

# ULTRAZVUČNO ISPITIVANJE OPLATE ISPUŠNIH KUĆIŠTA PLINSKIH TURBINA GT 24/GT26

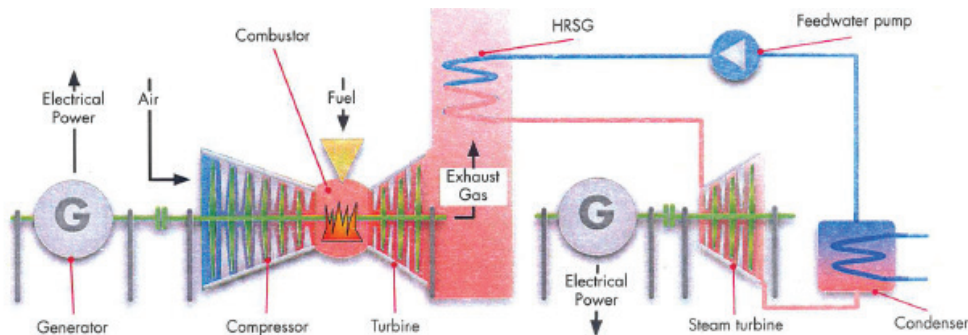
Petar Smiljanić, ALSTOM HRVATSKA, Karlovac, Hrvatska

Ivan Smiljanić, Hrvatsko društvo za kontrolu bez razaranja, Zagreb, Hrvatska

## SAŽETAK

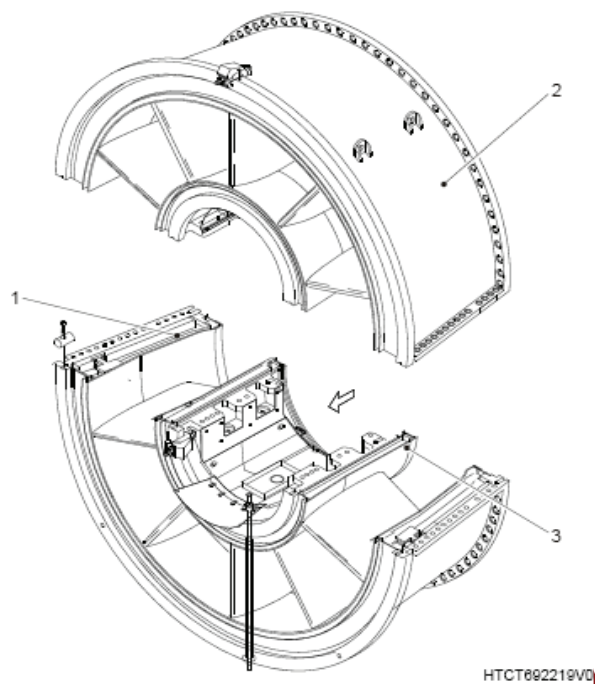
Ispušno kućište, koje je dio kombiniranog sustava plinskih turbina GT 24 i GT 26, zaštićeno je od visokih temperatura posebnom oplatom. Oplata je izrađena od limova austenitnog čelika koji se spajaju „montažnim” zavarenim spojevima. Takvi zavareni „V”-spojevi moraju biti redovito kontrolirani zbog visokih radnih temperatura kućišta i dinamičkih naprezanja kojima su podvrgnuti tijekom rada. Na određenim pozicijama ti spojevi nisu dostupni s obiju strana, nego samo s „čeoone”, te se stoga mogu ispitivati samo ultrazvučnom metodom. Osim problema dostupnosti zavara javlja se i problem grubozrnate strukture zavarenog spoja, odnosno anizotropnosti ispitivanog materijala što otežava ispitivanje. Ultrazvučno ispitivanje u ovakvim uvjetima zahtijeva poseban pristup, kao i posebnu dodatnu opremu (etalone), što je detaljnije objašnjeno u ovom radu.

