

Mjerenje brzine ultrazvuka u radnim etalonima

Kovačević, Mario

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:002829>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-09**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mario Kovačević

Zagreb, 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Damir Markučić, dipl. ing.

Student:

Mario Kovačević

Zagreb, 2016.

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

Zahvaljujem se svima koji su mi pomogli prilikom pisanja ovoga rada i studiranja, a posebno mentoru prof. dr.sc. Damiru Markučiću i asistentici dr.sc. Morani Mihaljević na opsežnom pruženom znanju, ljubaznosti, pristupačnosti, savjetima i suradnji tijekom pisanja i izrađivanja završnog rada.

Mario Kovačević



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje
Datum: 19-09-2016. rilog
Klasa: 602-04/16-613
Ur.broj: 151703-16-309

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Mario Kovačević** Mat. br.: 0035187892

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Mjerenje brzine ultrazvuka u radnim etalonima**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Ultrasonic velocity measurement in calibration blocks**

Opis zadatka:

Prije početka svakog ispitivanja ili mjerenja ultrazvučnom metodom potrebno je na odgovarajući način podesiti i provjeriti mjerni sustav. Podešavanje ultrazvučnog ispitnog ili mjernog sustava uključuje i podešavanje grupne brzine longitudinalnog valnog impulsa u materijalu koji se ispituje ili mjeri. Grupna brzina longitudinalnog valnog impulsa kao važan akustički parametar određena je vrstom i stanjem materijala. Podešavanje vrijednosti parametra brzine provodi se na radnim etalonima te se odgovarajućim podešavanjem može znatno utjecati na dobivene rezultate mjerenja i ispitivanja.

U prvome dijelu rada potrebno je:

- sistematizirati i prikazati zahtjeve relevantnih tehničkih norma i specifikacija u pogledu ispitnog postava i mjernih parametara za određivanje brzine ultrazvuka,
- istražiti u dostupnim izvorima (dokumentaciji) na koje se sve načine deklarira brzina za longitudinalne valove u radnim etalonima,
- te za iste dati kritički osvrt u pogledu sukladnosti s referentnim zahtjevima.

U skladu s danim pregledom zahtjeva i postojeće prakse u pogledu postupaka mjerenja i deklariranja brzine ultrazvuka, odabrati nekoliko različitih postava mjerenja grupne brzine longitudinalnog valnog impulsa vodeći računa o utjecajnim čimbenicima. Dobivene rezultate mjerenja brzine na odabranome radnom etalonu usporedno prikazati i komentirati.

U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

25. studenog 2015.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Damir Markučić

Rok predaje rada:

1. rok: 25. veljače 2016.
2. rok (izvanredni): 20. lipnja 2016.
3. rok: 17. rujna 2015.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 29.2., 02. i 03.03. 2016.
2. rok (izvanredni): 30. 06. 2016.
3. rok: 19., 20. i 21. 09. 2016.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Zoran Kunica

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	II
POPIS TABLICA.....	III
POPIS OZNAKA	IV
SAŽETAK.....	V
SUMMARY	VI
1. UVOD.....	1
2. ULTRAZVUČNO ISPITIVANJE.....	2
2.1. Općenito o ultrazvuku	2
2.2. Ultrazvučni sustav	3
2.2.1. Uređaj.....	3
2.2.2. Sonda.....	5
2.3. Norme.....	5
2.4. Certifikati	10
3. POSTAVKE MJERENJA	19
4. OBRADA REZULTATA MJERENJA	22
5. ZAKLJUČAK.....	25
LITERATURA.....	26

POPIS SLIKA

Slika 1. Nastajanje L – vala [2]	2
Slika 2. Nastajanje T – vala [2]	2
Slika 3. Osciloskop LeCroy 9310AM [3]	4
Slika 4. Digitalni ultrazvučni uređaj Krautkramer USN-60 [4]	4
Slika 5. Digitalni ultrazvučni uređaj Krautkramer DMS-2	5
Slika 6. Radni etalon br.1 [10]	7
Slika 7. Dimenzije radnog etalona br.1 s tolerancijama [6]	8
Slika 8. Radni etalon br.2 [11]	9
Slika 9. Dimenzije radnog etalona br.2 [8]	10
Slika 10. V1 Certifikat 7.1.2008. [12]	12
Slika 11. V1 Certifikat 3.5.2004. [13]	12
Slika 12. V2 Certifikat 8.6.2004. [14]	13
Slika 13. VW Certifikat 1.10.2007. [15]	13
Slika 14. V1 Certifikat 2 7.1.2008. [16]	14
Slika 15. V1 Certifikat 28.4.2014 [17]	15
Slika 16. V1 Certifikat 9.8.2013. [18]	15
Slika 17. V1 Certifikat 20.12.2010. [19]	16
Slika 18. V2 Certifikat 28.3.2014. [20]	16
Slika 19. V2 Certifikat 29.5.2013. [21]	17
Slika 20. V2 Certifikat 12.1.2011. [22]	17
Slika 21. Grafički prikaz vrijednosti izmjerenih brzina	18
Slika 22. Mjerno mjesto na etalonu V1	20
Slika 23. Mjerno mjesto na etalonu V2	20
Slika 24. Tehnika <i>pulse overlap</i>	20
Slika 25. Postava mjerenja na uređaju USN-60	21

POPIS TABLICA

Tablica 1. Parametri sonde	19
Tablica 2. Rezultati mjerenja osciloskopom na etalonu V1	22
Tablica 3. Rezultati mjerenja osciloskopom na etalonu V2	23
Tablica 4. Rezultati mjerenja na uređajima USN-60 i DMS-2	23

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
A_l	udaljenost od prvog do n-tog odjeka na nepoznatom materijalu	m
A_k	udaljenost od prvog do n-tog odjeka na poznatom materijalu	m
f	frekvencija	Hz
λ	valna duljina	m
n_l	broj prolaza ultrazvučnog impulsa kroz nepoznati materijal	
n_k	broj prolaza ultrazvučnog impulsa kroz poznati materijal	
s	put koji prevali ultrazvučni signal	m
t	vrijeme preleta signala	s
t_l	debljina nepoznatog materijala	m
t_k	debljina poznatog materijala	m
v	brzina	m/s
v_l	brzina ultrazvuka u nepoznatom materijalu	m/s
v_k	brzina ultrazvuka u poznatom materijal	m/s
V_{etalon}	brzina u etalonu	m/s
V_x	nepoznata brzina	m/s

SAŽETAK

Tipično ultrazvučno ispitivanje sastoji se od nekoliko funkcionalnih cjelina, kao što su ultrazvučni uređaj, ultrazvučne sonde, etaloni i referentni uzorci, te druga pomoćna oprema. U svrhu provjere mogućnosti opreme da zadovolji traženu namjeru uz potrebnu osjetljivost ispitivanja, definiraju se radne karakteristike ultrazvučnog sustava, koje valja za svaki sustav odabrati, podesiti i redovito provjeravati za vrijeme i nakon ispitivanja.

U ovom radu naglasak je stavljen na podešavanje vrijednosti parametara brzine koje se provodi na radnim etalonima čijim se odgovarajućim podešavanjem može znatno utjecati na dobivene rezultate mjerenja i ispitivanja. U normama se prikazuju i sistematiziraju tehnički zahtjevi u pogledu postava mjernih parametara za određivanje brzine ultrazvuka.

U konačnici se ispitivanjem provjerava da li se dobiveni rezultati mjerenja poklapaju s propisanom brzinom ultrazvuka u normama.

Ključne riječi: ultrazvuk, brzina ultrazvuka, radni etaloni

SUMMARY

Typical ultrasonic testing consists of several functional units, such as ultrasonic instrument, ultrasonic transducer, calibration blocks and other auxiliary equipment. In order to check the possibilities of equipment to meet the requisite measuring intent with the required sensitivity, the parameters of the ultrasonic systems are selected, defined and checked before testing.

In this paper, emphasis is placed on checking the longitudinal ultrasound velocity on calibration blocks. The appropriate settings can significantly affect the results of measurements and tests. The standards display and systematize technical requirements for setting measurement parameters to determine the ultrasound velocity.

Ultimately, a carried out measurement checks whether the actual results obtained match the prescribed ultrasound velocity in the standards.

