

Razrada postupka umjeravanja mjernih listića

Nedved, Domagoj

Undergraduate thesis / Završni rad

2009

*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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:969734>

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

*Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-20***

Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu

Fakultet strojarstva i brodogradnje

ZAVRŠNI RAD

Domagoj Nedved

Zagreb, 2009.

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet strojarstva i brodogradnje

ZAVRŠNI RAD

Voditelj rada:

Prof. dr. sc. Sanjin Mahović

Domagoj Nedved

Zagreb, 2009.

Izjavljujem da sam ovaj Završni rad izradio samostalno služeći se stečenim znanjem i navedenom literaturom.

Zahvaljujem svom mentoru, prof. dr. sc. Sanjinu Mahoviću, na stručnim savjetima, te na ukazanom povjerenju da će ovaj zadatak izvršiti u roku.

Gorani Barišić, dipl. ing., zahvaljujem na pomoći oko uređenja teksta i usuglašenosti izražavanja.

Tomislavu Habeku zahvaljujem na pomoći prilikom provedbe mjerenja u Laboratoriju.

POPIS OZNAKA

R_a , μm	- amplitudni parametar hrapavosti – srednje aritmetičko odstupanje
v , m/s	- brzina strujanja zraka
v_{max} , m/s	- maksimalna brzina strujanja zraka na izlazu iz zračnih kanala
v_{min} , m/s	- minimalna brzina strujanja zraka na izlazu iz zračnih kanala
s , mm	- nazivna mjera
L_s , mm	- stvarna (korigirana) debljina mjernog listića
L_{Si} , mm	- izmjerena debljina mjernog listića
δL_{Si} , μm	- utjecaj granične pogreške
δL_T , μm	- utjecaj temperature
δL_E , μm	- utjecaj elastične deformacije
δL_A , μm	- utjecaj Abbe-ove pogreške
δL_P , μm	- utjecaj nesuosnosti mjernih listića
$s(L_{Si})$, μm	- standardno odstupanje jednog mjerjenja
$u(L_{Si})$, μm	- standardna nesigurnost za tri ponovljena mjerjenja
$u(\delta L_{Si})$, μm	- standardna nesigurnost granične pogreške
L , m	- nazivna debljina mjernog listića
t_M , $^{\circ}C$	- temperatura mjerne skale
t_{EP} , $^{\circ}C$	- temperatura mjernog listića
Δt_l , $^{\circ}C$	- rezlika temperature mjerne skale i mjernog listića
$u(\Delta t_l)$, $^{\circ}C$	- standardna nesigurnost očitanja razlike temperature
α , K^{-1}	- koeficijent temperaturnog rastezanja
$u(\alpha)$, K^{-1}	- standardna nesigurnost koeficijenta temperaturnog rastezanja
$u_c(\delta L_T)$, μm	- sastavljena standardna nesigurnost temperaturne korekcije
$u(\delta L_E)$, μm	- standardna nesigurnost elastične deformacije uslijed mjerne sile
$u(\delta L_P)$, μm	- standardna nesigurnost zbog nesuosnosti
$u_c(L_s)$, μm	- sastavljena standardna nesigurnost debljine mjernog listića
U , μm	- linearizirana proširena mjerna nesigurnost

DIN	- Deutsches Institut für Normung, (njemački institut za norme)
LFSB	- Laboratorij za precizna mjerjenja dužina
SIT	- Servizio di taratura in Italia-Torino (talijanski ovlašteni laboratorij)

- CT-FSB - Centro di taratura- Fakultet strojarstva i brodogradnje (umjerni centar ovlašten od strane SIT-a)
- INRIM - Instituto Nazionale di Ricerca Metrologica (talijanski nacionalni mjeriteljski institut)
- PTB - Physikalisch-Technische Bundesanstalt (njemački nacionalni mjeriteljski institut)

SAŽETAK

U prvom dijelu ovog Završnog rada opisana je djelatnost Laboratorija za precizna mjerjenja dužina (s naglaskom na umjeravanju etalona i mjerila duljina), koja proizlazi iz preuzete obveze kao ovlaštenog mjeriteljskog laboratorija. Laboratorij je zadužen za čuvanje državnih etalona za duljinu, hrapavost i kut, te je ovlašten provoditi umjeravanja. U nastavku je dan naglasak na uvjete u pogledu smještaja i okoliša koje Laboratorij mora zadovoljavati kako bi mogao vršiti umjeravanja za koja je ovlašten.

U drugom dijelu je opisana namjena mjernih listića, te njihove konstrukcijske i tehničke karakteristike koje proizlaze iz vrijedeće DIN norme. Također u ovom dijelu Završnog rada dan je cjelokupni postupak provedenih mjerjenja pomoću digitalnog mikrometra, digitalnog visinomjera i univerzalnog uređaja za mjerjenje duljina, te usporedba na temelju odstupanja od nazivne mjere potkrijepljena tablicama i slikovnim prikazima.

U posljednjem dijelu je za odabranu mjernu metodu (umjeravanje pomoću univerzalnog uređaja za mjerjenje duljina) opisana procedura za umjeravanje s proračunom za iskazivanje mjerne nesigurnosti.

SADRŽAJ

1.	UVOD.....	4
2.	DJELATNOSTI LABORATORIJA.....	5
2.1.	PODRUČJE PRIMJENE.....	6
2.2.	UVJETI SMJEŠTAJA.....	8
2.3.	OKOLIŠNI UVJETI.....	11
2.3.1.	Temperatura.....	11
2.3.2.	Vlažnost.....	13
2.3.3.	Vibracije.....	13
2.3.4.	Buka.....	14
2.3.5.	Rasvjeta.....	14
2.3.6.	Protupožarna zaštita.....	14
2.3.7.	Sigurnosna zaštita.....	14
2.3.8.	Održavanje čistoće.....	14
2.4.	METODE UMJERAVANJA.....	15
2.5.	SLJEDIVOST.....	19
3.	MJERNI LISTIĆI.....	20
4.	PROVEDENA MJERENJA.....	24
4.1.	MJERENJE POMOĆU DIGITALNOG MIKROMETRA.....	24
4.2.	MJERENJE POMOĆU DIGITALNOG VISINOMJERA.....	27
4.3.	MJERENJE POMOĆU UNIVERZALNOG UREĐAJA ZA MJERENJE DULJINA.....	30
4.4.	USPOREDBA REZULTATA MJERENJA.....	32
5.	POSTUPAK UMJERAVANJA.....	49
5.1.	PODRUČJE PRIMJENE.....	49
5.2.	NORME I REFERENTNI DOKUMENTI.....	49
5.3.	PROVJERA CERTIFIKATA MJERNIH SREDSTAVA.....	49
5.4.	PRIPREMA ZA PROVEDBU UMJERAVANJA.....	49
5.5.	PRETHODNA ISPITIVANJA.....	49
5.6.	PROVEDBA UMJERAVANJA.....	50
5.7.	OBRADA I PRIKAZIVANJE REZULTATA.....	50
5.8.	PRORAČUN ZA ISKAZIVANJE MJERNE NESIGURNOSTI.....	50
5.8.1.	Matematički model mjerena.....	51

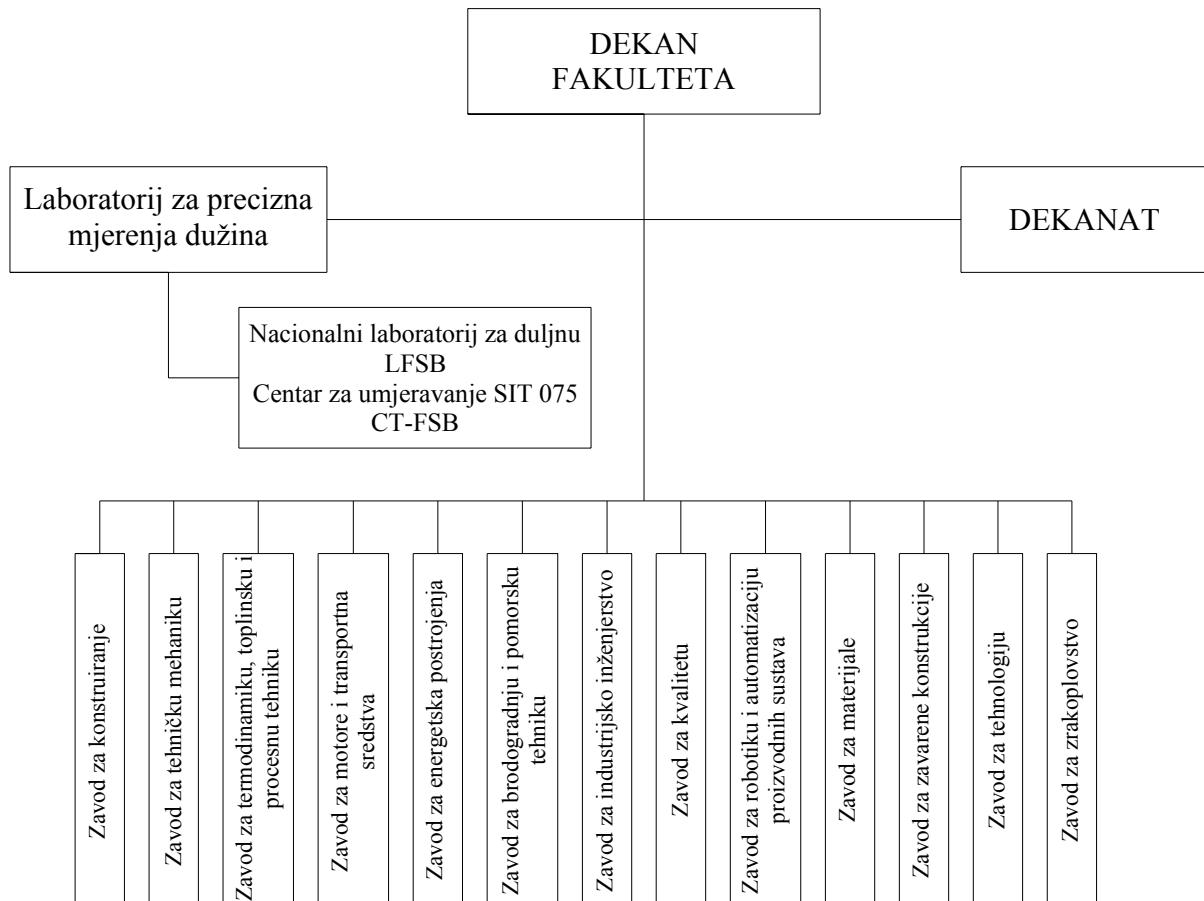
5.8.2.Ponovljivost.....	51
5.8.3.Granična pogreška.....	51
5.8.4.Temperaturna korekcija.....	52
5.8.5.Nesigurnost mjerjenja rezlike temperatura.....	52
5.8.6.Nesigurnost linearног koeficijenta temperaturnog rastezanja.....	51
5.8.7.Elastična deformacija uslijed mjerne sile.....	53
5.8.8.Abbe-ova pogreška.....	53
5.8.9.Nesigurnost zbog nesuosnosti mjernih ticala.....	53
5.8.10.Proširena mjerna nesigurnost.....	54
5.9.SLJEDIVOST.....	56
Privitak.....	57
6. ZAKLJUČAK.....	59
LITERATURA.....	60

1. UVOD

Svrha ovog Završnog rada je razrada postupka umjeravanja seta mjernih listića. Razradu postupka umjeravanja kao i sam postupak umjeravanja potrebno je provesti u Laboratoriju za precizna mjerjenja duljina. Laboratorij djeluje u okviru Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu čija je djelatnost opisana u točki 2. Sukladno ovlaštenjima Laboratorij čuva državne etalone za duljinu, kut i hrapavost, a na temelju akreditacije talijanskog ovlaštenog laboratorijskog (SIT) ovlašten je provoditi umjeravanja. U dalnjem tekstu uvjeti smještaja, metode umjeravanja i sljedivost na području umjeravanja etalona i mjerila duljina. Također u točki 3. opisana je upotreba mjernih listića, te njihove konstrukcijske i tehničke karakteristike prema DIN normi. Nadalje u tekstu su navedena i opisana provedena mjerjenja. Naposlijetku na temelju usporedbe rezultata mjerjenja dobivenih na tri uređaja (digitalni mikrometar, digitalni visinomjer i univerzalni uređaj za mjerjenje duljina) odabran je univerzalni uređaj za mjerjenje duljina i za njega je razrađen postupak umjeravanja s proračunom mjerne nesigurnosti.

2. DJELATNOSTI LABORATORIJA

Fakultet strojarstva i brodogradnje (FSB) je kao pravna osoba registriran za aktivnosti LFSB-a (Laboratorij za precizna mjerena dužina) prema MBS: 3276546 sudskog registra Trgovačkog suda u Zagrebu. Laboratorij za precizna mjerena dužina je ujedno i nacionalni laboratorij za duljinu, što znači da ima zadaću održavanja, prezentiranja i prenošenja vrijednosti s državnih etalona za duljinu, kut i hrapavost. Također kao ovlašteni mjeriteljski laboratorij ima zadaću čuvanja mjeriteljske infrastrukture u zemlji, temeljem certifikata umjeravanja od drugog ovlaštenog laboratorijskog (SIT). Organizacijska struktura Fakulteta strojarstva i brodogradnje prikazana je na slici 1.



Slika 1. Organizacijska struktura Fakulteta strojarstva i brodogradnje [1]

2.1. PODRUČJE PRIMJENE

Priručnikom o kvaliteti definira se sustav upravljanja kvalitetom u LFSB-u za sveukupnu djelatnost Laboratorija. Sustav se striktno primjenjuje na djelatnosti Laboratorija određene sljedećim dokumentima (ovlaštenjima):

Rješenje Državnog zavoda za normizaciju i mjeriteljstvo o prihvaćanju Referentne garniture planparalelnih graničnih mjerki za državni etalon za duljinu Zagreb, 31. kolovoza 2000. (KLASA: 406-09/89-01/01, URBROJ: 558-03/3-00-3). Rješenje o dopuni rješenja o prihvaćanju etalona za državni etalon za duljinu Zagreb, 01. prosinca 2006. (KLASA: 960-03/06-06/2, URBROJ: 558-06/30-06/2).[1]

Rješenje Državnog zavoda za mjeriteljstvo o prihvaćanju etalona za državne etalone za hrapavost Zagreb, 07. ožujka 2007. (KLASA: 406-05/06-02/5, URBROJ: 558-04/1-07-78).[1]

Akreditacija Centra za umjeravanje (CT-FSB) od strane SIT-a (Servizio di taratura in Italia-Torino) za područja hrapavosti i duljine. [1]

Državni etalon za duljinu sasatoji se od:

1. 121 planparalelne granične mjerke, duljine od 0,5 mm do 100 mm, proizvođača MAHR, model 409, serijski broj 908973;
2. Pet dugih planparalelnih graničnih mjerki, duljine od 125 mm do 250 mm, proizvođača Johansson, serijski broj 900061;
3. Tri duge planparalelne granične mjerke, duljine od 300 mm do 700 mm, proizvođača Koba, serijski broj 86298;
4. Dva mjerna prstena nazivnih promjera Ø13,9983 mm i Ø50,0004 mm, proizvođača, Joint, serijski broj NO 0313;
5. Precizne staklene mjerne skale, duljine 100 mm, proizvođača NPL, serijski broj SM.

Državni etaloni za hrapavost sastoje se od slijedećih komponenata:

1. Etalon hrapavosti $R_a = 0,42 \mu\text{m}$; proizvođača MAHR-Perthen; serijski broj 6453; vrsta: Tip C s valovitim brazdama; materijal: staklo;
2. Etalon hrapavosti $R_a = 0,810 \mu\text{m}$; proizvodača LFSB-RIZ; serijski broj 0-6; vrsta: Tip C s pravokutnim brazdama; materijal: monokristal silicija sa slojem SiO_2 ;
3. Etalon hrapavosti $R_a = 1,878 \mu\text{m}$; proizvodača LFSB-RIZ; serijski broj 0-8; vrsta: Tip C s pravokutnim brazdama; materijal: monokristal silicija sa slojem SiO_2 .

Sukladno akreditaciji SIT-a Laboratorij je ovlašten provoditi umjeravanja prema tablici 1.

Tablica 1. Umjeravanja ovlaštena od strane SIT-a [1]

Mjerno sredstvo	Mjerno područje	Mjerna nesigurnost
Mjerni uređaji i etaloni za ispitivanje hrapavosti	$R_a = (0,008-30) \mu\text{m}$ $R_y = R_z = (0,025-100) \mu\text{m}$	5% 8%
Planparalelne granične mjerke	(0,5-100) mm	(0,05 + 1,1L) μm
Štapni kontrolnik	do 500 mm	(0,6 + 11,5L) μm
Granična mjerila za unutarnji paralelni navoj izratka sa simetričnim profilom	-	3,026 μm
Granična mjerila za vanjski paralelni navoj izratka sa simetričnim profilom	-	3,52 μm
Pomična mjerila	do 1000 mm	(10 + 9L) μm
Mikrometar za vanjska mjerena	do 500 mm	(1,2 + 5L) μm
Štapni mikrometri	do 3000 mm	(1,6 + 8,5L) μm
Trokraki mikrometri	do 125 mm	(1,5 + 4L) μm
Visinomjer	do 1000 mm	(10 + 9L) μm
Dubinomjer	do 700 mm	(7 + 8L) μm
Kontrolni prsteni i granična mjerila za osovinu	od 8 mm do 150 mm	(0,6 + 0,7L) μm
Granična mjerila za prvrte	do 200 mm	1 μm
Mjerna ura	do 100 mm	(3 + 1,5L) μm
Komparator	do 1 mm	0,7 μm
Duge planparalelne granične mjerke	od 100 mm do 500 mm	(0,17 + 1,2L) μm

Napomene:

Mjerna nesigurnost iskazana je uz interval povjerenja od 95%.