## 1. UVOD



Slika 1. Kombinirani proces plinske turbine GT 24 /GT

Plinske turbine GT 24, odnosno GT 26 (sl. 1) dizajnirane su kako bi mogle djelovati u kombiniranom procesu koristeći prirodni plin kao primarno gorivo. Dio takvog kombiniranog sustava, koji se nalazi između kućišta turbine i ispušnog difuzora, jest ispušno kućište. Njegova je funkcija usmjeravanje ispušnih plinova iz niskotlačnog dijela turbine u ispušni difuzor, pri čemu također podupire i montažu krajnjeg ležaja turbine. Kućište je podijeljeno na gornju i donju polovicu, a obje se sastoje od vanjskog i unutarnjeg kućišta povezanih izoliranim rebrima (sl. 1). Osnovna struktura zaštićena je od vrućih ispušnih plinova (preko 600 °C) oplatom kućišta ispod koje je izolacija za zaštitu kućišta od pregrijavanja te zbog izbjegavanja gubitka toplinske energije sadržane u ispušnim plinovima.



**Slika 2.** Ispušno kućište turbine: 1 - izolacija, 2 - osnovna struktura, 3 - oplata

Predmet ultrazvučnog ispitivanja u ovom su slučaju „montažni” zavareni spojevi s podložnom trakom kanala i poklopaca kanala oplata ispušnih kućišta GT 24 /GT 26. Oplata je izrađena od limova debljine 8 +/- 0,5 mm, a materijal je X 6 CrNiTi 18/10 (austenit). Oplata je podvrgnuta visokim dinamičkim naprezanjima i vrlo visokim temperaturama, što su otežani radni uvjeti, te se radi toga provodi ispitivanje u svrhu otkrivanja grešaka neprovarenog korijena, nepotpunog protaljivanja osnovnog s dodatnim materijalom (greška naljepljenja), zarobljenog oksida na skošenjima pripreme te pukotina u tijeku izrade i kasnije u tijeku eksploatacije. Te greške su one koje je zapravo moguće detektirati ovom metodom, odnosno tehnikom ispitivanja, s obzirom na specifične uvjete pod kojima se ispitivanja i provode.

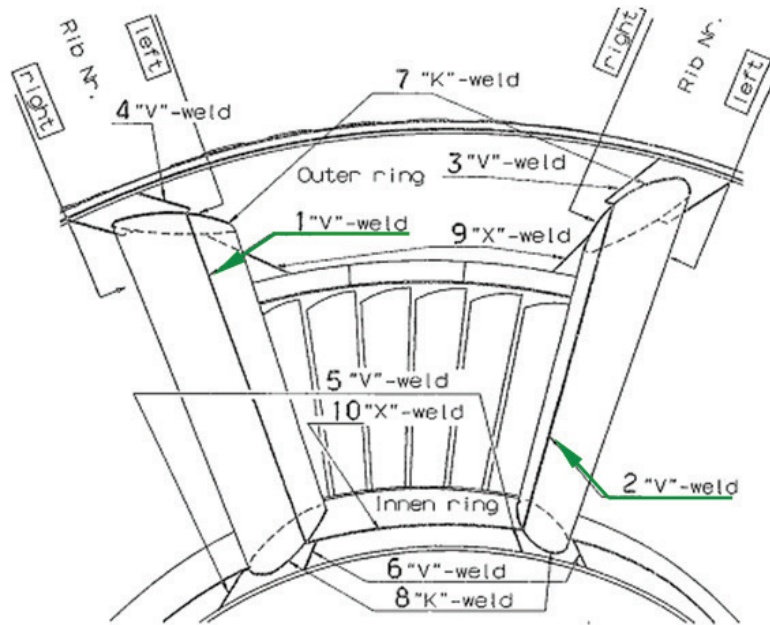
Treba obratiti pozornost na dvije činjenice pri ovakvom ispitivanju. Prva je ta da je ispitivani materijal austenitni čelik koji je anizotropan, te koji svojom grubozrnatom strukturom ograničava prolaz ultrazvučnih valova kroz materijal zbog raspršenja velikog dijela energije tih valova. Dok je gubitak ultrazvučne energije kroz osnovni materijal (koji je gotovo izotropan) vrlo mali, dendritna struktura samog zavarenog spoja znatno pogoduje većim gubicima. Razlika takvih gubitaka između osnovnog materijala i zavarenog spoja u ovom slučaju iznosi oko 75%. Iz toga razloga potrebno je pomno odabrati vrstu sonde, kao i njezinu frekvenciju (odnosno valnu duljinu valova kojima se ispituje grubozrnatu strukturu), a treba voditi računa i o vrstama grešaka, odnosno njihovim lokacijama, koje se u takvom slučaju mogu detektirati (problem detekcije grešaka unutar samoga spoja). Drugi problem ovog ispitivanja proizlazi iz činjenice da je riječ o montažnim zavarenim „V”-spojevima koji su fizički dostupni samo s jedne strane (čeone).