Key words: ultrasound, ultrasonic velocity, calibration blocks

1. UVOD

Područje nerazornih ispitivanja (NDT) je vrlo široko, interdisciplinarno polje koje ima ključnu ulogu u osiguravanju da strukturne komponente i sustavi zadovoljavaju predodređene funkcije na pouzdan i efikasan način. Stručno osoblje definira i provodi ispitivanja koja lociraju i karakteriziraju nedostatke, koji bi inače mogli prouzrokovati kvar pa čak i uništenje cijelog sustava.

Često se u primjeni koristi ultrazvučna metoda ispitivanja kojoj je i namijenjen ovaj završni rad. Ultrazvučno ispitivanje se može koristiti za otkrivanje pukotina, dimenzionalna mjerenja, karakterizaciju materijala, itd.. Brzi razvoj ove metode potaknut je tehnološkim naprecima iz 1950-ih godina, razvija se i danas, a predviđa se široka upotreba metode i u budućnosti [1].

Ultrazvučni valovi prenose energiju titranja kroz materijal. Za ispitivanje materijala koriste se različite vrste ultrazvučnih valova, no u ovome radu razmatrat će se samo upotreba longitudinalnih valova. Podešavanje ultrazvučnog ispitnog ili mjernog sustava uključuje i podešavanje grupne brzine longitudinalnog valnog impulsa u materijalu koji se ispituje ili mjeri. Grupna brzina longitudinalnog valnog impulsa kao važan akustički parametar određena je vrstom i stanjem materijala. Zbog toga je potrebno raspolagati radnim etalonima ili referentnim uzorcima s poznatom brzinom propagacije ultrazvuka.

Kako bi se osigurala kvaliteta proizvoda ili usluga te obnovljivost i ponovljivost rezultata ispitivanja, uvedene su normizacije čimbenika koji utječu na provođenje ispitivanja. U ovom radu prikazani su zahtjevi relevantnih tehničkih normi i specifikacija u pogledu ispitnog postava za određivanje longitudinalne brzine ultrazvuka. Također će se istražiti na koje se sve načine deklarira brzina za longitudinalne valove u radnim etalonima.

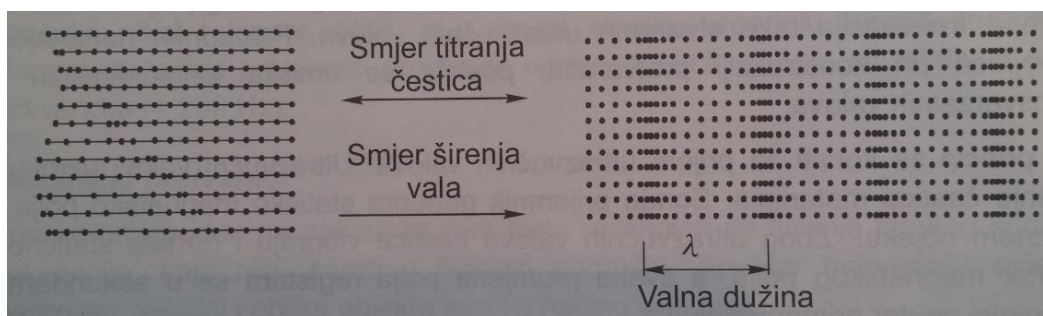
U konačnici će se u ovome radu odabrati nekoliko različitih postava mjerenja grupne brzine longitudinalnog valnog impulsa vodeći računa o utjecajnim čimbenicima i usklađenosti s danim pregledom zahtjeva normi i postojeće prakse mjerenja.

2. ULTRAZVUČNO ISPITIVANJE

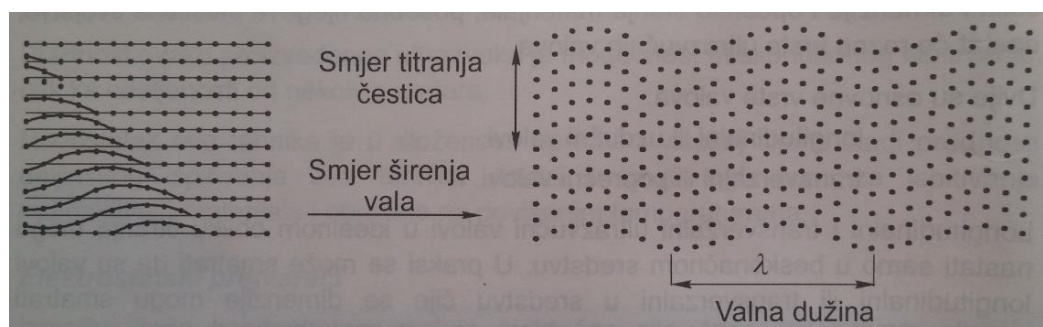
2.1. Općenito o ultrazvuku

Ispitivanje ultrazvukom jedna je od mnogih metoda ispitivanja proizvoda bez razaranja. Ultrazvučno ispitivanje (UT) koristi zvuk čija je frekvencija iznad gornje granice čujnosti za normalno ljudsko uho, koja iznosi 20 kHz. Ultrazvučni valovi prenose energiju titranja kroz materijal. Ovisno o vrsti sredstva kroz koje se prenosi energija i ostalim značajkama kao što su vrsta materijala, oblik i dimenzije i općenito stanje materijala, posebno njegova elastična svojstva, nastat će razne vrste ultrazvučnih valova [2].

Longitudinalni i transverzalni valovi su dva načina širenja valova najčešće korištenih u ultrazvučnom ispitivanju. Na slikama 1 i 2 prikazani su longitudinalni i transverzalni valovi u trenutku nastajanja, te način titranja čestica pomoću zamišljenih čestica kojima se stanje titranja uobičajeno prikazuje.



Slika 1. Nastajanje L – vala [2]



Slika 2. Nastajanje T – vala [2]

Parametri koji određuju vrstu vala i njegovo širenje kroz izotropne čvrste materijale su valna duljina, frekvencija vala i brzina širenja vala. Valna duljina je proporcionalna brzini širenja vala a obrnuto proporcionalna frekvenciji vala. Ovaj odnos je prikazan sljedećom jednačbom (1)

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (1)$$

gdje je:

λ – valna duljina (m)

v – brzina širenja vala (m/s)

f – frekvencija vala (Hz).

Kada je brzina širenja vala konstantna, promjena frekvencije rezultirat će promjenom valne duljine, što ima značajan utjecaj na vjerojatnost otkrivanja diskontinuiteta. U mjerenjima se ne mijenja frekvencija, već se odabire sonda s drugom ispitnom frekvencijom. Osjetljivost i rezolucija su dva pojma koji se često koriste u ultrazvučnom ispitivanju kako bi se opisala mogućnost i sposobnosti pronalaska nedostataka. Osjetljivost i rezolucija općenito rastu s kraćom valnom duljinom.

2.2. Ultrazvučni sustav

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

- ultrazvučni uređaj,
- ultrazvučne sonde,
- etaloni i referentni uzorci,
- kontaktno sredstvo,
- druga pomoćna oprema [2].

Učestalost provjera i način na koji se provjerava oprema i sustav za ispitivanje određeni su vrstom ispitivanja i opreme koja se koristi, a propisani su najčešće normama i tehničkom dokumentacijom za svako ispitivanje. Prilikom provođenja mjerenja brzine ultrazvuka korištena je različita ultrazvučna oprema, tehnike mjerenja i etaloni na kojima se mjerila brzina.

2.2.1. Uređaj

Ultrazvučni uređaj osnovni je dio ultrazvučnog sustava, a zadaća mu je odašiljanje i prijem ultrazvučnog impulsa. Ultrazvučni uređaj mora omogućiti aktiviranje sonde električnim impulsima te primanje električnih impulsa iz sonde, pri čemu uređaj daje prikaz interakcije ultrazvuka i ispitnog uzorka. Osnovni dijelovi ultrazvučnog uređaja čine:

- skup elektronskih sklopova koji omogućuju napajanje, generiranje električnih impulsa, pojačavanje, sinkronizaciju i druge funkcije, koje osiguravaju korištenje opreme na razini zahtjeva;
- elektronski sklopovi izlaznih jedinica, čiji je zadatak da rezultate odašiljanja i prijema ultrazvuka prikaže korisniku u prikladnom obliku za interpretaciju, a mogu dodatno sadržavati i mogućnost obrade signala [1].

Kod mjerenja brzine ultrazvuka u ovome radu korištena su tri različita ultrazvučna uređaja. Prvi uređaj je osciloskop LeCroy 9310AM koji se može vidjeti na slici 3, drugi je digitalni ultrazvučni uređaj Krautkramer USN-60 koji se može vidjeti na slici 4, a treći je digitalni ultrazvučni uređaj Krautkramer DMS-2 koji se može vidjeti na slici 5.