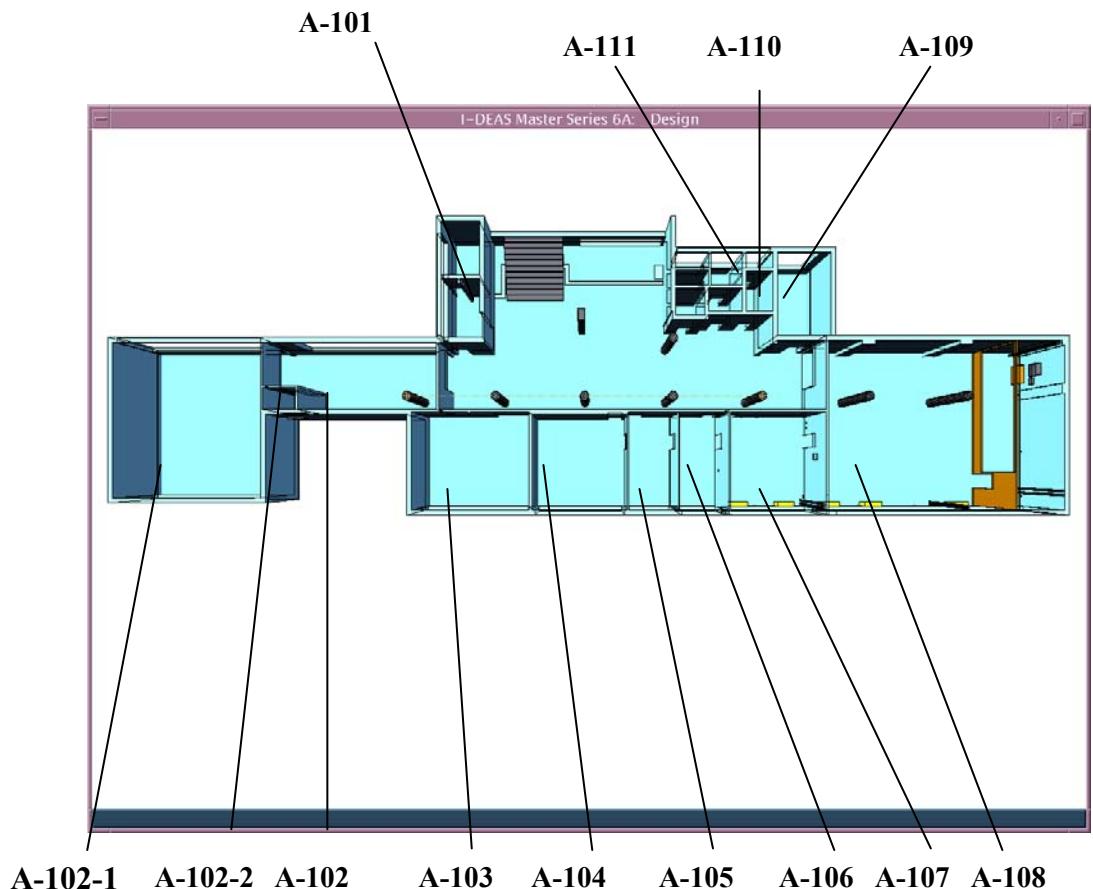
Vrijednosti mjerene veličine L su u metrima

Na mjestima u Laboratoriju gdje se provodi umjeravanje akreditirano od SIT-a, istaknut je natpis: „SIT UMJERAVANJE“, također za provedena umjeravanja izdaju se certifikati sa znakom SIT-a.

2.2. UVJETI SMJEŠTAJA

Laboratoriji za precizna mjerjenja dužina (LFSB) nalazi se u niskom prizemlju sjeverne zgrade Fakulteta strojarstva i brodogradnje, koja je smještena u ulici Ivana Lučića 1, u Zagrebu. LFSB posjeduje jedanaest prostorija ukupne površine $349,2\text{ m}^2$ čiji je raspored prikazan na slici 2.

1. A-102, 102-1, 102-2 –površina $96,7\text{ m}^2$
2. A-101 –površina $13,8\text{ m}^2$
3. A-103 –površina $31,8\text{ m}^2$
4. A-104 –površina $26,0\text{ m}^2$
5. A-105 –površina $13,7\text{ m}^2$
6. A-106 –površina $13,7\text{ m}^2$
7. A-107 –površina $25,5\text{ m}^2$
8. A-108 –površina $102,8\text{ m}^2$
9. A-109 –površina $12,0\text{ m}^2$
10. A-110 –površina $4,5\text{ m}^2$
11. A-111 –površina $8,9\text{ m}^2$

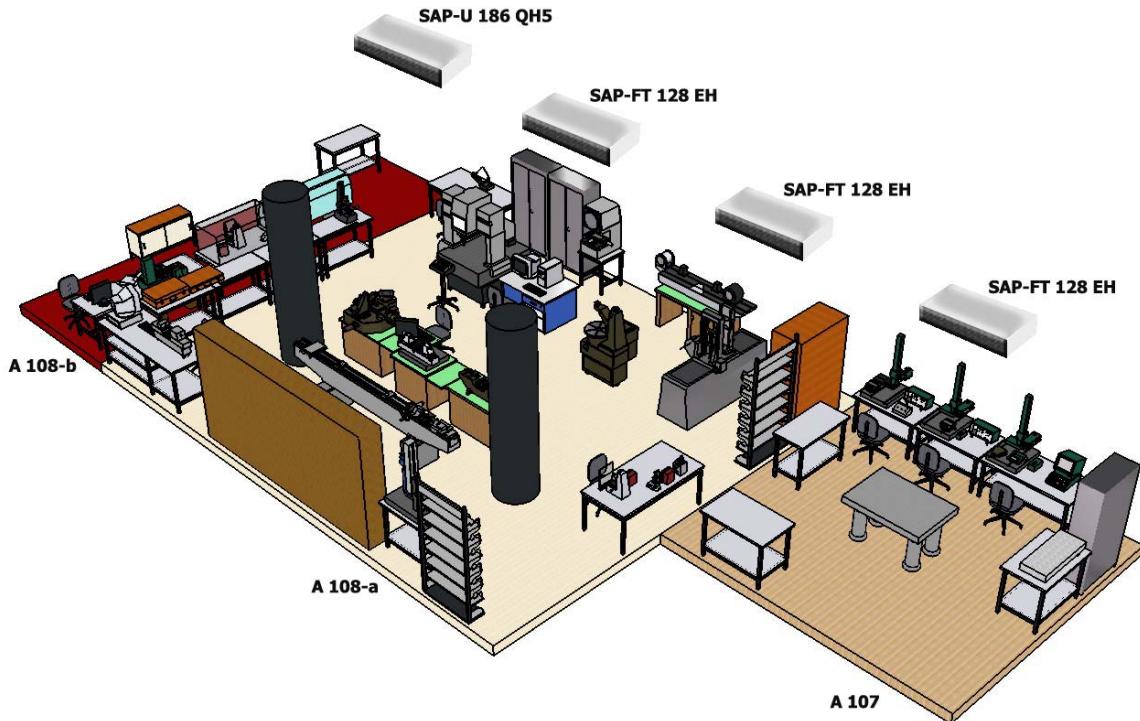


Slika 2. Raspored prostorija u LFSB [1]

Instrumenti i mjerni uređaji u mjeriteljskim prostorijama Laboratorija razmješteni su prema područjima mjerjenja, odnosno prema uvjetima smještaja i okoliša koje pojedina metoda mjerjenja zahtjeva.

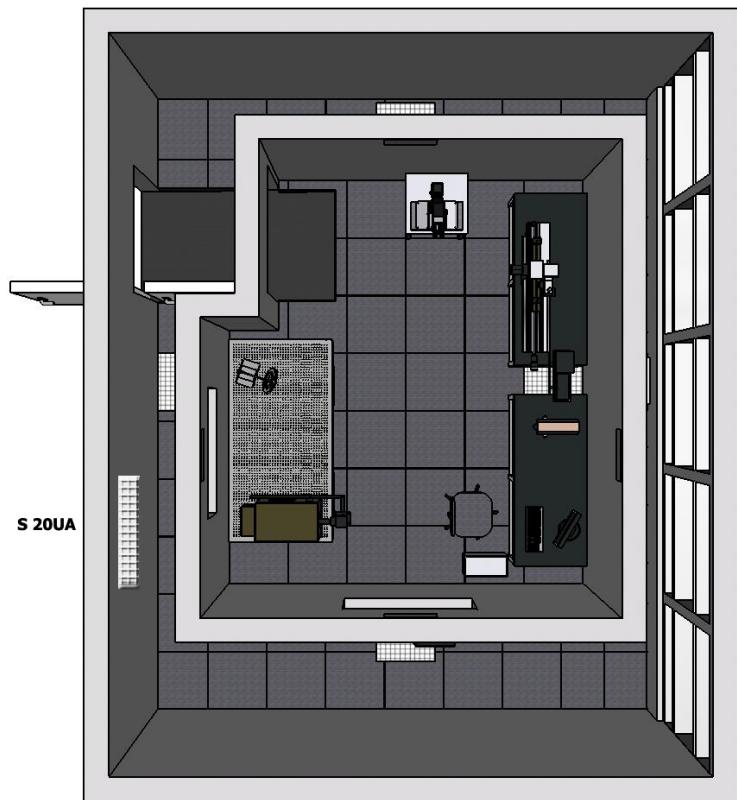
Stakleni prozori smješteni su na južnom zidu i u potpunosti su zaštićeni metalnim zakretnim roletama. Na taj se način stvara zračni tunel koji prirodno klimatizira prostor Laboratorija, te je prepreka vanjskim toplinskim zračenjima. Klimatizirane prostorije Laboratorija, gdje su instrumenti i mjerni uređaji, mjeriteljske su prostorije A-107, A-108-a, A-108-b i A-103. Mjeriteljske prostorije A-107 i A-108-a odvojene su zidom s vratima, a mjeriteljske prostorije A-108-a i A-108-b odvojene su staklenom pregradom. Mjeriteljska prostorija A-103 je temeljima odvojena od zgrade i unutar prostorije postoji posebno ogradien mjeriteljski prostor. Namijenjena je interferometriji (nanomjeriteljstvo), pa je potreban poseban nadzor

mikroklime. Na slici 3. prikazan je raspored klima-uređaja u mjeriteljskim prostorijama A-107, A-108-a i A-108-b.



Slika 3. Raspored klima-uređaja u mjeriteljskim prostorijama LFSB-a [1]

Mjeriteljske prostorije A-107 i A-108-a klimatizirane su uređajima proizvođača SANYO, tipa SAP-FT 128 EH (unutarnja jedinica) i SAP-C 128 EH (vanska jedinica), rashladnog učina 3350 W i ogrjevnog učina 3900 W. Brzina strujanja zraka u zoni boravka (do 1,6 m iznad poda) ne prelazi vrijednost od $v=0,2$ m/s. Smjer strujanja zraka može se u horizontalnom smjeru podešavati ručno, a u vertikalnom smjeru podešava se automatski. Mjeriteljska prostorija A-108-b klimatizirana je uređajima proizvođača SANYO, tipa SAP-U186 QH5 (unutarnja jedinica) i SAP-C 186 QH5N (vanska jedinica), rashladnog učina 4950 W i ogrjevnog učina 6000 W. Unutarnja jedinica SAP-U 186 QH5 pomoću dva kanala upuhuje zrak u prostoriju. Brzine strujanja na izlazu iz zračnih kanala su $v_{max}=0,84$ m/s i $v_{min}=0,66$ m/s. Mjeriteljska prostorija A-103 klimatizirana je uređajem proizvođača Liebert HIROSS model S 20UA rashladnog učina od 11000 W i ogrjevnog učina od 12500 W. Prostorija je izvedena kao soba u sobi radi što boljeg održavanja uvjeta mikroklime. Na slici 4. prikazan je položaj klima-uredaja u mjeriteljskoj prostoriji A-103.



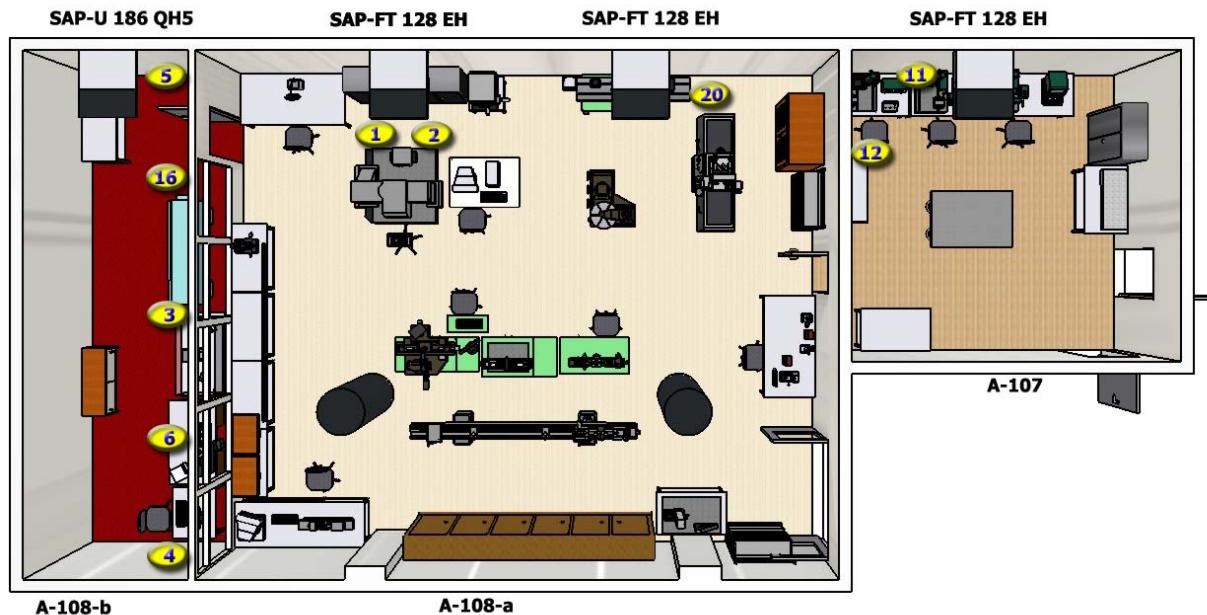
Slika 4. Položaj klima-uređaja u mjeriteljskoj prostoriji A-103 [1]

2.3. OKOLIŠNI UVJETI

Kako bi rezultati mjerjenja i potvrde o umjeravanju koje izdaje Laboratorij bile pouzdane, u Laboratoriju moraju biti zadovoljeni standardni mjeriteljski uvjeti.

2.3.1. Temperatura

Temperatura u laboratorijskim prostorijama A-107 i A-108 kontrolira se u automatskim sustavom za mjerjenje temperature pomoću deset temperaturnih senzora. Razmještaj temperaturnih senzora prikazan je na slici 5.



Slika 5. Razmještaj temperaturnih senzora u mjeriteljskim prostorijama LFSB-a [1]

Ako se ukaže potreba, postoji mogućnost grafičkog prikaza kretanja temperatura za svih deset mjernih mesta u Laboratoriju za bilo koje razdoblje unutar zadnjih pet godina. U mjeriteljskim prostorijama A-107 i A-108-a moguće je temperaturu održavati u granicama $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, dok je u mjeriteljskim prostorijama A-108-b i A-103 u granicama od $20^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

2.3.2. Vlažnost

Relativna vlažnost prati se samo u mjeriteljskoj prostoriji A-103 gdje se provode mjerena visoke razine točnosti (interferometrija). Relativna vlažnost u prostoriji A-103 kreće se u granicama od $58\% \pm 0,5\%$.

2.3.3. Vibracije

Rezultati jednogodišnjeg znanstvenog istraživanja vibracija provedenog u laboratorijskim prostorijama A-107 i A-108 pokazali su da su prisutne vibracije seizmičkog porijekla, pretežno frekvencije 2,7-3,0 Hz. U 95% slučajeva trenutne vrijednosti amplituda nisu prelazile granicu od $0,4 \cdot 10^{-6}$ m. U prostoriji A-103 ugrađen je „plivajući pod“, a noge stolova na kojima su smješteni mjeri uređaji ukopani su u temelje zgrade kako bi se u što većoj mjeri umanjio utjecaj vibracija.

2.3.4. Buka

Jedini izvor buke u Laboratoriju su klima-uređaji čija jačina ne prelazi 44 dB.

2.3.5. Rasvjeta

U svim prostorijama laboratorija ostvareno je hladno osvjetljenje intenziteta 500-700 Lx.

2.3.6. Protupožarna zaštita

U prostorijama Laboratorija stalno su na raspolaganju dva CO₂ uređaja za gašenje proizvođača „Pastor“, zapremine 7 l i tlaka 200 bar, sukladno pravilima zaštite i sigurnosti na Fakultetu.

2.3.7. Sigurnosna zaštita

LFSB je zaštićen alarmnim sustavom PC 1565 2P. Korisničke šifre raspodjeljenje su isključivo među djelatnicima Laboratorija. U slučaju nasilnog ulaska u prostorije Laboratorija alarm se aktivira, a informacija o tome se prenosi voditelju Laboratorija preko mobilnog telefona. Voditelj Laboratorija po primitu informacije poduzima potrebne akcije. Za vrijeme rada Laboratorija alarmni sustav je deaktiviran, a u prostorije Laboratorija mogu ući samo djelatnici LFSB-a temeljem kodiranih kartica.

2.3.8. Održavanje čistoće

Sve prostorije LFSB-a čiste se svaki radni dan od 7 do 8 sati, prije početka radnih aktivnosti Laboratorija. Sredstva koja se koriste za potrebe održavanja čistoće moraju imati deklaraciju o neškodljivosti na zdravlje ljudi i na funkcionalnost opreme. Prostorije LFSB-a čiste se isključivo nezapaljivim sredstvima, što mora biti vidljivo iz sadržaja deklaracije proizvoda. Neposredno prije godišnjih odmora, za vrijeme prekida svih radnih aktivnosti u Laboratoriju, prostorije se podvrgavaju temeljитom čišćenju, a mjerna oprema prekriva se lanenim pokrivačima. Strogo je zabranjeno u prostorijama Laboratorija pušenje, te konzumiranje svih vrsta jela i pića.

Ukoliko se temeljem praćenja okolišnih uvjeta utvrdi odstupanje od definiranih granica, voditelj Laboratorija prekida sve radne aktivnosti u Laboratoriju, po uklanjenom odstupanju voditelj Laboratorija donosi odluku o nastavku rada u Laboratoriju.