Naša iskustva pokazuju da je za provedbu ispitivanja dobro koristiti sljedeće norme:

- za ultrazvučno ispitivanje zavarenih spojeva - EN 1714
- za ultrazvučne razine ispitivanja - EN 1712
- za karakterizaciju grešaka - EN 1713
- za kriterij prihvatljivosti - ISO 5817

## 2. PROVEDBA ISPITIVANJA

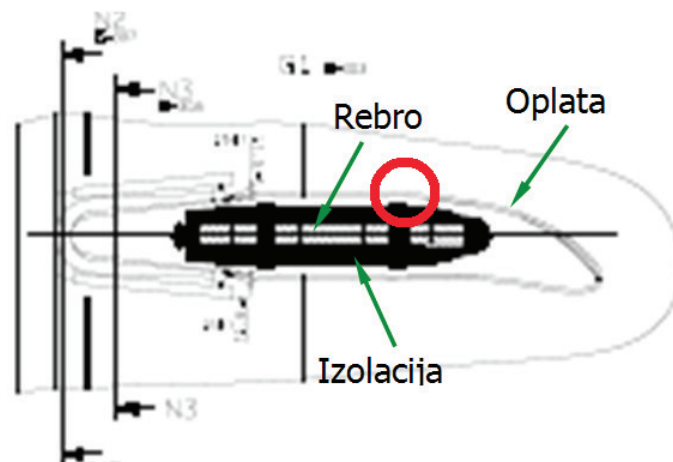
### 2.1. Ispitivano područje



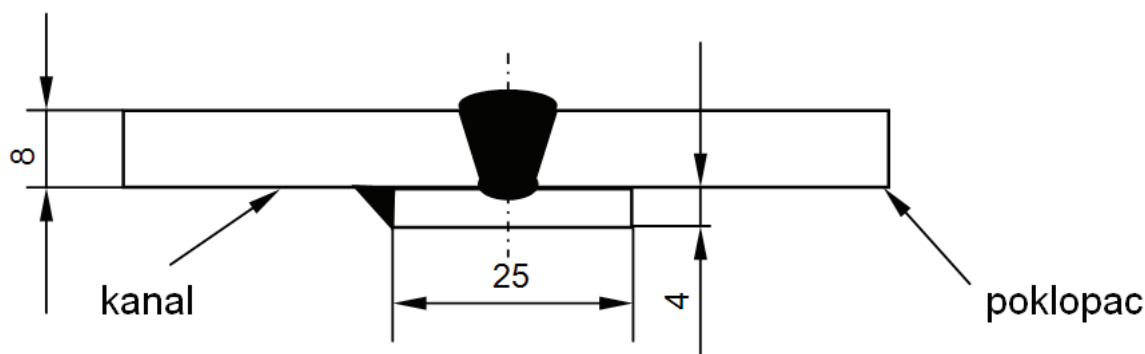
**Slika 3.** Skica zavara oplate

Zahtjev za ispitivanje je sljedeći: ispituju se „V”-zavareni spojevi s nadvišenjem br. 1 i br. 2 (sl. 3) kanala 1 ÷ 10 (ukupno 20 zavara) te zona utjecaja topline po 10mm sa svake strane zavarenog spoja. Kao što je i u uvodu naznačeno, osnovni je materijal austenitni lim debljine 8 +/- 0,5 mm. Kvaliteta površine mora biti takva da omogući pouzdano ispitivanje te se radi toga u području skeniranja trebaju odstraniti sve nečistoće: prskanje dodatnog materijala, ostaci toplinske obrade, neravnine i slično.

Detaljnije skice presjeka rebra, kao i ispitivanog područja dane su na slikama 4 i 5.



