takšni zvari dobijo naziv kot:

- **delavniški vzorec (preskus)**, ki se izdelava pred pričetkom varjenja zahtevnejših zvarov na istem materialu z predvideno tehnologijo varjenja in služi za potrditev izbrane tehnologije. Temu sta zelo podobni zvari za certifikat varilca in potrdilo o načinu varjenja.
- **izhodni vzorec**, ki se z enako pripravo zvara pripravi na enega od koncev neprekinjenega varjenja na izdelku in v nadaljevanju zavari brez prekinitve. Po odstranitvi služi kot vzorec zvara na izdelku ali na konstrukciji.
- **delovni preizkus**, ki se običajno vari pri mehaniziranem varjenju po določenem številu izvedenih zvarov, npr. na vsakih petdeset zvarov. Takšni vzorci so značilni za avtomatsko varjenje cevi z iskrenjem, izdelavo membranskih cevni sten, varjenje paličnih konstrukcij in podobno.

Slika 2.1.1 prikazuje vzorce za mehanske preiskave.



Slika 2.1.1: Vzorci pločevine za mehanske preiskave zvarnih spojev

Velikost in število takšnih vzorcev je odvisno od pomembnosti konstrukcije in posebnosti zvara ter od števila in vrste načrtovanih preiskav. Pri uporabi za vzorce, s katerimi dokazujemo kakovost zvara, je potrebno zavari nekoliko večje vzorce. Tako je na voljo več materiala za ponovne preiskave v primeru negativnih rezultatov.

## 2.1.2 Pregled porušnih preiskav zvarnih spojev

Za enostavnejše dokazovanje kakovosti in enostavnejšo analizo zvarov običajno zadostujejo tri skupine preiskav:

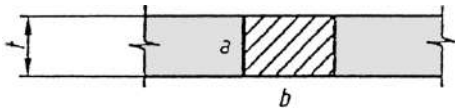
- porušne preiskave (statično in kvazidinamično),
- kemična analiza,
- metalografske preiskave.

Za izdelavo **preskusnih vzorcev** (epruvet) je potrebna strojna obdelava. Oblika in dimenzije vzorcev predpisujejo standardi. Spodnje skice prikazujejo najpogostejše oblike epruvt in merilne smernice.

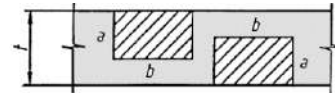
### 2.1.2.1 Natezni preizkus zvarnih spojev pri atestiranju postopkov varjenja

Standard **EN ISO 4136: Porušitveni preizkusi zvarnih spojev na kovinskih materialih - Prečni natezni preizkus** obravnava oblike in velikosti preizkušancev za prečni natezni preskus ter lokacije jemanja vzorcev iz zvarnih spojev. Sam natezni preskus se mora izvajati v skladu s SIST EN ISO 6892-1.

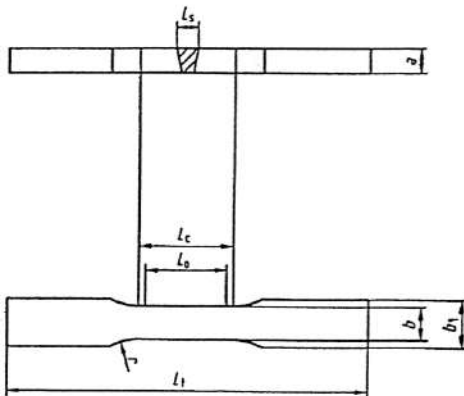
Lokacije preloma mora biti zabeležena (osnovni material, TVC ali var). Po možnosti je potrebno strani preskušanca jedkati, da se vidi, kje je lokacija zvara. Po prelomu preskusnega vzorca se pregledajo lomne površine in zabeleži se obstoj kakršnih koli nepopolnosti, ki so lahko negativno vplivale na preskus, vključno z njihovo vrsto, velikostjo in količino. Če so prisotne ribje oči, jih je treba zabeležiti in samo njihova osrednja območja štejejo za nepopolnosti.



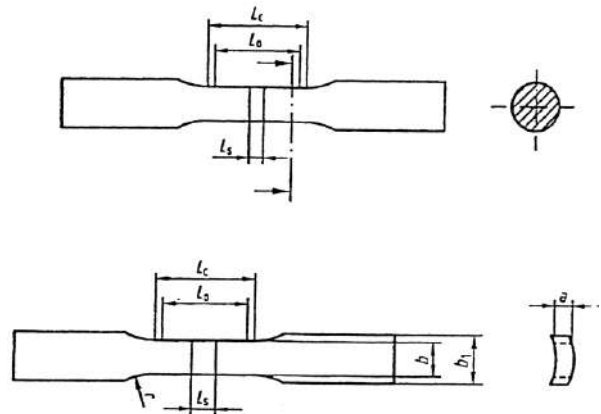
Slika 2.1.2: Natezni preskus celotnega preseka



Slika 2.1.3: Natezni preskus preseka z več preizkušanci



Slika 2.1.4: Ploščati natezni preizkušanec za zvar na pločevini



Slika 2.1.5: Okrogli natezni preizkušanec za zvar in ploščati za zvar na cevi

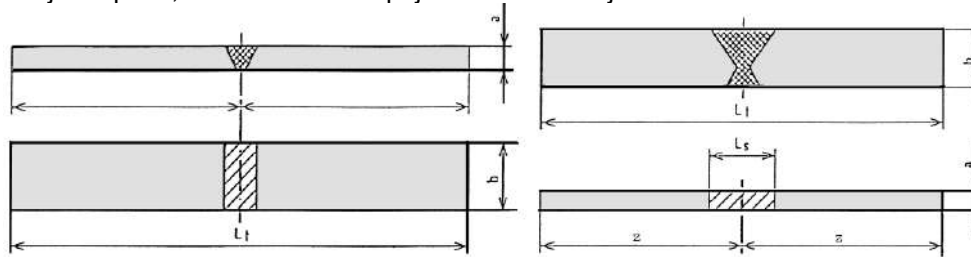
#### Vsebina poročila o preiskavi:

- referenca na standard ISO 4136,
- vrsta (oblika) in lokacija preskušanca v zvarnem spoju,
- preskusna temperatura (če je izven sobne temperature),
- tip in dimenzije opaženih nepopolnosti,
- izmerjen presek preskusne epruvete (mm<sup>2</sup>)
- izmerjena sila pri pretrgu (N)
- izračunana natezna trdnost (MPa)

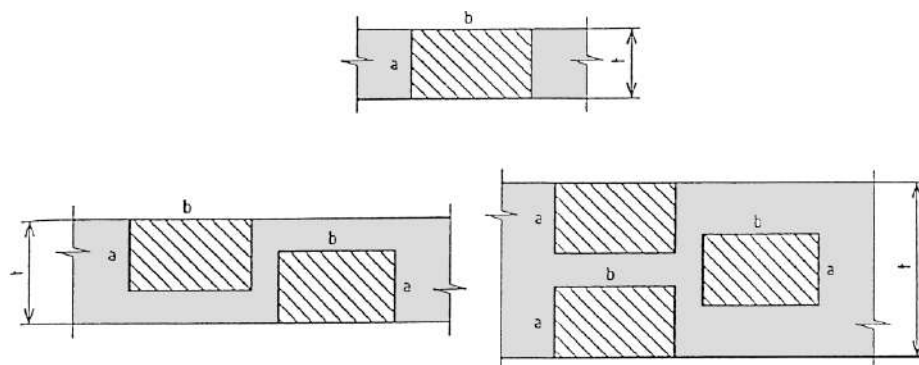


### 2.1.2.2 Upogibni preizkusi zvarnih spojev pri atestiranju postopkov varjenja

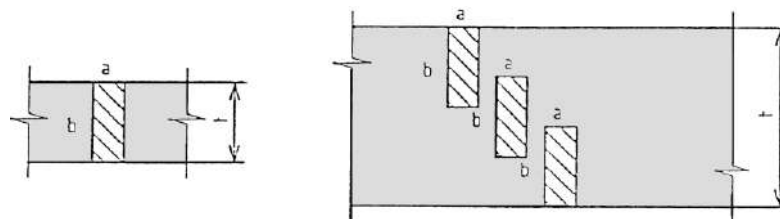
Standard **EN ISO 5173: Porušitveni preizkusi zvarnih spojev na kovinskih materialih - Upogibni preskusi** obravnava oblike in velikosti preizkušancev za upogibni preskus ter lokacije jemanja vzorcev iz zvarnih spojev. Upogibni kot je vedno nad  $120^\circ$ , za atestiranje postopkov varjenja pa je ta kot  $180^\circ$ . Po končanem upogibu se na preizkušancu iščejo razpoke, ki so se morebiti pojavile. Preizkušajo se vedno korenski in temenski zvari.



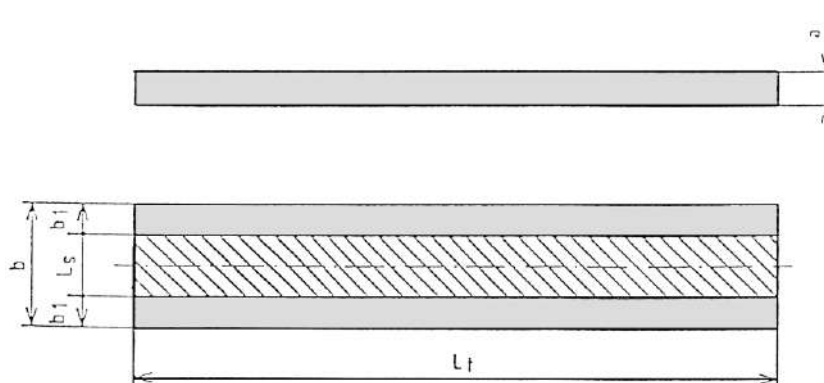
Slika 2.1.6: Sočelni zvar, temenska in korenska stran upogiba



Slika 2.1.7: Sočelni zvar, lega upogibnih preizkušancev v zvaru večjega preseka

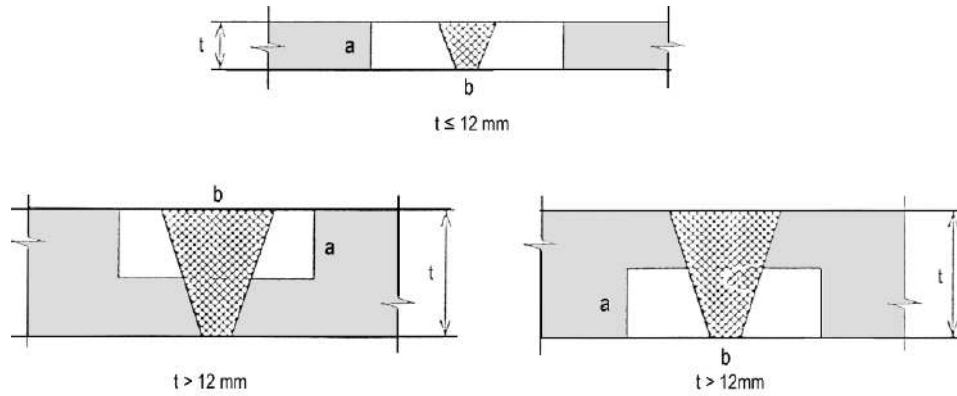


Slika 2.1.8: Sočelni zvar, lega bočnih upogibnih preizkušancev v zvaru večjega preseka



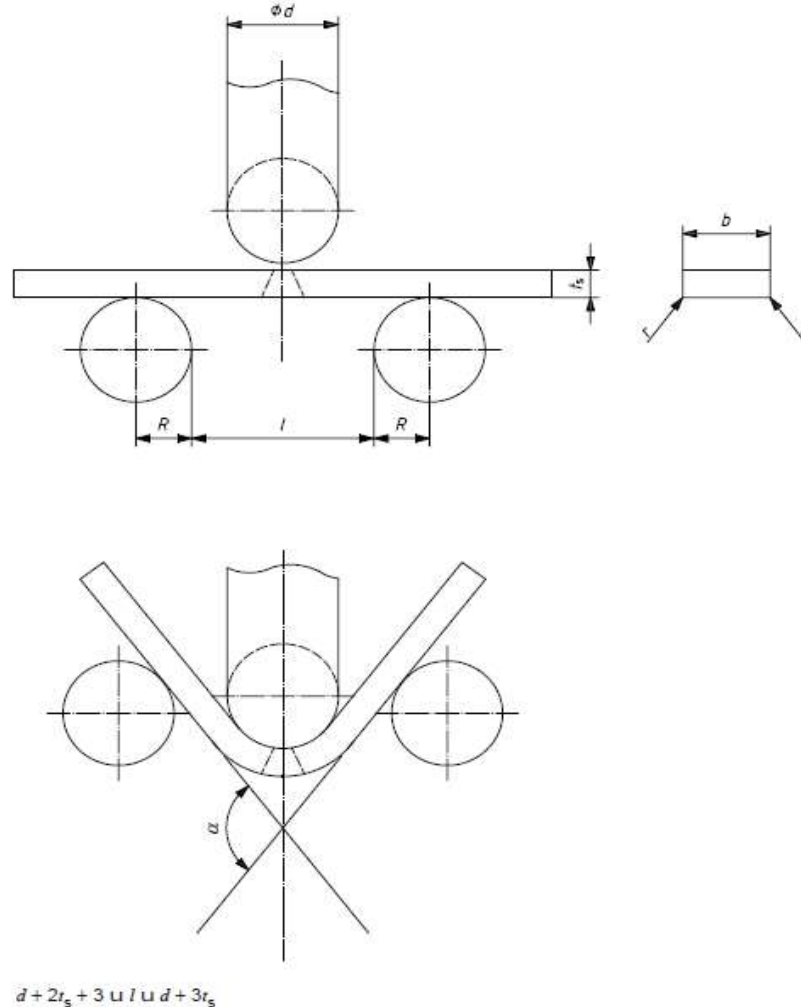
Slika 2.1.9: Sočelni zvar, epruveta za vzdolžni upogib

$$b_1 = \frac{b - L_s}{2}$$



Slika 2.1.10: Sočelni zvar, položaj epruveta za vzdolžni upogib pri zvaru večjega preseka

Pred začetkom preskusa upogibanja se lahko določita oblika in položaj pretaljenega območja oziroma linije spajanja z rahlim jedkanjem površine preskusnega vzorca, ki se preskuša v območju natezne napetosti. Preskus se izvaja s položitvijo preskusnega vzorca med dve podpori, ki sta sestavljeni iz dveh vzporedno položenih valjčkov (slika 11). Zvar mora biti v sredini med valjčkoma. Upogiba se počasi in neprekinjeno na osi zvara z okroglim trnom, ki deluje pravokotno na površino preskušanca. Po končanem preskusu se pregleda zunanjo površino preskušanca in strani. Evaluacija preskušanca se izvede v skladu z relevantnim aplikativnim standardom (za certificiranje varilcev, postopkov varjenja, itd.)



Slika 2.1.11: Prečni upogibni preizkus zvarov preko temena in korena

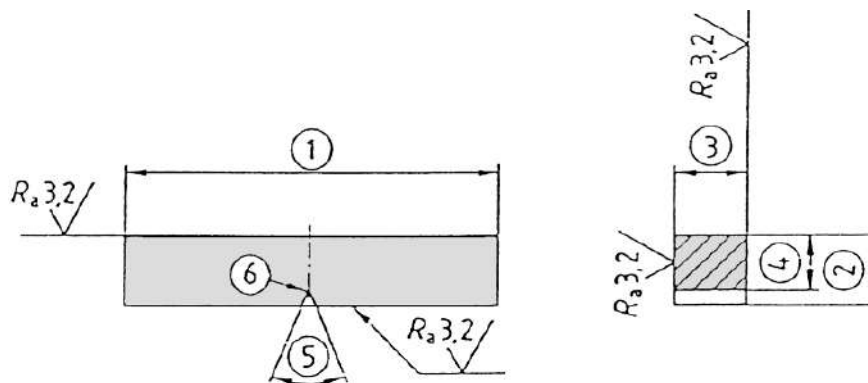
**Vsebina poročila o preskusu:**

- referenca na standard ISO 5173,
- identifikacija preskusnega vzorca (označevanje, vrsta osnovnega materiala, toplotna obdelava...),
- oblika in dimenzije preskusnega vzorca,
- vrsta in simbol upogibnega preskusa (prečni čez teme in čez koren, bočni prečni, vzdolžni čez teme in čez koren),
- pogoji preskusa (premer trna, razdalja med valjčki),
- preskusna temperatura (če je izven sobne temperature),
- tip in dimenzije opaženih nepopolnosti,
- kot upogiba (zapisati tudi kot, kjer je prišlo do porušitve, če ni bi dosežen zahtevan kot upogiba)

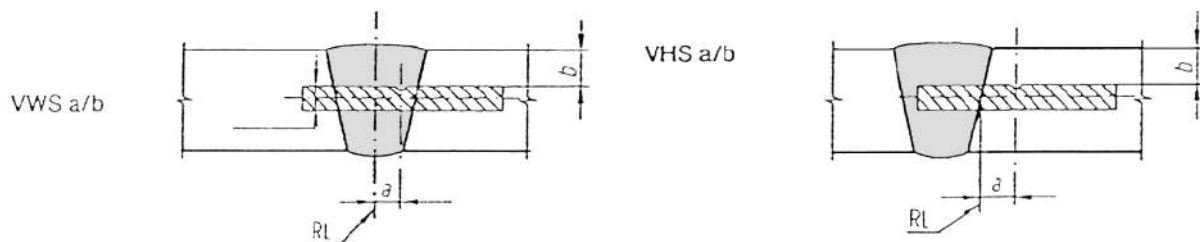
**2.1.2.3 Preizkusi udarne žilavosti zvarnih spojev pri atestiranju postopkov varjenja**

Standard **EN ISO 9016: Porušitveni preskusi zvarov na kovinskih materialih - Udarni preizkusi - Položaj preizkušanca, smer zarez in preiskava** obravnava oblike in velikosti preizkušancev za preizkus udarne žilavosti, smer zarez ter lokacije jemanja vzorcev iz zvarnih spojev. Sam preskus udarne žilavosti se mora izvajati v skladu z **EN ISO 148-1**. Običajno se izdelujejo V-Charpy zarez globine 2 mm in kota  $45^\circ$  (slika 2.23). Preskusi udarne žilavosti se opravljajo pri sobni temperaturi  $+20^\circ\text{C}$ , pri nižjih temperaturah  $0^\circ\text{C}$ ,  $-20^\circ\text{C}$ ,  $-40^\circ\text{C}$ ,  $-60^\circ\text{C}$ ,  $-80^\circ\text{C}$  ter pri kriogenih temperaturah  $-196^\circ\text{C}$ . Temperatura preskušanja je odvisna od zahtev standarda, ki obravnava tehnične dobavne pogoje za določeno vrsto materiala, od namena uporabe konstrukcije ali varjenega izdelka, pa tudi od postopka varjenja. Velikokrat pa je ta temperatura določena med pogodbenimi strankami (naročnik-izvajalec).

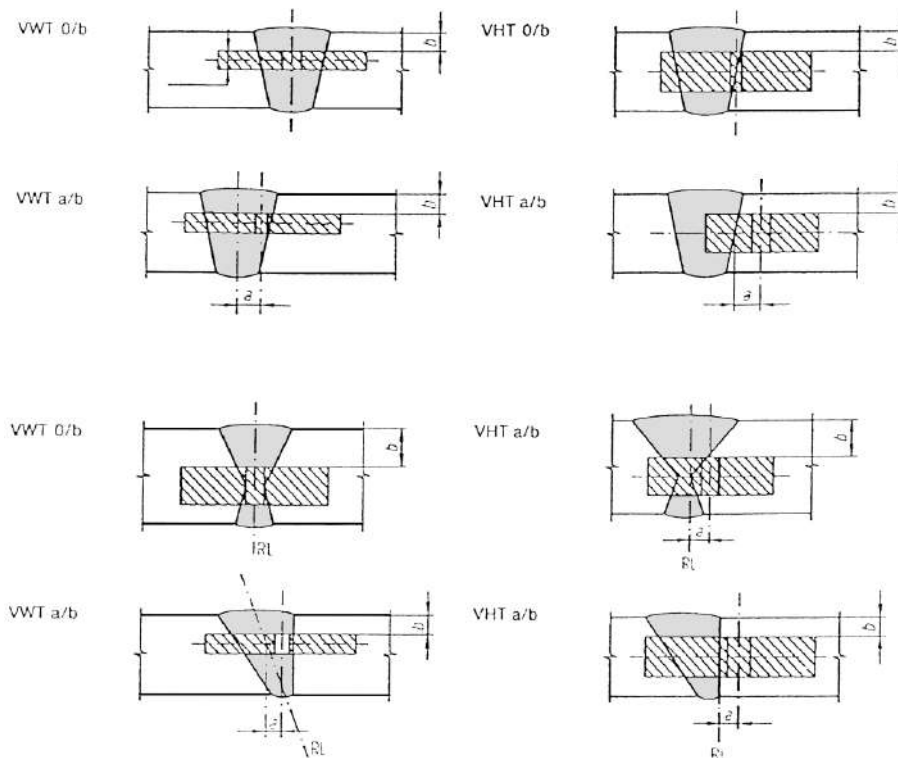
Po IIW priporočilih je najmanjša dovoljena žilavost (povprečje treh preizkušancev) zvarnih spojev 27 J, kar načeloma velja tudi za mehanske lastnosti čistih zvarov. Vendar pa za čiste zveze praktično vsi standardi za dodatne materiale zahtevajo povprečno žilavost 47 J pri določeni temperaturi in minimalno vrednost posameznega preskusa 27 J. Izjema so le visokolegirana (nerjavna in ognjeodporna) jekla, nikelj in Ni-zlitine, aluminij in Al-zlitine ter palice za plamensko varjenje. Pri vseh teh materialih žilavost zvarnih spojev ni glavni parameter. Za nekatere dodatne materiale iz skupine toplotno obstojnih Cr-Mo jekel so dovoljene tudi nižje povprečne udarne žilavosti.



Slika 2.1.12: Oblika epruvete za določanje žilavosti v zvaru je običajno enaka tisti za določanje žilavosti pri osnovnem materialu



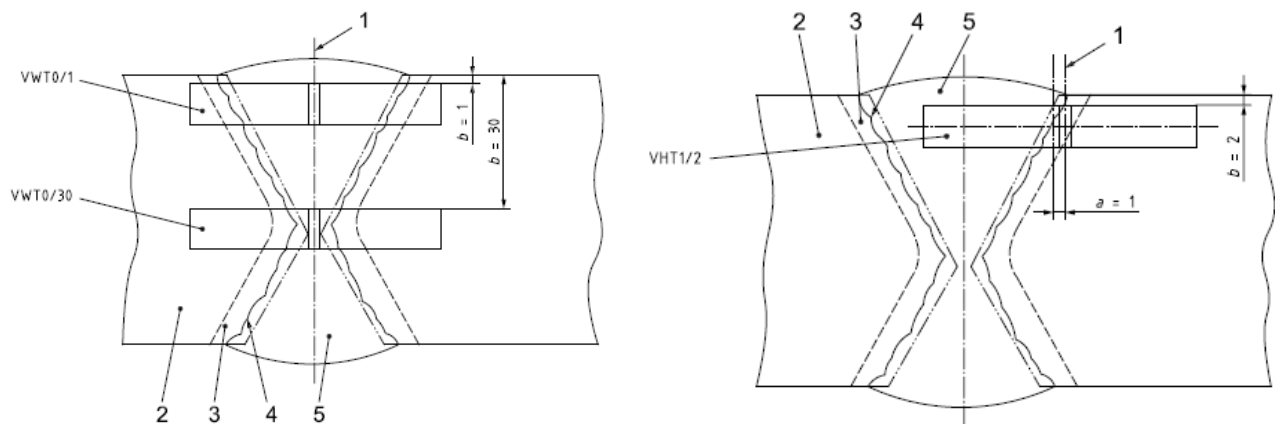
Slika 2.1.13: Lega epruvete in položaj vzdolžne zarez v zvaru /sredina zvara, TVP



Slika 2.1.14: Lega epruvete in položaj pravokotne zareze v zvaru / sredina zvara, TVP / pri različnih oblikah zvarov.

**Pomen oznak:** VWS: ISO-V zareza v varu (Weld) smer zareze vzporedno s pločevino (S)  
 VWT: ISO-V zareza v varu (Weld) smer zareze pravokotno na pločevino (T)  
 VHS: ISO-V zareza v TVC (Heat affected zone) smer zareze vzporedno s pločevino (S)  
 VHT: ISO-V zareza v TVC (Heat affected zone) smer zareze pravokotno na pločevino (T)

Pri uporabi ISO-V zareze je prva črka v oznaki V, pri uporabi ISO-U zareze pa je to črka U.



Slika 2.1.15: Tipični primeri označevanja lege preskušanca (1..os zareze, 2..osnovni material, 3..TVC, 4. linija spajanja, 5...var)

Temperatura preskusa, lokacija, vrsta in velikost preskusnih vzorcev ter smer zareze mora biti v skladu z relevantnimi aplikativnimi standardi (npr. za certificiranje postopkov varjenja). Pozicijo zareze je potrebno locirati z rahlim jedkanjem površine preskusnega vzorca.

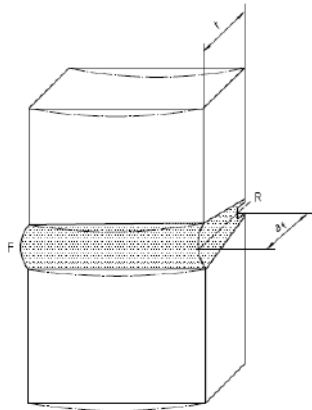
**Vsebina poročila o preskusu:**

- referenca na standard ISO 9016,
- oznaka preskusnega vzorca,
- skica, če je zahtevano (lege epruвет),
- tip in dimenzije opaženih nepopolnosti (lokacija preloma, vrsta preloma-žilav ali krhek),
- preskusna temperatura,
- izmerjena udarna žilavost za dejansko velikost preseka preskušancev (J),
- preračunana udarna žilavost v (J) na standardne epruветe preseka 10×10 mm.

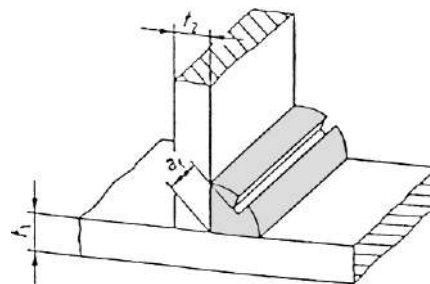
**Peiskava varljivosti po Čabelki:** Ta zahteven test je v bistvu razširitev preiskvae udarne žilavosti osnovnih materialov in zvarov s pripravo 12 epruвет v obliki ISO-U iz testne pločevine 300 × 320 mm in dveh dodatnih z roba pločevine. Debelina pločevine je nad 10 mm, v delu kjer so epruветe izrezane, pa je stanjšana na 10 mm. Prva epruветa se izreže iz sredine zvara, nato pa se položaj zajemanja vzorcev vedno bolj pomika v osnovni material. Tako so vse strukture v zvaru, TVP in osnovnem materialu enakomerno pokrite (po EN ISO 9016 se meritev žilavosti izvaja samo v zvaru in v TVP). Preizkus je namenjen ugotavljanju zavarljivosti jekla, kot merilo zavarljivosti pa se običajno veljajo priporočila po IIW, da žilavost posameznega vzorca ne sme pasti pod 27 J. Dodatna zahteva pri tem preskusu je, da minimalna udarna žilavost katere koli od 12 epruвет ne sme pasti pod 50 % udarne žilavosti osnovnega materiala epruветe, ki je izdelana iz roba pločevine. Ta sicer zelo natančen test je zahteven zaradi dolgotrajnega določanja položaja vseh 12 epruвет na pločevini in ni standardiziran.

**2.1.2.4 Lomni preskus zvarnih spojev**

Standard **EN ISO 9017: Porušne preiskave zvarov na kovinskih materialih – Lomni preskus** vključuje oblike in velikosti epruвет za testiranje loma in pripravo zareze. Preizkusi loma se izvajajo tako na sočelnih kot na kotnih zvarih (sliki 2.1.16, 3.1.17). Po zaključku loma pregledamo lomno površino in ugotovimo napake na zvarnih spojih, največkrat zlepe in neprovarjena mesta. Za certificiranje varilcev, ki varijo kotne zve, je lomni presku bistven za ugotavljanje uspešnosti kvalifikacije varilca. V praksi je do 80 % vseh zvarnih spojev dejansko kotnih, zato je odkrivanje nepravilnosti na kotnih zvarih zelo pomembno za doseganje ustrezne kakovosti varjenih konstrukcij. Najpogostejše napake, ki se pojavijo pri varjenju kotnih zvarov so zlepi kar je na prelomni površini enostavno določiti.



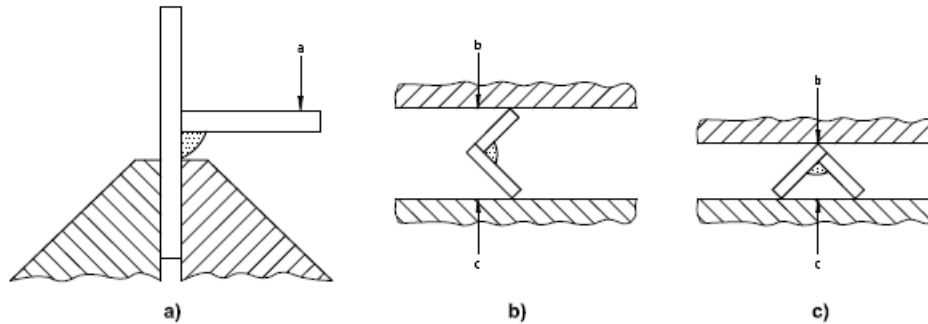
Slika 2.1.16: Vzdolžna zareza na sočelnem zvaru



Slika 2.1.17: Vzdolžna zareza na kotnem zvaru

V odvisnosti od duktilnosti osnovnih materialov se lahko uporabljajo ostre ali zaobljene zareze. Za materiale z visoko duktilnostjo (Al-zlitine, Cu-zlitine) se priporoča uporaba ostrih zarez. Globina zareze mora biti dovolj velika, da se zvar prelomi. Za sočelni zvarni spoj po sliki 16 mora biti prskusna debelina  $a_f$  večja ali enaka 80 % originalne debeline preskusnega vzorca  $t$ . Za kotni zvarni spoj po sliki 2.1.17 naj bo globina zareze do 1 mm. Kotni zvarni spoji (FW) se lomijo po primerih na sliki 2.1.18.





Slika 2.1.18: Primeri prelomnih preskusov za kotne zvarne spoje (FW)

Za duktilne materiale, kot so npr. avstenitna jekla, Al-zlitine, Cu-zlitine in Ni-zlitine, je potrebno omejiti debelino preskusnih vzorcev in višino kotnih zvarov, povečati širino zarze, zmanjšati radij zarezne in povečati obremenitev udarca kladiva, če se zahteva prelom v varu.

Po končanem prelomnem preskusu je potrebno pregledati vizualno prelomno površino v skladu s standardom ISO 17637 za VT preiskave zvarnih spojev. Za jasno detekcijo in identifikacijo nepravilnosti se lahko uporabi povečevalno steklo s povečavo do 5 x. Potrebno je opisati videz prelomljene površine. Vrsto in lokacijo prisotne nepravilnosti je potrebno zabeležiti v poročilo o preskusu. Kakovost preloma se ocenjuje skladno s standardoma ISO 5817 (jeklo, Ni-zlitine) ali ISO 10042 (Al-zlitine, Cu-zlitine). Nivo kakovosti je določen z aplikativnim standardom (npr. za certificiranje varilcev ali varilnih postopkov).

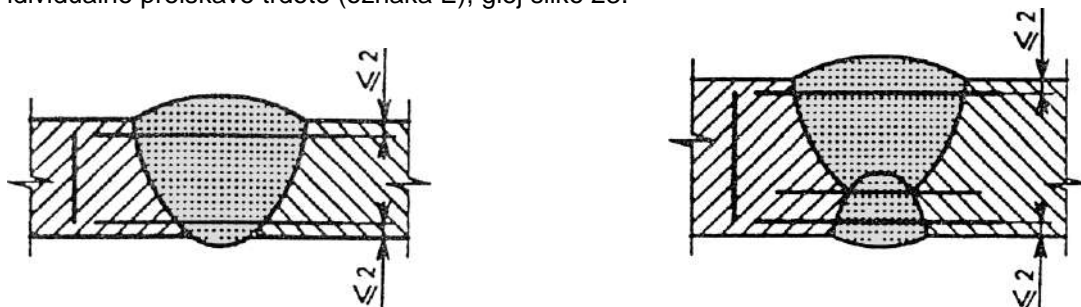
#### Vsebina poročila o preskusu:

- referenca na standard ISO 9017,
- oznaka preskusnega vzorca,
- vrsta zvarnega spoja (BW, FW), debelina in dolžina preskušanca, lega zarezne (stranska, vzdolžna) in oblika zarezne (kvadratna-q, okrogla-r, ostra-s),
- zapisi o vrstah, lokacijah in velikostih vseh nesprejemljivih nepravilnosti v skladu z relevantno stopnjo kakovosti zvarnega spoja.

#### 2.1.2.5 Preizkusi trdote zvarnih spojev pri atestiranju postopkov varjenja

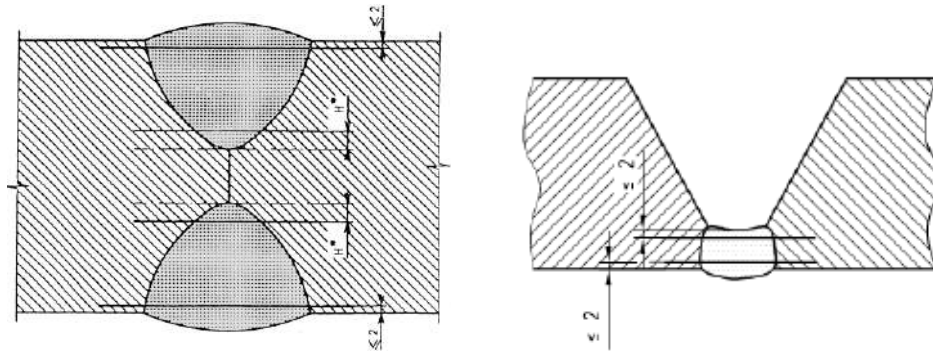
Standard **EN ISO 9015-1: Porušitveni preizkusi zvarov na kovinskih materialih - Preizkušanje trdote - 1. del: Preskušanje trdote na obločno varjenih spojih** obravnava procedure merjenja trdote na različnih obločno varjenih zvarnih spojih. Preskusi trdote se morajo izvajati po Vickersu v skladu z EN ISO 6507-1. Uporabljajo se meritve z HV 10 ali HV 5. Za trdoto navarov se uporablja merjenje po Brinellu HB 2,5/15,625 ali HB 1/2,5 skladno z EN ISO 6506-1. Minimalna razdalja merilne linije od roba pločevine je vedno 2 mm ali več, razdalja med posameznimi vtiski pa 0,7-1 mm. Preiskava trdote je možno izvajati na 2 načina:

- s preiskavo po linijah merjenja trdote (angl. *rows of indentations-R*), glej slike 19 do 22;
- z individualno preiskavo trdote (oznaka E), glej sliko 23.



a) Enostranski sočelni zvar, eno in večvarkovni

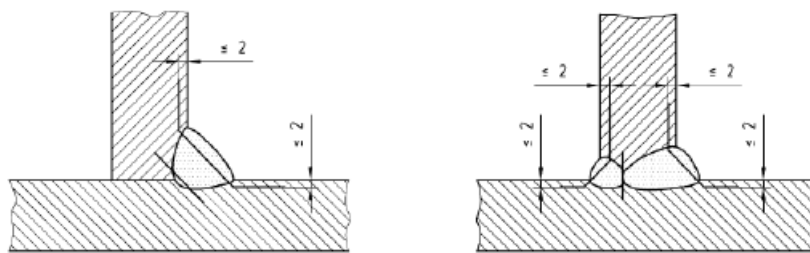
b) Dvostranski sočelni zvar, eno in večvarkovni



c.) Večvarkovni dvojni U-zvar

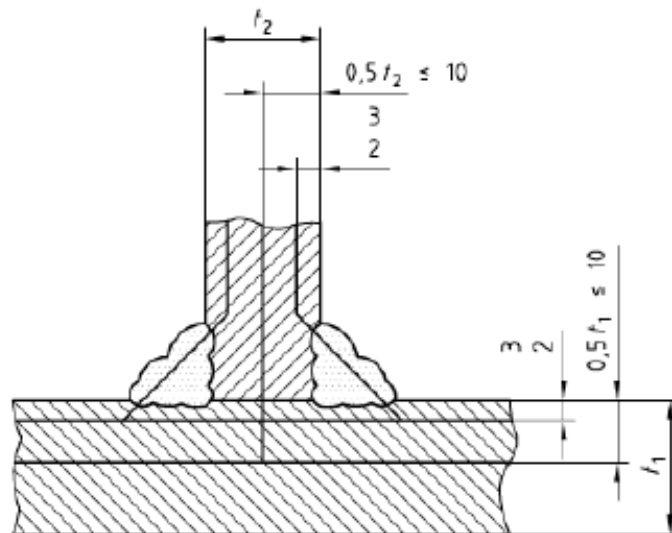
d.) Varek v korenu za oceno zakaljenosti (npr. po TIG)

Slika 2.1.19: Linije merjenja trdote v sočelnih zvarih



Slika 2.1.20: Linije preverjanja trdote v kotnem (levo) in T-zvaru (desno)

Linije merjenja trdote morajo dovoljevati oceno trdote zvarnega spoja. Za Al-zlitine in Cu-zlitine ni potrebno meriti linij trdote v korenih zvarov (slika 2.1.21).

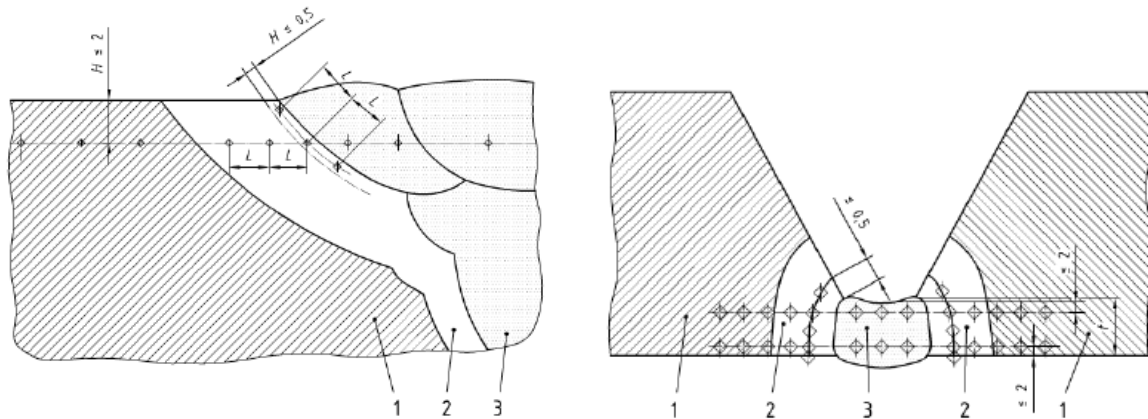


Slika 2.1.21: Linije merjenja trdote v Al- in Cu-zlitinah na dvostranskih večvarkovnih kotnih zvarih

Število in razmik vtiskov naj bo dovolj veliko, da se definirajo območja zmeščanja zaradi varjenja. V tabeli 3 so podani priporočeni razmiki med središči vtiskov v TVC zvarnih spojev. Za materiale, ki se zakalijo v TVC (feritna jekla), je potrebno izmeriti še 2 dodatna vtiska na razdalji manj kot 0.5 mm med sredino vtiska in linijo spajanja (slika 2.1.22). Za avstenitna jekla in Ni-zlitine morajo biti za ta primer podane posebne zahteve z relevantnimi aplikativnimi standardi.

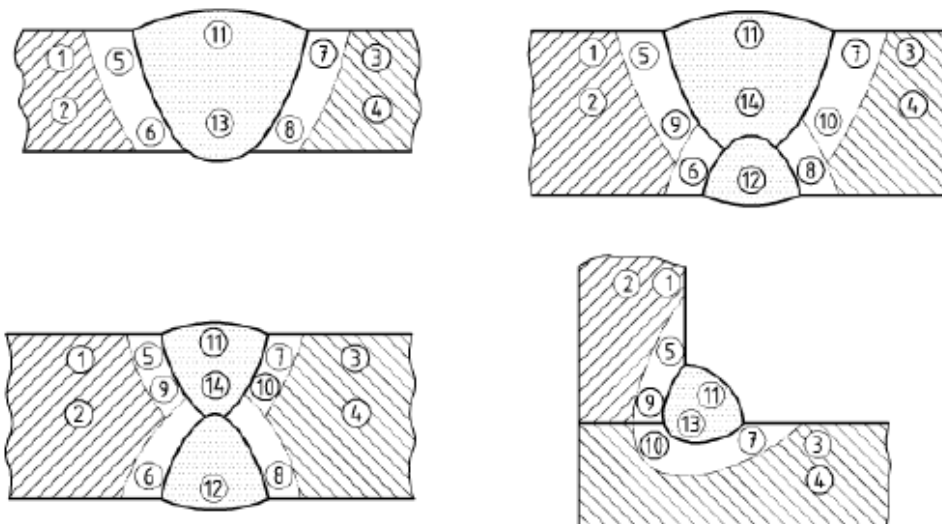
Tabela 2.1.3: Priporočene razdalje L med središči vtiskov v TVC zvarnih spojev za merjenje trdote v liniji (R)

Simbol trdote	Priporočene razdalje med vtiski L (mm)	
	Feritna jekla	Al-zlitine, Cu-zlitine
HV 5	0.7	2.5 - 5
HV 10	1	3 - 5
HB 1/2,5 (navari)	N/A	2.5 - 5
HB 2,5/15,625 (navari)	N/A	3 - 5



Slika 2.1.22: Lege dodatnih dveh vtiskov v TVC feritnih jekel ob liniji spajanja (1..osnovni material, 2..TVC, 3..var)

Pri merjenju trdote HV za kvalifikacijo postopkov varjenja (WPQR) in delovnih vzorcev se poslužujemo individualnih vtiskov (E). Skupine 1-4 dajo informacijo o trdoti v nevplivanem osnovnem materialu, skupine 5-10 o trdoti v TVC in skupine 11-14 o trdoti v varu (slika 23). Lokacije vtiskov se določijo na osnovi metalografske preiskave obrusa zvarnega spoja. V vsaki skupini je potrebno opraviti 3 vtiske, razdalje med njimi pa naj ne bo manj kot 2.5 kratnik srednje dolžine diagonale najbližjega vtiska. Za feritna jekla, ki se zakalijo v TVC po varjenju, mora biti izveden vsaj eden vtisk v TVC na razdalji manj kot 0.5 mm med sredino vtiska in linijo spajanja.



Slika 2.1.23: Območja za merjenje trdote HV z individualnimi vtiski E

### Vsebina poročila o preskusu:

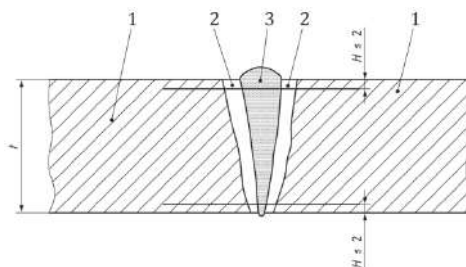
- merjenje trdote z vtiski v liniji (R): vzorec poročila v Aneksu A iz ISO 9015-1
- merjenje trdote z individualnimi vtiski (E): poročila v Aneksu B iz ISO 9015-1

### 2.1.2.6 Preiskava mikrotrdote zvarnih spojev

Mikrotrdoto (večinoma v TVC) obravnava standard **EN ISO 9015-2: Porušitveni preizkusi zvarov na kovinskih materialih-Preizkušanje trdote – 2.del: Preizkušanje mikrotrdote na obločno varjenih spojih**. Uporablja se merjenje trdote po Vickersu v skladu z EN ISO 6507-1. Uporabljajo se meritve z HV 0,1 ali HV 1. Bistvena razlika glede na EN ISO 9015-1 je manjša razdalja med posameznimi vtiski (0,2-0,5 mm).

Preiskavo mikrotrdote je možno izvajati na 2 načina:

- s preiskavo po linijah merjenja trdote (angl. *rows of indentations-R*), glej sliko 2.1.24
- z individualno preiskavo trdote (oznaka E), glej sliko 2.1.25.



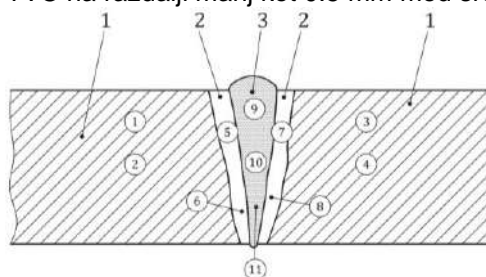
Slika 2.1.24: Merjenje mikrotrdote po liniji vtiskov (R) za jekla (1..osnovni material, 2..TVC, 3..var)

Za Al-zlitine in Cu-zlitine ni potrebno meriti linij trdote v korenih sočelnih zvarnih spojev. Število in razmik vtiskov naj bo dovolj veliko, da se definirajo območja zmečanja zaradi varjenja. V tabeli 4 so podani priporočeni razmiki med središči vtiskov v TVC zvarnih spojev. Za materiale, ki se zakalijo v TVC (feritna jekla), je potrebno izmeriti še 2 dodatna vtiska na razdalji manj kot 0.5 mm med sredino vtiska in linijo spajanja (slika 22). Za avstenitna jekla in Ni-zlitine morajo biti za ta primer podane posebne zahteve z relevantnimi aplikativnimi standardi.

Tabela 2.1.4: Priporočene razdalje L med središči vtiskov v TVC zvarnih spojev za merjenje mikrotrdote v liniji (R)

Simbol trdote	Priporočene razdalje med vtiski L (mm)	
	Feritna jekla	Al-zlitine, Cu-zlitine
HV 0.1	0.2	0.6 - 2
HV 1	0.5	1.5 - 4
HV 5	0.7	2.5 - 5

Pri merjenju mikrotrdote HV kot dodatne preiskave za kvalifikacijo postopkov varjenja (WPQR) se poslužujemo individualnih vtiskov (E). Skupine 1-4 dajo informacijo o trdoti v nevplivanem osnovnem materialu, skupine 5-8 o trdoti v TVC in skupine 9-11 o trdoti v varu (slika 25). Lokacije vtiskov se določijo na osnovi metalografske preiskave obrusa zvarnega spoja. V vsaki skupini je potrebno opraviti 3 vtiske, razdalje med njimi pa naj ne bo manj kot 2.5 kratnik srednje dolžine diagonale najbližjega vtiska. Za feritna jekla, ki se zakalijo v TVC po varjenju, mora biti izveden vsaj eden vtisk v TVC na razdalji manj kot 0.5 mm med sredino vtiska in linijo spajanja.



Slika 2.1.25: Območja za merjenje mikrotrdote HV z individualnimi vtiski E (1..osnovni material, 2..TVC, 3..var)

#### **Vsebina poročila o preskusu:**

- merjenje mikrotrdote z vtiski v liniji (R): vzorec poročila v Aneksu A iz ISO 9015-2
- merjenje mikrotrdote z individualnimi vtiski (E): poročila v Aneksu B iz ISO 9015-2



### 2.1.2.7 Rezime porušnih preiskav zvarnih spojev

Z mehanskimi preiskavami epruvete iz zvara določamo:

- natezno trdnost najslabšega mesta v zvaru
- mejo plastičnosti, natezno trdnost, izdolžitev in kontrakcijo pri trganju,
- ustreznost izbranih parametrov varjenja in lastnosti TVP (upogibom epruvete zvara),
- ravnornost lastnosti po preseku zavra (merjenje trdote v karakterističnih območjih na makro in mikrobrusu),
- odpornost zvara na udarne obremenitve (epruvete za preiskave udarne žilavosti zvara).

Vsi rezultati preiskav se beležijo in primerjajo z ustreznimi vrednostimi, ki so predpisane v standardih za osnovni material, zvar ali z vrednostmi iz certifikata ali nekih drugih predpisov za kakovost proizvoda, ki je predviden za uporabo v nekem specifičnem okolju. V moderno opremljenih preiskovalnih laboratorijih je možno izvesti dinamične preiskave zvarov in preveriti odpornost zvarov na utrujanje.

### 2.1.3 Druge porušne preiskave zvarnih spojev

#### 2.1.3.1 Preiskave in merjenja delta ferita v nerjavnih jeklih

Feritno število FN je merilo vsebnosti delta ferita v zvarjenih spojih iz nerjavnega jekla. Določena minimalna količina ferita v večini zvarnih spojev na avstenitnih nerjavnih jeklih je zaželena predvsem zaradi odpornosti proti tvorbi vročih razpok. Zgornja meja ferita v nerjavnih avstenitnih spojih je določena glede na korozijsko odpornost v določenih okoljih ali glede na omejitev krhkosti pri pretvorbi ferita v sigma fazo med toplotno obdelavo ali pri delu pri povišanih temperaturah. Zgornja meja ferita v zvarih na dupleks nerjavnih jeklih je določena glede na korozijsko odpornost v določenih okoljih oziroma glede na zagotavljanje duktilnosti, žilavosti in korozijske odpornosti v varjenem stanju.

Trenutno ne obstaja idealna eksperimentalna metoda, ki bi lahko dala absolutno vrednost vsebnosti ferita v zvaru, tako s porušitvijo kot brez porušitve. To je privedlo do razvoja koncepta "feritnega števila FN" na mednarodni ravni. Feritno število FN je opis vsebnosti ferita v zvarnem spoju, določeno s standardizirano metodo. Nedavne raziskave kažejo, da je pri višjih vrednostih FN volumenski delež delta ferita za faktor 1.3 – 1.5 manjši od vrednosti FN.

#### Merjenje feritnega števila FN po ISO 8249:

Metoda temelji na merjenju sile, potrebne za ločitev magneta določene velikosti in moči iz površine zvarnega spoja. Razmerje med ločevalno silo in feritnim številom FN dobimo z uporabo primarnih kalibracijskih standardov, ki so sestavljeni iz nemagnetnih prevlek bakra (Cu) različnih debelin, ki so pritrjene na magnetno podlago iz nelegiranega jekla. Vsaka debelina nemagnetne prevleke ustreza določenemu feritnemu številu FN. Debelina prevleke 0,02 mm ustreza FN 110.5, debelina premaza 3 mm pa FN 1.36. Ta metoda ni primerna za merjenje vsebnosti ferita v osnovnem materialu. Ker niso vsi merilniki FN primerni za uporabo s primarnimi kalibracijskimi standardi, obstajajo tudi sekundarni kalibracijski standardi. Izdelani so iz navara nerjavnega avstenitnega jekla AISI 304L na nelegiranem feritnem jeklu ter iz centrifugalno litih cevi iz avstenitnih in dupleks nerjavnih jekel, ki imajo podobno mikrostrukturo kot je v zvaru. Na sliki 2.1.26 je prikazan prenosni merilec feritnega števila, kjer je možno odčitati FN zvarnega spoja neposredno na skali.



Slika 2.1.26: Prenosni merilnik feritnega števila (FN) na nerjavnih zvarnih spojih



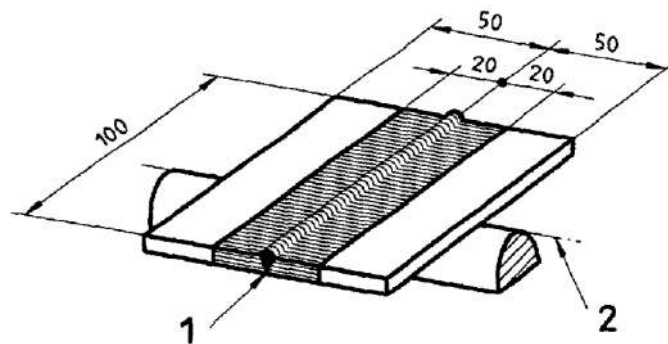
### **Priprava površine zavra za merjenja delta ferita po ISO 17655:**

Površina za merjenje delta ferita mora biti na sredini zvara, narejena z brušenjem ali pilenjem. Med brušenjem se ne smejo pojaviti nesprejemljive mikrostrukturne spremembe (martenzit) ali obarvanost površine. Dolžina merilne površine je 40 mm, minimalna širina pa 5 mm. Pred začetkom meritve je treba FN meter kalibrirati s sekundarnim kalibracijskim standardom po ISO 8249 glede na predvidene meritve FN v zvaru. Meritev je treba opraviti na 6 točkah v isti liniji, na medsebojni razdalji 8 mm. Izmerjeno feritno število je povprečje vseh šestih meritev, zaokroženo na celo število.

### **2.1.3.2 Preiskava odpornosti nerjavnih jekel na interkristalno korozijo**

Preiskava odpornosti feritnih, avstenitnih in duplex nerjavnih jekel na interkristalno korozijo se izvaja z naslednjima dvema metodama:

- Nerjavna jekla brez Mo, ki so namenjena delovanju v zmerno koncentrirani dušikovi kislini HNO<sub>3</sub>, preiskujemo v vroči vodni raztopini 65 % koncentrirane dušikove kisline HNO<sub>3</sub>. Ker se preskus izvaja v 5 ponovitvah v obdobju 48 ur, je rezultat preskusa izguba mase jekla (hitrost korozije) na enoto mm / leto ali gram / m<sup>2</sup> × h (gramov na kvadratni meter na uro). Test se imenuje tudi Hueyjev test. Feritna nerjavna jekla se ne preiskujejo s to metodo.
- Nerjavno jeklo z Mo, ki je namenjeno delovanju v žveplovi kislini H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, preiskujemo v topli vodni raztopini 16 % ali 35 % koncentrirane žveplove kisline H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> z dodatkom približno 10 % bakrovega sulfata CuSO<sub>4</sub>, tako da je vsebnost bakra v raztopini vedno 50 g / L (metodi A in B). Še strožji je test s 40 % koncentrirano žveplovo kislino in 2,5 % fero sulfata Fe<sub>2</sub>(SO<sub>3</sub>)<sub>4</sub> v topli vodni raztopini (metoda C). Test se izvaja 20 ur. Vzorec po sliki 2.1.27 (osnovni material in zvarni spoj) se po potopitvi v takšno raztopino upogne za kot > 90°. Po upogibanju s povečevalnim steklom (10-kratna povečava) opazujejo morebitne razpoke zaradi interkristalne korozije.



Slika 2.1.27: Vzorec za preiskavo interkristalne korozije nerjavnih jekel v vodnem rastvoru H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

#### Metoda A (Strauss-Monypenny test):

- asstenitno nerjavno jeklo s Cr > 16 % i Mo < 3 %
- feritno nerjavno jeklo s 16 % - 20% Cr i Mo < 1 %
- duplex nerjavno jeklo s Cr > 16 % i Mo < 3 %

#### Metoda B:

- avstenitno nerjavno jeklo sa Cr > 20 % i 2 % - 4 % Mo
- duplex nerjavno jeklo s Cr > 20 % i Mo > 2 %

#### Metoda C:

- avstenitno nerjavno jeklo s Cr > 17 % i Mo > 3 %
- superavstenitno nerjavno jeklo sa Cr > 25 % i Mo > 2 %
- feritno nerjavno jeklo s Cr > 25 % i Mo > 2 %
- duplex nerjavno jeklo s Cr > 20 % i Mo > 3 %

### 2.1.3.3 Preiskava občutljivosti na pojav hladnih razpok v zvarih

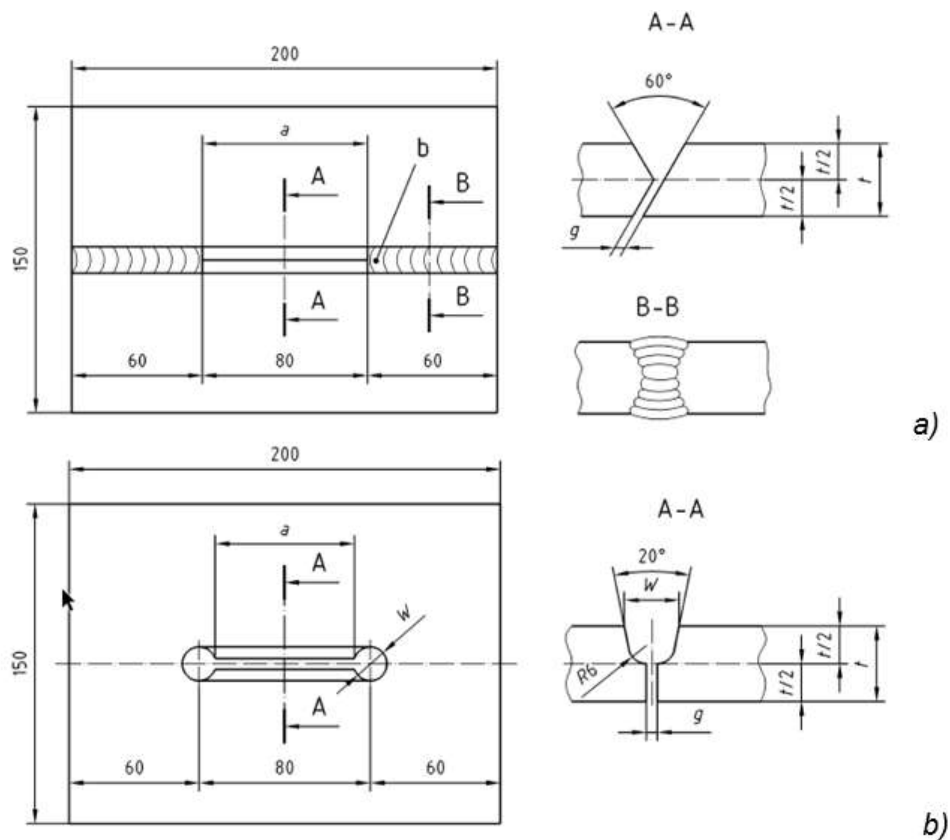
Pri preiskavah za ugotavljanje občutljivosti jekla na hladne razpoke je potrebno, da so prisotni vsi trije vzroki za nastanek razpok (presežek vodika H v trdni raztopini, neodpornost na lom, ki je funkcija neustrezne mikrostrukture ključnega dela zvara in obstoj zaostalih napetosti -ZN), in to v takem razmerju, kot je v najzahtevnejših primerih ali v najbolj neugodnih varilnih pogojih. Nekatere preiskave so kvalitativne, druge pa bolj ali manj kvantitativne. Standard **ISO 17642-1 / 2/3: Preskusi zvarov na hladne razpoke – Načini obločnega varjenja** opisuje glavne porušne preiskave, ki so namenjene ugotavljanju nagnjenosti jekel k pojavu hladnih razpok. Naslednja tabela opisuje preiskave hladnih razpok (vrsta, uporabnost).

Tabela 2.1.5: Preiskva hladnih razpok s samopritrjevanjem (eng. self restraint) po ISO 17642-2

Vrsta preiskave	Uporabnost
CTS test	Kvalifikacija dodatnih materialov, osnovnih materialov in postopka varjenja
Y-test (žleb) (Taken proba) (Tekken)	<u>Določanje:</u> - minimalnega linijskega vnosa toplote $Q_L$
U-test (žleb) (Lehigh proba) (Lehigh)	- minimalne temp. predgrevanja in medvarkovne temperature - maksimalne vsebine difundiranega vodika $H_b$
Opomba: Preiskave omogočajo kvalitativno ocenjevanje (razpoka/ ni razpoke).	

Tabela 2.1.6: Preiskva hladnih razpok z uporabo zunanje obremenitve (engl. externally loaded) prema ISO 17642-3

Vrsta preiskave	Uporabnost
Implant test	Kvalifikacija dodatnih materialov in osnovnih materialov
	<u>Določanje:</u> - minimalnega linijskega vnosa toplote $Q_L$ - minimalne temp. predgrevanja in medvarkovne temperature - maksimalne vsebine difundiranega vodika $H_b$ - kritične napetosti natega.
Opomba: Preiskave omogočajo kvantitativno ocenjevanje (določanje meje razpoke/ brez razpoke).	



Slika 2.1.28: Dve preiskavi varivosti s samovpenjanjem za preiskavo občutljivosti jekla na pojav hladnih razpok  
a) Y-test za preskus OM, b) U-test za preskus DM

Za kvalitativne teste varivosti je značilno, da so lahko z vpenjanjem (CTS) ali samovpenjanjem (Y, U), pri kvantitativnih pa se vpliv ZN simulira z uporabo zunanje sile (Implant test). Slika 2.1.28 shematsko prikazuje dva preskusa varljivosti s samovpenjanjem po ISO 17642-2: Y-test in U-test. Prvi test se uporablja za preiskavo osnovnih materialov, drugi pa za preiskavo dodatnih materialov (DM). Slika 2.1.29 prikazuje kvantitativni Implant test z uporabo zunanje sile.