2.4. METODE UMJERAVANJA

Sva umjeravanja u Laboratoriju provode se sukladno odgovarajućim dokumentiranim postupcima umjeravanja. Postupci su izrađeni u skladu sa zahtjevima odgovarajuće dokumentacije vanjskog porijekla (norme, upute proizvodača mjerne opreme i dr.). LFSB osigurava uporabu važećih izdanja normi. Svi pisani postupci pohranjeni su na za njih predviđeno mjesto i lako su dostupni osoblju Laboratorija. Eventualno odstupanje od propisanih postupaka mora ovlastiti i dokumentirati voditelj Laboratorija samo u slučaju kada je odstupanje tehnički opravdano. U svakom dokumentiranom postupku detaljno je razrađen proračun mjerne nesigurnosti sukladno dokumentu ISO GUM. U slučaju kada priroda metode umjeravanja ne dozvoljava stroge metrologijski i statistički valjane izračune mjerne nesigurnosti, navode se i utvrđuju sve sastavnice nesigurnosti i vrši razumna procjena mjerne nesigurnosti. Tako procijenjenu mjernu nesigurnost LFSB potvrđuje kroz usporedbena mjerjenja s drugim umjernim laboratorijima iste ili više razine točnosti. Temeljne odrednice metoda umjeravanja, sukladno akreditaciji od strane SIT-a, prikazane su u tablici 2.

Tablica 2. Metode umjeravanja sukladno akreditaciji od strane SIT-a [1]

Predmet umjeravanja	Metoda	Mjerno sredstvo	Mjerna nesigurnost	Primjedba
Planparalelne granične mjerke od 0,5 mm do 100 mm	Usporedbena	Uredaj za diferencijsko mjerjenje „MAHR 826“ Garnitura planparalelnih graničnih mjerki Klasa K (GMD 14-359) Državni etalon	(0,05 + 1,1L) μm L u m	Samo za etalone od čelika
Duge planparalelne granične mjerke	Usporedbena	Univerzalni uredaj za mjerjenje duljina (MU 44-421)	(0,17 + 1,2 L) μm	

		Garniture planparalelnih graničnih mjerki (GMD 10-302, GMD 15-439, GMD 6-229, GMD 8-231)		
Radni etaloni hrapavosti Tip A, B, C, D	Usporedbena	Uređaj s ticalom Perthometer S8P Referentni etaloni hrapavosti LFSB (RET 132-280) Radni etalon hrapavosti LFSB Tip C (RET 134-282)	5% za $R_a = (0,008 \div 30) \mu\text{m}$ 8% za $R_y, R_z = (0,025 \div 100) \mu\text{m}$	
Uređaj za ispitivanje hrapavosti	Direktna	Referentni etaloni hrapavosti LFSB (RET 132-280) Radni etalon hrapavosti LFSB Tip C (RET 134-282)	$U = 2\sqrt{u_r^2 + u_e^2}$	
Štapni kontrolnik	Direktna	Univerzalni uredaj za mjerjenje duljina do 3 m (MU 30-302) Garniture planparalelnih graničnih mjerki (GMD 10-302, GMD 4-227)	(0,6 + 11,5 L) μm	
Kontrolni prsteni i granična mjerila za osovinu	Direktna	Univerzalni uredaj za mjerjenje duljina (MU 44-421) Etalonski prsteni (RET 180-425, RET 179-424)	(0,6 + 0,7L) μm	
Granična mjerila za provrte	Direktna	Univerzalni uredaj za mjerjenje duljina (MU 44-421) Garniture planparalelnih graničnih mjerki (GMD 10-302, GMD 4-227)	1 μm	
Granična mjerila za unutarnji paralelni navoj izratka sa simetričnim profilom	Direktna	Univerzalni uredaj za mjerjenje duljina (MU 44-421) Univerzalni mjerni mikroskop (MU 1-126)	3,026 μm	
Granična mjerila	Direktna	Trokoordinatni mjerni	3,52 μm	

za vanjski paralelni navoj izratka sa simetričnim profilom		uređaj (MU 44-421) Univerzalni uređaj za mjerjenje duljina (MU 44-421)		
Mikrometar za vanjska mjerena	Direktna	Garniture planparalelnih graničnih mjerki (GMD 10-302, GMD 4-227, GMD 12-356)	(1,2 + 5L) µm	
Štapni mikrometri	Direktna	Univerzalni uređaj za mjerjenje duljina (MU 44-421) Univerzalni mjerni uređaj za mjerjenje duljina do 3 m (MU 30-302) Garniture planparalelnih graničnih mjerki (GMD 10-302, GMD 4-227, GMD 12-356) Mjerna ploča (KUT 22-460)	(1,6 + 8,5L) µm	
Trokraki mikrometri	Direktini	Niz kontrolnih prstena (RET 50-130...RET 116-223)	(1,5 + 4L) µm	
Pomična mjerila	Direktna	Garniture planparalelnih graničnih mjerki (GMD 10-302, GMD 4-227)	(10 +9L) µm	
Visinomjer	Direktna	Garniture planparalelnih graničnih mjerki (GMD 10-302, GMD 4-227) Mjerna ploča (KUT 22-460)	(10 +9L) µm	
Dubinomjer	Direktna	Garniture planparalelnih graničnih mjerki (GMD 10-302, GMD 4-227, GMD 16-442, GMD 12-356) Mjerna ploča (KUT 22-460) Uređaj za ispitivanje mjernih ura (MU 5-181) Univerzalni uređaj za mjerjenje duljina (MU 44-421)	(7 + 8L) µm	
Mjerna ura	Direktna	Uređaj za ispitivanje mjernih ura (MU 5-181)	(3 + 1,5 L) µm	

		Univerzalni uređaj za mjerjenje duljina (MU 44-421) Garnitura planparalelnih graničnih mjerki (GMD 4-227)		
Komparator	Direktna	Uređaj za ispitivanje mjernih ura (MU 5-181) Elektronski komparator (MU 15-191)	0,7 µm	

Za prikupljanje, obradu, bilježenje, prikazivanje u izvještajima, pohranjivanje i pronalaženje podataka o umjeravanju LFSB koristi isključivo komercijalne programske pakete legalnog porijekla . Za automatizirane mjerne uređaje s instaliranim softwerom na principu „crne kutije“, validacija softwera provodi se korištenjem alternativnih mjernih metoda unutar Laboratorija ili sudjelovanjem u međulaboratorijskim usporedbenim mjeranjima. Automatizirani uređaji i računala održavaju se sukladno uputama proizvođača i dokumentiranim postupcima LFSB-a. Kontroliranim okolišnim uvjetima osigurava se vjerodostojnost mjernih podataka.

2.5. SLJEDIVOST

„Svojstvo mjernog rezultata ili vrijednosti kojeg etalona po kojemu se on može dovesti u vezu s navedenim referencijskim etalonima (obično državnim ili međunarodnim) neprekinutim lancem usporedbi koje imaju utvrđene mjerne nesigurnosti“.[2] Osiguravanje sljedivosti u postupcima umjeravanja kod kojih se koristi državni etalon duljine prikazan je na slici 6.

Mjesto umjeravanja	Metoda umjeravanja	Etalon	Mjerna nesigurnost U(L) k=2, P=95 %	Certifikat umjeravanja
INRIM, PTB,...	Mjerenje interferencijskom metodom prema ISO 3650	Državni etalon (GMD 14-359)	(0,02+0,3 L)µm L u m	Certifikat umjeravanja INRIM
LFSB (CT-FSB)	Mjerenje usporedbenom metodom prema ISO 3650	Uredaj za diferencijsko mjerjenje graničnih mjerki "Mahr 826" (MU 36 - 348)	(0,05+1,1 L)µm L u m	LFSB Izvješće o umjeravanju
LFSB (CT-FSB)	Mjerenje usporedbenom metodom prema ISO 3650	Usporedbena metoda Za potrebe međunarodnih usporedbenih mjerena (ISO 3650) Uredaj za diferencijsko mjerjenje graničnih mjerki "Mahr 826E" (MU 36 - 348) Garnitura planparalelnih graničnih mjerki, (ISO 3650) (GMD 11-351, GMD 8-231, GMD 6-229, GMD 4-227)	(0,08+1,6 L)µm L u m	LFSB-SIT Certifikat umjeravanja

Slika 6. Osiguravanje sljedivosti za duljinu (planparalelne granične mjerke od 0,5 mm do 100 mm) u LFSB [1]

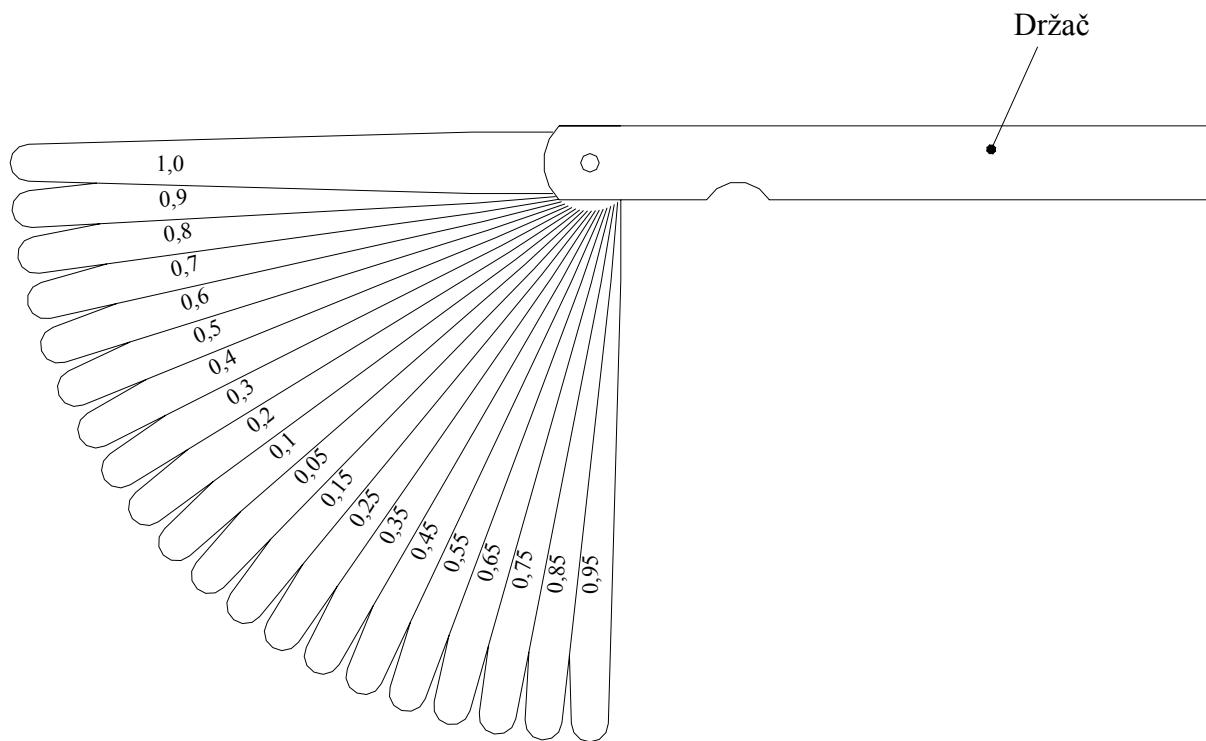
3. MJERNI LISTIĆI

Mjerni listići koriste se za mjerjenje zazora. Sukladno odgovarajućoj normi DIN 2275 mjerni listići se slažu u garniture različitih mjernih područja, a jedna takva je prikazna na slici 7.

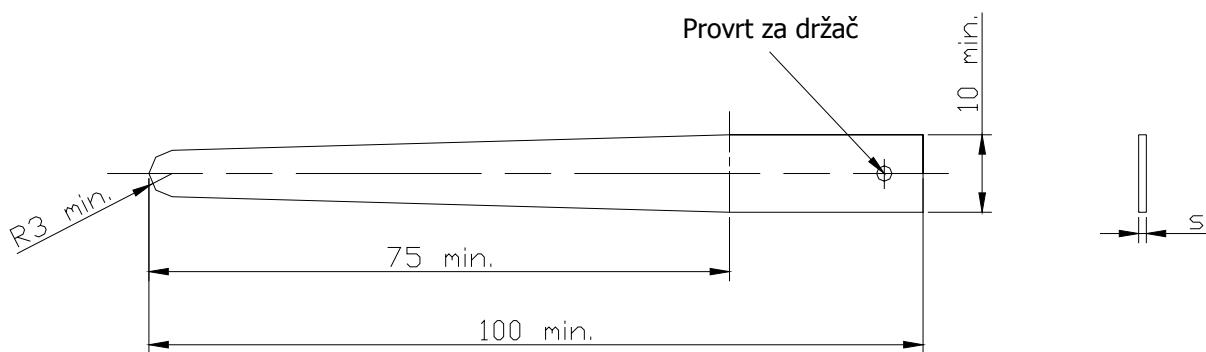


Slika 7. Set mjernih listića [3]

Konstrukcijske i tehničke karakteristike mjernih listića nalaze se u okviru norme DIN 2275, a njihov prikaz se nalazi na slikama 8. i 9; te u tablici 3. U normi je propisano da se mjerni listići kao i držač izrađuju iz čelika čija tvrdoća mora biti najmanje 420 ± 50 HV 5. Svaki mjerni listić na sebi sadrži utisnutu nazivnu mjeru (s). Mjerni listići se slažu u set na način da se listići najmanje nazivne mjere (debljine) stavlju u sredinu snopa kako bi se zaštitili od mehaničkog oštećivanja prilikom rukovanja (slika 8.). Na slici 9. je prikazan jedan mjerni listić sa propisanim minimalnim dimenzijama prema DIN 2275.



Slika 8. Set mjernih listića prema DIN 2275 [4]



Slika 9. Dimenzije mjernog listića prema DIN 2275 [4]

U tablici 3. su prikazane nazivne mjere, te dopuštena odstupanja prema pripadajućoj normi. Prema normi nazivne mjere se kreću od 0,03 mm do 2 mm i postoji pet vrsta setova mjernih listića koji su označeni slovima od A do E.

Set mjernih listića oznake DIN 2275-A se sastoji od mjernih listića nazivne mjere od 0,05 mm do 0,5 mm i sadrži 8 komada, a u tablici 3. su označeni slovom „X“ u pripadajućem stupcu. Set mjernih listića oznake DIN 2275-B se sastoji od mjernih listića nazivne mjere od 0,03 mm do 0,5 mm i sadrži 14 komada, a u tablici 3. su označeni slovom „X“ u pripadajućem stupcu. Set mjernih listića oznake DIN 2275-C se sastoji od mjernih listića nazivne mjere od 0,05 mm do 1,0 mm i sadrži 13 komada, a u tablici 3. su označeni slovom „X“ u pripadajućem stupcu. Set mjernih listića oznake DIN 2275-D se sastoji od mjernih listića nazivne mjere od 0,05 mm do 1,0 mm i sadrži 20 komada, a u tablici 3. su označeni slovom „X“ u pripadajućem stupcu, također taj set je prikazan na slici 8 i na njemu sam provodio mjerjenja. Set mjernih listića oznake DIN 2275-E sastoji se od mjernih listića nizivne mjere od 0,1 mm do 2,0 mm i sadrži 20 komada, a u tablici 3. su označeni slovom „X“ u pripadajućem stupcu. Vrijednosti za dopušteno odstupanje od nizivne mjere koje se nalaze u tablici 3. se računaju prema formuli: $\pm (3+s/80)$, nizivna mjera (s) se unosi u μm . Nadalje u normi stoji kako treba biti oprezan sa korištenjem više mjernih listića umjesto onog dotične nizivne mjere (pr. umjesto listića od 0,5 mm uzmememo jedan od 0,2 mm i jedan od 0,3 mm, te ih spojimo) jer će im odstupanje od nizivne mjere biti veće nego pri korištenju traženog listića.

Tablica 3. Dopuštena odstupanja mjernih listića prema DIN 2275 [4]

Nazivna mjera s (mm)	Dopušteno odstupanje (μm)	A	B	C	D	E
0,03	± 3		X			
0,04			X			
0,05		X	X	X	X	
0,06			X			
0,07	± 4		X			
0,08			X			
0,09			X			
0,1		X	X	X	X	X
0,15	± 5	X	X	X	X	
0,2	± 6	X	X	X	X	X
0,25		X	X	X	X	
0,3	± 7	X	X	X	X	X
0,35					X	
0,4	± 8	X	X	X	X	X
0,45					X	
0,5	± 9	X	X	X	X	X
0,55					X	
0,6	± 11			X	X	X
0,65					X	
0,7	± 12			X	X	X
0,75					X	
0,8	± 13			X	X	X
0,85					X	
0,9	± 14			X	X	X
0,95					X	
1,0	± 16			X	X	X
1,1	± 17					X
1,2	± 18					X
1,3	± 19					X
1,4	± 21					X
1,5	± 22					X
1,6	± 23					X
1,7	± 24					X
1,8	± 26					X
1,9	± 27					X
2,0	± 28					X

4. PROVEDENA MJERENJA

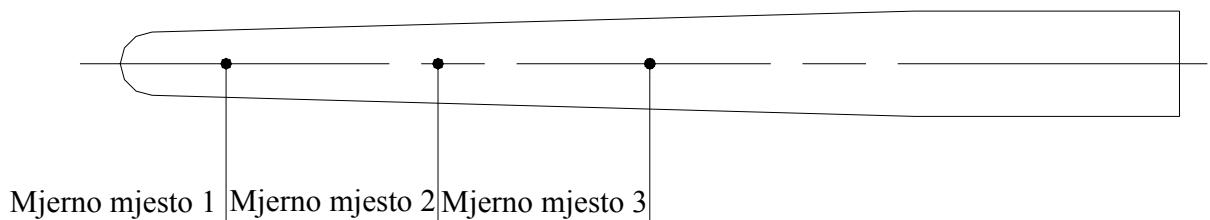
Kako je moj zadatak bio da razradim postupak za umjeravanje seta mjernih listića optimalnom mjernom metodom, bilo je potrebno provesti mjerena pomoću više mjernih uređaja, te na osnovu dobivenih rezultata odabrati optimalni. U tablici 4. su navedena korištena mjerna sredstva i pomagala.