**Slika 4.** Rebro, presjek (crvenom oznakom naznačeno je zumirano područje koje prikazuje slika 5)



Slika 5. Zavareni spoj kanala i poklopca

## 2.2. Postupak ispitivanja

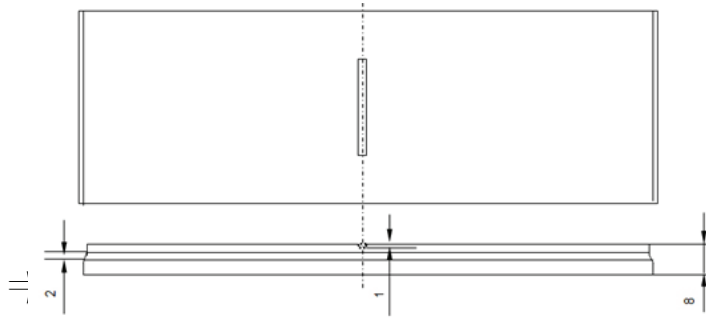
Ispitivanje će se provesti prema EN 1714 [4] – metoda 3, koja definira osjetljivost ispitivanja.

Oprema koja se koristi za izvedbu ovog ispitivanja je sljedeća:

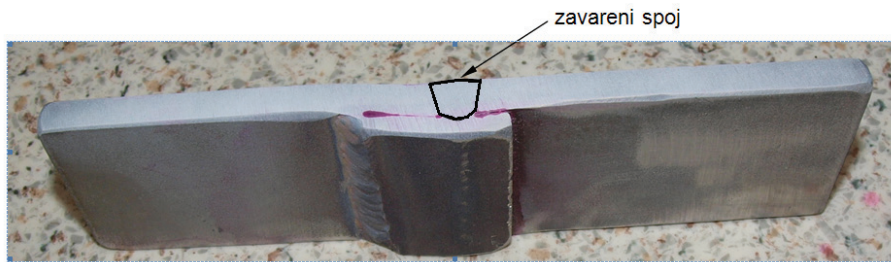
- ultrazvučni aparati s mogućnosti podešavanja frekvencija  $1 \div 10$  MHz, vertikalnom linearnošću u granicama  $\pm 2$  dB i horizontalnom linearnošću  $< 2\%$
- ispitna sonda MWB 70, frekvencije 4 MHz
- kontaktno sredstvo: gel ZG-F ili ulje
- etaloni:

- K2 – za baždarenje mjernog područja prema normi EN 27963 [1]
- EGH 1 – za određivanje osjetljivosti ispitivanja, izrađen prema zahtjevu iz EN 1714 [4] (sl. 6)
  - materijal ovog etalona istovjetan je kao i ispitna pozicija (X6 CrNiTi 18/10)
  - sadrži središnji reflektor of 1 mm te reflektor od 2 mm (dio skošenja pripreme zavora)
- EGH 2 – etalon za karakterizaciju indikacija, s provarenom podložnom trakom (sl. 7)
- EGH 3 – etalon za karakterizaciju indikacija, za neprovareni korijen  $2 \div 3$  mm (sl. 8)

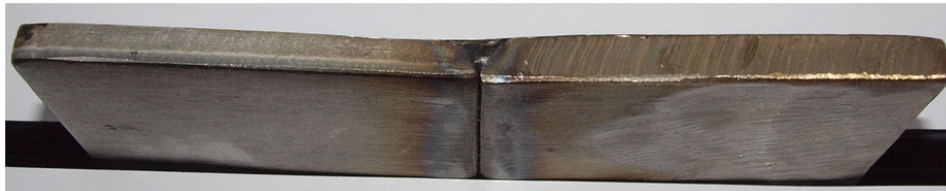
Navedeni etaloni EGH 1, EGH 2 i EGH 3 dizajnirani su od strane tehnologa koji provode nerazorna ispitivanja. Dizajn sadržava detaljne nacрте sa svim potrebnim dimenzijama, kao i materijal za koji je nužno da bude istovjetan s materijalom ispitivanog objekta. Dizajn etalona EGH 1 temelji se na normi EN 1714 koja definira osjetljivost ispitivanja. Svrha je etalona EGH 2 i EGH 3 da budu podloga za karakterizaciju navedenih indikacija koje je ovim postupkom moguće otkriti, a koje mogu biti pokazatelji postojećih pogrešaka. Za izradu etalona napravljen je naputak za tehnološki proces koji omogućuje kvalitetnu izradu etalona.