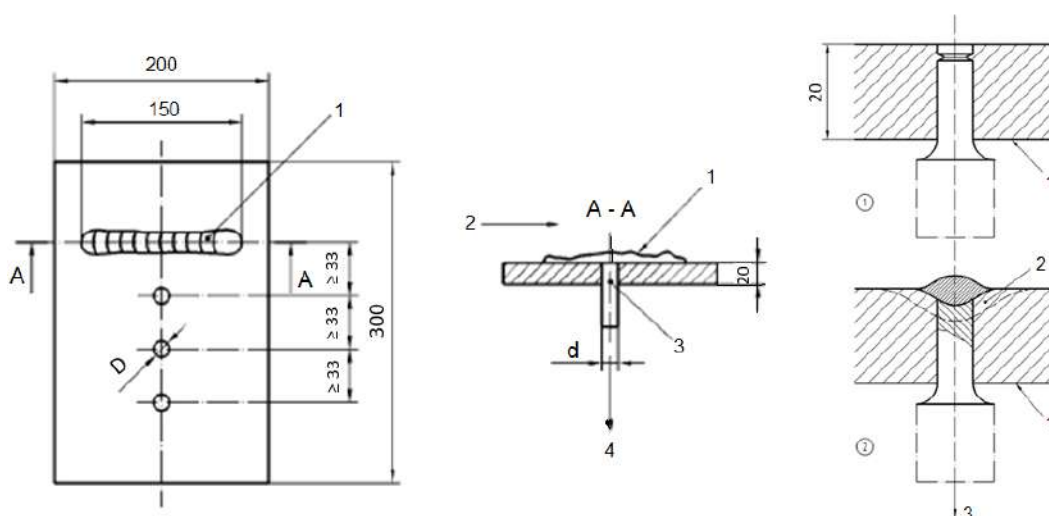
### **Y-test (Tekken test)**

Pripravimo robove dveh kosov OM predpisanih dimenzij 200 x 75 in debeline 10 - 50 mm, na obeh koncih na razdalji 60 mm za izdelavo X-spoja, na sredini v obliki asimetrične Y, kot je prikazano na sliki 28 a. Najprej zavarimo oba X-spoja in vzorec žarimo. Na ta način zmanjšamo nivo ZN zaradi varjenja. Na ta način zagotovimo samovpenjanje preiskovanega varka v Y-žlebu, ko se ta med kristalizacijo in ohlajanjem poskuša skrčiti, pri čem se pojavijo ZN. Preizkušeni varek se izvede z elektrodo predpisane debeline, s predpisanim tokom in s predpisano hitrostjo varjenja. Raven nastalih ZN je zaradi samovpenjanja tako visok, kot bi bila pri varjenju korenskega varka v najbolj vpetem primeru. Z obliko varilnega žleba je zagotovljena koncentracijo napetosti, ki jo srečujemo v najbolj neugodnih varilnih pogojih. Edino, kar lahko pri tem testu spremenimo, je temperatura predgrevanja, temperatura in čas morebitnega naknadnega segrevanja ter vsebnost vlage v plašču elektrode. Količina H, vnesena v talino zvara, se spreminja s temperaturo in časom sušenja elektrode

Po varjenju in določenem času za nukleacijo hladnih razpok (po 24 ali 48 urah) se preiskovani varek (plast) razreže in se iz 5 vzorcev naredijo obrusi za mikroanalizo. Pod mikroskopom analiziramo varek (var) in TVP. Velikost možnih hladnih razpok je mogoče oceniti z odstotkom načetega materiala na vsakem obrusu. Preizkuse se ponavlja pri različnih temperaturah predgrevanja, dokler se hladne razpoke v zvaru ne pojavljajo več.

### **Implant test**

Pripravimo ploščo predpisane velikosti in naredimo odprtino (premer implanta je 6 mm ali 8 mm), kot je prikazano na sliki 2.1.29. Iz preiskovanega jekla naredimo odprtino prilagojeno valju s predpisano krožno strojno zarezo (implant). Implant vstavimo v ploščo, njegove teme pa poravnamo s površino plošče in izvedemo varjenje, tako da povežemo implantat in ploščo. Varek (zvar) naredimo z elektrodo predpisane debeline, s predpisanim tokom in s predpisano hitrostjo varjenja. Ker implantat nalega na odprtino, je hlajenje tako hitro kot pri varjenju tako debele plošče. Razdalja strojne zareze od temena vsadka včasih ustreza grobozrnatemu delu TPV na implantu. Obdelovanec položimo na debelo in togo ploščo preiskovalne naprave, drugi konec vsadka pa vpnemo v hidravlično ali pnevmatsko napravo, s katero implantat obremenimo v vzdolžni smeri s silo, ki se nenehno prilagaja potencialnemu premiku zaradi plastifikacije, krčenja ali pojava razpok. Obremenitev traja do zloma oziroma 24 ur. Če ne pride do zloma, implantat razrežemo z navarom in analiziramo na hladne razpoke.



Slika 2.1.29: Implant test za določanje nagnjenosti osnovnih materialov k hladnim razpokam

### 2.1.3.4 Preiskava občutljivosti na nastanek vročih razpok v zvarnih spojih

Pri preiskavi za določanje občutljivosti jekla na nastanek vročih razpok je potrebno ustvariti pogoje za nastanek vročih trzopok v zvaru in TVP z razvojem deformacij tekom ohlajanja zvarnega spoja ali preseganjem žilavosti določenega dela zvarnega spoja. Skupina standardov **ISO 17641-1/2/3: Preiskava zvarnih spojev na vroče razpoke – Elektroločni načini varjenja** opisuje glavne porušne preiskave, ki so namenjena za določanje nagnjenosti jekla k nastanku vročih razpok. V naslednji tabeli so opisane preiskave vročih razpok (vrsta, rezultati, uporabnost). Preiskave samovpenjanja zagotavljajo kvalitativno ocenjevanje (razpoke/brez razpok) ali kvantitativno ocenjevanje (določitev meje razpoka/brez razpoke). Preiskava z uporabo zunanje sile (obremenitev) samo kvantitativno ocenjevanje.

Tabela 2.1.7: Preiskava vročih razpok samovpenjanjem (eng. self restraint) po ISO 17641-2

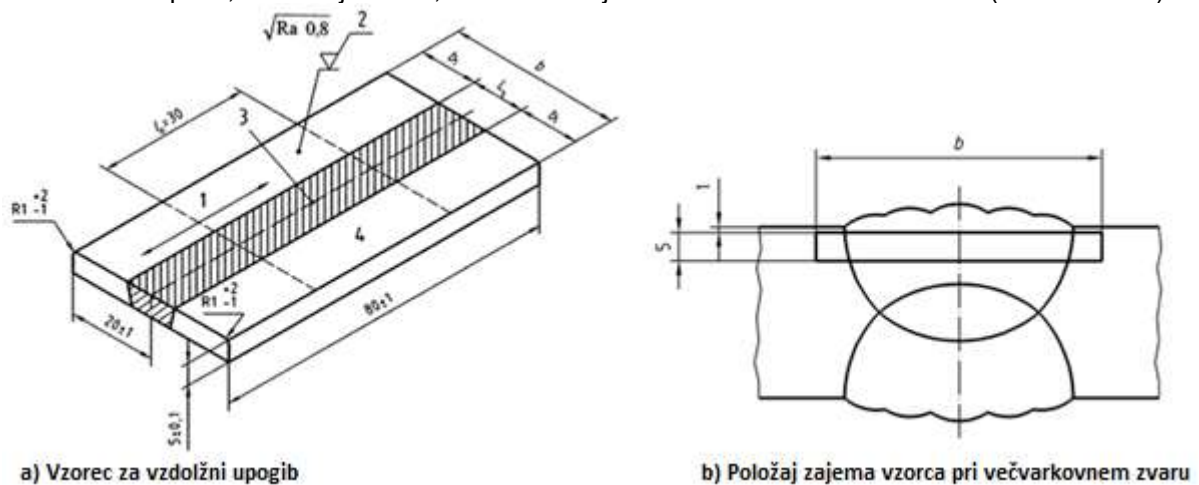
Vrsta preiskave	Vrsta razpoke	Rezultat	Uporaba
Test loma T-zvar.spoja	solidifikacijska	kvalitativen	kvalifikacija in odobritev dodatnih materialov
Natezni test čistega zvara	solidifikacijska	kvalitativen ali kvantitativen	kvalifikacija in odobritev dodatnih materialov; WPQR
Test vzdolžnega upogiba	likvacijska		

Tabela 2.1.8: Preiskava vročih razpok z uporabo zunanje obremenitve (eng. externally loaded) po ISO 17641-3

Vrsta preiskave	Vrsta razpoke	Rezultat	Uporaba
Varestraint	solidifikacijska	skupna dolžina razpoke temp. področje krhkosti BTR	osnovni in dodatni materiali, postopki varjenja WPS
	likvacijska	skupna dolžina razpoke	
Transvarestraint	solidifikacijska	skupna dolžina razpoke	dodatni materiali, WPS
Preiskava z ravnim nategom (PVR-test)	solidifikacijska likvacijska	kritična brzina deformacije	WPS, večvarkovno varjenje, izbira OM, kombinacija OM
Preiskava s toplim nategom (GLEEBLE-test)	solidifikacijska likvacijska	temp. področje krhkosti BTR	izbira in odobritev osnovnih materialov

#### Test z vzdolžnim upogibom

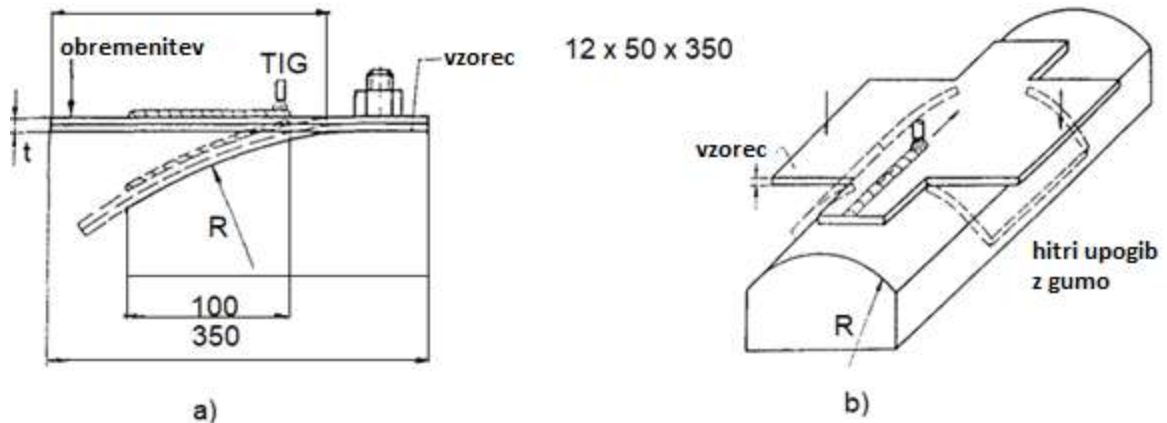
Primeren je za večvarkovno varjenje in za vse postopke obločnega varjenja. Upogib vzorca, ki ga vzamemo, v vzdolžni smeri sočelnega zvara odpre vroče razpoke, ki nastanejo med varjenjem (slika 2.1.30 b). Površina vzorca je med upogibanjem v nateznem območju. Testni vzorec je gladko pobrušen v vzdolžni smeri. Za določitev območja zvara je dovoljeno rahlo jedkanje. Premer upogibnega trna mora biti 20 mm, upogibni kot pa najmanj 120°. Po upogibu površino pregledamo s povečevalnim steklom s povečavo 10 × - 25 ×. Treba je identificirati vse razpoke, ki so daljše od 0,1 mm v srednjem delu vzorca v dolžini 30 mm (slika 2.1.30 a).



Slika 30: Preiskava občutljivosti na vroče razpoke z vzdolžnim upogibom

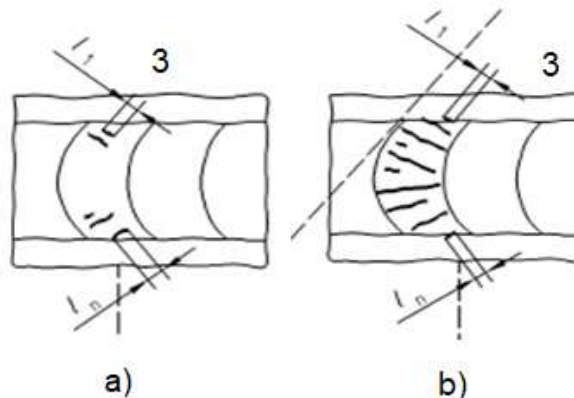
### Varestraint in transvarestraint preiskava

Pri preiskavi se uporabljajo nevpeti vzorci. Z načinom TIG pretalimo material preiskovanega vzorca (OM). Parametri varjenja so standardno izbrani, in sicer 12.5 V, 85 A in 18 cm/min pri nizkem vnosu toplote in 13.5 V, 205 A in 11 cm/min pri visokem vnosu toplote. Pojav ZN pri ohlajanju navara vsled omejenega krčenja pri ohlajanju zvara simuliramo z zunanjo silo, s katero preiskovani vzorec upognemo preko podlage s radijusom R. Hitrost upogibanja vzorca mora biti večja od 1.8 mm/s. Temperatura natežno obremenjenega navara je v bližini gorilnika enaka točki taljenja, na večji razdaljah pa je nižja. Navar se poruši na tistem mestu, kjer se material ne more upreti prisilnem raztegu (slika 2.1.31). OM, ki se poruši, ni odporen na vroče razpoke v zahtevnih pogojih, ko oblika zvara in/ali hitrost varjenja niso optimalni.



Slika 2.1.31: Dve preiskavi odpornosti materiala na vroče razpoke zvarov  
 a) varestraint preiskava za prečne razpoke; b) transvarestraint preiskava za vzdolžne razpoke

Po zaključku preiskave se vsak vzorec pregleda vizualno s stereoskopskim mikroskopom s 25x povečavo in se izmeri skupna dolžina vseh razpok. Slika 2.1.32a prikazuje površino navara pri jeklih, odpornih na vroče razpoke, slika 32b pa površino jekla z omejeno varivostjo, glede na rezultate Varestraint preiskav.



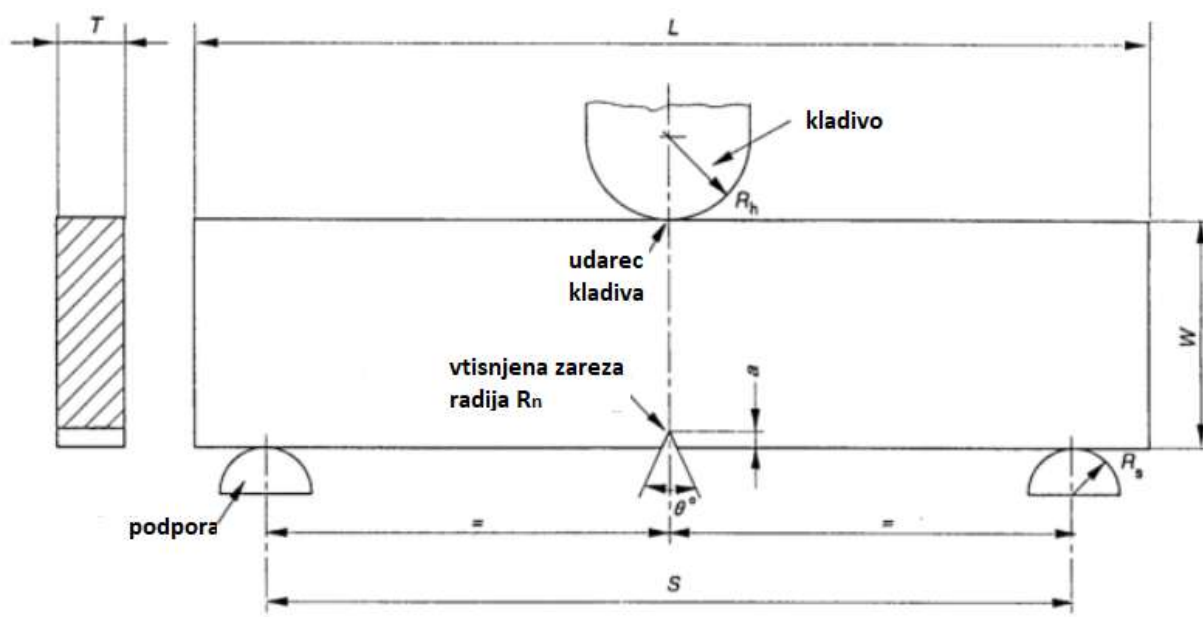
Slika 2.1.32: Površina navara z vročimi razpokami po zaključku Varestraint preiskave



### 2.1.3.5 Udarni upogibni preskus kovinskih materialov (DWTT TEST)

Udarni pregibni preizkus (angl. *Drop Weight Tear Test-DWTT*) po standardu **EN 10274: Kovinski materiali – Udarni pregibni preizkus** je mehanski porušitveni preskus na kovinah, pri katerem določena masa kladiva pade na preskusni vzorec z določene višine in z veliko energijo udarca celo do 100.000 J (za primerjavo: enegija udarca Charpy kladiva je standardno 300 J). Po preskusu padca kladiva se ovrednoti videz prelomnih površin. Tu so vizualno določeni deleži lomne površine strižnega in cepilnega preloma. Vrednotenje pa lahko temelji tudi na dejanski absorbirani energiji preloma preskušenelega vzorca (predvsem za avstenitna jekla).

Preskus se običajno opravi na vzorcih, pridobljenih iz vroče valjanih plošč za izdelavo cevi ali iz cevi z zunanjim premerom večjim od 300 mm in debelino stene več kot 6 mm iz feritnih jekel z mejo plastičnosti do 830 MPa. Pri tem preskusu se vzorec s hladno stisnjeno zarezo in podprtim na obeh koncih poruši, pri čemer pride do udarca nasproti zareze. Namestitev je podobna upogibnemu preskusu v treh točkah z udarno obremenitvijo vzorca. Energija (masa in višina sprostitve kladiva) je nastavljena tako, da se vzorec zlomi in je mogoče površino loma vizualno oceniti.



Slika 2.1. 33: Geometrija preskusnega vzorca za DWTT preskus

Preskus lahko poteka na 2 načina (vedno pri specficirani preskusni temperaturi):

- z meritvijo relativnega deleža strižnega in cepilnega (angl. *cleavage*) preloma z vizualno oceno,
- z meritvijo absorbirane enegije.

Preskušanec mora imeti dimenzije po sliki 33. Razdalja med podporama mora biti  $S=254\text{ mm}$  ( $10''$ ), radius podpor  $R_s=15\text{ mm}$  in radius udarnega dela kladiva  $R_h=25\text{ mm}$  ( $1''$ ). Debelina vzorca T mora obsegati celotno debelino stene cevi ali plošče, vendar največ 19 mm. Dolžina preskusnega vzorca je  $L=305\text{ mm}$  in širina  $W=76\text{ mm}$  ( $3''$ ). Globina hladno vtisnjene zareze je  $a=5\text{ mm}$ , kot zareze pa  $45^\circ$ .

Da bi se zagotovilo regularno širjenje razpoke v preskušancu, mora biti enegija udarca vsaj 1.5 krat večja od absorbirane enegije za prelom. Minimalna enegija udarca  $E_{req}$  se lahko oceni iz preskusa udarne žilavosti po Charpyu (KV), ki se jo prilagodi na prerez preskusnega vzorca za DWTT test:

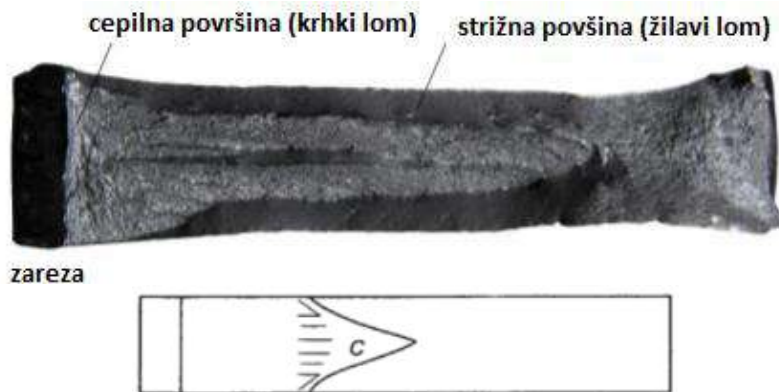
$$E_{req} = 5.6 \times KV \times (A_{DWTT}) / A_{KV} \quad (\text{J})$$

$A_{DWTT}$ ...preseki preloma preskušanca za DWTT preskus ( $\text{mm}^2$ )

$A_{KV}$ .....preseki preloma preskušanca za preskus udarne žilavosti po Charpyu ( $\text{mm}^2$ )

Npr. za preskušaneč debeline 19 mm, ki ima udarno žilavost po Charpyu okvirno KV=150 J, dobimo vrednost energije udarca 14000 J. Takšno enegijo udarca pri prostem padu dosežemo z maso kladiva 285 kg in iz višine padca 5 metrov! Hitrost padca kladiva mora biti pri tem v mejah od 5 m/s do 10 m/s. Jekla za cevovode pri trenutnem stanju tehnike zahtevajo več kot 4000 J udarne energije pri temperaturi preskušanja -4 °C. Podobno kot pri preskusu udarne žilivosti po Charpyu, se pri preizkusnih temperaturah pod 0 °C zahteva, da se preskušaneč čim hitreje poruši (max. čas 10 sekund po odvzemu iz hladilnega medija).

Videz prelomne površine se mora oceniti v pravokotni smeri na površino. Cepilne prelomne površine (C) imajo obliko puščic in so znak krhega loma. Strižne prelomne površine, ki so znak žilavega (duktilnega) loma, se lahko izmerijo s planimetrom oziroma optičnim povečevalom (slika 2.1.34).



Slika 2.1.34: Videz prelomne površine pri DWTT preskusu

#### **Vsebina poročila o preskusu:**

- referenca na standard EN 10274,
- identifikcija preskusnega vzorca,
- dimenzije plošče ali cevi,
- debelina preskusnega vzorca,
- uporabljena enegija udarca (masa kladiva in višina padca),
- delež strižnega (duktilnega) preloma,
- preskusna temperatura,
- energijo absorbcije udarca (za avstenitna jekla).

## 2.1.4 Metalografske preiskave zvarnih spojev

### 2.1.4.1 Sredstva za jedkanje za makroskopske in mikroskopske preiskave

Sestava sredstev za jedkanje zvarov na vseh tehnično pomembnih metalih in zlitinah je podan v tehničnem poročilu **ISO/TR 16060: Porušne priskave zvarov na metalnih materialih – Sredstva za jedkanje za makroskopske in mikroskopske preiskave**. V tabeli 2.1.9 so našeta sredstva primerna za postopek jedkanja (temperatura sredstva za jedkanje, čas jedkanja). **Potrebno je opozoriti, da se pri vseh postopkih dela s mineralnimi kisljinami, rastopi kisljin pripravljajo tako, da se kisljina vlije v vodo, in ne voda v kisljino!**

Tabela 2.1.9: Jedkanje zvarov na metalnih materialih – osnovna sredstva za jedkanje in postopek jedkanja

Vrsta materiala	Sestava sredstev za jedkanje	Čas jedkanja	Uporabnost	
Jekla	99 ml – 95 ml etanol 96 % 1-5 ml HNO <sub>3</sub> 1,42 (NITAL)	1 – 10 sek	nizkolegirana jekla	-mikro (2 % HNO <sub>3</sub> ) -makro (5 % HNO <sub>3</sub> ) -makro (15 % HNO <sub>3</sub> ) za ločevanje ferita od martenzita
	100 ml etanol 96 % 1-5 ml HCl 1,18	5 – 60 sek	nizkolegirana in nerjavna jekla	mikro (pri +40 °C do +50 °C)
	25 ml voda 3 g (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CuCl <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O 50 ml HCl 1,18 15 g železovega klorida Fe <sub>3</sub> Cl (ADLER*)	5 – 10 sek	nizkolegirana in nerjavna jekla	makro
	70 ml voda 30 g železovega klorida Fe <sub>3</sub> Cl	1 – 10 sek	nizkolegirana jekla	makro
	50 ml voda 50 ml HNO <sub>3</sub> 1,42	1 – 10 sek	nerjavna jekla	mikro (elektrolitsko jedkanje)
	50 ml HNO <sub>3</sub> 1,42 50 ml HF 1,13	5 – 30 min	nerjavna jekla	mikro
	100 ml voda 10 g krom (VI) oksid (CrO <sub>3</sub> )	10 – 60 sek	nerjavna jekla	mikro (elektrolitsko jedkanje; odkriva meje avstenitnih zrn, karbide in σ-fazu)
	Ni in Ni-zlitine	65 ml etanol 96 % 35 ml HCl 1,18 4 ml H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (6 %) dodati tik pred uporabo	1 – 10 sek	vse zlitine
a) 75 ml voda i 15 g (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> b) 100 ml HCl 1,18 i 250 g FeCl <sub>3</sub> Zmešati a) in b) ter dodati 30 ml HNO <sub>3</sub> 1,42 (LEPITO)		30 – 120 sek	vse zlitine	makro
Ti in Ti-zlitine	950 ml voda 25 ml HNO <sub>3</sub> 1,42 15 ml HCl 1,18 10 ml HF 1,13 (KELLER**)	1 – 10 sek	vse zlitine	mikro
Al in Al-zlitine	100 ml voda 15 g NaOH	1 – 10 sek	vse zlitine	makro
	950 ml voda 30 ml HNO <sub>3</sub> 1,42 10 ml HF 1,13 (KROLL)	1 – 5 sek	vse zlitine	mikro

\* tudi za Ni in Ni-zlitine

\*\*tudi za Al in Al-zlitine

### 2.1.4.2 Makroskopske in mikroskopske preiskave zvarnih spojev

Standard **EN ISO 17639: Porušne priskave zvarov na metalnih materialih – Makroskopske in mikroskopske preiskave zvarov** je osnovni standard, ki daje priporočila za pripravo vzorca, metode preiskav in glavne cilje teh preiskav. Preiskave se deli na:

- **Makroskopske:** preiskava vzorcev s prostim očesom ali pod majhno povečavo (na splošno manj od 50x), oznaka preiskave »A«
- **mikroskopske:** preiskava vzorcev z mikroskopom s povečavo od 50x do 500x, oz. z ali brez jedkanja, oznaka preiskave »I«

Namen mikro in makro preiskav je neodvisna ocena strukture (vključno s strukturo kristalnih zrn, morfologijo in orientacijo, isceje in vključki) in/ali vezi z različnimi razpokami in votlinami. Tabela 2.1.10 podaja smernice za vrednotenje lastnosti, ki jih lahko opazujemo z mikroskopsko in makroskopsko preiskavo. Preskusni vzorci so na splošno usmerjeni pravokotno na os zvara (prečni presek), ki vključuje čisti var in toplotno vplivano področje (TVP) na obeh straneh. Pred preskušanjem je treba določiti lokacijo, smer in število preskusnih vzorcev glede na uporabljeni standard (npr. za izdelavo WPQR).

Tabela 2.1.10: Priporočila za ocenjevanje lastnosti s makroskopskimi in mikroskopskimi preiskavami

Lastnost	Nepravilnost po ISO 6520-1	Makro preiskava brez jedkanja	Makro preiskave z jedkanjem	Mikro preiskave brez jedkanja	Mikro preiskave z jedkanjem
Vroče razpoke	100	X	X	X	X
Hladne razpoke	100	X	X	X	X
Lamelarno kidanje	100	X	X	X	X
Votline	200	X	X	X	X
Vključki	300	X	X	X	X
Zlepi, neprevarjenost	400	X	X	X	X
Geometrijske nepravilnosti	500	X	X		
Toplotno vplivano področje (TVP)			X		X
Varki, plasti			X		
Meje zrna					X
Struktura zrna					X
Strjevalna struktura			X		X
Priprava roba žleba			X	X	X
Smer valjanja, ekstruzije			X		X
Smer vlaknaste strukture (zrna)			X		X
Segregacija			X		X
Izceje (precipitati)					X
Popravki zvarov			X		X
Mehanični ali toplotni vplivi			X		X

**Opomba:** Nekatere lastnosti, kot npr. izceje in vključki, so lahko izven rezolucije optičnega mikroskopa.

Preskusni vzorec je najbolje pripraviti z rezkanjem (hladnim), brušenjem in/ali poliranjem in jedkanjem, če je to primerno. Korozijska sredstva za zvarne spoje je treba izbrati v skladu z ISO / TR 16060.

**Najpogostejše metode jedkanja so:**

- jedkanje s potapljanjem preiskovanega vzorca v jedkalo,
- jedkanje s brisanjem površine preiskovanega vzorca,
- elektrolitsko jedkanje.

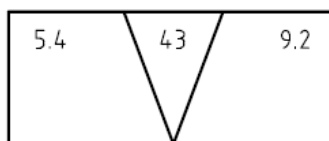
Po koncu jedkanja je potrebno preiskovani vzorec oprati z etil alkoholom in posušiti s fenom. S sredstvi za jedkanje je potrebno rokovati zelo pazljivo, v zaščitnih rokavicah. Vse spojine je potrebno pripraviti v digestorijih, kjer je možno odsesovanje dimov, ki nastanejo tekom mešanja. Zmeraj je potrebno dodajati element, ki se rastali (manjša količina, npr. kisline in baze) v topilo (večja količina, npr. voda ali etil alkohol). Pripravljena površina vzorca je lahko preiskovana pred in/ali po jedkanju ali v skladu z relevantnimi standardi ali specifikacijami.

**Oznake preiskave v poročilu o preiskavi:**

- referenca na standard ISO 17639,
- vrsta preiskave (makroskopska A ali mikroskopska I),
- nejedkano (U) ali jedkano (E),
- objekt preiskave (zvar in/ali osnovni material),

- zvarni spoji (osnovni material levo, osnovni material desno in zvar),
- jedkalo (številka iz tabele v ISO/TR 16060)

Primer za označevanje vrste preiskave v poročilih je naveden spodaj:



Preiskava ISO 17639 – I – E – 43, 5.4 – 5.4 / 9.2 / 43 / xy

Kjer je:

I mikroskopska preiskava

E jedkano

43, 5.4 objekt preiskave (zvar in osnovni material levo)

5.4 Cr-Mo feritno jeklo (oznaka po ISO/TR 15608; 9 % Cr, 1 % Mo)

9.2 niklovo feritno jeklo (oznaka po ISO/TR 15608; 5 % Ni)

43 dodajni material tipa Ni-Cr-Fe-Mo (oznaka po ISO/TR 15608, nad 40 % Ni)

xy številka sredstva za n iz Aneksa v ISO/TR 16060

#### **Vsebina poročila o preskusu:**

- referenca na standard ISO 17639,
- oznaka preiskave (A ali I),
- lokacija in orientacija preskusnega vzorca in preiskovane površine,
- številka WPQR, vrsta osnovnega in dodatnega materiala in PWHT (če je bila uporabljena),
- vrsta jedkala in metoda jedkanja,
- opis preiskovane površine,
- fotografije in/ali skice, velikosti povečave.

### **2.1.5 Standardi za ostale porušitvene preskuse zvarnih spojev**

- 1.) EN ISO 5178: Vzdržni natezni preskus čistih varov na talilno varjenih zvarnih spojih
- 2.) EN ISO 9017: Natezni preskus na križnih in prekrovnih zvarnih spojih
- 3.) ISO/TR 14345: Priporočila za preskuse utrujanja varjenih komponent
- 4.) EN ISO 15653: Preskusi za določitev kvazistatične lomne žilavosti zvarov
- 5.) EN ISO 22826: Meritve trdote na ozkih zvarih, varjenih z laserjem in elektronskim snopom



# PREGLED NEPORUŠITVENIH PREISKOVALNIH METOD

Pripravil: dr. Miloš Jovanović

<b>2.2</b>	<b>Pregled neporušitvenih preiskovalnih metod</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uvod v preiskovalne metode</li> <li>• Področja uporabe različnih NDT metod (PT, MT, RT, UT)</li> <li>• Prednosti in pomanjkljivosti NDT metod</li> </ul>

## 2.2.1 Osnovne NDT metode

NDT (neporušitvene) metode lahko razdelimo na:

### Prostorske:

- Ultrazvočna preiskava (UT)
- Radiografska preiskava (RT)

### Površinske:

- Vizualna preiskava (VT) – predhodi vsem ostalim metodam preiskave
- Preiskava s tekočimi penetranti (PT)
- Preiskava z magnetnimi delci (MT)
- Preiskava z vrtničnimi tokovi (ET)

### Ostale metode:

- Preiskava tesnosti (LT)
- Preiskava z akustično emisijo (AT)
- Termografska preiskava (TT)
- Meritve z merilnimi lističi (ST)

## 2.2.2 Vizualna preiskava - VT

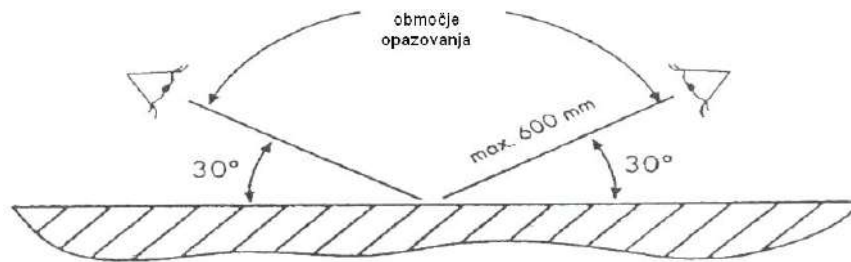
Vizualna kontrola je najstarejša in istočasno najbolj razširjena neporušna metoda preiskave materiala. Po sami izvedbi je zelo enostavna, lahko in hitro izvedljiva in običajno ne stane veliko. Tudi če se na izdelku izvajajo nekatere druge neporušne metode, je zaželeno da se najprej opravi vizualna preiskava. Na ta način se dajo odkriti vse večje nepravilnosti na površini materiala, kar avtomatično zmanjšuje obseg drugih tipov preiskav, ki so bolj zamudni in precej dražji. Vizualna preiskava je z uporabo različnih pripomočkov našla svoje mesto tudi pri odkrivanju manjših napak. Ta oprema ima zadostno preciznost, po drugi strani je enostavna za uporabo. V to opremo spadajo ogledala, lupe, prizme, boroskopi, fiberskopi ter različna merila in merilni instrumenti. Bolj sodobno opremo predstavljajo videoskopi, pri katerih se preko objektivna kamere, senzorja slike in kontrolne enote, slika preiskovane površine prikaže on-line na monitorju.

Vizualna preiskava ima veliko uporabnost pri kovanih, ulitih in varjenih izdelkih. Osnovne lastnosti predmetov, ki vplivajo na vizualno in vsled druge NDT metode, so:

- čistoča površin,
- barva osvetlitve glede na barvo površine objekta,
- oblika objekta,
- temperatura objekta,
- tekstura,
- atmosfera okolice.

Zaradi vseh navedenih pogojev dela mora imeti kontrolor dobre psihofizične sposobnosti.

Neprimerna osvetljenost povzroča utrujenost oči. Pozicija objekta glede na oddaljenost in kot opazovanja je predpisana s standardom. Priporočljiva maksimalna oddaljenost objekta pri vizualni kontroli je 600 mm, kot opazovanja pa ne sme biti manjši od 30° (EN ISO 17637 – standard), kakor je prikazano na sliki 2.2.1.



Slika 2.2.1: Maksimalna oddaljenost in kot opazovanja

### 2.2.3 Preiskava s tekočimi penetranti - PT

**Penetranti** so tekočine, ki imajo sposobnost da na osnovi *kapilarnega efekta* prodrejo v diskontinuitete. Potem, ko se s površine preizkušanca odstrani višek penetranta, začne le-ta izhajati iz diskontinuitete na površino preizkušanca, sam proces pa dodatno pospešuje substanca, ki ji rečemo *razvijalec*. Izhajanje penetranta na površino preizkušanca se imenuje **penetrantska indikacija**, ki naj bi predstavljala dejansko nepravilnost v materialu.

Namen kontrole materialov s tekočimi penetranti je odkrivanje na površino odprtih napak, kot so razpoke, zlepi in poroznosti v samih spojih, ali laminacije, na robovih pločevine. Penetrantska kontrola se lahko izvaja na različnih materialih kot so aluminij, vse vrste jekla, baker, titan, pa tudi keramika in plastika.

Značilnost penetrantov je, da se zelo lahko širijo po površini preizkušanca zaradi dobre omočljivosti, kar je zaželena lastnost penetrantov. Velikost neke nepravilnosti, ki jo je mogoče odkriti, je odvisna od tega kako omočljiv je penetrant na nekem materialu, ter od kapilarnih sil, ki povlečejo penetrant v razpoko. Prehajanje (vstop) penetranta v nepravilnosti in iz nje povzroča kapilarni efekt.



Slika 2.2.2: Potek penetrantske metode (čiščenje predmeta, nanašanje penetranta, čiščenje površine, nanašanje razvijalca)

Penetrantski sistem je sestavljen iz več komponent: čistilec za pripravo površine, penetrant, odstranjevalec penetranta (ki je lahko enak kot čistilec) in razvijalec. Vrste penetrantov in razvijalcev definirajo tudi tehnike penetrantske kontrole. Tehnike kontrole pa so odvisne od vrste oz. barve penetrantov, metode odstranjevanja, nivoja občutljivosti penetranta in uporabne oblike ter agregatnega stanja razvijalca.

#### Delitev penetrantov na osnovi barve

- obarvani (barvno-contrastni) penetranti
- fluorescentni penetranti (visoko občutljivi)
- dvojni penetranti (obarvani+fluorescentni)

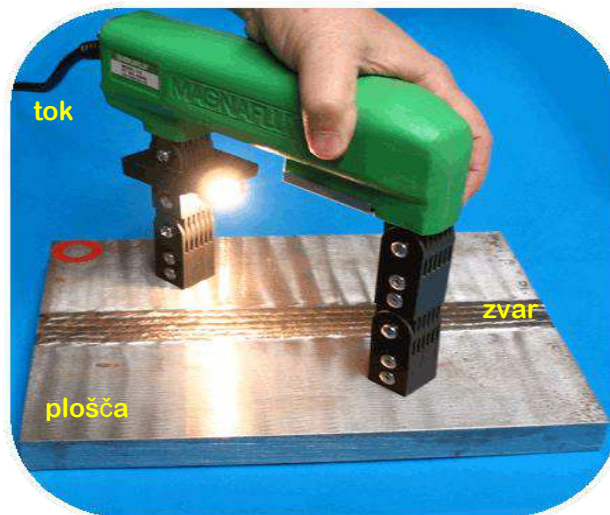
#### Delitev penetrantov na osnovi vrste odstranjevalca

- z vodo pralni penetranti
- s čistilcem odstranljivi penetranti
- post-emulgirajoči penetranti (lipofilični ali hidrofilni) - visoko občutljivi

### 2.2.4 Preiskava z magnetnimi delci - MT

S to metodo kontroliramo nepravilnosti na površinah ali neposredno pod samo površino v **feromagnetnih materialih**. Z nanosom feromagnetnih delcev in vzpostavitev magnetnega polja se delci kopičijo na mestih, kjer je prišlo do sipanja magnetnega polja, in se formirajo v vidno magnetno indikacijo.

Metoda temelji na naslednjem principu: ko se feromagnetni material magnetizira, nepravilnosti, ki ležijo prečno na smer magnetnega polja, izzovejo preusmeritev linij polja okoli diskontinuitete. Ko feromagnetni prah posujemo po površini vzorca, ki je magnetiziran, se delci postavijo po linijah magnetnega polja. Vsako odstopanje od pravilne smeri se takoj pokaže kot indikacija vsled zbiranju delcev. Na ta način dobimo položaj, obliko in velikost nepravilnosti. Za boljšo občutljivost se uporablja tudi prah s fluorescentnimi delci. Izvedba preiskave je prikazana na sliki 2.2.3.



Slika 2.2.3: Magnetni jarem

Pri širokih nepravilnostih na odprti površini ne bo prišlo do indikacije nepravilnosti, če delci ne morejo premostiti nepravilnosti. Če so nepravilnosti manjše in ostre ter zaprte pod površino vzorca, kot so nekovinski vključki, bo indikacija zelo jasna.

Magnetni delci so lahko v dveh oblikah:

- suhi (v prahu)
- suspenzije (kerozin, lahko olje ali na vodni bazi)

### 2.2.5 Preiskava z vrtničnimi tokovi - ET

To je elektromagnetna neporušitvena metoda, ki ima široko uporabo v nuklearni, letalski, petrokemični ter energetski industriji. S to metodo kontroliramo kovinske plošče, pločevino, cevi, palice ipd. z namenom odkrivanja prisotnosti ter velikosti nepravilnosti pri izdelavi in med uporabo izdelka.

Podobno kot penetrantska in magnetna kontrola, je tudi kontrola z vrtničnimi tokovi površinska metoda, s katero odkrivamo površinske in plitve nepravilnosti, kot so razpoke zaradi utrujenosti in interkristalne korozije ter podpovršinske nepravilnosti (vključki, praznine itn.) do globine 6 mm.

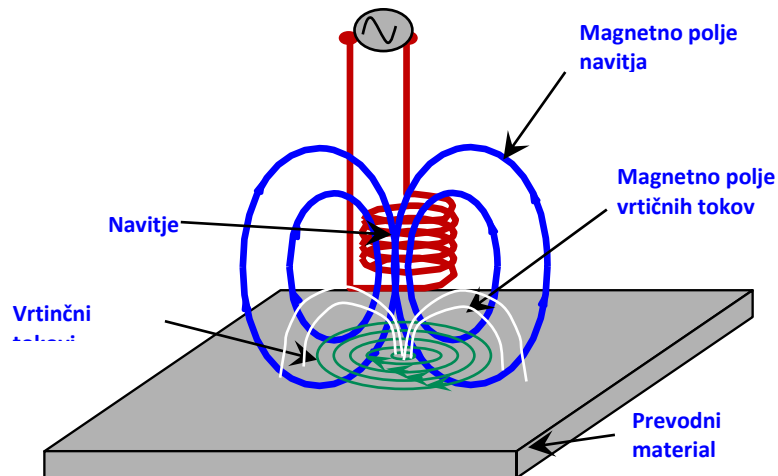
Kontrola z vrtničnimi tokovi je zasnovana na principih elektromagnetne indukcije. Ko na navitje (palica, senzor) dovedemo izmenični sinusoidni tok frekvence 50 Hz – 50 MHz se okoli navoja ustvari primarno magnetno polje, ki v vzorcu inducira vrtničaste tokove ("eddy current"). Vrtnični tokovi naprej v materialu inducirajo sekundarno magnetno polje, ki ima nasprotno usmeritev glede na primarno. To izzove spremembo impedance navoja, ki jo izmerimo in potem analiziramo (slika 4.1.4.).

Spremembo impedance povzročijo električna prevodnost, magnetna permeabilnost in geometrija materiala, frekvenca kontrole in razdalja med navojem in materialom.

**Frekvenca kontrole** določa globino delovanja vrtničastih tokov v materialu. Gostota vrtničastega toka se eksponentno zmanjšuje od površine k notranjosti materiala in je odvisna od frekvence, električne prevodnosti in

permeabilnosti materiala. To je edini parameter, ki se ga da spreminjati med kontrolnim postopkom.

**Globina prodiranja** vrtničastega toka v material je pomemben faktor. V primeru, da se ne ustvari zadostna globina, se lahko se zgodi da spregledamo kakšno nepravilnost.



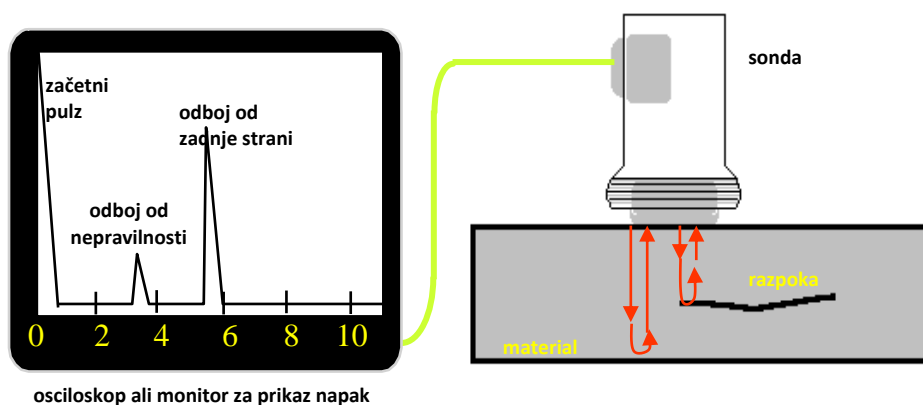
Slika 2.2.4. Shematski prikaz preiskave z vrtničnimi tokovi

### 2.2.6. Ultrazvočna preiskava - UT

Ultrazvočna kontrola je prava prostorska metoda kontrole notranjosti materialov in konstrukcij. To je neporušna preiskava, pri kateri se visokofrekvenčni mehanski valovi uvajajo v pregledovani material z namenom odkrivanja notranjih nepravilnosti in lastnosti materiala. Pri potovanju skozi material se zvočni valovi odbijajo od mejnih površin, pri čemu se tanjšajo in s tem izgubljajo del energije. Odbiti snop zvočnih valov sprejememo in ga potem analiziramo s ciljem ugotavljanja prisotnosti napak.

Zvočni valovi se v celoti odbijajo od mejne površine kovina – plin, a samo delno od površin kovina – tekočina in kovina – trdno telo. Nepravilnosti, kot so razpoke, praznine krčenja, zlepi, pore in nepravilnosti v vezavi, se obnašajo kot mejna površina kovina – plin, in jih je relativno lahko odkriti. Vključke in druge nehomogenosti v materialu odkrivamo z delno refleksijo ali razpršenjem zvočnih valov. Ultrazvočna kontrola ima široko uporabo pri definiranju karakteristik spoja, merjenju debeline materiala, oceni korozije, določanju fizikalnih lastnosti, mikrostrukture, velikosti zrna in elastičnih komponent. Pri tem se uporabljajo frekvence (1 – 25) MHz.

V mnogih pogledih je snop ultrazvočnih valov podoben svetlobnem snopu. Pri obeh je hitrost gibanja odvisna od homogenosti medija, po katerem se gibljeta. Tudi ultrazvočni valovi se odbijajo od površin, lomijo se pri prehodu iz ene snovi v drugo, lomijo se pri udaru v robove in ovire. Pri širjenju po neravnih površinah prihaja do izgube energije ultrazvočnih valov.



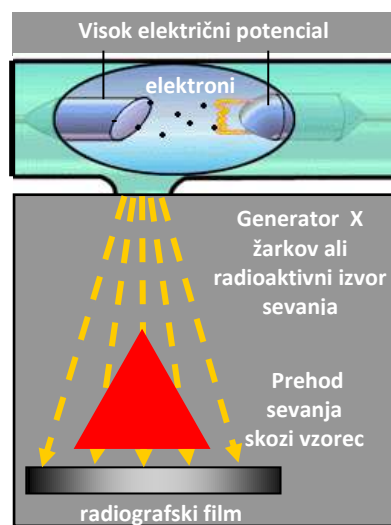
Slika 2.2.5: Prikaz indikacij na monitorju pri ultrazvočni preiskavi

Ultrazvočni valovi se delijo na podlagi načina osciliranja delcev medija na *longitudinalne*, *transverzalne* in *površinske*.

Za izdelavo ultrazvočnih sond se uporabljajo tri vrste piezo-električnih materialov, in sicer kvarc, litijev sulfat in polarizirana keramika. Od keramik se uporabljajo barijev titanat, svinčev metaniobat in svinčev cirkonat titanat. Pomembne lastnosti ultrazvočnih sond so občutljivost, ločljivost, mrtva cona in efekt bližnjega polja.

### 2.2.7. Radiografska preiskava - RT

Odkritji X žarkov (W.C.Röntgen, 1895) in radio aktivnosti (Becquerel, 1896) predstavljata osnovo za razvoj in uporabo industrijske radiografije. To je najširše uporabljana neporušna metoda za odkrivanje notranjih napak v materialu, kot so poroznost in razpoke. Z uporabo pravilne usmeritve žarkov radiografija tudi omogoča odkrivanje ravninskih napak. Uporablja se tudi pri odkrivanju sprememb v sestavi materiala, merjenju debeline in pri lociranju neželenih komponenti izdelka. Glavna prednost uporabe ionizirajočega sevanja v neporušni kontroli je v širini območja uporabe, od mikro elektronskih delov do ogromnih objektov, kot so ladje. Še ena prednost radiografije je uporaba za vse vrste kovin, od aluminija, berilija, magnezija, preko jekla, niklja, do težjih elementov. V kontrolo so vključeni ulitki, zavarjeni kosi, kompozitni materiali in zmontirani elementi.



Slika 2.2.6: Shematski prikaz radiografske preiskave

Rentgenografija je način preiskave, pri katerem se pokažejo razlike v slabitvi žarkov v materialu na fotografskem filmu (slika 2.2.6). Pri klasični radiografiji kontrolirani objekt obsevamo z X ali  $\gamma$  žarki. Del žarkov absorbira objekt, ostanek pa zadeva film. Pri osvetlitvi z rentgenskimi žarki pride v fotografski emulziji filma, ki je sestavljena iz želatine in molekul AgBr, zaradi ionizacije do razrahljanja vezi med srebrom in bromom. Govorimo o latentni sliki. Šele ko potopimo eksponirani film v raztopino kemikalij (razvijalec), se reducira srebrov ion osvetljene molekule AgBr do metalnega srebra. Področje na filmu, na katerega je padla večja količina žarkov, je zaradi večje količine metalnega srebra temnejše (negativ). Fotografski posnetek z rentgenskimi žarki imenujemo *rentgenogram*. Slika predmeta, izpostavljenega X ali  $\gamma$  žarkom, bo povečana. Razlog za to je zahteva za čim bolj ostro in jasno sliko.

### 2.2.8 Preiskava tesnosti - LT

Kontrola tesnosti (LT) se uporablja za določanje razmerja pri katerem so tekočina ali plin prodrli z notranje na zunanjo stran sistema (komponente) kot posledica razlike tlaka med dvema področji. LT lahko klasificiramo glede na tlak in fluid v sistemu. Običajno uporabljanje metode so:

- akustično odkrivanje lukenj,
- kontrola z mehurčki,
- odkrivanje pretoka,
- posebni plinski detektorji,
- določanje velikosti izgub.

LT se izvaja z ustvarjanjem vakuumu ali tlaka v komponenti (sistemu) ter z uporabo indikatorja na drugi strani, ki se uporablja za odkrivanje položaja in velikosti lukenj. Glavni faktorji, ki določajo izbiro LT metode so fizične



lastnosti sistema, fluid indikatorja, velikost napovedane luknje in razlog za kontrolo na različne načine bodisi za odkrivanje bodisi za lociranje luknje ali pa za merjenje kvantitete napak. LT lahko uporabljamo pri različnih sistemih, kot so izmenjevalci toplote, parni stroji, tlačne posode itd. Če luknja prevaja fluid z ene na drugo stran sistema, LT metoda dovaja ta fluid na določen tlak in odkriva njegovo uhajanje na drugo stran.



Slika 2.2.7: Preiskava tesnosti zvara z uporabo vakuumske komore.

Če je v kontrolirani posodi fluid pod tlakom, ki je večji od atmosferskega, govorimo o *tlačni metodi*. Če je posoda prazna in je dovedemo pod tlak, ki je nižji od atmosferskega, govorimo o *vakuumski metodi*.

Včasih ni mogoče izvesti vakuumske metode zaradi neugodnih okoliščin kot je položaj ali velikost sistema. V takšnih primerih tlačna metoda postaja primarna.

Tlačno metodo lahko razdelimo na tri skupine:

1. tlačna metoda,
2. metoda mehurčkov,
3. ultrazvočna kontrola tesnosti.

Kontrola zvarnih spojev z LT metodo se izvaja s pomočjo vakuumskih komor (slika 2.2.7).

## 2.2.9 Preiskava z akustično emisijo - AT

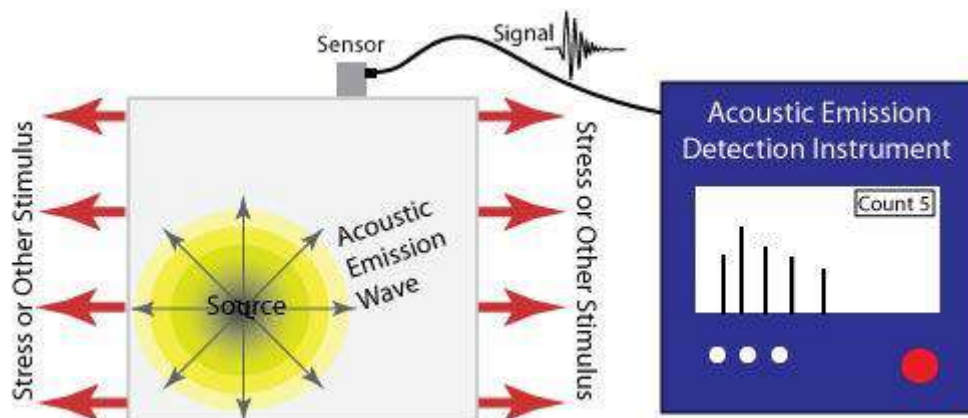
Uporaba te metode je zasnovana na pojavu hitrega širjenja energije skozi material v obliki začasnih (prehodnih) valov, ki nastajajo iz dinamičnih sprememb kot so deformacija, nastanek in širjenje razpok, luknje (slika 8). To je kontrola v realnem času, ki lahko odkrije nastanek in razvoj razpok, plastične deformacije, nepravilnosti zaradi utrujenosti, luknje ipd., ki jih zaradi nedostopnosti ali majhnosti ni možno odkriti s pomočjo ultrazvočne kontrole ali drugih neporušitvenih metod.

Akustična emisija (AE) se uporablja pri kontroli posod, ki so že v obratovanju ali pri izdelavi posod z varjenjem. Uporabljamo jo kot koristno dodatno tehniko pri kontroli kritičnih področjih pri pomembnih instalacijah. Kontrola s pomočjo AE odkriva in analizira minutne signale, ki so nastali zaradi širjenja nepravilnosti v materialu pod vplivom napetosti ali temperature. Z ustrezno analizo teh signalov lahko dobimo informacije, ki se nanašajo na odkrivanje in lociranje napak in strukturnih prekinitvah.

Odvisno od energije sproščanja razlikujemo dva tipa akustične emisije: (1) **kontinuirani**, (2) **udarni**.

Za *kontinuirano* emisijo je karakteristična nizka amplituda, ki se spreminja z aktivnostjo AE. Ta tip emisije se pojavlja v kovinah in zlitinah tekom plastične deformacije s premikanjem dislokacij s pomočjo difuzijsko kontroliranih faznih transformacij in pri uhajanju fluida.

*Udarne* emisijo karakterizira kratek čas trajanja (od 10 mikro sekund do nekaj mili sekund) in pulzi z visoko amplitudo zaradi ločene sprostitve napetostne energije. Takšna vrsta emisije se pojavlja tekom brezdifuznih faznih transformacij, pri nastanku in širjenju razpok, pri napetostni koroziji ipd.



Slika 2.2.8: Shematski prikaz odkrivanja akustične emisije v materialu

### 2.2.10 Termografska preiskava - TT

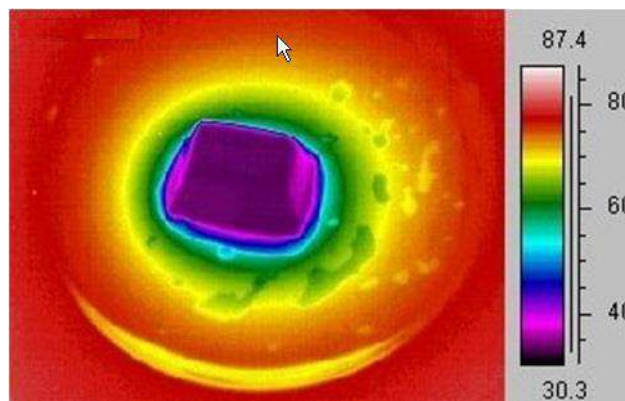
Infrardeča termografija oz. termografija, je neporušitvena in brezkontaktna metoda merjenja temperature in prikaza porazdelitve toplote po površini opazovanega objekta.

- Vsi objekti v naravi emitirajo elektromagnetno sevanje v okolico.
- Na temperaturah, ki so višje od temperature okolja, prevladuje IR sevanje predmetov (ni vidno za naše oko).
- S pomočjo IR kamer lahko to sevanje prevedemo v vidno sliko.

Na toplotne meritve vplivajo:

1. Sposobnost emisije ("črno telo" ima emisivnost 1,0)
2. Predmeti iz okolice (njihovo sevanje ustvarja motnje)
3. Atmosfera (pri večjih razdaljah lahko vpliva na tanjšanje sevanja - pare, megla, dim, itd.)

Primer zaznavanja IR sevanja za predmete, ki imajo različno temperaturo je prikazan na sliki 2.2.9.



Slika 2.2.9: Taljenje ledene kocke na topli podlagi

# VIZUALNA PREISKAVA

Pripravil: dr. Darjo Zuljan  
Revizija: dr. Miloš Jovanović, dipl.inž. Niko Samsa

## 2.3.1 Uvod

Vloga nadzornika oz. inšpektorja varilskih del se izvaja hkrati s kontrolorjem za vizualno preiskavo. Vizualna kontrola obsega pregled pripravljenosti na varjenje, izvedbe in stanja po varjenju. Kontrolo izvedemo z namenom, da odkrijemo:

- nepravilnosti pri pripravi in izvedbi, ki lahko povzročijo napake,
- vidne zunanje napake,
- geometrijska odstopanja.

Za vizualno preiskavo uporabljamo okrajšavo VT. Za izvedbo preiskave mora biti znano sledeče:

- obseg, ki določa kakšen delež dolžine vseh zvarov pregledamo (v %),
- katere faze varjenja preiskava zajema (pred, med in po varjenju),
- stopnja sprejemljivosti (dopustna velikost in število nepravilnosti),
- standarde, ki jih je potrebno pri preiskavi upoštevati,
- ostale zahteve (na primer: dimenzijska kontrola varjenja).

## 2.3.2 Značilnosti vizualne preiskave zvarov

- Je vsestransko uporabna,
- je najcenejša,
- v tehničnem smislu ni zahtevna,
- pogosto so nepravilnosti v celoti vidne, ni razlike med indikacijo in napako,
- pogosto več kot polovico nepravilnosti v zvarih lahko odkrijemo že pri vizualnem pregledu,
- je najmanj rutinska, izvajajo jo lahko le poznavalci varilne stroke,
- pri vizualni kontroli odkrijemo zunanje nepravilnosti, poleg tega dobimo še druge informacije o zvarih in varjencu (lega varjenja, št. varkov, način varjenja),
- vizualna kontrola je osnova za vse ostale kontrole brez porušitve,
- vizualno kontrolo izvajamo pred, med in po varjenju.

## 2.3.3 Splošne zahteve za izvajanje vizualne preiskave

- Osvetlitev površine mora biti vsaj 350 lx, priporočljiva osvetlitev je 500 lx;
- Omogočeno mora biti, da se preskuševalčevo oko približa opazovani površini na vsaj 600 mm. Kot opazovanja naj bo večji od 30°;
- Kadar površina ni zadosti osvetljena, si pomagamo z dodatnimi svetili, da dosežemo zadosten kontrast med opazovano površino in napakami;
- Opazovana površina mora biti dobro očiščena. V primeru dvoma v prisotnost napake (razpoke, zlepi) uporabimo še druge metode za pregled površin (PT ali VT);
- Obseg kontrole mora biti jasno določen, čeprav praviloma opravimo 100 % vizualno kontrolo;
- V naročilu mora biti določeno, ali je potrebno opraviti tudi kontrolo pred in med varjenjem ter dimenzijsko kontrolo;
- Dimenzije zvarov je potrebno izmeriti tudi če naročnik to izrecno ne zahteva;
- Osebe, ki izvajajo vizualno kontrolo mora poznati ustrezne standarde in tehnične specifikacije, poznati načine varjenja in biti certificirano po EN ISO 9712, ter imeti dober vid, ki se preverja vsakih 12 mesecev;
- Če se zahteva toplotna obdelava, je potrebno opraviti VT pred in po toplotni obdelavi;
- Kadar površina ni v zornem polju kontrolorja, uporabljamo indirektno kontrolo. S pomočjo prenosnikov slike, kot so boroskopi ali videoskopi opazujemo zware. Tak način uporabljamo pri pregledu korenske strani pri ceveh.

### 2.3.4 Vizualna preiskava pred varjenjem

Pred varjenjem pregledamo sledeče:

- Ali je ustrezen prostor za izvajanje varilskih del (dvižne naprave, obračalne naprave, sredstva za morebitno predgrevanje varjenca, prezračevanje in zaščita okolice)?
- Ali je ustrezen varilni stroj, ki ima kalibrirane kazalnike, polariteta in oblika toka?
- Ali je dostavljen ustrezen material, kvalitete in šarža?
- Ali je izbran ustrezen dodajni material, pomožni material in plini?
- Ali je bila zahteva po sušenju dodatnega materiala in ali ima varilec tulce za prenašanje dodatnega materiala od peči do varilnega mesta?
- Ali je bil dodajni material sušen na ustrezni temperaturi in ustrezen čas?
- Ali ima varilec ustrezen certifikat in popis postopka ter navodila za varjenje?
- Ali ima varilec zahtevo po uporabi pomagala za vid?
- Ali je material brez nečistoč?
- Ali oblika priprave in dimenzije zvarnih robov ustrezajo prikazom na risbah in skicam v popisih postopkov (kontrola lege varjenja, kontrola pravilne uporabe spenjalnih in obračalnih naprav, kontrola kota žleba, kontrola višine topega roba, kontrola širine reže)?
- Ali so zvarni robovi dobro očiščeni?
- Pregledamo spenjalne varke.
- Pregledamo ali je varjenec pravilno sestavljen. Upoštevati je potrebno morebitno preddeformacijo.
- Kontroliramo izmere varjenca.
- Kontrola morebitne uporabe podloške in njene kvalitete, spenjanja in prileganja?
- Kontrola temperature morebitne zahteve po predgrevanju (meritve izvajati po EN ISO 13916)?
- Kontrola nastavitve parametrov v skladu s popisom postopka.
- Kontrola zaporedja procesov varjenja (ali je po izvedbenem planu izvedeno vse pred izvajanjem varjenja?)

### 2.3.5 Preiskava med varjenjem

Med varjenjem kontroliramo:

- varilne parametre v skladu s popisom postopka,
- zaporedje gradnje varkov v skladu z navodili varjenja,
- deformacije zaradi varjenja,
- ali varilec vpisuje ustrezne vrednosti v dnevnik varjenja,
- korenski varek, posebno pozornost posvetiti morebitnim razpokam,
- skrbimo za morebitno predvideno izvedbo preiskave korenskega varka s tekočimi penetranti,
- medvarkovno temperaturo,
- ali je predhodni varek očiščen žindre;
- pozorni moramo biti na prevaritev vsakega varka;
- kontroliramo ali je žleb dovolj odprt, da omogoča varjenje naslednjega varka;
- pri kontroli med varjenjem odkrijemo stranske in medvarkovne zlepe;
- pregledujemo zvare in iščemo morebitne nepravilnosti, kot so: razpoke na zaključkih, pore in razpoke na zvarnih robovih;
- nedopustne so velike medvarkovne zajede;
- pozorni moramo biti na prevaritev korenskega varka;
- če popis postopka zahteva brušenje in žlebljenje, kontroliramo ali je bilo ustrezno izvedeno.