Tablica 4. Mjerna sredstva i pomagala

Mjerno sredstvo	Proizvođač	Oznaka	Mjerno područje	Rezolucija
Digitalni mikrometar	Mitutoyo	MV 30-456	(0 ÷ 25) mm	0,001 mm
Digitalni visinomjer	Mitutoyo	MU 45-422	(0 ÷ 600) mm	0,0001 mm
Univerzalni uređaj za mjerjenje duljina	Joint Instruments	MU 44-421	(0 ÷ 450) mm	0,01 µm
Stezna naprava	Mahr	OST 30-437	-	-

4.1. MJERENJE POMOĆU DIGITALNOG MIKROMETRA

Prvo što sam utvrdio je postojanje identifikacijske oznake seta mjernih listića (RET 211-488), a nakon toga je uslijedio vizualni pregled listića kojim je utvrđeno da nema vidljivih mehaničkih oštećenja. Potom je bilo potrebno pripremiti mjerne površine kako samih mjernih listića tako i uređaja (ravna ticala) kojim vršimo mjerjenje. To je učinjeno pomoću medicinskog benzina i pamučne vate i čiste krpe. Prije nego što započnemo mjeriti potrebno je mikrometar dovesti u nulti položaj (pozicija kada se na displeju pokaže 0,000 pritisnemo tipku „zero“) i podesiti nulu. Uređaj podešavamo na nulu nakon svakog izmjerena listića. Mjerjenje se provodi na tri mjesta na mjernom listiću kako je naznačeno na slici 10. Mjerna mjesta se nalaze u „aktivnom“ dijelu listića, onom kojeg najviše koristimo u eksploraciji. Mjerjenja na samom vrhu treba izbjegavati jer postoji opasnost da je oštećen, a također i mjerjenje desno od mjernog mjesta 3 (slika 10) (približno pola ukupne duljine mjernog listića) nije potrebno provoditi jer se taj dio listića nalazi u snopu ili ga držimo prstima prilikom korištenja. Na slikama 11. (a i b) je prikazan postupak mjerjenja.



Slika 10. Prikaz mjernih mjesta



a)



b)

Slika 11. Mjerenje pomoću digitalnog mikrometra

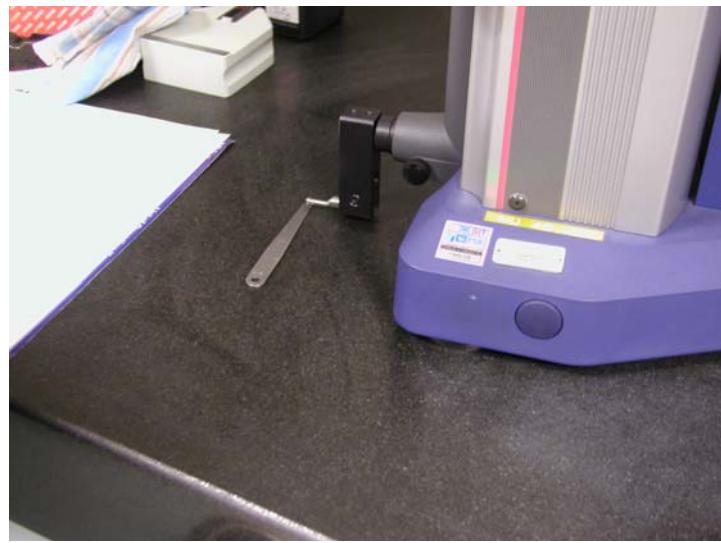
U tablici 5. su navedeni rezultati mjerena dobiveni pomoću digitalnog mikrometra. Također je iz tablice 5. vidljivo da su sva odstupanja od nazivne mjere unutar granica dopuštenog odstupanja prema normi DIN 2275.

Tablica 5. Rezultati mjerena na digitalnom mikrometru

Rezultati umjeravanja seta mjernih listića na digitalnom mikrometru						
Nazivna mjera (mm)	Očitana vrijednost (mm)			Srednja vrijednost (mm)	Odstupanje od nazivne mjere (µm)	Dopušteno odstupanje po DIN 2275 (µm)
0,05	0,049	0,05	0,05	0,049666667	-0,3	±3
0,10	0,102	0,1	0,102	0,101333333	1,3	±4
0,15	0,154	0,155	0,156	0,155	5	±5
0,20	0,197	0,199	0,196	0,197333333	-2,7	±6
0,25	0,255	0,253	0,253	0,253666667	3,7	±6
0,30	0,298	0,297	0,297	0,297333333	-2,7	±7
0,35	0,348	0,348	0,353	0,349666667	-0,3	±7
0,40	0,399	0,398	0,398	0,398333333	-1,7	±8
0,45	0,447	0,448	0,453	0,449333333	-0,7	±8
0,50	0,491	0,49	0,496	0,492333333	-7,7	±9
0,55	0,553	0,557	0,557	0,555666667	5,7	±9
0,60	0,597	0,599	0,606	0,600666667	0,7	±11
0,65	0,658	0,658	0,661	0,659	9	±11
0,70	0,7	0,701	0,701	0,700666667	0,7	±12
0,75	0,745	0,747	0,745	0,745666667	-4,3	±12
0,80	0,799	0,801	0,81	0,803333333	3,3	±13
0,85	0,852	0,856	0,858	0,855333333	5,3	±13
0,90	0,897	0,901	0,908	0,902	2	±14
0,95	0,95	0,95	0,954	0,951333333	1,3	±14
1,00	0,993	0,995	1,001	0,996333333	-3,7	±16

4.2. MJERENJE POMOĆU DIGITALNOG VISINOMJERA

Zbog toga što sam mjerena vršio jedno za drugim (kako ih i navodim u tekstu) u kratkom vremenu nije bilo potrebe za detaljnim čišćenjem mjernih listića ili za ponovnim utvrđivanjem eventualnih mehaničkih oštećenja. Kako digitalni visinomjer nema dva ticala između kojih „stegnemo“ mjerni listić, nego ima jedno ticalo i stol koji mu predstavlja referentnu vrijednost (nulu) od koje mjeri, potrebno je mjerjenje vršiti na šest mjernih mjesta. To provodimo tako da prvo mjerimo na tri mjerna mjesta prikazana na slici 10; te da potom listić okrenemo i da na toj strani mjerimo na ista tri mjesta. Također prije početka mjerjenja potrebno je na upravljačkoj jedinici uređaja pritisnuti tipku za podešavanje nule nakon čega uređaj sam ticalom (u ovom slučaju kuglasto) dotakne stol i time je podešena nula. Podešavanje nule na uređaju također vršimo nakon svakog izmjerene listića. Na slikama 12. (a i b) je prikazan postupak mjerena.



a)



b)

Slika 12. Prikaz mjerjenja pomoću digitalnog visinomjera

U tablici 6. su prikazani rezultati mjerena dobiveni pomoću digitalnog visinomjera. Bitno je napomenuti da u tablici 6. u stupcima u kojima se unose očitane vrijednosti pišu samo tri rezultata (provedeno šest mjerena) svaki od njih predstavlja srednju vrijednost dva mjerena dobivenih s obje strane mjernog listića. Srednja vrijednost dva mjerena se računa za ista

mjerna mjesta s obje strane mjernog listića, na taj način se pokušalo kompenzirati nemogućnost prihvata listića s obje strane istovremeno. U tablici 6. su prikazani rezultati mjerjenja dobiveni pomoću digitalnog visinomjera. Također se iz tablice 6. može vidjeti da su kod mjernih listića nazivnih mjera 0,15 mm, 0,5 mm, 0,65 mm i 0,8 mm odstupanja od nazivne mjere prekoračila dopuštena odstupanja po normi DIN 2275.

Tablica 6. Rezultati mjerjenja na digitalnom visinomjeru

Rezultati umjeravanja seta mjernih listića na digitalnom visinomjeru						
Nazivna mjera (mm)	Očitana vrijednost (mm)			Srednja vrijednost (mm)	Odstupanje od nazivne mjere (µm)	Dopušteno odstupanje po DIN 2275 (µm)
0,05	0,0483	0,048	0,0483	0,0482	-1,8	±3
0,10	0,1014	0,102	0,1018	0,101733333	1,7	±4
0,15	0,1551	0,1552	0,1554	0,155233333	5,2	±5
0,20	0,205	0,2094	0,1982	0,2042	4,2	±6
0,25	0,2554	0,2535	0,2537	0,2542	4,2	±6
0,30	0,2997	0,3007	0,3006	0,300333333	0,3	±7
0,35	0,3509	0,3508	0,3505	0,350733333	0,7	±7
0,40	0,3994	0,4065	0,4134	0,406433333	6,4	±8
0,45	0,4514	0,451	0,4521	0,4515	1,5	±8
0,50	0,4868	0,4882	0,4909	0,488633333	-11,4	±9
0,55	0,5506	0,5504	0,5546	0,551866667	1,9	±9
0,60	0,6063	0,6004	0,602	0,6029	2,9	±11
0,65	0,659	0,662	0,6692	0,6634	13,4	±11
0,70	0,7086	0,7058	0,709	0,7078	7,8	±12
0,75	0,7494	0,749	0,7518	0,750066667	6,7	±12
0,80	0,8111	0,8253	0,8052	0,813866667	13,9	±13
0,85	0,8619	0,8648	0,8595	0,862066667	12,1	±13
0,90	0,9092	0,903	0,9073	0,9065	6,5	±14
0,95	0,9707	0,953	0,9595	0,961066667	11,1	±14
1,00	1,006	0,9975	1,01	1,0045	4,5	±16

4.3. MJERENJE POMOĆU UNIVERZALNOG UREĐAJA ZA MJERENJE DULJINA

Kao što je već navedeno zbog slijednog mjerena u kratkom vremenskom razdoblju mjerne površine su već bile pripremljene. Mjerena se i na ovom uređaju vrše na tri mjerna mesta kako je to prikazano na slici 10. Također prije početka mjerena je potrebno podešiti mjerni uređaj na nulu, to se vrši na način da ticala namjestimo u nulti položaj (kada dotiču jedan drugoga) i kada na monitoru očitamo vrijednost nula u izborniku odaberemo postavljanje nule. Na slikama 13. (a, b i c) je prikazan postupak mjerena pomoću univerzalnog uređaja za mjerene duljina.



a)



b)



c)

Slika 13. Prikaz mjerjenja pomoću univerzalnog uređaja za mjerjenje duljina

Rezultati mjerjenja pomoću univerzalnog uređaja za mjerjenje duljina su prikazani u tablici 7.

Iz tablice 7. se vidi kako su kod mjernih listića nazivnih mjera 0,15 mm i 0,5 mm odstupanja od nazivnih mjera prekoračila dopuštena odstupanja prema normi DIN 2275.

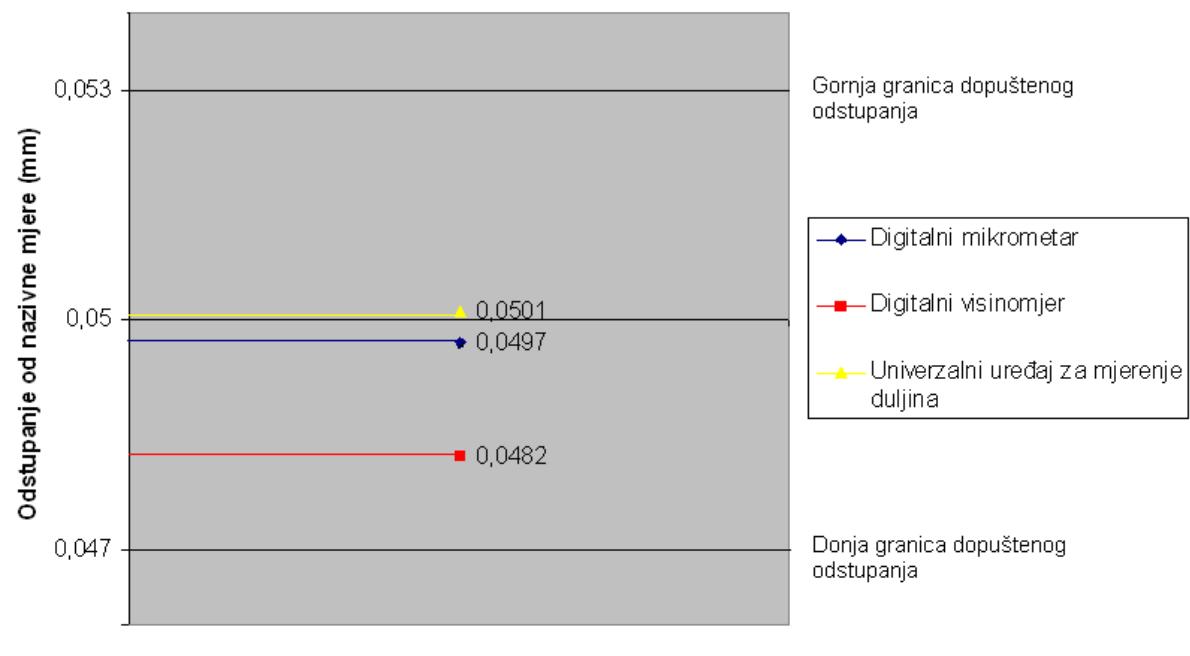
Tablica 7. Rezultati mjerena na uređaju za mjerjenje duljine

Rezultati mjerena na univerzalnom uređaju za mjerjenje duljine						
Nazivna mjera (mm)	Očitana vrijednost (mm)			Srednja vrijednost (mm)	Odstupanje od nazivne mjere (μm)	Dopušteno odstupanje po DIN 2275 (μm)
0,05	0,0513	0,0493	0,0497	0,0501	0,1	± 3
0,10	0,1063	0,104	0,1042	0,104833333	4,8	± 4
0,15	0,1579	0,1548	0,1571	0,1566	6,6	± 5
0,20	0,2074	0,1959	0,1992	0,200833333	0,8	± 6
0,25	0,2554	0,2542	0,2568	0,255466667	5,5	± 6
0,30	0,2985	0,2981	0,2995	0,2987	-1,3	± 7
0,35	0,3508	0,3488	0,3486	0,3494	-0,6	± 7
0,40	0,3985	0,3985	0,3986	0,398533333	-1,5	± 8
0,45	0,4491	0,4511	0,4492	0,4498	-0,2	± 8
0,50	0,4857	0,4885	0,4907	0,4883	-11,7	± 9
0,55	0,5487	0,5525	0,5553	0,552166667	2,2	± 9
0,60	0,5968	0,6014	0,5993	0,599166667	-0,8	± 11
0,65	0,6584	0,6637	0,6599	0,660666667	10,6	± 11
0,70	0,7008	0,702	0,701	0,701266667	1,3	± 12
0,75	0,7453	0,7449	0,7437	0,744633333	-5,4	± 12
0,80	0,8	0,8015	0,8016	0,801033333	1	± 13
0,85	0,8555	0,8577	0,8583	0,857166667	7,2	± 13
0,90	0,9015	0,9029	0,9064	0,9036	3,6	± 14
0,95	0,9529	0,9528	0,9528	0,952833333	2,8	± 14
1,00	0,995	0,9965	0,9998	0,9971	-2,9	± 16

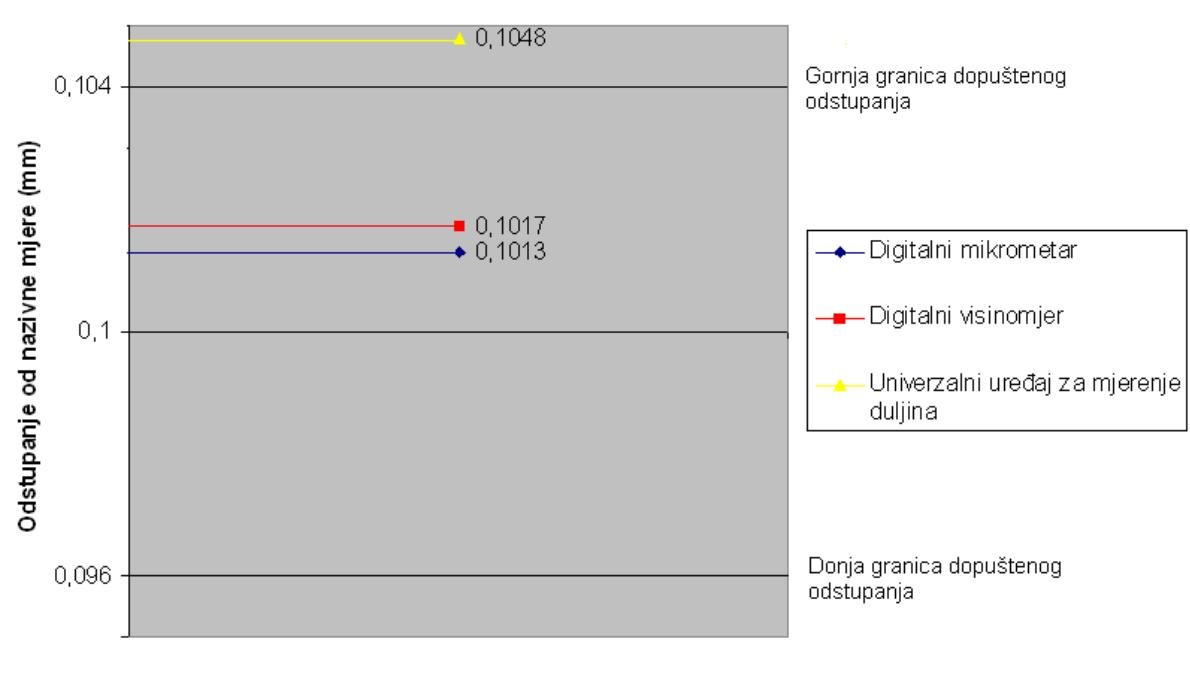
4.4. USPOREBA REZULTATA MJERENJA

Rezultate mjerena pomoću navedenih mjernih uređaja uspoređujemo, na osnovu odstupanja od nazivne mjere. Prikaz usporedbe rezultata mjerena je na slici 14.