Slika 3. Osciloskop LeCroy 9310AM [3]



Slika 4. Digitalni ultrazvučni uređaj Krautkramer USN-60 [4]



Slika 5. Digitalni ultrazvučni uređaj Krautkramer DMS-2

2.2.2. Sonda

Ultrazvučna sonda zajedno s ultrazvučnim uređajem čini primarnu ulogu kod ultrazvučnih ispitivanja i mjerenja. Sonde sadrže piezoelektrični element, koji električne signale pretvara u mehaničke vibracije i mehaničke vibracije nazad u električne signale. Iako sonde vanjskim izgledom djeluju kompaktno, one su najosjetljiviji dio ultrazvučnog sustava. Važan dio sustava mjerenja je kontaktno sredstvo koje se nanosi na mjestu kontakta sonde i materijala i omogućava prijenos energije ultrazvučnih valova iz sonde u uzorak koji se ispituje ili mjeri. Izbor sonde radi se na temelju zahtjeva danim u normama.

2.3. Norme

Norme daju upute za upravljanje složenim sustavima i osiguravaju kvalitetu proizvoda ili usluga. Opisuju elemente koje sustavi kvalitete moraju sadržavati, a način na koji će pojedina organizacija to postići ovisi o njoj i njenim uvjetima rada. U provođenju svih provjera radnih obilježja sustava, u ovom slučaju provjera brzine ultrazvuka u radnim etalonima, treba se pridržavati normi ili postupaka koji definiraju vrstu provjere, te način provođenja.

Norme važne za mjerenje brzine ultrazvuka u radnim etalonima su sljedeće:

- ASTM E494-95, *Standard practice for measuring ultrasonic velocity in materials* [5]
- EN ISO 2400:2012, *Non-destructive testing – Ultrasonic testing – Specification for calibration block No.1* [6]

- EN 12223:2000, *Non-destructive testing – Ultrasonic examination – Specification for calibration block No.1* [7]
- EN 27963:1992, *Specification for calibration block No. 2 for ultrasonic examination of welds* [8]
- EN ISO 7963:2010, *Non-destructive testing – Ultrasonic testing – Specification for calibration block No. 2* [9]

Norma ASTM E494-95 obuhvaća postupak ispitivanja za mjerenje ultrazvučne brzine u materijalima s opremom za tehniku odjeka u kojima su rezultati dani A-prikazom. Ovaj postupak je namijenjen materijalima debljine 5 mm ili više, dok površinska hrapavost mora biti manja ili jednaka 3,2 μm za srednje aritmetičko odstupanje profila (Ra). Specifikacije ultrazvučnog uređaja su takve da mora biti u mogućnosti dati A-prikaz mjerenja, a sonda mora biti ravna za longitudinalne valove [5].

Prvi postupak kojim se može provesti mjerenje ultrazvučne brzine u nepoznatom materijalu, opisanim pod poglavljem 6. *Procedure* [5], provodi se pomoću jednadžbe (2)

$$v_1 = (A_k n_1 t_1 v_k) / (A_1 n_k t_k) \quad (2)$$

gdje je:

A_k = udaljenost od prvog do n-tog odjeka na poznatom materijalu (m)

n_1 = broj prolaza ultrazvučnog impulsa kroz nepoznati materijal

t_1 = debljina nepoznatog materijala (m)

v_k = brzina ultrazvuka u poznatom materijalu (m/s)

A_1 = udaljenost od prvog do n-tog odjeka na nepoznatom materijalu (m)

n_k = broj prolaza ultrazvučnog impulsa kroz poznati materijal

t_k = debljina poznatog materijala (m) [5].

Za izračunavanje brzine ultrazvuka u nepoznatom materijalu (v_1) potrebno je znati brzinu ultrazvuka u poznatom materijalu (v_k). Referentni uzorak predstavlja poznati materijal čija je brzina poznata. Debljine oba uzorka treba izmjeriti s mjernom nesigurnošću od $\pm 0,02$ mm. Za mjerenje je potrebno minimalno 5 povratnih odjeka. Zatim treba očitati udaljenosti od prvog do n-tog odjeka za oba materijala te broj prolaza [5].

Druga metoda kojom se može izmjeriti brzina ultrazvuka u nepoznatom materijalu pomoću tehnike odjeka izvodi se sa dvostrukom ravnom sondom gdje nije potrebno imati nekoliko povratnih odjeka, već je dovoljan samo jedan odjek od zadnje stijenke. Postupak je opisan pod poglavljem X2.7 *Pulse Echo Twin-Probe Method* [5]. Prvo se kalibrira instrument i sonda na referentnom uzorku poznate brzine (V_{etalon}). Zatim se izmjeri debljina uzorka koji se ispituje, a na A-prikazu očitamo prikazanu debljinu. Izmjerenim i očitanim podacima izračunamo sljedeću jednadžbu (3)

$$V_x = V_{etalon} * \frac{\text{izmjerena debljina}}{\text{prikazana debljina}} \quad (3)$$

gdje je:

V_x = nepoznata brzina (m/s) [5].

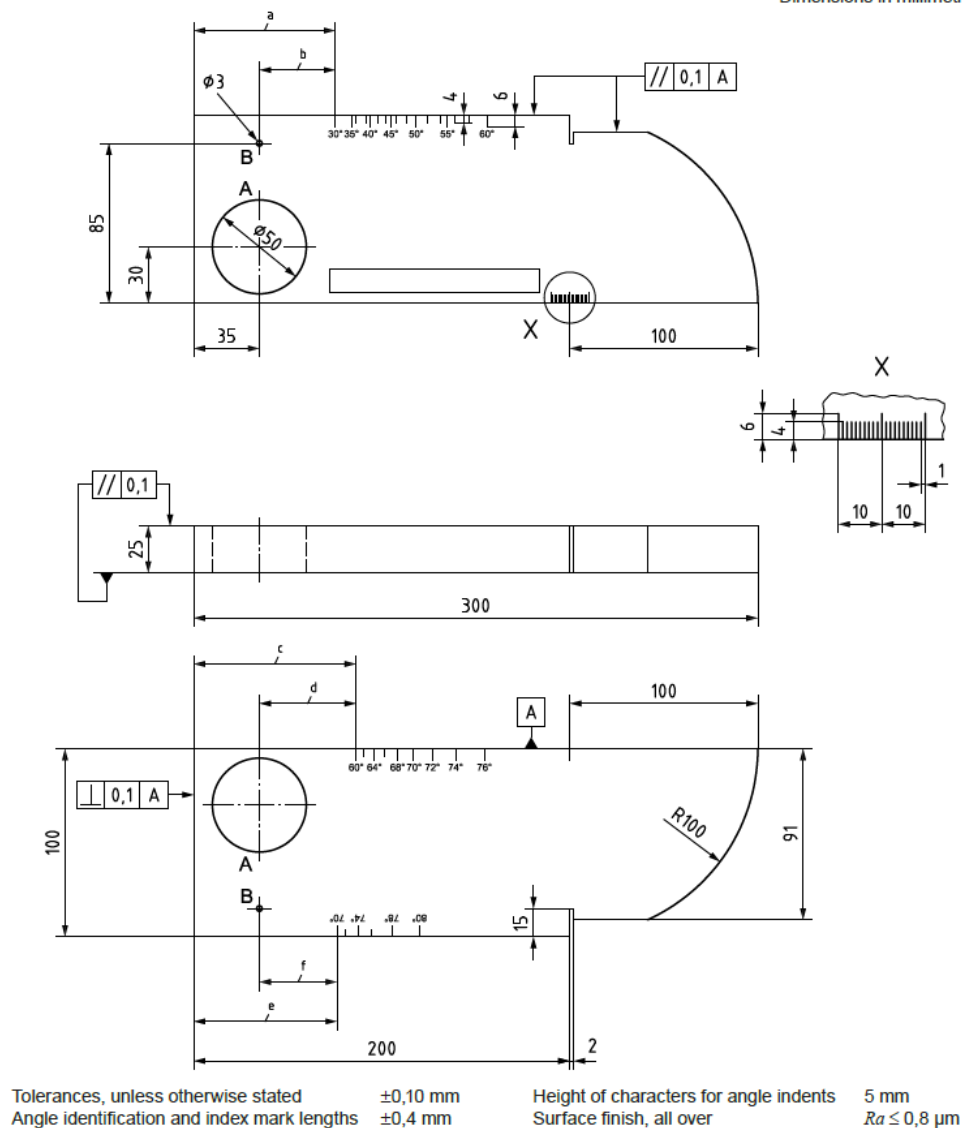
Te dvije metode mjerenja brzine ultrazvuka opisane u normi ASTM 494-95 nisu korištene u ovom radu, zato što su to metode koje „otkrivaju“ brzinu ultrazvuka u uzorku s nepoznatom brzinom propagacije. Ovdje se radni etalon koristi samo kao referentni uzorak čiji su parametri i svojstva poznati.