### 2.3.6 Preiskava po varjenju

- Identificiramo objekt pregleda. Ugotovimo ali objekt ustreza podani specifikaciji in načrtom.
- Najprej pregledamo celoto, nato pregledujemo detajle.
- Pregledamo splošno stanje in stanje površine (obrizgi ali obžigi).
- Če je predmet vizualnega pregleda tudi dimenzijska kontrola, izmerimo dimenzije in ugotovimo ali so odstopanja v okviru toleranc (deformacije).

- Nato opravimo natančen pregled zvarov. Ugotovimo, ali zvari ustrezajo popisu (način varjenja, lega, gradnja varkov, izvedba, naknadna obdelava, protikorozijski premaz, brušenje in popravila)
- Nato pristopimo k iskanju nepravilnosti kot so: nepopolna prevaritev, zajede, pore in razpoke, ki dosežejo površino ter druge geometrijske nepravilnosti.
- Opravimo še pregled oblike in dimenzijski pregled (asimetričnost, višina kotnega vara, višina temena in korena).
- Pregledamo tudi TVC.
- Pregledamo, ali je odstranjena vsa žindra in obrizgi.
- Na površini se ne smejo poznati znaki uporabe orodja (npr. kladiva).
- Kadar se zahteva obdelava zvarov z brušenjem, je potrebno opraviti pregled pred in po brušenju.
- Ocenimo ali profil in površina (vzorec) ustreza načinu varjenja določenem v popisu varilnega postopka.

### 2.3.7 Popravila in ukrepi pri napakah

- V primeru odkritih napak pred in med varjenjem se kontrola nadaljuje, ko tehnologi najdejo vzroke za napake in izvedejo ukrepe za preprečevanje njihovega nastanka.
- Ponovna kontrola pred varjenjem se opravi, ko je opravljena sanacija stanja.
- Kadar je potrebno zaradi napak delno ali v celoti odstraniti zware, se opravi ponovna kontrola priprave pred ponovnim varjenjem.

### 2.3.8 Zapis o preiskavi

Zapis o preiskavi naj vsebuje sledeče podatke:

- Naziv in naslov proizvajalca.
- Naziv in naslov organa, ki izvaja preiskave.
- Oznaka in naziv preiskovalnega objekta. Skličemo se lahko na načrte. Če je potrebno, napravimo fotografijo ali risbo.
- Oznaka in debelina osnovnega materiala.
- Vrsta spoja in način varjenja. Skličemo se lahko na popis postopka.
- Kriteriji sprejemljivosti. Navedemo standard in stopnjo sprejemljivosti.
- Seznam opreme, ki smo jo uporabljali.
- Eventuelne ostale zahteve kot so: kontrola pred in po varjenju.
- Opis in lokacija najdenih napak glede na kriterije sprejemljivosti. Označimo jih na risbah, po potrebi napravimo skico. Označimo jih na objektu.
- Podamo končno oceno zvarov glede na kriterije sprejemljivosti.
- Ime in priimek preskuševalca.
- Kadar se zahteva na dogovorjen način označimo vse zware, ki smo jih pregledali.
- Če je predmet tudi dimenzijska kontrola, pripravimo o tem poseben zapis.
- Priporočljivo je, da pripravimo poseben zapis za kontrolo pred in med varjenjem ter zapis o popravilih.

### 2.3.9 Priporočljiva oprema za neposredno vizualno preiskavo

- linearno merilo (meter)
- pomično merilo po ISO 3599
- listna merila od 0,1 do 3 mm po stopnjah 0,1 mm
- merilo radiusa
- leče – glej ISO 3058
- šablone za profil kotnega vara
- merilnik višine kotnega vara
- merilnik višine temena in globine zajede



### 2.3.9.1 Pripomočki in naprave

**Zrcala** se pri **neposredni vizualni preiskavi** uporabljajo z namenom, da so lahko svetlobni žarki pri notranjem opazovanju nedostopnih votlih teles vodeni tako, da pridejo v oko opazovalca (slika 2.3.1). Konkavna zrcala, ki se tudi lahko uporabljajo pri vizualnih preizkusih (gledanje za vogal), imajo učinek povečanja (pri ustrezni goriščni razdalji zrcala).

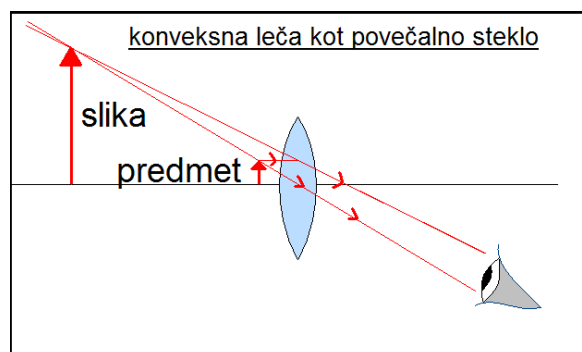


Slika 2.3.1: Zrcala

#### Lupa

Če želimo opazovati **majhen predmet**, ga moramo približati očesu. Na ta način **povečujemo zorni kot**. Očesna leča pa je prilagodljiva samo v omejeni meri in izredno bližnje opazovanje povzroča hitro utrujenost očesa. Obstaja pa t. i. normalna razdalja za gledanje (**dogovorjena razdalja očesa**), tj. **30,5 cm**, in to je minimalna razdalja, pri kateri oko lahko trajno dela.

Če se želimo približati predmetu, moramo povečati sposobnost očesne leče za lome žarka z zbiralno lečo, katere goriščna razdalja je veliko manjša kot dogovorjena razdalja očesa. Če lečo opremimo z okvirom in držalom, bomo dobili lupo. Potem opazovan predmet prenesemo v goriščno točko lupe in za oko, to pomeni, kot da je predmet v neskončni legi (slika 2.3.2). Očesna leča se ne more prilagajati, kljub temu pa opazujemo kot iz dogovorjene razdalje predmeta od očesa. Lupe imajo male goriščne razdalje od 3 do 15 cm.



Slika 2.3.2: Konveksna leča kot povečevalno steklo

Če se povečanje lupe računa po razmerju:

$$Z = \frac{\text{dogovorjena} \cdot \text{razdalja}[\text{cm}]}{\text{goriščor} \cdot \text{razdalja}[\text{cm}]} = \frac{30}{3 \div 15} = 2 \div 10$$

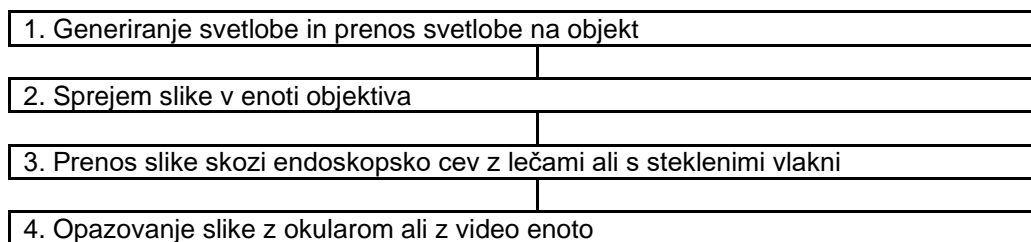
potem bo povečanje leče (lupe) 2 do 10-kratno.

Pri vizualni kontroli so lupe namenjene za boljše odkrivanje razpoke ali nepravilnosti površine. Pri optičnih pripomočkih se uporablja veličina „**optična moč leče**“  $\psi$ , ki se izraža v **dioptrijah [D]**. Če poznamo goriščno razdaljo leče „f“, se optična moč leče lahko izračuna iz izraza:

$$\psi = \frac{1}{f} \quad [D]$$

Za **zbiralne leče** je vrednost  $\psi$  **pozitivno število**, za **razpršilne leče** pa je vrednost optične moči **negativno število**. Če pri vizualnem preizkusu kombiniramo lupo z zrcalom, nastane enostaven notranji opazovalni sistem. **Endoskopi** so aparati, ki jih uporabljamo pri posredni vizualni kontroli. Namenjeni so za odkrivanje kvalitativnih pomanjkljivosti površine, ki jih z neposredno optično metodo ne vidimo. Sem sodita kontrola in opazovanje notranjih površin posod, kotlov, cevovodov in motornih blokov, v notranjost katerih iz različnih vzrokov ne pridemo.

Osnovne funkcije, ki jih mora endoskop izpolnjevati: osvetlitev notranjega prostora oziroma prenos svetlobe v notranji prostor. Ta svetloba je usmerjena v območje, ki ga preverjamo. Nato se zbere in usmeri v nasprotno smer. Tu se svetloba preoblikuje v sliko, ki jo lahko opazujemo z očesom. Shema tega postopka je prikazana na sliki 2.3.3.



Slika 2.3.3

**Endoskopi** so v bistvu kompleksne tehnične naprave, katerih delovanje je treba pred uporabo preučiti. Glede na konstrukcijo razlikujemo dve vrsti endoskopov:

- fiksni endoskopi (boroskopi),
- fleksibilni endoskopi (fibroskopi).

**Boroskopi** (slika 2.3.4) izkoriščajo sistem leč, prizem in zrcal za prenos slike iz notranjega prostora k očesu opazovalca.



Slika 2.3.4: Boroskop

Boroskopi se lahko konstruirajo namensko. To pomeni, da so prilagojeni natančno določenim funkcijam in delovnim postopkom, ki jih morajo opravljati.

Elementi boroskopa:

- vir svetlobe,
- objektiv,
- dovod svetlobe,
- okular.

**Fibroskopi** (slika 2.3.5) za razliko od boroskopov uporabljajo za prenos slike urejen snopič steklenih vlaken.



Slika 2.3.5: Fibroskop

**Vir svetlobe:** žarnice, ksenonske in halogenske luči, bliskovne luči in luči z živosrebrnimi parami.

Različne izvedbe:

- z ročno svetilko (žepno svetilko) svetimo ročno, pritrjena je na cevi boroskopa.
- svetlobni vir v enoti objektiva:

Prevodnik vodi električni tok čez cev h koncu boroskopa. Tu je žarnica usmerjena v zeleno smer. Ta rešitev je cenejša in ugodna tudi v primeru ozkih dostopnih poti. Neugodna pa je za tople svetlobne vire. Nastanek toplote pri daljših kontrolah povzroča netočnosti v sistemu leč in obstaja nevarnost nastanka požara ter eksplozije, če notranji prostori vsebujejo pogonsko snov.

- svetlobni vir izven prostora:

Ugodno za izredno močne svetlobne vire. Svetloba se vodi s pomočjo steklenih vlaken in s pomočjo leče, usmerjene v smer preiskave. Steklена vlakna prenašajo izključno belo svetlobo brez IR in UV. To pomeni, da vstopa v notranji prostor le hladna svetloba.

**Objektiv** – ali sonda je namenjena za osvetlitev preiskovalnega območja in odbita svetloba se zbira tako, da se čez enoto svetlobnega voda vodi k očesu opazovalca slike.

Glede na vrsto osvetlitve ločimo:

- sonde brez dovajanja svetlobe in svetlobnega vira,
- sonde z vgrajenim svetlobnim virom,
- sonde s fibrooptičnim dovodom svetlobe.

Sonde so lahko tudi:

- zamenljive,
- trdno povezane s optičnim kablom.

Vsaka sonda je opredeljena z naslednjimi osnovnimi parametri:

- smer pogleda,
- vidno polje.

Priporoča se, da se notranje opazovanje najprej opravi z velikim vidnim poljem in ugotovljeni detajli potem z manjšim vidnim poljem (z večjo povečavo).

Fleksibilni endoskop je podvržen enakim zakonitostim kot boroskop, ampak je bolj prilagodljiv danim dejstvom. Objektiv je vrtljiv ali pomičen s pomočjo sistema regulatorjev.

### Sistem vodenja svetlobe – slike

Načeloma sta na razpolago dve vrsti sistemov vodenja svetlobe:

- optika leč (boroskopi) – slika 2.3.4
- optika steklenih vlaken (fibroskopi) – slika 2.3.5.

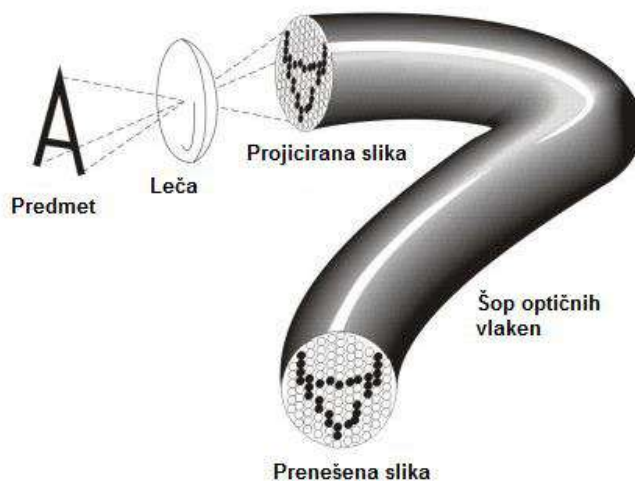
### Optika leč (boroskopi)

Optični sistem je sestavljen iz vrste natančno razvrščenih leč. Zahteve za takšen sistem so tem večje, čim manjši bo premer cevi in čim daljša je cev. Le-to se nanaša tako na togost in trdnost cevi kot tudi na kakovost leč. Od leče do leče se namreč seštevajo nepravilnosti leč, tendenca razstavljanja bele svetlobe v razne barve narašča in jakost se znižuje. Rešitev bi bila uporaba posebej močnih leč (rods) z namenom znižanja števila lomov in

skrajšanja poti skozi zrak. S tem pa se poveča cena. Dodatno povečanje cene povzroči še ukrivljena ali upognjena cev zaradi dostopnosti.

### Optika steklenih vlaken (fibroskopi)

Sistemi z vlaknato optiko so sestavljeni iz snopiča tankih ( $\varnothing$  10 mikrometrov) steklenih vlaken, ki prenašajo slike posameznih točk k okularju ločeno. Slika bo sestavljena iz posameznih točk („pixel“). Vodenje svetlobe v steklenih vlaknih omogoča refleksija, ker indeks loma vlaknatega materiala narašča v prerezu od sredine do roba (slika 2.3.6).



Slika 2.3.6: Optika steklenih vlaken

### Okular

V okularju so urejeni vodeni svetlobni žarki ali točke slike za oko in oko lahko opazuje sliko. Tu je potrebna še ena močno lomljiva zbiralna leča (kot lupa). „Očesna mišica“ preprečuje motenje očesa pri opazovanju s svetlobo okolice. Namesto neposrednega opazovanja z očesom se slika lahko projicira in šele potem opazuje. Okular je lahko opremljen tudi s fotografskim nastavkom (slika 2.3.7).



Slika 2.3.7: Okular s fotografskim nastavkom

Naslednjo možnost predstavlja prenos slike na TV zaslon. Slika se potem lahko poveča, rastrira, obdela, lahko se spremeni barvni kontrast in shrani v pomnilnik. Navedene možnosti za boljše vrednotenje in dokumentiranje so nas pripeljale k integriranim sistemom, ki se imenujejo videoscopi (slika 2.3.8).

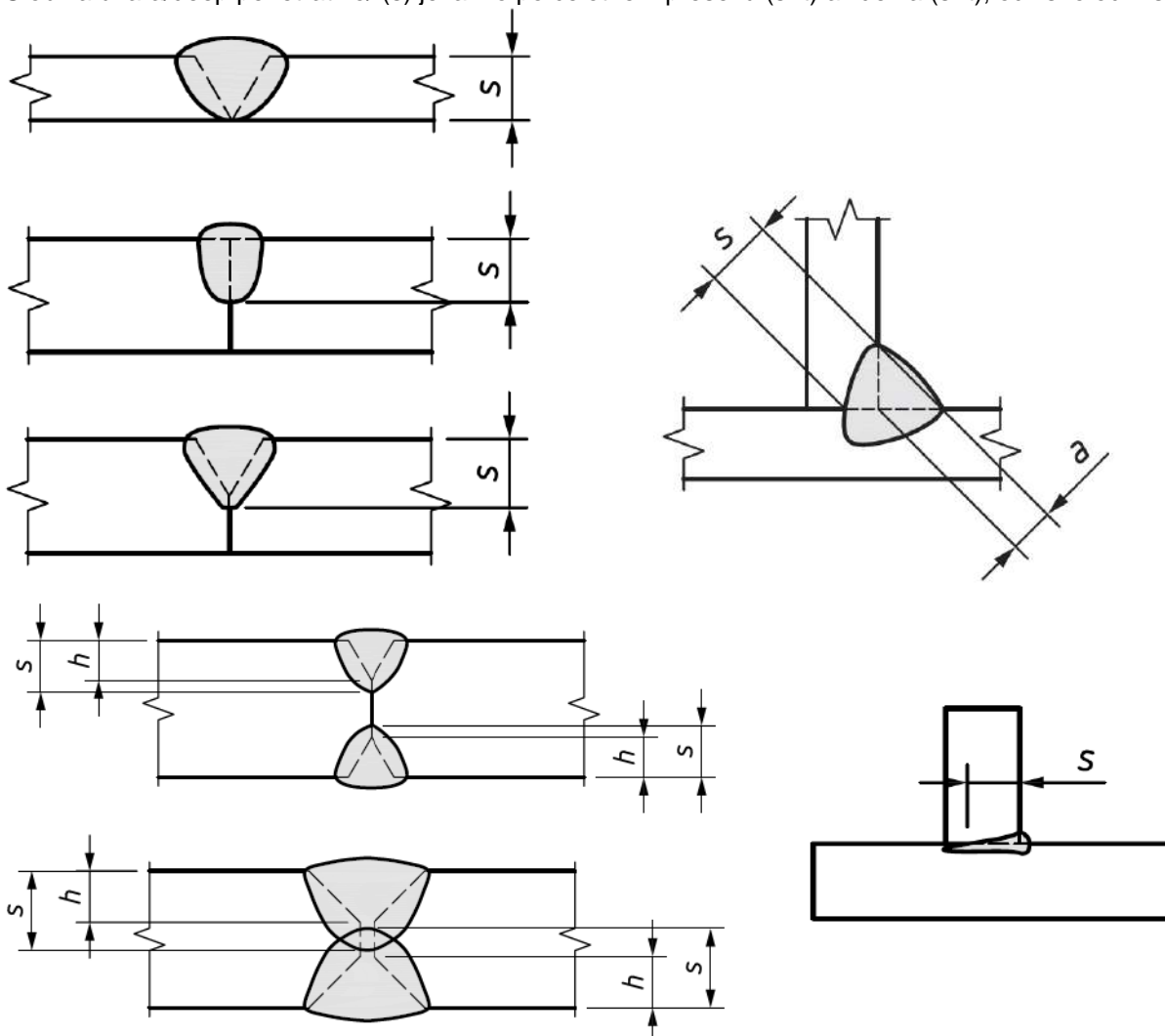


Slika 2.3.8: Videoskop

### 2.3.10 Dimenzijska kontrola zvarov

Definicije pomembnejših dimenzij zvarov so podanev EN ISO 2553.

Globina uvara/deep penetratino/ ( $s$ ) je lahko po celotnem preseku ( $s=t$ ) ali delna ( $s<t$ ), odvisno od vrste spoja.



Slika 2.3.9: Dimenzije sočelnega in kotnih zvarov

Višina kotnega vara ( $a$ ) je višina največjega enakokrakega trikotnika, ki ga lahko včrtamo v prečni presek zvara. Uvara ne upoštevamo. Višine kotnega vara lahko neposredno izmerimo ali pa jo izračunamo na osnovi sledečih elementov:

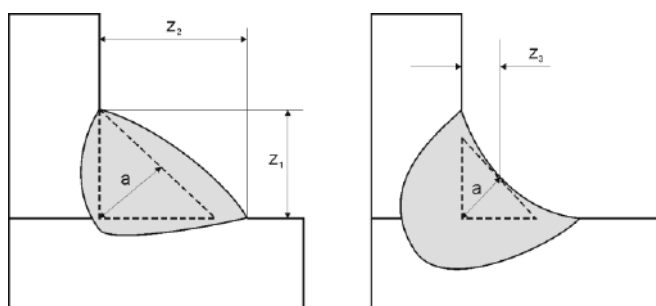


- a - višina kotnega vara
- $z_1, z_2$  - stranici kotnega vara
- c - hipotenuza včrtanega trikotnika
- s - globina uvara pri sočelnem ali kotnem zvaru
- x - širina reže
- l - dolžina zvara

Pri asimetričnem konveksnem zvaru izmerimo manjšo stranico  $z_{\min}$  in izračunamo višino (a). Kadar je konkavno teme, takrat izmerimo razdaljo med sredino temena in stranico (z) in izračunamo hipotenuzo (a).

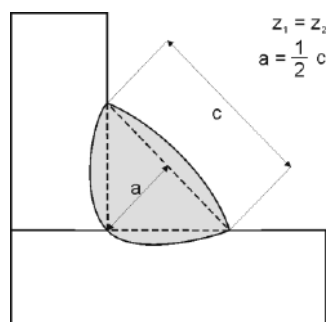
$$a = z_{\min} \cdot \cos 45^\circ = z_{\min} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = z_{\min} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0,7 z_{\min}$$

$$a = z_3 \cdot \frac{1}{\cos 45^\circ} = z_3 \cdot \sqrt{2} \approx z_3 \cdot 1,4$$



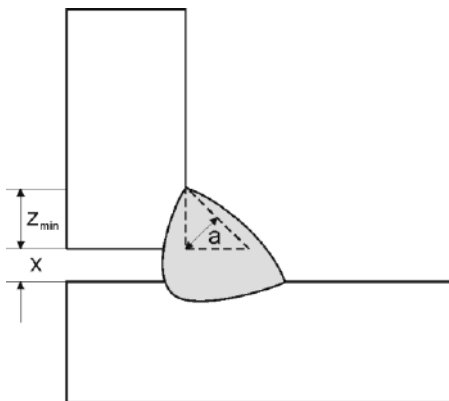
Slika 2.3.10: Višina kotnega zvara pri konkavnem in konveksnem zvaru

Kadar imamo izbočen simetrični zvar ( $z_1 = z_2$ ), izmerimo hipotenuzo (c) in izračunamo višino (a).



Slika 2.3.11: Določanje višine (a) pri simetričnem konveksnem zvaru

Običajno pri izračunu višine kotnega vara zanemarimo širino reže (x). Kadar je reža v primerjavi z višino vara velika, ta bistveno vpliva na dejansko višino kotnega vara.



Slika 2.3.12: Pri izračunu višine kotnega vara ( $a$ ) upoštevamo širino reže ( $x$ )

### 2.3.11 Uporaba VT preiskave

- Vizualno kontrolo najprej izvaja varilec sam. Pred varjenjem preveri pripravo robov in spenjanje. Med varjenjem spremlja proces in ukrepa v primeru pojava napak. Po končanem varjenju pregleda zvare in ugotovi ali so izdelani skladno z dokumentacijo.
- Kontrolo pred, med in po varjenju opravlja delovodja in varilni nadzornik.
- Vizualno kontrolo obvezno opravimo pred vsako drugo neporušitveno preiskavo.
- Kadar se vizualna preiskava uporablja kot samostojna metoda, obvezno pripravimo zapis in poročilo. V tem primeru je potrebno upoštevati zahteve glede kvalifikacije osebja po EN ISO 9712.

### 2.3.12 Pregled standardov s področja VT zvarov

1. EN ISO 17635 - Neporušitvene preiskave zvarnih spojev. Splošna pravila za kovinske materiale.
2. EN 1330-10 - Neporušitvene preiskave – Terminologija – 10. del: Izrazi, ki se uporabljajo pri vizualnem preskušanju
3. EN ISO 17637 - Neporušitveno preiskovanje zvarov – Vizualni pregled zvarnih spojev pri talilnem varjenju
4. EN ISO 13018- Neporušitvene preiskave, splošna načela vizualne kontrole
5. EN ISO 3050 - Neporušitvene preiskave – sredstva za vizualna kontrolo
6. EN ISO 3599 - Pomična merila
7. EN ISO 2553 - Varjeni in spajkani spoji – simboli na risbah
8. EN 13927 - Neporušitveno preskušanje – Vizualno preskušanje – Naprave
9. EN ISO 3058 - Neporušitveno preskušanje – Pripomočki za vizualno kontrolo
10. EN ISO 5817 - Stopnje sprejemljivosti
11. EN ISO 6520 -1 - Napake v zvarnih spojih
12. EN ISO 13916 – Navodila za merjenje temperature predgrevanja, medvarkovne temperature in ohranjanja medvarkovne temperature pri varjenju

# PREISKAVA S TEKOČIMI PENERANTI

Pripravi: dr. Darjo Zuljan  
Revizija: dr. Miloš Jovanović

## 2.4.1 Osnove penetrantskih metod

### 2.4.1.1 Obseg uporabe

V današnjem času se metoda z uporabo tekočih penetrantov pojavlja kot močna samostojna smer oz. področje neporušitvenih preiskav. Gre za prilagodljivo in večstransko neporušitveno metodo, katera je sposobna odkrivati površinske nehomogenosti, kot so razpoke, zlepi, poroznosti, zajede in prelitja na površini zvarnih spojev ali pa npr. dvoplastnost na zvarnih robovih. Preiskavo z tekočimi penetranti lahko izvajamo na vseh materialih; to so kovinski materiali (jekla, avstenitna jekla, nelegirana jekla, itd.), vse vrste barvnih kovin (aluminij, medenina, baker), plastika, keramika, guma, steklo..., če le niso prekomerno porozni, ker v tem primeru nismo sposobni objektivno in nedvoumno oceniti stanja površine, katero preiskujemo. Prav tako se je potrebno izogibati prekomerno zamaščenim in drugim površinam, ki imajo določene prevleke ali nanose, saj penetrant na takih površinah prav tako nima učinka. **Preiskave torej v večini izvajamo na kovinskih materialih (zvari, odlitki, odkovki itd.), na katerih lahko pričakujemo diskontinuitete oz. praznine ali prekinitve, ki segajo do površine in katere so odprte na površino.** Učinkovitost te metode je tesno pogojena z strokovno usposobljenim in certificiranim osebjem, z izkušnjami iz celotnega področja neporušitvenih preiskav, z samo pravilno izbiro metode, pravilno in temeljito pripravo površine in nazadnje z samo pisano delovno proceduro, vezano na točno določeno površino, katero preiskujemo.

Za preiskave z tekočimi penetranti velja, da gre za relativno cenovno ugodno preiskavo, če upoštevamo trajanje usposabljanja osebja, porabo delovnih sredstev in dokaj enostaven način, s katerim pridemo do zelenega rezultata in pa seveda tudi primerljiva hitrost doseganja rezultatov z drugimi NDT metodami. Kot že rečeno se penetrantske metode uporablja za odkrivanje površinskih diskontinuitet, vendar pa je njihova uporaba zelo koristna za vmesne kontrole vsakega delovnega procesa npr. kontrola prevaritve korena zvara ali pa utrujenostne razpoke. Pojav utrujanja materiala povzroči začetek širjenja in razširitev nastanka razpoke na površino.

### 2.4.1.2 Kemijska sestava sredstev za penetrantske metode

Vsak penetrantski sistem sloni na uporabi treh komponentnih sredstev: čistilo, penetrant in razvijalec. Sistem mora biti narejen in uporabljen tako, da ne povzroča nevarnosti za uporabnikovo zdravje in da ni preveč agresiven do površine, katero preiskujemo. Odvisno od uporabljene tehnike, lahko izbiramo med več vrstami penetrantskih sistemov. V nadaljevanju bo opisana kemijska sestava sredstev v aerosolu (tehnična označitev za kombinacije snovi v ustrezni embalaži pod pritiskom – v praksi rečemo tudi sprej ali pršilka).

**Čistilo** vsebuje alkohole kot je propan-2-ol kot nosilno tekočino in je namenjeno predvsem čiščenju, razmasti in odstranitvi madežev površine.

**Penetranti** so sestavljeni iz mešanice fluidov tekočih produktov in organskih topil. Kot potisna plina sta dodana propan in butan, kot nosilna tekočina se uporabljajo lahki destilati kot npr. nafta, kokosovo olje, kot sredstvo, ki povzroča izhlapevanje se dodaja etanol, za kontrastnost indikacije se dodaja rodamin (rdeča, na svetlobi dobro obstojna fluorescentna barvila). V približno enem procentu celotne sestave pa se dodajajo tudi razni dodatki, ki preprečujejo prekomerno penjenje in rjavenje površine in ki vplivajo na osnovne lastnosti, kot sta viskoznost in kapilarnost.

**Razvijalcu** prav tako kot potisni plin dodajajo propan ali butan, kot nosilno tekočino dodajajo propan-2-ol, vsemu skupaj pa je kot osnova dodana bela prašnata snov (kremen, kalcit, apno magnezijev karbonat...) majhne zrnatosti, ki pa ne sme biti higroskopična, ker voda zniža aktivnost razvijalca.

### 2.4.1.3 Fizikalne osnove penetrantskih metod

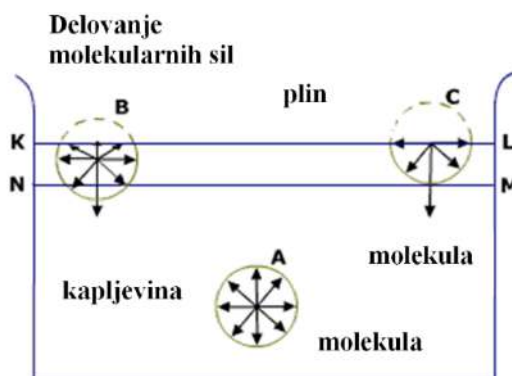
Preiskava s tekočimi penetranti za svoje delovanje izkorišča fizikalni princip kapilarnosti oz. kapilarnega učinka. **Kapilarnost** je sposobnost prodiranja tekočine v ozke špranje in je posledica površinske napetosti kapljev in zaradi medmolekularnih sil na meji med trdno snovjo in kapljevino.

Pri preiskavi materialov s penetrantskimi metodami se uporabljajo kapilarno aktivne kapljevine z nizko površinsko napetostjo, ki prodrejo v nehomogenosti in se po odstranitvi njihovega presežka s površine preiskovanega predmeta, zaradi kapilarnih sil dvignejo in pokažejo nehomogenost (nepravilnost).

Pri dviganju se kvalitativno uveljavijo tako lastnosti površine kapilare, t.j. napake (gladke, hrapave, mastne), kot tudi lastnosti dvigajoče se kapljevine – površinska napetost, omočljivost, viskoznost.

Tako so pod imenom kapilarne lastnosti v glavnem zajeti sledeče fizikalni pojavi:

- površinska napetost,
- kontaktni kot,
- kapilarni dvig,
- kapilarni tlak,
- viskoznost



Slika 2.4.1: Delovanje molekularnih sil

## 2.4.2 Metoda preiskovanja s tekočimi penetranti

### 2.4.2.1 Klasifikacija preiskav

V tabeli 1 je podana razdelitev sistemov za izvajanje preiskav s tekočimi penetranti. Sistemi zajemajo vrsto penetrantskega sredstva (Tip I, II in III), metodo za odstranjevanje odvečnega penetrantskega sredstva (A, B, C, D), občutljivost metode glede na vrsto penetranta in način odstranjevanja (5 nivojev), vrsto sredstva za razvijanje (a, b, c, d, e, f) ter klaso topila, ki se uporablja za odstranjevanje penetranta (1, 2, 3).

Podatki v tabeli predstavljajo kombinacijo delitve iz mednarodnega standarda ISO 3452-1 in iz ameriške literature izdane s strani ASNT (American Society for Nondestructive Testing).

Tabela 2.4.1: Tipi in metode preiskav s tekočimi penetranti

VRSTE IN METODE PREISKAV S TEKOČIMI PENETRANTI				
Tip penetranta	Metoda	Občutljivost	Razvijalec	Topilo
<b>Tip I:</b> fluorescentni penetrant	<b>A:</b> odstranljiv z vodo	<b>Nivo 1/2*:</b> ultranizka	<b>a:</b> suhi prah	<b>Klasa 1:</b> halogenizirani
<b>Tip II:</b> vidljivi (barvni) penetrant	<b>B:</b> lipofilni postemulgirni	<b>Nivo 1:</b> nizka	<b>b:</b> v vodi raztopljen (soluble)	<b>Klasa 2:</b> nehalogenizirani
<b>Tip III:</b> Dualni (dvonamenski)	<b>C:</b> odstranljiv s topilom (klase 1, 2 in 3)	<b>Nivo 2:</b> srednja	<b>c:</b> v vodi razpršen (suspendible)	<b>Klasa 3:</b> za specialne namene
	<b>D:</b> hidrofilni postemulgirni	<b>Nivo 3:</b> visoka	<b>d:</b> nevodni za Tip I Raztopljen v topilu	
	<b>E:</b> odstranljiv za vodo in s topilom	<b>Nivo 4:</b> ultra visoka	<b>e:</b> nevodni za Tip II in Tip III Raztopljen v topilu <b>f:</b> za specialne namene	

\* Nivo občutljivosti 1/2 se uporablja samo za penetrante Tip I, metoda A. Klasifikacija nivojev občutljivosti za penetrantske sisteme Tip II ne obstaja.

Penetrantske metode se delijo po vrstah uporabljene detekcijske (penetrantske) kapljevine in na podlagi načina vrednotenja indikacije na:

- metode z barvno indikacijo – prisotnost nehomogenosti se pojavlja z nastankom barvne indikacije,
- fluorescenčne metode – nehomogenosti se pojavijo z indikacijo, ki je vidna v ultravijolični svetlobi (črni svetlobi),
- kombinirana metoda – nehomogenost se pojavi barvno ali fluorescentno, odvisno od vrste uporabljene osvetlitve (bela ali UV svetloba).

### 2.4.2.2 Sredstva za penetrantske preiskave

To so elementi za izvedbo penetrantskih preiskav – **penetranti** (detekcijska kapljevina), **razvijalec**, **čistila in emulgatorji**.

**Penetranti** (detekcijske kapljevine) so sestavljeni iz mešanice kapljev in tekočih produktov in organskih topil. Mešanica je **ponavadi obarvana rdeče** ali pa vsebuje raztopljen **luminofor**.

Delijo se:

- po vrsti ustvarjene indikacije na **barvne, fluorescentne in dvonamenske** (vsebujejo barvilo in tudi luminofor) **penetrante**,
- po odstranljivosti z vodo na penetrante, ki so **odstranljivi z vodo** (vsebujejo emulgator) in tiste, ki **niso odstranljivi z vodo** (spiranje z vodo ni učinkovito),
- na podlagi emulgatorjev na **emulgirne** (vsebujejo emulgator) in **postemulgirne** penetrante (emulgator sa nanaša na odvečni penetrant po izteku časa penetriranja).

Penetrantska sredstva morajo izpolnjevati naslednje zahteve:

- morajo imeti dobre **penetracijske lastnosti**, t.j. dobro pronicljivost do nehomogenosti, kar je povezano z viskoznostjo in omočljivostjo,
- čim manjšo **tekočnost**, da se ne posušijo v nehomogenostih,
- točka **vžiga** višja od 50 °C,
- ne smejo **kemično reagirati in morajo biti nekoroziivni** glede na preiskovani material. V avstenitnih, nikljevih in titanovih materialih je nujno uporabljati penetrante z minimalnim obsegom halogenidov (Cl, Br, J, F) in žvepla. Lahko so iniciatorji korozijskega pokanja in točkovne korozije. Površino lahko poškodujejo nosilni mediji penetranta. Aluminijeve in magnezijeve zlitine se lahko korozijsko poškodovane z alkalno reakcijo pri uporabi emulgirnih penetrantov.
- nosilni medij penetranta mora **dobro** (brez ostankov) **razredčiti** barvila ali luminofor,
- ne sme biti toksičen in mora biti brez vonja.

**Razvijalci** so elementi, ki se nanašajo na preiskovani vzorec po odstranitvi odvečnega penetranta, pomagajo s svojimi absorpcijskimi lastnostmi k vpijanju penetranta iz nehomogenosti in skupaj z njim ustvarjajo penetrantsko indikacijo.

Osnovo razvijalca tvori prašnata snov bele barve, majhne zrnatosti, ki ne sme biti higroskopična, ker voda zniža aktivnost razvijalca. Razvijalce se tako „sprimejo“ v večje kompaktne dele in proces razvijanja se zavira. Najbolj pogosto se uporabljajo cinkov oksid (ZnO), magnezijev oksid (MgO), magnezijev karbonat (MgCO<sub>3</sub>) ali apno (CaCO<sub>3</sub> - kreda), kaolin, bentonit idr.

Druge sestavine razvijalca so lahko zrak (pri suhih razvijalcih), voda, aceton, alkohol, bencin idr.

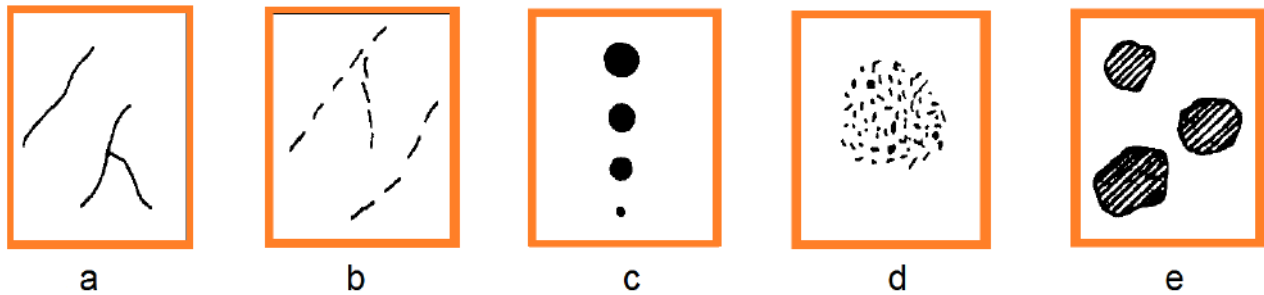
Razvijalce delimo po vrsti nosilnega medija na:

- suhi – nosilni medij je zrak ali potisni plin,
- mokri in tekoči – prah razpršen v tekočem topilu, npr. acetonu,
- mokri vodni – prašna sestavina razvijalca je razpršena v vodi, ki vsebuje mehčalec, po potrebi dodatke za počasno delovanje. Razvijalci se večinoma predgrevaajo na 65 °C in se nanašajo s potapljanem preiskovanega predmeta v razvijalno kopel.

### 2.4.2.3 Karakteristike indikacij

Karakteristike indikacij, predvsem videz, omogočajo približno določitev vrste nepravilnosti. Na podlagi videza nepravilnosti delimo na (sl. 2.4.2):





Slika 2.4.2: Videz nepravilnosti

- neprekinjene linearne (sl. 2.4.2a) – raztrganja, razpoke, hladni spoji, pri valjanih materialih dvoplastnost,
- prekinjene linearne (sl. 2.4.2b) – ne izstopajo na površini v svoji celotni dolžini (prekinjene), npr. pri izkovkih ali valjanih izdelkih lahko takšne nepravilnosti nastanejo zaradi udarcev kladiiva ali pritiska valjev,
- okrogle (sl. 2.4.2c) – v ulitkih plinske votlinice, vključki in pod., v zvarih na zaključkih varkov, kjer se lahko nahajajo kraterji,
- pikaste (skupine pik) – sl. 2.4.2d – poroznost, pikčavost, ipd
- razpršene (difuzne) – sl. 2.4.2e – brez ostre meje; nezadostna odstranitev odvečne detekcijske kapljevine; pri skrbni odstranitvi penetranta lahko gre za zelo majhno poroznost ali majhne mikro skupke (v Mg zlitinah). Preiskavo je nujno ponavljati.

#### 2.4.2.4 Lažne indikacije in povzročitelji odpovedi penetrantske metode

Lažne indikacije so barvne ali fluorescentne točke, črte ali območja, ki jih ne povzroči nepravilnost. Najpogostejši vzrok je nezadostna odstranitev detekcijske kapljevine iz preiskovane površine, nezadostna čistoča delovnega mesta (različne detekcijske kapljevine) ali vlakna in druge nečistoče na preiskovani površini.

Če se pri postopku preiskave ne upošteva zadostna oskrba – čiščenje, razmastitev površine, čas penetriranja in druga opravila, penetrantska preiskava lahko posreduje napačne informacije.

Do odpovedi metode lahko pride tudi v primeru, ko penetrantska preiskava sledi neposredno magnetni preiskavi, zaradi nezadostno očiščene površine. Nalepljeni magnetni prašek v nehomogenosti namreč prepreči prodiranje penetranta.

Naslednji vzrok je lahko t.im. ugašanje fluorescence. Pri fluorescenčni barvni preiskavi lahko nekatere vrste organskih barvil povzročijo znižanje ali absolutno ugašanje fluorescence. Tudi ostanki kislin ali baz iz predhodnih operacij lahko povzročijo ugašanje fluorescence.

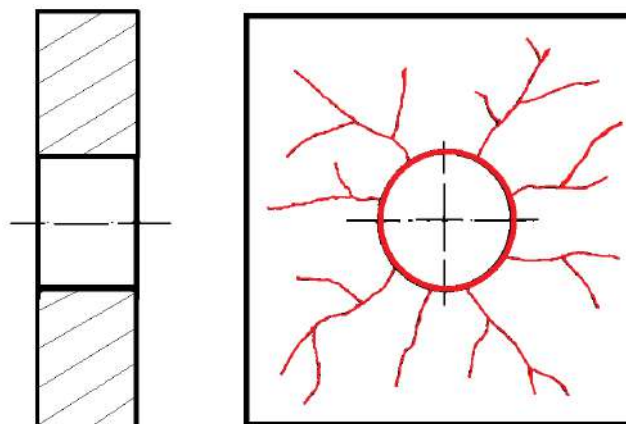
### 2.4.3 Občutljivost penetrantskih metod

Občutljivost penetrantskih metod je odvisna od veliko faktorjev – kvalitete preiskovane površine, lastnosti detekcijskih sredstev, vzdrževanja optimalnih pogojev preiskave, značaja nehomogenosti ipd.

Za preveritev občutljivosti preiskave, dosežene z danim preiskovalnim postopkom in sredstvom, se uporabljajo merilniki občutljivosti, ki jih imenujemo **kapilarni merilniki**, ki vsebujejo znane, **umetne** ali **naravne** nepravilnosti (večinoma razpoke).

#### 2.4.3.1 Splošni uporabljeni merilniki z naravno napako

- **alumijski merilnik** (sl. 2.4.3) – izdelujejo jih iz aluminijeve zlitine (npr. AlMg5) dimenzij 50 × 50 × 20 mm z luknjo v sredini s premerom 6 mm. Z ogretjem na temperaturo min. 540 °C in zatem močnim ohlajanjem v vodi nastane na površini mreža tankih in debelejših razpok. Površina merilnika z razpokami se razdeli na dve polovici, ki služita kot primerjalni pripomoček znanega in preiskovanega penetranta.



Slika 2.4.3: Aluminijski merilnik

- **kromiran merilnik** (sl. 2.4.4) – sestavljen je iz 3 mm debele pločevine, z dimenzijami 100 × 26 mm, kromirane s slojem debeline 200 µm. V kromiranem sloju se z Brinellovim merilnikom trdote ustvarijo trije vtisi s pritiskom 100, 200 a 300 MN.m<sup>-2</sup>. S tem se doseže različno pokanje kromiranega sloja. Od vtisnjenja se žarkasto širijo razpoke. Merilnik se uporablja za primerjalno ocenjevanje penetrantov.

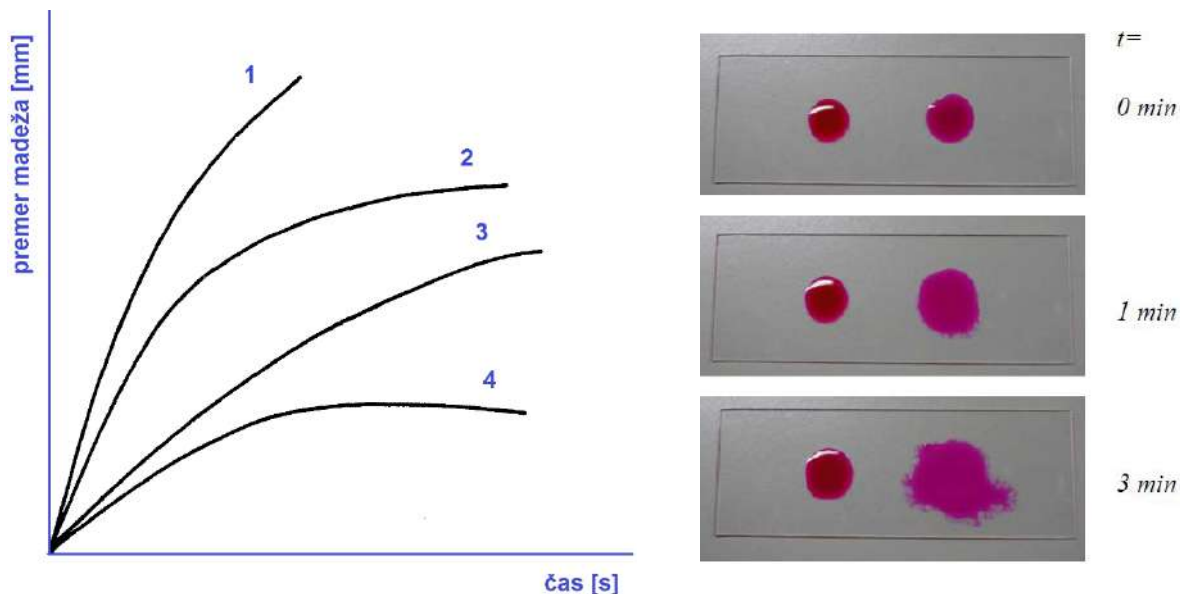


Slika 2.4.4: Kromiran merilnik

### 2.4.3.2 Preveritev občutljivosti preiskave brez merilnikov

Občutljivost penetrantske metode in kvaliteto penetrantskih sredstev lahko ocenjujemo tudi **brez merilnikov**. Gre za primerjalne postopke, pri katerih se kvaliteta preiskovalnih sredstev ocenjuje glede na kvaliteto znanih sredstev. Preverja se večinoma samo ena lastnost omočljivost, fluorescenca, ipd.) in iz nje se sklepa na celotno kvaliteto.

- **krivulje razlivanja** – sl. 2.4.5 – na razmaščeno površino kovinske ploskve z kakovostjo površine  $R_a = 3,2$  µm naneseemo točno odmerjeno kapljico preiskovanega penetranta (z mikropipeto) in zmerimo premer razlivajočega se madeža v določenih časovnih intervalih (npr. po 15 s) v obdobju 3 do 5 minut. Dobljeni podatki se grafično obdelajo v odvisnosti premera madeža od časa. S tem dobimo krivulje razlivanja, ki omogočajo ocenitev omočljivosti s primerjanjem s krivuljami znanih penetrantov. Potek krivulj je odvisen od vrste penetranta (z vodo odstranljiv, z vodo neodstranljiv, emulgirni), viskoznosti ipd. kar moramo pri primerjanju upoštevati.



Slika 2.4.5: Krivulje razlivanja

#### 2.4.4 Standardi in predpisi

Penetrantske preiskave so definirane s standardi in predpisi. Danes se največ uporabljajo EN ISO standardi, če pa naročniki to zahtevajo se lahko sklicujemo na ASME standarde ali na specifikacije, ki veljajo za posamezna področja strojne industrije.

Tabela 2.4.: Splošni standardi

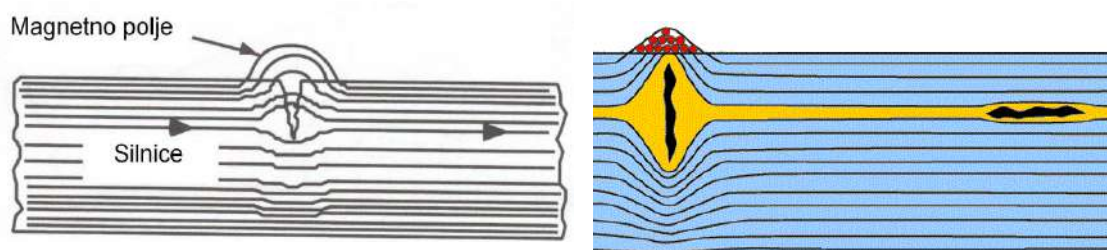
<b>SIST EN ISO 3452-1</b>	Neporušitvene preiskave – Preiskave s penetranti– 1.del: Splošna načela
<b>SIST EN ISO 3452-2</b>	Neporušitvene preiskave – Pregled s penetranti- 2.del: Preiskava penetrantskih snovi
<b>SIST EN ISO 23277</b>	Neporušitvene preiskave – Preiskava zvarov s penetranti. Stopnja sprejemljivosti.
<b>SIST EN 17635</b>	Neporušitvene preiskave zvarnih spojev. Splošna pravila za kovinske materiale.
<b>SIST EN ISO 9712</b>	Neporušitveno preskušanje – Kvalificiranje in certificiranje osebja za neporušitvene preiskave – Splošna načela
<b>SIST EN ISO 3059</b>	Neporušitveno preskušanje – Penetrantsko preskušanje in preskušanje z magnetnimi delci– Pogoji opazovanja
<b>ASME CODE, Section V, Division 6</b>	Preiskave s penetrantsko metodo

# PREISKAVA Z MAGNETNIMI DELCI

Pripravil: dr. Miloš Jovanović

## 2.5.1 Principi delovanja MT, uporaba različne opreme in tehnika preiskav

**Sipanje magnetnega polja** je pojav, ki ga opazujemo pri prehodu magnetnega pretoka po magnetnih vodnikih. Magnetni pretok ne poteka samo vzdolž 'določene poti' ampak po celotnem preseku, ki ga predstavlja magnetni vodnik. Magnetno polje, ki obkroža podpovršinske nehomogenosti zelo hitro upada s povečanjem globine. Gibanje magnetnih delcev je odločilno za zbiranje kontrastno obarvanih ali fluorescentnih delcev na mestu nehomogenosti. Zato je zaželeno, da imamo izstopanje magnetnega polja na površino preiskovanega predmeta. Sipano polje ob zračni reži v vzdolžno namagnetnem predmetu je prikazano na sliki 2.5.1. Zaradi vpliva sipanja magnetnega toka je potem indukcija manjša. Magnetno sipanje je tem večje čim večja je permeabilnost feromagnetnega materiala.



Slika 2.5.1: Sipanje magnetnega polja

Osnovna zahteva pri magnetenju je, da bi magnetni tok imel smer pravokotno na smer nepravilnosti, ki jih želimo odkriti. Zato je potrebno namagnetiti predmete pravokotno na smer predvidenih nepravilnosti.

To je možno doseči, če postavimo preizkušane ali samo en njegov del v odprti magnetni vodnik tako, da ga s preizkušancem zapremo ali pa da ga postavimo v tuljavo, ki jo napajamo z enosmernim ali izmeničnim tokom. V tem slučaju gre za vzdolžno magnetenje.

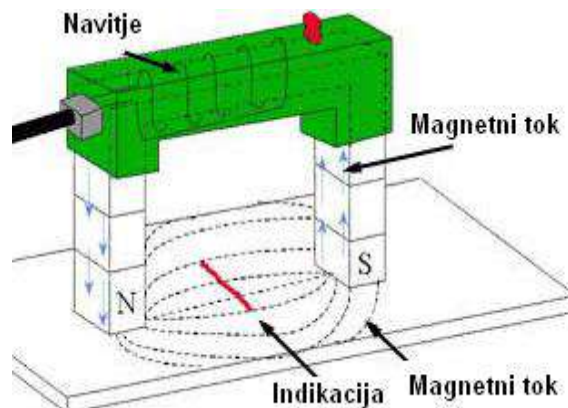
V nasprotju s tem daje krožno magnetenje (prečno) pri cilindričnih telesih najboljše indikacije za odkrivanje vzdolžnih nepravilnosti po celem obodu preizkušanca, ki ga je mogoče vzbuditi s prehodom vzdolžnega električnega toka. Gre za tako imenovano tokovno magnetenje. Pri njegovi uporabi pa pogosto naletimo na probleme zaradi dovajanja velikih tokov do preizkušanca. Pri ceveh ali votlih telesih je problem močno poenostavljen, saj je možno nataktniti cev na bakren vodnik, kjer so tudi manjši problemi s prehodnimi odpori na površini.

### Vzdolžno magnetenje

Pod tem pojmom razumemo vse tiste vrste magnetenja, pri katerih na koncih ali samo na delih preizkušanca, nastajajo magnetni poli, ki so trajni ali samo za določen čas. Pri tem načinu magnetenja je mogoče v preizkušancu odkriti prečne razpoke in razpoke s prečnim potekom.

Vzdolžno magnetenje delimo na:

- magnetenje z jarmom
- magnetenje s tuljavo



Slika 2.5.2: Vzdolžno magnetenje z jarmom

**Vzdolžno magnetenje z jarmom** – preiskovan predmet ali njegov del vtaknemo med pola magneta, s katerim zapremo magnetni tokokrog. Magnetno polje prehaja od enega pola k drugemu, predmet se namagnetni in tako se registrirajo prečne razpoke. Pri tem načinu ne prihaja do poškodb površine preizkušanca zaradi vžigov (glej sliko 2.5.2).

Magnetilni jarem je lahko trajni magnet ali elektromagnet, ki ga napajamo z izmeničnim, enosmernim ali pulznim tokom. Ta način se uporablja tako pri ročnih napravah kot tudi pri stacionarnih napravah.

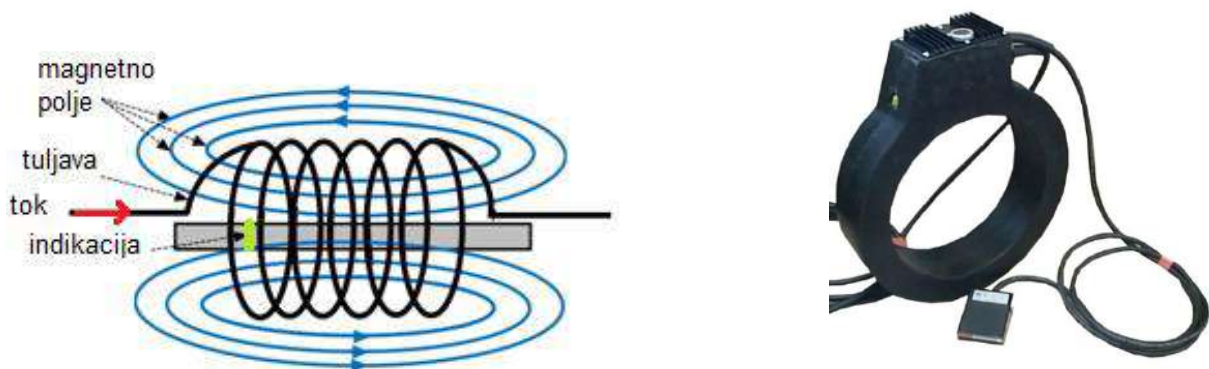
**Magnetenje v tuljavi** – način preiskave, pri katerem je predmet ali njegov del obkrožen z magnetilno tuljavo. Tuljava se napaja z enosmernim, izmeničnim ali pulznim tokom in ustvarja magnetno polje z dvema poloma (glej sliko 2.5.3). Predmet se namagnetni vzdolžno, to pomeni, da se registrirajo prečne razpoke. Velja enostaven princip: smer navitja tuljave (običajna smer toka) označuje smer opazovanih nezveznosti.

Magnetenje s tuljavo se pogosto uporablja ne samo pri stacionarnih napravah ampak tudi na prenosnih tokovnih napravah, kjer se pri ročnem preizkusu večinoma tuljava navije direktno na predmet.

**Prednosti** polnega magnetenja: ne nastanejo vžigi na predmetu in predmet se ne ogreva prekomerno.

**Slabosti:** Površinsko preizkušanje je omejeno na področje znotraj tuljave na razdalji 150 do 200 mm od obeh koncev tuljave. Pri velikih predmetih je mogoče ali tuljavo pomikati vzdolž predmeta ali pa potisniti predmet v tuljavo.

*Opomba:* Hitrost gibanja tuljave ali predmeta ne sme preseči 20 cm/s.



Slika 2.5.3: Magnetenje v tuljavi

## 2.5.2 Postopki preiskave z magnetnimi delci

### Priprava površine

Preiskovana površina mora biti suha, brez maščob, škaje, korozije, rje, olja, sledi po brušenju, brez prevlek ali katerihkoli tujih materialov, ki lahko vplivajo na občutljivost preiskave. V nekaterih primerih je lahko potrebna obdelava površine zvara z brušenjem. Mogoče je preiskovati tudi površine s tanko nemagnetno prevleko do debeline 50  $\mu\text{m}$ .

### Nanašanje detekcijskega sredstva

Ko je predmet pripravljen za preiskavo, nanesemo magnetno detekcijsko sredstvo z nabrizgavanjem, prelivanjem ali napašitvijo tik pred magnetenjem in med magnetenjem. Za tem pustimo, da se oblikujejo indikacije, preden odstranimo magnetno polje. Magnetenje mora biti izvedeno v dveh pravokotnih smereh.

### Suhi postopek

Uporabljeno sredstvo za preiskavo je barvni ali fluorescentni prašek z večjim premerom zrna.

Postopek preiskave:

- s površine odstranimo grobe nečistoče, škajo, rjo in maščobe;
- s pomočjo ustreznega indikatorja (klin, Bertholdovo telo) določimo potrebno jakost magnetenja;
- predmet magnetimo na ustrezen način in istočasno nanesemo detekcijski magnetni prašek;



- po končanem nanašanju praška na površino, s pihanjem (npr. s komprimiranim zrakom) odstranimo odvečni prašek. V primeru, da magnetimo z vzbujalnim poljem, šele potem končamo magnetenje predmeta;
- ustvarjene indikacije napak se ocenijo na koncu.

### **Mokri postopek**

Večina preiskav materialov in proizvodov z magnetnim praškom se izvaja po mokrem postopku. Detekcijsko sredstvo so barvne ali fluorescentne suspenzije praška, pri čemer je sredstvo za suspenzijo olje, petrolej ali voda – ta mora vsebovati antikorozijsko sredstvo in sredstvo proti penjenju.

Velikost zrn praška se giblje med 1  $\mu\text{m}$  in 40  $\mu\text{m}$ . Viskoznost suspenzije naj bi bila od 0,01 do 0,03  $\text{cm}^2/\text{s}$ .

Postopek preiskave:

- Glede na stanje površine (suho, mastno) izberemo vodno ali oljno suspenzijo.
- Glede na barvo površine in zahtevane občutljivost preiskave izberemo fluorescentno ali barvno suspenzijo.
- Površina očistimo nečistoč, maščob ipd.
- S pomočjo ustreznega indikatorja (klin, Berthold) določimo potrebno jakost magnetenja in preverimo smer.
- Predmet na ustrezen način namagnetimo in ga polivamo s preiskovalno suspenzijo. Polivanje preiskovane površine se mora vedno zaključiti prej kot magnetenje in to pri oljnih suspenzijah najmanj 3 do 5 sekund, pri vodnih suspenzijah pa najmanj 2 do 3 sekunde pred izključitvijo magnetenja. Če magnetimo s pomočjo gibljivega prevodnika, mora biti polivanje izvedeno pred in ne za njim!
- Po končanem magnetenju in polivanju je možno predmet takoj razmagnetiti. Tega se ne priporoča pri predmetih z visoko kvaliteto površino (brušeno, polirano), ker bi lahko prišlo do zabrisanja indikacij.
- Ocenimo indikacije prekinitev.

### **Impulzni postopek**

Preiskovani predmet najprej namagnetimo s tokovnimi impulzi, nato pa naneseemo detekcijsko sredstvo s potapljanjem predmeta v suspenzijo magnetnega praška ali polivanjem, včasih tudi s posipavanjem s praškom. Indikacije prekinitev v materialu ugotovljamo z opazovanjem dviga gostote magnetnega polja v okolici mesta napake.

#### **Postopek preiskave:**

Predmet očistimo in razmastimo.

Po vložitvi v magnetilno napravo predmet namagnetimo z najmanj 3 impulzi magnetilnega toka.

Namagneteni predmet položimo v tank z dobro premešano detekcijsko suspenzijo ali v napraševalno napravo (lonec, ki se vrtil). Nanašanje detekcijskega sredstva je možno tudi ročno.

Po nanašanju detekcijskega sredstva je možno takoj ocenjevati nastale indikacije prekinitev.

### **Delitev metode po vrsti praška**

Na podlagi izvedene indikacije z vidika uporabljenega detekcijskega praška delimo te metode na:

- barvne metode – detekcijski prašek je siv, črn ali rdečrjav. Ocenitev se izvaja na vidni svetlobi.
- fluorescentne metode – detekcijski prašek vsebuje luminofor, ki fluorescira na temnem ozadju. Ocenitev se izvaja pod ultravijolično svetlobo.

Dodatna delitev detekcijskih sredstev je na podlagi nosilnega medija:

- suhi prašek,
- oljne suspenzije,
- vodne suspenzije.

### **Lastnosti magnetnih praškov**

Magnetni prašek, če govorimo o pravilnem magnetenju, mora izpolnjevati zahtevo po nastanku dobro vidljivih in ostro izrisanih indikacij prekinitev materiala. To je odvisno od sledečih lastnosti:

#### **Magnetne lastnosti**

Prašek mora biti iz feromagnetnega materiala z visoko permeabilnostjo in čim nižjo koercitivnostjo. Biti mora magnetno istoroden.

Optične lastnosti.

-*Barva praška* – magnetni prašek se proizvaja samo v naravnih barvah, to je črni, sivi in rdeči. Barvanje praška poslabša njegove magnetne lastnosti.

-*Fluorescenca praška* – večina praškov fluorescira rumeno-zeleno ali modro-zeleno, redko pa oranžno. Jakost fluorescence se izraža s fluorescentnim koeficientom  $\beta$  v [Cd/W].

*Velikost zrn* praška je pomembna za dobro preiskavo zlasti rahlih prekinitev. Za suspenzijo se uporablja fino zrnati delci in bolj grobi delci za preiskavo s suhim praškom. Magnetni praški se razlikujejo na podlagi velikosti zrn:

- suhi prašek: 40 – 400  $\mu\text{m}$
- prašek v suspenziji: 1- 40  $\mu\text{m}$

**2.5.3 Interpretacija indikacij****Indikacije nepravilnosti**

Z magnetno metodo, ki bazira na uporabi praška je možno ugotavljati vse površinske in podpovršinske napake, ki prekinjajo magnetni tok v notranjosti izdelka do take mere, da na površini izdelka prihaja do nastanka sipanih polj.