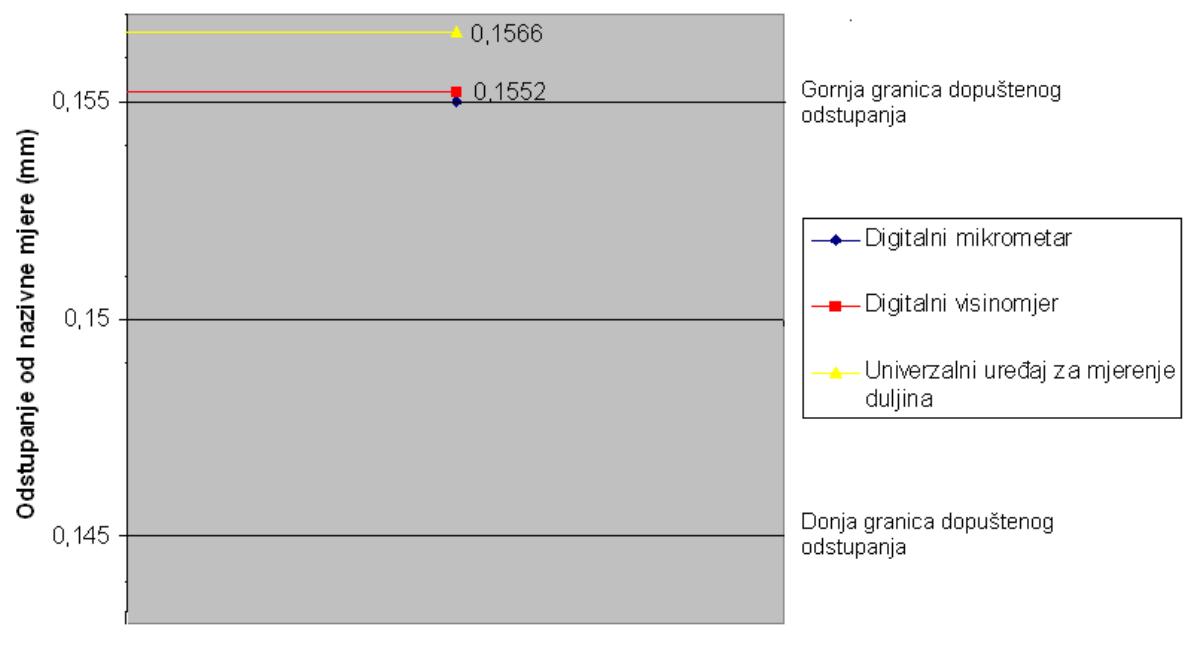
Rezultati mjerena



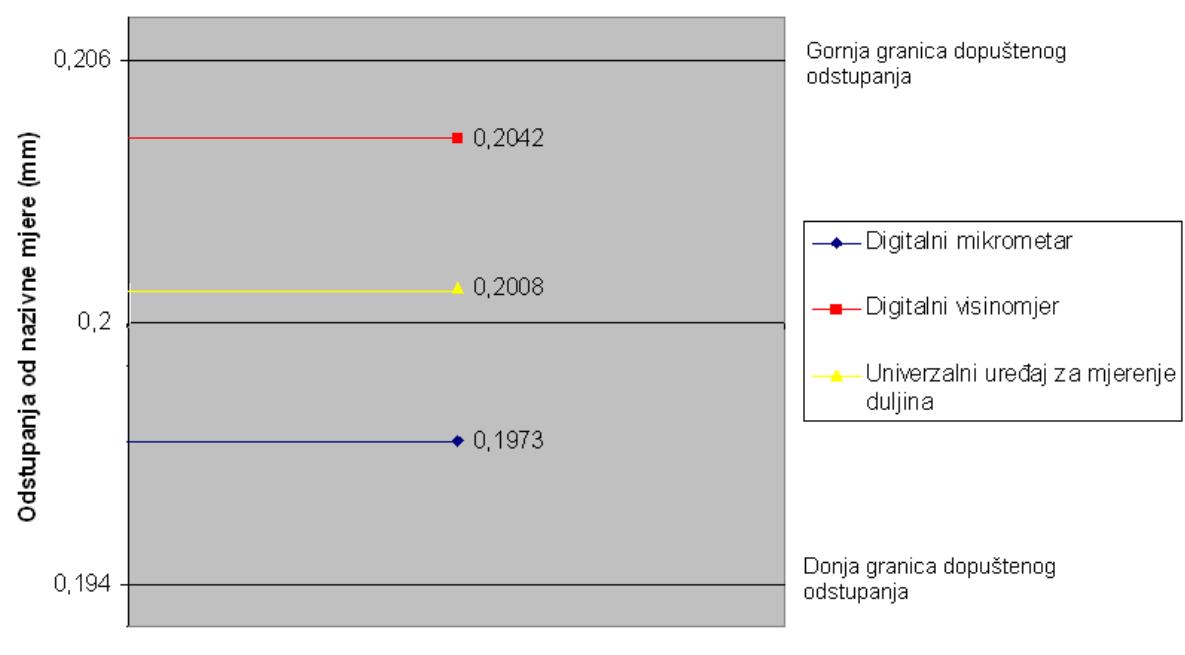
Rezultati mjerena

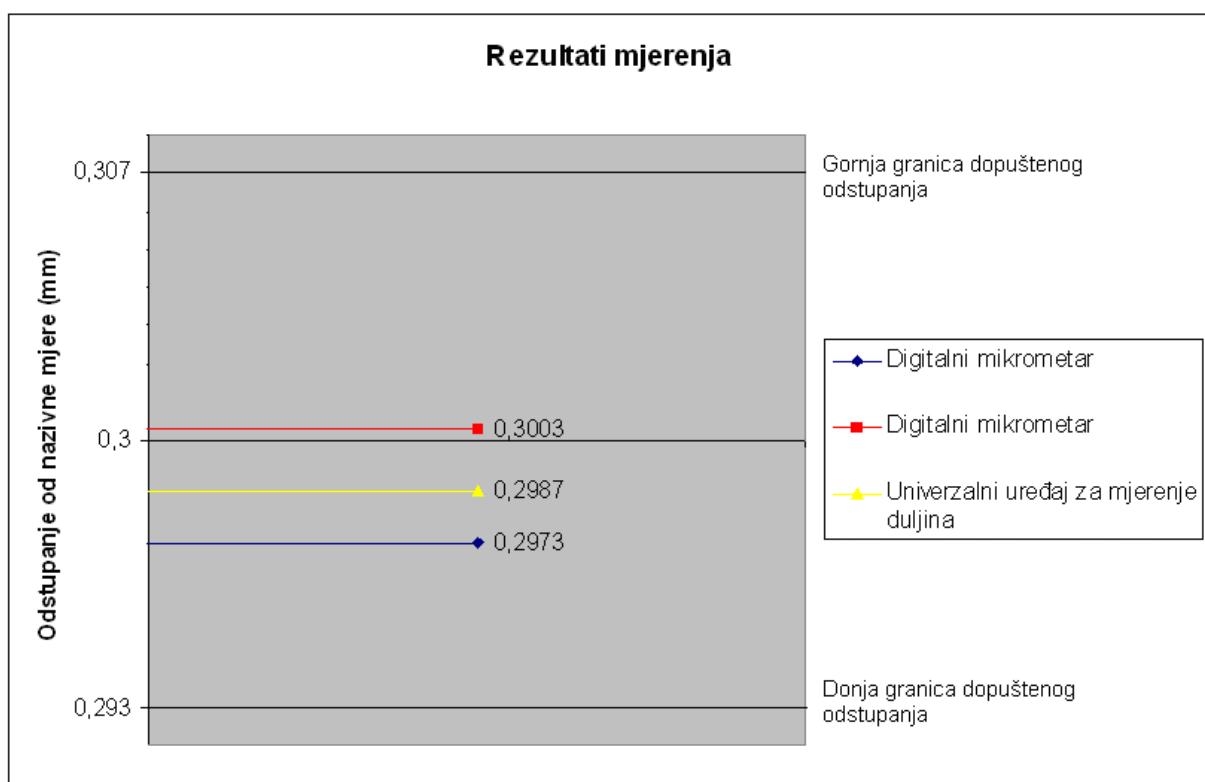
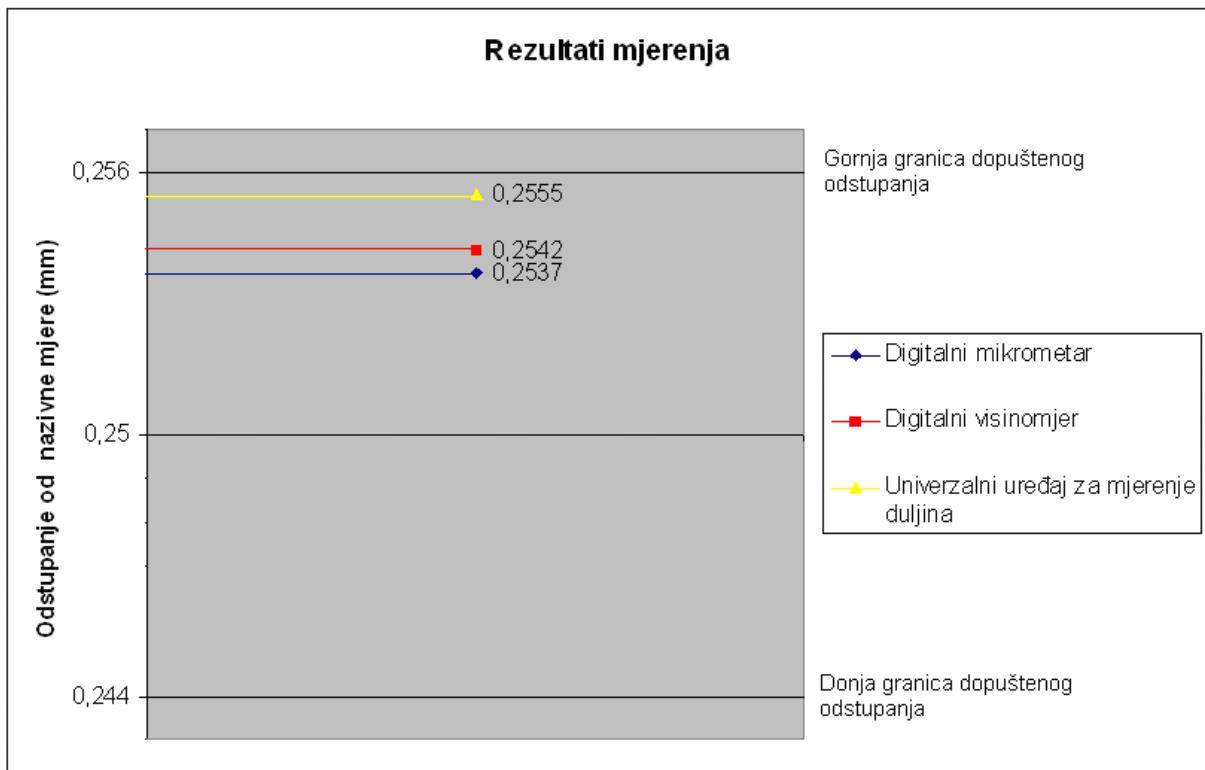


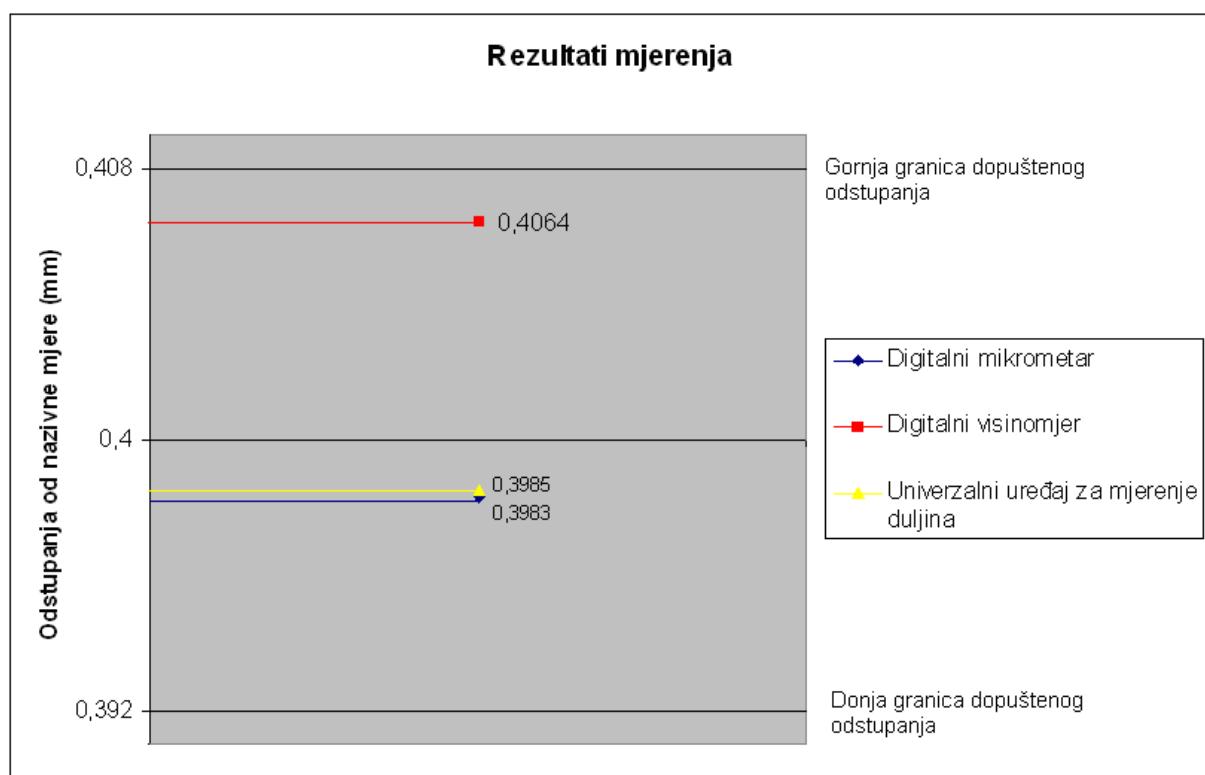
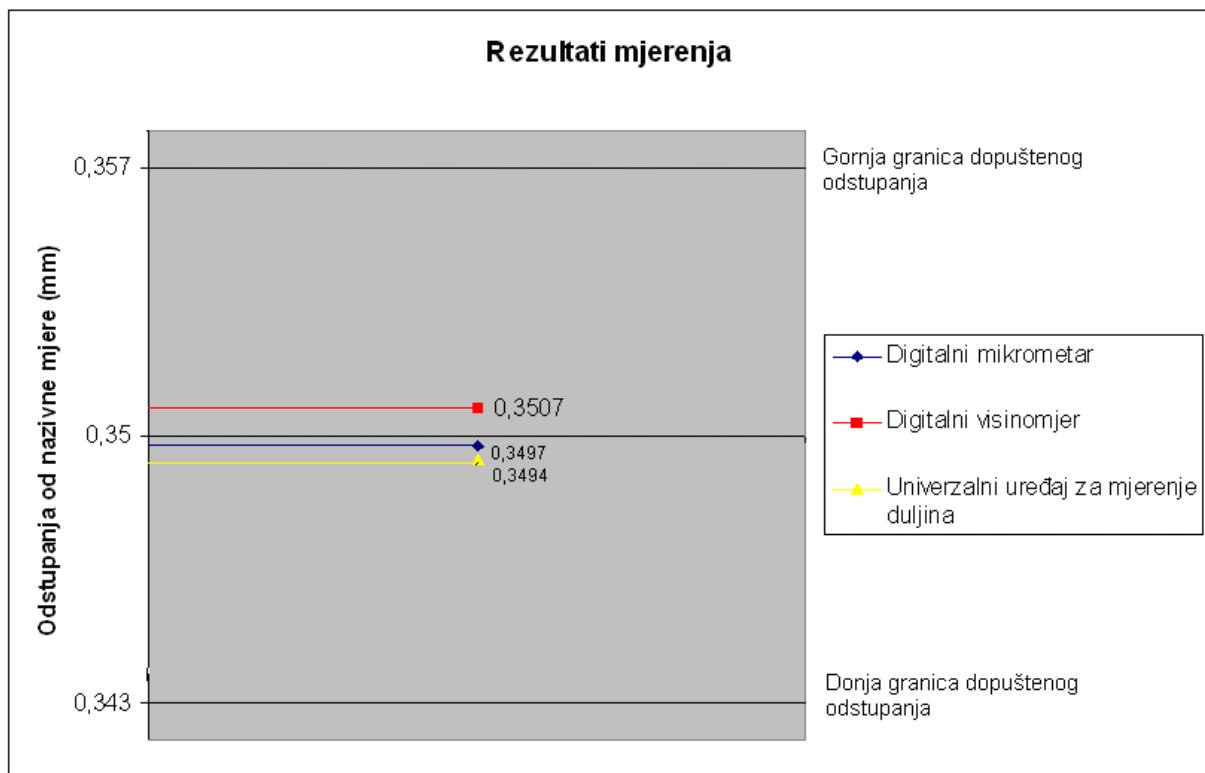
Rezultati mjerena