Norma EN 12223:2000 je povučena te je zamijenjena s istovjetnom normom EN ISO 2400:2012. Norma EN ISO 2400:2012 utvrđuje dimenzije, vrstu čelika i smjernice za uporabu radnog etalona br.1 (slika 6) pri podešavanju ultrazvučnog uređaja za ispitivanje. Radni etalon br.1 izrađen je od čelika oznake S355JO prema europskoj normi za označavanje čelika EN 10025-2 ili čelika slične kvalitete [6].

Dimenzije etalona u milimetrima prikazane su na slici 7.



Slika 6. Radni etalon br.1 [10]



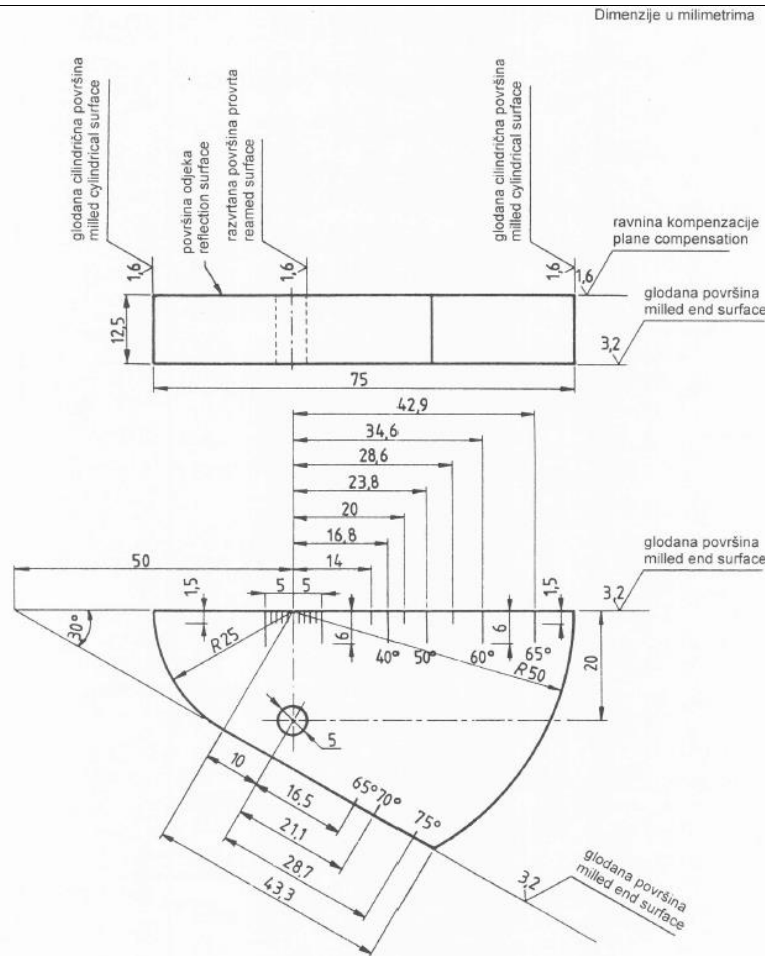
Slika 7. Dimenzije radnog etalona br.1 s tolerancijama [6]

Za zadani sastav čelika brzina longitudinalnih valova odgovara vrijednosti od $5920 \text{ m/s} \pm 30 \text{ m/s}$. Pod poglavljem Annex A opisan je postupak kojim se mjeri brzina u etalonu. Prvo se mjeri fizička dimenzija etalona s mjernom nesigurnošću $0,01 \text{ mm}$. Provjeravaju se područja na kojima se mjeri da ne budu razlike u debljini veće od $0,01 \text{ mm}$ na površini koja je u dodiru sa sondom. Brzina se zatim izračunava kao debljina etalona kroz vrijeme preleta. Vrijeme preleta ultrazvučnog impulsa mjeri se u različitim pozicijama, tj. na dvije odvojene pozicije gdje je debljina 25 mm i na jednoj poziciji gdje je debljina 100 mm . Temperatura radne okoline mora biti u rasponu od 17°C do 23°C . Koristi se ravna sonda za mjerenje vremena preleta ultrazvučnog impulsa. Za longitudinalne valove sonda mora imati frekvenciju od minimalno 5 MHz , širokopojasni frekvencijski spektar i promjer sonde od 10 mm do 15 mm [6].

Norma EN 27963:1992 je povučena te je zamijenjena istovjetnom normom EN ISO 7963:2010. Norma EN ISO 7963:2010 utvrđuje dimenzije, vrstu čelika i smjernice za uporabu radnog etalona br.2 (slika 8) pri podešavanju ultrazvučnog uređaja za ispitivanje. Dimenzije etalona u milimetrima prikazane su na slici 9. Tolerancije su $\pm 0,1$ mm, osim za duljinu oznaka ugraviranih skala čija tolerancija iznosi $\pm 0,5$ mm [9].



Slika 8. Radni etalon br.2 [11]



Slika 9. Dimenzije radnog etalona br.2 [8]

Radni etalon br.2 izrađen je od čelika oznake S355JO prema europskoj normi za označavanje čelika EN 10025-2 ili čelika slične kvalitete. Za zadani sastav čelika brzina longitudinalnih valova iznosi $5920\text{m/s} \pm 30\text{m/s}$. Preporučuje se ispitivanje s ravnim sondama za longitudinalne valove, sonda mora imati frekvenciju od minimalno 5 MHz, širokopolasni frekvencijski spektar i promjer sonde od 10 mm do 15 mm [9].

Može se uočiti kako sve tri norme preporučuju korištenje ravnih sondi u mjerenjima. Radni etalon br.1 i br.2 izrađeni su od čelika propisane kvalitete, kako bi se osiguralo da iznos longitudinalnih valova bude u propisanim granicama ($5920\text{m/s} \pm 30\text{m/s}$).

2.4. Certifikati

Danas gotovo svi laboratoriji kod kupnje etalona naručuju i certifikat. On nije nužan, međutim, naručitelj odlučuje da li želi imati sljedivost za svoja NDT ispitivanja. Na certifikatu piše da je etalon podvrgnut provjeri kvalitete (prema DIN EN ISO 9001), te da etalon odgovara dimenzijama i radnim karakteristikama specificiranim u normama.

Svaki mjerni uređaj korišten u provjeri dimenzija, ali i uređaji za provjeru akustičkih svojstva, moraju biti kalibrirani po nacionalnim ili internacionalnim normama s izravnom ili neizravnom sljedivošću.

U daljnjoj analizi, analizirana su četiri certifikata na kojima je samo deklarirana sukladnost brzine s normom, od kojih su dva za etalon V1, jedan za etalon V2 i jedan za etalon VW. Popis tih certifikata s datumom izdavanja prikazan je ovdje:

- V1 Certifikat 7.1.2008. [12]
- V1 Certifikat 3.5.2004. [13]
- V2 Certifikat 8.6.2004. [14]
- VW Certifikat 1.10.2007. [15]

U oba certifikata za etalone V1 deklarira se sljedivost prema normi EN 12223 i da brzina longitudinalnih valova iznosi $5920\text{m/s} \pm 30\text{m/s}$. Ta dva certifikata su iz 2004. i 2008. godine, a po novim standardima od 2012. godine norma EN 12223:2000 zamijenjena je normom EN ISO 2400:2012. Na slici 10 može se vidjeti V1 certifikat 7.1.2008., a na slici 11 može se vidjeti V1 Certifikat 3.5.2004.

Na certifikatu za V2 etalon od 8.6.2004. navodi se da je etalon sljediv prema normi EN 27963 i da brzina longitudinalnih valova iznosi $5920\text{m/s} \pm 30\text{m/s}$. Treba se uočiti da je certifikat iz 2004. godine i da je po novim standardima norma EN 27963:1992 povučena i zamijenjena normom EN ISO 7963:2010. Na slici 12 može se vidjeti V2 Certifikat 8.6.2004.