- Izmed površinskih nepravilnosti se s to metodo najlažje ugotavljajo razpoke in hladni spoji/zlepi, zato ker ustvarijo najbolj izrazita sipana polja. Pokažejo se kot kopičenje feromagnetnih zrn na površini na mestu, kjer se nepravilnost nahaja.
- Napake na prekrovnih materialih, ki se nahajajo postrani glede na površino izdelka, dajo manj izrazito sipano polje.
- Detekcija por je odvisna od medsebojne razporeditve in oblike, tako da so izrazito indicirane samo takrat, ko ustvarijo gnezdo por.
- Prostorske nepravilnosti, kot so mehurčki, vključki itd., ustvarijo večinoma manj izrazita sipana polja, njihove indikacije pa niso dovolj ostre in se težje ocenijo.
- Podpovršinske nepravilnosti se vidijo težje, odvisno od tega, koliko so oddaljene od površine. Z razdaljo se poveča tudi neostrost indikacije in ocenitev takšnih difuznih indikacij je nezanesljiva.

**Lažne indikacije**

Magnetna sipana polja ne nastanejo samo na mestu, kjer je material poškodovan, ampak tudi tam, kjer poškodb ni. Takšne indikacije imenujemo lažne indikacije.

Nastanek lažne indikacije lahko povzroči:

- Hitra sprememba magnetnih lastnosti na površini preiskovanega predmeta, npr. stik z ostrim koncem drugega magnetiziranega predmeta (izvijač). Take lažne indikacije izginejo po razmagnetenju tega dela.
- Hitre spremembe preseka izdelka zvišajo gostoto magnetnega toka, ki sproži nepravo indikacijo. Z razmagnetenjem se ta lažna indikacija ne odstrani.
- Spremembe strukture materiala povzročajo lažne indikacije, ki so večinoma široke in imajo neostre konce. Pri ponovnem magnetenju na enak način se te indikacije pojavijo na istih mestih.
- Meje toplotno vplivanega področja (TVP) pri zvarih: magnetni prašek se usede v obliki razpršenih indikacij, ki so večinoma na robu spoja.
- Vlakan material, v glavnem pri jeklu, obdelanem v hladnem. Smer takšnih indikacij je enaka smeri vlaken materiala. Omejitev njihovega pojava je včasih možno doseči z znižanjem jakosti magnetenja (cca. 10-20 %).
- Prevelika jakost magnetenja predmeta ima za posledico nastanek velikega števila indikacij, orientiranih v smeri magnetnih silnic. Nastajajo v bližini polov magneta.

**Ocenitev rezultatov in poročanje o indikacijah**

Indikacije diskontinuitet materiala se pri tej metodi ocenijo vizualno. Pregled preiskovane površine se izvaja takoj po nanašanju detekcijskega sredstva in magnetenju.

Indikacije, ki jih dobimo z barvnimi praški, se ocenjujejo v razpršeni beli svetlobi. Jakost osvetlitve mora biti najmanj 500 lx na preiskovani površini.

Indikacija fluorescentnih praškov se ocenjuje v črni svetlobi ultravijoličnega vira. Jakost osvetlitve preiskovane površine mora biti najmanj 1000  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ . Pri tem zunanja svetloba (bela) ne sme presežati 20 lx.

Razen vizualne ocenitve indikacij in označenja mest z indikacijo na preiskovani površini je le-te pogosto potrebno shraniti za poročilo ali druge namene. To je možno na spodaj navedene načine:

- Fiksiranje indikacije napake neposredno na izdelku – napršimo tanko plast laka.
- Fotografija indikacije – fotografska slika je ugodna, ker lahko istočasno z indikacijo pokaže tudi sliko preiskovanega predmeta in tako da točnejše informacije o vrsti, velikosti in položaju prekrititve.
- Odtisi – izdelajo se na filtrirnem papirju ali na ustrezen lepilni trak.

### 2.5.4 Uporaba metode. Indikatorji občutljivosti in oprema

Za preverjanje občutljivosti postopka z magnetnim praškom in za določitev smeri magnetnega polja se uporabljajo različne vrste magnetnih indikatorjev. Najpogosteje se uporabljajo: Berthold in MTU št. 3.

#### Bertholdov indikator

Njegova osnova je nizek jeklen valjček, prerezan z dvema pravokotnim rezoma, ki prehajata skozi os. Ti 4 segmenti so spajkani, tako da nastane umetna indikacija v obliki križa. Čelo feromagnetnega valjčka je pokrito z vrtljivim diskom, ki je iz neferomagnetnega materiala in se z vrtenjem lahko oddalji ali približa feromagnetni osnovi. Z Bertholdovim indikatorjem delamo podobno kot s klinastim indikatorjem. Glede na to, ali se na indikatorju indicira vzdolžna ali prečna umetna napaka, določimo smer magnetenja, z oddaljenostjo diska od valjčka pa njegovo jakost.

Čim večja je razdalja med diskom in prerezom valjčka, pri kateri se pojavi indikacija umetne napake, tem večja je jakost magnetenja. Če se indicira na indikatorju umetna nepravilnost v obliki križa, lahko govorimo o kombiniranem magnetenju, ali pri posameznem magnetenju je indikator obrnjen za toliko, da noben rez čez valjček ni pravokoten na smer magnetnega polja. To se lahko izkoristi za določanje smeri magnetnega polja pri izdelkih s kompleksno obliko, kjer smeri ni mogoče določiti na podlagi smeri magnetenja.



Slika 2.5.4: Bertholdov indikator

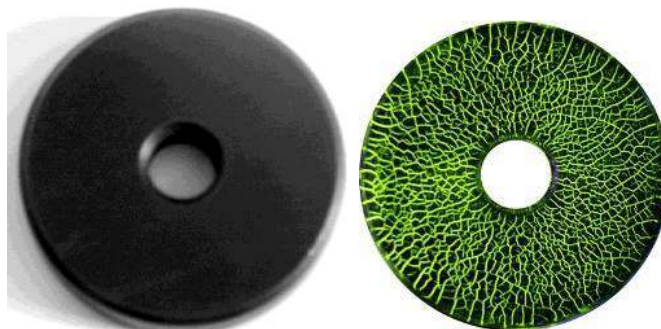
#### Indikator MTU št. 3

Uporablja se za določanje občutljivosti različnih suspenzij magnetnih praškov.

*Princip:* kontrolni indikator je bil namagneten s prehodom toka 24 A/cm. Zaostalo polje ni zadostno za uporabo kontrolnega indikatorja.

*Postopek:* kontrolni indikator pred uporabo očistimo s krpo in polijemo z detekcijsko tekočino. Potem ga namestimo v položaj postrani navzgor na absorpcijsko krpo za 3 – 5 minut, da bo suspenzija lažje odtekla. Potem sledi ocenjevanje.

*Ocenjevanje:* dobro detekcijsko sredstvo pokaže na tem indikatorju najmanjše indikacije v dolžini 1 mm. Če se te indikacije ne pojavijo, se sredstvo ne sme več uporabljati, ampak ga je treba zamenjati.



Slika 2.5.5: Indikator MTU št. 3

#### Naprave za magnetenje

Naprave za magnetenje, ki se uporabljajo za ugotavljanje površinskih napak v feromagnetnih materialih, delimo v 3 osnovne skupine:

1. prenosne naprave

- ročni magneti in elektromagneti
  - viri toka
2. mobilne naprave – samo viri toka
  3. stacionarne naprave
    - univerzalne
    - avtomatizirane



Slika 2.5.6:  
Permanentni magnet

### Ročne magnetne naprave

Ročne magnetne naprave so enostavne naprave, ki delajo na principu magnetnih polov.

**Permanentni magneti:** najbolj enostavni tip je jarem, ki ga tvori jeklena vrv, ki ima na obeh koncih valjaste permanentne magnetne. Drugi tip permanentnega magneta je kolenčasti jarem. Magnetni obvod se ustvari z gibljivimi deli, ki so spojeni z gibljivimi sklepi. To omogoča postavitve jarma v želeni položaj.

**Prednosti:** neodvisnost od virov toka.

**Pomanjkljivosti:** majhna jakost magnetnega toka, giblje se med 1,5 do 2 kA/m.

**Elektromagneti** so majhni jarmi, ki imajo v enostavnejši izvedbi samo eno osrednjo nogo. Zmogljivejši tipi imajo dve nogi, ki so na ramah jarma. Jakost magnetnega polja večina proizvajalcev določa na sredini med poloma na površini jeklene pločevine, ki je debela od 8 - 10 mm. Giblje se od 1,5 do 10 kA/m pri različni razdalji med poloma.

Na podlagi napajalnega toka jih delimo na elektromagnete z izmeničnim magnetnim poljem in magnetne z enosmernim magnetnim poljem. Magneti z izmeničnim magnetnim poljem so konstrukcijsko enostavnejši. Njihova teža se giblje med 3 in 6 kg. Teža enosmernih je približno 10 kg.



Slika 2.5.7: Elektromagnetni jarem

### Prenosni viri toka

To so transformatorji, ki omogočajo transformacijo omrežne napetosti na vrednosti 4 – 10 V. Tokovi, ki jih je mogoče prevzeti s sekundarnega navitja, so v povprečju od 100 do nekaj 1000 A. Magnetni tok teče po močnostnih kablih ali elektrodah, prislonjenih na površino preiskovanega predmeta.

Uporaba naprav:

Viri toka omogočajo uporabo elektrod, krožno magnetenje s prehodom preko predmeta. Če elektrodi zamenjamo s pomožnim vodnikom, to omogoča krožno magnetenje prstanastih ali cevni predmetov ali pa notranjih površin izvrtin.



Slika 2.5.8: Prenosni transformator

Viri toka omogočajo krožno magnetenje, ki nastane s spajanjem kablov na pritrjeno cev ali ovitjem kablov okoli preiskovanega predmeta.

Parametri naprav:

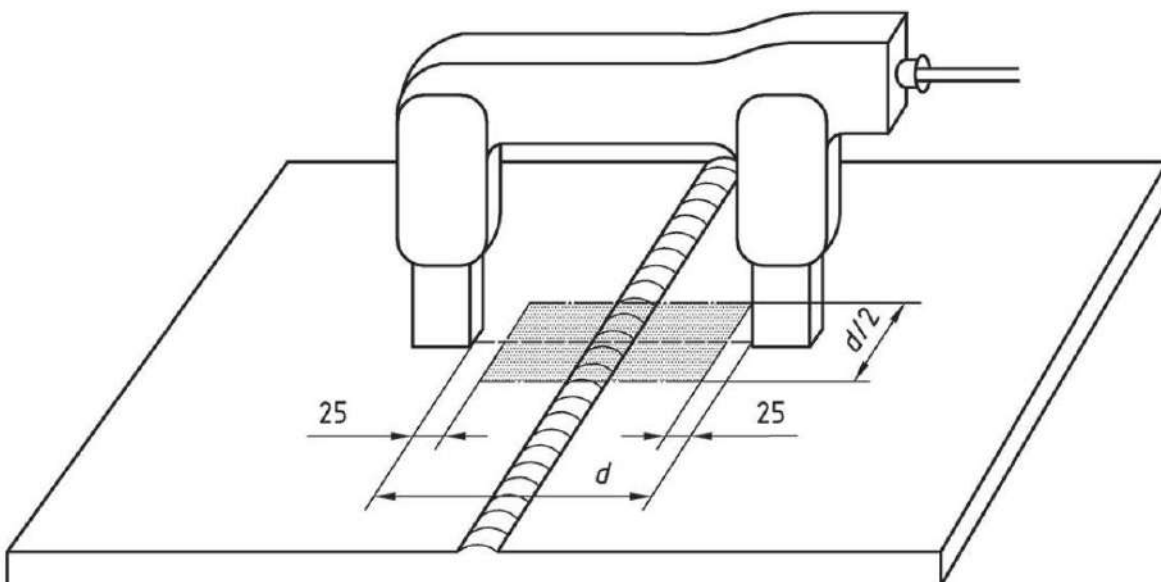
- viri toka se proizvajajo magnetilne tokove od 500 – 4000 A. Uporabljajo izmenični tok 50 Hz in enosmerni tok. Nekateri omogočajo tudi impulzno magnetenje.
- Teža virov toka se poveča z zmogljivostjo naprave, in to od 10 kg (pri 500 A) do 90 kg (pri 4000 A).

Prednost: preiskava je hitra in poceni.

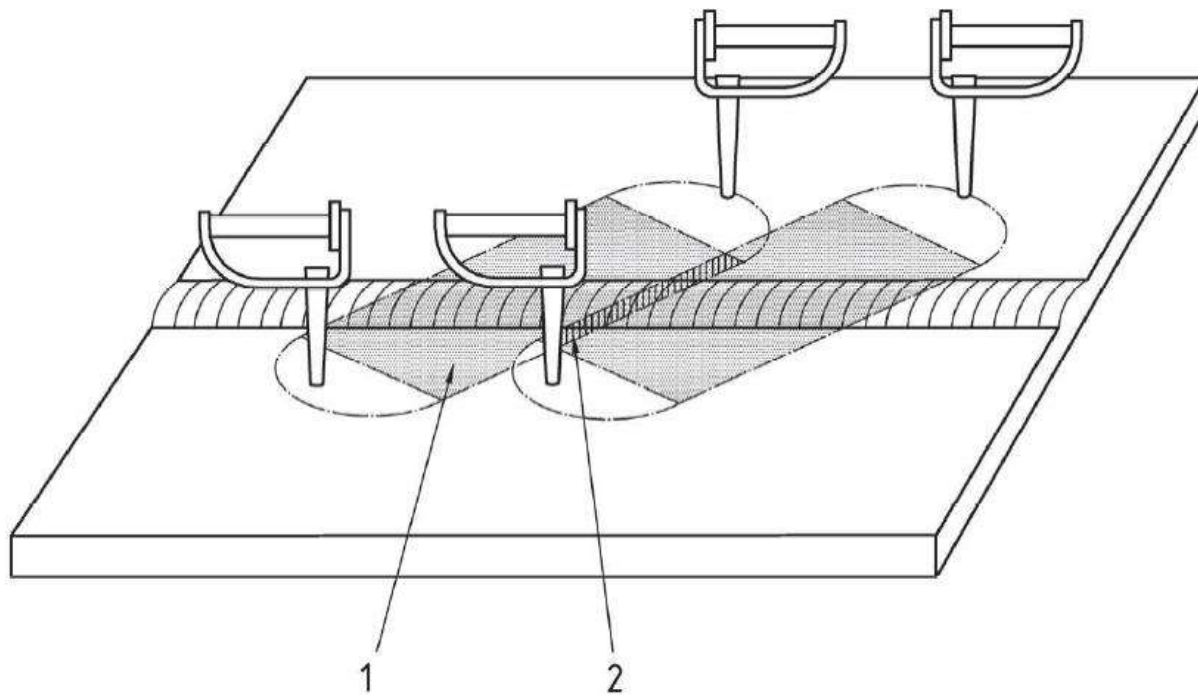
Pomanjkljivost: Pri uporabi elektrod (Cu) je nevarnost nastanka vžiga.

### 2.5.5 Standardi za magnetne preiskave

<b>SIST EN ISO 17635</b>	Neporušitveno preskušanje zvarov – Splošna pravila za kovinske materiale
<b>SIST EN ISO 9934-1</b>	Neporušitveno preskušanje – Preskušaneje z magnetnimi delci – 1. Del: Splošna načela
<b>SIST EN ISO 9934-2</b>	Neporušitveno preskušanje - Preskušanje z magnetnimi delci - 2. del: Sredstva za preiskave
<b>SIST EN ISO 17638</b>	Neporušitvene preiskave zvarov- Preiskave zvarov z magnetnimi delci
<b>SIST EN ISO 23278</b>	Neporušitvene preiskave zvarnih spojev - Preiskave zvarnih spojev z magnetnimi delci – Stopnje sprejemljivosti
<b>SIST EN ISO 12707</b>	Neporušitveno preskušanje - Terminologija - Izrazi s področja preskušanja z magnetnimi delci
<b>SIST EN ISO 3059</b>	Neporušitveno preskušanje – Penetrantsko preskušanje in preskušanje z magnetnimi delci– Pogoji opazovanja



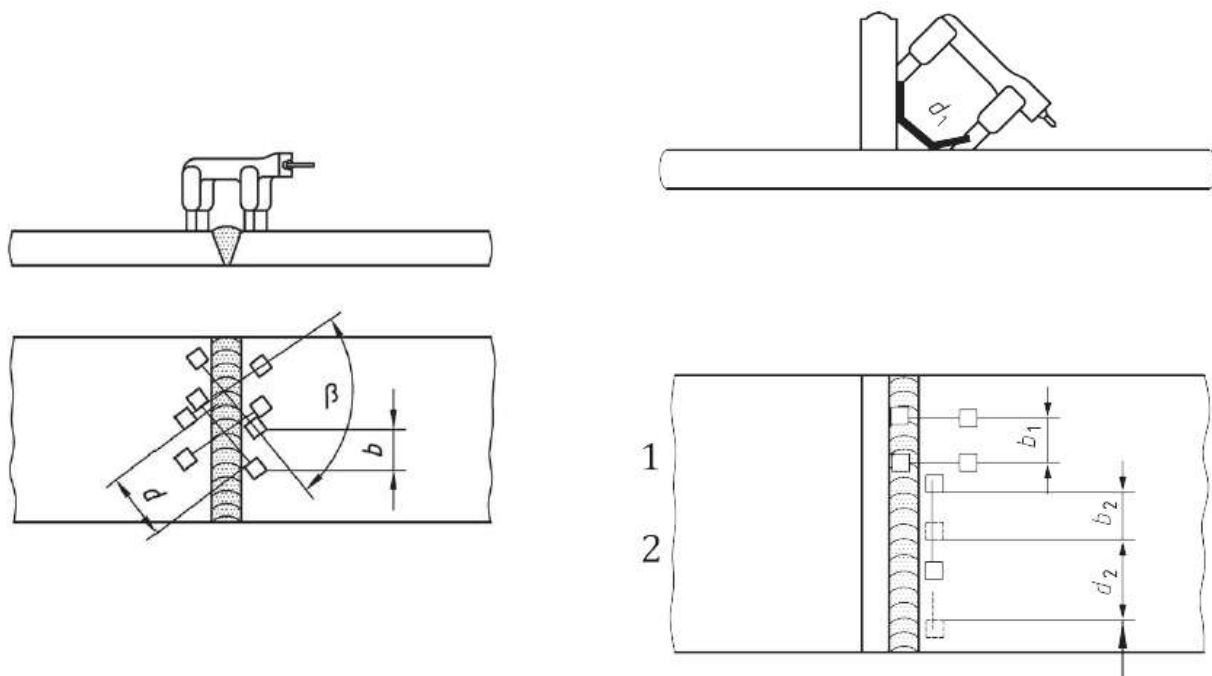




**Key**

- 1 effective area
- 2 overlap

**Figure 3 — Overlap of effective areas**



$$\begin{aligned}
 d &\geq 75 \\
 b &\leq d/2 \\
 \beta &\approx 90^\circ
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_1 &\geq 75 \\
 b_1 &\leq d_1/2 \\
 b_2 &\leq d_2 - 50 \\
 d_2 &\geq 75
 \end{aligned}$$

### 5.14 Test report

A test report shall be prepared.

The report should contain at least the following:

- a) name of the company carrying out the test;
- b) the object tested;
- c) date of testing;
- d) parent and weld materials;
- e) any post weld heat treatment;
- f) type of joint;
- g) material thickness;
- h) welding process(es);
- i) temperature of the test object and the detection media (when using media in circulation) throughout testing duration;
- j) identity of the test procedure and description of the parameters used, including the following:
  - type of magnetization;
  - type of current;
  - detection media;
  - viewing conditions;
- k) details and results of the overall performance test, where applicable;
- l) acceptance levels;

#### 3.1

##### **linear indication**

*l*

indication having a length greater than three times its width

#### 3.2

##### **non-linear indication**

*d*

indication having a length less than or equal to three times its width

## 5 Acceptance levels

### 5.1 General

The width of the test surface shall include the weld metal and the adjacent parent metal up to a distance of 10 mm on each side.

Acceptance levels prescribed for linear indications are those corresponding to the evaluation level. Indications lower than this shall not be taken into account. Acceptable indications do not have to be recorded.

Any adjacent indications separated by less than the major dimension of the smaller shall be assessed as a single, continuous indication.

Local grinding may be used to improve the classification of all or just part of a test surface, when it is required to work to a higher detection limit than that expected by the existing weld surface condition.

Acceptance levels are given in [Table 1](#).

**Table 1 — Acceptance levels for indications from imperfections**

Dimensions in millimetres

Type of indication	Acceptance level <sup>a</sup>		
	1	2	3
Linear indication <i>l</i> = length of indication	$l \leq 1,5$	$l \leq 3$	$l \leq 6$
Non-linear indication <i>d</i> = major axis dimension	$d \leq 2$	$d \leq 3$	$d \leq 4$

<sup>a</sup> Acceptance levels 2 and 3 may be specified with a suffix "X", which denotes that all linear indications detected shall be assessed to level 1. However, the probability of detection of indications smaller than those denoted by the original acceptance level can be low.

# RADIOGRAFSKA PREISKAVA

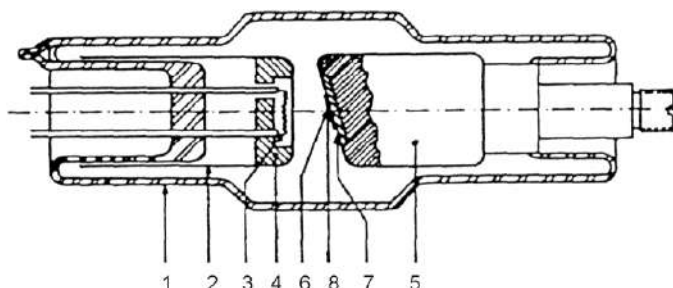
Pripravil: Nikolaj Samsa

## 2.6.1 Ustvarjanje X žarkov

### 2.6.1.1 Rentgenska cev

Žarke X ali rentgenske žarke ustvarjamo s pomočjo rentgenske cevi. Rentgenska cev je steklena vakuumska posoda, v kateri sta vgrajeni dve elektrodi, žarilna nitka na negativnem potencialu (katoda) in pozitivna anoda. Iz žarilne nitke izstopajoči elektroni se pod vplivom električne napetosti med elektrodama pospešujejo in pri udaru na anodo oddajo svojo energijo. Večji del energije se spremeni v toploto in le manj kot 1 % v elektromagnetno valovanje – rentgensko žarkovje. Žarilno nitko obdaja posebno oblikovan kovinski cilindri – Wehneltov venec, ki skrbi za pravilno usmerjanje – fokusiranje elektronov na anodo. Površino na anodi, na katero naletavajo elektroni, imenujemo fokus.

Oblika in velikost fokusa je odvisna od poteka električnega polja med katodo in anodo – elektrostaticna leča, od velikosti in oblike žarilne nitke in njene namestitve v Wehneltovem vencu. Razpored električnega polja je podan z obliko Wehneltovega venca in temu ustrezno nastane večji ali manjši fokus.

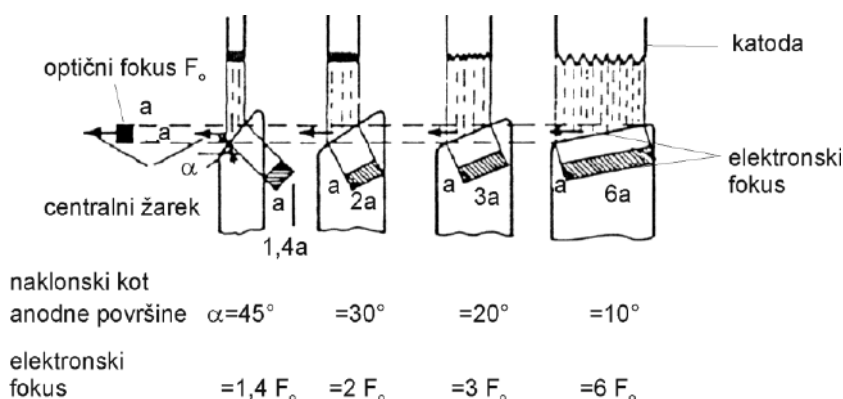


Slika 2.6.1: Rentgenska cev

1 – stekleni balon, 2 – katoda, 3 – žarilna nitka, 4 – Wehneltov venec, 5 – anoda, 6 – fokus, 7 – wolframska ploščica, 8 – os izstopajočih rentgenskih žarkov ali centralni rentgenski žarek

Anoda je izvedena kot velika bakrena masa, v katero je vstavljena wolframska ploščica. Toplotna energija, ki se sprošča na površini anode, se prevaja prek bakrene mase in sega zunaj območja steklenega balona, od koder jo lažje odvajamo v okolico, bodisi z zračnim, oljnim ali vodnim hlajenjem.

Velikost fokusa je v rentgenologiji zelo pomembna, saj je od tega odvisna ostrina slike. Poleg tega pa morajo biti zaradi krajšega časa ekspozicije energije čim večje. Naloga rentgenske tehnike je torej združiti zahteve po majhnem fokusu in velikih energijah.



Slika 2.6.2: Vpliv naklonskega kota anode na razmerje med optičnim in elektronskim fokusom

Prva ovira te naloge je zelo slab izkoristek rentgenske cevi. Več kot 99 % dovedene energije se spremeni v nekoristno toploto, ki jo je potrebno odvajati. Material anode, volfram, ima sicer zelo visoko tališče ( $3400^\circ\text{C}$ ), vendar ne smemo dovoliti, da pride do deformacije ali celo taljenja anode, ker bi to uničilo rentgensko cev. Za pridobitev čim večje energije v obliki rentgenskih žarkov je potrebno poskrbeti za zadostno odvajanje toplote.

Na velikost fokusa lahko vplivamo s primerno izbiro naklonskega kota anodne površine. Iz slike spodaj je razvidno, da ločimo med elektronskim termičnim fokusom, to je površino anode, kamor naletavajo elektroni, kjer se tvori toplota, in optičnim fokusom, ki je pravokotna projekcija elektronskega fokusa

Optični fokus vidimo v smeri centralnega žarka, ki leži pravokotno na vzdolžno os rentgenske cevi. Pri manjšem naklonskem kotu anodne površine je optični fokus lahko nekajkrat manjši od elektronskega fokusa. Na večjem elektronskem fokusu lahko sproščamo večje energije, katere del – rentgensko žarkovje – izstopa iz nekajkrat manjšega optičnega fokusa. Naklonskega kota anodne površine ne moremo poljubno manjšati, ker ta določa tudi kot izstopnega rentgenskega žarkovja, ki se širi iz optičnega fokusa v obliki stožca. Velikost žarkovnega stožca določa velikost osvetljenega filmskega formata na določeni razdalji. Ko pri rentgenski cevi govorimo o fokusu, vedno mislimo na optični fokus, ker je le-ta odločilen za ostrino slike.

## 2.6.2 Prodiranje in absorpcija. Učinek napetosti in toka v cevi

Kot svetloba je tudi rentgensko žarkovje elektromagnetno valovanje in predstavlja del elektromagnetnega valovnega spektra. Kratka valovna dolžina daje rentgenskim žarkom lastnosti, zaradi katerih jih lahko uporabljamo v tehniki in medicini. Te lastnosti so:

- prodiranje skozi snovi.
- oslabitev (atenuacija) ali absorpcija v snoveh.

Ob udaru na strukture atoma energija žarkov slabi zaradi absorpcije in raspršitve (fotoefekt, Comptonovo sipanje, tvorba parov). Obseg oslabitve pri presevanju je odvisen od valovne dolžine žarkov in od gradnje presevanega objekta:

- pri krajši valovni dolžini je oslabitev manjša,
- čim višje je vrstno število elementov, ki sestavljajo presevani objekt, tem večja je oslabitev; razlike v oslabitvi glede na vrstno število elementov pridejo posebno do izraza pri uporabi dolgovalovnega (mehkega) žarkovja, ki ga lahko dosegamo z rentgenskim aparatom.

Izbira osvetlitvenih (ekspozicijskih) vrednosti:

Na komandni omarici vsakega rentgenskega aparata je možno določati naslednje vrednosti:

- električno napetost na rentgenski cevi v kV,
- jakost električnega toka prek cevi v mA,
- čas ekspozicije pri slikanju v minutah.

Z izbiro napetosti v cevi določamo valovno dolžino rentgenskih žarkov, to je njihovo prodornost. Prodornost je treba prilagoditi debelini in različni sestavi slikanega objekta. V praksi uporabljamo napetosti od 20 do 300 kV, izjemoma tudi več.

Z izbiro toka, ki teče v rentgenski cevi in ga merimo v mA, indirektno določamo količino iz fokusa cevi izstopajočih rentgenskih žarkov. V praksi uporabljamo tok od 0,1 do 10 mA.

Z izbiro časa ekspozicije, merjenega v minutah, se v povezavi z izbiro toka v cevi, merjenega v mA, določi količina žarkov, ki je potrebna, da dobimo pri slikanju različnih objektov pravilno počrtnitev filma. To je tako imenovani miliamperminutni produkt.

### Struktura slikanega objekta

Kontrastni prikaz struktur na rentgenogramu je vidna predstava razlik v oslabitvi žarkov v različnih materialih. Kontrastnost rentgenograma je torej večja takrat, kadar je v slikanem območju material, ki ima različen koeficient oslabitve, različno gostoto ter različno debelino plasti, skozi katero prodirajo žarki. Na rentgenogramih pride posebno do izraza razlika med visokim absorpcijskim koeficientom v kovini in nizkem absorpcijskem koeficientu plinskih vključkov.

Obseg slabitve žarkov v določenem objektu podaja pravilo:

$$I = I_0 e^{-\mu s} \text{ (Lambert - Beer) .}$$

I = količina izstopnih žarkov

I<sub>0</sub> = količina vstopnih žarkov

s = pot žarkov skozi slikani objekt

ρ = gostota objekta

μ = koeficient slabitve.

Pri slikanju z žarki daljše valovne dolžine v območju od 70 kV do 120 kV je razlika med absorpcijo v materialu velika in so zato rentgenogrami močno kontrastni. Pri uporabi žarkov krajše valovne dolžine se razlike v oslabitvi žarkov v kovini v primerjavi z materialom nekovinskih vključkov manjšajo in rentgenogrami postajajo manj kontrastni.



### 2.6.3 Radiografski filmi in nastanek slike. Kakovost posnetka v primerjavi z značilnostmi sevanja

Fotografski zapis z ionizirajočimi žarki presevanega materiala je eden od načinov za hrambo stalne slike, slikanje na radiografski film.

Rentgenski film, ki se uporablja za rentgensko slikanje, je sestavljen iz emulzije srebrovega bromida in želatine, ki je prevlečena preko plastične folije. Za razliko od navadnih fotografskih filmov ima rentgenski film prevleko na obeh straneh filma. S prevleko na obeh straneh se skrajša čas ekspozicije, povečata občutljivost in kontrast radiograma.

Rentgenografija – je način preiskave, pri katerem se pokažejo razlike v slabitvi žarkov v materialu na fotografskem filmu. Pri osvetlitvi z rentgenskimi žarki pride v fotografski emulziji filma, sestavljeni iz želatine in molekul AgBr, zaradi ionizacije do razrahljanja vezi med srebrom in bromom. Te faze slikovnega procesa na filmu z našimi očmi še ne moremo zaznati. Govorimo o latentni sliki. Šele ko potopimo eksponirani film v raztopino kemikalij (razvijalo), se reducira srebrni ion osvetljene molekule AgBr do metalnega srebra. Področje na filmu, na katerega je padla večja količina žarkov, je zaradi večje količine metalnega srebra temnejše (negativ) za razliko od slike na diaskopskem zaslonu, ki na teh mestih močneje fluorescira (pozitiv). Fotografski posnetek z rentgenskimi žarki imenujemo rentgenogram.

V praksi uporabljamo filme brez ali z ojačevalnimi folijami. Foliji, ki sta vloženi v kaseti skupaj s filmom obojestransko (čim tesnejši kontakt), nam omogočata skrajševanje časa ekspozicije filma oz. nam povečujeta počrnitev filma. V uporabi sta dve vrsti ojačevalnih folij:

- Fluorescente, ki so iz kalcijeve volframatne ali cinkove sulfidne solne prevleke na kartonski foliji. V času presevanja skozi folijo folija seva ultravijolično svetlobo, ki vpliva na povečano počrnitev in večji kontrast radiograma.
- Kovinske, ki so iz folije kovine. Za čim večji efekt je ustreznejša kovina z čim večjim atomskim številom, da dobimo večje število izbitih elektronov in večje jakosti sekundarnega sevanja. Največ se uporabljajo svinčene folije, ki so uporabne za energije večje od 100 keV. Za zelo velike jakosti energije radiacije pa se uporabljajo folije iz tantala ali volframa debeline 1 do 2 mm.

Faktor ojačanja je izražen z razmerjem ekspozicije brez folije proti ekspoziciji s folijo. Vrednost faktorja je odvisna od kvalitete žarčenja in uporabljene folije. Za solne folije faktor lahko preseže 150, toda ponavadi je vrednost okoli 50. Za svinčene folije faktor redkokdaj preseže vrednost 3. Običajno znaša faktor za folije iz težjih kovin 2.

Kakovost posnetka je odvisna od presevanega materiala in uporabljenega vira sevanja in pogojev slikanja. Mehkejše žarčenje uporabimo, večje kontraste lahko dobimo na sliki. Seveda pa smo omejeni z vrsto materiala in debelino. Pri uporabi »trdih« žarkov (uporaba izotopov ali visoke napetosti pri rentgenskih napravah) je slika nekontrastna s prevladujočimi sivimi barvnimi toni.

### 2.6.4 Radiografski postopek in vrsta filma. Počrnitev filma. Pojem neostroti posnetka, občutljivost

Iz fokusa rentgenske cevi izhaja stožec žarkov, ki je v preseku enakomerno gost. Ko ga usmerimo na del preiskovanega predmeta, prehaja skozi predmet. V primeru nehomogenosti materiala predmeta zaradi neenakomerne oslavitve (atenuacije) izstopa na drugi strani iz predmeta intenzitetno modulirano žarkovje. Tako neenakomerno razporeditev žarkov v izstopnem stožcu imenujemo izstopni žarkovni relief.

Razlike v atenuaciji žarkov so osnova za preiskavo materiala, ker so odraz razlik v sestavu materiala.

Prikažemo jih lahko na več načinov:

- Diaskopija – je način preiskave, pri katerem opazujemo in ocenjujemo sliko, ki nastane na diaskopskem zaslonu. Zaslon je postavljen tako, da prestreza izstopajoče žarke. Klasični diaskopski zaslon je karton, prevlečen s fluorescirajočimi snovmi (luminofori), vstavljen v okvir in prekrit na strani opazovalca s svinčnim steklom. Razlike v slabitvi žarkov v materialu se kažejo v obliki sorazmerno šibkejše ali močnejše fluorescence na površini zaslona. Klasični diaskopski zaslon je danes nadomeščen pri sodobnih sistemih z elektronskim ojačevalnikom slike in televizijsko verigo prenosa slike na monitor.
- Radiografija je zapis na osnovi fotografskega filma.
- Kseroradiografija je način rentgenografije na elektrostatični osnovi s pomočjo aluminijaste plošče, prevlečene s plastjo selena. V posebni napravi se plošča naelektri in avtomatično vstavi v kaseto, ki ne

prepušča svetlobe. Taka kasetna z naelektreno ploščo se nato uporablja pri rentgenskem slikanju enako kakor kasetna z vložnim fotografskim filmom. Pri ekspoziciji pride v selenski plasti do razelektritve, sorazmerno z intenziteto rentgenskih žarkov, ki so padli na posamezna območja površine. Po slikanju je treba vstaviti kaseto s ploščo v drugo napravo (procesor), v kateri se po plošči posuje negativno naelektreni obarvani prah (toner), ki se razporedi po površini, ustrezno preostalemu naboju plošče. Doslej nevidna (latentna) slika se sedaj prikaže in se s segrevanjem po suhem postopku prenese iz plošče na papir. Isto ploščo je mogoče uporabiti za slikanje več tisočkrat, tako da jo pred vsakim slikanjem ponovno naelektrimo.

Kvalitete rentgenske slike (rentgenograma, kserograma, slike na diaskopskem zaslonu, slike na računalniškem tomografskem monitorju) je osnova za natančnost rentgenološke analize. Kvaliteta slike je odvisna od ostrine in kontrastnosti prikaza struktur slikanega objekta.

Slika je ostra, kadar so robovi posameznih podrobnosti gradnje upodobljenega objekta na sliki čim bolj vidni in dobro ločeni med seboj. Objektivno bi se ostrina slike dala določiti z izmero posameznih sestavnih delcev slike, ki se jih da med seboj razmejiti. Subjektivno pa dojemamo ostrino slike po bolj ali manj ostrih prehodih ene črtnice v drugo. Zato je subjektivno ostrina slike, kakor jo dojemajo oko, odvisna tudi od kontrastnosti slike.

### 2.6.5 Neostrina slike

Ločimo tri vrste neostrine:

- Geometrijsko
- Notranjo
- Gibalno

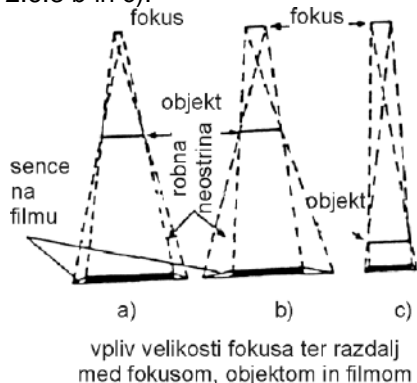
**Geometrijska neostrina** nastane zaradi velikosti izvora in oddaljenosti opazovanega predmeta od filma. Večja velikost izvora nam daje večjo plosenco na filmu. Večja kot je razdalja opazovanega predmeta (običajno je to nepravilnost) večja je plosenca kot projekcija na filmu in to označujemo kot geometrijsko neostrino.

Idealno ostri rentgenogram bi nastal takrat, kadar bi se točka slikanega objekta predstavila tudi na rentgenogramu kot točka. Absolutno ostrega rentgenograma ni možno doseči.

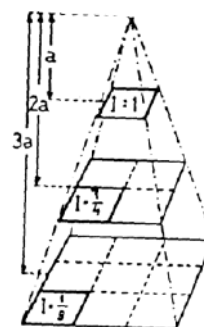
#### Geometrični pogoji pri slikanju

Rentgenogram nastane tako, da se projicirajo strukture predmeta na film s pomočjo rentgenskih žarkov, ki izstopijo iz fokusa rentgenske cevi. Na ostrino slik vplivajo velikost fokusa, razdalja med fokusom in slikanim objektom, razdalja med slikanim objektom in filmom ter razdalja med fokusom in filmom.

Iz slike je razvidno, da je obrobna neostrina slikanega objekta manjša pri manjšem fokusu (slika 2.6.3 a in b). Neostrina je manjša tudi, kadar je razdalja med fokusom in objektom večja, razdalja med objektom in filmom pa manjša (slika 2.6.3 b in c).



Slika 2.6.3



Slika 2.6.4

Večanje razdalje med fokusom in filmom je možno le do določene meje, ker intenziteta rentgenskih žarkov v žarkovnem stožcu pada s kvadratom razdalje (slika 2.6.4). V praksi se danes večji del rentgenskega slikanja opravlja iz razdalje do dveh metrov in le izjemoma iz večjih razdalj do štirih metrov.

**Notranja neostrina** - Razpršeno (sekundarno) žarkovje.

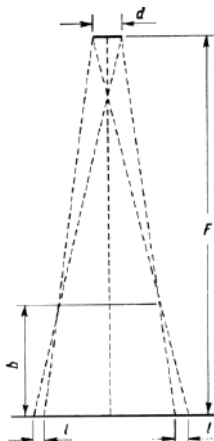
Podobno kakor elektroni iz materiala anode v rentgenski cevi povzročijo tudi rentgenski žarki pri udaru na atomske strukture konstrukcijskih elementov rentgenskih naprav nastanek tako imenovanega sekundarnega žarkovja, ki prši na vse strani. Če padejo neusmerjeni sekundarni žarki na rentgenski film, močno pokvarijo

ostrino in kontrastnost slike. Zato skušamo z zaslonkami in z drugimi ukrepi zmanjšati nastajanje sekundarnega žarkovja na najmanjšo možno količino in mu z rešetkami preprečiti dostop do filma.

Zaslone so priprave, grajene običajno iz svinca, s katerimi se da omejiti snop žarkovja, ki izhaja iz cevi le na območje, ki ga pregledujemo ali slikamo. Čim manjše je obsevano območje, tem manj je sekundarnega žarkovja. Zaslone so grajene v obliki tubusa ali v obliki diafragme in so pritrjene na ohišje cevi.

Učinek neusmerjenega rentgenskega žarkovja na ostrino in na kontrastnost rentgenograma lahko primerjamo z zbledelostjo slike na platnu pri projekciji s svetlobnimi projektorji v nezatemnjenem prostoru, ko razen iz žarišča projektorja pada na projekcijsko platno tudi neusmerjena dnevna ali umetna svetloba.

Na ostrino rentgenograma vplivajo kvaliteta filma (predvsem zrnatost emulzije – notranja neostrina), kvaliteta fotografskim kemikalij in postopek pri razvijanju v temnici, kakor tudi uporaba ojačevalnih folij različne kvalitete pri slikanju.



Slika 2.6.5. Neostrina  $l$  se veča z razdaljo med slikanim predmetom in zaslonom – filmom, z večanjem gorišča in z zmanjševanjem razdalje od gorišča do predmeta.

**Gibalno neostrino** povzroči premik predmeta ali vira sevanja med slikanjem. Premik vira sevanja se vedno vrši pri uporabi izotopov, ki jih potisnemo v kolimator (zaslonko). V času potovanja izotopa iz defektoskopa v kolimator izotop obseva okolico in s tem tudi film. Predpis dovoljuje, da znaša maksimalni čas potiskanja 10 % celotnega časa obsevanja preiskovanega predmeta. Gibalno ostrino najlažje opazimo na zamikih oznak radiogramov.

### Ostrina slike na diaskopskem zaslonu in računalniškem zaslonu

Na ostrino slike na klasičnem diaskopskem zaslonu vplivajo isti dejavniki, kot so naštetih v prejšnjem podpoglavju, predvsem pa lastnosti uporabljene fluorescentne mase (zrnatost, trajanje fluoresciranja). Ker je fluoresciranje klasičnega diaskopskega zaslona zelo slabo in opazno le v temi, uporabljamo danes elektronske ojačevalnike, ki svetlost slike večkratno ojačijo. Pri uporabi ojačevalnikov se pridružijo še novi vzroki neostrine, ki nastopajo pri spreminjanju svetlobne energije v elektronsko in obratno.

## 2.6.6 Kontrastnost rentgenograma

Slika je kontrastna, kadar je na njej možno subjektivno dobro razpoznati, pa tudi objektivno z denzitometrijo izmeriti razlike med območji z močno in območji s šibko počrnitvijo pri črno-beli fotografiji, pri barvni sliki pa razlikovati različno obarvana območja. Subjektivno dojeta kontrastnost slike je odvisna od zmogljivosti vida, jakosti razsvetljave, velikosti opazovanega območja slike idr.

Kontrastnost in ostrina vplivata skupno na dojetje kakovosti slike v človeškem očesu. Obravnavanje vsake lastnosti posebej služi le za boljše teoretično razumevanje medsebojnega vpliva.

Kontrastnost rentgenograma je odvisna predvsem od izbire osvetlitvenih ekspozicijskih vrednosti, to je od kakovosti in od količine rentgenskih žarkov, ki jih uporabimo pri slikanju in od strukture slikanega objekta. Poleg tega pa vplivajo na kontrastnost slike še dejavniki, ki vplivajo istočasno tudi na ostrino. To so kvaliteta fototehničnega materiala, predvsem krivulja črnitve in gama vrednost filma, način temnične obdelave filma, uporaba ojačevalnih folij, uporaba pribora, ki zmanjšuje nastajanje sekundarnega žarkovja in preprečuje neusmerjenim žarkom dostop do filma.

## 2.6.7 Gradient filma

Gradient časa osvetlitvene krivulje določa radiografski kontrast. Kontrast je razlika počrnitve na radiogramu znotraj obsega slikanega predmeta. Razlika počrnitve je določena z intenzivnostjo prepuščene svetlobe  $I_1$  in  $I_2$ , na mestih počrnitve  $D_1$  in  $D_2$  (glej EN 584-1).

$$\text{Razlika počrnitve } \Delta D = D_1 - D_2 = \log \frac{I_0}{I_2} - \log \frac{I_0}{I_1} = \log \frac{I_1}{I_2};$$

$I_0$  – intenzivnost vstopne svetlobe,

$I_1$  – intenzivnost izstopne svetlobe na mestu počrnitve  $D_1$

$I_2$  – intenzivnost izstopne svetlobe na mestu počrnitve  $D_2$

$$\text{Gradient } G = \frac{\Delta D}{K_S}; K - \text{doza sevanja v Gy (gray); Hitrost } S = \frac{1}{K_S}$$

### 2.6.7.1 Počrnitev filma (OPTIČNA gostota) in krivulja počrnitve

Počrnitev filma povzroča kovinsko srebro, ki se v temničnem kemičnem postopku reducira iz osvetljene molekule AgBr v fotografski emulziji. Stopnja počrnitve je sorazmerna količini žarkov, ki padejo na določeno območje filma. Počrnitev rentgenograma v posameznih območjih lahko izmerimo z merjenjem prepuščene svetlobe in jo izrazimo s stopnjo počrnitve po formuli:

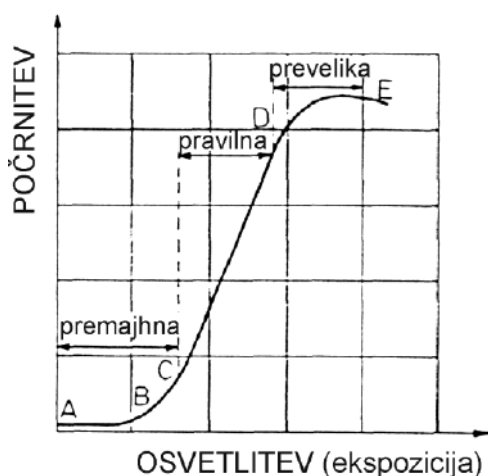
$$D = \log I_o / I_p$$

$I_o$  = količina svetlobe, ki pade na film

$I_p$  = količina svetlobe, ki jo prepušča počrnjeno območje filma.

Pri stopnji počrnitve 1 prepušča film 1/10, pri stopnji počrnitve 2 pa 1/100 vpadne svetlobe. Od sestave fotografske emulzije je odvisna lastnost posameznih vrst fotografskih filmov, s kakšno počrnitvijo predstavijo osvetlitev. Odnos med osvetlitvijo filma in ustrezno počrnitvijo predstavi krivulja počrnitve, ki je značilna za posamezno zvrst filma. Dobimo jo, če postopoma osvetljujemo film z vedno večjo količino žarkov, ga nato razvijemo in izmerimo ustrezne počrnitve. V koordinatno mrežo vnesemo nato vodoravno osvetlitev v logaritmični vrednosti in vertikalno ustrezne počrnitve filma (slika spodaj).

Standardna krivulja počrnitve kaže, da v začetku kljub naraščajoči osvetlitvi počrnitev ne narašča (odsek A – B), nato narašča le počasi (odsek B – C), šele v odseku D – E je izčrpana sposobnost filma, da bi reagiral še naprej na povečano osvetlitev z nadaljnjim večanjem počrnitve. Osvetlitev pri slikanju je treba izbrati tako, da pade na film žarkovni relief v območju tistih količin žarkov, ki jih lahko film najbolje prikaže z ustreznimi počrnitvami, to je v odseku C – D. Pri strmem poteku krivulje v odseku C – D se že majhne razlike v osvetlitvi prikažejo s sorazmerno veliko razliko v počrnitvi, pri položnejšem poteku pa je razlika v počrnitvi manjša.



Slika 2.6.6: Krivulja počrnitve

A – B prag, B – C prehodni del, C – D strmi ravni del, D – E vrh

Območje osvetlitve:

A – C - premajhna; C – D - pravilna; D – E - prevelika

Radiografske tehnike za industrijsko radiografijo delimo v dva razreda,

- razred A: osnovne tehnike
- razred B: izboljšane tehnike

Pogoji osvetlitve morajo biti takšni, da je celotna gostota počrnitve radiografskega posnetka (vključno osnovna gostota in zameglitev) v preiskovanem območju večja od tiste, navedene v tabeli 2.6.1, ali njej enaka.

Tabela 2.6.1: Gostota počrnitve radiografskih posnetkov

Razred	Gostote počrnitve <sup>1)</sup>
A	≥ 2,0
B	≥ 2,3
1) Dovoljena je merilna toleranca ± 0,1 .	

Večje gostote počrnitve se lahko s prednostjo uporabijo tam, kjer je opazovalna svetloba dovolj močna.

Da bi se izognili nepotrebno velikem gostotam počrnitve zaradi staranja filma, razvijanja ali temperature, je treba zameglitev filma periodično preverjati na neosvetljenih vzorcih filmov, uporabljenih in procesiranih v enakih pogojih kot dejanski radiografski posnetek. Zameglitev filma ne sme presegati 0.3. Zameglitev je tu definirana kot celotna gostota počrnitve (emulzija in osnova) razvitega, vendar neosvetljenega filma.

Kadar uporabljamo večfilmsko tehniko z interpretacijo posameznih filmov, mora biti gostota počrnitve posameznega filma skladu s tabelo 2.6.1.

Če se zahteva pregled dvojnega filma, gostota počrnitve enega samega filma ne sme biti manjša od 1,3.

V primeru, da iz tehničnih razlogov ni mogoče izpolniti enega od pogojev, specificiranih za razred B, se pogodbeni stranki lahko dogovorita, da je izbrani pogoj lahko tisti, ki je specificiran za razred A. Izgubo občutljivosti kompenziramo s povečanjem minimalne gostote počrnitve na 3,0 ali z izbiro sistema s kontrastnejšim filmom (glej SIST EN ISO 17635).

## 2.6.8 Občutljivost

Emulzija filma je sestavljena iz želatine in kristalov srebrovega bromida (AgBr) in nekaj malega srebrovega jodida (AgJ). Zrna halogenidov so fotografsko aktivna. Zrna so premera 1 do 3 μm. Celotni kristal ni aktiven, temveč se na njemu nahajajo klice občutljivosti. Te klice občutljivosti se ustvarjajo pri nanosu fotografske emulzije, tako da se formirajo male skupine atomov srebra (Ag) ali molekule srebrovega sulfida (Ag<sub>2</sub>S) ali pa skupina atomov zlata in srebra. Žveplove spojine se običajno nahajajo že v želatini, zlato pa se dodaja v obliki soli. Večje je število klic v zrnu večja je občutljivost filma. V emulziji se nahajajo zrna različnih velikosti z različnim številom klic in njihove občutljivosti, zato bodo tudi zrna različno občutljiva. Občutljivost filma je izražena s časom osvetlitve za določeno počrnitve. Grobozrnati filmi so občutljivejši od fino zrnatih, zato je čas presvetljevanja filma krajši pri grobozrnatih.

Slika na filmu se formira od količine zrn srebra, ki so individualni delci, tako majhni, da se lahko vidijo samo z mikroskopom. Zrna se zbirajo v večje skupke, ki se vidi s prostim očesom ali z malo povečavo. Vizualni vtis je zrnatost. Filmovi so izdelani različne zrnatosti oz. občutljivosti, ti pa so uvrščeni v razrede. Razred sistema filma je

odvisen od gradienta zrnatosti in razmerja gradient - šum  $\ast \frac{G}{\sigma_D}$ ;  $\sigma_D$  - zrnatost, šum

Razredi filma so razvrščeni od C<sub>1</sub> do C<sub>6</sub>.

## 2.6.9 Orientacija nepravilnosti in dimenzije v primerjavi z zmožnostjo odkritja

Nepravilnosti, ki jih odkrivamo z neporušitveno metodo notranje preiskave, morajo povzročiti na posnetku dovolj velik kontrast. Nepravilnosti morajo povzročiti manjšo ali večjo absorpcijo od osnove, da dobimo ustrezno velik kontrast. Na radiogram se preslika projekcija nepravilnosti, ki leži med izvorom sevanja in filmom. Za indikacijo so pomembni kriteriji kot so:

- velikost (dolžina, širina)
- oblika (okrogla ali podolgovata),



- medsebojni razpored in medsebojna razdalja,
- koncentracije pri neenakomernih razporeditvah,
- lokalne koncentracije (gnezda por, vzdolžne nepravilnosti).

Plinske pore se dokaj dobro razpoznavajo na radiogramih, tako lahko razločimo pore velikosti 0,1 do 0,2 mm. Nepopolnosti spajanja in razpoke ravnih smeri se najlažje prepoznajo, če je smer vstopa žarkov približno vzporedna s smerjo njihovega prostiranja po globini. Odkrivanje nepravilnosti je onemogočeno, če se nepravilnosti nahajajo v neugodni legi za smer sevanja. Tako ni možno odkriti zlepa, ki je pravokoten na smer sevanja in ne povzroča razlike absorpcije žarkovja v primerjavi z ostalo površino. Tudi drobne razpoke so neugodne za razpoznavanje na radiogramu. Smer prelomne površine razpoke naj bi bila vzporedna s smerjo žarkov ali največ  $\pm 15^\circ$  od smeri žarčenja, kajti le v tem primeru se zagotovi dovolj velika propustnost oz. uklon žarkov skozi razpoko.

### 2.6.10 Učinek materialov, debelina in geometrija komponente

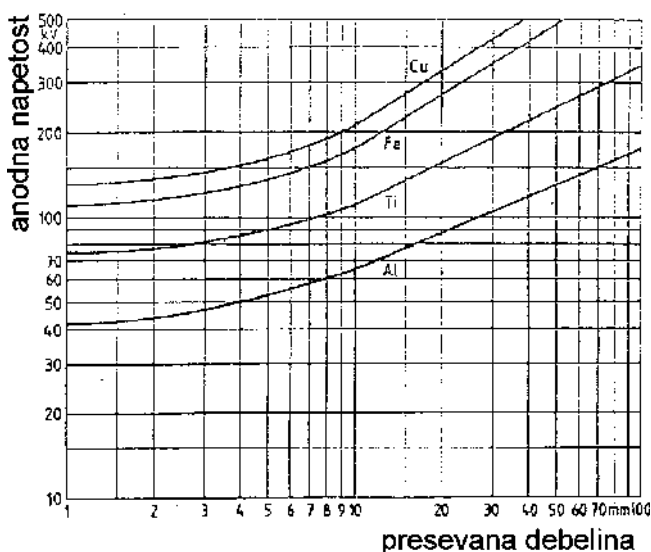
Absorbcija ionizirajočega žarčenja v materialu je odvisna od vrstnega števila elementa in debeline materiala. Upoštevati je potrebno tudi geometrijo predmeta, ki ga presevamo. Različne debeline presevanega predmeta vplivajo na kontrastnost slike. Velike razlike počrtnitve na istem posnetku nam lahko zakrijejo nepravilnosti v preseku materiala. Zato si lahko pomagamo za izenačevanje debelin z maskami iz trdnega materiala ali iz zdroba. Absorbcijo rentgenskega žarkovja v materialu največkrat izrazimo z razpolovno debelino. To je debelina, ki povzroči oslabitev jakosti žarkovja za polovico.

Tabela 2.6.2: Razpolovne debeline (mm)

keV	Al	Fe	Cu	Ni	Cr	Pb
103	15,2	2,5	1,8	1,9	3,24	0,12
123	17,1	3,4	2,6	2,63	4,24	0,2
154	18,4	4,7	3,7	3,76	5,74	0,35
205	21,9	6,4	5,3	5,26	2,53	0,73
246	23,3	7,4	6	6,1	8,14	1,14

### 2.6.11 Omejitve metode. Materiali, debelina, geometrija

Radiografska metoda ni primerna za materiale z večjim vrstnim številom elementa zaradi prevelike absorpcije. Tudi z debelino materiala smo omejeni. Prav tako se izogibamo preiskavi kotnih zvarov, posebno brez prevaritve, ki so neugodni za razpoznavanje nepravilnosti v zvaru. Anodna napetost mora biti čim nižja, da bi obdržali dobro občutljivost za napake. Maksimalne vrednosti glede na debelino in presevan material so določene s standardom SIST EN 17636: 2013, točka 7.2.1.



Slika 2.6.7: Najvišje anodne napetosti rentgena za presevano debelino predmeta

## 2.6.12 Nevarnosti za zdravje in njihova kontrola

### 2.6.12.1 Detekcija rentgenskih žarkov

Glede na delovanje rentgenskih žarkov na žive organizme želimo pri zaščiti pred ionizirajočim sevanjem vedeti, kakšno količino oziroma dozo prejme oseba, ki je zaposlena pri delu z ionizirajočim sevanjem. Tudi v rentgenski tehniki želimo meriti dozo rentgenskih žarkov, ki je potrebna za optimalno osvetlitev rentgenskega filma.

Za meritve učinkov sevanja je pomembna **ekvivalentna doza**  $H_T$ .

$$H_T = \sum W_R D_R$$

Enota je Sievert = J/kg = 1 Sv

$W_R$  - utežni faktor sevanja

Utežni faktor sevanja je odvisen od vira sevanja in se giblje od 1 do 20.

#### Dozne omejitve

Za prebivalstvo je maksimalna ekvivalentna doza, ki jo lahko sprejme človek v enem letu 1 mSv. Delavci, ki delajo z ionizirajočimi viri, ki so zdravstveno varovani z rednimi pregledi in uporabljajo osebne dozimetre lahko sprejmejo največ 20 mSv/leto.

Fotokemično delovanje na fotografsko emulzijo omogoča fotografiranje z rentgenskimi žarki.

Spreminjanje električne prevodnosti polprevodnikov omogoča merjenje količine žarkovja, pa tudi posebno vrsto fotografiranja s pomočjo nekaterih selenskih plošč (kseroradiografija).

Ioniziranje molekul se kaže pri delovanju na živo snov v spremembi kemičnih procesov v celicah, zaradi katerih celice spremenijo svoje lastnosti ali propadejo. To lastnost koristno uporabljamo pri zdravljenju, da uničujemo bolne celice, ki so bolj občutljive na žarke kot zdrave. Ker žarkovje škoduje tudi zdravim celicam živih bitij, povečamo posebno pozornost zaščiti delavcev pri delu z ionizirajočim sevanjem.

Ionizirajoče delovanje na molekule razredčenega plina v posebni merilni napravi (ionizacijska komora) uporabljamo za dozimetrijo, to je merjenje količine rentgenskih žarkov.

### 2.6.2.2 Varstvo pred sevanji

Zaščitni ukrepi so:

#### Stacionarni viri:

- radiografski postopek se izvaja v ločenem prostoru, brez prisotnosti operaterja,
- stene prostora, ali primerni dodatni ščiti se uporabljajo kot primarna zaščita pred sevanjem v koristnem snopu,
- stene prostora, strop, tla ali/in primerni premični ščiti se uporabljajo kot sekundarna zaščita pred sipanim sevanjem,
- začetek snemanja se sproži na daljavo iz drugega prostora,
- na delovanje rentgenskega aparata mora opozarjati posebni svetlobni alarm oz. dodatno še zvočni alarm
- operater mora imeti možnost hitre prekinitve obsevanja (prekinitveno stikalo na komandni plošči)
- zvočni in svetlobni alarmi za potek snemanja morajo biti slišni/vidni tudi znotraj prostora
- obstajati mora možnost odpiranja vstopnih vrat z notranje strani.

#### Premični viri

- obsevanje izven posebej namenjenih prostorov izvajata najmanj dve osebi z ustreznim znanjem in izkušnjami; izkušnje pri delu z novo opremo si morajo delavci pridobiti z vajami brez vira sevanja;
- pred izvajanjem industrijske radiografije izven posebej namenjenih prostorov je potrebno **ograditi in označiti nadzorovano območje**, kjer bo potekalo preiskovanje, in sicer tako, da na meji ograjenega območja ni presežena hitrost doze 7,5  $\gamma$ Sv/h povprečno v osmih urah oziroma največ 60  $\gamma$ Sv/h (JV2-SV2) (ALT: da na meji ograjenega območja ni presežena hitrost doze 7,5  $\gamma$ Sv/h (IAEA manual) oz. 25  $\gamma$ Sv/h (materiali IAEA tečaja za upravne organe);

- osnovna zaščita operaterja je razdalja, zato morajo biti električni kabli, ki povezujejo kontrolni del z rentgensko cevjo čimbolj poravnani, da je operater čimbolj oddaljen od cevi;
- delavci, ki izvajajo radiografijo, morajo vse čas preiskovanja materiala nadzorovati ograjeno nadzorovano območje in preprečiti vstop drugim osebam;
- če je mogoče, se vir postavi tako, da je koristen snop usmerjen v tla ali v smer, kjer ni ljudi;
- če je možno, se uporabijo diafragme, ki omejujejo nekoristni del snopa rentgenskega sevanja;
- uporabljajo se premični ščiti in varovala;
- posameznike, ki se nahajajo v bližini območja, kjer se izvaja industrijska radiografija, je potrebno pred začetkom del seznaniti z ustreznimi ukrepi varstva pred sevanji;
- posamezniki v bližini območja morajo biti z zvočnimi in svetlobnimi signali opozorjeni na začetek, trajanja in konec snemanja;
- operater mora ves čas imeti možnost prekinitve snemanja s prekinitvenim stikalom;
- po koncu snemanja je potrebno z merilnikom ugotoviti ali je vir v zaščitnem ohišju.