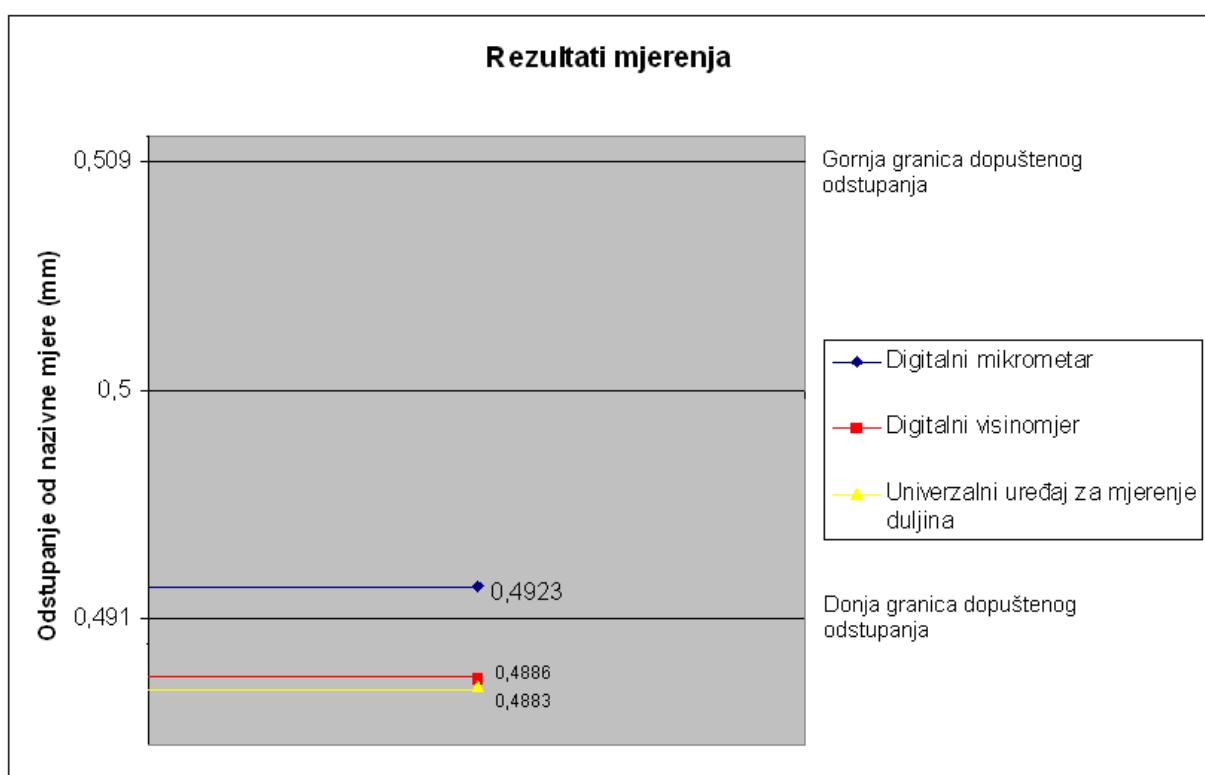
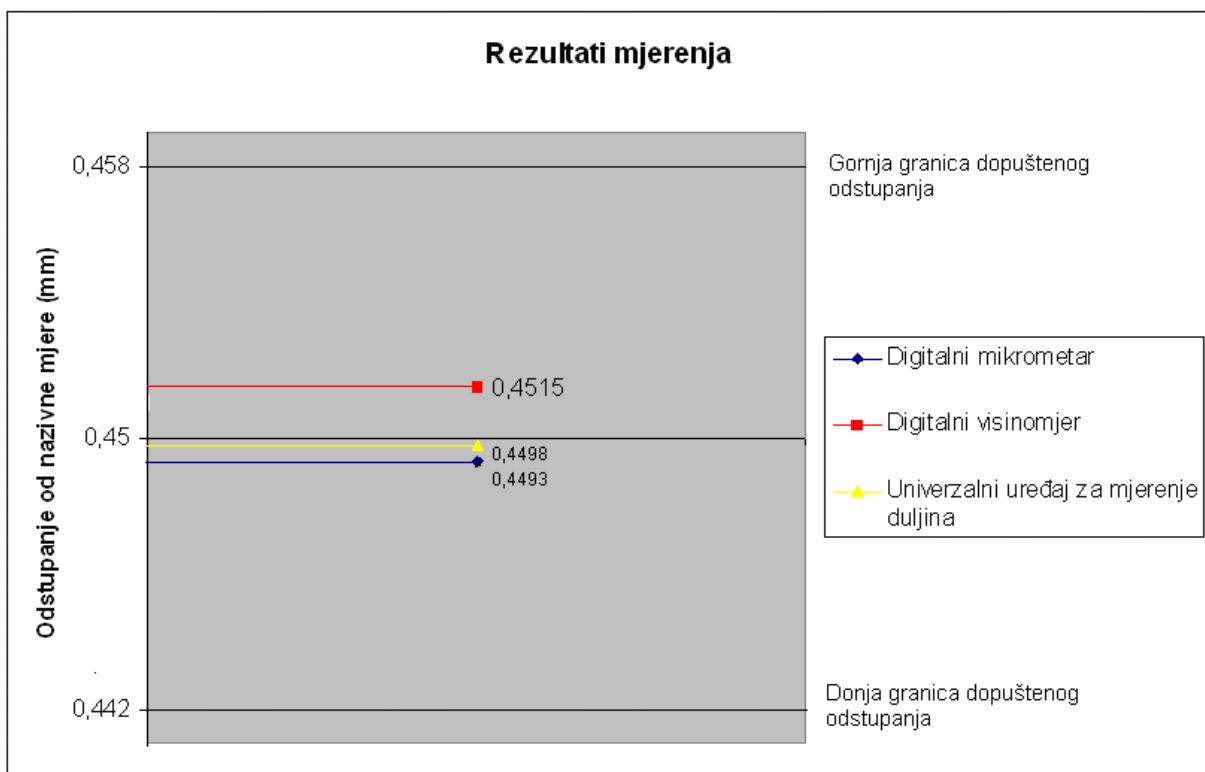


Rezultati mjerena

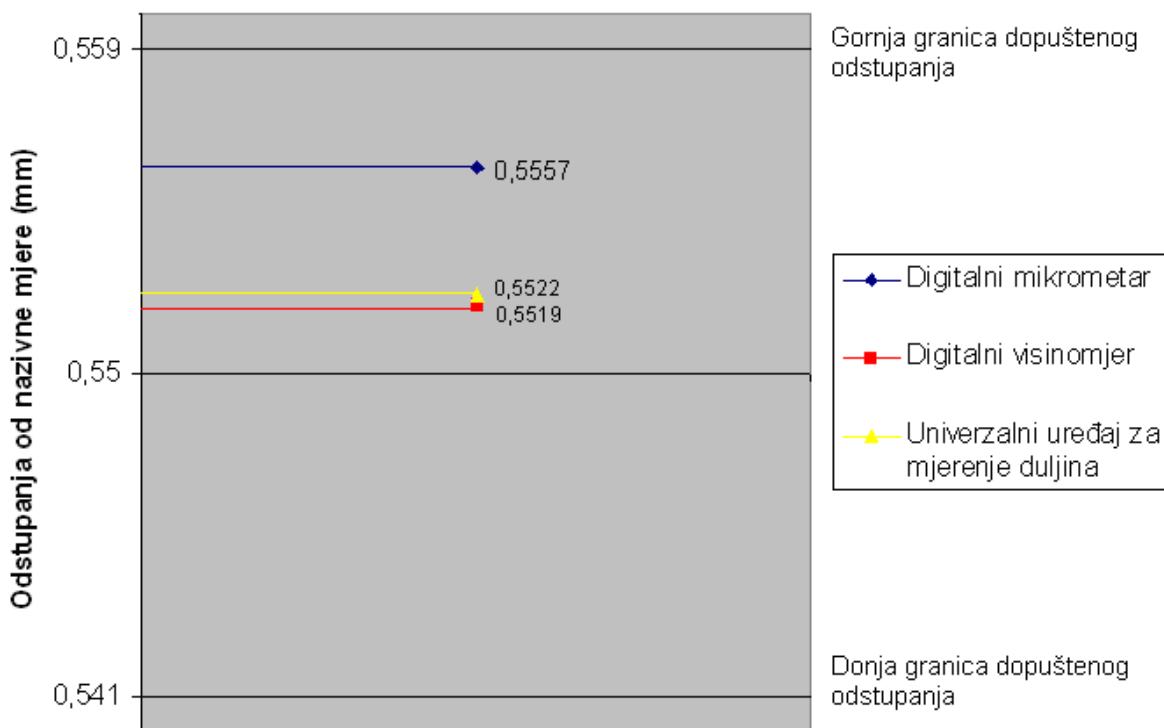




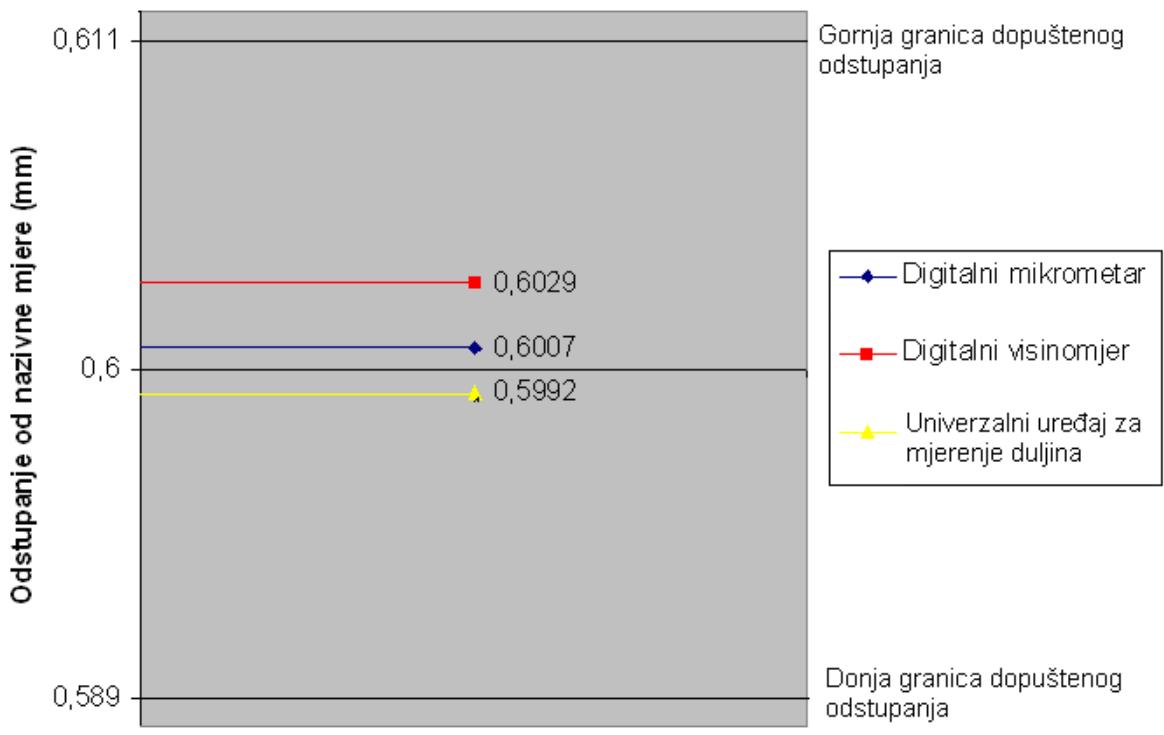


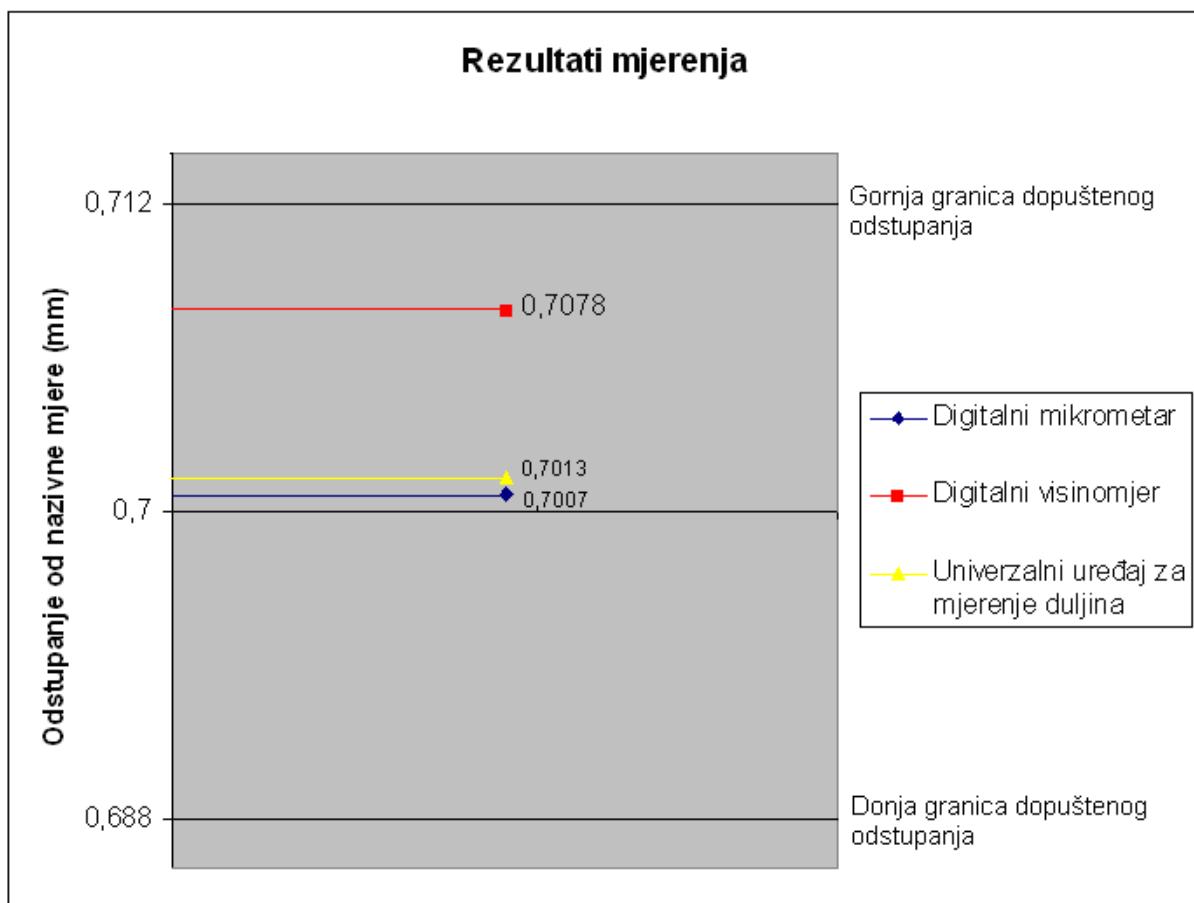
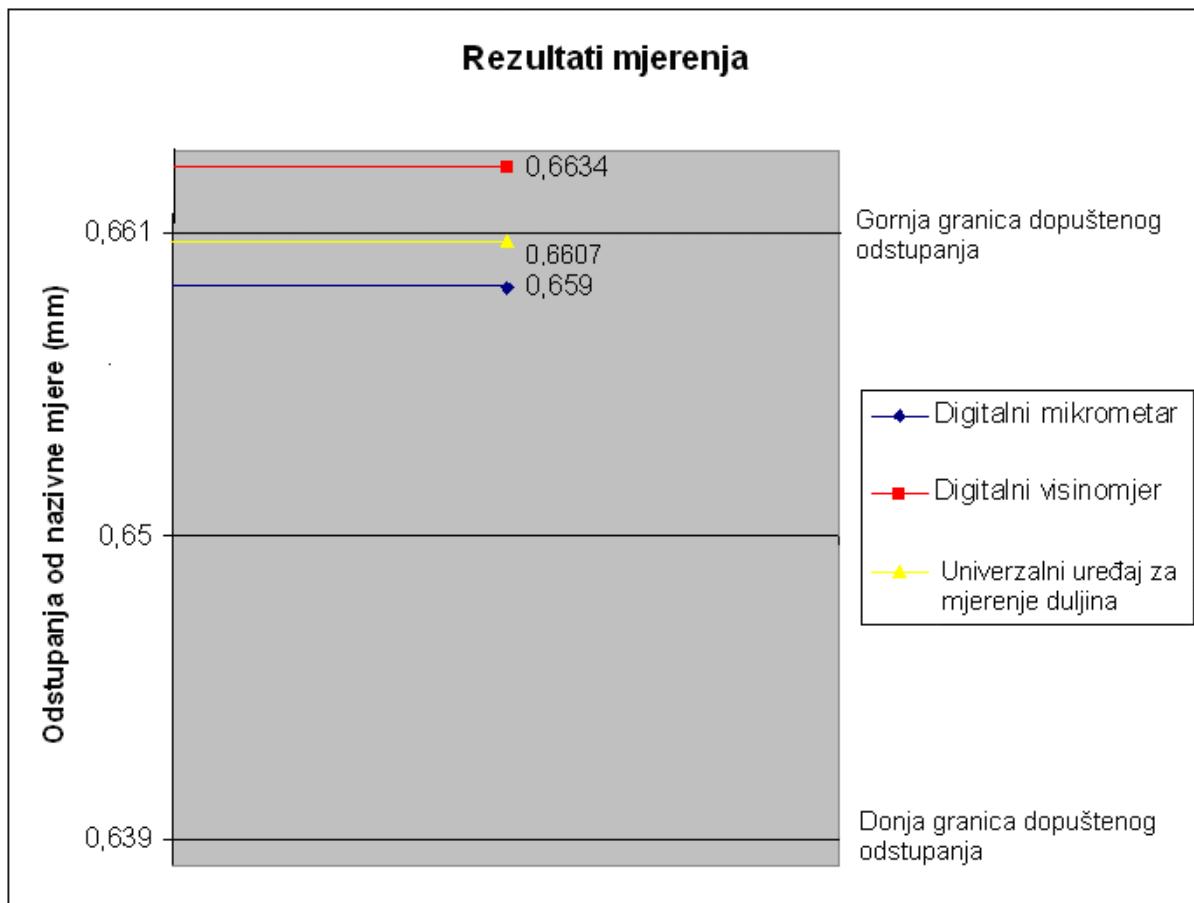