Po istim standardima kao i za etalon V1, na certifikatu za etalon VW navodi se da je etalon sljediv prema normi EN 12223 i da brzina longitudinalnih valova iznosi $5920\text{m/s} \pm 30\text{m/s}$. Na slici 13 može se vidjeti VW Certifikat 1.10.2007.

**Certificate of Conformity
Herstellerbescheinigung
Certificat de Conformité
Certificado de Conformidad**

Product: **Calibration block No 1 / Kalibrierkörper Nr. 1
Bloc d'étalonnage no 1 / Bloque de calibracion no 1 / K 1**

Type No: **50100**

Serial No: **2021**

Specification: **EN 12223**

Velocities: **v_{long}: 5920 ± 30 m/s** **v_{trans}: 3255 ± 15 m/s**

Slika 10. V1 Certifikat 7.1.2008. [12]

**Certificate of Conformity
Herstellerbescheinigung
Certificat de Conformité
Certificado de Conformidad**

Product: **Calibration block No 1 / Kalibrierkörper Nr. 1
Bloc d'étalonnage no 1 / Bloque de calibracion no 1 / K 1**

Type No: **50100**

Serial No: **2021**

Specification: **EN 12223**

Velocities: **v_{long}: 5920 ± 30 m/s** **v_{trans}: 3255 ± 15 m/s**

Slika 11. V1 Certifikat 3.5.2004. [13]

**Certificate of Conformity
Herstellerbescheinigung
Certificat de Conformité
Certificado de Conformidad**

Product: Calibration block No 2 / Kalibrierkörper Nr. 2
Bloc d'étalonnage no 2 / Bloque de calibracion no 2 / K 2
Type No: ██████████
Serial No: ██████████
Specification: EN 27963
Velocities: $v_{\text{long}}: 5920 \pm 30 \text{ m/s}$ $v_{\text{trans}}: 3255 \pm 15 \text{ m/s}$

Slika 12. V2 Certifikat 8.6.2004. [14]

**Certificate of Conformity
Herstellerbescheinigung
Certificat de Conformité
Certificado de Conformidad**

Product: Calibration block VW / Kalibrierkörper VW
Bloc d'étalonnage VW / Bloque de calibracion VW
Type No: ██████████
Serial No: ██████████
Specification: EN 12223
Velocities: $v_{\text{long}}: 5920 \pm 30 \text{ m/s}$ $v_{\text{trans}}: 3255 \pm 15 \text{ m/s}$

Slika 13. VW Certifikat 1.10.2007. [15]

Na sljedećih sedam certifikata provodilo se mjerenje brzine od strane proizvođača etalona i provjeravale su se dimenzije etalona. Tako da ti certifikati imaju deklarirane rezultate mjerenja brzine, na žalost, uz dobiveni rezultat mjerenja nije prikazana mjerna nesigurnost. Četiri certifikata su za etalon V1, a ostala tri certifikata su za etalon V2.

Popis tih certifikata s datumom izdavanja prikazan je ovdje:

- V1 Certifikat 2 7.1.2008. [16]
- V1 Certifikat 28.4.2014. [17]
- V1 Certifikat 9.8.2013. [18]

- V1 Certifikat 20.12.2010. [19]
- V2 Certifikat 28.3.2014. [20]
- V2 Certifikat 29.5.2013. [21]
- V2 Certifikat 12.1.2011. [22]

U certifikatima se deklarira da izmjerene dimenzije etalona zadovoljavaju normu. Također sve izmjerene brzine za svaki etalon zadovoljavaju zahtjev norme.

Na slici 14 može se vidjeti V1 Certifikat 2 7.1.2008., izmjerene dimenzije etalona i izmjerena brzina u iznosu od 5922m/s.

Measurement Report to Calibration Certificate Calibration block no. 1

Order no.: ████████

Serial number: ██████

Mechanical measurements [measures in mm]

Nom. measure Tol.: ± 0,1	Actual	PFM no	Remark	Nom. measure Tol.: ± 0,1	Actual	PFM no	Remark
100	99,96	23/16	Up to the groove front	30	29,97	23/16	Groove length front
100	99,97	23/16	Up to the groove rear	30	29,99	23/16	Groove length rear
100	99,98	82/01	Width	2	1,99	07/10	Width of groove
91	90,98	82/01	Hight at radius	0,5	0,50	07/10	Groove width front
∅ 3	3,00	98/03	Drill hole ∅ 3	0,5	0,50	07/10	Groove width rear
4	4,00	03/12	Groove depth front	15	15,00	23/16	Groove lenght
4	4,01	03/12	Groove depth rear	25	24,95	82/01	Thickness
30	29,97	82/01	Drill hole ∅ 50 vertical	R 100	O.K.	12/20	Radius
35	35,01	82/01	Drill hole ∅ 50 horizontal	300	299,98	91/01	Total length
85	84,95	23/16	Drill hole ∅ 3 vertical	200	200,00	91/01	Length up to groove
35	34,96	23/16	Drill hole ∅ 3 horizontal	∅ 50	50,03	04/11	Drill hole ∅ 50

All engravings were checked with scale- and radius gauges. They comply with standard EN 12223.

Ultrasonic measurements

5920 ±30 m/s	5922	27/20	v longitudinal	± 2 dB	1,5	02/20	ΔV to Reference echo
3255 ±15 m/s	3247	28/20	v transversal			18/20	
		02/20				0	

Slika 14. V1 Certifikat 2 7.1.2008. [16]

Na slici 15 može se vidjeti V1 Certifikat 28.4.2014., izmjerene dimenzije etalona i izmjerena brzina u iznosu od 5929m/s.

Messprotokoll zum Kalibrierzertifikat Kalibrierkörper Nr.1

Bestellnummer: ██████████

Identnummer des Kalibrierkörpers: ██████████

Serielle Nummer: ██████████

Mechanische Messungen [Messwerte in mm]

Soilwerte Tol.: ± 0,1	Ist- werte	PFM-Nr.	Bemerkung	Soilwerte Tol.: ± 0,1	Ist- werte	PFM Nr.	Bemerkung
100	100,04	23/16	bis Schlitz Vorderseite	30	30,02	23/16	Schlitzlänge Vorderseite
100	99,95	23/16	bis Schlitz Rückseite	30	30,05	23/16	Schlitzlänge Rückseite
100	100,02	82/01	Breite	2	1,97	07/10	Nutbreite
91	91,03	82/01	Höhe am Radius	0,5	0,50	07/10	Schlitzbreite Vorderseite
∅ 3	3,01	98/03	Bohrung ∅ 3	0,5	0,50	07/10	Schlitzbreite Rückseite
4	4,02	03/12	Schlitztiefe Vorderseite	15	15,01	23/16	Nutlänge
4	4,01	03/12	Schlitztiefe Rückseite	25	25,02	82/01	Dicke
30	30,03	82/01	Bohrung ∅ 50 vertikal	R 100	O.K.	12/20	Radius
35	35,01	82/01	Bohrung ∅ 50 horizontal	300	299,96	91/01	Gesamtlänge
85	85,00	23/16	Bohrung ∅ 3 vertikal	200	199,98	91/01	Länge bis Nut
35	35,00	23/16	Bohrung ∅ 3 horizontal	∅ 50	50,05	04/11	Bohrung ∅ 50

Alle Gravuren wurden mit Skalenlehren überprüft. Sie entsprechen den Vorgaben der Norm EN 2400.

Ultraschallmessungen

5920 ±30 m/s	5929	27/20	v longitudinal	± 2 dB	-0,5	02/20	ΔV zum Referenzecho
3255 ±15 m/s	3245	121/20	v transversal			44/20	
		02/20				18/20	

Slika 15. V1 Certifikat 28.4.2014 [17]

Na slici 16 može se vidjeti V1 Certifikat 9.8.2013., izmjerene dimenzije etalona i izmjerena brzina u iznosu od 5931m/s.