## 2.6.13 Tehnike

### 2.6.13.1 Pregled komponent; Izbira vira sevanja in vrste filma

Glede na objekt, ki ga je potrebno preiskati z viri sevanja, se odločamo za vrsto filma in izberemo vir sevanja. Na razplago so filmi različne občutljivosti in različne gradacije. Finejše je zrno na filmu, bolj omogoča večjo ločljivost. Filme s finejšo gradacijo je potrebno osvetljevati z večjo količino žarkovja kot normalno občutljive filme. Izbira sevanja je odvisna od materiala in njegove debeline, ki jo je potrebno preiskati. Standard EN ISO 17636 določa maksimalno jakost žarkovja za določeno debelino in določen material, hkrati pa je podana tabela s priporočenim obsegom debelin za posamezno jakost oz. izvor sevanja.

Tabela 2.6.3: Izbira vira glede na debelino in razred preiskave

Radiation source	Penetrated thickness, $w$ mm	
	Test class A	Test class B
Tm 170	$w \leq 5$	$w \leq 5$
Yb 169 <sup>a</sup>	$1 \leq w \leq 15$	$2 \leq w \leq 12$
Se 75 <sup>b</sup>	$10 \leq w \leq 40$	$14 \leq w \leq 40$
Ir 192	$20 \leq w \leq 100$	$20 \leq w \leq 90$
Co 60	$40 \leq w \leq 200$	$60 \leq w \leq 150$
X-ray equipment with energy from 1 MeV to 4 MeV	$30 \leq w \leq 200$	$50 \leq w \leq 180$
X-ray equipment with energy from 4 MeV to 12 MeV	$w \geq 50$	$w \geq 80$
X-ray equipment with energy above 12 MeV	$w \geq 80$	$w \geq 100$

- a) Pri aluminiju in titanu je debelina presevanega materiala za razred A  $10 < w < 70$  in za razred B  $25 < w < 55$ .  
 b) Za aluminij in titan je debelina presevanega materiala za razred A  $35 < w < 120$ .

### 2.6.14 Ravnanje s filmi in njihovo shranjevanje

Tako kot fotografski filmi so tudi radiografski filmi občutljivi na višje temperature. Visoka temperatura sproži v filmu fizikalne in kemične procese v emulziji, ki povzročijo izgubo kvalitete filma. Emulzija razpoka, na filmu pa se poveča tudi motnost oz. osnovno počrnitev. Zato je priporočljivo radiografske filme hraniti v prostoru s čim nižjo temperaturo. Za daljše obdobje se filmi lahko hranijo v hladilniku. Take filme je potrebno nekaj ur pred uporabo temperirati na temperaturo okolice, da se izognemo kondenzaciji vlage na film. Običajno shranjevanje filmov naj bi bilo v prostoru z relativno vlago med 50 % in 60 % in temperature do 20 °C in seveda odmaknjeno od kakršnega koli ionizirajočega sevanja. Proizvajalci filmov garantirajo za kvaliteto filmov v času garancije ob upoštevanju garancijskih pogojev ravnanja s filmi.

### 2.6.15 Vzpostavitev radiografskega postopka in pogojev

Glede na uporabljen vir sevanja in obliko predmeta postavimo film pod površino, ki jo bomo presevali. Oddaljenost vira do predmeta izbiramo glede na razred preiskave.

Minimalna razdalja vir / predmet,  $f_{\min}$ , je odvisna od velikosti vira,  $d$ , in od razdalje predmet/film,  $b$ .

Razdaljo  $f$ , kjer je možno, izbrejemo tako, da razmerje med to razdaljo in vlikostjo vira,  $d$ , t.j.  $f/d$ , ni manjše od vrednosti, ki jih dajo naslednje enačbe:

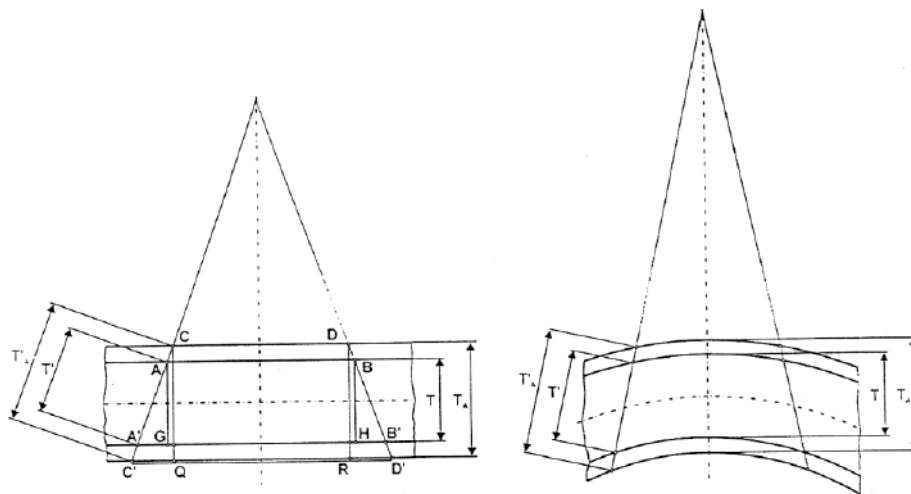
$$\text{Za razred A: } \frac{f}{d} \geq 7,5b^{\frac{2}{3}}$$

$$\text{Za razred B: } \frac{f}{d} \geq 15b^{\frac{2}{3}} \quad b \text{ je podan v (mm).}$$

Če je razdalja  $b < 1,2 t$ , dimenzijo  $b$  v enačbah nadomestimo z nazivno debelino  $t$ .

**Dolžino radiograma** izbiramo glede na zunanji rob radiograma in razdaljo do gorišča.

Razmerje med presevano debelino na zunanjem robu ocenjevanega območja enakomerne debeline in presevane debeline v centru žarka ne sme biti večje od 1.1 za razred B in in 1.2 za razred A.



Slika 2.6.8: Oznake mejnih žarkov sevanja na material za določitev k faktorja

Faktor  $k$  je odvisen od razlike debelin, skozi katere gre robni žarek proti centralnemu žarku.

$$k = 1 + \frac{\Delta T}{T}$$

Če je potrebno, zaščitimo film pred nazaj razpršenim sevanjem z ustreznim debelim svinčcem, vsaj 1 mm, ali kositrom debeline vsaj 1,5 mm, ki ga namestimo zadaj za kombinacijo film-folija.

Prisotnost nazaj razpršenega sevanja je treba preveriti za vsako novo preskusno usmeritev s svinčeno črko B (višina vsaj 10 mm in debelino minimalno 1,5 mm), nameščeno neposredno za filmom oz. kaseto. Če se slika tega simbola pojavi kot svetlejša slika na radiografskem posnetku, jo je treba zavreči. Če je simbol temnejši ali neviden, je radiografski posnetek sprejemljiv in priča o dobri zaščiti pred razpršenim sevanjem.

V razredu A, če je treba odkriti ravninsko nepravilnost, mora biti minimalna razdalja  $F_{\min}$  enaka kot za razred B zato, da bi zmanjšali geometrijsko neostrost za faktor 2.

Pri kritičnih tehničnih aplikacijah na pokljivost občutljivih materialov je treba uporabiti občutljivejše radiografske tehnike, kot je razred B.

Za izbiro ustreznih filmov glede na uporabljene vire ionizirajočega sevanja in presevano debelino je s standardom določen razred filmskega sistema.

Tabela 2.6.4: Razredi filmskega sistema

Izvor sevanja	Deblina presevanja	Klasa film. sistema <sup>1)</sup>		Vrsta in deblina metalnih folij	
		A	B	Klasa A	Klasa B
Moč rentgena ≤ 100 kV		C 5	C 3	nobena ali sprednja in zadnja svinčena folija do 0,03 mm	
Moč rentgena >100 - 150 kV			C 4	sprednja in zadnja svinčena folija do max. 0,15 mm	
Moč rentgena >150 - 250 kV				sprednja in zadnja svinčena folija od 0,02 do 0,15mm	
Yb 169 Tm170	W < 5 mm	C 5	C 3	nobena ali prednja in zadnja svinčena folija do 0,03 mm	
	W ≥ 5 mm		C 4	sprednja in zadnja svinčena folija od 0,02 do 0,15mm	
Moč rentgena >250 - 500 kV	W ≤ 50 mm	C 5	C 4	sprednja in zadnja svinčena folija od 0,02 do 0,2 mm	
	W > 50 mm		C 5	sprednja svinčena folija od 0,1 do 0,2mm <sup>2)</sup>	
Ir 192		C 5	C 4	sprednja svinčena folija od 0,02 do 0,2mm	sprednja svinčena folija od 0,1 do 0,2mm <sup>2)</sup>
				zadnja Pb folija od 0,02 do 0,2 mm	
C0 60	W ≤ 100 mm	C 5	C 4	sprednja in zadnja folija iz jekla ali bakra od 0,25 do 0,7 mm <sup>3)</sup>	
	W > 100 mm		C 5		
Rentg. oprema z energijo od 1MeV do 4 MeV	W ≤ 100 mm	C 5	C 3	sprednja in zadnja folija iz jekla ali bakra od 0,25 do 0,7 mm <sup>3)</sup>	
	W > 100 mm		C 5		
Rentg.oprema z energijo od 4MeV do 12MeV	W ≤ 100 mm	C 5	C 4	sprednja folija od jekla, bakra ali tantala maks. do 1 mm <sup>4)</sup> zadnja folija od jekla ali bakra do 1 mm ili od tantala do 0,5 mm <sup>4)</sup>	
	100mm < W ≤ 300 mm		C 5		
	W > 300 mm				
Rentg.oprema z energijo > 12MeV	W ≤ 100 mm	C 4	-	sprednja folija od tantala do 1 mm <sup>5)</sup> ni zadnje folije	
	100mm < W ≤ 300 mm	C 5	C 4		
	W > 300 mm		C 5	sprednja folija od tantala do 1 mm <sup>5)</sup> zadnja folija od tantala do 0,5 mm	

1) Lahko uporabimo tudi boljše klase filmskih sistemov  
2) Lahko uporabimo že zapakirane filme s sprednjo folijo do 0,03 mm, če vstavimo med predmetom in filmom dodatno svinčeno folijo debeline 0,1 mm  
3) V klasi A lahko uporabimo tudi svinčene folije od 0,1 do 0,5 mm  
4) V klasi A lahko uporabimo tudi svinčene folije od 0,5 do 1 mm po dogovoru med pogodbenima stranama  
5) Volframove folije lahko uporabimo po dogovoru

### 2.6.16 Tehnika slikanja z več filmi hkrati

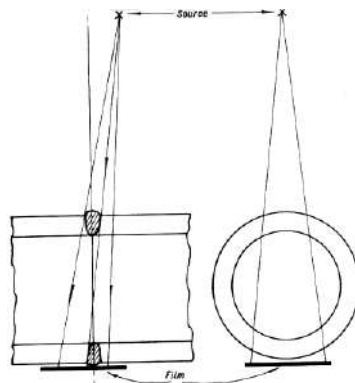
Pri predmetih, ki imajo neenako debelino za presevanje, se poslužimo tehnike slikanja z več filmi. Filmi, ki so zaprti v isto kaseto, morajo imeti različno občutljivost. Dosežemo možnost ocenjevanja dela radiograma, ki je ustrezno osvetljen. Glede na občutljivost izberemo ustežen film iz senzimetrične krivulje (krivulje občutljivosti).

### 2.6.17 Tehnika preiskave z več posnetki

Največkrat pride v poštev pri slikanju zvarov na ceveh. Na centralnem delu žarkov dobimo usrezno počrtnitev, na robovih pa ni možno ocenjevati. Glede na lego izvora sevanja ločimo:

- Presevajte skozi eno steno z izvorom v cevi in filmom izven cevi.
- Presevanje skozi eno steno z izvorom zunaj cevi in filmom v cevi.
- Presevanje skozi dvojno steno in izvorom izven cevi in filmom izven cevi (elipsa).
- Presevanje skozi dvojno steno in izvorom izven cevi in filmom izven cevi.





Slika 2.6.9: Presevanje skozi dvojnjo steno z izvorom in filmom izven cevi (elipsa).

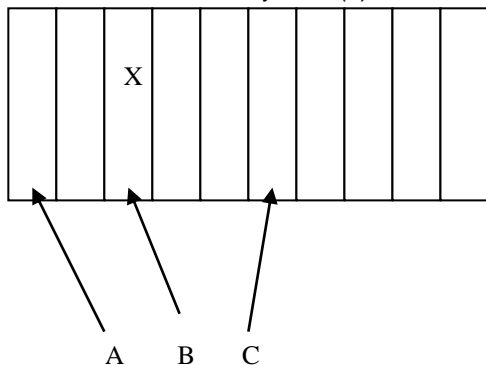
Število ustreznih posnetkov lahko določimo iz diagramov v EN ISO 17636.

### 2.6.18 Obdelava filmov. Učinek spremenljivk na kakovost posnetka

Posnete filme v razvijalni kopeli razvijemo na ta način, da se srebrov bromid kemično reducira v črno obliko kovinskega srebra, in sicer iz osvetljenih kristalčkov na mestih, kjer so bili osvetljeni. Z osvetlitvijo je prišlo do aktiviranja kristalov srebrovega bromida. Neosvetljeni srebrov bromid se ne reducira in ga kasneje raztopimo v fiksirju (kompleksna sol za raztapljanje srebrovega bromida). Ko po razvijanju in fiksiranju film operemo ter posušimo, je to negativ. Osvetljena mesta med razvijanjem potemnejo, neosvetljeni predeli ostanejo prozorni. Kontrolo kemikalij oz. obdelavo radiograma ugotavljamo s pomočjo filma, na katerem je z določenimi pogoji slikan klin.

Stopnica A: neosvetljena stopnica za merjenje osnovne počrnitve – zameglitev

Stopnica B: stopnica z osvetlitvijo, ki odgovarja približno gostoti  $D = 2$ , ki služi kot Indikator občutljivosti ( $x$ )



Stopnica C: stopnica ( $x + 4$ ), služi kot indikator kontrasta

Iz zgornjih vrednosti se določajo parametri.

$D_0$ : počrnitev stopnice A

Indikator občutljivost: počrnitev stopnice B

Indikator kontrasta: počrnitev stopnice C minus počrnitev stopnice B

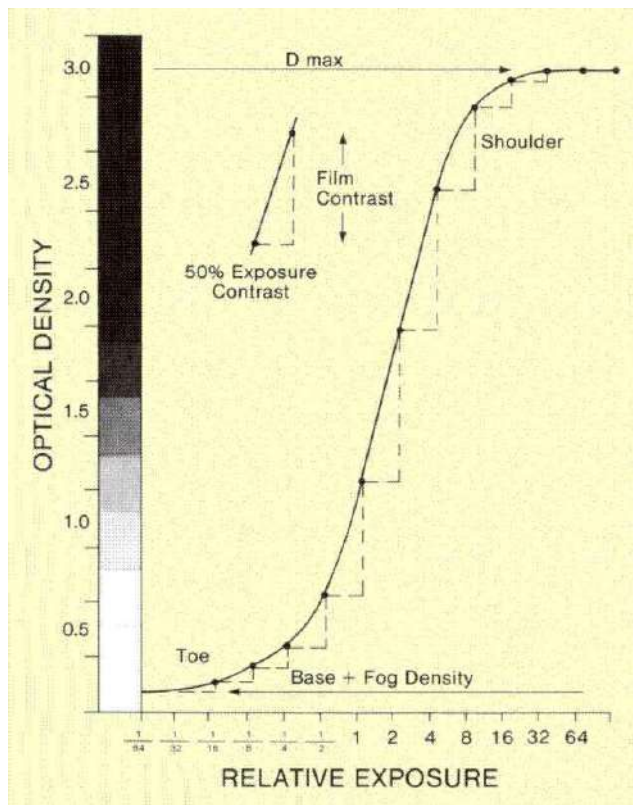
Obdelava filma je ustrezna, če izpolni zahtevam:

Mejna vrednost  $D_0$ : ne sme presegati vrednost 0,3

Indikator občutljivosti: ne sme prekoračiti odstopanja referentne vrednosti za več kot + 10 %

Indikator kontrasta: ne sme odstopati za več kot + 15, in – 10 % od ugotovljene vrednosti.

Za korekcijo radiogramov slikanih predmetov je potrebno ponovno slikanje z novimi parametri, ki jih določimo s pomočjo senziometrične krivulje uporabljenega filma.



Slika 2.6.10: Krivulja počrnitve radiografskega filma

### Napake, ki nastanejo na radiogramih

Preden smo prepričani o napaki v strukturi preiskovanega predmeta, kot jo kaže lokalna razlika v optični gostoti na radiogramu, moramo biti popolnoma prepričani, da ta razlika v optični gostoti ni nastala zaradi napake pri manipulaciji v času razvijanja filma. Zato je pomembno, da takšne napake znamo prepoznati. Pomembno je tudi znati določiti njihovo naravo, da lahko odstranimo vzrok pred obdelavo naslednjih filmov.

S pregledom površine izgotovljenega filma proti svetlobi pod poševnim kotom in s primerjavo videza njegovih dveh plasti emulzije je pogosto mogoče prepoznati napake v obdelavi. Dejansko je radiogram identičen na obeh straneh filma, medtem ko napake v obdelavi niso.

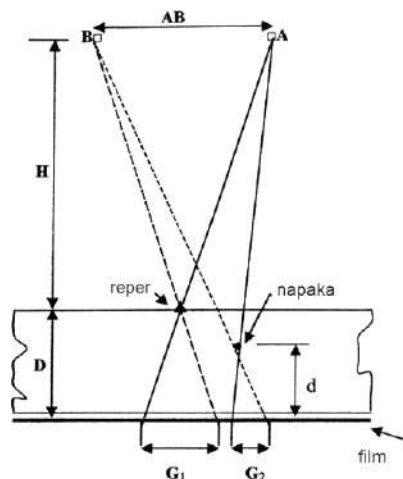
### 2.6.19 Varna delovna praksa. Spremljanje osebja

Osebje za radiografijo mora vedno voditi evidenco presevanja. Za vsako slikanje je v dnevnik vpisana jakost sevanja za izotope aktivnost, napetost sevanja, čas začetka sevanja in čas presevanja ter smer presevanja (novejši rentgeni vse zapisujejo v svojo spominsko enoto). Za premične vire sevanja operaterji vpisujejo odvzem virov iz skladišča in pozneje tudi vračanje. Za vsak vir mora biti vsak trenutek podatek, kje se nahaja.

### 2.6.20 Interpretacija

#### 2.6.20.1 Pregled komponent. Varilni postopek in radiografske tehnike. Pričakovana lokacija nepravilnosti

Za uspešno ocenjevanje radiogramov mora biti ocenjevalcu jasno, kateri del predmeta je na radiogramu. Zaželeno je, da isti ocenjevalec predhodno opravi tudi vizualno preiskavo predmeta. Glede na način varjenja in postopek varjenja lahko ocenjevalec predvidi lokacije in oblike nepravilnosti, ki se lahko pojavijo na radiogramu. Določitev lege nepravilnosti glede na predmet ni problematična. Težje pa je določevanje globine nepravilnosti. Za uspešno določitev globine nepravilnosti je potrebno napraviti dva posnetka z zamikom izvora sevanja. Za reper lahko uporabimo eno izmed obveznih oznak, ki jih postavljamo na površino predmeta na strani izvora sevanja.



Slika 2.6.11: Določitev globine nepravilnosti

Globino nepravilnosti izračunamo s pomočjo enačbe:

$$d = D \cdot \frac{G_2 \cdot (AB + G_1)}{G_1 \cdot (AB + G_2)}$$

### 2.6.20.2 Pogoji opazovanja

Radiograme ocenjujemo s pomočjo iluminatorja (osvetljevalna naprava). Zahteve so opisane v standardu EN 25580. Jakost osvetlitve radiograma ne sme biti manjša

- do 30 Cd/m<sup>2</sup> za počrtnitve filmov ≤ 2,5

- od 30 Cd/m<sup>2</sup> za počrtnitve filmov > 2,5

ali kadar je mogoče 100 Cd/m<sup>2</sup> ali več.

Kadar ima iluminator difuzno svetlobo, mora biti faktor difuzije  $\sigma$  večji od 0,7 pri čemer je

$$\sigma = \frac{L_{45} + L_{20}}{2L_5}$$

$L_{45}$  - osvetljenost, ki izmerimo pod kotom 45°

Faktor enakomernosti osvetlitve  $g$  mora biti večji od 0,5. Pravokotni zaslon razdelimo na kvadrate s stranico 3,5 cm in izmerimo osvetljenost  $L$ . Aritmetična srednja vrednost od štirih najvišjih in štirih najnižjih vrednosti izračunamo in kvocient nam poda enakomernost osvetlitve

$$g = \frac{L_{\min}}{L_{\max}}$$

### 2.6.20.3 Ocenjevanje kakovosti posnetka

Občutljivost radiografske metode je določena z razliko debelin, ki se jasno opazi na filmu.

S pregledom radiograma je potrebno določiti možnosti ocenjevanja. Ugotoviti je potrebno ali so zahteve iz naročila izpolnjene in ali obdelava filma omogoča izdelati poročilo, ki je vezano na pisno navodilo:

- preveriti je potrebno ali tehnika izdelave radiograma ustreza standardom,
- ali je obseg preiskave zadovoljiv,
- ali so prisotne nepravilnosti obdelave filma, ki bi motile ocenjevanje,
- ali je bilo možno preprečiti prekomerno razpršeno sevanje,
- ali je dosežena kvaliteta slike in minimalna začrtnitev?

V slučaju nedoseganja enega od zahtev se ponovno izvrši slikanje, pri čemer je potrebno spremeniti ali izostritev pogojev slikanja.

Kvaliteto posnetka ocenjujemo s pomočjo indikatorja kvalitete slike IKS (IQI). V odvisnosti od vidne zadnje izvrtine (H) ali žice (W) indikatorja kvalitete slike (vidne naj bi bile vsaj 10 mm dolžine žice na enakomernem delu).



Slika 4.5.15: Fotografija žičnega indikatorja kvalitete slike

Žični indikator mora ustrezati materialu in debelini, ki ga pregledujemo. Zahteve za najtanjšo vidno žico podaja standard SIST EN ISO 17636. V spodnji tabeli so razviden zahteve.

## 2.7 Minimalne vrednosti kvalitete posnetkov za feritne materiale

### Tehnika enojne stene; IQI na strani izvora

*Tabela 4.5.5: Žični indikator IQI*

Tehnika preiskave B		Debelina t (mm)		IQI
	$\leq$	1,5	W19	
>	$\leq$	2,5	W18	
>	$\leq$	4	W17	
>	$\leq$	6	W16	
>	$\leq$	8	W15	
>	$\leq$	12	W14	
>	$\leq$	20	W13	
>	$\leq$	30	W12	
>	$\leq$	35	W11	
>	$\leq$	45	W10	
>	$\leq$	65	W9	
>	$\leq$	120	W8	

Pri uporabi vira sevanja Ir 192 ,  
je IQI vrednost sprejemljiva manjša  
od zahtevane kot sledi:  
12 mm do 40 mm: do 1 vrednosti

*Tabela 4.5.6: Stopničasti/z izvrtinami indikator IQI*

Tehnika preiskave B		Debelina t (mm)		IQI
	$\leq$	2,5	H2	
>	$\leq$	4	H3	
>	$\leq$	8	H4	
>	$\leq$	12	H5	
>	$\leq$	20	H6	
>	$\leq$	30	H7	
>	$\leq$	40	H8	
>	$\leq$	60	H9	
>	$\leq$	80	H10	
>	$\leq$	100	H11	
>	$\leq$	150	H12	
>	$\leq$	200	H13	

Pri uporabi vira sevanja Ir 192 ,  
je IQI vrednost sprejemljiva manjša  
od zahtevane kot sledi:  
12 mm do 40 mm: do 1 vrednosti

## Tehnika dvojne stene; dvojna slika; IQI na strani izvora

Tabela 4.5.7: Žični indikator IQI

Tehnika preiskave B		Presevana debelina w (mm)		IQI
	$\leq$	1,5	W19	
>	$\leq$	2,5	W18	
>	$\leq$	4	W17	
>	$\leq$	6	W16	
>	$\leq$	8	W15	
>	$\leq$	15	W14	
>	$\leq$	25	W13	
>	$\leq$	38	W12	
>	$\leq$	45	W11	
>	$\leq$	55	W10	
>	$\leq$	70	W9	
>	$\leq$	100	W8	

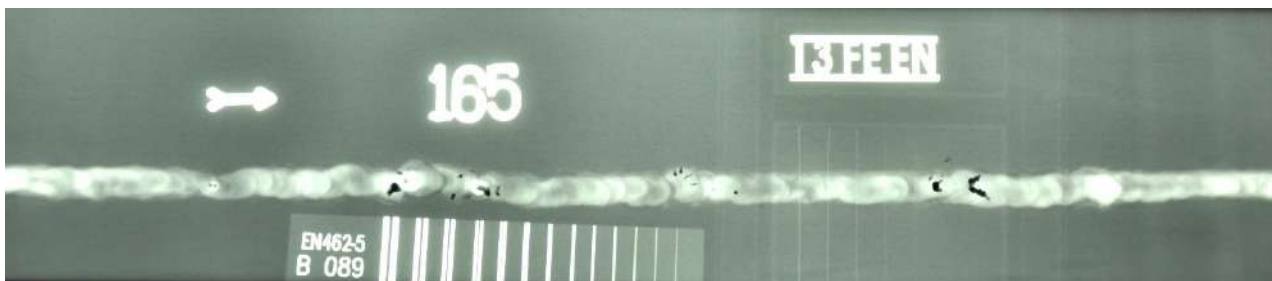
Pri uporabi vira sevanja Ir 192 ,  
je IQI vrednost sprejemljiva manjša  
od zahtevane kot sledi:  
4 mm do 11 mm: do 1 vrednosti

Tabela 4.5.8: Stopničasti/z izvrtinami indikator IQI

Tehnika preiskave B		Presevana debelina w (mm)		IQI
	$\leq$	1	H2	
>	$\leq$	2,5	H3	
>	$\leq$	4	H4	
>	$\leq$	6	H5	
>	$\leq$	11	H6	
>	$\leq$	20	H7	
>	$\leq$	35	H8	

Pri uporabi vira sevanja Ir 192 ,  
je IQI vrednost sprejemljiva manjša  
od zahtevane kot sledi:  
4 mm do 11 mm: do 1 vrednosti

Pri uporabi virov sevanja je potrebno upoštevati zahteve standarda o minimalno dovoljeni razdalji izvor – predmet, ki je določena na osnovi dovoljene plosence. Glede na velikost izvora sevanja in debeline predmeta, ki ga presevamo, je določena minimalna razdalja v odvisnosti od izbranega razreda A ali B (izboljšana tehnika). Za določanje slikovne neostrine uporabimo žični indikator z dvojnimi žicami. Slikovna neostrina je določena na osnovi zadnjega para žic, pri kateremu se opazi, da sta žici še ločeni. Ostale dvojne žice so vidne kot enojne.



Slika 2.6.13: Fotografija radiograma zvarnega spoja z vidnim dvožičnim indikatorjem kvalitete slike in žičnim indikatorjem kvalitete slike



### 2.6.21 Poročilo

Poročilo o preiskavi mora vsebovati naslednje informacije:

- a) naziv organa, ki izvaja preiskavo
- b) predmet preiskave
- c) material
- d) toplotna obdelava
- e) geometrija zvarnega spoja
- f) debelina materiala
- g) način varjenja
- h) postopek preiskave vključno z nivoji sprejemljivosti
- i) razred in tehnika radiografske preiskave, potrebna IKS občutljivost skladno z standardom
- j) način ocenjevanja skladno s 6.1
- k) uporabljeni sistem označevanja
- l) načrt položaja filmov
- m) izvor sevanja, tip in velikost fokusne točka in seznam uporabljene opreme
- n) film, folije in filtri, velikost uporabljene napetosti in toka na cevi ali aktivnost izvora
- o) čas osvetlitve - ekspozicije in razdalja izvor – film
- p) tehnika obdelave; ročna /avtomatska
- q) tip in pozicija indikatorja kakovosti slike
- r) rezultati preiskave vključno s podatki o zatemnitvi filma, odčitavanja IKS
- s) merebitno odstopanje od standarda zaradi posebnih zahtev
- t) ime in certifikat odgovorne osebe(a)
- u) datum(i) osvetlitve in poročila o preiskavi

### 2.6.22 Specializirani radiografski pripomočki. Visokonapetostna radiografija

Za preiskave materialov, neobičajnih dimenzij in sestavov, lahko uporabimo druge vire ionizirajočih sevanj. Uporabimo lahko Van de Graaffov rentgenski aparat, ki deluje na elektro-statični princip. Električni potencial dobimo s pomočjo izoliranega traku, ki ga statično nabijemo nato pa iz njega pobereмо naboj za ustvarjanje visoke napetosti. Dosežemo lahko visoke napetosti 1 do 2 MeV in je izvor primerljiv z visoko aktivnim  $^{60}\text{Co}$ . Za presevanje lahko uporabimo tudi betatron. To je naprava v kateri z rotirajočim magnetnim poljem pospešimo elektrone. Dobimo žarkovje 31 MeV, ki je uporabno za presevanje zelo debelih predmetov.

### 2.6.23 Zakonodaja in standardi

Za delo z viri ionizirajočega sevanja mora podjetje pridobiti dovoljenja. Naloga delodajalca je, da izvede priprave in vse nadaljne aktivnosti v skladu z veljavnimi pravilniki.

V skladu s pravilniki za določene vrste predmetov, ki jih je potrebno radiografsko preiskati, je potrebno uporabiti ustrezne standarde.

### 2.6.24 Kompetence osebja

Radiografijo izvaja odgovorno osebje, ki je preverjeno tako, da opravi ustrezne izpite. Obstajajo trije nivoji, od katerih je prvi najmanj zahteven, tretji največ. Pristojnosti osebja so vpisane v spodnji tabeli.

Tabela 2.6.9. Dejavnosti NDT kontrolorjev določenega nivoja

DEJAVNOSTI V PREISKAVAH BREZ PORUŠITVE			
	1. nivo	2. nivo	3. nivo
NEPRAVILNOST, NAPAKA	-odkrivanje, -merjenje parametrov nepravilnosti/napake -merjenje parametrov indikacije	-ocena vrste nepravilnosti -merska zanesljivost  -razlaga in ocena rezultatov opredelitev poškodb	-izbira kriterijev -ocena sprejemljivosti -poročanje
STANJE MATERIALA	-stanja/opredelitev materiala	-ocena stopnje skladnosti	-ocena stanja materiala
OPREDELITEV MATERIALA	-poročanje o rezultatih/preiskovalna oprema		
PREISKAVA	-glede na pisna navodila in pod nadzorom nivoja 2 ali 3	-izbira tehnike preiskave -razgradnja navodil  -organizacija dela	- vzpostavljanje in ocena navodil in postopka preiskave brez porušitve, - določitev pogojev preiskave, - razlaga predpisov, - izdelava/potrjevanje postopka - zanesljivost preiskave, - poročanje
MERJENJE			
LABORATORIJ	- uporaba	- priprava sistema	- izbira sistema, - izbira metode,
OPREMA IN PRIBOR	- vzdrževanje	- preverjanje opreme, - umerjanje/nastavljanje, - poročanje, - odgovornost za delovanje in funkcionalnost preiskovalne opreme	- organizacija, - izbira opreme, - odgovornost za izbiro preiskovalne opreme in sistema
ZAŠČITA PRI DELU	- izvajanje	- organizacija, - nadzor - dokumentiranje	- predpisi, - organizacija, - nadzor

Pred začetkom dela z viri ionizirajočega sevanja na terenu, je potrebno obvestiti odgovornega za varstvo pri delu za koordinacijo del in poskrbeti za ustrezno zaščito. Največkrat se obsevanja vršijo v času, ko ni ostalih v istem prostoru (popoldan, ponoči, v času odmora ali dopustov). Izvajalec del mora imeti delovno navodilo, ki ga napiše oseba z RT2 ali RT3 na osnovi delovnega postopka. Pri pojavu napak v zvarnem spoju, ki se je pregledoval v omejenem obsegu, se po popravilu obseg kontrole poveča v skladu s standardom EN ISO 17635.

## LITERATURA

- [1] Prof. dr. Vera Krstelj: Radiografska kontrola. Izbrana poglavja skripte v delu namenjene udeležencem tečaja radiografske kontrole, Zagreb, maj, 2000
- [2] SIST EN ISO 17635: Neporušitveno preizkušanje zvarov – Splošna pravila za kovinske materiale
- [3] SIST EN ISO 17636: Neporušitveno preskušanje zvarnih spojev - Radiografske preiskave - 1. del : X in gama žarki z uporabo filmov (ISO 17636-1:2013)
- [4] Geavert: Industrial Radiography, VIBETRA A.D., Brisel, 1961  
Institut »Jožef Stefan«, Varstvo pred sevanji za področje industrije in ostalih dejavnosti, (gradivo za tečaje), Izobraževalni center za jedrsko tehnologijo Milana Čopiča, Ljubljana, december 2012

# ULTRAZVOČNA PREISKAVA

Pripravil: dr. Darjo Zuljan

## 2.7.1 Osnove ultrazvočnih preiskav

### 2.7.1.1 Fizikalne osnove ultrazvoka

Zvok je elastično valovanje, ki se širi izključno po snovi. Kadar so frekvence višje od 20 kHz, ga ne slišimo, pravimo da so njegove frekvence nad slišnim področjem in ga imenujemo ultra zvok. Zvok s frekvencami  $f \geq 20$  kHz pa še vedno slišijo nekatere živali, kot npr. netopirji in delfini, ki ga tudi uporabljajo na podoben način kot mi v tehniki.

Elastične valove predstavljajo majhni odmiki delov snovi iz njihove mirovne lege, ki se pri kapljevinah in plinih odražajo kot majhne lokalne spremembe tlaka oz. gostote. Odmiki ali spremembe tlaka oz. gostote se na enem mestu periodično ponavljajo, sočasno pa se tudi selijo v smeri potovanja valovanja. Po prehodu valovanja ostane snov na istem mestu, potuje le energija valovanja. Praviloma je premikanje delov snovi oz. spreminjanje tlaka ali gostote harmonično, kar pomeni, da je matematično pravilno, in ga opišemo s funkcijama sinus ali kosinus:

$$A(x,t) = A_0 \cdot \sin \omega(t - x/c),$$

kjer so:

- A - opazovana količina (npr. zvočni tlak) in  $A_0$  njena amplituda (največja vrednost),
- $\omega$  - kotna frekvenca,
- t - čas,
- x - oddaljenost mesta na katerem opazujemo količino A,
- c - hitrost valovanja, ki pove s kolikšno hitrostjo se širi valovanje skozi snov.

Značilni količini s katerima opišemo valovanje sta poleg omenjenih še:

- f - frekvenca, ki pove kolikokrat v sekundi snov na določenem mestu zaniha oz. se spremenita gostota in tlak,
- $\lambda$  - valovna dolžina, ki pove na kolikšni razdalji ima snov v določenem času enak odmik ali enako spremembo tlaka oz. gostote,
- $t_0$  - nihajni čas ali perioda, to je trajanje enega nihaja in čas v katerem prepotuje valovanje eno valovno dolžino.

Omenjene količine povezuje t.i. valovna enačba:

$$c = \lambda \cdot f = \lambda / t_0.$$

Glede na način nihanja delov snovi poznamo vzdolžno ali t.i. longitudinalno valovanje, kjer se deli snovi odmikajo v smeri naprej oz. nazaj glede na smer širjenja valovanja, zaradi česar nastajajo zgoščine in razredčine. Takšno valovanje se lahko širi v trdnih snoveh in kapljevinah, do frekvenc nekaj 100 kHz pa tudi v plinih. V trdnih snoveh se deli snovi lahko odmikajo tudi v prečni smeri glede na smer širjenja motnje, pri čemer se le taka motnja prenaša na sosednje dele snovi s strižnimi silami. Te valove imenujemo prečne ali transverzalne in smer odmikanja delov snovi imenujemo smer polarizacije. V omejenih trdnih snoveh srečamo še površinske valove (Rayleighovi valovi).

### 2.7.1.2 Širjenje ultrazvoka v snoveh

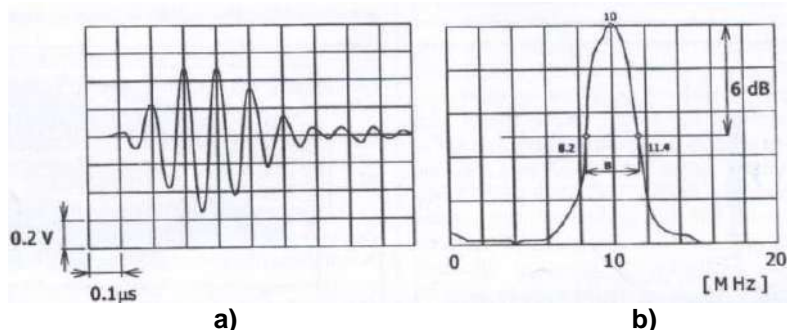
Hitrost s katero se ultra zvok širi po snovi je odvisna od gostote snovi ( $\rho$ ), elastičnih konstant (E, G,  $\mu$ ) in vrste valov. Transverzalni valovi ( $c_T$ ) so skoraj za polovico počasnejši od longitudinalnih ( $c_L$ ).

Navajamo le nekaj značilnih hitrosti za najpogostejše materiale:

Feritno jeklo:	$c_L = 5920$ m/s	$c_T = 3250$ m/s.
Aluminij:	$c_L = 6320$ m/s	$c_T = 3130$ m/s.
Pleksi steklo:	$c_L = 2730$ m/s	$c_T = 1390$ m/s.
Voda pri 20 °C:	$c_L = 1483$ m/s	-.

Zvočni valovi slišnih frekvenc imajo valovne dolžine reda velikosti 1 m (npr. v jeklu pri  $f = 6$  kHz), kar je primerljivo z dimenzijami predmetov, medtem ko so pri frekvencah reda velikosti MHz valovne dolžine milimetrsk (6 mm pri  $f = 1$  MHz). Vlogo valovne dolžine in frekvence bo opisana kasneje, sedaj omenimo le še spektralno sestavo ultrazvočnih valov, ki jih uporabljamo. Kadar je valovanje kontinuirano, kar pomeni da si sledijo valovi katerih

amplituda se skoraj ne spreminja, je tudi frekvenca tega valovanja ena sama. Takšno kontinuirano valovanje pa za naše preiskave nima velikega pomena, razen tam, kjer potrebujemo velike energije (ultrazvočno varjenje, čiščenje, ...). Za naš namen mora biti valovanje v kratkih impulzih, ki jih sestavlja le nekaj valov, kar pa nujno prinese sorazmerno povečanje širine spektra. Na sl. 2.7.1, ki prikazuje obliko impulza in njegov spekter vidimo, da ga sestavljajo valovanja s frekvencami od 8 do 12 MHz, pri čemer je srednja in s tem tudi nazivna frekvenca 10 MHz.

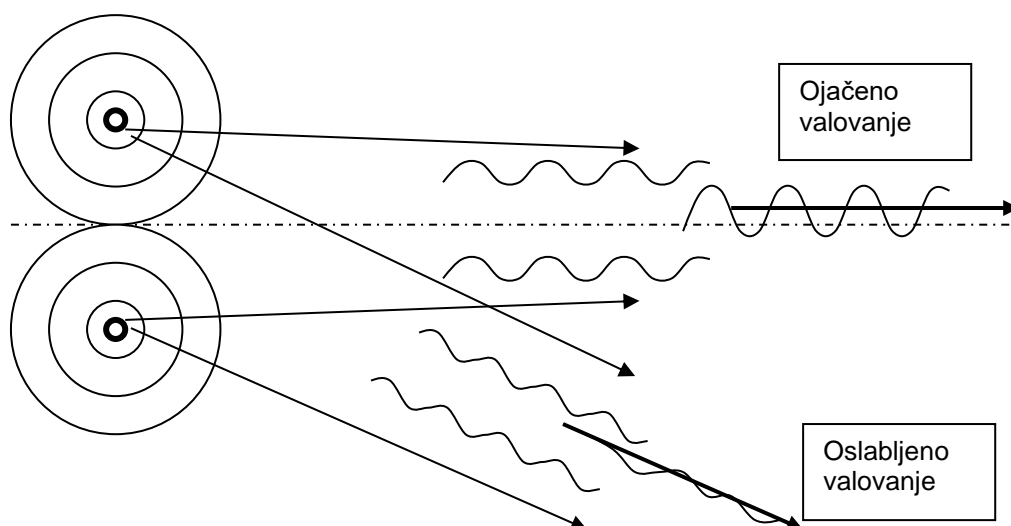


Slika 2.7.1: Visokofrekvenčni prikaz ultrazvočnega impulza (a) in njegov spekter (b).

Širjenje valovanja po snovi najenostavneje ponazorimo z valovnimi frontami in žarki. Valovne fronte so ploskve, ki povezujejo dele snovi z enako fazo, npr. dele, kjer imajo opazovane količine (tlak, gostota, ...) največjo (»hrib«) ali najmanjšo vrednost (»dol«). Valovne fronte so razmaknjene za eno valovno dolžino. Žarki so namišljene črte, ki so pravokotne na valovne fronte in predstavljajo s puščico ponazorjeno smer širjenja valovanja. Valovne fronte se premikajo s hitrostjo zvoka  $c$  v smeri žarkov.

### 2.7.1.3 Interferenca in uklon

Za širjenje ultra zvoka skozi snov veljajo vse zakonitosti geometrijske (odboj, lom) in valovne optike (interferenca, uklon, sipanje, ...), ki jih vse po vrsti lahko razložimo s t.i. Huygens-ovim načelom. Le to pravi, da je vsak del snovi, skozi katero se širi valovanje, tudi sam vir krožnih (krožnih) valov z enako frekvenco in fazo. Tako se valovanja, ki jih prispevajo v posameznih smereh seštevajo in v drugih spet odštevajo, kar imenujemo interferenca.



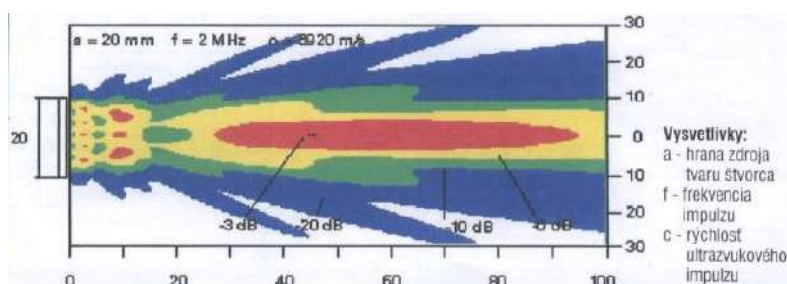
Slika 2.7.2: Interferenca valovanj iz dveh virov krožnega valovanja.

Če imamo dva točkasta vira valov, ki nihata z isto frekvenco in sočasno, pravimo da sta v fazi. Valovanji, ki ju vira oddajata, se v določenih smereh seštevata in dobimo ojačeno valovanje, v vmesnih smereh pa se odštevata

in tam valovanje oslabi. Valovanje se ojači v smereh, kjer opravita valovanji enako pot ali pot, ki se razlikuje za mnogokratnik valovne dolžine, oslabi pa, ko je razlika enaka lihemu mnogokratniku polovice valovne dolžine. V prvem primeru prideta valovanji na isto mesto z enako fazo in se seštejeta, v drugem pa z nasprotno fazo in se odštejeta (sl. 2.7.2). V smeri simetrale med viroma je valovanje ojačeno, levo in desno pa si sledijo pasovi oslabiljenega in ojačenega valovanja. Koti, pod katerimi si sledijo ti pasovi, so odvisni od razdalje med viroma. Za manjše razdalje so koti večji in obratno.

Če imamo več točkastih in enako oddaljenih virov v nizu, so pasovi z ojačenim in oslabiljenim valovanjem izrazitejši. Kadar viri ne nihajo sočasno, pač pa se t. i. faza nihanja spreminja za enake kratke časovne intervale, prvi ojačen snop ni na simetrali, temveč levo ali desno od nje v smeri, kjer sta se časovna zamika zaradi različne faze in različne oddaljenosti izničila. Ta efekt izkoriščamo pri t.i. fazno moduliranih pretvornikih ultrazvoka, ki se uporabljajo v medicini, vedno več pa tudi pri preiskavah materialov.

Do interference pride tudi, ko imamo linijski vir valovanja s končno dolžino. Predstavljamo si ga kot končno dolg niz na gosto postavljenih točkastih virov. Zaradi interference dobimo močno ojačen snop valovanja v smeri osi, nato pa levo in desno izmenično polja oslabiljenega in ojačenega valovanja. Stranski ojačeni snopi so šibkejši od sredinskega in so odvisni od širine vira valovanja in valovne dolžine.



Slika 4.6.3. Prikaz amplitude ultrazvočnega valovanja v snopu, ki ga oddaja pretvornik kvadratne oblike s stranico  $a = 20 \text{ mm}$  v jeklo. Velikost pretvornika je  $\approx 7$  valovnih dolžin ( $\lambda = 3 \text{ mm}$ ).

Podobne so slike interferenčnih polj, ko imamo po ploskvi razporejene vire. Kot takšne ploskovne vire valovanja upoštevamo pretvornike ultrazvoka pa tudi reže ali odbojne ploskve (reflektorji) na katere vpada ravno valovanje. Razmerje med širino vira ali reže ali reflektorja in valovno dolžino določa, kako izrazit je sredinski ojačen snop in v kolikšen prostorski kot se na večjih oddaljenostih valovanje širi. Večje kot je to razmerje, ožji in bolj usmerjen je snop valovanja, ki ga npr. oddaja ultrazvočni pretvornik ali se odbija od nekega reflektorja (sl. 2.7.3). Nasprotno se valovanje od malih virov širi na široko v prostor in postane v primeru dimenzije manjše od valovne dolžine le še vir krogelnega valovanja, ki se širi na vse strani.

Kadar so vir valovanja, reža ali odbojna ploskev zelo široki ( $D \gg \lambda$ ), stranski interferenčni pasovi izginejo, še vedno pa se del valovanja širi kot krogelno valovanje, tudi na področje geometrijske sence. Temu pojavu pravimo uklon valovanja. Zaradi uklona geometrijska senca za manjšimi ovirami hitro izgine. Intenziteta uklonjenih valov je nizka, a zaznavna in se npr. lahko izkorišča za zaznavo robu razsežnejših in neugodno orientiranih nepravilnosti (metoda TOFD).

### 2.7.1.4 Odboj valovanja

Valovanje, ki pade na mejo dveh sredstev, se delno ali v celoti odbije. O tem, koliko valovanja se odbije in v katero smer, odločajo osnovne fizikalne zakonitosti, kot npr. tista o ravnovesju sil in enakosti hitrosti gibanja obeh sredstev na meji. Amplitudo odbitega valovanja določata gostota ( $\rho$ ) in hitrost valovanja ( $c$ ), ki kot zmnožek predstavljata t.i. akustično upornost:  $Z = \rho \cdot c$ .

Razmerje med amplitudo odbitega in vpadnega valovanja imenujemo faktor odbojnosti  $R$ . Odvisen je od razlike akustičnih upornosti, močno pa se spreminja s kotom. Pri pravokotnem vpadu valov na mejo dveh sredstev znaša:

$$R = (Z_2 - Z_1) / (Z_1 + Z_2),$$

Kadar je akustična upornost druge snovi  $Z_2$  manjša od prve  $Z_1$ , ima faktor odbojnosti negativno vrednost, kar v fiziki razložimo kot odboj valovanja z nasprotno fazo. Podobno je definirana propustnost  $D$ , za katero pri pravokotnem vpadu velja:  $D = 1 + R$ .

Ravno valovanje, ki vpada poševno na mejo dveh sredstev, se odbije pod vpadnemu enakim kotom. To je t.i.



odbojni zakon in je posledica logične zahteve, da sta dva vzporedna žarka po odboju spet vzporedna. Ker se z odbojem hitrost valovanja ne spremeni, mora le to v enakem času opraviti enako pot, kar pa je res le, če je vpadni kot  $\alpha$  enak odbojnemu  $\beta$ .

Odbojni zakon velja kot osnovni zakon geometrijske optike tudi za odboj ravnih valov na ukrivljenih ploskvah, ki tako delujejo kot zbiralna ali razpršilna zrcala, ter za odboj krogelnih in cilindričnih valov na ravnih ali ukrivljenih ploskvah.

### 2.7.1.5 Lom in transformacija valovanja

Drugi fizikalni pojav, ki določa širjenje valovanj preko meje dveh sredstev, je lom valovanja. Del valovanja, ki se na meji dveh sredstev ne odbije, nadaljuje pot v drugi snovi praviloma pod spremenjenim kotom. Ker pričakujemo, da bosta v prvi snovi vzporedna žarka takšna tudi v drugi snovi in ker se frekvenca valovanja na meji dveh sredstev ne more spremeniti, je kot pod katerim se giblje valovanje v drugi snovi  $\beta$  odvisna od spremembe hitrosti valovanja. To zapišemo kot t.i. lomni zakon:

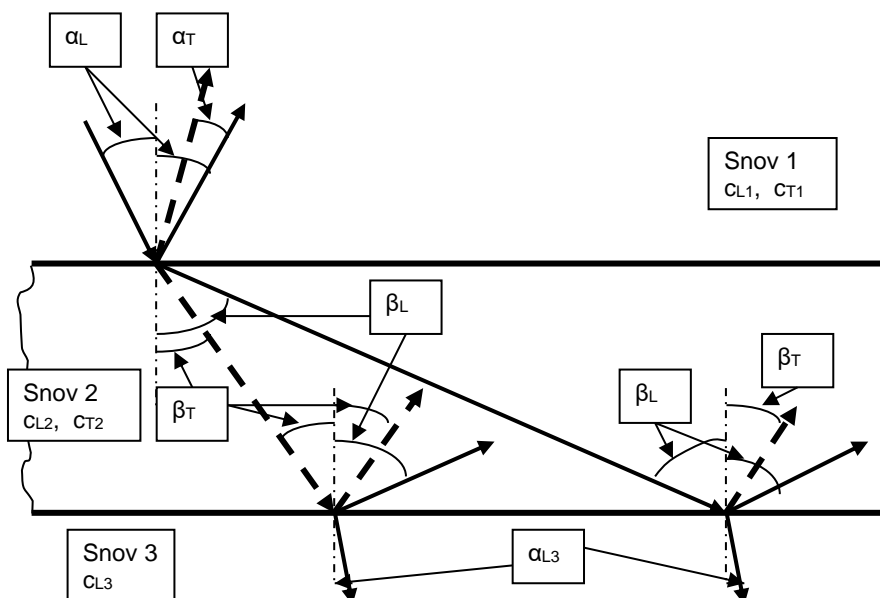
$$\sin \alpha / \sin \beta = c_1 / c_2.$$

Žarek, s katerim ponazorimo smer širjenja valovanja, se na meji dveh sredstev prelomi. Kadar je hitrost valovanja v prvi snovi  $c_1$  večja kot v drugi  $c_2$  ( $c_1 > c_2$ ), je kot pod katerim se valovanje širi po drugi snovi  $\beta$  manjši od vpadnega kota  $\alpha$  ( $\alpha > \beta$ ). V primeru večje hitrosti v drugi snovi je tam tudi kot širjenja večji, ne more pa biti večji od  $90^\circ$ . V primeru, ko bi naj teoretično bil  $\sin \beta$  večji od 1, lomni zakon ni izpolnjen in na meji obeh dveh sredstev se vso valovanje odbije (totalni odboj).

Pri poševnem vpadu valov na mejo dveh trdnih snovi, ki nimata enake akustične upornosti ( $Z_1 \neq Z_2$ ), pride vedno tudi do transformacije valov. Če npr. poševno vpadajo longitudinalni valovi, tlačno nateznih obremenitev na meji, zaradi razlike v gostoti ne moremo uravnovežiti zgolj z enakimi obremenitvami v drugi snovi (Newtonov zakon). V obeh snoveh se tako pojavijo tudi strižne napetosti in s tem strižni oz. transverzalni valovi. Podobno velja pri vpadu transverzalnih valov, ki pa ne nastanejo oz. se ne širijo skozi kapljevino in pline. Za transformirane odbite in lomne valove velja lomnemu zakonu podobna formula, pri čemer valov, za katere le ta ni izpolnjena, ni.

Kot primer pogledimo prehod longitudinalnih valov iz trdne snovi (1) z manjšo v trdno snov (2) z večjo hitrostjo valov ( $c_{L1} < c_{L2}$ ,  $c_{T1} < c_{T2}$ ,  $c_{L1} < c_{T2}$ ). Druga snov ima paralelni ploskvi in spodnja meji na kapljevino s hitrostjo  $c_{L3}$  (sl. 2.7.4.). Skozi snov 1 se širijo longitudinalni valovi pod kotom  $\alpha_L$  in po odboju od ploskve med 1 in 2 se del tega valovanja odbije nazaj v snov 1 pod enakim kotom, nastane pa tudi transverzalni val, ki se odbije pod manjšim kotom  $\alpha_T$  in za katerega velja:

$$\sin \alpha_L / \sin \alpha_T = c_{L1} / c_{T1}.$$



Slika 2.7.4: Odboj, lom in transformacija valov pri prehodu iz trdne snovi 1 v trdno snov 2 in kapljevino. (longitudinalni: polna črta, transverzalni val: črtkano)

Del valovanja vstopi v snov 2, kjer pa se širi kot longitudinalni val pod kotom  $\beta_L$  in transformirani transverzalni val pod kotom  $\beta_T$ . Za oba snopa veljata formuli:

$$\sin \alpha_L / \sin \beta_L = c_{L1} / c_{L2} \quad \text{in} \quad \sin \alpha_L / \sin \beta_T = c_{L1} / c_{T2}.$$

Ko zadeneta longitudinalni in transformirani transverzalni val na spodnjo površino snovi 2, se vsak od obeh snopov odbije kot enak in transformiran val. Po odboju od spodnje ploskve se nazaj v snov 2 širita dva longitudinalna in dva transverzalna snopa ultrazvoka. Del obeh valov vstopi v snov 3 kot longitudinalni val pod lomnim kotom  $\alpha_{L3}$  in za oba snopa velja:

$$\sin \beta_L / \sin \alpha_{L3} = c_{L2} / c_{L3} \quad \text{in} \quad \sin \beta_T / \sin \alpha_{L3} = c_{T2} / c_{L3}.$$

Po vsakem naslednjem odboju od zgornje ali spodnje ploskve se v snovi 2 število snopov podvoji.

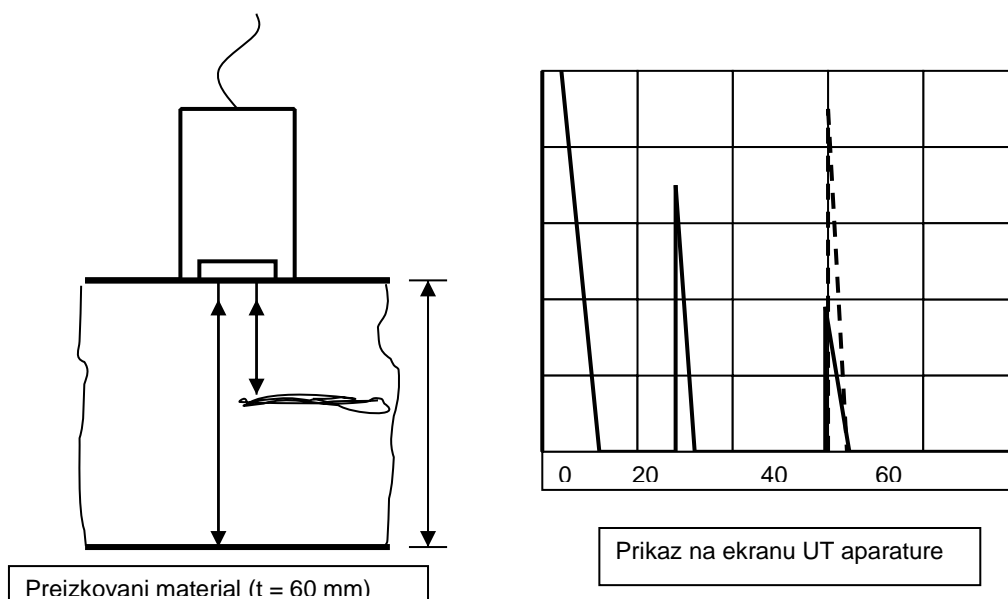
Podoben primer, brez prehoda v snov 3, imamo ob uporabi kotnih longitudinalnih sond pri pregledu avstenitnih zvarov, kjer je snov 1 pleksi klin v sondi in snov 2 pregledovana avstenitna pločevina.

Pri pregledu običajnih (feritnih) zvarov se nastajanju transformiranih valov izognemo tako, da povečamo vpadni kot L valov v sondi do te mere, da se longitudinalni val totalno odbije nazaj v pleksi in v material vstopa le transverzalni val. Ko je vpadni kot transverzalnih valov dovolj velik ( $\beta_T > 37^\circ$ ), se leti tudi po odboju od spodnje ploskve ne transformirajo v longitudinalni val.

## 2.7.2 Oprema za ultrazvočne preiskave

### 2.7.2.1 Princip delovanja ultrazvočne preiskave

Princip delovanja industrijskih ultrazvočnih naprav je podoben delovanju radarja ali sonarja. Merilna oprema ustvarja kratke in usmerjene ultrazvočne impulze, ki se nato širijo skozi material. Med to potjo lahko ultrazvok zaradi strukture materiala oslabi, zaradi ovir se lahko prekine ali delno oz. v celoti odbije. Pri tem lahko merimo amplitudo prepuščenega ali odbitega valovanja in čas potovanja. Z merjenjem časa potovanja valov lahko merimo debelino materiala ali oddaljenost reflektorjev, le hitrosti moramo poznati. Kadar pa poznamo debelino, lahko merimo hitrost. Z merjenjem amplitude prepuščenega ali odbitega valovanja lahko sklepamo na homogenost materiala in/ali velikost ovir/reflektorjev, ki so valovanje odbile. Ultrazvočni merilni sistem sestavljata dva osnovna elementa: ultrazvočni aparat (defektoskop) in ultrazvočna glava (sonda).



Slika 2.7.5: Shematski prikaz ultrazvočne preiskave

Ultrazvočna glava pošilja kratkotrajne in močne impulze ultrazvoka v material, kjer se potem širijo po zakonih valovne in geometrijske optike. Ko zadene ultrazvočni impulz na oviro, se ga na njej del odbije. Koliko ultrazvoka se odbije in v katero smer, je odvisno od velikosti, oblike in orientacije ovire/napake. Del valovanja, ki se odbije proti glavi in vanjo tudi vstopi, zadene pretvornik. Pretvornik generira akustičnemu tlaku sorazmerno šibko in kratkotrajno izmenično električno napetost. Šibka in zato primerno ojačena napetost se prikaže kot kratek impulz na ekranu osciloskopa. Mesto na horizontalni osi ekrana, na katerem se impulz pojavi, je sorazmerno s časom potovanja ultrazvoka in je merilo za oddaljenost reflektorja. Višina impulza je merilo za velikost.

Del valovanja, ki nemoteno nadaljuje pot skozi material, lahko doseže njegovo nasprotno površino, se od nje odbije in sorazmerno močan prispe do pretvornika. Zaznava odboja od nasprotne stene je prav tako merilo za homogenost materiala, skozi katerega je ultrazvok potoval (črtkano na sl. 2.7.5).

### 2.7.2.2 Ultrazvočni aparat

Osnova ultrazvočnega aparata je posebej prirejen osciloskop s CRT ekranom. Čeprav jih v zadnjem desetletju nadomeščajo digitalne aparature s LCD ekrani, je princip delovanja enak: aparat mora na grafičnem ekranu prikazovati zelo hitre in napetostno šibke električne signale. Za to vsebuje tudi ojačevalnik, ki pa je zaradi primerjalne narave meritve nastavljen drugače kot pri običajnem osciloskopu. Tudi horizontalna skala ni umerjena kot časovna baza pri osciloskopu, pač pa kot izmerjena pot ultrazvoka ( $s = c \cdot t$ ) ali še bolje oddaljenost reflektorja ( $s = c \cdot t / 2$ ). Naprava mora vsebovati še generator kratkotrajnih električnih impulzov visoke napetosti, ki prožijo ultrazvočne impulze, in ki se ponavljajo z ustrežno frekvenco (npr. 1 kHz).

Ker je višina zaznanega impulza odvisna od celega niza dejavnikov, ki niso odvisni od velikosti, oddaljenosti in orientacije reflektorja, absolutna meritev amplitude napetosti nima nikakršnega pomena. Ti dejavniki so npr.: napetost prožilnega impulza, karakteristike preizkuševalnih glav (izkoristek pretvorbe/tvorbe ultrazvočnih valov) in cela vrsta možnih izgub. Smiselna je le primerjava z znanimi impulzi, kot so npr. odboji od znanih reflektorjev na znanih oddaljenostih. Ojačevalnik zaznanih impulzov je zato umerjen po stopnjah v dB. Ojačitev (oslabitev) se nastavlja po stopnjah za 20 dB (groba nastavitve) oz. po stopnjah po 2 dB (fina nastavitve).

dB (decibel) je enota za logaritemsko primerjalno skalo, ki se uporablja v akustiki, elektrotehniki ipd. in nam omogoča primerjavo signalov pri velikem razponu vrednosti. Kadar primerjamo amplitude opazovanih količin, na osciloskopu pa nastavljamo ojačanje  $V$  (Versterkung / Gain) je:

$$V \text{ [dB]} = -20 \log(A/A_0),$$

$A/A_0$  je razmerje med zaznano amplitudo  $A$  in referenčne amplitudo  $A_0$  opazovane količine. V našem primeru je opazovana količina akustičnemu tlaku sorazmerna napetost na piezoelektričnem pretvorniku, ki jo odčitamo kot višino impulza na ekranu defektoskopa (osciloskopa).

Kadar je opazovani signal  $A$  le 1/10 referenčnega, dobimo:  $V = -20 \log(1/10) = -20(-1)\text{dB} = 20 \text{ dB}$ . Dobljenih 20 dB je ojačanje, ki je potrebno, da se signal  $A$  izenači z višino referenčnega  $A_0$ , ali signal  $A$  je za 20 dB (za faktor 10 x) šibkejši od  $A_0$ .

Razlika 2 dB pomeni, da je  $A$  za 20,6 % manjši od  $A_0$  in da ga moramo za izenačenje ojačati za 2 dB ali 1,259 krat (za 25,6 %).