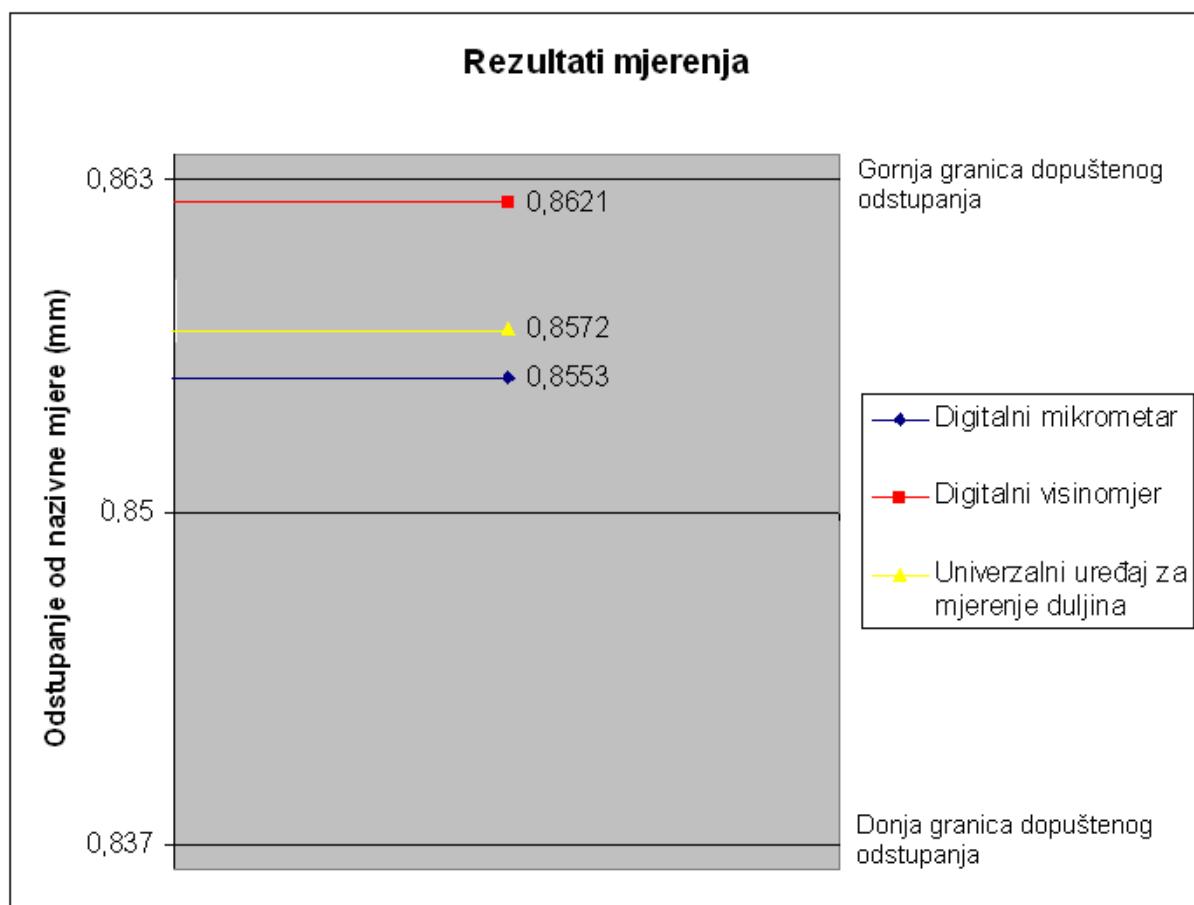
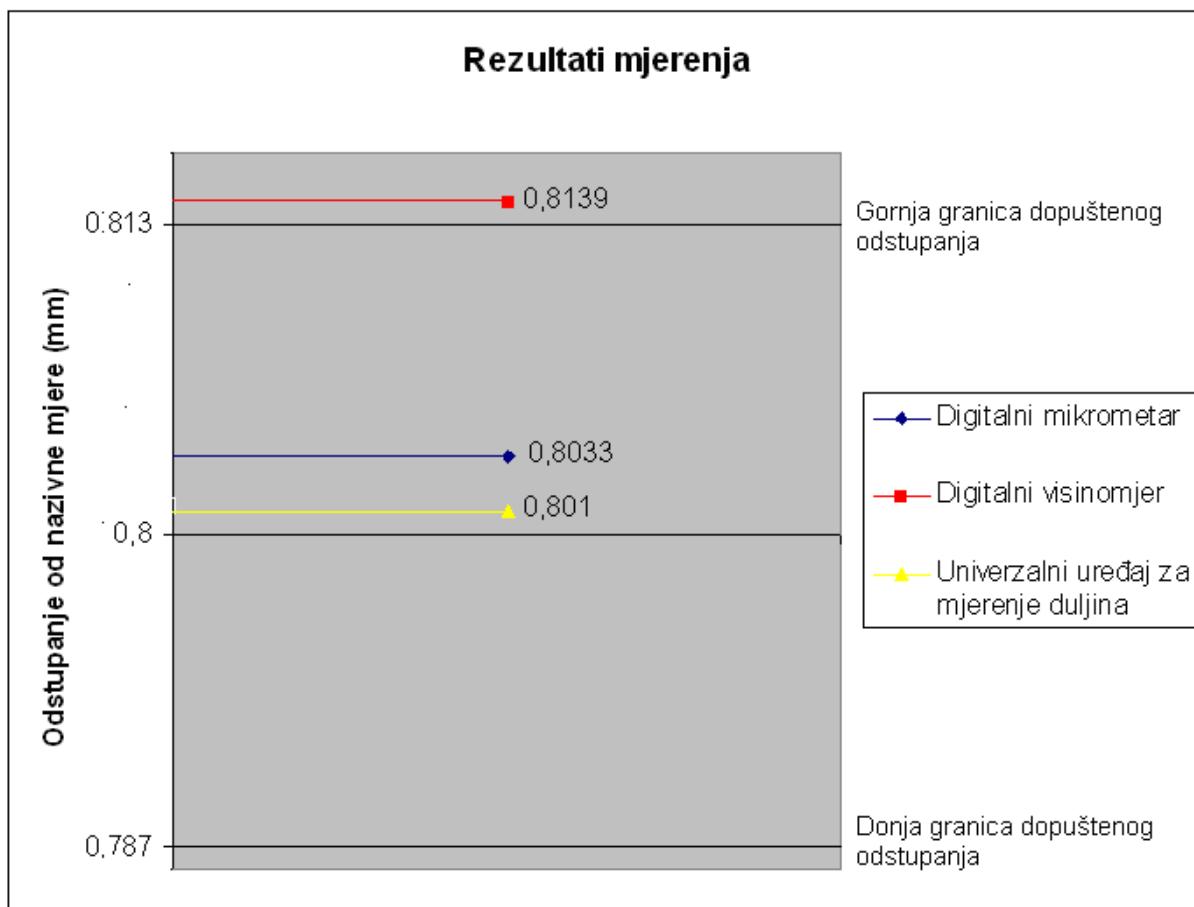
Rezultati mjerena



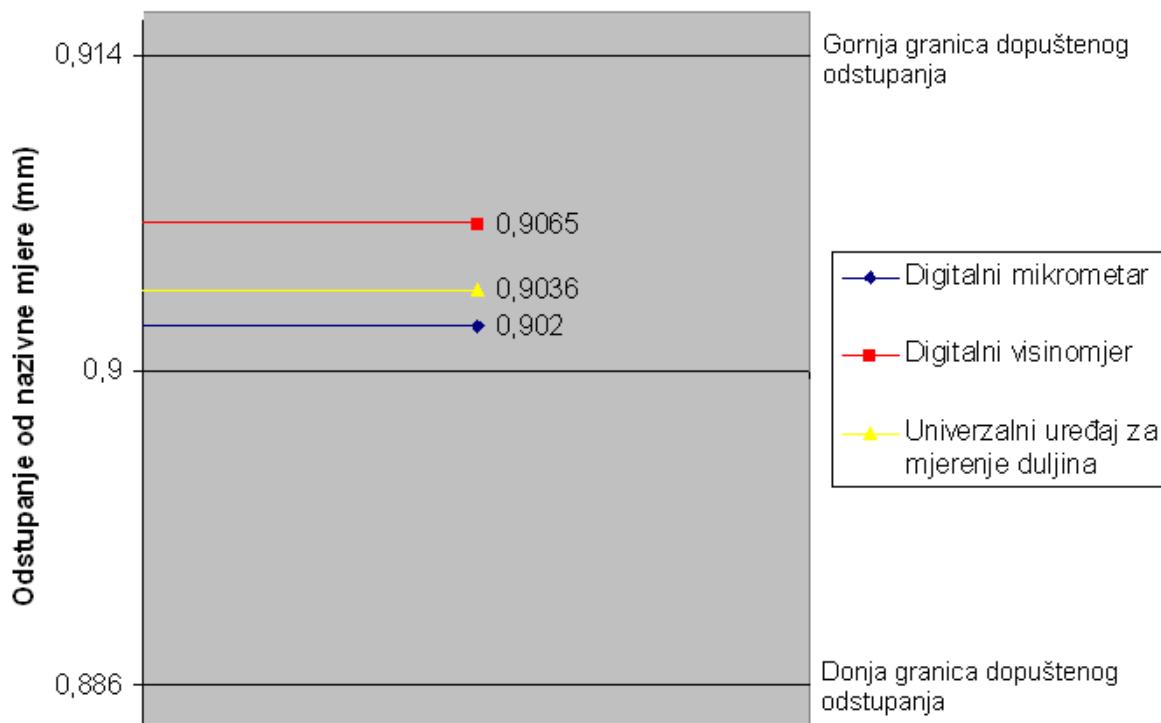
Rezultati mjerena



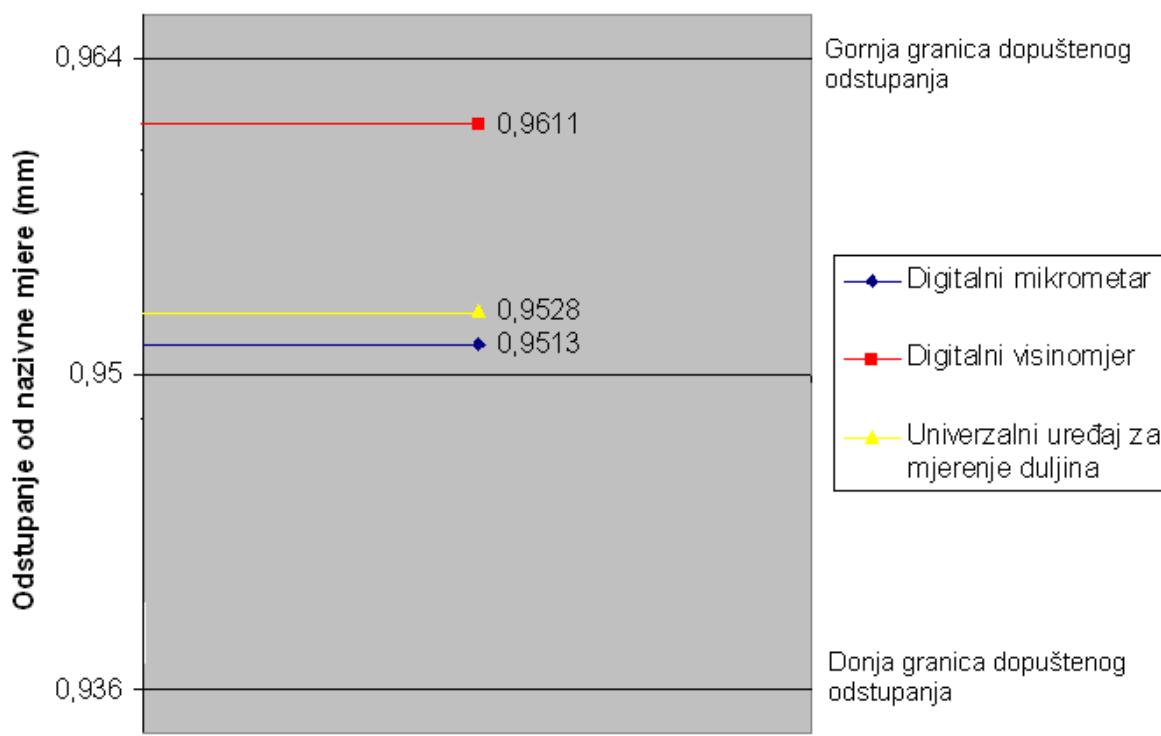


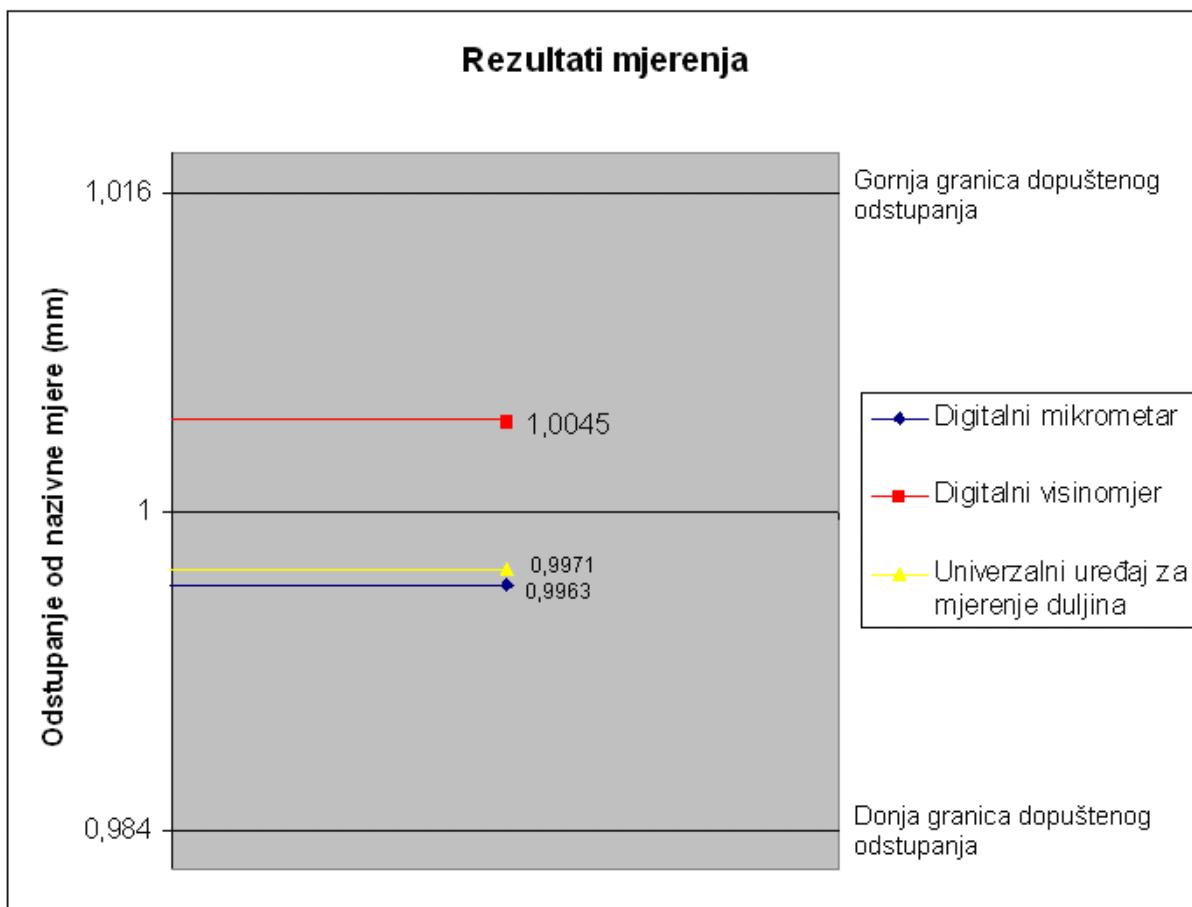


Rezultati mjerena



Rezultati mjerena





Slika 14. Usporedba rezultata mjerena

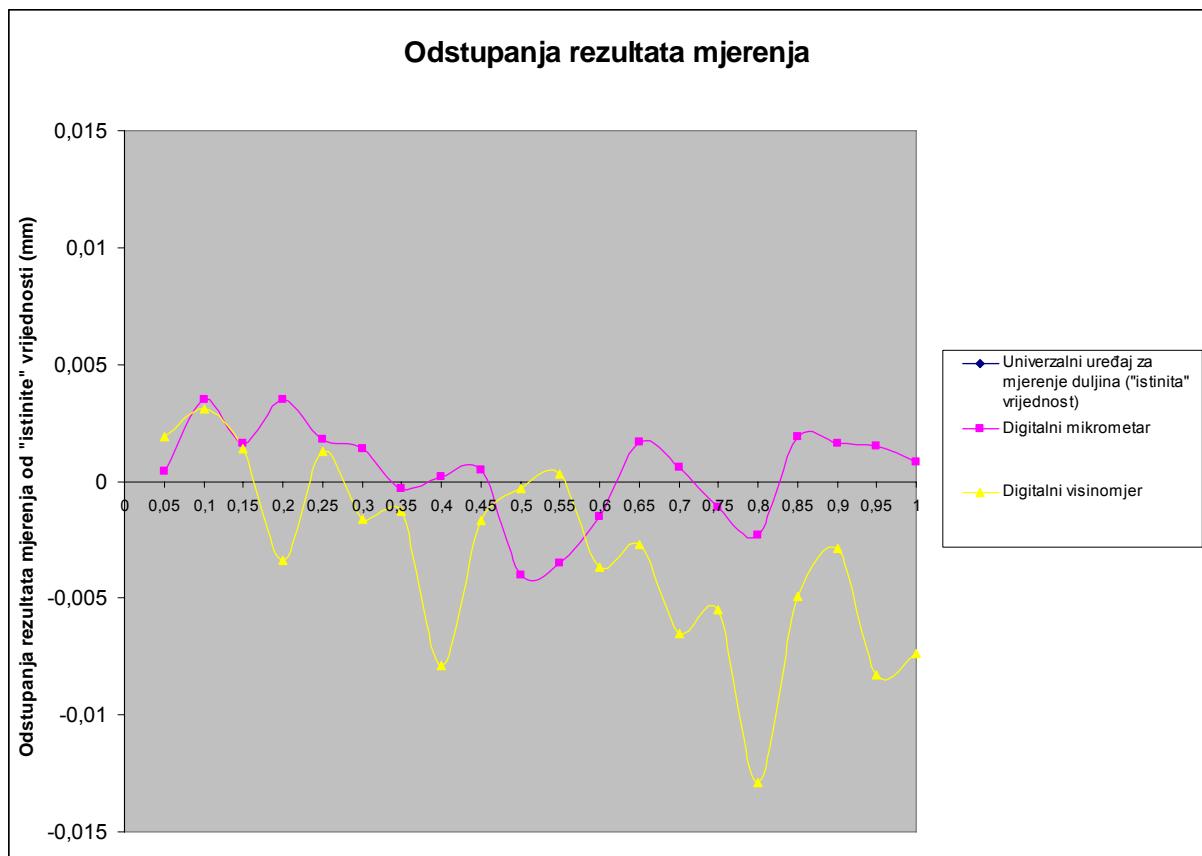
Usporedba rezultata mjerena pokazuje da jedino digitalni mikrometar zadovoljava uvjete dopuštenih odstupanja od nazivne mjere. Također većina izmjerena listića ima odstupanje u pozitivnom smjeru. To se pripisuje činjenici jer jedino digitalni mikrometar od ova tri uređaja ima ravna ticala, te je kontakt koji se ostvaruje između mjernih površina ploha, pa je stoga za očekivati da uslijed nalijeganja dviju ploha svake sa svojim odstupanjem od ravnosti da su odstupanja uglavnom pozitivna. Za digitalni visinomjer je bilo očekivano da će imati najveća odstupanja od nazivne mjere, odstupanja kod digitalnog visinomjera su većinom bila u pozitivnom smjeru (izuzev dva mjerna listića nazivnih mjera 0,05 mm i 0,5 mm). To se događa iz razloga zato što digitalni visinomjer kao bazu (nulu) koristi stol koji ima određeno odstupanje od ravnosti, te se time povećava pogreška rezultata. Isto tako kako god da zamislimo profil neravnina koje su na tome stolu uvijek će postavljeni mjerni listić ležati na vrhovima neravnina koje su pozitivnog iznosa. Osim toga ticalo je kuglastog završetka što znači da kontakt s mjernim listićem ostvaruje u jednoj točki, te se može pojaviti povećano odstupanje zbog savinutosti listića. Rezultati na univerzalnom uređaju za mjerjenje duljina su

uglavnom bili bliski rezultatima dobivenim na digitalnom mikrometru, osim kod mjernih listića nazivnih mjera 0,10 mm, 0,15 mm i 0,5 mm kada su odstupanja prekoračila dopuštene vrijednosti. Takva odstupanja pripisujemo činjenici da je mjerjenje vršeno kuglastim kapicama.

Odlučio sam se razraditi postupak umjeravanja za univerzalni uređaj za mjerjenje duljina, jer je to uređaj najviše razine točnosti čija je rezolucija $0,01 \mu\text{m}$. Rezultati dobiveni na univerzalnom uređaju za mjerjenje duljina mi postaju referntni, te u odnosu na njih uspoređujem odstupanja rezultata dobivenih na ostala dva uređaja (digitalni mikrometar i digitalni visinomjer);(tablica 8.). Na slici 15. su grafički prikazane vrijednosti unešene u tablici 8.