**Slika 6. Etalon EGH 1**



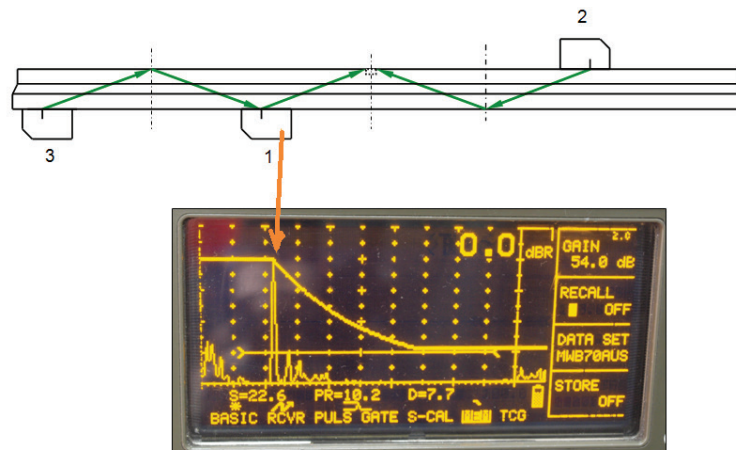
**Slika 7. Etalon EGH 2**



**Slika 8. Etalon RGH 3**

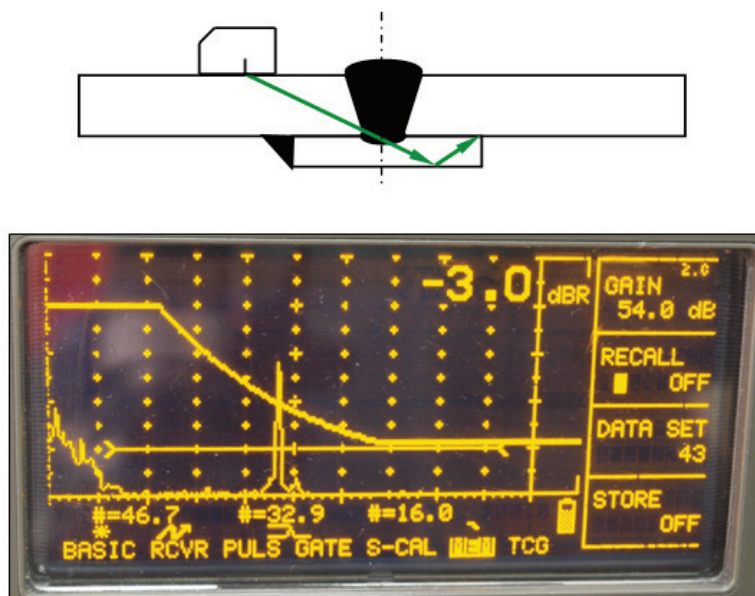
Mjerno područje je 100 mm. Ono se podešava na K2 etalonu, tako da prvi signal sa  $r = 25$  mm postavimo na 25 hds (horizontalni dijelovi skale) i 80% VE (visina ekrana), a drugi signal na 100 hds. Zbog razlike u ultrazvučnim brzinama materijala etalona i materijala oplate prvi signal sa 25 hds treba postaviti na 28 hds. Naime brzina transverzalnih ultrazvučnih valova u materijalu etalona K2 (čelik) veća je od brzine istih valova u austenitnom materijalu, što ima za posljedicu razliku u vremenu prolaza vala za upravo 3 hds-a na mjernom području od 100 mm.

Referentna osjetljivost ispitivanja proizlazi iz norme EN 1714 i EN 1712. Prema metodi 3 određivanja referentne osjetljivosti za kutne sonde  $\geq 70^\circ$  i debljine ispitivanja  $8 \div 15$  mm koristi se etalon s utorom dubine 1 mm (EGH 1) za izradu krivulje referentne osjetljivosti ispitivanja (DAC krivulja) (sl. 9).



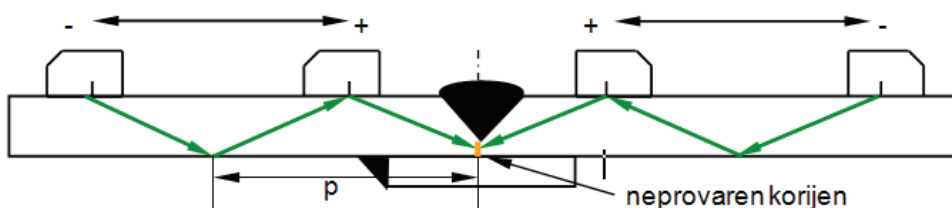
**Slika 9. DAC krivulja referentne osjetljivosti**

Na sl. 10 prikazani su signali dobiveni skeniranjem sa strana kanala, međutim treba voditi računa o tome da signali od podložne trake nisu uvijek prisutni, a ovise o položaju trake u odnosu na oplatu kao i neprovarenosti zavarenog spoja trake i oplate. Ehodinamika signala je  $41 \div 47$  mm ultrazvučnog puta ( $12 \div 16$  mm dubine).