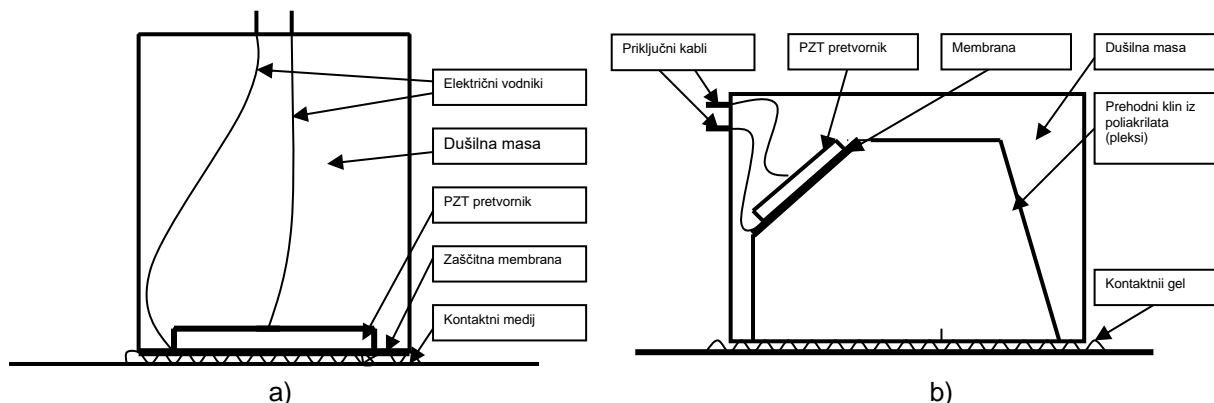
Razlika 6 dB pomeni, ojačanje za 6 dB = 3 x 2 dB ali za faktor  $(1,259)^3 = 1,995 \approx 2$ . Torej pri razliki 6 dB je signal  $A$  pol manjši od  $A_0$  in ga moramo ojačati za faktor 2, da ga izenačimo z  $A_0$ .

Kadar pa je vrednost  $V$  [dB] negativna, pomeni, da  $A$  presega  $A_0$  in moramo za izenačitev višin ojačanje zmanjšati (dB »odvzamemo«).

Kadar se na defektoskopu nastavlja oslabitev  $A$  (Atenuation), je pred formulo za »dB« predznak + in vsa logika obrnjena: pozitivni dB pomenijo večjo amplitudo ( $A > A_0$ ), negativni pa manjšo ( $A < A_0$ ). Takšna umeritev ojačevalnika je manj običajna.

### 2.7.2.3 Ultrazvočne preizkuševalne glave

Zgradba ultrazvočnih preizkuševalnih glav je v osnovi podobna: ohišje, priključni kabel ali vtičnica, polnilo za električno izolacijo in akustično dušenje ter pretvornik ultrazvoka (sl. 2.7.6). Še vedno prevladujejo piezoelektrični pretvorniki (PZT), ki izkoriščajo obrnljivi piezoelektrični pojav za tvorbo in zaznavo ultrazvoka. Pri piezoelektričnem pojavu se snov v zunanjem el. polju skrči in to izkoristimo za tvorbo valov. Pri obrnjenem pojavu se na površini piezoelektrične snovi, ki jo stisnemo, nabere električni naboj. Ultrazvočno valovanje, ki pade na pretvornik, nanj deluje z izmenično tlačno natezno silo, ki povzroči nastanek električne napetosti na njegovi površini. Prvi znani piezoelektrik je bil kremenov kristal (kvarc), sedaj se v glavnem uporabljajo PZT keramike, vedno več pa tudi umetne snovi.



Sika 2.7.6: Zgradba normalne (a) in kotne (b) ultrazvočne preizkuševalne glave

Zaradi kratkotrajnega prožilnega električnega impulza se piezoelektrični pretvornik močno skrči, po njegovem prenehanju pa sprosti, pri čemer mehansko zaniha po debelini z lastno frekvenco. Vibracije se s pretvornika prenesejo v okolico, torej nastane ultrazvočno valovanje. Lastna frekvenca pretvornika, ki jo določa njegova debelina, torej tudi določa frekvenco tako nastalega valovanja. Dušilna snov na hrbtni strani pretvornika močno absorbira vibracije in tudi poskrbi, da pretvornik hitro izniha (dolžina impulza). Da pa čim več valovanja prestopi v preiskovano snov, poskrbi na pretvornik prilepljena zaščitna ploščica, ki je vedno debela ravno  $\frac{1}{4}$  valovne dolžine. Ker ultra zvok skozi zrak ne prehaja, moramo režo med ultrazvočno glavo in materialom premostiti s snovjo, ki bolje prevaja ultrazvok. Na površino preiskovanega materiala nanesejo lahko olje, vodo ali gel na vodni osnovi, ki nam omogoči akustični stik (sklopitveni medij).

Ko ultrazvok vstopi v preiskovani material, se sprva širi kot ravno valovanje, katerega intenziteta pa se zaradi interference vzdolž in znotraj snopa spreminja. To je t.i. bližnje področje (N) ultrazvočne glave. Dolžina bližnjega področja je odvisna od premera pretvornika  $D$  in valovne dolžine  $\lambda$ :

$$N = D^2 / 4\lambda.$$

Na oddaljenostih večjih od  $N$  se ultrazvočni impulz širi kot krogelni val v obliki stožčastega snopa. Polovični kot pod katerim je razprt ultrazvočni snop  $\gamma$ , je odvisen od  $D$  in  $\lambda$  pa tudi od izbire njegove meje. Običajno vzamemo kot mejo ploskev, kjer je amplituda pol manjša kot v sredini (-6 dB meja) in zanjo velja:

$$\gamma_6 = \sin^{-1} (0,51\lambda / D).$$

Za najpogosteje uporabljano normalno sondo s  $f = 2$  MHz in  $D = 24$  mm, ki oddaja v jeklo približno tak ultrazvočni snop kot ga prikazuje Sl. 2, je bližnje področje  $N = 90$  mm, snop pa se širi pod kotom  $2\gamma_6 = 4^\circ$ . Pri preizkuševalnih glavah, kjer je med pretvornikom in preiskovanim materialom prehodna snov (kotne sonde, potopne sonde), se bližnje področje običajno konča že v tam.

Glede na namen uporabe imamo veliko različnih preizkuševalnih glav, tako za splošno uporabo, kot za zelo posebne namene. Ločimo jih po frekvenci, vrsti valov (longitudinalni, transversalni, površinski), vpadnem kotu ( $\beta$ ) in velikosti ter tudi izvedbi (za ročno kontrolo, vodo tesna izvedba za potopno tehniko,...). Omejili se bomo le na standardne glave za preiskave kovinskih materialov, še posebej zvarov.

Če želimo zadovoljivo širjenje ultrazvoka skozi material, moramo izbrati takšne valove, da njihova slabitev ne bo prevelika. Ker je glavni razlog slabitve ultrazvoka v kovinskih materialih njegovo sipanje na kristalnih zrnih, ki raste z njihovo velikostjo, mora biti valovna dolžina  $\lambda$  mnogo večja od velikosti zrn  $d$  ( $\lambda \gg d$ ). Ker pa je zaznavnost napak prav tako omejena z valovno dolžino, le te ne moremo poljubno večati in pri določenih materialih z izrazitim grobim zrnem in močnim sipanjem ali dušenjem ultra zvoka naletimo na resne težave (siva litina, avstenitni ulitki, bakrove zlitine, plastične mase). Včasih nas posebne akustične lastnosti določenih materialov tudi omejijo glede uporabe tipa valov (transverzalne sonde pri avstenitnih zvarih).

Za preiskave kovinskih materialov so najprimernejše frekvence 1 – 10 MHz, ki jim pripadajo milimetrske valovne dolžine. Za preiskavo drobnozrnatih konstrukcijskih jekel so to predvsem glave z 2 in 4 MHz. Nižje frekvence (1 - 2 MHz) uporabljamo za materiale z bolj grobim zrnem (ulitki, avstenitni zvari), višje (6 - 10 MHz) pa za tanjše materiale.

Preizkuševalne glave, ki oddajajo ultrazvočni snop pravokotno na površino, torej je vpadni kot  $\beta_L = 0^\circ$ ,

imenujemo normalne preizkuševalne glave (straight beam probes / Normalpruefkopfe). Te oddajajo v material izključno longitudinalne valove v smeri pravokotno na površino.

Preizkuševalne glave, ki oddajajo valove pod nekim določenim kotom glede na pravokotnico na površino, so t. i. kotne glave (angle beam probes / Winkelpruefkopfe). Nominalni vpadni koti teh glav, ki oddajajo praviloma le transverzalne valove, so izračunani za feritno jeklo s  $c_T = 3250$  m/s. Standardni vpadni koti so  $35^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $70^\circ$  in  $80^\circ$ . Za posebne namene so na razpolago tudi kotne longitudinalne glave, ki oddajajo v material pod nominalnim kotom longitudinalne valove, zraven pa vedno tudi transverzalne valove pod približno pol manjšim kotom (sl. 4.6.3). Takšne so npr. specialne glave za pregled avstenitnih zvarov. Vpadni kot glav za površinske valove je  $90^\circ$ .

Velikost preizkuševalnih glav izberemo predvsem glede na površino in predvideni obseg preiskave, ter glede na zahtevano kvaliteto. Manjše glave izberemo za močno ukrivljene površine, v povezavi z višjo frekvenco pa tudi za zahtevnejše preiskave. Večje glave lahko uporabimo za produktivnejše preiskave in na večjih in bolj grobih površinah. Pomembno je upoštevati frekvenco oz. valovno dolžino in razmerje  $D/\lambda$  ki določa divergenco (širino) ultrazvočnega snopa. Manjša valovna dolžina pomeni večjo občutljivost, ožji snop pa natančnejšo lokacijo, a žal tudi bolj usmerjeno zaznavnost.

Glede na izvedbo so pomembne predvsem t.i. dvojne ali SE oz TR preizkuševalne glave, ki z akustično ločenima oddajnikom in sprejemnikom omogočata povečano občutljivost v določenih tudi manjših globinah.

#### 2.7.2.4 Umeritveni in primerjalni vzorci

Pomemben del opreme za ultrazvočne preiskave predstavljajo standardni umeritveni (kalibracijski) in primerjalni (referenčni) vzorci ali bloki. Z njimi nastavimo in umerimo horizontalno (oddaljenost) in vertikalno skalo (občutljivost oz. zaznavnost) na ultrazvočnem aparatu. Med umeritvenimi bloki sta najpomembnejša t.i. IIW standardna bloka, ki sta iz ISO prevzeta tudi v EN (in SIST) standardih. Preizkuševalna vzorca št.1 in št. 2 (t.i. K1 in K2) sta namenjena umerjanju za vse vrste preizkuševalnih glav, torej tudi kotnih, ki prevladujejo pri preiskavah zvarov. Oblika, mere in tolerance ter material, vključno s toplotno obdelavo, so strogo določeni s standardi. Oba bloka pokrivata po akustičnih lastnostih ( $c_L = 5920$  m/s,  $c_T = 3250$  m/s, dušenje), večino nizko legiranih feritnih jekel.

Poleg obeh opisanih vzorcev se uporabljajo tudi primerjalni vzorci, katerih namen je prvenstveno določanje občutljivosti z vdelanimi referenčnimi reflektorji. Primerjalne vzorce lahko izdelamo sami, iz materialov, ki jih dejansko preiskujemo. Standardi predpisujejo mere in oblike zgolj okvirno, še najbolj strogo so določeni referenčni reflektorji. Najpogostejši referenčni reflektorji so bočne izvrtine, izvrtine z ravnim dnom postavljene pravokotno na smer širjenja ultrazvoka in zareze različnih globin. Redkeje služijo temu namenu avtentične nehomogenosti.

Prednost uporabe primerjalnih vzorcev za določanje občutljivosti oz. t.i. referenčnega nivoja za vrednotenje napak je, da s primerno izbiro materiala lahko kompenziramo vrsto izgub in drugih vplivov, ki jih imajo material (dušenje, sipanje, hitrost), površina (hrapavost, ukrivljenost) in lega napak. Ob uporabi metod, ko je občutljivost umerjena na umeritvenem vzorcu, moramo vse te posebej upoštevati.

### 2.7.3 Izvedba ultrazvočnih preiskav

#### 2.7.3.1 Izbira metode preiskave in preizkuševalnih glav

Za preiskave materialov, vključno z zvari, je najobičajnejša impulzno odmevna (ehoimpulzna) metoda, ko merimo smer, oddaljenost in amplitudo odbitega ultra zvoka. To metodo lahko kombiniramo tudi z metodo prezvočenja. Pri slednji merimo skozi material prepuščeno valovanje in iz oslabitve le tega sklepamo na (ne)homogenost. Tehniko preiskave izberemo glede na namen preiskave, zahtevano kvaliteto ter vrsto in dimenzije materiala in ob upoštevanju nekaterih pravil.

Zahtevana občutljivost ter akustične lastnosti materiala vplivajo na izbiro valovne dolžine oz. frekvence. Valovna dolžina mora biti manjša od zahtevane občutljivosti, ki jo določimo npr. z velikostjo najmanjše napake, ki jo še moramo zaznati. Krajša valovna dolžina pa pomeni povečano sipanje in dušenje, ki pa ne smeta preprečiti ultra zvoku, da prodre skozi vso prostornino preiskovanega materiala in se od tam tudi vrne.

Debelina materiala in kvaliteta površine določata velikost glave, orientacija pričakovanih napak pa vpadni kot ultrazvočnih valov. Vedno moramo izbirati take vpadne kote in smeri širjenja, da bodo napake čim bolj zanesljivo odkrite in ocenjene. Ultrazvočni snop mora biti usmerjen kar se da pravokotno na pričakovane in/ali najbolj



neugodne nehomogenosti. Preizkuševalna glava se mora dobro prilegati površini, da ultra zvok nemoteno vstopa v material. Potrebna je ustrezna priprava površine materiala. Kadar kontroliramo materiale z močno ukrivljeno površino (cevi, okrogle palice), mora biti v krivino obdelana tudi površina glave.

Lega in dimenzije pričakovanih in/ali najbolj neugodnih napak določajo površine oz. ploskve s katerih se bo izvajala preiskava, pa tudi gostoto, korak in smer skeniranja, ter potrebno število ponovitev z različnimi glavami. Običajna zahteva je, da mora biti vsak del prostornine preiskan v najmanj dveh, med seboj pravokotnih smereh in z 100 % prekrivanjem, kar pomeni, da si morajo zaporedne poti preizkuševalne glave slediti dovolj na gosto, da se na vsakem mestu ob zaporednih poteh snopa prekrivata vsaj za 10 % svoje širine.

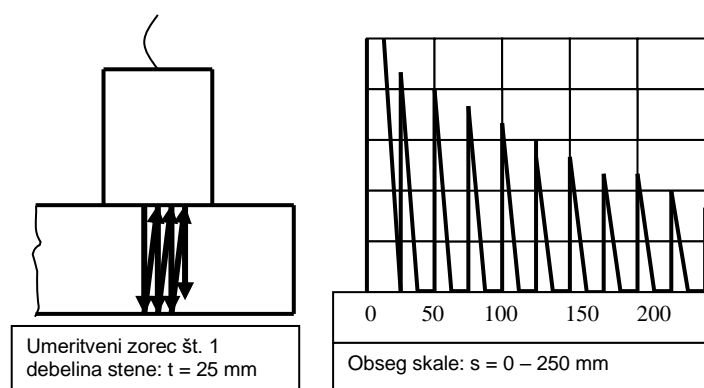
Podrobnosti o izbiri postopka preiskave, izbiri in umeritvi merilnega sistema, uporabi ostalih sredstev in pripomočkov, izvedbi preiskave, vrednotenju zaznav in ocenjevanju kvalitete, ter na koncu o izdelavi poročila, mora vsebovati pisni postopek za izvajanje preiskav. S postopkom, ki je v pomoč izvajalcu, vedno tudi dokazujemo zmožnost in usposobljenost za izvedbo preiskav.

### 2.7.3.2 Umerjanje

Umerjanje predstavlja najpomembnejšo fazo priprav na ultrazvočno preiskavo, ki jo je treba izvesti vedno pred izvedbo preiskave in mnogokrat ponoviti med njo, ko se menja npr. preizkuševalna glava, območje ipd. Najprej umerimo območje oz. horizontalno skalo nato pa še občutljivost.

Območje ali horizontalno skalo izberemo glede na debelino materiala, vrsto uporabljene sonde in smer širjenja ultra zvoka. Nastavljeno območje mora biti vedno daljše, od najbolj oddaljenih delov preiskovanega materiala, a ne predolgo. Smotrno je, da predstavlja zaokroženo vrednost, ki je enostavno deljiva z delitvijo skale ekrana, obenem pa naj pričakovane vrednosti pokrijejo čim večji del skale na ekranu. Sama nastavitev skale poteka enostavno tako, da izbrano sondo postavimo na ustrezno mesto umeritvenega ali primerjalnega vzorca, da dobimo odboje od znanih reflektorjev na znanih oddaljenostih. Za normalne sonde so to običajno kar večkratni odboji od nasprotne stene, za kotne sonde pa ponavljajoči odboji od v polkrog oblikovanega dela umeritvenega vzorca. Izmenično nastavljamo začetek in razpon horizontalne skale, dokler posamezni odboji ne zasedejo za nastavljeno območje pričakovanih mest.

Če npr. želimo preiskati 200 mm debel material z normalno ultrazvočno glavo, izberemo območje 0 - 250 mm. Območje 0 – 200 mm je prekratko, 0 – 500 mm pa predolgo, saj bi izkoriščali le levo polovico ekrana in manj natančno odčitavali oddaljenost. Če položimo glavo na stransko steno vzorca št. 1, ki je debel ravno 25 mm, si bodo odboji sledili v enakomernih časovnih presledkih. Skalo raztegnemo ali skrčimo tako, da bo medsebojni razmak odbojev ravno 0,1 ali 10 % dolžine celotne skale. Nato še premaknemo 1. odboj na oznako za 10 % dolžine ekrana, ali drugega na oznako za 20 % itd. in skala bo umerjena. Začetek skale bo predstavljal oddaljenost 0, oznaka za 80 % skale pa oddaljenost 200 mm in s tem mesto, kjer se mora pojaviti odboj od zadnje stene. Na tak način lahko umerimo horizontalno skalo tudi na poljubnem materialu z neznano hitrostjo ultrazvoka – le debelino materiala moramo poznati.



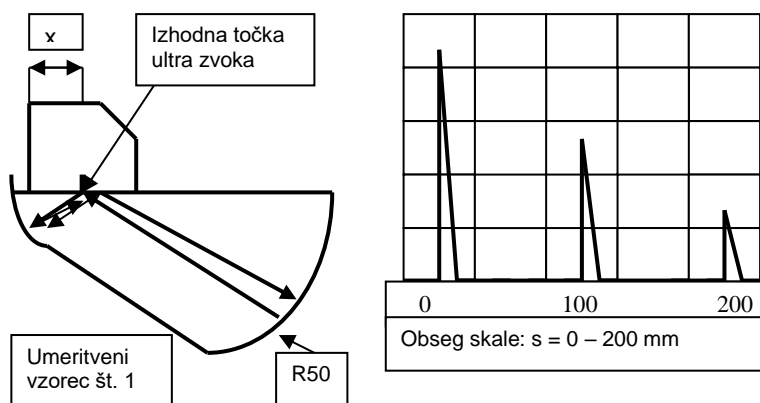
Slika 2.7.7: Primer umeritve normalne glave na vzorcu št. 1.

Kotne glave umerimo, tako da jih postavimo na umeritvenem vzorcu na mesto, ki predstavlja središče krivine. Dobljene večkratne odboje postavimo na ustrezna mesta na ekranu. Ko pade ultrazvočni snop na krivino, se ves odbije nazaj proti točki, kjer je zapustil glavo. Del valovanja vstopi nazaj v glavo, ki ga zazna kot prvi odboj. Na vzorcu št. 1 se del valovanja na globoki pravokotni zarezi odbije nazaj proti krivini (t.i. R100 z  $r = 100 \text{ mm}$ ), kar se večkrat ponovi. Dobimo večkratne odboje z razmakom 100 mm. Podobno je na vzorcu št. 2, kjer snop usmerimo na eno od obeh krivin (R25 z  $r = 25 \text{ mm}$  ali R50 z  $r = 50 \text{ mm}$ ), kjer se popolnoma odbije nazaj proti glavi, kamor je del tudi vstopi, del pa odbije proti drugi krivini. Tu se vse valovanje ponovno odbije nazaj in sledijo

si odboji od ravne ploskve na vrhu vzorca ter prve in druge krivine. Vsakokrat del valovanja tudi vstopi v glavo a ta zazna le valovanje iz smeri prve krivine. Od druge krivine odbito valovanje vstopi v glavo v napačni smeri in ne zadene pretvornika. Zaporedni odboji si sledijo v razmakih po 75 mm, kar je vsota obeh polmerov.

Kot primer pokažimo umeritev miniaturne kotne glave z vpadnim kotom  $60^\circ$ , na t.i. dvojno zvočno pot  $s$ , to je oddaljenost reflektorja v smeri širjenja valov. Kotno glavo postavimo na vzorec št. 2, na mesto ki predstavlja središče obeh krivin. Glavo oz. ultrazvočni snop usmerimo proti eni od obeh krivin. Prvemu odboju od prve krivine, ki je 25 mm (ali 50 mm) daleč, sledijo zaporedni odboji v razmaku po 75 mm. Če želimo razpon skale  $s = 0 - 200$  mm, usmerimo izbrano glavo na R25 in postavimo 1. odboj na 12,5 % skale, 2. na 50 % in tretjega na 87,5 %. Ker je pri vpadnem kotu  $60^\circ$  globina  $t = s \cdot \cos \beta = s/2$ , je horizontalna skala tudi umerjena na globino za  $t = 0 - 100$  mm.

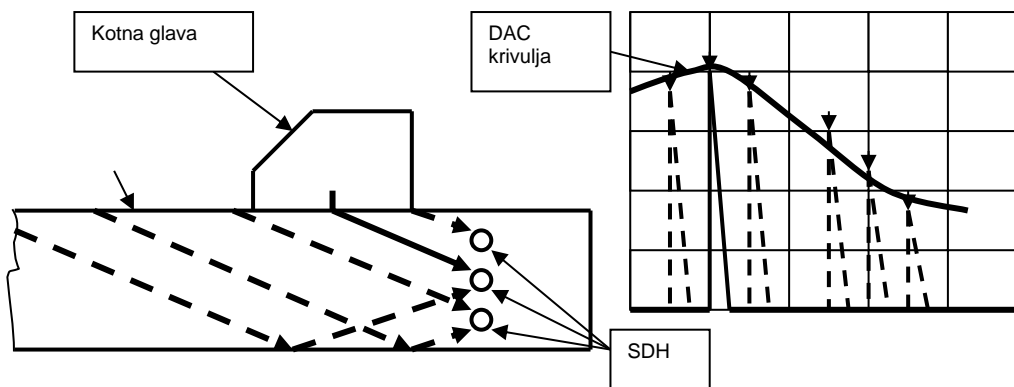
Ker pa je za vrednotenje zaznav včasih koristnejši podatek o legi napake glede na površino (projekcija, skrajšana projekcija) ali globina, lahko skalo umerimo tudi tako. Umerjanje je v tem primeru podobno, le da moramo prej s pomočjo kotnih funkcij izračunati pričakovani položaj umeritvenih odbojev. Preračunavanje globine in projekcije ali umeritev nanju pri novejših digitalnih aparaturah seveda odpade, saj nam aparatura sproti preračunava in prikazuje zelene količine. Na analognih aparaturah si pomagamo sami z dodatnimi skalami, ali tabelami, ki si jih pripravimo.



Slika 2.7.8: Primer umeritve miniaturne kotne glave

Druga faza umerjanje je nastavitev občutljivosti. Da lahko ustrezno vrednotimo amplitudo zaznanih signalov, mora biti umeritev prilagojena izbrani metodi vrednotenja. Najbolj razširjeni sta dve. Prva je t.i. DGS (distance-gain-size) ali AVG metoda, kjer pripišemo amplitudi zaznanega signala, velikost t.i. nadomestnega reflektorja, ki bi postavljen kot ravni krožni reflektor (DSR: disc shaped reflector) na enaki oddaljenosti v sredino ultrazvočnega snopa in pravokotno na njegovo os, dal enak odboj ultrazvoka. Pri tem si pomagamo z diagramom ali tabelo ali pa je že vnesen v spomin digitalnega aparata. DGS/AVG reflektorji so določeni zgolj računsko in samo upoštevajo vpliv velikosti in oddaljenosti na amplitudo signala. Vse možne dodatne izgube zaradi hrapavosti in ukrivljenosti površine, sipanja in dušenja zvoka ipd. moramo dodatno izmeriti in upoštevati. Umeritev za uporabo DGS/AVG metode je v prvem koraku enostavna, saj samo poiščemo enega od možnih referenčnih odbojev, ki je za normalne glave kar odboj od zadnje stene (BWE: back wall echo) in za kotne sonde odboj od krivine ali izvrtine v bloku št. 1 in št. 2. Seveda pa moramo dodatno izmeriti dušenje in transferne izgube. Na osnovi obojega nato določimo potrebno ojačitev oz. vrednotimo zaznane odboje.

Druga in bolj razširjena je metoda, kjer izmerjene signale primerjamo z odboji od umetno narejenih reflektorjev, ki jih vdelamo v primerjalne vzorce iz materiala, ki ima enake ali podobne lastnosti. Osnova je t.i. DAC krivulja (distance amplitude correction curve), ki jo dobimo tako, da na primerjalnem bloku poiščemo odboje od različno oddaljenih reflektorjev in njihovo višino in mesto ob nespremenjeni ojačitvi označimo na ekranu. Povezane oznake predstavljajo referenčno (DAC) krivuljo in višino signalov odčitamo kot relativno višino glede na DAC. DAC krivuljo izmerimo sorazmerno hitro in če je primerjalni vzorec po lastnostih enak ali podoben pregledovanemu materialu, so v DAC poleg oddaljenosti upoštevane tudi izgube zaradi prehoda ultrazvoka, sipanja in dušenja, ukrivljenosti ipd. Slika 2.7.9 prikazuje konstrukcijo DAC krivulje za kotno glavo na vzorcu, kjer so referenčni reflektorji bočne izvrtine (SDH: side drilled hole).



Slika 2.7.9: Meritev DAC krivulje s kotno transversalno glavo.

### 2.7.3.3 Izvedba preiskave

Ko sta določeni tehnika preiskave in ko je merilni sistem umerjen, lahko prično preiskavo, če so seveda izpolnjeni vsi ostali pogoji. Mesto oz. objekt preiskave mora biti dostopen in primerno urejen, površina preiskave primerno pripravljena (brez obrizgov, žlindre, rje ipd.).

Izvajalec preiskave si namesti aparat na primerno mesto, tako da je v dosegu rok in blizu površine na kateri bo izvajal preiskavo. Nato nanese sklopitveni medij, postavi glavo na površino in jo začne voditi (prestavljanje ali vleči ob neprekinjenem stiku s površino). Ves čas mora opazovati ekran in sočasno paziti na položaj in usmerjenost glave. Ko zazna signal, ki bi lahko predstavljal napako mora mesto zaznave podrobneje raziskati, tako da s premikanjem sonde dobi najmočnejši signal. Če glede na mesto, oddaljenost in višino signala oceni da gre za značilno zaznavo, jo mora izmeriti, ovrednotiti, zabeležiti, in oceniti v skladu s predpisanim sprejemnim kriterijem.

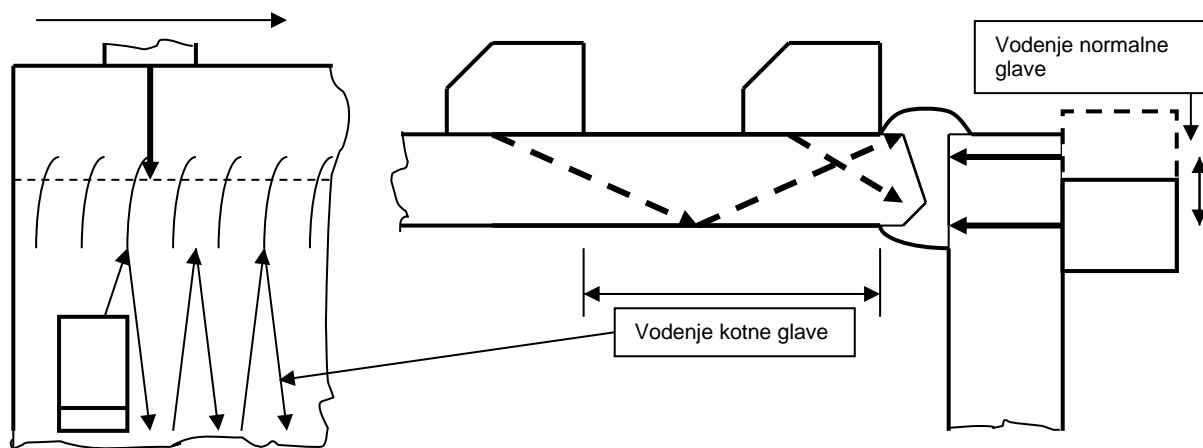
Na ekranu ultrazvočne aparature odčita izvajalec oddaljenost (zvočna pot, globino, projekcija) in amplitudo zaznanega reflektorja. Na sami površini izmeri še položaj glave, ki da skupaj z oddaljenostjo reflektorja njegov položaj v materialu. Če sumi, da je zaznani reflektor vsaj v eni dimenziji razsežnejši, mora npr. dolžino izmeriti s premikanje sonde in določitevjo mej, kjer amplituda pade na polovico (za 6 dB). Vse izmerjene vrednosti mora zabeležiti tako, da bo lokacija reflektorja na objektu enoznačno določena. Glede na izmerjene vrednosti pa tudi opazovanja (spreminjanje signala ob premikanju sonde), mora določiti lego, velikost in orientacijo reflektorja in ga prepoznati kot napako. Če ni gotov v vrednotenju, mora preiskavo ponoviti z drugo smerjo snopa, drugo sondo ipd.. Šele tako ovrednoteno zaznavo oceni glede na predpisani sprejemni kriterij kot dovoljeno ali nedovoljeno nepravilnost (napako).

Vsaka preiskava je končana, ko je izdelano tudi poročilo o preiskavi, ki mora vsebovati vse predpisane podatke o sami izvedbi preiskave (tehnika, oprema, obseg, objekt, kraj, čas, izvajalec) in rezultatih preiskave. Praviloma morajo biti zabeležene vse tiste zaznave, ki so bile prepoznane kot nedopustne napake od dopustnih pa tudi tiste ki so presegle t.i. mejo beleženja.

### 2.7.3.4 Ultrazvočne preiskave zvarov

Ker leži večina napak v zvarih, še posebej tistih, ki najbolj ogrožajo nosilnost in integriteto zvara na meji med osnovnim in dodanim materialom (napake prevaritve, razpoke v TVP, ...), in so praviloma orientirane skoraj pravokotno na površino, moramo temu prilagoditi tehniko pregleda.

Ultrazvočni snop mora biti usmerjen čim bolj pravokotno na pričakovane napake, torej tudi pravokotno na pripravljene zvarni rob oz. kasnejšo linijo taljenja. Zato se uporabljajo kotne tansverzalne glave z velikimi vpadnimi koti (70°, 60°, 45°), ki jih usmerimo prečno na zvar. Da gre ultrazvočni snop skozi vse dele zvara in vsaj enkrat pravokotno na linijo taljenja, moramo voditi glavo od začetka temena zvara pa do oddaljenosti, ko tudi od spodnje ploskve odbiti ultrazvok doseže zgornji rob zvara (sl. 2.7.10). Normalne longitudinalne glave uporabljamo le za preiskavo vogalnih in T zvarnih spojev (K in 1/2V zvari).



Slika 2.7.10: Primer preiskave vogalnega, polovičnega V zvarnega spoja.

## 2.7.4 Prednosti in omejitve ultrazvočne kontrole

Kadar se odločamo za ultrazvočno preiskavo, moramo poznati vse njene prednosti, pa tudi slabosti in omejitve. Prednosti ultrazvočne metode so: prodornost in možnost preiskave velikih debelin, zelo dobra zaznavnost nehomogenosti ploskovnega značaja, priročnost in dostopnost rezultatov takoj in na mestu samem ter zmerna cena in dostopnost opreme.

Te prednosti pa vedno ne odtehtajo nekaterih pomanjkljivosti, kot je npr. slabša zaznavnost volumskih napak, slaba dokumentiranost in ponovljivost rezultatov in predvsem subjektivnost izvedbe in ocene kvalitete. Psihofizična zahtevnost ultrazvočne preiskave, kjer mora izvajalec sočasno pozorno opazovati ekran in voditi preizkuševalno glavo, po potrebi spreminjati ojačitev na aparatu, nato pa meriti položaj glave, vse izmerjeno zapisati in na koncu še nedvoumno oceniti kvaliteto, ter kar na mestu tudi označiti lego nedovoljenih napak (z vsemi podatki za uspešno odstranitev), zahteva dobro usposobljenega operaterja in primerne pogoje za delo.

Ultrazvočna preiskava je sorazmerno hitra in enostavna le v dveh ekstremnih primerih: ko je kvaliteta zvara odlična, tudi brez določenih geometrijskih nepopolnosti, ki lahko motijo preiskavo (pretirano teme, zamik, predvidena delna prevaritev,...) ali da je zvar v celoti neustrezen. Zaznave nepopolnosti, ki zahtevajo natančnejšo preiskavo, merjenje, vrednotenje in beleženje, samo preiskavo močno otežijo in upočasnijo. V kolikor se preiskava izvaja še pod neugodnimi pogoji, v prisilnem položaju ipd. postane manj zanesljiva. Žal se v praksi na minimalne pogoje pod katerimi se preiskava sme in more izvajati prevečkrat in včasih tudi namenoma pozablja.

Ultrazvočne preiskave zvarov spadajo med najzahtevnejše metode neporušnih preiskav. Zahtevajo dobro usposobljene in izkušene izvajalce, s potrebnimi psihofizičnimi sposobnostmi, kjer tudi značajske poteze niso nepomembne, saj je od vseh preiskav ultrazvočna najbolj subjektivna. Subjektivnost in nenazoren oz. nepopoln zapis rezultatov ohranjata razumno razmerje med ultrazvočno in ostalimi metodami neporušnih preiskav. Ultrazvok in radiografija ter ostale metode se učinkovito dopolnjujejo.

## 2.7.5 Standardi in predpisi

Ultrazvočne preiskave so dobro definirane s standardi in predpisi. To velja predvsem za evropske standarde, kjer smo še pred desetletjem uporabljali bolj ali manj popolne (in uporabne) nacionalne standarde in standarde najmočnejših industrijskih držav.

Razen splošnih standardov skupnih za vse neporušne preiskave tu navajamo najprej splošne ultrazvočne standarde v Tabeli I, nato standarde za ultrazvočno preiskavo zvarov v Tabeli II, in nazadnje še standarde za polizdelke in materiale (Tabela III), od katerih so nekateri tudi varjeni (cevi) ali pa vstopajo kot materiali v varilni proces (pločevina).

Tabela 2.7.1: Splošni ultrazvočni standardi

<b>EN ISO 16810</b>	Neporušitvene preiskave – Ultrazvočne preiskave – 1.del: Splošna načela
<b>EN ISO 16811</b>	Neporušitvene preiskave – Ultrazvočne preiskave – 2.del: Nastavitev občutljivosti in območja
<b>EN ISO 16823</b>	Neporušitvene preiskave – Ultrazvočne preiskave – 3.del: Tehnika prezvočenja
<b>EN ISO 16826</b>	Neporušitvene preiskave – Ultrazvočne preiskave - 4.del: Ugotavljanje nezveznosti, pravokotnih na površino
<b>EN ISO 16827</b>	Neporušitvene preiskave – Ultrazvočne preiskave – 5.del: Določanje značilnosti in velikosti nezveznosti
<b>EN 1330-4</b>	Neporušitvene preiskave - Terminologija – 4. del: Pojmi, ki se uporabljajo pri ultrazvočni preiskavi
<b>EN ISO 16828</b>	Neporušitvene preiskave – Ultrazvočne preiskave – 3.del: Tehnika zvočne poti kot metoda za odkrivanje in ugotavljanje velikosti nezveznosti
<b>EN 14127</b>	Neporušitvene preiskave - Ultrazvočno merjenje debeline
<b>EN 12668-1</b>	Neporušitvene preiskave – Določanje lastnosti in preverjanje naprav za ultrazvočno preiskavo – 1. del: Naprave
<b>EN 12668-2</b>	Neporušitvene preiskave – Določanje lastnosti in preverjanje naprav za ultrazvočno preiskavo – 2. del: Preskuševalne glave (sonde)
<b>EN 12668-3</b>	Neporušitvene preiskave – Določanje lastnosti in preverjanje naprav za ultrazvočno preiskavo – 3. del: Sestavljeni sistemi
<b>EN ISO 2400</b>	Neporušitvene preiskave – Ultrazvočne preiskave – Specifikacija za umeritveni vzorec št. 1.
<b>EN ISO 7963</b>	Neporušitveno preskušanje - Ultrazvočno preskušanje - Specifikacije za umeritveni vzorec št. 2
<b>EN 10228-4</b>	Neporušitveno preskušanje jeklenih izkovkov - 4.del: Ultrazvočno preskušanje avstenitnih ali avstenitno-feritnih korozijsko obstojnih jekel

Tabela 2.7.2: Standardi za ultrazvočno preiskavo zvarov

<b>EN ISO 11666</b>	Neporušitvene preiskave zvarov - Ultrazvočna preiskava zvarnih spojev - Stopnje sprejemljivost
<b>EN ISO 23279</b>	Neporušitvene preiskave zvarov - Ultrazvočna preiskava - Karakterizacija indikacij v zvarih
<b>EN ISO 17640</b>	Neporušitvene preiskave zvarov - Ultrazvočna preiskava zvarnih spojev
<b>EN ISO 17635</b>	Neporušitvene preiskave zvarnih spojev - Splošna pravila za kovinske material.
<b>EN ISO 5817</b>	Varjenje – Talični zvarni spoji na jeklu, titanu, niklju in njihovih varivih zlitinah (razen spojev, varjenih s snopom) – Stopnje kakovosti

Tabela 2.7.3: Standardi za ultrazvočno preiskavo polizdelkov

<b>Odkovki</b>	
<b>EN 10228-3</b>	Neporušitveno preskušanje jeklenih izkovkov. 3.del: Ultrazvočno preskušanje feritnih ali martenzitnih jeklenih izkovkov
<b>Oblikovani (valjani) izdelki</b>	
<b>EN 10160</b>	Ultrazvočno preskušanje ploščatih jeklenih izdelkov, debelih 6 mm in več



	(odbojna metoda)
<b>EN 10306</b>	Jeklo – Ultrazvočno preskušanje profilovH z vzporednimi prirobnicami in profilov IPE
<b>EN 10307</b>	Neporušitveno preskušanje – Ultrazvočno preizkušanje avstenitnih in avstenitno-feritnih nerjavnih ploščatih jeklenih izdelkov debelin, ki so enake ali večje od 6 mm (odbojna metoda)
<b>EN 10308</b>	Neporušitveno preskušanje – Ultrazvočno preskušanje jeklenih palic

<b>Cevi, vključno ploščati izdelki za izdelavo varjenih cevi</b>	
<b>ISO 4386-1</b>	Drsni ležaji – Večslojni kovinski ležaji – 1. del: Ultrazvočno preskušanje medslojnega spoja brez porušitve
<b>ISO 4386-3</b>	Drsni ležaji – Večslojni kovinski ležaji – 3. del: Preskušanje s penetracijo brez porušitve
<b>EN ISO 10893-8</b>	Neporušitveno preskušanje jeklenih cevi - 8. del: Ugotavljanje laminarnih napak nevarjenih in varjenih jeklenih cevi z avtomatsko ultrazvočno preiskavo
<b>EN ISO 10893-9</b>	Neporušitveno preskušanje jeklenih cevi - 9. del: Ugotavljanje laminarnih napak trakov/pločevine, ki se uporabljajo za izdelavo varjenih jeklenih cevi, z avtomatsko ultrazvočno preiskavo
<b>EN ISO 10893-10</b>	Neporušitveno preskušanje jeklenih cevi - 10. del: Avtomatsko odkrivanje vzdolžnih/prečnih napak po celotnem obodu nevarjenih in varjenih jeklenih cevi (razen obločno varjenih pod praškom) z ultrazvokom
<b>EN ISO 10893-11</b>	Neporušitveno preskušanje jeklenih cevi - 11. del: Ugotavljanje vzdolžnih in/ali prečnih napak vara pri jeklenih ceveh, obločno varjenih pod praškom, z avtomatsko ultrazvočno preiskavo
<b>EN ISO 10893-12</b>	Neporušitveno preskušanje jeklenih cevi - 12. del: Ugotavljanje debeline po celotnem obodu nevarjenih in varjenih jeklenih cevi (razen obločno varjenih pod praškom) z avtomatsko ultrazvočno preiskavo

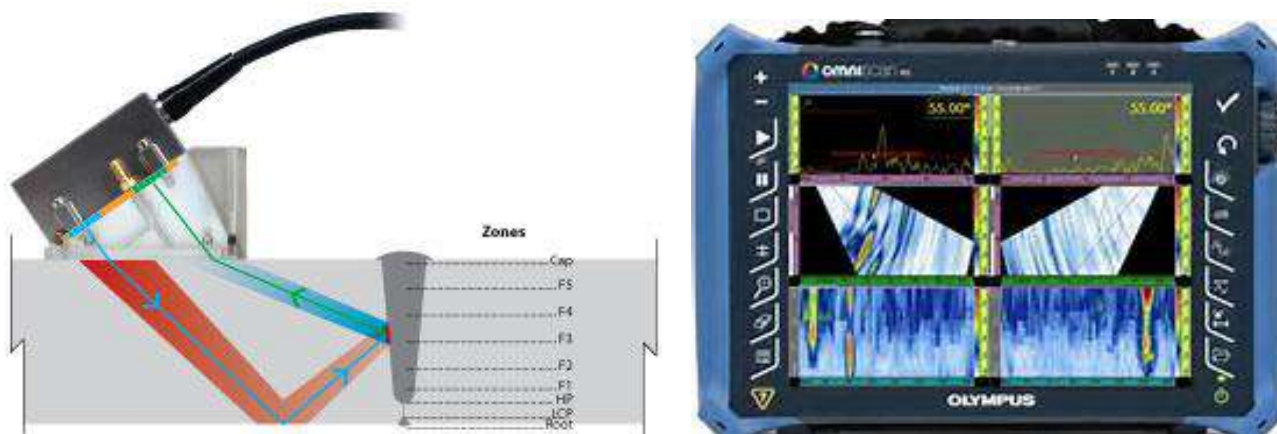
# NOVE TEHNIKE PRI VOLUMSKIH NDT METODAH

Pripravili: dr. Miloš Jovanović  
Nejc Pirc, udim

## 2.8.1 Avtomatizovane ultrazvočne metode

### 2.8.1.1 PA (Phased Array)

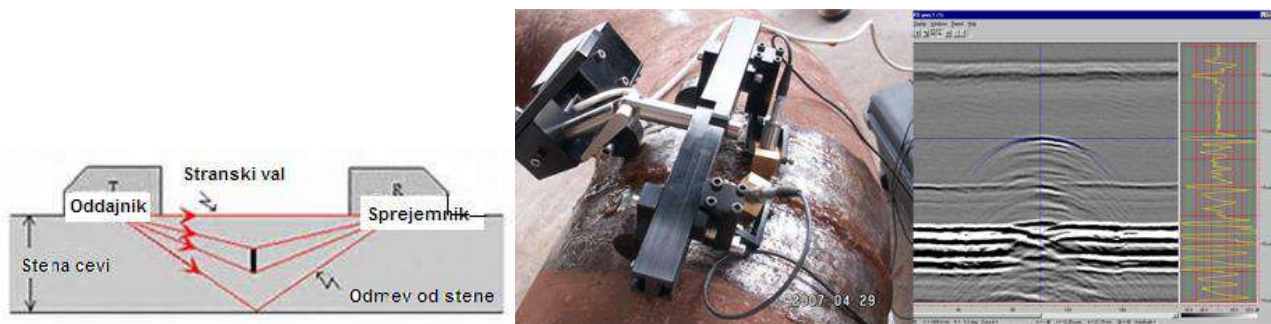
Sonde so sestavljene iz večjega števila majhnih nodvisnih pretvornikov (16 do 256), ki so postavljeni v določeni obliki (v liniji, v krog itd.). Vsakemu elementu lahko pošljemo pulz nodvisno in z določenim časovnim zamikom glede na ostale elemente. Na ta način lahko kombiniramo različne oblike ultrazvočnih signalov in različne kote preiskave notranjosti materiala. S tem je omogočeno, da v enem prehodu sonde po površini predmeta preskeniramo celoten volumen tega izdelka. Pridobljeni podatki so shranjeni v digitalni obliki in je prikaz signalov možen na več načinov (A, B, C in S-scan). Metoda je primerna za iskanje vseh oblik nepravilnosti v zvarih, predvsem zleptov, ki so za klasičen ultrazvok ali radiografijo velikokrat 'nevidni'.



Slika 2.8.1. PA metoda skeniranja zvarov

### 2.8.1.2 TOFD (Time Of Flight Diffraction)

To je tehnika ultrazvočne preiskave, ki uporablja lom ultrazvočnih valov na mejah nepravilnosti. Uporablja se izključno za preiskavo zarnih spojev tako, da se oddajnik postavi na eni strani zvara, sprejemnik pa na drugi. Sondi sta povezani v eno ohišje, ki se premika s pomočjo kolesčkov, pri čemer se izvaja skeniranje notranjosti zvara. Tako se dobijo podatki za kompletno dolžino skeniranega volumna.

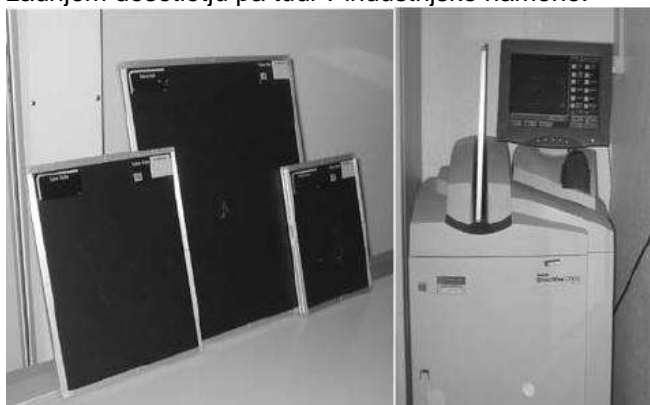


Slika 2.8.2.: TOFD metoda UT preiskave

## 2.8.2 AVTOMATIZIRANE RADIOGRAFSKE METODE

Industrijska radiografija je metoda neporušitvenih preiskav, ki uporablja ionizirajoče zračenje za pregled materialov in komponent z namenom odkrivanja nepravilnosti v materialu. Postopek uporablja bodisi rentgenske ali gama žarke, ki so posledica radioaktivnosti zaprtih radionuklidnih virov. Sevanje tako prodre v predmet preiskave, kjer ga zazna film ali kakšen drug detektor sevanja. Če na predmetu ni napak, bo na izhodu enaka količina zraka. Če so v predmetu napake, to pomeni, da bo oddajal več (ali manj) sevanja, kar se izraža z različno počrnitvijo filma ali detektorja.

Zaradi težnje po krajšem času osvetlitve ter potrebe po digitalizaciji in avtomatizaciji procesov so se v zadnjih desetletjih razvili novi načini zajemanja slik. Gonilna sila za razvoj novih sistemov prihaja iz sveta medicine, kjer si prizadevajo skrajšati čas izpostavljenosti in s tem čim bolj zmanjšati morebitno škodo za pacienta. Filmsko radiografijo so tako nadomestili računalniška radiografija (CR) in digitalni detektorji (DDA). Obe tehniki imata krajši čas osvetlitve, ni potrebe po kemikalijah za razvoj filmov, možnost prikaza v realnem času, digitalno obdelavo in arhiviranje podatkov ter številne druge prednosti. Oba sistema se že dolgo uporabljata v medicini, v zadnjem desetletju pa tudi v industrijske namene.



a) IP plošče, računalniška radiografija



b) DDA sistem

Slika 2.8.3: Primeri digitalne radiografije

### VRSTE RADIOGRAFIJE

FILMSKA RADIOGRAFIJA	RAČUNALNIŠKA RADIOGRAFIJA (Kompjutorska radiografija - CR)	DIREKTNA DIGITALNA RADIOGRAFIJA (Niz digitalnih detektorjev - DDA)
Konvencionalna radiografija uporablja film za prikaz slike. Ko sevanje preide skozi predmet in film, se na filmu ustvari latentna slika, ki jo je treba razviti. Film se nato razvije v temnici s pomočjo kemikalij in oceni s pomočjo iluminatorja.	V računalniški radiografiji se namesto filma za zajemanje slike uporablja plošča, prevlečena s fosforjem. Plošča je postavljena v kaseto, ki ne prepušča svetlobnih žarkov. Po ekspoziciji se kaseto razvije v temni sobi. Kaseto s ploščo se vstavlja v optični skener, kjer usmerjeni laser osvetli fosforjeve plasti. Ko je v stiku z laserskim žarkom, fosfor oddajajo svetlobo, ki je sorazmerna količini vpadnih žarkov med ekspozicijo. Ustrezni detektor zazna količino svetlobe, ki se pretvori v digitalne signale. Digitalne signale je mogoče nato prikazati na zaslonu kot surovo	Pri neposredni digitalni radiografiji se za pridobivanje slike uporablja digitalni detektor. Ionizirajoče sevanje lahko pretvorimo v digitalni signal na neposreden ali posreden način. V posrednem načinu je detektor prevlečen s plastjo scintilacijskega materiala. Ta snov omogoča neposredno pretvorbo ionizirajočega sevanja v vidno svetlobo, ki jo fotodiode zaznajo in pretvorijo v digitalno obliko. Metoda neposredne pretvorbe uporablja polprevodniški material (običajno selen), ki ob obsevanju ustvari pare elektronskih lukenj.

	sliko in jih nadalje obdelati z različnimi filtri. Po obdelavi se lahko podatke s plošče izbriše in ploščo ponovno uporabi.	Število nastalih parov je sorazmerno z ionizirajočim sevanjem. Sliko lahko kasneje obdelamo z različnimi filtri, vendar se osnovna slika vedno shrani za sledljivost.
--	---	---

Prednosti in pomanjkljivosti posameznih tehnik:

FILMSKA RADIOGRAFIJA	RAČUNALNIŠKA RADIOGRAFIJA	DIGITALNA RADIOGRAFIJA
Nizka cena filmov v primerjavi z CR ali DDA sistemi, primerna za manjšo serijo ali v primeru različnih oblik predmetov in terenskega dela	Visoka začetna investicija	Najvišja začetna investicija
Enostavno postavljanje filma na predmet tudi na terenu	Manj primerna za uporabo na terenu, težko postavljanje na oble površine	Manje primerna za uporabo na terenu, težko postavljanje na oble površine
Najboljša ostrina slike	Srednja ostrina slike	Velika ostrina slike
Filmi so za enkratno uporabo	Fosforne plošče so za večje število posnetkov, sčasoma se izrabijo in jih je potrebno zamenjati	Sčasoma posamezne diode za pretvorbo signala odpovejo; maksimalno dovoljeno število nedelujočih diod je definirano s standardom
Stroj je potreben za pretvaranje latentne slike v uporabno	Potreben je stroj za pretvaranje latentne slike v digitalno	Direktna konverzija v digitalni format
Ni možnosti obdelave radiograma po razvijanju	Možnost digitalne obdelave podatkov	Možnost digitalne obdelave podatkov
Dolgi časi ekspozicije	Krajši časi ekspozicije	Najkrajši časi ekspozicije

### Standardizacija

Uporaba standardov v industrijski radiografiji zagotavlja obnovljivost slik, olajša komunikacijo med proizvajalci in naročniki ter natančno določa zahteve za naprave in kakovosti slike. Standard EN ISO 17636-2 določa minimalne zahteve za radiografske preiskave za sisteme CR in DDA. Sposobnost odkrivanja nepravilnosti mora biti čim bolj podobna tisti pri filmski tehniki po EN ISO 17636-1. V obeh primerih imamo možnost izvajanja radiografske preiskave z dvema tehnikama:

- Razred A: osnovna tehnika,
- Razred B: Izboljšana tehnika.

Vsaka tehnika ima torej natančno predpisano vrsto izotopa za dano debelino, največjo rentgensko napetost, minimalno oddaljenost vira sevanja do objekta itd. Poleg tega standard za digitalno radiografijo zahteva meritve:

- prostorske ločljivost in ostrine,
- razmerja signal/šum.

### Prostorska rezolucija in ostrina

V filmski tehnologiji se za merjenje ostrine ali kakovosti slike uporabljajo tako imenovani indikatorji kakovosti slike (IQI). Najpogosteje uporabljeni žični indikatorji so izdelani v skladu z EN ISO 19232-1. Sestavljeni so iz niza vzporednih žičk iz materiala visoke gostote. Žice so postavljene po vrstnem redu od večjega premera k manjšim.

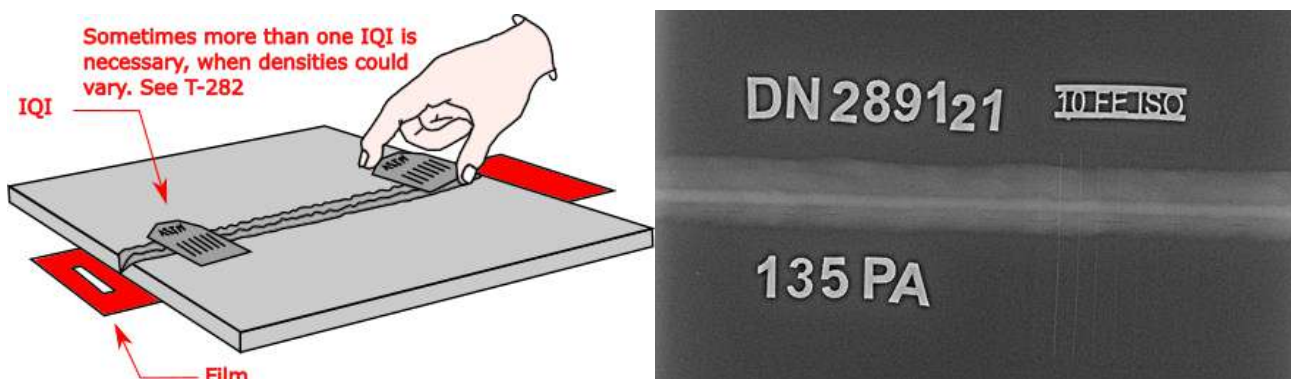




a) Žični indikator (10FE) b) Stopničasti indikator c) Ploščati indikator c) DUPLEX indikator

Slika 2.8.4 : Indikatori kvalitete

IQI se postavi na preskušane pravokotno na smer varjenja. Standard za filmsko in digitalno radiografijo natančno določa, kakšno debelino žice je treba videti, odvisno od debeline preiskovanega predmeta in tehnike prezračevanja. Vidno mora biti vsaj 10 mm dolžine žice v območju enakomerne vrednosti sivin ali razmerja signal/šum.

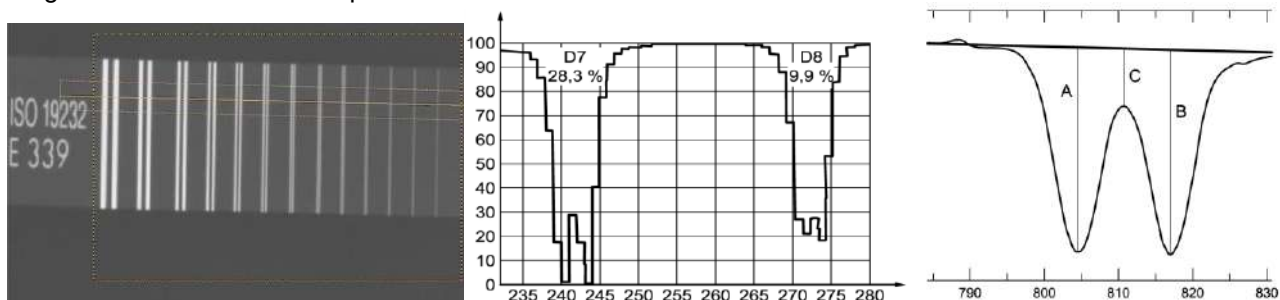


a) Primer postavitve IQI pri prozračevanju z ene strani, IQI na strani zvara

b) Primer digitalne slike, debelina predmeta 12 mm

Slika 2.8.5: Primer postavitve IQI pred in po ekspoziciji

Poleg tega standard za digitalno radiografijo zahteva merjenje osnovne prostorske ločljivosti (Basic spatial resolution - SR b) pred začetkom dela. S tem se preverja ali sistem izpolnjuje minimalne zahteve standarda EN ISO 17636-2. Indikator DUPLEX postavimo na DDR ali IP pod kotom 2° in ga pod natančno določenimi pogoji (rentgenska napetost, razdalja, uporaba filtra) izpostavimo prezračevanju. Indikator. Indikator DUPLEX je sestavljen iz parov žic enake debeline, z natančno določenim medprostorom. Digitalni sistem mora prepoznati ustrezen par žic kot dve žici in z zmanjšanjem žic in razmaka med njima zazna par žic kot eno žico pri tanjših debelinah. Meritve razmaka med pari žic se izvaja programsko in prepozna se par žic, v katerem je še vedno mogoče zaznati 20-odstotno praznino.



a) Slika DUPLEX indikatorja, pari žic D1 do D7 so še naprej vidni kot dve žici,

b) Meritev razmaka parov žic D7 in D8;

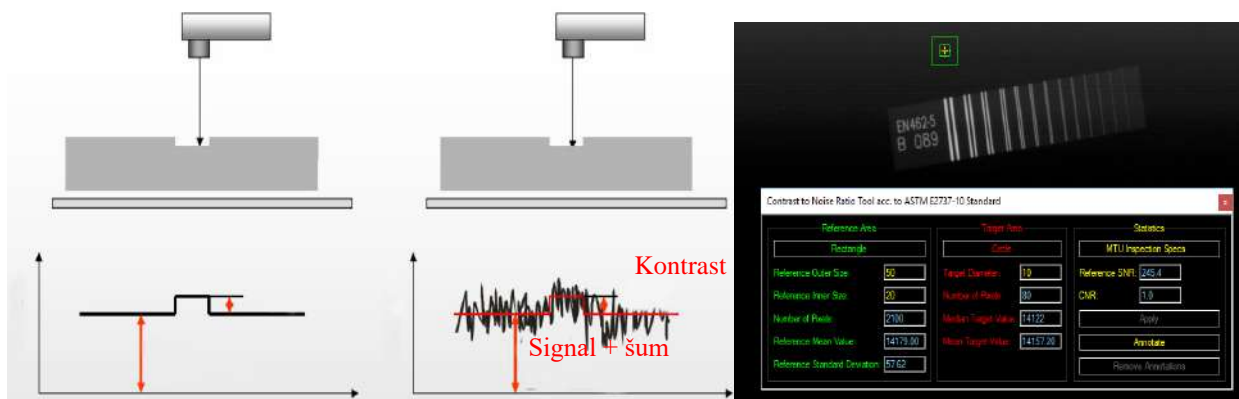
c) Izračun razmaka  
razmak =  $100 \times (A + B - 2C) / (A + B) [\%]$

Slika 2.8.6: Meritev prostorske rezolucije



## Razmerje signal-šum

Razmerje signal/šum (signal-to-noise ratio, SNR) je mera, ki kaže razmerje med želenim signalom in šumom. Šum lahko nastane zaradi odboja sevanja, slabe kalibracije plošče, električnega šuma senzorja itd. Najmanjše zahtevane vrednosti SNR so odvisne od tehnike prezračevanja, vrste in debeline materiala, vira sevanja ali napetosti cevi. Vrednost SNR je treba izmeriti na vsaki sliki. Vrednost SNR je običajno določena v oknu velikosti 20 x 55 pikselov in predstavlja razmerje med linearno povprečno sivo vrednostjo in standardnim odklonom. Vrednost SNR se meri v območju enake debeline. Če se vrednost SNR meri v območju TPV, ob zvaru, mora biti vrednost višja za faktor 1,4. Težava pri izvajanju meritev je lahko tudi hrapavost površine (npr. pri ulitkih), ki jo sistem prepozna kot šum. Običajno programski paketi za zajemanje slik že imajo program za izračun SNR, določiti je potrebno le lokacijo na sliki in velikost piksla.



Razmerje signal-šum je visoko Razmerje signal-šum je nizko

a) Primer snemanja z in brez šuma

b) Primer meritve SNR vrednosti

Slika 2.8.7: Razmerje signal-šum

# KRITIČNI PREGLED IZBIRE NDT METOD

Pripravil: Matej Žgavec

## 2.9.1 Uvod

Vsak industrijski izdelek je zasnovan za izvajanje določene funkcije. Uporabnik ga kupi z vsemi pričakovanji, da bo dobro opravil svojo funkcijo in nemoteno deloval skozi svoje časovno obdobje ali življenjsko dobo. Stopnja zavarovanja ali gotovosti, katero lahko zagotovi katerikoli izdelek, lahko imenujemo **stopnja zanesljivosti**. Zanesljivost stroja ali sklopa s številnimi komponentami je odvisna od zanesljivosti vseh pripadajočih posameznih komponent.

Večina industrijskih izdelkov v sodobnem času npr. postrojenja tlačnih posod, večje žerjavne proge, železniške naprave, avtomobili, letala, ladje, elektrarne, kemijski obrati in drugi industrijski obrati so precej zapleteni, saj imajo na stotine ali tisoče komponent, od katerih je odvisno njihovo delovanje in nemoteno delovanje. Da bi zagotovili zanesljivost delovanja takšne naprave, je pomembno, da je vsaka posamezna komponenta zanesljiva in da zadovoljivo opravlja svojo funkcijo.