Measurement Protocol to Certificate Calibration block no. 1

Order no.: ██████████

ID no. of the calibration block: ██████████

Serial number: ██████████

Mechanical measurements [measures in mm]

Nom. measure Tol.: ± 0,1	Actual	PFM no	Remark	Nom. measure Tol.: ± 0,1	Actual	PFM no	Remark
100	99,97	23/16	Up to the groove front	30	30,01	23/16	Groove length front
100	99,99	23/16	Up to the groove rear	30	29,97	23/16	Groove length rear
100	100,01	82/01	Width	2	2,02	07/10	Width of groove
91	91,03	82/01	Hight at radius	0,5	0,50	07/10	Groove width front
∅ 3	3,01	98/03	Drill hole ∅ 3	0,5	0,50	07/10	Groove width rear
4	4,03	03/12	Groove depth front	15	14,97	23/16	Groove length
4	3,92	03/12	Groove depth rear	25	24,93	82/01	Thickness
30	29,99	82/01	Drill hole ∅ 50 vertical	R 100	O.K.	12/20	Radius
35	34,97	82/01	Drill hole ∅ 50 horizontal	300	299,95	91/01	Total length
85	85,00	23/16	Drill hole ∅ 3 vertical	200	199,96	91/01	Length up to groove
35	34,98	23/16	Drill hole ∅ 3 horizontal	∅ 50	50,01	04/11	Drill hole ∅ 50

All engravings were checked with scale- and radius gauges. They comply with standard EN 2400.

Ultrasonic measurements

5920 ±30 m/s	5931	27/20	v longitudinal	± 2 dB	0,0	02/20	ΔV to Reference echo
3255 ±15 m/s	3249	49/20	v transversal			44/20	
		02/20				18/20	

Slika 16. V1 Certifikat 9.8.2013. [18]

Na slici 17 može se vidjeti V1 Certifikat 20.12.2010., izmjerene dimenzije etalona i izmjerena brzina u iznosu od 5935m/s.

Measurement Report to Calibration Certificate

Calibration block no. 1

Order no.: ██████████

Serial number: ██████████

Mechanical measurements [measures in mm]

Nom. measure Tol.: ± 0,1	Actual	PFM no	Remark	Nom. measure Tol.: ± 0,1	Actual	PFM no	Remark
100	99,99	23/16	Up to the groove front	30	30,03	23/16	Groove length front
100	99,94	23/16	Up to the groove rear	30	29,96	23/16	Groove length rear
100	100,02	82/01	Width	2	2,04	07/10	Width of groove
91	91,02	82/01	Hight at radius	0,5	0,50	07/10	Groove width front
∅ 3	3,01	98/03	Drill hole ∅ 3	0,5	0,50	07/10	Groove width rear
4	4,04	03/12	Groove depth front	15	15,00	23/16	Groove lenght
4	4,02	03/12	Groove depth rear	25	25,01	82/01	Thickness
30	29,95	82/01	Drill hole ∅ 50 vertical	R 100	O.K.	12/20	Radius
35	34,98	82/01	Drill hole ∅ 50 horizontal	300	299,99	91/01	Total length
85	84,97	23/16	Drill hole ∅ 3 vertical	200	200,00	91/01	Length up to groove
35	34,97	23/16	Drill hole ∅ 3 horizontal	∅ 50	50,02	04/11	Drill hole ∅ 50

All engravings were checked with scale- and radius gauges. They comply with standard EN 12223.

Ultrasonic measurements

5920 ±30 m/s	5935	27/20	v longitudinal	± 2 dB	0,5	02/20	ΔV to Reference echo
3255 ±15 m/s	3253	28/20	v transversal			18/20	
		02/20				0	

Slika 17. V1 Certifikat 20.12.2010. [19]

Na slici 18 može se vidjeti V2 Certifikat 28.3.2014., izmjerene dimenzije etalona i izmjerena brzina u iznosu od 5928m/s.

Measurement Protocol for Certificate

Calibration block designation with certificate: **K2 - Zert**

Sales ID no.: ██████████

ID no. Of the calibration block: ██████████

Serial registration no: ██████████

The calibration block corresponds to DIN EN 7963 regarding material and dimensions.

Material: S355JO forged; EN 10025 + A1.

Mechanical measurements [measures in mm]

Nominal value	Actual value	Test device	Remarks
75±0,1	75,00	82/01	Lenght
12,5±0,1	12,52	79/02	Thickness
20±0,1	20,07	06/12	Center drill hole ∅ 5
25±0,1	25,03	23/16	Center drill hole ∅ 5
∅ 5±0,1	5,00	97/03	Drill hole ∅ 5
R 50±0,1	O.K.	23/20	Big radius
R 25±0,1	O.K.	22/20	Small radius
30°	30°	01/09	Angle

Ultrasonic measurements

Nominal value	Actual value	Test device	Remarks
5920 ±30 m/s	5928	27/20	v longitudinal
3255 ±15 m/s	3249	49/20	v transversal
		02/20	
± 2dB	0,0	02/20	ΔV to Reference echo
		44/20	
		19/20	

Slika 18. V2 Certifikat 28.3.2014. [20]

Na slici 19 može se vidjeti V2 Certifikat 29.5.2013., izmjerene dimenzije etalona i izmjerena brzina u iznosu od 5931m/s.

Measurement Protocol for Certificate

Calibration block designation with certificate: **K2 - Zert**

Sales ID no.: **██████**

ID no. Of the calibration block: **██████**

Serial registration no: **██████**

The calibration block corresponds to DIN EN 7963 regarding material and dimensions.

Material: S355JO forged; EN 10025 + A1.

Mechanical measurements [measures in mm]

Nominal value	Actual value	Test device	Remarks
75±0,1	74,98	82/01	Lenght
12,5±0,1	12,52	57/02	Thickness
20±0,1	20,04	06/12	Center drill hole Ø 5
25±0,1	24,95	23/16	Center drill hole Ø 5
Ø 5±0,1	5,00	97/03	Drill hole Ø 5
R 50±0,1	O.K	23/20	Big radius
R 25±0,1	O.K	22/20	Small radius
30°	30°	01/09	Angle

Ultrasonic measurements

Nominal value	Actual value	Test device	Remarks
5920 ±30 m/s	5931	27/20	v longitudinal
3255 ±15 m/s	3248	49/20	v transversal
		02/20	
± 2dB	-0,5	02/20 44/20 19/20	ΔV to Reference echo

Slika 19. V2 Certifikat 29.5.2013. [21]

Na slici 20 može se vidjeti V2 Certifikat 12.1.2011., izmjerene dimenzije etalona i izmjerena brzina u iznosu od 5933m/s.

Measurement Report to Calibration Certificate

Calibration block no. 2

Order no.: **██████**

Serial number: **██████**

Mechanical measurements [measures in mm]

Nom. measure Tol.: ± 0,1	Actual	PFM no	Remark
75	75,01	82/01	Lenght
12,5	12,54	57/02	Thickness
20	20,00	04/12	Center drill hole Ø 5
25	25,01	23/16	Center drill hole Ø 5
Ø 5	5,00	97/03	Drill hole Ø 5
R 50	O.K	23/20	Big radius
R 25	O.K	22/20	Small radius
30°	30°	01/09	Angle

Ultrasonic measurements

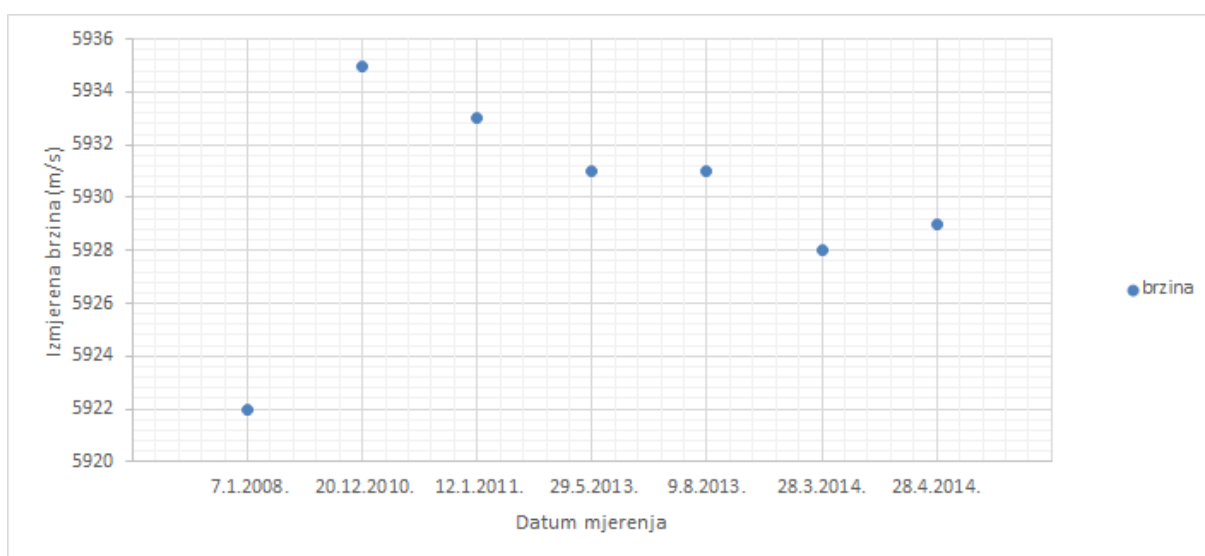
Nom. Measure	Actual	PFM no	Remark
5920 ±30 m/s	5933	27/20	v longitudinal
3255 ±15 m/s	3252	28/20	v transversal
		02/20	
± 2dB	-0,5	02/20 24/20 19/20	ΔV to Reference echo

All engravings were checked with scale- and radius gauges. They comply with standard EN 27963.