Tablica 8. Odstupanja rezultata mjerjenja digitalnog mikrometra i digitalnog visinomjera u odnosu na univerzalni uređaj za mjerjenje duljina

Odstupanja rezultata mjerjenja		
Srednja vrijednost mjerena dobivena na univerzalnom uređaju za mjerjenje duljina, koja nam predstavlja referentnu vrijednost (mm)	Odstupanje od referentne vrijednosti rezultata mjerena dobivenih na digitalnom mikrometru (μm)	Odstupanje od referentne vrijednosti rezultata mjerena dobivenih na digitalnom visinomjeru (μm)
0,0501	0,4	1,9
0,1048	3,5	3,1
0,1566	1,6	1,4
0,2008	3,5	-3,4
0,2555	1,8	1,3
0,2987	1,4	-1,6
0,3494	-0,3	-1,3
0,3985	0,2	-7,9
0,4498	0,5	-1,7
0,4883	-4	-0,3
0,5522	-3,5	0,3
0,5992	-1,5	-3,7
0,6607	1,7	-2,7
0,7013	0,6	-6,5
0,7446	-1,1	-5,5
0,801	-2,3	-12,9
0,8572	1,9	-4,9
0,9036	1,6	-2,9
0,9528	1,5	-8,3
0,9971	0,8	-7,4



Slika 15. Prikaz odstupanja

U nastavku je razrađen postupak umjeravanja mjernih listića u obliku dokumenta kakav se koristi u Laboratoriju za precizna mjerena dužina.

POSTUPAK ZA UMJERAVANJE MJERNIH LISTIĆA

Zagreb, veljača 2009.

POSTUPAK ZA UMJERAVANJE MJERNIH LISTIĆA
Izdanje 00

IZRADIO:

Domagoj Nedved

PROVJERIO:

Gorana Barišić, dipl. ing.

ODOBRIO:

Prof. dr. sc. Sanjin Mahović

Zagreb, veljača 2009.



PRIMJEDBE:

00	Nulto izdanje	2009.	D. Nedved	S. Mahović
Izdanje	<i>Opis izmjene</i>	Datum	Izradio	Odobrio

SADRŽAJ

Poglavlje	Naslov	Stranica
5	Svrha	48
5.1.	Područje primjene	48
5.2.	Norme i referentni dokumenti	48
5.3.	Provjera certifikata mjernih sredstava	48
5.4.	Priprema za provedbu umjeravanja	48
5.5.	Prethodna ispitivanja	48
5.6.	Provedba umjeravanja	49
5.7.	Obrada i prikazivanje rezultata mjerena	49
5.8.	Proračun za iskazivanje mjerne nesigurnosti	49
5.9.	Sljedivost	55
<i>Privitak br. 1.</i>	<i>Radna podloga</i>	56

5. POSTUPAK UMJERAVANJA

Svrha ovog dokumenta je razrada postupka umjeravanja mjernih listića.

5.1. PODRUČJE PRIMJENE

Postupak je namijenjen umjeravanju svih setova mjernih listića mjernog područja od 0,03 mm do 2 mm.

5.2. NORME I REFERENTNI DOKUMENTI

Za potpuno razumijevanje i primjenu ovog postupka potrebno je koristiti slijedeće norme i referencijske dokumente:

DIN 2275 (1977) : Fühlerlehren (mjerni listići)

Uputa za korištenje univerzalnog uređaja za mjerjenje duljina

5.3. PROVJERA CERTIFIKATA MJERNIH SREDSTAVA

Prije provedbe umjeravanja potrebno je provjeriti valjanost certifikata onih mjernih sredstava koja se koriste u postupku umjeravanja (univerzalni uređaj za mjerjenje duljina).

5.4. PRIPREMA ZA PROVEDBU UMJERAVANJA

Mjerne površine listića i uređaja koje koristimo treba očistiti i odstraniti masnoću korištenjem medicinskog benzina, pamučne vate i čiste pamučne krpe. Čišćenje se provodi u prostoriji A-102-1.

5.5. PRETHODNA ISPITIVANJA

Provjeriti postojanje identifikacijske oznake seta mjernih listića (serijski broj i/ili tvornički broj i/ili interna oznaka donosioca mjernih listića).

Provjeriti stanje mjerne površine (korozija, oštećenja, istrošenost i dr.)

Rezultate ispitivanja prema točkama upisati u *Radnu podlogu*, ona se nalazi u privitku.

U slučaju da mjerni listići ne zadovoljavaju zahtjeve iz točke 5.5; postupak umjeravanja se ne provodi.

5.6. PROVEDBA UMJERAVANJA

Umjeravanje provoditi samo u slučaju ako je temperatura okoliša $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Sama provedba mjerena je prikazana pod točkom 4.3.

1. Provjeriti postojanje identifikacijskih oznaka mjernih listića (serijski broj i/ili tvornički broj i/ili interna oznaka donosioca mjerila)
2. Provjeriti stanje mjernih površina (korozija, oštećenja, istrošenost i sl.)
3. Provjeriti uočljivost brojevnih oznaka nazivne mjere

5.7. OBRADA I PRIKAZIVANJE REZULTATA

U slučaju da set mjernih listića ne zadovoljava uvjete iz točke 5.5. koja se odnosi na prethodna ispitivanja korisniku se izdaje samo prva stranica Radne podloge gdje se dogovorenom oznakom naznači nemogućnost provedbe umjeravanja. Radnu podlogu napisljeku potpisuje voditelj Laboratorija.

U slučaju da smo proveli umjeravanje rezultate treba usporediti sa dopuštenim odstupanjima prema odgovarajućoj normi (tablica 7. i slika 14.). U slučaju da je rezultat mjerena izvan granica dopuštenih odstupanja, mjereno treba ponoviti. Ako se potvrde prethodni rezultati u Potvrdi o umjeravanju korisniku seta mjernih listića treba napomenuti da su odstupanja veća od zahtjeva normi.

5.8. PRORAČUN ZA ISKAZIVANJE MJERNE NESIGURNOSTI

„Mjerna nesigurnost definirana je kao parametar pridružen rezultatu mjerena koji opisuje rasipanje vrijednosti koje bi se razumno moglo pripisati mjerenoj veličini uz određenu vjerojatnost“.[2] Potrebno ju je procjenjivati radi nedvosmislenog iskazivanja i usporedbe izmijerenih rezultata dobivenih u različitim umjernim i ispitnim laboratorijima ili radi usporedbe izmijerenih rezultata sa specifikacijama proizvođača ili zadanom tolerancijom.



5.8.1. Matematički model mjerena

$$L_s = L_{si} + \delta L_{si} + \delta L_T + \delta L_E + \delta L_A + \delta L_P$$

gdje je:

- | | |
|-----------------|---|
| L_s | - stvarna (korigirana) debljina mjernog listića |
| L_{si} | - izmjerena debljina mjernog listića |
| δL_{si} | - utjecaj granične pogreške |
| δL_T | - utjecaj temperature |
| δL_E | - utjecaj elastične deformacije |
| δL_A | - utjecaj Abbeove pogreške |
| δL_P | - utjecaj nesuosnosti mjernih ticala |

5.8.2. Ponovljivost

Provedeno je 30 ponovljenih mjerena mjernog listića nazivne debljine 0,5 mm.

Utvrđeno je standardno odstupanje jednog mjerena u iznosu:

$$s(L_{si}) = 0,7 \text{ } \mu\text{m}$$

Standardno odstupanje jednog mjerena sadrži utjecaj odstupanja od ravnosti i paralelnosti mjernih površina mjernog listića, kao i utjecaj ponovljivosti mjernog uređaja. Standardna nesigurnost za tri ponovljena mjerena koliko se izvodi u postupku mjerena iznosi:

$$u(L_{si}) = \frac{s(L_{si})}{\sqrt{3}} = 0,404 \text{ } \mu\text{m}$$

5.8.3. Granična pogreška

Izvršeno je ispitivanje mjernog uređaja i utvrđeno je da se odstupanja nalaze unutar granične pogreške koja iznosi $\pm(0,5 + 10 \cdot L) \mu\text{m}$, L u m. Uz pretpostavku pravokutne razdiobe standardna nesigurnost iznosi:

$$u(\delta L_{Si}) = \frac{(0,5 + 10 \cdot L)}{\sqrt{3}} = (0,29 + 5,8 \cdot L) \mu\text{m}, \quad L \text{ u m}$$

5.8.4. Temperaturna korekcija

U postupku mjerjenja mjernih listića provodi se temperaturna korekcija. Korekcija zbog utjecaja temperature prikazana je izrazom kako slijedi.

$$\delta L_T = 0,011 \cdot L \cdot (t_M - t_{EP})$$

gdje je:

- δL_T - iznos temperaturne korekcije, μm
- L - nazivna debljina mjernog listića, m
- t_M - temperatura mjerne skale, $^{\circ}\text{C}$
- t_{EP} - temperatura mjernog listića, $^{\circ}\text{C}$

Gornji izraz možemo napisati:

$$\delta L_T = \alpha \cdot L \cdot (\Delta t_1)$$

gdje je:

$$\Delta t_1 = t_M - t_{EP}$$

Mjerena se provode kada su temperature t_M i t_{EP} u intervalu $20 \text{ } ^{\circ}\text{C} \pm 0,5 \text{ } ^{\circ}\text{C}$.

5.8.5. Nesigurnost mjerjenja razlike temperature

Mjerjenje temperature provodi se primjenom termometra (rezolucija $0,1 \text{ } ^{\circ}\text{C}$). Uz pretpostavku trokutaste razdiobe vjerojatnosti, nesigurnost očitanja razlika temperature $u(\Delta t_1)$ iznosi:

$$u(\Delta t_1) = \frac{0,1 \text{ } ^{\circ}\text{C}}{\sqrt{6}} = 0,041 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

5.8.6. Nesigurnost linearnog koeficijenta temperaturnog rastezanja

Za štapni kontrolnik i decimalnu mjernu skalu (izrađena iz čelika), procjenjuje se da koeficijent temperaturnog rastezanja leži s istom vjerojatnošću u intervalu $\alpha = (11,0 \pm 1) \cdot 10^{-3} K^{-1}$. Standardna nesigurnost koeficijenta temperaturnog rastezanja $u(\alpha)$ iznosi:

$$u(\alpha) = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3}} = 0,577 \cdot 10^{-3} K^{-1}$$

Sastavljena standardna nesigurnost $u_c(\delta L_T)$:

$$u_c(\delta L_T) = 0,20 + 0,7 \cdot L \text{ } \mu\text{m}, L \text{ u m}$$

5.8.7. Elastična deformacija uslijed mjerne sile

U postupku mjerjenja seta mjernih listića ostvaruje se dodir između dva ticala na početku mjernog postupka (nulti položaj), te ticala i mjernih površina mjernih listića na kraju mjernog postupka. Iznos elastične deformacije mjernih listića u ovom postupku utvrđen je na osnovu Hertzovih formula. U mjernom sustavu se koriste kuglasta ticala, a materijal ticala i predmeta mjerjenja je čelik. Standardna nesigurnost elastične deformacije uslijed mjerne sile $u(\delta L_E)$:

$$u(\delta L_E) = 0,5 \text{ } \mu\text{m}$$

5.8.8. Abbe-ova pogreška

Abbe-ova pogreška mjerjenja uzrokovana je time da nam mjerna skala nije u produžetku predmeta mjerjenja. Kako je to u ovom postupku mjerjenja slučaj utvrđujemo da Abbe-ova pogreška postoji, ali ju zanemarujemo zbog malih mjereneh dimenzija (mjerni listići nazivnih debljina od 0,05 mm do 1,0 mm).

5.8.9. Nesigurnost zbog nesuosnosti (nelinearnosti) mjernih ticala

Na dijelu mjerne skale koji će se koristiti u postupku umjeravanja utvrđena je pogreška linearnosti od $0,01 \text{ } \mu\text{m}$. Uz pretpostavku pravokutne razdiobe slijedi standardna nesigurnost u iznosu:

$$u(\delta L_P) = \frac{0,01}{\sqrt{3}} = 0,0058 \text{ } \mu\text{m}$$

5.8.10. Proširena mjerna nesigurnost

Sastavnice standardne nesigurnosti u postupku umjeravanja seta mjernih listića prikazane su u tablici 9.

Tablica 9. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupku umjeravanja seta mjernih listića [5]

SASTAVNICA STANDARDNE MJERNE NESIGURNOSTI	IZVOR NESIGURNOSTI	IZNOS STANDARDNE NESIGURNOSTI	KOEFICIJENT OSJETLJIVOSTI	DOPRINOS MJERNOJ NESIGURNOSTI, μm L u m
L_{Si}	Ponovljivost	0,404	1	0,404
δL_{Si}	Granična pogreška	$0,29 + 5,8 \cdot L$	1	$0,29 + 5,8 \cdot L$
δL_T	Temperaturna korekcija	$0,20 + 0,7 \cdot L$	1	$0,20 + 0,7 \cdot L$
δL_E	Elastična deformacija	0,5	1	0,5
δL_A	Abbeova pogreška	-	1	zanemarivo
δL_P	Nesuosnost	0,0058	1	0,0058
Sastavljena standardna mjerna nesigurnost		$u_c(L_s) = \sqrt{(0,744)^2 + 50,74L^2}$		
Linearizirana proširena mjerna nesigurnost U za $P= 95\%$, $k=2$		$U = (1,49 + 101,48L) \mu\text{m}, \text{L u m}$		

Proširena mjerna nesigurnost iznosi:

$$U = (1,49 + 101,48 L) \mu\text{m}, \text{L u m}; k = 2, P = 95\%$$

5.9. SLJEDIVOST

„Sljedivost je svojstvo mjernog rezultata ili vrijednosti kojeg etalona po kojemu se on može dovesti u vezu s navedenim referencijskim etalonima (obično državnim ili međunarodnim) neprekinutim lancem usporedbi koje imaju utvrđene mjerne nesigurnosti“.[2] (slika 6.) Pošto umjeravanja seta mjernih listića provodimo na univerzalnom uređaju za mjerjenje duljina, važno nam je promotriti kako se sljedivost prenosi na spomenuti uređaj. Usporedbenim mjeranjem sljedivost prenosimo s državnog etalona na garnituru plan paralelnih graničnih mjerki, a potom se pomoću njih umjerava univerzalni uređaj za mjerjenje duljina.

Dokumentacija:

1..... Radna podloga

- ZAVRŠETAK DOKUMENTA-

Privitak br. 1 *Radna podloga*

RADNA PODLOGA

Za umjeravanje mjernih listića

Broj: _____

Datum: _____

PODACI O MJERILU:

Naziv:		Mjerno područje:	Proizvodač:
Oznaka:	Serijski broj:	Korisnik:	

5.5.	PRETHODNA ISPITIVANJA MJERNIH LISTIĆA	REZULTATI	
		da	ne
5.6.1.	Postoje identifikacijske oznake	da	ne
5.6.2.	Mehanička oštećenja (korozija, istrošenost)	da	ne
5.6.3.	Uočljivost nazivne mjere (brojke)	da	ne
Ostala zapažanja:			

Može se provesti postupak umjeravanja: **DA** **NE**

RADNA PODLOGA

Za umjeravanje mjernih listića

REZULTATI MJERENJA

Nazivna mjera (mm)	Rezultati mjerena					
	Očitana vrijednost (mm)	Srednja vrijednost (mm)	Odstupanje od nazivne mjere (µm)	Dopušteno odstupanje po DIN 2275	Procijenjeno standardno odstupanje (µm)	Mjerna nesigurnost (µm)
0,05						
0,10						
0,15						
0,20						
0,25						
0,30						
0,35						
0,40						
0,45						
0,50						
0,55						
0,60						
0,65						
0,70						
0,75						
0,80						
0,85						
0,90						
0,95						
1,00						
U= 1,49 µm						

Za mjerne listice izdati
(nepotrebno precrkati)

Potvrdu o umjeravanju

Izvješće o mjerenu

Ispitivanje izvršio:

Provjerio:

Podaci o mjernom postupku

Referentni etalon:	Garnitura planparalelnih graničnih mjerki „MAHR“ od 0,5 do 100 mm (oznaka GMD 14-359)
Mjerna oprema:	Univerzalni uređaj za mjerjenje duljina „Joint Instruments“ (oznaka MU 44-421)
Temperatura okoliša:	(20±1°C)

6. ZAKLJUČAK

Provedbom mjerena pomoću tri mjerna uređaja (digitalni mikrometar, digitalni visinomjer i univerzalni uređaj za mjerjenje duljina), te usporedbom dobivenih rezultata ustanovljeno je kako je optimalna mjerna metoda ona pomoću univerzalnog uređaja za mjerjenje duljina. Osim što je univerzalni uređaj za mjerjenje duljina uređaj najviše razine točnosti i najveće rezolucije ($0,01 \mu\text{m}$), to je ujedno i najbrža metoda. Iz dobivenih rezultata zaključujem kako je umjeravanje pomoću digitalnog visinomjera nepovoljno, jer zbog načina mjerjenja ne možemo ticalom obuhvatiti mjerni listić s obje strane istovremeno, što nam značajno povećava pogrešku mjerjenja. Na kraju se nameće pitanje kako interpretirati rezultate mjerjenja dobivene na digitalnom mikrometru, kao što je već ranije navedeno jedino su rezultati ovom metodom bili unutar granica dopuštenih odstupanja. Kao što znamo ticala kod digitalnog mikrometra su ravna i moguće je da prilikom mjerjenja dolazi do deformacije listića pod utjecajem mjerne sile.

Zbog svega navedenog zaključujem kako mjerni listići nazivnih debljina $0,10 \text{ mm}$, $0,15 \text{ mm}$ i $0,50 \text{ mm}$ prelaze dopuštene granice odstupanja bilo zbog istrošenosti bilo zbog savinutosti koju nije moguće zamjetiti vizualnim pregledom prilikom prethodnog ispitivanja.

LITERATURA

- [1] – Priručnik o kvaliteti, LFSB, izdanje 11. Zagreb, 2009.
- [2] – Mahović S. Predavanja Teorija i tehnika mjerjenja
- [3] - http://www.centar-alata.hr/mjerni-alati-ravnala-i-sablone/c1_15/p62/scala-mjerni-listici-0-05-1-0mm/product_info.html
- [4] – Norma DIN 2275: Fühlerlehren, 1977
- [5] - BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, 1995.