Stopnja zanesljivosti se zvišuje z izboljšanjem splošne kakovosti in kakovosti komponent posameznega industrijskega izdelka. Zato je dober kakovostni izdelek označen kot tisti, ki dobro opravlja svojo delovno funkcijo v predvidenem časovnem obdobju. Kakovost izdelkov in njegovih sestavnih delov je odvisna od številnih pomembnih dejavnikov, med katerimi so lastnosti materialov, izdelava materialov ter tehnike izdelave.

Da lahko zagotovimo zahtevano stopnjo zanesljivosti, se moramo pri izbiri primerne NDT metode vedno vprašati:

- Ali je kaj narobe s tem materialom?
- Ali so pričakovane nepravilnosti na ali pod površino?
- Kako naj jih odkrijemo?

V sklopu tega gradiva se prvenstveno obravnavajo t.i. konvencionalne NDT metode. Zato je potrebno poudariti, da poleg obravnavanih NDT metod in njihovih tehnik, obstaja še cela vrsta načinov neporušitvenega preizkušanja npr.: preizkušanja netesnosti (LT), termografija (TT), vrtnični tokovi (ET), akustična emisija (AT), vibracijske metode, uporaba laserja, spektrometrija, mikroskopija itd.

## 2.9.2 Izbira NDT metod v praksi

Izbira NDT metode je za varilske inženirje ena izmed ključnih nalog pri načrtovanju proizvodnega procesa. Težavnost te naloge se kaže predvsem pri načrtovanju novih izdelkov ali pa izdelkov s kompliciranimi oblikami, kjer ni na voljo primerne tehnološkega standarda, smernice ali predpisa.

Za standardne izdelke so varilskemu inženirju, pri načrtovanju izbire NDT preiskav v pomoč številni standardi in smernice, ki v veliki večini tabelarično prikazujejo postopek, obseg in način izvajanja NDT preiskav za posamezni izdelek.

Vendar pa se v praksi kdaj izkaže, da zgolj 'ozka' izbira NDT preiskav, vezana na standarde in smernice, ne zadošča vsem zahtevam, ki jih mora izpolnjevati izdelek oz. z ozko izbiro ne dosežemo zadovoljivega rezultata. Posledica tega je lahko prisotnost določene **stopnje dvoma**, kar pa je pri izdelavi zahtevnejših izdelkov skorajda nedopustno. Stopnja dvoma oziroma zmanjšana stopnja zanesljivosti je mnogokrat povezana z naslednjimi okoliščinami\*:

- težnja po povečani produktivnosti (pritisk kapitala),
- težnja po hitrejšemu delovnemu ciklu (pritisk kapitala),
- pomanjkanje primerne delovne sile, kot so varilec, kontrolor, inženir (cena, delovni pogoji),
- ne-sledenje novim standardom ali spremembam obstoječih (čas, zanemarjanje),
- novi materiali (čas),
- nove tehnologije spajanja/varjenja (cena, čas),

- okoljevarstvene zahteve (cena),
- vseživljensko izobraževanje (cena, čas).

\*..v oklepaju so navedeni faktorji, ki vplivajo na okoliščine

Ravno zato mora biti odločanje o izbiri, načinu in vrstnem redu NDT preiskav v domeni kompetentnega in strokovnega osebja, po možnosti v kombinaciji: **konstrukter – tehnolog – kontrolor**.

Prepogoste so situacije, da je izvedba NDT preiskav predpisana tako, da:

- je dostop do mesta preiskave močno otežen ali v skrajnih primerih celo nemogoč,
- je predpisana za neustrezno pripravo površine,
- pogoji ne dopuščajo zadostne osvetlitve,
- prihaja do brezobzirnosti glede varnosti tako NDT osebja in delovnega osebja,
- je časovni okvir za izvedbo NDT preiskav enostavno prekratek (velja za vse NDT metode).

Vse naštetu se mnogokrat zgodi tudi zato, ker prihaja do določitve po zahtevi po NDT izvedbi šele na koncu procesa izdelka. Z drugimi besedami, to pomeni, da nihče v fazi načrtovanja sploh ni predvidel NDT preiskav in se ta zahteva izrazi šele ob t.i. nadzoru oz. prevzemu. Stroški, ki lahko nastanejo zaradi takih nepravilnost vodstva podjetji, se v današnjem času merijo v (več) tisočih evrih in posledično lahko vplivajo na prihodnje obratovanje in poslovanje samega podjetja.

V veliki večini to privede do **znanih** pogovornih fraz kot so:

- ' nismo vedeli da se bo slikalo ' (RT) - varilci, naročnik,
- ' pridite takoj ' - naročnik,
- ' opravite takoj ' - naročnik,
- ' saj ni važno, če so obrizgi, ti samo drsi ' (UT) - naročnik,
- ' rezultati in poročila takoj ' - naročnik,

Za vse težave, ki nastanejo zaradi nepravilne izbire in predvsem nepravočasnega načrtovanja in izbire NDT preiskav, so torej **odgovorni načrtovalci izdelka** sami. Žal pa se krivdo, zaradi nastalih težav najraje zvrča na varilce in NDT kontrolorje.

Za izogibanje zgoraj naštetega je potrebno najmanj:

- komunikacija na vseh nivojih - do varilca,
- seznanitev z zahtevami projekta,
- odprava vseh nejasnosti ali nerazumevanja zahtev,
- pridobitev in razumevanje tehniških standardov,
- vlaganje v znanje in strokovnost,
- razumevanje pričakovanj končnega kupca,
- upoštevanje varnostnih predpisov.

### 2.9.3 Značilnosti NDT metod

NDT je veja znanosti o materialih, ki se ukvarja z vidiki enakomernosti, kakovosti in sposobnosti za obratovanje materialov in konstrukcij. NDT se razlikuje od drugih preizkusnih metod, ki omogočajo preskušanje ali kontrolo materiala v temu, da s pravilnim izvajanjem neporušitvenega preizkušanja ne škoduje njegovi bodoči sposobnosti za obratovanje.

Znanost o NDT obsega vse tehnologije za odkrivanje in merjenje pomembnih lastnosti. Z industrijskega vidika je namen NDT-ja, da določi oziroma pove, ali je material oz. komponenta zmožna **zadovoljivo** opravljati svojo funkcijo. Z izbiro NDT metod in tehnik je možno zmanjšati faktor nevednosti o materialih, ne da bi s tem zmanjšali faktor varnosti v končnem izdelku.

Na splošno spada namen NDT v eno naslednjih kategorij:

- določitev lastnosti materiala,
- odkrivanje, karakterizacija, določitev lege in velikosti nehomogenosti/nepravilnost,
- določitev kakovosti izdelave komponente/konstrukcije,
- preverjanje poškodovanosti po določenem času obratovanja komponente/konstrukcije.

Koristi, ki jih NDT ponuja industriji, so številne. Prispevke NDT preiskav industriji lahko razdelimo v štiri skupine:

- povečana produktivnost,
- povečana sposobnost za obratovanje,
- varnost,
- identifikacija materialov.

Z odkritjem materiala z nepravilnostmi in s tem preprečevanje izgube materiala, delovne sile in delovnega časa, NDT preiskave povečajo produktivnost in s tem ekonomske dobičke ter posledično zadovoljstvo zaposlenih.

Preventivno vzdrževanje pove, ali so deli še zadovoljivi za uporabo, kar ima dobre posledice za manj popravil, manj nesreč in na splošno manjše proizvodne stroške.

Na področju varnosti bo pravilna uporaba NDT metod in tehnik pomagala pri preprečevanju nesreč, povezanih z možno izgubo življenj, lastnine in vitalne opreme.

Razvito je bilo veliko različnih NDT metod in tehnik za odkrivanje in karakterizacijo nepravilnosti. Vse NDT tehnike temeljijo na fizikalnih principih določenih pojavov.

Bistveni del NDT preiskave so:

- nanos preskusnega medija,
- sprememba preskusnega medija zaradi nepravilnosti ali sprememb v strukturi ali lastnostih materiala,
- odkrivanje te spremembe z ustreznim detektorjem,
- pretvorba te spremembe v ustrezen signal/indikacijo,
- interpretacija dobljenih informacij.

Vsako NDT metodo lahko popolnoma okarakteriziramo s pomočjo **5 glavnih faktorjev**:

- izvor energije ali medij, uporabljen za preiskavo predmeta (npr. žarki X ali žarki gama, ultrazvočni valovi, toplotno sevanje itd),
- narava signalov ali indikacij, ki je posledica medsebojnega vpliva (interakcije) s preiskovanim predmetom npr. (dušenje žarkov X ali odboj ultrazvoka),
- sredstvo za odkrivanje ali zaznavanje dobljenih signalov (fotografska emulzija, piezoelektrični kristal, induktivna tuljava, detekcijske tekočine),
- metoda indikacije ali zapisa signalov (osciloskopska sled, radiogram, barvne indikacije),
- osnova za interpretacijo rezultatov (direktna ali indirektna indikacija, kvalitativna ali kvantitativna).

Cilj vsake od uporabljenih preskusnih NDT metod je podati informacije o naslednjih parametrih materiala:

- nehomogenosti (npr. razpoke, praznine, vključki, dvoplastnost),
- struktura ali slaba struktura (vključno kristalna struktura, velikost zrn, izceje, nepravilnost),
- dimenzije (velikost, premer, velikost reže, velikost nehomogenosti),
- fizikalne in mehanske lastnosti (refleksivnost, prevodnost, elastični modul, zvočna hitrost),
- sestava in kemična analiza (identifikacija zlitine, nečistoče, porazdelitev elementov),
- napetostni in dinamični odziv (preostale napetosti, rast razpok, obraba, vibracije),

**Osnovna in prva izbira** NDT metode naj bo **vedno vizualna preiskava**. Vsak varilski inženir in nadzornik bi moral dobro poznati osnove vizualne preiskave, prav tako bi moral biti dobro seznanjen s standardom SIST EN ISO 17637, ki pokriva področje vizualne preiskave zvarov na kovinskih materialih.

Z izvedbo vizualne preiskave pred nadaljevanjem z drugimi bolj invazivnimi metodami, se lahko:

- odpravi vse površinsko odkrite nepravilnosti,
- bolje pripravi površino za ostale NDT metode,
- odpravi nepravilnosti tudi na predelih, kjer sicer ni predpisana nobena NDT preiskava,
- prihrani čas in denar.

## 2.9.4 Prednosti in slabosti NDT metod

### 2.9.4.1 RT

Prednosti radiografskega preizkušanja - RT:

- informacije so prikazane slikovno,
- informacije so prikazane v 2D ali 3D pogledu,
- dobimo permanenten zapis, ki ga lahko opazujemo tudi kasneje in drugje kot med preiskavo,
- koristna za (zelo) tanke preseke materiala,
- občutljivost je navedena na vsakem filmu,
- primerna za katerikoli material.

Pomanjkljivosti radiografskega preizkušanja - RT:

- na splošno ni primerna za debelejšje preseke,
- potencialne nevarnosti za zdravje,
- snop je treba pri dvodimenzionalnih nepravilnostih usmeriti natančno,
- potrebna je oprema za obdelavo in opazovanje filma,
- manj primerna za avtomatizacijo, razen če sistem vključuje fluoroskopijo z ojačevalnikom slike ali drugimi elektronskimi pripomočki,
- manj primerna za površinske nepravilnosti,
- ne pokaže globine nepravilnosti pod površino.

### 2.9.4.2 MT

Prednosti preizkušanja z magnetnimi delci - MT:

- enostavnost delovanja in uporabe,
- hitro lahko preiščemo velike površine kompleksnih delov,
- indikacije se pojavijo direktno na površini dela, kar da sliko nehomogenosti,
- stroški opreme so relativno majhni,
- lahko odkrijemo površinske in pod površinske nepravilnosti.

Pomanjkljivosti preizkušanja z magnetnimi delci - MT:

- omejena je na feromagnetne materiale,
- omejena je na nepravilnosti na površini in tik pod njo,
- pri uporabi enosmernega toka in trdih materialov je običajno potrebno razmagnetenje,
- zahteva relativno gladko površino,
- barva ali ostanki drugih nemagnetnih materialov negativno vplivajo na občutljivost,
- pri zelo velikih delih so potrebni veliki tokovi.

### 2.9.4.3 PT

Prednosti preizkušanja s penetrantskimi tekočinami - PT:

- enostavnost delovanja,
- najboljša metoda za razpoke odprte na površino, pri neželeznih materialih,
- primerna za avtomatizacijo, razen dela, ki se izvaja pregledom z očmi,
- hitro in poceni lahko preiščemo velike površine ali velike volumne delov/materialov,
- dele s kompleksno geometrijo pregledujemo rutinsko,
- indikacije se pojavijo direktno na površini dela, kar poda vizualno sliko diskontinuitete,
- investicija v opremo je majhna.

Pomanjkljivosti preizkušanja s penetrantskimi tekočinami - PT:

- odkriva samo nepravilnosti, ki dosežejo površino,
- priprava površine je zelo pomembna, ker lahko kontaminanti zamaskirajo nepravilnosti,
- zahteva relativno gladko in neporozno površino,
- naknadno čiščenje je potrebno, da se odstranijo kemikalije,



- zahteva več operacij v kontroliranih pogojih,
- potrebni so preventivni ukrepi v zvezi s kemikalijami (strupenost, požar, odpadki).

#### 2.9.4.4 UT

Prednosti ultrazvočnega preizkušanja - UT:

- preiskujemo lahko debelejšje materiala z velikostjo 1 m in več,
- določimo lahko lego, velikost in vrsto nepravilnosti,
- takojšnji rezultati preiskave,
- prenosnost opreme,
- nastavitve visoke občutljivosti,
- možnost popolne avtomatizacije,
- potreben dostop samo z ene strani,
- ni (večjega) potrošnega materiala.

Pomanjkljivosti ultrazvočnega preizkušanja - UT:

- površina mora biti dostopna za glavo in kontaktno sredstvo,
- zahteve po spretnosti in usposabljanju kontrolorjev so večje kot pri drugih NDT metodah,
- stanje in hrapavost površine lahko vplivata na preiskavo,
- tanke dele je mogoče, vendar težje preiskati,
- linearne nepravilnosti, orientirane vzporedno zvočnemu snopu, lahko ostanejo neodkrite,
- pogosto so potrebni referenčni standardi in konkretna navodila.

#### 2.9.4.5 VT

Prednosti vizualne preiskave – VT:

- poceni,
- oprema je enostavna in prenosna,
- direktna ocena velikosti nepravilnosti,
- takojšnji rezultati,
- minimalne dodatne izkušnje,
- minimalna priprava površine vzorca,
- možnost pregleda nedostopnih površin (RVI).

Pomanjkljivosti vizualne preiskave – VT:

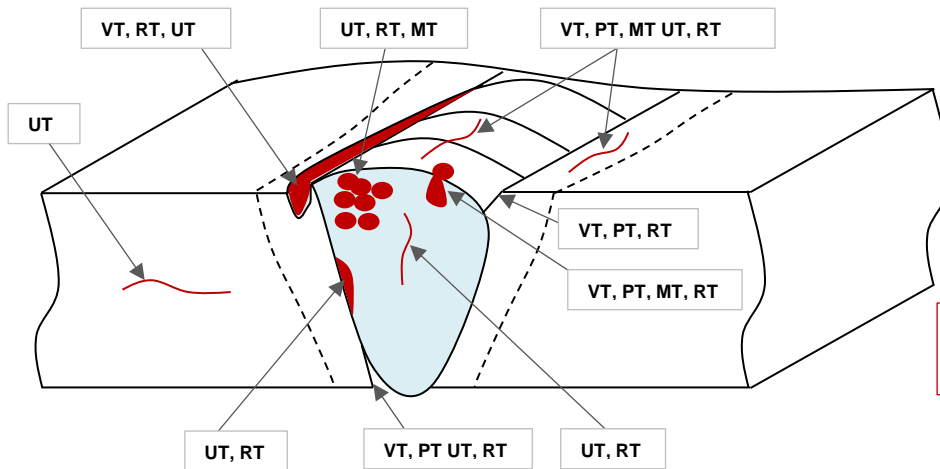
- metoda primerna le za površino, ki je vidna,
- običajno se zaznavajo samo večje nepravilnosti,
- napačno razumevanje (razlaganje) razpok in prask.

### 2.9.5 Izbira NDT metod

Pri načrtovanju in izbiri NDT metod je potrebno upoštevati vrsto dejavnikov, kot so:

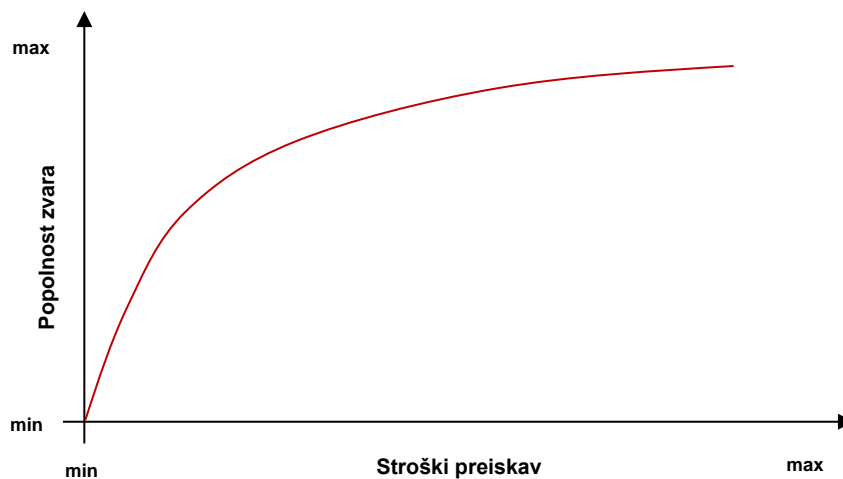
- zahteve po zanesljivem in varnem obratovanju konstrukcije v vsej svoji življenjski dobi,
- tehnične zmožnosti preiskave,
- značilnosti varilnih postopkov in njihov vpliv na nastanek nepravilnosti,
- razpoložljive možnosti uporabe neporušnih preiskav,
- lastnosti osnovni material, zvara in stanje obdelave,
- toplotne obdelave,
- vrsta in dimenzije zvarnega spoja,
- zgradba konstrukcijskega dela (dostopnost, stanje površine),
- stopnje kakovosti ali sprejemljivosti,
- vrsta in pričakovana orientacija nepravilnosti,
- ekonomski kriteriji.

Preiskave z NDT metodami, ki so se uveljavile pri pregledu zvarnih spojev, se glede možnosti odkrivanja nepravilnosti različnih geometrijskih oblik močno razlikujejo oz. NDT metode **ena drugo dopolnjujejo**.

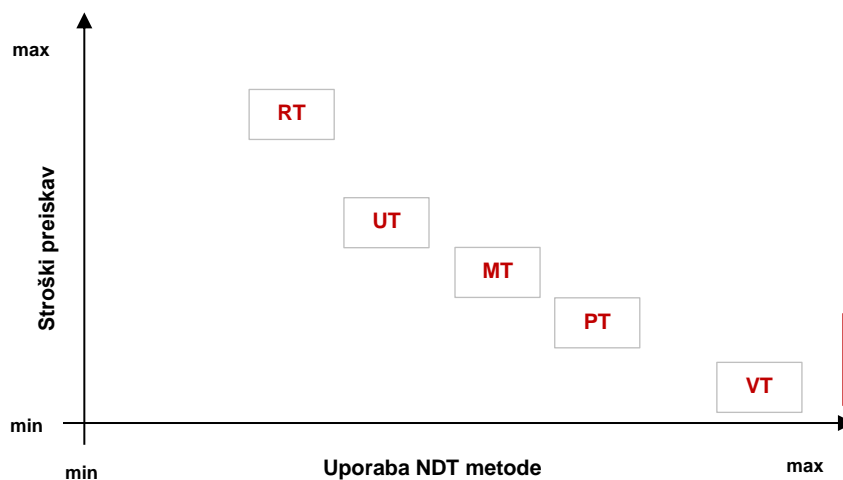


Slika 2.9.1: lege nepravilnosti in njihovo odkrivanje s pomočjo NDT metod.

Poleg tehničnih vidikov je pri izbiri preiskovalne metode potrebno upoštevati tudi **stroške preiskave**. Čim popolnejši zvar želimo imeti, tem večji so stroški neporušitvenih preiskav.














Slika 2.9.2: Prikaz odvisnosti težnje po popolnem zvaru in s tem povezanih stroškov.



Slika 2.9.3: Prikaz odvisnosti stroškov preiskav od uporabe NDT metod.

Pri izbiri NDT metod in preiskav se lahko uporabijo naslednji tabeli:

Tabela 2.9.1: Prikaz uporabe NDT metod

NDT metoda		VT	PT	MT	UT	RT	ET
Linearna površinska indikacija.		1	3	3	2	1	3
Nelinearna površinska indikacija.		3	3	3	2	3	3
Linearna podpovršinska indikacija, pravokotna na površino.		0	0	2	2 (kotna sonda)	2	3
Linearna pod-površinska indikacija, vzporedna s površino.		0	0	1 (2 mm pri AC)	3	0	0
Volumska pod-površinska indikacija.		0	0	1	2	3	2
Linearna globinska indikacija, pravokotna na površino.		0	0	0	2 (kotna sonda)	3	0
Linearna globinska indikacija, vzporedna s površino.		0	0	0	3	0	0
Volumska notranja indikacija.		0	0	0	2	3	0
Meritve debeline tankih materialov.		0	0	0	3	0	3
Meritve debeline debelejših materialov.		0	0	0	3	0	0
Meritve debeline nanosa prevodnih snovi.		0	0	0	3	2 (fluorescenčna tehnika)	3

(Opomba: številka 0 pomeni, da se nepravilnosti ne da odkriti, odkrivanje narašča od številke 1 proti številki 3)

Tabela 2.9.2: Prikaz najbolj pogostih nepravilnosti pri varjenju in njihovo odkrivanje z NDT metodo

Material	Tip nepravilnosti	Način varjenja	Tipična NDT metoda
Ogljikova jekla	Razpoke na površini	111, 135, 136, 121	VT, PT, MT
	Notranje razpoke	111, 135, 136, 121	UT, RT <sup>1</sup>
	Pomanjkljive spojitve (zlepi)	Vsi	UT, RT <sup>1</sup>
	Pomanjkljiva prevaritev	Vsi	UT, RT, VT <sup>2</sup>
	Zajede	111, 135, 136, 121	VT
	Poroznost	Vsi	RT
	Zlep na varilnem robu	135	UT
	Vključki volframa	141	RT
Nerjavna jekla	Strjevalne razpoke	Vsi	PT
	Razpoke	Vsi	RT, PT, UT
	Pomanjkljiva prevaritev	Vsi	RT, UT
	Trdi vključki	111, 131/135, 121	RT, UT
	Poroznost	Vsi	RT
	Vključki volframa	141	RT

<sup>1</sup> - prednostna izbira je UT; <sup>2</sup> - v primeru, da je korenska stran dostopna  
(Opomba: navedba odkrivanja je splošna in se lahko dopolni z drugimi NDT metodami)

# PRESKUŠANJE TESNOSTI

Pripravi: Andrej Smonkar

## 2.10.1 -1 Uvod

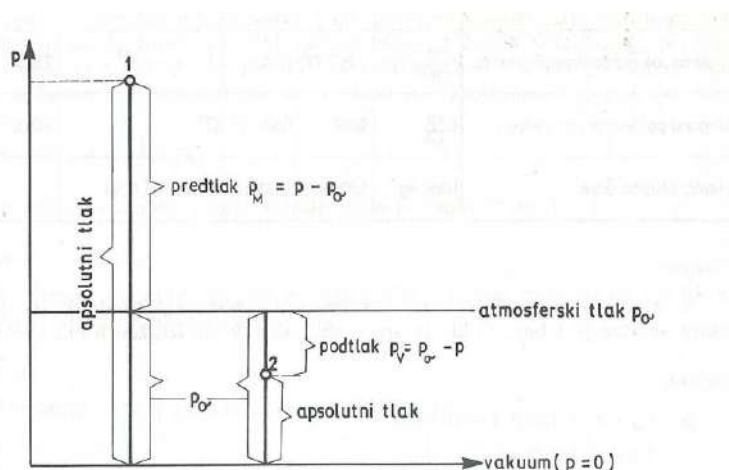
**Vakuum** je prazen prostor, prostor brez molekul, atomov ali podatomskih delcev. Popoln vakuum je težko doseči. Zato rečemo vakuum tudi, kadar imamo tlak veliko manjši od zračnega.

**Tlak ali pritisk** (oznaka  $p$ ) je kot fizikalna intenzivna količina razmerje med velikostjo ploskovno porazdeljene sile  $F$  in površino ploskve  $S$ , na katero ta sila prijema.

V mirujoči tekočini pritiska sila vedno pravokotno na ploskev, zato tlak ni odvisen od smeri ploskve. Predznak je izbran tako, da je tlak v tekočini pozitiven.

V pogovorni rabi se pogosto uporablja izraz »pritisk« v pomenu kvocienta med velikostjo sile in površine, npr. »pritisk v gumah«.

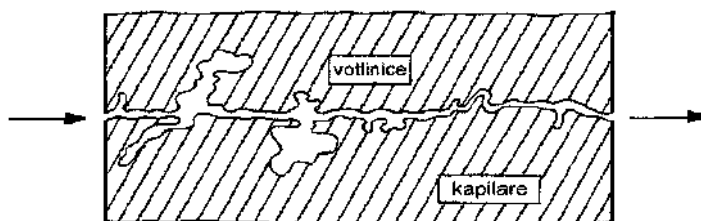
$$p_{\text{abs}} = p_{\text{bar}} + p_{\text{m}} \quad (\text{Pa})$$

atmosferski tlak  $p_a$ barometrski tlak  $p_{\text{bar}}$ manometrski tlak  $p_{\text{m}}$ absolutni tlak  $p_{\text{abs}}$  $p_a = 101325 \text{ Pa}$  (pri temp  $0^\circ \text{C}$  na gladini morj)

Slika 2.10.1: Prikaz komponent tlaka

**Netesnost** je luknja v tehničnih sistemih, skozi katero lahko trdni, tekoči ali plinasti medij neovirano prehaja skozi. Netesnost tvori skupina kapilar in votlinic, ki povezujejo obe strani stene preiskovanega objekta.

**Tesnost** je definirana kot količina pretoka medija (tekočine ali plina) v ali iz objekta skozi razpoko pod določenimi pogoji. Netesnost je izražena z občutljivostjo  $q$ , in enoto  $\text{Pa} \times \text{m}^3/\text{s}$  oz. starejša enota  $\text{mbar} \times \text{l}/\text{s}$  (pretvorba  $1 \text{ Pa} \times \text{m}^3/\text{s} = 10 \text{ mbar} \times \text{l}/\text{s}$ ).

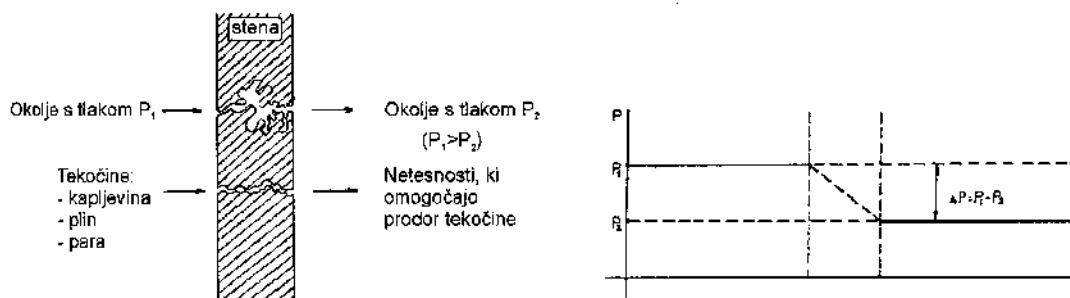


Slika 2.10.2: Prikaz netesnosti skozi material

Primer :

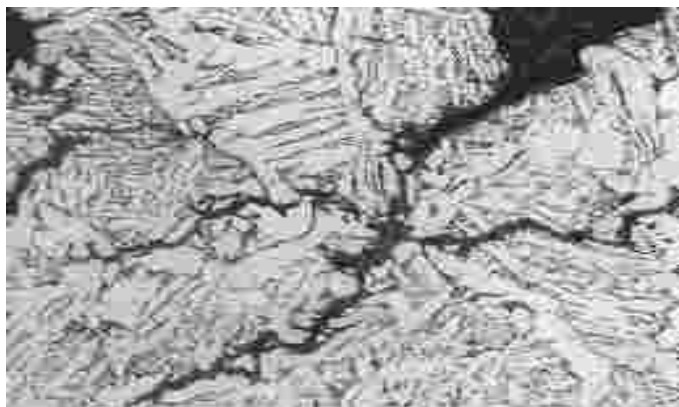
- uporabe metode z nizko stopnjo občutljivosti občutljivosti  $5 \times 10^{-4} \text{ Pa} \times \text{m}^3/\text{s}$  odgovarja spremembi tlaka za 5000 Pa v 10 litrskem volumnu v času 24 ur,
- občutljivost  $1 \times 10^{-10} \text{ Pa} \times \text{m}^3/\text{s}$  je tipična za srčne vzpodbujevalnike. To odgovarja izgubi  $1 \text{ cm}^3$  vsakih 30 let.





Slika 2.10.3: Sprememba tlaka na mestu uhajanja fluida

Primeri netesnih mest - luknje, razpoke, slabi zvari, slaba tesnila, porozna mesta:

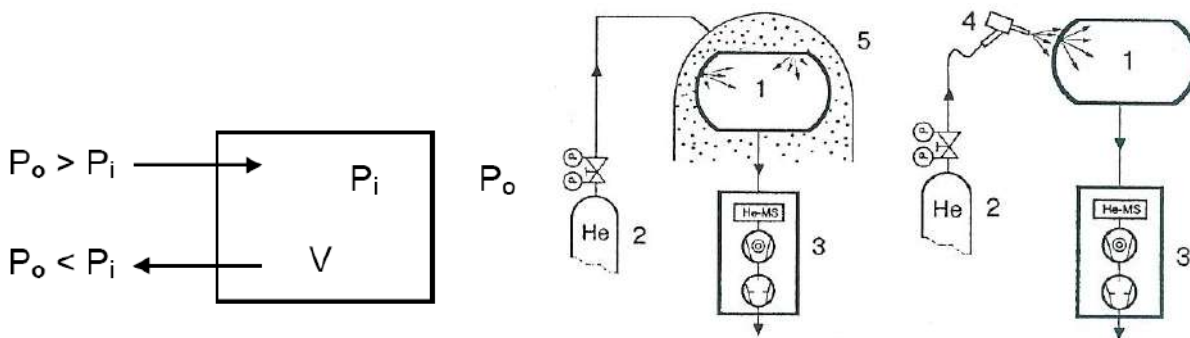


Slika 2.10.4: Prikaz mesta netesnosti na makroobrusu

2.10.2-1 Kvalificiranje in certificiranje osebja za neporušne preiskave SIST EN ISO 9712

Minimum izobraževanja		Stopnja 1 / ur	Stopnja 2 / ur
AT ( akustična emisija )		40	64
ET ( vrtinčni tokovi )		40	48
MT, PT, VT		16	24
RT, UT, RS		40	80
LT	B – postopek z merjenjem spremembe tlaka	24	32
	C – postopek s preskusnim – sledilnim plinom ( helij, freon, amoniak )	24	40

Izbira preskusne metode za preiskavo tesnosti



Slika 2.10.5: Različne metode preiskav tesnosti

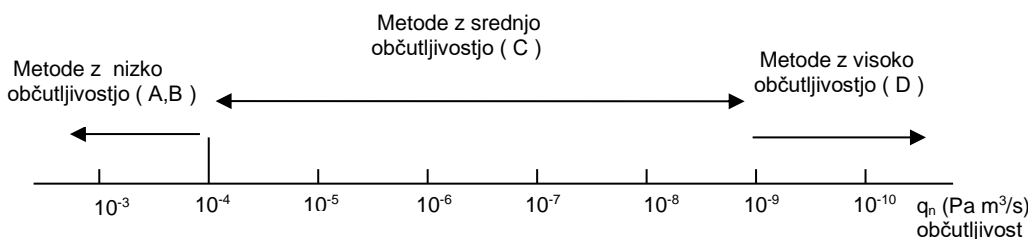
Pri izbiri ustrezne metode moramo razrešiti naslednja vprašanja:

- Kakšne so zahteve za občutljivost preskusnega objekta? Vedeti moramo, da 100 % tesnega objekta v naravi ni.
- Kakšen je priporočljiv tlak preskusa tesnosti?
- Kakšen tlak preskusnega medija naj izberemo (večji ali manjši od atmosferskega), območje preskusa in vrsta kontrole?
- Vpliv pretočnih pogojev - funkcija tlaka, temperature in vrsta plina. Najmanjšo molekulo ima Helij, ker jo tvori samo en atom. Vodik ima v molekuli 2 atoma, nato elementi v 8. skupini.
- Oblika preskušane objekta - dimenzije, dostopnost površin zaradi detekcije z instrumentom, potrebna tlačna razlika, kompatibilnost materialov s testnimi plini. Ali je preskusni objekt tehnično oz. mehansko stabilen za izvedbo preskusa tesnosti?
- Ali bomo izvajali preskus lokalno (odkrivali netesnost) ali celostno – integralno (merili skupno občutljivost)?
- Ali bo nivo občutljivost lahko določen?
- Delovanje in pogoji preskusa - razlika med delovnim medijem in preskusnimi plini, pretok v isti smeri kot pri obratovalnih pogojih.
- Časovna odvisnost (npr. sledilni plin) od stabilizacije, vrste plina, tlačne razlike, geometrije, temperature in čistosti površin (manjša puščanja zahtevajo večji čas stabilizacije).
- So predvidene kakršne koli zahteve s stališča varnosti in okoljevarstveni faktor med izvajanjem preskusa, tveganje pri doseganju tlačne razlike, tveganje z materiali, tveganje z elektriko?

### 2.10.3 -1 Metoda preskušanja tesnosti glede na občutljivost

$$q_n = \frac{(p_{1abs} - p_{2abs})}{(t_2 - t_1)} V \text{ pri } t_{okolja} = \text{konst.} \quad (\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s})$$

$$P_{abs} = p_{bar} + p_M \quad (\text{Pa})$$



Slika 2.10.6: Porazdelitev metod preskušanja tesnosti po občutljivosti

#### Fizikalne lastnosti sledilnih plinov v primerjavi z zrakom pri $T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ in $p_a=1013\text{ mbar}$

	Zrak	Vodik	Helij
<b>Molska masa</b>	29 g/mol	2 g/mol	49 g/mol
<b>Gostota</b>	1,2 g/l	0,09 g/l	0,18 g/l
<b>Termična hitrost</b>	467 m/s	1770 m/s	1256 m/s
<b>Viskoznost</b>	$18,3 \times 10^{-6}$ Paxs	$8,7 \times 10^{-6}$ Paxs	$19,3 \times 10^{-6}$ Paxs
<b>Toplotna prevodnost</b>	0,0275 W/mK	0,149 W/mK	0,183 W/mK
<b>Prisotnost</b>	100%	0,5ppm	5ppm

## Standardne vrednosti občutljivosti merilnih naprav

Definicija	kg zrak/h	mbar l/s	Pa·m <sup>3</sup> /s	Premer luknjice
Vodo-tesno	10 <sup>-05</sup>	10 <sup>-02</sup>	10 <sup>-01</sup>	0,1 mm
Paro-tesno	10 <sup>-06</sup>	10 <sup>-03</sup>	10 <sup>-02</sup>	0,01 mm
Bakteriološko tesno	10 <sup>-07</sup>	10 <sup>-04</sup>	10 <sup>-03</sup>	0,005 mm
Goriva, olje tesno	10 <sup>-08</sup>	10 <sup>-05</sup>	10 <sup>-04</sup>	0,001 mm
Virusno-tesno	10 <sup>-09</sup>	10 <sup>-06</sup>	10 <sup>-05</sup>	0,0005 mm
Plino-tesno	10 <sup>-10</sup>	10 <sup>-07</sup>	10 <sup>-06</sup>	0,00001 mm
Tehnično-tesno	10 <sup>-13</sup>	10 <sup>-10</sup>	10 <sup>-9</sup>	0,000001 mm

- za tlačni preskus
 

{	tlak	$\Delta p = 100 \text{ Pa}$ (baromet. tlak)
	temperatura	$\Delta t = 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$
	čas	$\Delta t = 1 \text{ min.}$
- za preskus z vakuumom
 

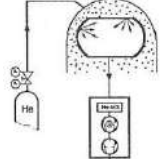
{	tlak	$\Delta p = 1 \text{ Pa}$ (absolutni tlak)
	temperatura	ni meritve
	čas	$\Delta t = 1 \text{ sek.}$

## 2.10.4 -1 Klasifikacija metod preskusa tesnosti skladno s standardom SIST EN 1779

Nadtlačna metoda													Meritev	Lokalno območje	Celotno območje
Zaznana občutljivost ( Pa·m <sup>3</sup> /s )															
10 <sup>0</sup>	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-10</sup>	10 <sup>-11</sup>				
Barvna metoda													DA	DA	DA
Ultrazvočna metoda													NE	DA	NE
Metoda z mehurčki ( zrak/voda )													DA	DA	DA
Metoda z mehurčki ( zrak/penilno sredstvo )													NE	DA	NE
Metoda s padcem tlaka													DA	NE	DA
Metoda s sledilnimi plini (NH <sub>3</sub> , halogen,...)													pogojno	DA	DA
Metoda s sledilnimi plini (Helij)													pogojno	DA	DA

Vakuumska metoda													Meritev	Lokalno območje	Celotno območje
Zaznana občutljivost ( Pa·m <sup>3</sup> /s )															
10 <sup>0</sup>	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-10</sup>	10 <sup>-11</sup>				
Ultrazvočna metoda													NE	DA	NE
Metoda z dvigom tlaka													DA	NE	DA
Metoda s sledilnimi plini (NH <sub>3</sub> , halogen,...)													DA	DA	DA
Metoda s sledilnimi plini (Helij)													DA	DA	DA

## 2.10.5 – 1 Postopki preskušanja tesnosti

Postopek	Testni plin	Princip	Naprave	Občutljivost	Opombe	Skica
A.1 Pretok plina v objekt / vakumiranje, popolno	Helij	Izprazen objekt in povezan z detektorjem. Objekt položen v komoro, ki vsebuje sledilni plin	Masni spektrometer	10 <sup>-10</sup> Pa·m <sup>3</sup> /s	Meritve / znana koncentracija sledilnega plina	

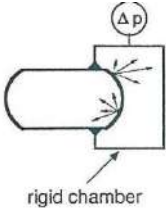
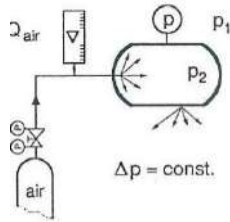
<b>A.2</b> Pretok plina v objekt / vakumiranje, delno	Helij	Izprazen objekt in povezan z detektorjem. Območje pokrito s sledilnim plinom	Masni spektrometer	$10^{-10}$ Pa*m <sup>3</sup> /s	Meritve / znana koncentracija sledilnega plina, možnost neodkrite netesnosti	
<b>A.3</b> Pretok plina v objekt / vakumiranje, lokalno	Helij	Izprazen objekt in povezan z detektorjem. Točke posprejane s sledilnim plinom	Masni spektrometer	$10^{-7}$ Pa*m <sup>3</sup> /s	Lociranje / znana koncentracija sledilnega plina, možnost neodkrite netesnosti	
<b>B.1</b> Pretok plina iz objekta / kemijska detekcija	Amoniak	Izprazen objekt polnjen z amoniakom. Območja pobarvana ali sprejana z reaktantom	Vakumska črpalka, reaktant, aparature za odkrivanje amoniaka	$10^{-7}$ Pa*m <sup>3</sup> /s	Lociranje / vlažnost znižuje občutljivost, tveganje eksplozije, strupen plin	

Postopek	Testni plin	Princip	Naprave	Občutljivost	Opombe	Skica
<b>B.2.1</b> Pretok plina iz objekta / vakumiranje, sledilni plin	Helij	Izprazen objekt in polnjen s sledilnim plinom, položen v komoro, ki je vakumirana in povezana z detektorjem	Vakumska črpalka, detektor plina, tesna komora	$10^{-9}$ Pa*m <sup>3</sup> /s	Meritve / težko doseganje tesnosti zaprtega objekta	
<b>B.2.2</b> Pretok plina iz objekta / vakumiranje, sprej	Helij	Izprazen objekt, površina posprejana s sledilnim plinom in delno prekrita z vakumirano komoro, ki je povezana z detektorjem	Vakumska črpalka, detektor plina, tesna komora	$10^{-7}$ Pa*m <sup>3</sup> /s	Lociranje / težko doseganje tesnosti zaprtega objekta	
<b>B.3</b> Pretok plina iz objekta / tlačenje	Helij, halogeni el.	Izprazen objekt tlačjen s sledilnim plinom in položen v komoro, ki je povezana z detektorjem. Sledilni plin se pretaka v zunanjo komoro	Detektor plina, tesna komora	$10^{-7}$ Pa*m <sup>3</sup> /s	Meritve / natančnost odvisna od spremembe volumna in propustnosti prostora	
<b>B.4</b> Pretok plina iz objekta / indikacija	Helij, halogeni el.	Izprazen objekt tlačjen s sledilnim plinom puščanje je zaznano z detektorjem	Detektor plina, vzorčni testi	$10^{-7}$ Pa*m <sup>3</sup> /s	Lociranje / občutljivost odvisna od oblike, razdalje in hitrosti	

<b>B.5</b> Pretok plina iz objekta / tlačenje	Helij	Izpraznjen objekt položen v komoro, kjer je tlačjen s sledilnim plinom, nato postavljen v vakumsko komoro, povezano z detektorjem	Tlačna in vakumska komora, detektor,	$10^{-9} \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$	Meritev /	
--	-------	---	--------------------------------------	--	-----------	--

Postopek	Testni plin	Princip	Naprave	Občutljivost	Opombe	Skica
<b>B.6</b> Pretok plina iz objekta / vakuum	Helij, halogeni el.	Izpraznjen objekt polnjen s sledilnim plinom in položen v komoro, ki je vakumirana in povezana z detektorjem.	Vakumska črpalka, detektor plina, tesna komora	$10^{-9} \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$	Meritev /	
<b>C.1</b> Pretok plina iz objekta / metoda z mehurčki	Zrak	Izpraznjen objekt tlačjen z zrakom položen v tekočino, puščanja so vidna kot mehurčki	Oprema za tlačenje Posoda s tekočino	$10^{-4} \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$	Lociranje / Meritev možna z zbiralnikom mehurčkov	
<b>C.2</b> Pretok plina iz objekta / metoda z mehurčki	Zrak	Izpraznjen objekt tlačjen z zrakom, površina posprejana s primernim tekočim sredstvom. Puščanje je vidno v obliki mehurčkov	Oprema za tlačenje sprej	$10^{-4} \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$	Lociranje / občutljivost odvisna od oblike, razdalje in hitrosti	
<b>C.3</b> Pretok plina iz objekta / metoda z mehurčki in vakumsko komoro	Zrak	Površina objekta posprejana s primernim tekočim sredstvom. Vakumska komora je postavljena na površino. Puščanje vidno v obliki mehurčkov.	Vakumska komora sprej	$10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$	Lociranje / možnost metode na odprtih in tankih stenah	
<b>D.1</b> Pretok plina iz objekta / zmanjšanje tlaka	Zrak	Objekt je tlačjen z zrakom in zaprt. Sprememba tlaka v določenem času je meritev.	Oprema za tlačenje Meritev časa, temperat., zunanjih pogojev	$10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$	Meritev / občutljivost odvisna od pogojev meritev zunanji / notranji	



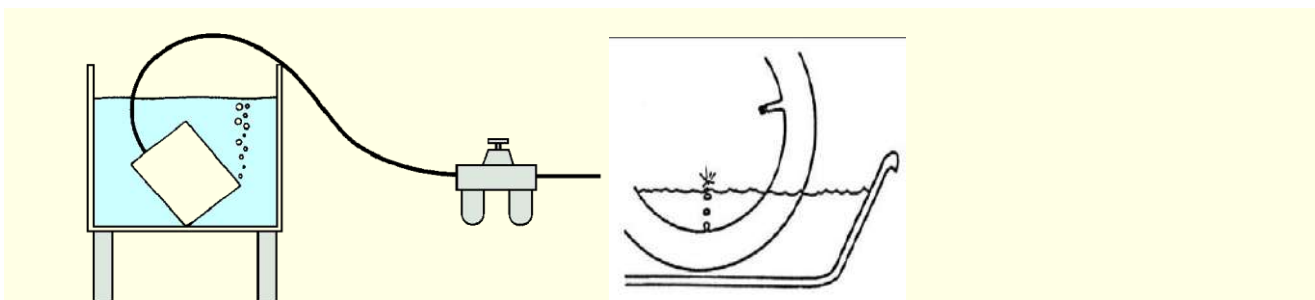
D.2 Pretok plina v objekt / dvig tlaka	Zrak	Izpraznjen objekt je vakumiran in zaprt. Sprememba tlaka v določenem času je meritev.	Vakumska črpalka Meritev časa, temperat., zunanjih pogojev	$10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$	Meritev /	
D.3 Pretok plina v oz. iz objekta / sprememba tlaka	Zrak	Objekt je tlačjen ali vakumiran. Območje preskušanja je postavljeno v komoro, ki je povezana z detektorjem.	Oprema za tlačenje, Vakumska črpalka, komora, Meritev časa, temperat., zunanjih pogojev	$10^{-6} \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$	Meritev / občutljivost odvisna od pogojev meritev zunanji / notranji	
Postopek	Testni plin	Princip	Naprave	Občutljivost	Opombe	Skica
D.4 Pretok plina iz objekta / meritev pretoka	Zrak	Sprememba tlaka je povzročena izven mej objekta. Pretok plina potrebnega za konstantni tlak je merjen.	Oprema za tlačenje Meritev časa, temperat., zunanjih pogojev	$10^{-4} \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$	Meritev /	

## 2.10.6 – 1 Preskusne tehnike

Tehnika potapljanja – je najstarejša, najcenejša in najuporabnejša metoda za preskušanje tesnosti. Pri tem je preskušani objekt nadtlčno polnjen z zrakom in potopljen lokalno ali v celoti potopljen v vodo. V kolikor obstaja netesnost, se pojavijo v vodi zračni mehurčki. Ta metoda je subjektivna in podaja le stanje objekta.

Preskusna tehnika z mehurčki – je po standardu SIST EN 1779 definirana kot tehnika C.1 z največjo občutljivostjo  $10^{-4} \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$ . S to tehniko netesno mesto vizualno lociramo v obliki mehurčkov v vodi, možna pa je tudi izvedba meritve netesnosti z zbiralnikom mehurčkov.

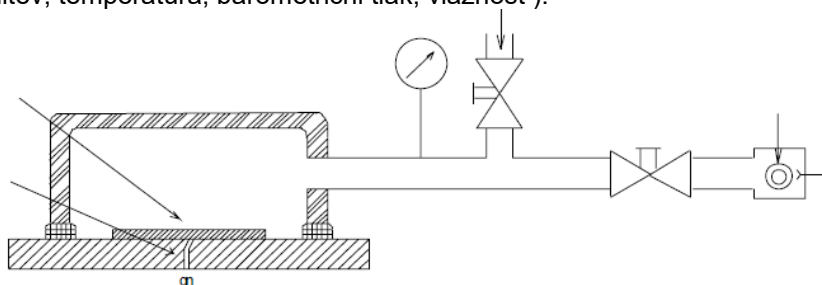
Ta metoda je najstarejša nadtlčna metoda, kjer polnimo preskusni objekt z plinskim medijem (zrakom) in ga potopimo v vodo. Pri delu s komprimiranimi plini je potrebno paziti na varnost in na lažne indikacije. Tudi pri tej metodi morajo biti zunanji pogoji spremljani (osvetlitev, temperatura, barometrični tlak, vlažnost).



Slika 2.10.7: Shematski prikaz tehnike preiskave z mehurčki

Preskusna tehnika z vakuumskimi komorami - je po standardu SIST EN 1779 definirana kot tehnika C.3 z največjo občutljivostjo  $10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$ . S to tehniko preskušamo netesna mesta zvarnih spojev z uporabo vakuuma. Preskusni objekt – zvarni spoj namažemo s penilnim sredstvom, primernim za material, ki ga preskušamo. Nato položimo vakuumsko komoro na premazano območje zvarnega spoja. Po vzpostavitvi vakuuma med 15kPa in 30kPa, netesno mesto vizualno lociramo v obliki mehurčkov. Minimalni čas, ki je potreben za izvedbo odkrivanja

netesnosti z vakuumsko komoro je med 30 sek. In 60 sek. S to metodo netesno mesto le lociramo. Zunanji pogoji so spremljani (osvetlitev, temperatura, barometrični tlak, vlažnost).

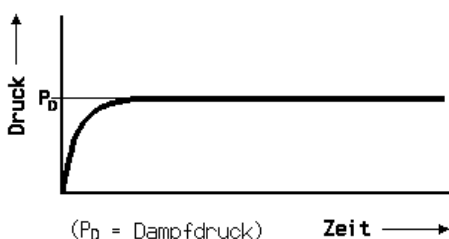


Slika 2.10.8: Shematski prikaz tehnike preiskave z vakuumsko komoro

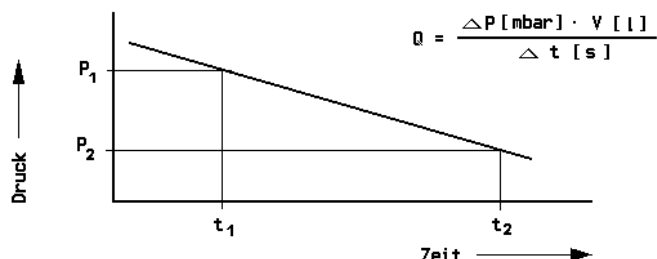
**Metoda s tlačno razliko** – preskusni objekt je nadtlačno polnjen z zrakom. Po stabilizaciji tlaka zapremo polnilni ventil in izvajamo meritev tlačne razlike. V kolikor obstaja netesnost pride do padca tlaka. Je indirektna metoda, kjer ne izvajamo meritve puščanja ampak meritve padca tlaka. Ta metoda je odvisna od:

- volumna objekta, kjer enaka netesnost povzroči pri majem volumnu večji padec tlaka, pri večjem volumnu pa je padec tlaka komaj zaznan,
- spremembe temperature, zaradi katere v kolikor se temp. poveča ne pride do tlačne razlike v netesnem objektu oz. v kolikor se temp. zmanjša pride do tlačne razlike v tesnem objektu.

Druckverlauf bei dichtem Prüfobjekt



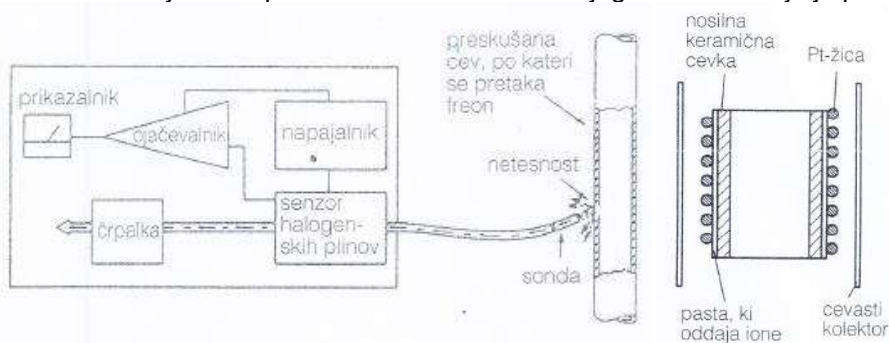
Druckabfallmessung

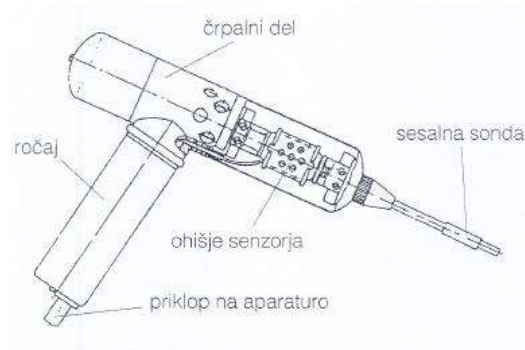


Slika 2.10.9: Princip delovanja tehnike preiskave z razliko tlaka

**Odkrivanje netesnosti z "vohljačem" – sledilnimi plini**

- Za "vohanje" uporabljajo elektrokemične, katalitične in infrardeče senzore. Navadno so namenjeni za ugotavljanje prisotnosti določenega plina v prostoru. Nekatere sonde pa so izdelane tudi v obliki "pištol" s cevčico za iskanje mesta uhajanja plina iz posode. To je posebej pomembno pri uporabljanju strupenih in eksplozijsko nevarnih snovi v stanju pare ali plina.
- Metoda s halogenskim detektorjem netesnosti, kjer se za ugotavljanje netesnosti pogosto porablja zaznavanje halogenskih plinov. Temelji na t. i. halogenskem efektu – da se opazno poveča izhajanje pozitivnih ionov s površine razžarjene platine, kadar nanjo zadenejo halogenski plini (F, Cl, Br, J) ali njihove spojine (klorirani in fluorirani ogljikovodiki - freoni). Spreminjajočo se emisijo merimo kot električni tok z občutljivim ampermetrom. Izvedba osrednjega dela sensorja je predstavljena na spodnji sliki:





Slika 2.10.10: Princip delovanja tehnike s sledilnim plinom - izvedba glavnega dela senzorja

## REFERENCE

- SIST EN 1779:2000 - Neporušitveno preskušanje – Preskus tesnosti - Kriteriji za izbiro metode in postopka - Izbira LT metode
- SIST EN 1330-8:2002 - Neporušitveno preskušanje - Terminologija - Pojmi, ki se uporabljajo pri preskušanju tesnosti - Terminologija pri LT metodah
- SIST EN 1593:2001 - Neporušitveno preskušanje - Preskušanje tesnosti - Tehnika preskušanja z mehurčki - Metoda mehurčkov
- SIST EN 13184:2002 - Neporušitveno preskušanje - Preskušanje tesnosti - Metoda spremembe tlaka
- SIST EN 13185:2002 - Neporušitveno preskušanje - Preskušanje tesnosti - Metoda slednega plina
- SIST EN 13192 - Neporušitveno preskušanje - Preskušanje tesnosti - Umerjanje referenčne tesnosti za plin
- SIST EN 13625 - Neporušitveno preskušanje – Preskus tesnosti – Vodilo pri izbiri naprav za meritve puščanja plinov
- SIST EN 14291 - Penilne raztopine za preskušanje tesnosti plinskih napeljav
- SIST EN 1518 - Neporušitveno preskušanje - Preskus tesnosti – Karakterizacija masno-spektrometričnih detektorjev puščanja

# TLAČNI PRESKUS

Pripravil: Andrej Smonkar

## 2.10.1-2 Osnove in namen

Pri tlačnem preskusu se preskuša trdnost – nepropustnost in tesnost opreme pod tlakom, delov opreme ali tlačnega pribora pod preskusnim tlakom s preskusnim medijem.

Tlačni preskus se izvaja na tlačni opremi, ki je namenjena za akumulacijo ali prenos medijev s ciljem ugotovitve skladnosti varnostno tehničnih zahtev, ugotovitve ustrezne trdnosti, tesnosti - nepropustnosti, morebitne deformacije delov po izdelavi ali montaži in potrditev vhodnih tehničnih zahtev za proizvod.

Prva preskušanja pri proizvajalcu tlačne opreme so razdeljena na preskušanja pred izdelavo, med procesom izdelave in na končno presojo. V sklopu končne presoje je tudi izvedba tlačnega preskusa pri proizvajalcu, ki je nadzorovan s strani priglašenega organa. Periodično preskušanje tlačne opreme pri uporabniku izvajajo kontrolni organi, ki so imenovani s strani državnega organa in izvajajo periodična preskušanja skladno s programom pregledov in katalogom ukrepov.

Prvi tlačni preskus se izvede po obdelavi z odvzemanjem materiala oz. po zaključku proizvodnih procesov, po zadnji toplotni obdelavi oz. napetostni obdelavi ali po eventualnem platiniranju, vendar pa pred lakiranjem, izoliranjem, emajliranjem, obzidavo, pocinkanjem in podobnimi tehnološkimi postopki.

Periodični tlačni preskusi so potrebni za ugotavljanje varnega obratovanja opreme pod tlakom oziroma ugotavljanje napak v materialu, spojnih in priključnih mestih, ki z vizualno kontrolo niso bile zaznane oziroma niso bile natančno določene. Pri tem ugotavljamo tudi utrujanje in sposobnost materiala za prenašanje obratovalnih zahtev.

## 2.10.2-2 Postopki

Pri tlačnih preskusih ločimo tri vrste preskusov, ki jih izvajamo na tlačni opremi:

**a.) Trdnostni preskus**, ki se uporablja za kontrolo trdnosti in celovitosti delov tlačne opreme, in kontrolo napetosti v materialu, ki se pojavljajo opremi pod tlakom tekom življenjske dobe obratovanja. Tlačna obremenitev se izvaja pri računsko določenem preskusnem tlaku z določenim obsegom NDT preiskav. Tlačni preskus razdelimo glede na način izvedbe in uporabljen medij na:

- hidrostatični pri katerem uporabljamo - kjer je to mogoče vodo ali druge tekočine kot tlačni medij predvsem zaradi večje varnosti,
- hidrodinamični pri katerem uporabljamo vodo ali druge tekočine kot tlačni medij. Pri tem preskusu s posebno napravo ustvarjamo dinamične tlačne sunke. To vrsto preskusa uporabljamo predvsem pri preskušanju cevovodov – daljnovodov. Med drugimi se za tlačni preskus cevovodov uporablja tudi preskus s tlačno diferenco in napetostni tlačni preskus. Takšni preskusi imajo tri kontrolne naloge trdnostno, tesnostno in napetostno.
- pnevmatski preskus, pri katerem uporabljamo zrak ali inertni plin kot preskusni medij. Pnevmatični preskus je potencialno mnogo bolj nevaren kot hidrostatični preskus zaradi stisljivosti plinov. Akumulacija notranje energije je več kot 200× večja kot akumulacija notranje energije pri tekočih medijih. Zato to vrsto tlačnega preskusa uporabljamo le kadar zaradi obratovalnih pogojev, neskladnosti materiala, sestavnih delov in delovnega medija opreme pod tlakom s tekočim preskusnim medijem ni možno izvesti tlačni preskus.
- hidro-pnevmatični preskus, pri katerem uporabljamo tekočo in parno oz. plinsko fazo istega medija (večinoma delovni medij) ali medija, ki ne povzroča kemične ali kakršne koli druge reakcije med seboj in z opremo pod tlakom. Za izvajanje poskusa upoštevamo strožja navodila – navodila pri izvedbi pnevmatičnega preskusa.

**b.) Tesnostni preskus** je podoben trdnostnem preskusu vendar se izvaja pri obratovalnem ali računsko določenem preskusnem tlaku, ki je manjši ali enak maksimalno določenem delovnem tlaku, razvidnem na napisni tablici oz. pri tlaku, ki je nižji od tlaka odprtja varnostnega elementa. Pri tesnostnem preskusu ločimo:

- Preskus tesnosti oz. iskanje netesnih mest na že vgrajenem sistemu (cevovodi, tlačne posode, ventili, vakumske naprave, ... ),

- Preskus tesnosti na komponentah in sistemih serijske proizvodnje (izmenjevalci toplote, tlačno obremenjeni deli, filtri, ...)

Namen je predvsem kontrola spojev, netesnosti konstrukcije in celovitosti tlačno obremenjenih delov opreme pod tlakom po izvedbi trdnostnega preskusa. Kot preskusni medij lahko uporabimo plin (zrak, dušik, helij, amoniak, ...), tekočino ali v določenih primerih tudi delovni medij.

**c. ) Funkcionalni preskus**, ki se izvaja pri tlaku obratovanja (cca. 80 % maksimalnega določenega delovnega tlaka), z delovnim medijem.

### 2.10.2.1-2 Osebe za izvedbo del

Odgovorno osebe za izvedbo nadzora nad tlačnim preskusom mora biti :

- Kvalificirano, usposobljeno, z izkušnjami pri izvedbi tlačnih preskusov. Seznanjeno mora biti z zahtevami regulative, tehničnimi in drugimi zahtevami za tlačni preskus. Sposobno mora biti izvesti dela v skladu z zahtevami in postopki delodajalca kot tudi naročnika,
- Poznati mora vrsto in izbiro primernega tlačnega postopka oz. metode, medija, preskusnega tlaka in zunanjih pogojev za izvedbo preskusa. Poznati mora postopke in delovna navodila in biti sposobno za izdelavo zapisa o izvedbi tlačnega preskusa.
- Poznati mora svoje dolžnosti in odgovornosti za izvajanje del delavcev ki so pod njegovim nadzorom, imeti mora vsa pooblastila s strani delodajalca. Izogibati se mora tveganjem, dela mora izvajati skladno s predpisanimi postopki.

Oseba, ki izvaja tlačni preskus :

- Usposobljena oseba, ki izvaja postopke skladno z delovnimi navodili in navodili nadzorne osebe.

### 2.10.2.2-2 Varnostno tehnična analiza

Pred izvedbo tlačnega preskusa je potrebno upoštevati vsa varnostna navodila in zahteve projektanta oz. proizvajalca, kakor tudi uporabnika. Izdelati in upoštevati je potrebno varnostno tehnično analizo, ki upošteva vpliv materiala, medija, zunanjih pogojev kot tudi sam način izvedbe tlačnega preskusa.

Analiza naj vsebuje :

- oceno tveganja,
- identifikacijo in zmanjševanje nevarnosti,
- obravnavanje nevarnosti, ki jih ne moremo odpraviti,
- izdelava delovnih navodil, za izogib nevarnosti, ki jih ne moremo odpraviti,
- izvajanje nadzora in zapisi,
- analiza povratnih informacij,
- podajanje ukrepov,
- monitoring.