Slika 20. V2 Certifikat 12.1.2011. [22]

Može se uočiti da u ovih sedam certifikata rezultati poprimaju raspon vrijednosti od 5922m/s do 5935m/s. Uočljivo je kako ni jedan rezultat nije ispod nominalne vrijednosti u normi od 5920m/s. Ni jedan etalon ne odstupa od zahtjeva norme što omogućava obnovljivost i ponovljivost svih mjerenja, a budući da se radi o etalonima iz različitih laboratorija osigurava se usporedivost rezultata.

Grafički prikaz (slika 21) prikazuje vrijednosti rezultata mjerenja brzine na ovih sedam certifikata, poredanih kronološki.



Slika 21. Grafički prikaz vrijednosti izmjerenih brzina

Može se uočiti da se izmjerila ista brzina od 5931 m/s na V2 Certifikat 29.5.2013. i na V1 Certifikat 9.8.2013. Ta dva etalona su od istog proizvođača, a relativno je mali vremenski razmak između mjerenja, što može upućivati da su ispitani s istim (umjerenim) mjernim uređajima. Napravljeni su od istog materijala što može upućivati da potječu od iste šarže, a sasvim je logično da za materijal koji je podvrgnut istoj toplinskoj obradi kako bi se postigla fina i homogena mikrostruktura, da se dobije rezultat mjerenja brzine sa što manjom razlikom.

3. POSTAVKE MJERENJA

Provodila su se tri mjerenja:

- Prvo mjerenje – sandom K5N-F na osciloskopu LeCroy 9310AM (tehnikom *pulse overlap*)
- Drugo mjerenje – sandom K5N-F na digitalnom uređaju Krautkramer USN-60
- Treće mjerenje – *TopCOAT* sandom na digitalnom uređaju Krautkramer DMS-2

Sva tri mjerenja odrađena su u Laboratoriju za nerazorna ispitivanja na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.

Mjerenja su provedena na etalonima koji nemaju certifikate, jer u okviru izrade ovog rada nije bilo moguće posuditi etalone od laboratorija zbog njihovih redovitih poslova ispitivanja. Mjerenja su provedena na radnom etalonu br. 1 (V1) i na radnom etalonu br.2 (V2) čije su referentne debljine izmjerene na mjernoj granitnoj ploči digitalnim visinomjerom „Mitotoyo“ rezolucije 0,1 μm te iznose:

$$D_{V1} = 25,001\text{mm}$$

$$D_{V2} = 12,500\text{mm}$$

Prvo mjerenje za određivanje grupne longitudinalne brzine provedeno je sukladno zahtjevima normi [6] i [9] u pogledu odabranih parametar ultrazvučne sonde te je tako odabrana sonda oznake K5N-F (tablica 1) čije tehničke specifikacije zadovoljavaju zahtjeve u pogledu određivanja ultrazvučne brzine.

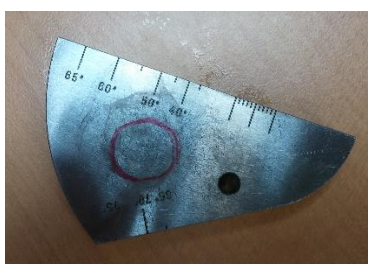
Tablica 1. Parametri sonde

Oznaka	f , MHz	B_w , %	D , mm
K5N-F	5	70	10

Kod mjerenja brzine ultrazvuka tehnikom odjeka mjereno je vrijeme preleta preklapanjem ultrazvučnog impulsa, tj. trebalo je dva signala odjeka na zaslonu osciloskopa namjestiti da se što bolje preklapaju. Mjerenje je provedeno na preklopljenim signalima u pet točaka (T1, T2, T3, T4, T5). Mjerenje se provelo na jednom mjestu koje se prije označilo markerom kako bi naknadna dva mjerenja bila na istom mjestu. Slika 22 i 23 prikazuju mjesto mjerenja na etalonima V1 i V2.

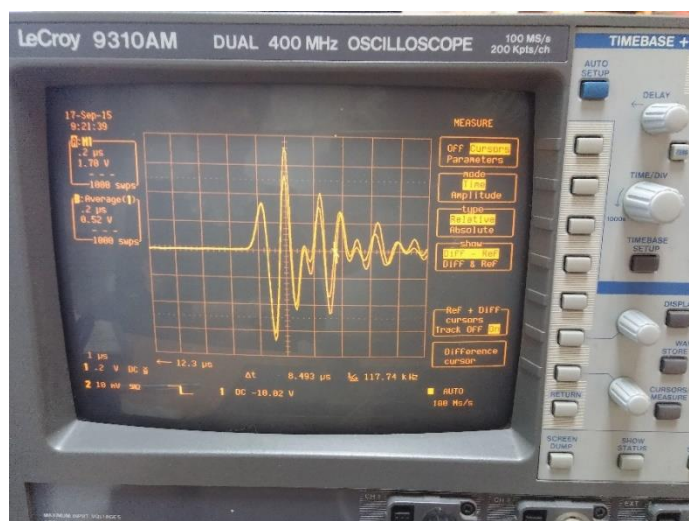


Slika 22. Mjerno mjesto na etalonu V1



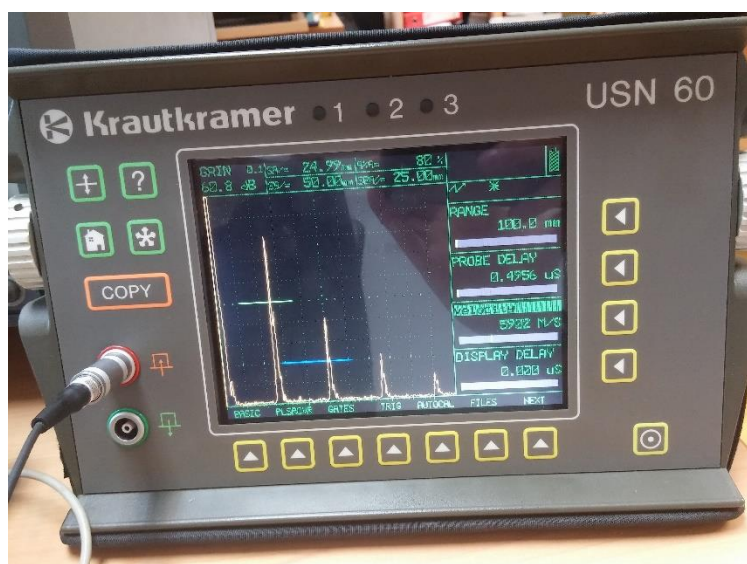
Slika 23. Mjerno mjesto na etalonu V2

Tehnika *pulse overlap* sa dva preklapljena impulsa može se vidjeti na slici 24.



Slika 24. Tehnika *pulse overlap*

Nakon što su prikupljeni svi rezultati prvog mjerenja na osciloskopu, pristupilo se mjerenju brzine ultrazvuka pomoću digitalnog uređaja Krautkramer USN-60, označeno kao drugo mjerenje. Mjeritelj kojem je poznata debljina ispitivanog etalona, na uređaju postavlja udaljenost puta koju će signal prevaliti nakon odbijanja od stražnje stijenke etalona i to dva susjedna odjeka. Uređaj na temelju vremena proleta ultrazvučnog impulsa izračunava i prikazuje brzinu ultrazvuka u ispitivanom etalonu. Amplituda prvog odjeka postavljena je na 80% visine ekrana, dok je prag očitavanja prvog signala postavljen na 50% visine ekrana, a drugog signala na 20% visine ekrana. Na ovaj način osiguralo se minimiziranje utjecaja ultrazvučnog uređaja na rezultat mjerenja te ujednačenost mjerenja za sve etalone. Na slici 25 se može vidjeti takva postava.



Slika 25. Postava mjerenja na uređaju USN-60

Zadnje se mjerilo digitalnim uređajem Krautkramer DMS-2 s *TopCOAT* sondom. Kao i kod prethodnog mjerenja, uređaj sam izračunava brzinu ultrazvuka.