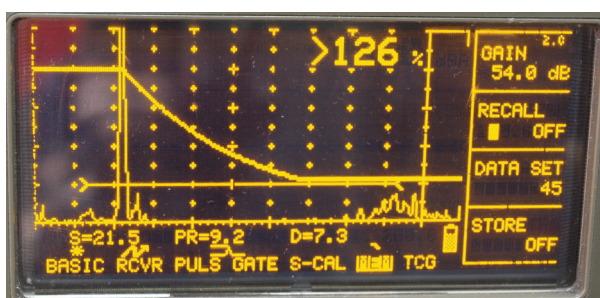


Slika 10. Signali od podložne trake

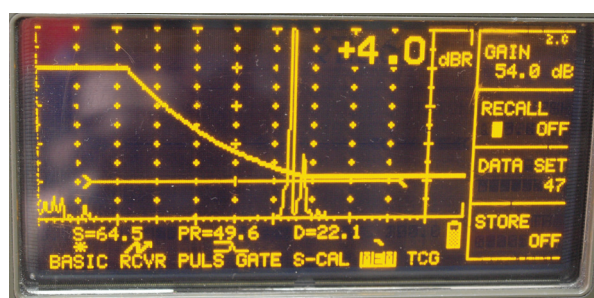
Uvođenjem ultrazvučne energije (skicirano zelenim strelicama) do greške neprovarenog korijena s naznačenih pozicija sonde dobivaju se karakteristični signali prikazani na sl. 11.



Slika 11. Pozicije uvođenja ultrazvučne energije (etalon EGH 3)

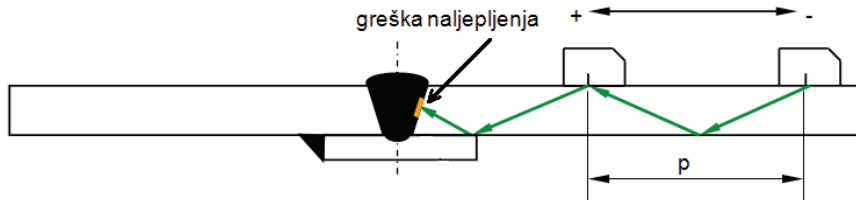


Slika 12. Maksimalni signal na 21,5 mm ultrazvučnog puta (7,3 mm dubine) s pozicije skeniranja  $p/2$ . Ehodinamika signala je  $16 \div 25$  mm ultrazvučnog puta ( $5,5 \div 8,5$  mm dubine).

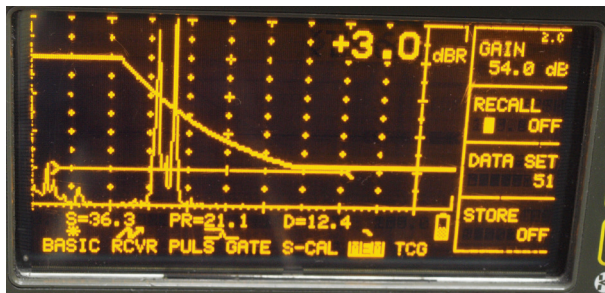


Slika 13. Maksimalni signal na 64,5 mm ultrazvučnog puta (22,1 mm dubine) s pozicije skeniranja  $3/2 p$ . Ehodinamika signala je  $60 \div 68,4$  mm ultrazvučnog puta ( $20,6 \div 23,4$  mm dubine).

Uvođenjem ultrazvučne energije (skicirano zelenim strelicama) do greške naljepljenja s naznačenih pozicija sonde dobivaju se karakteristični signali kao na sl. 14.



**Slika 14.** Pozicije uvođenja ultrazvučne energije (etalon EGH 1)



**Slika 15.** Maksimalni signal na 36,3 mm ultrazvučnog puta (12,4 mm dubine) s pozicije skeniranja između  $p/2$  i  $p$ . Ehodinamika signala je 32,1 ÷ 39,4 mm ultrazvučnog puta (11 ÷ 13,5 mm dubine).