### 2.10.2.3-2 Preskusni pogoji (tlak, medij, temperatura, izolacija)

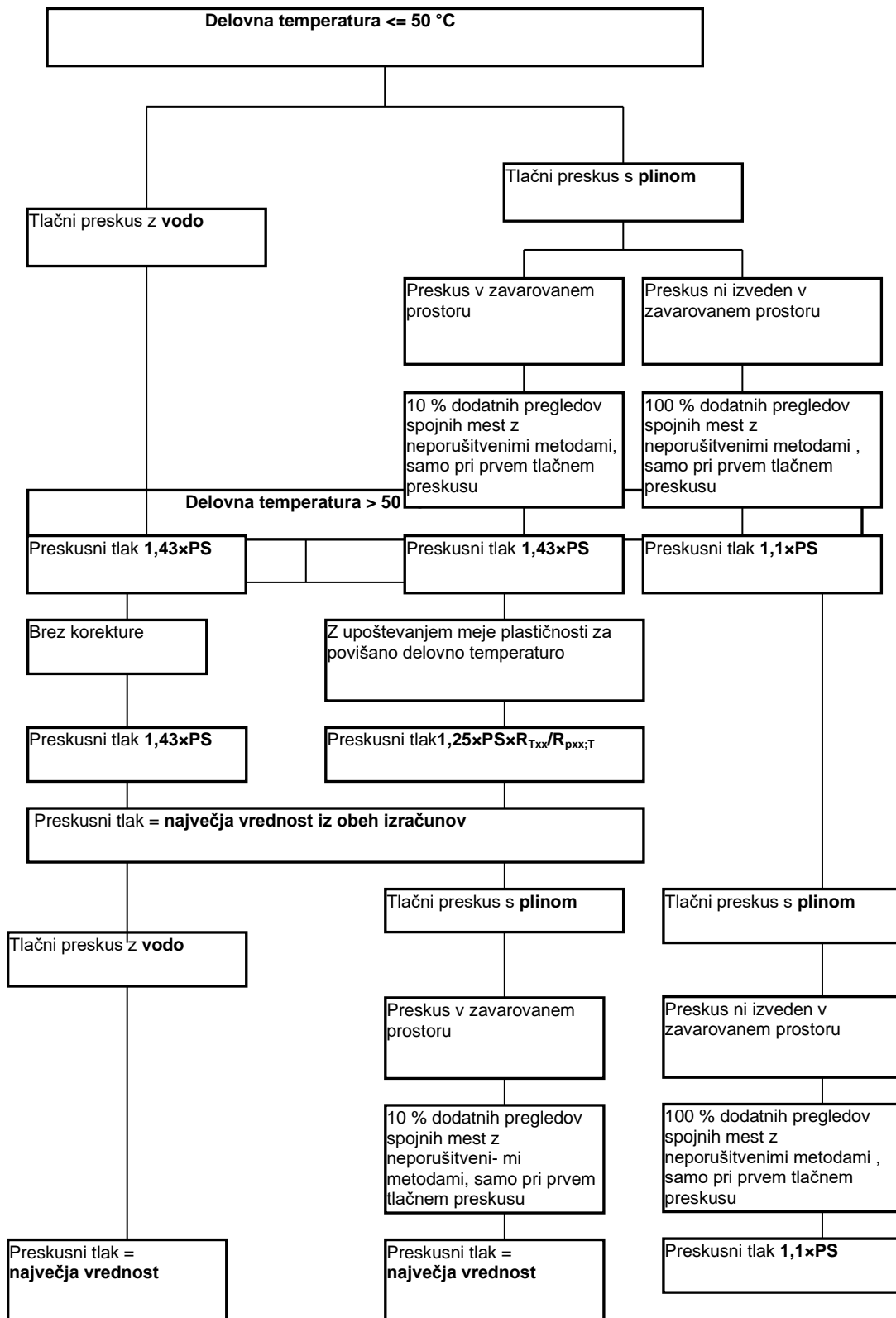
Pri prvem pregledu in izvedbi tlačnega preskusa upoštevamo preskusne pogoje podane v projektu upoštevane s strani projektanta in potrjene s strani priglšenega organa.

Pri periodičnem preskušanju opreme pod tlakom upoštevamo preskusne pogoje, ki so navedeni v dokumentaciji proizvajalca in so razvidni iz napisne tablice OPT.

#### Vpliv temperature

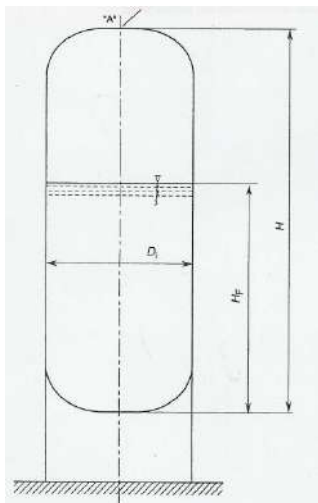
Pri upoštevanju vpliva temperature na izračun preskusnega tlaka v odvisnosti od robnih pogojev uporabimo tehnične predpise oz. harmonizirane standarde (v našem primeru AD 2000 – Merkblatt HP30).





PT .....preskusni tlak (bar)  
 PS .....max. dovoljen delovni tlak (bar)  
 $R_{T02}$  ..... 0,2 % napetost tečenja pri sobni temp. (N/mm<sup>2</sup>)  
 $R_{p02,T}$  ..... 0,2 % napetost tečenja pri delovni temp. (N/mm<sup>2</sup>)  
 $R_{T10}$  ..... 1,0 % napetost tečenja pri sobni temp. (N/mm<sup>2</sup>)  
 $R_{p10,T}$  ..... 1,0 % napetost tečenja pri delovni temp. (N/mm<sup>2</sup>)

## Vpliv tlaka



Pri stoječih rezervoarjih je potrebno upoštevati težo in gostoto delovnega in preskusnega medija. Na najvišjem delu OPT mora biti tlak :

$$p_p = F_p \times p$$

V kolikor ima delovni medij večjo specifično težo kot preskusni medij, preskusni tlak povečamo

$$p_p = F_p \times p + 0,1 \times (\gamma_f \times H_f - \gamma_p \times H)$$

$$p_p \geq F_p \times p$$

Pri tlačnem preskusu na ležečih rezervoarjih

$$p_p = F_p \times p + 0,1 \times (\gamma_p \times D_i / 2)$$

$p$ .....tlak na najvišji točki stoječe OPT, max. delovni tlak (bar)

$p_p$ .....preskusni tlak merjen na najvišji točki (bar)

$H$ .....maksimalna višina polnjenja pri tlačnem preskusu (m)

$H_f$ .....maksimalna višina polnjenja delovnega medija (m)

$\gamma_p$ ..... specifična gostota preskusnega medija ( $\text{dN/dm}^3$ )

$\gamma_f$ .....specifična gostota delovnega medija ( $\text{dN/dm}^3$ )

$D_i$ .....notranji premer OPT (m)

$F_p$ .....preskusni faktor (1,25 oz. 1,43)

## Vpliv medija

Medij potreben za izvedbo preskusa razvrstimo:

- voda za izvedbo hidravličnega testa naj bo čista, temperature med 5° in 50 °C, v določenih primerih je potrebno uporabiti demi vodo,
- procesni fluid,
- zrak ali drug nevtralni oziroma inertni plin (pnevmatski preskus, preskus puščanja), temperatura mora biti za 25 °C manjša od temperature krhkega loma.

Izbira medija vpliva tudi na:

- probleme v zvezi z sušenjem oz. odstranjevanjem vlage po izvedbi hidravličnega testa, predvsem v t.i. žepih, slepih koncih, nižje oz. višje ležečih prostorih,
- podpore, podesti, tla ali konstrukcija OPT ni projektirana za polnitev z vodo ali drugo tekočino,
- neskladnost materiala, ki v stiku z vodo ali drugimi tekočimi mediji fizikalno, kemijsko reagira ali kako drugače neugodno vpliva na OPT.

## 2.10.3-2 Izvedba tlačnega preskusa

Postopek izvajanja tlačnih preskusov je določen s standardno metodo. Vrednost preskusnega tlaka je določena računsko in potrjena s strani prevzemnega organa. Podatki so razvidni na napisni tablici opreme pod tlakom. Tlačni preskus se izvaja z vodo v kolikor za obratovanje tlačne posode voda kot tlačni medij ne predstavlja večje tveganje. V tem primeru se uporabljajo drugi mediji za tlačni preskus:

- Predhodno je potrebno tlačno posodo temeljito očistiti od korozije, nečistoč in drugih primesi z notranje kot tudi z zunanje strani,
- Vse odprtine in priključke je potrebno zatesniti s slepimi prirobnicami. Priključek za polnjenje in praznjenje naj bodo po možnosti na najnižjem delu, priključek za odzračitev pa na najvišjem delu,
- Na gornjem vidnem delu posode je potrebno postaviti dva manometra (kontrolni in za odčitavanje) z ustrezno natančnostjo,
- Tlačne posode, ki imajo več medseboj nepovezanih prostorov je potrebno preskusiti ločeno posebej vsaki prostor kot posebno posodo,
- Temperatura vode ne sme biti nižja od 5 °C in ne višja od 50 °C. Pri preskusu je potrebno upoštevati vpliv zunanje temperature na sam preskus in na stanje posode s priključki (zmrzovanje),
- Zunanje okolje (temperatura, atmosferski tlak, osvetljenost in vlažnost) vpliva na izvedbo preskusa, ki ga je v ekstremnih primerih potrebno upoštevati kot korekcijski faktor,
- Polnjenje posode z vodo in tlačenje se vrši postopno in naj ne bo večje kot 0,5 do 3 bar/min. Paziti je potrebno na odzračevanje posode, prilagodljivost materiala in medija na visoke tlake in sled tega na povečanje notranje energije – gretje.

- Pri izvedbi preskusa tesnosti z vodo je potrebno popolno odzračiti vse zračne žepe v sistemu zaradi večje nevarnosti v primeru puščanj na takšnih območjih OPT ter zaradi padanja tlaka pri izvedbi meritev (merilna negotovost).
- Čas za odčitek napake oziroma tlačne difference naj bo tolikšen, da je možno temeljito pregledati vsa kritična mesta, vendar ne manjši kot 10 minut.
- Preskusni tlak mora trajati najmanj 30 minut. Po pretečenem času je potrebno znižati vrednost preskusnega tlaka za najmanj 10 % oz. maksimalno do delovnega tlaka. Čas zmanjšanega preskusnega tlaka se vzdržuje ves čas pregleda.
- Pri praznjenju posode je potrebno tako kot pri polnjenju paziti, da se postopek izvaja počasi ter pazi na možnost nastanka podtlaka, zmrzali in drugih nepravilnosti.
- Rezultati preskušanja so zadovoljivi, če niso zaznani znaki pretrga sten, trajnih deformacij oblik posode in materiala, znaki puščanja, deformacije, rosenja na zvarnih spojih ali na osnovnem materialu in seveda padanje tlaka na manometru.
- V kolikor je tlačni preskus izveden s plinom, je potrebno izvesti neporušitvene preiskave na zvarnih spojih v obsegu 100 %.
- Med tlačni preskusom se izvede vizualna kontrola morebitnih nedovoljenih plastičnih deformacij, netesnosti opreme pod tlakom predvsem na zvarnih in drugih spojih.

### 2.10.4-2 Merilna oprema

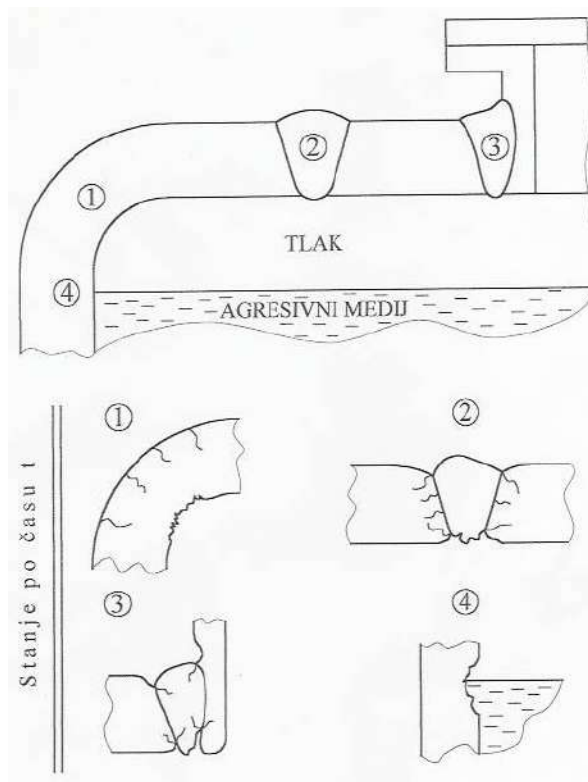
Merilna oprema, ki je potrebna za izvedbo tlačnega preskusa mora biti kalibrirana s strani ustreznega akreditiranega laboratorija. Sledljivost zapisa meritev in ugotavljanje napak mora biti zavedena. Za izvedbo kontrole varovalne opreme je potrebno imeti sledečo opremo:

- prenosni računalnik, digitalni fotoaparati in tiskalnik za izpis zapisnika,
- izvor tlaka (vodna črpalka, plinska jeklenka, kompresor,...),
- medij za izvedbo preskusa (voda, delovni medij, zrak, dušik),
- analogni manometer minimalno natančnost klase 0,6, merilno območje v meji od 30 % do 70 % celotne skale (SIST EN 837-1),
- tlačno tipalo minimalno natančnosti 0,25 %,
- temperaturno tipalo, bimetalno 0 – 100 °C ±0,1 °C
- penilno sredstvo (milnica), penetranti,
- umetno razsvetljavo,
- merilec zunanjih pogojev (osvetljenost, temperatura, vlaga),
- drugo specifično opremo v odvisnosti od vrste OPT.

Vsa merilna oprema mora biti kalibrirana oz. imeti veljavni certifikat. Možnost kontrole in ugotavljanja sledljivosti do nacionalnih etalonov mora biti razvidna iz zapisov.

### 2.10.5-2 Poškodbe tlačnih posod zaradi obremenitve

Največ poškodb tlačnih posod nastane vsled notranje ali zunanje korozije na plašču, v temperaturno vplivni coni in na ostrih prehodih. Nekaj primerov je razvidno iz skic.



Slika 2.10.1-2: Primeri poškodb na tlačnih posodah

## REFERENCE

- Pravilnik o enostavnih tlačnih posodah (Ur.l. RS št. 39/16),
- Pravilnik o tlačni opremi (Ur.l. RS št. 66/16),
- SIST EN 764-7 Tlačna oprema – 7. del: Varnostni sistemi za neogrevano tlačno opremo,
- SIST EN 13445-5 Neogrevane tlačne posode – 5. del: Kontrola in preskušanje,
- SIST CR 13445-7 Neogrevane tlačne posode – 7. del: Smernice za ugotavljanje skladnosti,
- SIST EN 13480-5 - Kovinski industrijski cevovodi - 5. del: Kontrola in preskušanje
- SIST CEN/TR 13480-7 - Kovinski industrijski cevovodi - 7. del: Smernice za ugotavljanje skladnosti
- SIST EN 12952-15 - Vodocevni kotli in pomožne napeljave – 15. del: Prezemni preskusi
- SIST EN 12952-6 - Vodocevni kotli in pomožne napeljave - 6. del: Preskušanje pri proizvajalcu - Dokumentacija in žigosanje tlačnih delov kotla
- SIST EN 12953-11 - Mnogovodni kotli – 11. del: Prezemni preskusi,
- SIST EN 12953-5 - Mnogovodni kotli - 5. del : Preskusi med proizvodnjo, dokumentacija in žigosanje tlačno obremenjenih delov kotla,
- SIST EN 1993-4-2 - Evrokod 3: Projektiranje jeklenih konstrukcij - 4-2. del: Rezervoarji
- SIST EN 1993-4-3 - Evrokod 3: Projektiranje jeklenih konstrukcij - 4-3.del: Cevovodi
- SIST EN 1993-1-6 - Evrokod 3: Projektiranje jeklenih konstrukcij - 1-6. del: Trdnost in stabilnost lupinastih konstrukcij
- AD 2000 Merkblatt HP30

# KVALIFIKACIJA IN CERTIFIKACIJA NDT OSEBJA PO EN ISO 9712

Pripremio: dr. Miloš Jovanović

## 2.11.1 Kvalifikacija in certifikacija NDT osebja po EN ISO 9712

Certificiranje NDT osebja je po standardu EN ISO 9712 možno za naslednja področja (sektorje):

### Sektorji izdelkov:

- 1: Ulitki (c)
- 2: Odkovki (f)
- 3: Zvarni spoji (w)
- 4: Cevi (t)
- 5: Preoblikovani izdelki (wp)

### Industrijski sektorji:

- 1: Proizvodnja
- 2: Preiskava pred in med obratovanjem vključno s proizvodnjo
- 3: Vzdrževanje na železnicah
- 3: Letalska in vesoljska tehnika

Za področje veljavnosti za PED direktivo (tlačna oprema) morajo biti opravljeni dodatni preizkusi za kvalifikacijo.

### Po standardu EN ISO 9712 je možno certificiranje po naslednjih nivojih:

Nivo I – ob uporabi predpisane procedure kontrolor zabeleži morebitne indikacije ter jih razvrsti.

Nivo II - poleg znanj nivoja I obvlada kontrolor tudi izdelavo pisnih navodil za nivo I, izbiro tehnologije in vrednotenje rezultatov preskušanja z uporabo standardov in predpisov.

Nivo III – kontrolor v celoti prevzema odgovornost za preizkus, opremo in osebje, izdeluje delovne postopke ter vpeljuje različne tehnike, potrjuje postopke in šola NDT kadre.

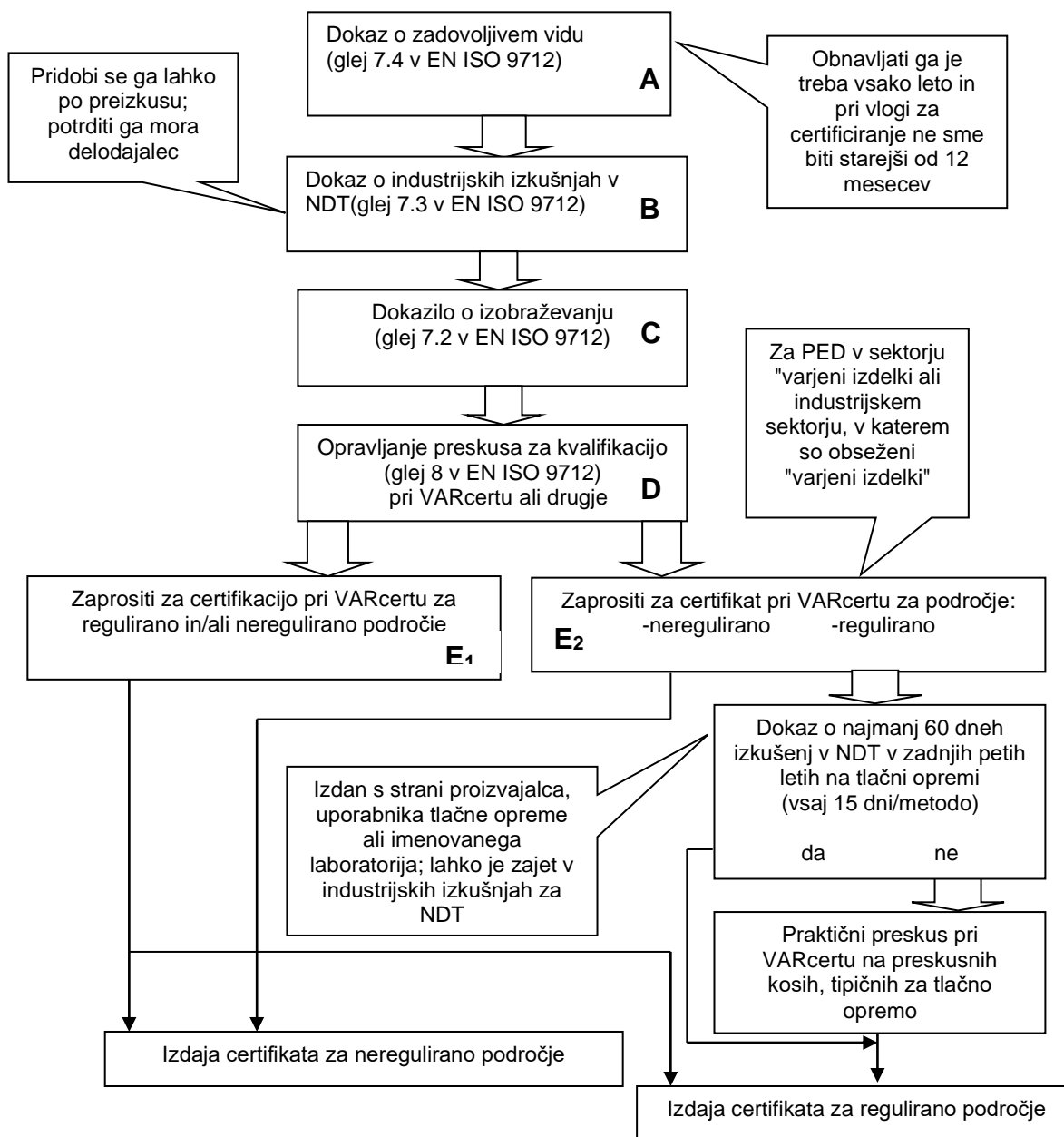
### EN ISO 9712 predvideva preizkuse za stopnjo 1, 2 ali 3 za naslednje NDT metode:

- |                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| • ultrazvočna preiskava             | UT |
| • radiografska preiskava            | RT |
| • preiskava z vrtinčnimi tokovi     | ET |
| • penetrantska preiskava            | PT |
| • magnetna preiskava                | MT |
| • vizualna preiskava                | VT |
| • preiskava tesnosti                | LT |
| • preiskava z akustično emisijo     | AT |
| • infrardeča termografska preiskava | TT |
| • preiskava z merilnimi lističi     | ST |

Veljavnost certifikatov je 5 let. Po poteku prvega petletnega obdobja se izvede administrativno podaljšanje. Po desetih letih se opravi recertifikacija (ponovna certifikacija) z opravljanjem samo praktičnega dela izpita. Postopek šolanja in certificiranja za regulirano in PED področje je prikazan na sliki 2.11.1.



## 2.11.2 Pot do certifikata za regulirano (PED) in neregulirano področje



Slika 2.11.1: Pot do NDT certifikata za regulirano (PED) in neregulirano področje

**Pojasnila k sliki 2.11.1****A Dokazilo o zadovoljivem vidu**

Izva se enkrat letno. Kandidat mora predložiti potrdila o zadovoljivem vidu za:

- branje *Jaegerovih* črk velikosti 1 ali *Times Roman N 4.5* na razdalji ne manjši od 30 cm,
- razpoznavanje barv (npr. po *Ishihara* metodi).

## B Dokazilo o industrijskih izkušnjah v NDT

Standard EN ISO 9712 zahteva dokazilo o industrijskih izkušnjah v NDT metodah, ki jih mora na vlogi za certificiranje s podpisom potrditi predpostavljeni ali pooblaščen predstavniki delodajalca. Pri vlogi za certificiranje na nivoju 1 in nivoju 2 veljajo časi, ki so podani v tabeli 2.11.1.

Tabela 2.11.1: Minimalne industrijske izkušnje

NDT metoda	Minimum izkušenj v mesecih		
	Nivo 1	Nivo 2	Nivo 3
AT, ET, LT, RT, UT, TT	3	9	18
PT, MT, VT, ST	1	3	12

### Opombe:

Za en teden se računa 40 delovnih ur, tudi kadar zakonski delovni čas ne dosega tega. Kadar oseba dela več kot 40 ur na teden, se sme čas, ki to presega, prišteti, kadar se lahko dokaže. V smislu tega evropskega standarda velja, da se trajanje izkušenj, ki se zahteva za stopnjo 2, pridobi s kvalifikacijo na stopnji 1. Če se oseba za stopnjo 2 kvalificira direktno, brez trajanja izkušenj na stopnji 1, je treba vsoto trajanja izkušenj (stopnja 1 in stopnja 2) sešteti.

## C Dokazilo o usposabljanju

Kot dokaz veljajo dokumentirana potrdila o udeležbi na usposabljanju, ki so sprejemljiva za certifikacijski organ, iz katerih je razvidno, da je kandidat končal minimalno teoretično in praktično usposabljanje za metodo in sektor, ki se zahteva po EN ISO 9712, in sicer po tabeli 2.11.2.

Tabela 2.11.2: Minimalne zahteve za usposabljanje

Metoda		Nivo 1 / ur	Nivo 2 / ur	Nivo 3 / ur
AT		40	64	48
ET		40	48	48
PT, VT		16	24	24
MT		16	24	32
RT, UT, TT		40	80	40
ST		16	24	20
LT	B – tlačna metoda	24	32	32
	C – metoda s sledilnim plinom	24	40	40

### Opombe:

Ure pouka obsegajo praktični in teoretični pouk. Direktni dostop do preskusa za stopnjo 2 zahteva celotno število ur, ki je navedeno za stopnjo 1 in stopnjo 2. Direktni dostop na nivo 3 zahteva seštevku ur za nivoje 1, 2 in 3. Neodvisno od nacionalnih predpisov se za delovni teden kot ekvivalent določi 40 ur. Trajanje izobraževanja se sme skrajšati do 50%. Vsako skrajšanje mora biti odobreno s strani certifikacijskega organa.

### Skrajšanja so možna v naslednjih primerih:

a) Če je certificiranje omejeno na področju veljavnosti (npr. avtomatizirani ET, MT, UT za dolge izdelke, cevi in žice ali pravokoten vpad UT pri merjenju debeline stene in preizkusu dvoplastnosti na valjanih jeklenih ploščah) ali pri tehnikah preskušanja (npr. RT samo z radioskopijo).

b) Certifikacijski organ sme za kandidate, ki so zaključili tehniško visoko šolo ali univerzo ali so zaključili vsaj dve leti inženirskega ali znanstvenega študija na visoki šoli ali univerzi, priznati do 50% skrajšano trajanje usposabljanja.

c) Pri direktnem dostopu pri certifikaciji za ocenjevanje radiografskih filmov (RT-FAS) za nivo 2 za samo en sektor izdelkov je minimalno zahtevano število ur usposabljanja 56.

## D Preizkus za kvalifikacijo

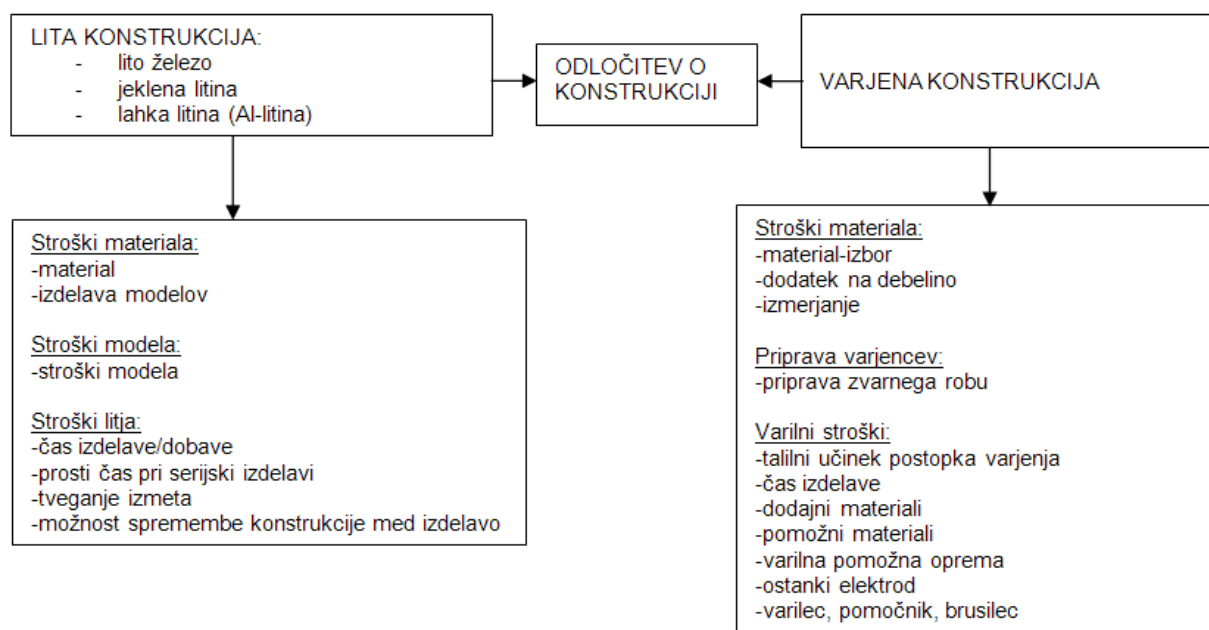
Preizkus za kvalifikacijo je v pristojnosti neodvisnega certifikacijskega organa. Opravljen preizkus dokazuje splošna in specifična znanja kot tudi praktično uporabo potrebnih spretnosti in znanj kandidata. Certifikacijo na podlagi opravljenih kvalifikacijskih izpitov izvaja certifikacijski organ, akreditiran s strani nacionalne akreditacijske hiše po standardu EN ISO/IEC 17024.

# EKONOMIČNOST PRI VARILSKEM NADZORU

Pripravil: dr. Janko Tomc

## 2.13.1 Pregled stroškov v varilski proizvodnji

Pri izbiri načina izdelave konstrukcije se je treba najprej odločiti, kakšna tehnologija izdelave bo izbrana za najcenejšo rešitev. Načeloma, lahko konstrukcije delimo na lite ali varjene. Slika 1 prikazuje vrste stroškov, ki nastanejo pri eni ali drugi tehnologiji izdelave konstrukcije.



Slika 2.13.1: Primerjava analize stroškov glede na način izdelave konstrukcije

## 2.13.2 Talilni učinek varjenja

Talilni učinek »M« (angl. *deposition rate*) je glavni parameter, ki predstavlja ekonomski značaj nekega postopka varjenja. Po definiciji je to količina pretaljenega dodatnega materiala v časovni enoti [kg/h]. Vrednosti talilnega učinka so od 0 do 30 kg/h ali celo še več pri EPP/EPŽ postopkih varjenja.

Na velikost talilnega učinka vplivajo:

- jakost varilnega toka  $I_v$ ,
- premer dodatnih materialov (elektrode  $d_{el}$ , žice  $d_z$ ),
- polariteta DC (+), DC (-) ali AC.

Za varjenje z elektrodami za ročno obločno varjenje (ROV), palicami za TIG varjenje in za plamensko varjenje lahko izračunamo talilni učinek na podlagi razmerja med dejansko pretaljeno dolžino elektrode oz. palice  $l_{el}$  in časom varjenja  $t_v$  te elektrode oz. palice:

$$M = \frac{\pi \cdot d_{el}^2 \cdot l_{el} \cdot \rho}{4 \cdot t_v} \cdot 3600 \quad [kg/h]$$

Za načine MIG, MAG, EPP in EPŽ pa talilni učinek računamo glede na hitrost podajanja žice  $v_z$ :

$$M = \frac{\pi \cdot d_z^2}{4} \cdot \rho \cdot v_z \cdot 3600 \quad [\text{kg/h}]$$

oziroma, če upoštevamo npr. gostoto črnega feritnega jekla  $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$  ter izkoristek pretaljevanja žice  $\eta_z$ :

$$M = 22.2 \cdot d_z^2 \cdot v_z \cdot \eta_z \quad [\text{kg/h}]$$

$d_z$ ..[mm]

$v_z$ ..[m/s]

Izkoristek pretaljevanja žice  $\eta_z$  pri obločnih postopkih varjenja MIG, MAG, EPP in EPŽ kaže, kolikšen delež varilne žice se dejansko pretali v var. Ostanek so obrizgi, ki k talilnem učinku varjenja ne prispevajo nič:

- MAG kratkostični prehod materiala – oznaka D (131/135):  $\eta_z = 0.9 - 0.93$
- MAG grobokapljčasti prehod materiala – oznaka G (135)  $\eta_z = 0.88 - 0.9$
- MAG pršeči prehod materiala – oznaka S (131, 135):  $\eta_z = 0.95 - 0.98$
- MAG strženska žica (136, 138):  $\eta_z = 0.8 - 0.9$
- EPP varjenje z masivno žico (121):  $\eta_z = 0.95 - 0.99$

Gostota drugih kovinskih materialov, ki se varijo po obločnih postopkih v zaščitnih plinih (MIG, EPP), se vzame kot:

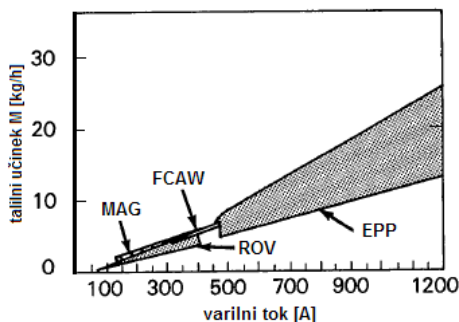
- Nerjavna jekla:  $\rho = 8000 \text{ kg/m}^3$
- Ni-zlitine, Cu-zlitine:  $\rho = 8600 \text{ kg/m}^3$
- Ti-zlitine:  $\rho = 4700 \text{ kg/m}^3$
- Al-zlitine:  $\rho = 2800 \text{ kg/m}^3$
- Mg-zlitine:  $\rho = 1800 \text{ kg/m}^3$

V vseh primerih izračuna talilnega učinka je takoj jasno, da le-ta narašča s kvadratom premera varilne žice  $d_z$  oziroma elektrode  $d_{el}$  ter linearno s hitrostjo dovajanja žice  $v_z$ . Pri postopkih MIG, MAG in EPP je hitrost dovajanja žice v neposredni zvezi z jakostjo varilnega toka (notranja regulacija izvorov toka). Pri vseh postopkih s taljivo elektrodo (ROV, MIG, MAG, EPP, EPŽ) velja, da je gostota varilnega toka [ $A/mm^2$ ] enaka za vse premere elektrod oziroma žic, zato je talilni učinek sorazmeren kvadratu jakosti varilnega toka  $M \propto I_v^2$ . Ker lahko iz talilnega učinka enostavno izračunamo čas varjenja  $t_v$ , je to pomemben ekonomski pokazatelj za izračun stroškov varilcev.

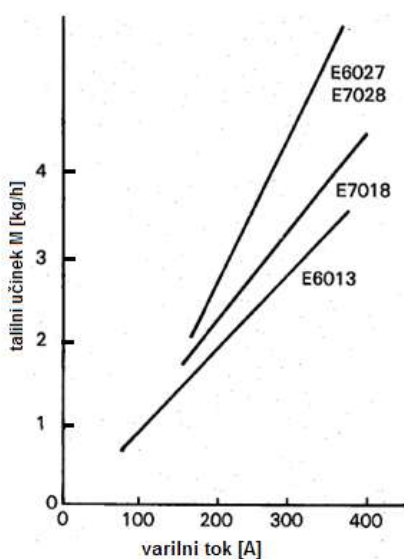
Za ročno obločno varjenje velja, da na talilni učinek pomembno vpliva tudi vrsta oplaščenja (bazično, rutilno, celulozno, kislno, kombinacije) ter debelina le-tega. Ker obstaja vrsta oplaščenih elektrod, ki vsebujejo v plašču tudi železov oksid ali druge legirne elemente, obstaja prav za namen ekonomskega vrednotenja učinka zaščitnih plaščev standard **EN 22401 (ISO 2401): Določitev izkoristka pretaljevanja in koeficienta odtaljevanja za oplaščene elektrode**. Koeficient odtaljevanja  $D$  je definiran kot kvocient med talilnim učinkom ter jakostjo varilnega toka:

$$D = \frac{1000 \cdot M}{60 \cdot I_v} \quad [g/(A \cdot \text{min})]$$

Na slikah 2.13.2,3,4 so prikazani koeficienti deponiranja različnih načinov varjenja v odvisnosti od jaksot varilnega toka  $I_v$ .

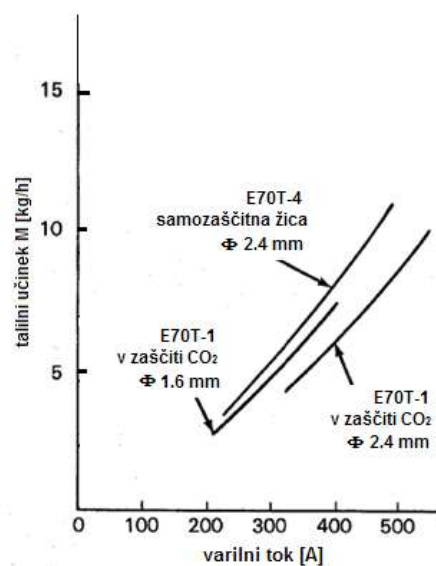


Slika 2.13.2: Odvisnost talilnega učinka  $M$  od postopka varjenja in jakosti varilnega toka  $I_v$  (FCAW = MAG strženska žica)



E6013...rutilno oplačenje (R)  
E7018...bazično oplačenje (B)  
E6027...debelo rutilno opl. (RR)

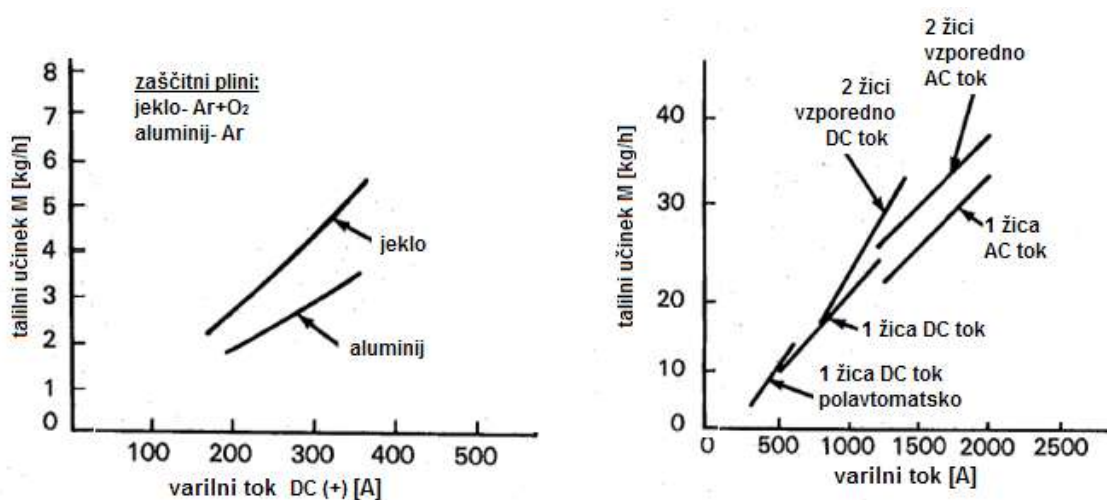
ročno obločno varjenje (111)



E70T-4...samozaščitna strženska žica  $d_z = 2.4$  mm  
E70T-1...strženska žica v zaščiti CO<sub>2</sub>  $d_z = 1.6/2.4$  mm

MAG varjenje s stržensko žico (114, 136, 138)

Slika 2.13.3: Talilni učinek pri RO varjenju in MAG varjenju s stržensko žico



MIG/MAG varjenje z masivno žico  $d_z = 1.6$  mm

EPP varjenje z 1 in 2 žicama

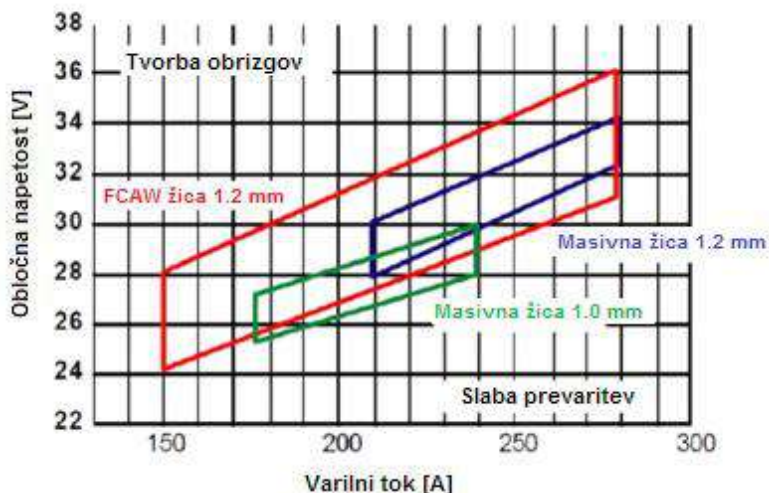
Slika 2.13.4: Talilni učinek pri MIG/MAG in EPP varjenju z masivno žico

Okvirne velikosti taliinega učinka  $M$  za najpogosteje uporabljene postopke obločnega varjenja:

- ročno obločno varjenje (111):  $M = 0.5 - 5.5$  kg/h
- MIG/MAG varjenje (131/135):  $M = 0.6 - 12$  kg/h
- MAG strženska žica (136):  $M = 1 - 15$  kg/h
- EPP enojna žica (121):  $M = 3 - 30$  kg/h



V zvezi z izkoristkom pretaljevanja žice  $\eta_z$  omenimo še, da se pri MIG/MAG varjenjih z masivno in stržensko žico pojavljajo obrizgi (angl. *spatter*) pri previsokih obločnih napetostih (slika 2.13.5).



Slika 2.13.5: Območje pojavljanja obrizgov pri MIG/MAG varjenjih z masivno in stržensko žico

### 2.13.3 Pregled stroškov pri varjenju

Stroški varjenja se lahko v osnovi zelo razlikujejo glede na:

- vrsto proizvodnje – serijska ali projektna (strojegradnje, jeklene konstrukcije, avtomobilska industrija, ...),
- delovne navade (država proizvodnje, ...),
- vrsto postopka (ROV, TIG, MIG/MAG, ...),
- vrsto osnovnega materiala,
- zahteve za zagotavljanje kakovosti (EN ISO 3834, EN 1090, ...),
- obsege preiskav, nadzor,
- zakonodajo (razlike med državami zaradi obdavčitve in učinkovitih ur).

Stroške varjenja v celotni proizvodnji je izjemno težko opredeliti, meritve pa zahtevajo dolgoročen proces pridobivanja informacij in ustvarjanja izkušenj. Zato si je potrebno izbrati le bistvene kazalnike učinkovitosti procesov, da bi lahko iz teh naredili uporabne kalkulacije.

**Glavni dejavniki, ki vplivajo na stroške varjenja:**

- postopki varjenja in talilni učinek (MAG, TIG, ROV, EPP, ...),
- kvaliteta materiala in debelina (predgrevanje, medvarkovna temperatura, obdelava po varjenju, ...),
- zahtevana kakovost zvarnih spojev in NDT kontrola kakovosti (EN ISO 5817 - B, C, D),
- certifikati podjetja za razne varilske standarde za zagotavljanje kakovosti (EN ISO 3834, EN 1090, ...).

**Ostali dejavniki dela, ki vplivajo na stroške talilnega varjenja:**

- priprava materiala pred razrezom (peskanje, zagotoviti je potrebo kovinsko čiste površine pred varjenjem, brušenje, ...),
- razrez materiala (vodenje sledljivosti materiala),
- priprava zvarnih robov,
- sestava in spenjanje,
- varjenje in manipulacija med varjenjem (lega varjenja, ...),
- kontrola kakovosti (kontrola zvarnih robov pred varjenjem, med in po varjenju),
- čiščenje in obdelava po varjenju (obrizgi, žlindra, oksidi, popravila, ...),
- nastavitve parametrov na varilnem izvoru, menjave dodatnih in potrošnih materialov, čiščenje gorilnikov,
- čas, ki ga delavci porabijo za osebne namene (malica, kavomat, GSM, WC, klepet s sodelavcem, ...).

**Okvirni stroški varjenja so odvisni od vrste varilske proizvodnje in se lahko močno razlikujejo:**

- Strošek dela (varilci): 60 – 80 %
- Stroški kontrole kakovosti in sistema kakovosti: 10 – 20 %
- Stroški dodatnih materialov in potrošnega materiala (varilna žica, šobe, zaščitni plini, ...): 10 – 20 %
- Investicijski stroški (amortizacija): 3 – 5 %
- Strošek energije: 4 – 9 %

### 2.13.3.1 Uporaba izračunov stroškov varjenja v praksi

V varilskih proizvodnjah se poslužujejo zelo različnih principov zajemanja stroškov varjenja, ki pa temeljijo predvsem na predhodnih izkušnjah. Takšne analize so zelo hitre in učinkovite, v kolikor obdelujete varjenca za enako namembnost (strojogradnja, tirna vozila, jeklene konstrukcije, ...). Takšne izvedbe izračunov lahko uporabimo le na podlagi izkušenj ter vestnega spremljanja proizvodnje v preteklosti. Vendar se je potrebno zavedati, da sodobni pristopi konstruiranja varjenca temeljijo na novih materialih, ki zahtevajo bolj natančne kalkulacije in bolj zahtevno izvedbo varjenja.

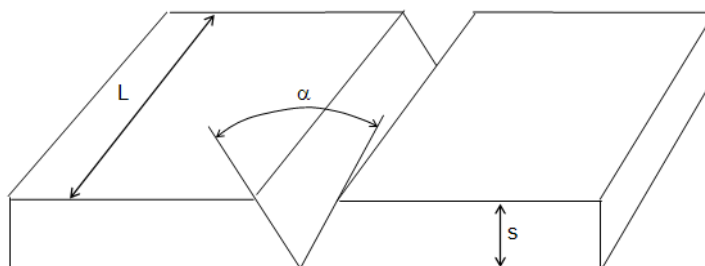
#### Natančnost izračunov v praksi in pomembnost predhodnih izkušenj:

- Delo: Pri delu je potrebno upoštevati čas priprave, nastavitve, predgrevanje ter čas, ki ga varilec porabi za osebne namene. Delovni izkoristki so lahko zelo različni od vrste proizvoda. Zelo pomemben dejavnik so delovne navade varilcev in njihovih pomočnikov.
- Dodatni materiali (elektrode, žica, ...): Upoštevati je potrebno izgube (uparjanje, obrizgi in napake varilcev, preveliki zvari, popravila, ...), kakovost materialov.
- Potrošni materiali (plini, praški, ...): Upoštevati je potrebno izgube zaradi napačnih nastavitvev varilcev (preveliki pretoki, ...).
- Energija: Določiti se da le približen strošek, kajti dejansko stanje porabe je lahko zelo spremenljivo; težko je izločiti druge porabnike v proizvodnji.
- Nadzor, kakovost (NDT, DT, certificiranje varilcev in podjetja): Določiti se da le fiksne stroške kontrole in certificiranja. Ker pa NDT kontrola ponavadi zahteva tudi popravila, je potrebno določiti faktor stroška na podlagi predhodnih izkušenj.

### 2.13.4 Zmanjšanje stroškov zaradi količine pretaljenega dodatnega materiala

#### 2.13.4.1 Velikost zvarnih robov – vpliv na količino pretaljenega dodatnega materiala

V zvezi z velikostjo zvarnih robov je pomembno vedeti, da kot zvarnega robu pomembno vpliva na količino pretaljenega dodatnega materiala pri sočelnih zvarnih spojih in s tem na strošek porabe dodatnih materialov. Zaželeni so čim manjši koti zvarnih robov  $\alpha$ , vendar pa niso vedno tehnično izvedljivi zaradi same narave varilnih postopkov.

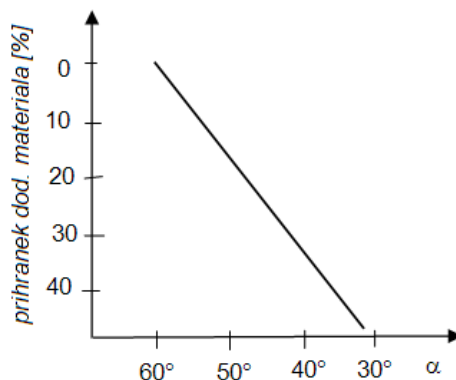


Slika 2.13.6: Dimenzije varjenca iz zvarnega robu

Masa pretaljenega dodatnega materiala se v primeru sočelnega V-zvarnega robu po sliki 2.13.6 izračuna kot:

$$G = s^2 \cdot L \cdot \rho \cdot \tan(\alpha/2) \quad [kg]$$

Kot vidimo, je masa pretaljenega dodatnega materiala sorazmerna s kvadratom debeline pločevine  $s$ . Na spodnjem diagramu je prikazan prihranek v porabi dodatnih materialov, če običajen kot zvarnega robu  $\alpha = 60^\circ$  zmanjšujemo.



Slika 2.13.7: Prihranek dodatnih materialov glede na kot zvarnega robu za V-zvar

#### 2.13.4.2 Približno določanje časa varjenja in porabe dodatnega materiala na osnovi teže konstrukcije

- Statično obremenjene varjene konstrukcije: poraba dodatnega materiala se računa kot 1,5 – 2,5 % teže vseh profilov in plošč po razrezni specifikaciji. Za jeklene konstrukcije s pretežno kotnimi zvarnimi spoji se lahko računa poraba dodatnih materialov po MAG postopku okrog 1,5 % teže konstrukcije.
- Dinamično obremenjene varjene konstrukcije: poraba dodatnega materiala se računa kot 2,5 – 3,5 % teže vseh profilov in plošč po razrezni specifikaciji. Za jeklene konstrukcije s pretežno kotnimi zvarnimi spoji se lahko računa poraba dodatnih materialov po MAG postopku okrog 2,5 % teže konstrukcije.

Na osnovi približno določene količine dodatnega materiala se da izračunati čas varjenja in ostalega potrošnega materiala. Za dejanski čas celotne izvedbe pa je potrebno poznati še delovne navade varilcev, zahteve kakovosti, itd. Takšne kalkulacije so lahko zelo nenatančne. V kolikor jih uporabimo, potrebujemo natančno analizo varjenja predhodnih podobnih varjenec. Dober varilec v praksi po MAG postopku z masivno žico na dan (8 – 12 ur) pretali od 17 do 25 kg dodatnega materiala (2 koluta po 15 kg). Vendar pa so takšni izračuni ob uporabi napačnih podatkov lahko zelo nenatančni.

#### 4.9.7.3 Približno določanje časa varjenja in porabe dodatnega materiala na osnovi oblike zvarnih robov

Tabela 2.13.1: Poraba dodatnih materialov za sočelne V-zvarne spoje

Debelina plošče $t$ [mm]	Teoretični volumen zvara [cm <sup>3</sup> ] na 1 m zvara		
	$\alpha = 50^\circ$	$\alpha = 60^\circ$	$\alpha = 70^\circ$
6	35	39	43
8	54	61	69
10	77	88	100
12	103	119	137
14	133	155	179
16	167	196	227
18	205	241	281
20	246	291	340

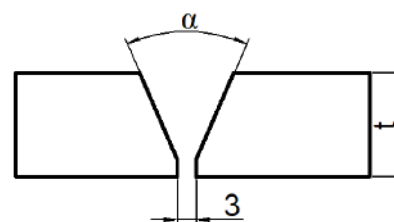


Tabela 2.13.2: Poraba dodatnih materialov za sočelne simetrične X-zvarne spoje

Debelina plošče t [mm]	Teoretični volumen zvara [cm <sup>3</sup> ] na 1 m zvara		
	$\alpha = 50^\circ$	$\alpha = 60^\circ$	$\alpha = 70^\circ$
14	88	98	111
16	108	122	138
18	129	147	167
20	153	175	200
25	220	255	294
30	300	349	405
35	390	458	534
40	493	581	680

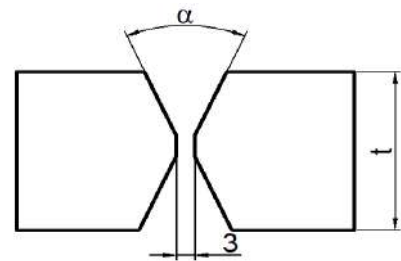
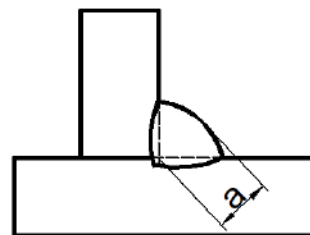


Tabela 2.13.3: Poraba dodatnih materialov za kotne zvarne

Višina kotnega zvara a [mm]	Teoretični volumen zvara [cm <sup>3</sup> ] na 1 m zvara
3	9
3,5	12,3
4	16
4,5	20,3
5	25
5,5	30,3
6	36



### 2.13.5 Analiza stroškov varilskega nadzora (inšpekcije)

Stroški kontrole kakovosti in sistema kakovosti, kar spada pod varilski nadzor, so reda velikosti 10 – 20 % vseh stroškov varilskih del. Možno je določiti samo fiksne stroške NDT kontrole in certifikacije. Ker NDT kontrola običajno zahteva tudi popravila, je potrebno določiti faktor stroškov na bazi predhodnih izkušenj.

To so stroški, ki niso direktno povezani z izvedbo varjenja. Postavke stroškov, ki so lahko vključene v projekt (ni pa nujno), so naslednje:

- reatestacija osnovnega materiala,
- kvalifikacija tehnologij varjenja (WPQR),
- regularni obseg NDT kontrole za predvidena varilska dela,
- dodatne zahteve za NDT kontrolo (MT ali PT zvarnih žlebov),
- merjenje tvrdote,
- certifikacija varilca,
- delovni vzorci,
- stroški popravila (reparatura),
- inšpekcije naročnika (prisotnost pri prevzemu),
- posebne oblike zaključne dokumentacije po želji kupca.

Na kaj še je potrebno biti pozoren: koordinator varjenja ali oseba odgovorna za varilske posle pregleda zahteve povpraševanj in ocenjuje višino dodatnih stroškov (če je to potrebno). Pri naročanju ali podpisu pogodbe varilski koordinator še enkrat natančno pregleda zahteve (pogosto so različne od tistih iz povpraševanj). Listo zahtev potrdi in pošlje naročniku kot informacijo – kar naročnik mora potrditi. Pripravi se plan kakovosti (če ni že določen s strani naročnika).

#### 2.13.5.1 ANALIZA STROŠKOV NDT PREISKAVE PRI VARJENJU

##### Stroški NDT opreme

Oprema za NDT postopke je cenovno zelo različna glede na uporabljen postopek. Najdražja oprema je za

izvedbo UT, PA-UT in UT-TOFD preiskav. Cenejša oprema je za izvedbo RT preiskav (filmska in digitalna radiografija). Še cenejša je oprema za izvedbo AE (akustične emisije), ET (metoda z vrtničnimi tokovi, angl. *eddy current*) in TT preiskav (termografija), ki pa se redko uporablja pri rutinski NDT kontroli zvarnih spojev, če sploh. Cenovno še bolj ugodna je oprema za izvajanje MT preiskav ter LT preiskav z mehurški. Najcenejša oprema je za izvajanje rutinskih PT in VT preiskav (razen videoskopije).

Seznam najpomembnejše opreme za NDT preiskave glede na padajoče stroške je približno naslednji:

- 1.) UT-TOFD preiskava: instrument za zbiranje podatkov, računalnik za povezavo z instrumentom, UT-TOFD skener in glave, pretvorniki;
- 2.) PA-UT preiskava: instrument za zbiranje podatkov, računalnik za povezavo z instrumentom, PA-UT skener in glave, pretvorniki;
- 3.) RT preiskava filmska: rentgenska cev (angl. *X-rax tube*) ali izotopski izvor gama sevanja (Ir-192, Se-70), temnica za ravijanje filmov, naprava za razvijanje filmov, densitometri, iluminatorji;
- 4.) RT preiskava digitalno: CR sistem (rentgenska cev in slikovna plošča), monitorji za opazovanje in evaluacijo digitalnih posnetkov, software za obdelavo digitalnih posnetkov;
- 5.) UT preiskava klasično po metodi odboja: UT instrumenti frekvence 1 – 10 MHz, glave (kotne, ravne);
- 6.) AE preiskava: generator pulzov oziroma poljubnih funkcij, ojačevalniki, oprema za kondicioniranje in obdelavo signalov, glave oz. senzorji frekvenčnega območja 100 – 300 kHz;
- 7.) ET preiskava: analogni ali digitalni instrument za merjenje električne prevodnosti, univerzalni instrumenti s prikazom impedančne ravnine z nastvitvijo ene frekvence, različne glave z absolutnim in diferencialnim navitjem tuljav;
- 8.) TT preiskava: IR kamera z detektorjem velikosti min. 320x240 pixlov z nastavljivimi fokus lečami in ustreznimi valovnimi dolžinami; računalnik za procesiranje termografskih podatkov;
- 9.) MT preiskava: transformator z AC ali polvalnim izhodom z adapterjem za električni tok ter magnetni fluks, merilnik jakosti magnetnega polja, AC/DC elektromagnetni jarmi, permanentni magneti, UV(A) svetilka, oprema za demagnetiziranje, merilniki jakosti svetlobe;
- 10.) LT preiskava: kompresor, vakuumska črpalka, manometri, vakuumska škatla, UV(A) svetilka
- 11.) PT preiskava: oprema za čiščenje in razmaščevanje pred izvedbo preiskave, penetrantska linija (rezervoar za vodno izpiranje penetranta, rezervoar za emulzijo, postaja za vodno čiščenje s prhami), UV(A) svetilka, merilniki jakosti svetlobe;
- 12.) VT preiskava: ravnila, mikrometri, kalibri, povečevalna stekla (od 2x do 10x), razni merilniki zvarnih spojev, optični komparatorji, merilniki jakosti svetlobe, različne svetilke. Ločeno od te splošne opreme so stroški različnih videoskopov (boreskopi, fiberskopi in endoskopi) v primerjavi z njenimi stroški neprimerno višji in so opravičljivi le za rutinske VT preiskave zvarnih spojev v npr. nerjavnih cevovodih v sistemih, ki zahtevajo visoko kakovost.

### **Stroški potrošnih materialov ter pribora za izvajanje NDT preiskav:**

Ti stroški so odvisni od količine uporabljenih potrošnih materialov. Različne kalibracijske bloke lahko uvrstimo med pribor. Seznam najpomembnejših uporabljenih potrošnih materialov za NDT preiskave, za katere je potrebno biti pozoren pri oceni stroškov je neodvisno od velikosti stroškov naslednji:

- 1.) UT-TOFD preiskava: kontaktna sredstva, kalibracijski bloki-specialni za to metodo;
- 2.) PA-UT preiskava: kontaktna sredstva, kalibracijski bloki-specialni za to metodo;
- 3.) RT preiskava filmska: radiografski filmi, kemikalije za razvijanje, IQI indikatorji kakovosti posnetka (žični, stopničasti) za jekla in Al-zlitine;
- 4.) RT preiskava digitalno: IQI indikatorji kakovosti posnetka (dvojni žični) za jekla in Al-zlitine;
- 5.) UT preiskava klasično po metodi odboja: kontaktna sredstva, kalibracijski bloki (stopenjski, kalibracijska bloka št. 1 in 2);
- 6.) AE preiskava: testno telo za preverjanje senzorjev, kontaktno sredstvo, Hsu-Nielsen izvor;
- 7.) ET preiskava: kalibracijski bloki, primerni za vse glave in instrumente;
- 8.) TT preiskava: kalibracijski vir črnega telesa, termometri in higrometri;
- 9.) MT preiskava: izvori detekcijskih sredstev (v aerosolu ali v ASTM hruški), suhi prah (fluorescenten, črn), kontrastna barva, kalibracijski bloki z umetnimi razpokami, Bertholdovo telo;
- 10.) LT preiskava: penilno sredstvo, kalibracijski blok s kalibriranim puščanjem;
- 11.) PT preiskava: set sprejev (čistilec, penetrant, razvijalec) v obliki aerosolov-barvni ali fluorescentni, barvni penetrant v obliki tekočine; referenčni testni bloki (ploščice) za kontrole linije penetranta;
- 12.) VT preiskava: plastična merila, tračni metri, žepne svetilke.



**Stroški dela NDT operaterjev:**

Takšne stroške je mogoče oceniti samo za NDT metode, kjer je mogoče iz dlje časa trajajočih NDT preiskav ugotoviti, kolikšno količino zvarnih spojev (v metrih) lahko NDT operaterji maksimalno pregledajo v času 8-urnega delavnika. To so VT, PT, MT in UT preiskave. Na ta način stroški dela NDT operaterjev za RT preskušanje zvarnih spojev niso primerljivi in se jih ocenjuje na drugačne načine, npr. glede na maksimalno število posnetih RT filmov v 8 urah, kar pa zopet zavisi od debeline presevanja materiala in velikosti radiografskih filmov. V tabeli 4 so podane priporočene maksimalne delovne obremenitve (dolžina preiskanih zvarnih spojev v metrih) za posameznega NDT operaterja za 8 delovnih ur, ki vključujejo čas za pisanje poročil o izvedenih NDT preiskavah, vse priprave na preiskave, izključujejo pa čas za malico in v primeru dela na terenu čas vožnje na objekt in nazaj.

*Tabela 2.13.4: Priporočene maksimalne delovne obremenitve NDT operaterjev za preiskave zvarnih spojev (max. dolžina preiskanih zvarov v metrih) za 8 delovnih ur za 1 operaterja*

Metoda preiskave	Delo na objektu (terenu)	Delo v delavnici
VT	120 m	170 m
PT	30 m	50 m
MT	90 m	120 m
UT (klasično)*	30 m	45 m

*\*povprečni delež volumskih nepravilnosti v zvarih manj kot 5 % dolžine zvarov (industrijska praksa)*

V praksi so izvedli meritve potrebnega časa za izvedbo UT preiskave na 12 enakih laboratorijskih vzorcih sočelnih zvarnih spojev debeline 20 mm in dolžine 300 mm. UT preiskavo je ločeno izvajalo 12 NDT operaterjev, katerim so merili čas preiskave. Pri tem je bila povprečna dolžina volumskih nepravilnosti v zvarih 25 % celotne dolžine zvarov. Pri uporabi klasične UT preiskave po metodi z odbojem je bil preračunano povprečen čas preiskave 183 minut / 1 meter zvara oziroma hitrost preiskave 0.33 metra / uro. Na enak način so opravili še preiskavo z metodo PA-UT in izmerili povprečno hitrost preiskave 1.4 metra / uro, kar je več kot 4x hitreje, kot pri uporabi klasične UT metode. Podatki v tabeli 4 so za UT preiskavo lahko v tem primeru zavajajoči, saj bi bila izračunana maksimalna hitrost preiskave 3.75 metra / uro, kar je 10x več od laboratorijskih časov UT preiskav. Vsekakor je vredno pripomniti, da je čas izvedbe UT preiskav zvarnih spojev bistveno odvisen od debeline materiala, kar ne velja za preiskave površinskih nepravilnosti (VT, PT in MT).