4. OBRADA REZULTATA MJERENJA

Kao što je navedeno u prethodnom poglavlju, provedena su tri mjerenja na dva različita etalona pomoću tri ultrazvučna uređaja.

Osciloskopom je mjereno vrijeme preleta tehnikom *pulse overlap*, te su dobiveni rezultati u μs . Kako bi se iz rezultata mjerenja izračunala brzina ultrazvuka u ispitivanim etalonima, potrebno je znati debljinu etalona. Iz ta dva podatka zatim se izračunava brzina ultrazvuka sljedećom jednačbom (4)

$$v = \frac{s}{t} \quad (4)$$

gdje je:

v = brzina ultrazvuka (m/s),

s = put koji prevali ultrazvučni signal (m),

t = vrijeme preleta signala (s) [23].

Budući da se mjerilo vrijeme prolaska ultrazvučnog impulsa od trenutka ulaska u materijal pa sve do povratka prvog reflektiranog signala u sondu, prijeđeni put ultrazvučnog impulsa jednak je dvostrukoj debljini mjernog mjesta te to treba uzeti u obzir u izračunu. Uz izračunate brzine iskazana je i njihova aritmetička sredina \bar{x} i standardna devijacija s .

Rezultati mjerenja za etalon V1 nalaze se u tablici 2, a rezultati mjerenja za etalon V2 nalaze se u tablici 3.

Tablica 2. Rezultati mjerenja osciloskopom na etalonu V1

Točke preklapanja signala	Vrijeme preleta (μs)	Brzina ultrazvuka (m/s)
T1	8,481	5896
T2	8,481	5896
T3	8,487	5892
T4	8,488	5891
T5	8,483	5894
\bar{x}	8,486	5894
s	0,005099	2,28

Tablica 3. Rezultati mjerenja osciloskopom na etalonu V2

Točke preklapanja signala	Vrijeme preleta (μs)	Brzina ultrazvuka (m/s)
T1	4,209	5940
T2	4,205	5945
T3	4,209	5940
T4	4,209	5940
T5	4,207	5943
\bar{x}	4,208	5942
s	0,001789	2,30

Mjerenja su se izvela na samo jednom mjernom mjestu, budući da su se ova mjerenja već izvodila i dokazano je da nema velike razlike u odnosu na mjerno mjesto [23]. To znači da je mikrostruktura toplinskom obradom kako je specificirano u normi dobro provedena.

Etalon V1 i etalon V2 zadovoljava zahtjev norme od $5920\text{m/s} \pm 30\text{m/s}$. Prvo što se može primijetiti je da postoji razlika između brzina propagacije ultrazvuka među ispitanim etalonima, pa se iz toga može zaključiti kako svaki etalon ima različita svojstva, te se sukladno tome brzina ultrazvuka kroz svaki od njih međusobno razlikuje.

Prilikom mjerenja digitalnim uređajima USN-60 i DMS-2 nije bilo potrebno ručno računati brzinu ultrazvuka budući da to uređaj samostalno provodi. U tablici 4 usporedno su prikazani rezultati mjerenja na ta dva uređaja i aritmetičke sredine izračunatih brzina na osciloskopu.

Tablica 4. Rezultati mjerenja na uređajima USN-60 i DMS-2

Oznaka	USN-60	DMS-2	Osciloskop
	Brzina ultrazvuka (m/s)		
Etalon V1	5902	5904	5894
Etalon V2	5946	5955	5942

Izračunate brzine na osciloskopu se dostatno razlikuju od rezultata dobivenih na mjernim uređajima, što možemo pripisati tome kako svaki uređaj ima različitu rezoluciju mjerenja. Međutim, između digitalnih ultrazvučnih uređaja nema značajne razlike u rezultatima. Kao i kod prvog mjerenja osciloskopom, postoji razlika u rezultatima između etalona V1 i V2 zbog različitih svojstva etalona.

5. ZAKLJUČAK

U teorijskom dijelu rada prikazani su zahtjevi relevantnih tehničkih normi i specifikacija u pogledu ispitnog postava i mjernih parametara za određivanje longitudinalne brzine ultrazvuka u radnim etalonima. Prikazani su načini s kojima se može izmjeriti brzina ultrazvuka u materijalima nepoznate brzine uz pomoć referentnog uzorka. Definirani su normirani zahtjevi postavljeni na radne etalone br.1 i br.2 u pogledu njihove izrade i mikrostrukture, dimenzijskih parametara te zahtijevane brzine ultrazvuka u njima. Istražilo se u dostupnim izvorima (certifikatima) na koje se sve načine deklarira brzina longitudinalnih valova u radnim etalonima. Moglo se zaključiti da ako je mikrostruktura ista, tj. da su različiti etaloni napravljeni iz iste šarže i podvrgnuti jednakim uvjetima ispitivanja i to u kratkom vremenskom razdoblju, mogu se očekivati jako slični rezultati, pa čak i isti.

U skladu s danim pregledom zahtjeva i postojeće prakse u pogledu postupaka mjerenja, odabrano se nekoliko različitih postava mjerenja longitudinalne ultrazvučne brzine u radnim etalonima. Dobiveni rezultati su se usporedno prikazali te se može zaključiti kako su sve izmjerene brzine propagacije ultrazvuka na etalonu V1 u sukladnosti sa zahtjevom iz norme EN ISO 2400:2012. Također kod etalona V2 može se zaključiti da izmjerene brzine propagacije ultrazvuka zadovoljavaju zahtjev norme EN ISO 7963:2010, osim izmjerene brzine kod ultrazvučnog uređaja DMS-2 gdje je dobiveni iznos brzine bio veći od one propisane normom. Pridržavanje zahtjeva i specifikacija deklariranih u normama od velike je važnosti u polju kontrole kvalitete. Time se osigurava obnovljivost i ponovljivost rezultata, osigurava se kvaliteta proizvoda i ispitivanja te sljedivost rezultata.

LITERATURA

- [1] Amidžić, S.: Ultrazvučna ispitivanja proizvoda,
https://www.google.hr/?gfe_rd=cr&ei=p9bOV9frFoKEtAGRko6ICg#q=unze.ba%2Fam%2Fip%2Fseminarski2011%2Famidzic_Samra.doc , 26.8.2016.
- [2] Krstelj, V.: Ultrazvučna kontrola, Zagreb, 2003.
- [3] http://www.azur-electronics.com/Pages/lecroy_9310_dual_300mhz_oscilloscope.aspx,
14.9.2016.
- [4] <http://www.intechnde.com/store/krautkramer-usn-60.html>, 14.9.2016.
- [5] ASTM E494-95, *Standard practice for measuring ultrasonic velocity in materials*
- [6] EN ISO 2400:2012, *Non-destructive testing – Ultrasonic testing – Specification for calibration block No.1*
- [7] EN 12223:2000, *Non-destructive testing – Ultrasonic examination – Specification for calibration block No.1*
- [8] EN 27963:1992, *Specification for calibration block No. 2 for ultrasonic examination of welds*
- [9] EN ISO 7963:2010, *Non-destructive testing – Ultrasonic testing – Specification for calibration block No. 2*
- [10] <https://www.phtool.com/store2/proddetail.asp?prod=CALBLK1.X>, 14.9.2016.
- [11] <https://www.phtool.com/store2/proddetail.asp?prod=V2A4.12.5.T>, 14.9.2016.
- [12] Certificate of Conformity, Calibration block No1, 7.1.2008..pdf
- [13] Certificate of Conformity, Calibration block No1, 3.5.2004..pdf
- [14] Certificate of Conformity, Calibration block No2, 8.6.2004..pdf
- [15] Certificate of Conformity, Calibration block VW, 1.10.2007..pdf
- [16] Certificate of Conformity, Calibration block No1, 7.1.2008..pdf
- [17] Certificate of Conformity, Calibration block No1, 28.4.2014..pdf
- [18] Certificate of Conformity, Calibration block No1, 9.8.2013..pdf
- [19] Certificate of Conformity, Calibration block No1, 20.12.2010..pdf
- [20] Certificate of Conformity, Calibration block No2, 28.3.2014..pdf
- [21] Certificate of Conformity, Calibration block No2, 29.5.2013..pdf
- [22] Certificate of Conformity, Calibration block No2, 12.1.2011..pdf
- [23] Režek, M.: Određivanje brzine ultrazvuka, diplomski rad, Zagreb, 2012.