**Slika 16.** Maksimalni signal na 88,4 mm ultrazvučnog puta (28,5 mm dubine) s pozicije skeniranja između  $3/2p$  i  $2p$ . Ehodinamika signala je 77,4 ÷ 91,4 mm ultrazvučnog puta (26,5 ÷ 31,3 mm dubine).

#### 4. ZAKLJUČAK

Dobivene ultrazvučne signale u tijeku ispitivanja, potrebno je procijeniti s obzirom na njihovu visinu i karakter:

- treba razmotriti sve signale čija je visina veća od 33% visine DAC krivulje (-10 dB od referentne razine)
- zabilježiti sve signale bez obzira na njihovu dužinu ako dosežu visinu -2 dB referentne razine.

Prema ISO 5817 za klasu zavara C, sve indikacije dužine (l) u odnosu na debljinu (t) nisu prihvatljive ako su zadovoljena dva uvjeta:

- $l \leq t$  i visina signala iznad je referentne razine
- $l > t$  i visina signala je -6 dB od referentne razine (tj. 50% DAC krivulje)

Ako su ultrazvučne indikacije okarakterizirane kao planarne (pukotine, greške naljepljenja i neprovarenog korijena), tada je to primarni kriterij za prihvaćanje ili odbacivanje. Indikacije čija visina signala prelazi 30% DAC krivulje (-10 dB od referentne razine), a okarakterizirane su kao planarne, nisu prihvatljive.

Opisana ultrazvučna tehnika ispitivanja u ovom postupku zavarenih „V”-spojeva oplate ispušnog kućišta plinske turbine GT 24 /GT 26 pokazala se pouzdanom u otkrivanju pogrešaka zavara i to neprovarenog korijena, nepotpunog protaljivanja osnovnog s dodatnim materijalom, tj. greške naljepljivanja zarobljenog oksida na skošenjima pripreme i pukotina. Ispitivanje se provodi prema EN 1714 - metoda 3, ali je potrebno koristiti:

- 1) ultrazvučni aparat s mogućnosti podešavanja frekvencija  $1 \div 10$  MHz, vertikalnom linearnošću u granicama +/- 2 dB i horizontalnom linearnošću < 2%
- 2) ispitnu sondu MWB 70 (4 MHz)
- 3) za baždarenje mjernog područja etalon K2 (prema normi EN 27963)
- 4) za karakterizaciju indikacija izrađene etalone EGH 1 (prema zahtjevu iz EN 1714), EGH 2 i EGH3 pri čemu je važno da su etaloni napravljeni od istovjetnog materijala, odnosno da imaju ista svojstva s obzirom na prijenos ultrazvučne energije. Također treba voditi računa da dimenzije etalona odgovaraju stvarnom ispitivanom objektu.

Ovako primijenjena tehnika ispitivanja pokazuje dobre rezultate i uz činjenicu da je ispitivani materijal austenitni čelik (X 6 CrNiTi 18/10).

## 5. LITERATURA

- [1] EN 27963 - Welds in steel - calibration block No.2 for ultrasonic examination of welds
- [2] EN 1712 - Non-destructive testing of welds – Ultrasonic testing of welded joints
- [3] EN 1713 - Non-destructive examination of welds - Ultrasonic examination of weld joints – Acceptance levels
- [4] EN 1714 - Non-destructive examination of welds - Ultrasonic examination of weld joints
- [5] ISO 5817 - Welding - Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) – Quality levels for imperfections
- [6] V. Krstelj „Ultrazvučna kontrola - odabrana poglavlja“, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2003.

# EuroTehnika d.o.o.

Sveta Nedelja-Novaki, Industrijski odvojak 3  
 Tel: +385 1 2404 356, Mob: 098 9811513, Fax: +385 1 2404 359  
 e-mail: [mskelin@eurotehnika.hr](mailto:mskelin@eurotehnika.hr) [www.eurotehnika.hr](http://www.eurotehnika.hr)

## Oprema i pribor za nerazorna ispitivanja – Balteau, Kodak i Olympus



## Kodak

INDUSTREX Products  
DISTRIBUTOR



## OLYMPUS

Your Vision, Our Future

