

# Organizacija i provedba usporedbenih mjerenja

---

**Dežulović, Milan**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2012**

*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:235:660542>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-25**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Milan Dežulović**

Zagreb, 2012.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

Mentor:

Prof. dr. sc. Biserka Runje

Student:

Milan Dežulović

Zagreb, 2012.

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

Zahvaljujem se prof.dr.sc. Biserki Runje na pomoći pri odabiru teme te savjetima pri pisanju rada. Isto tako, želio bih se zahvaliti i dr.sc. Damiru Markučiću te mr.sc. Morani Mihaljević koji su također pomogli sa svojim prijedlozima.

Milan Dežulović



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za diplomske 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	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **MILAN DEŽULović** Mat. br.: 0035168830

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **ORGANIZACIJA I PROVEDBA USPOREDBENIH MJERENJA**

Naslov rada na engleskom jeziku: **ORGANIZATION AND IMPLEMENTATION OF INTERCOMPARISON MEASUREMENTS**

Opis zadatka:

1. Objasniti važnost provedbe usporedbenih mjerenja na razini nacionalnog, europskog i svjetskog mjeriteljstva. Dati pregled tipova usporedbenih mjerenja te definirati protokol.
2. Izraditi protokol za odabrani primjer usporedbe rezultata mjerenja.
3. Analizirati rezultate provedenih usporedbenih mjerenja.

U radu koristiti iskustva i materijale Laboratorija za precizna mjerenja dužina FSB-a, te navesti eventualnu pomoć.

Zadatak zadan:  
26. travnja 2012.

Rok predaje rada:  
28. lipnja 2012.

Predviđeni datum obrane:  
4., 5. i 6. srpnja 2012.

Zadatak zadao:

Predsjednik Povjerenstva:

Prof.dr.sc. Biserka Runje

Prof. dr. sc. Franjo Cajner

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	1
POPIS SLIKA .....	3
POPIS TABLICA .....	4
POPIS OZNAKA .....	5
SAŽETAK .....	6
1. UVOD .....	7
2. MJERITELJSTVO I USPOREDBENA MJERENJA .....	8
2.1. Važnost mjeriteljstva .....	8
2.1.1 Podjela mjeriteljstva .....	8
2.2. BIPM .....	10
2.3. CIPM .....	10
2.3.1 Sporazum o međusobnom priznavanju (MRA) .....	11
2.3.2 Sposobnost mjerenja i umjeravanja (CMC) .....	12
2.3.3 Savjetodavni odbori (CC-i).....	15
2.3.4 Nacionalni mjeriteljski instituti (NMI-i) .....	16
2.4. Europsko udruženje nacionalnih mjeriteljskih instituta .....	16
2.5. Usporedbena mjerenja .....	19
2.5.1 Područja usporedbenih mjerenja .....	20
2.5.2 Organizacijska struktura usporedbenih mjerenja .....	22
2.5.3 Tipovi usporedbenih mjerenja .....	25
2.6. Protokol usporedbenih mjerenja .....	27
2.6.1 Sudjelovanje u CMO usporedbenim mjerenjima .....	27
2.6.2 Iniciranje međunarodnih usporedbenih mjerenja .....	28
2.6.3 Organizacija međunarodnih ključnih usporedbi (CMO key comparison) .....	29
2.6.4 Tehnički protokol ključne usporedbe .....	30
2.6.5 Kruženje uzoraka i carinske formalnosti .....	31
2.6.6 Izvještaj o rezultatima mjerenja .....	32
2.6.7 Izvještaj o međunarodnoj ključnoj usporedbi .....	32
3. INTERKOMPARACIJA ULTRAZVUČNOG MJERENJA DEBLJINE .....	36
3.1. Protokol.....	36

3.2.	Lista sudionika .....	36
3.3.	Shema usporedbenog mjerenja .....	37
3.4.	Opće informacije .....	38
3.5.	Uzorci .....	38
3.5.1	Uzorak 1 .....	42
3.5.2	Uzorak 2 .....	43
3.5.3	Uzorak 3 .....	44
3.5.4	Uzorak 4 .....	45
3.6.	Instrukcije za mjerenje.....	46
3.7.	Obrazac [8].....	47
3.8.	Europska norma za nerazorna ispitivanja – mjerenje debljine ultrazvukom.....	49
3.8.1	Opseg norme .....	49
3.8.2	Načini mjerenja .....	49
3.8.3	Osnovni zahtjevi mjerenja .....	51
3.8.4	Primjena tehnike.....	52
3.8.5	Uvjeti površine – korozija .....	53
3.8.6	Mjerenje uz opću koroziju .....	53
3.8.7	Mjerenje uz točkastu koroziju.....	55
4.	ANALIZA REZULTATA INTERKOMPARACIJE .....	56
4.1.	Mjerenja mikrometarskim vijkom.....	56
4.2.	Statistička obrada podataka usporedbenih mjerenja .....	59
4.2.1	Matematički model statističke obrade podataka .....	59
4.2.2	Faktor slaganja $E_n$ .....	60
4.2.3	Birgeov kriterij.....	60
4.3.	Rezultati i analiza simuliranih mjerenih rezultata laboratorija – primjer 1 i 2 .....	62
4.3.1	Primjer 1 .....	62
4.3.2	Primjer 2 .....	64
5.	Zaključak.....	67
6.	Literatura.....	69

**POPIS SLIKA**

Slika 1.	Mjeriteljstvo, normizacija i ocjena sukladnosti.....	9
Slika 2.	Članice EURAMET-a [4].....	17
Slika 3.	Organizacijska strukutra EURAMET-a [4].....	19
Slika 4.	Organizacijska strukutra CIPM MRA-a [1].....	23
Slika 5.	Organizacijska shema ključnih usporedbi [1] .....	24
Slika 6.	Dijagram toka međunarodnih i regionalnih ključnih usporedbi [1] .....	35
Slika 7.	3D model uzorka.....	39
Slika 8.	Slika svih uzoraka.....	39
Slika 9.	Tlocrt i bokocrt uzoraka .....	40
Slika 10.	Kućište.....	41
Slika 11.	Sklop kućišta i uzorka .....	41
Slika 12.	Uzorak 1 .....	42
Slika 13.	Uzorak 2 .....	43
Slika 14.	Uzorak 3 .....	44
Slika 15.	Uzorak 4 .....	45
Slika 16.	Grafički prikaz modela mjerenja [8].....	50
Slika 17.	Simulirani rezultati mjerenja za $d_{nazivni} = 10$ mm.....	62
Slika 18.	Simulirani mjerni rezultati sa pripadajućim mjernim nesigurnostima u odnosu na referentnu vrijednost.....	63
Slika 19.	Simulirani rezultati mjerenja za $d_{nazivni} = 20$ mm.....	64
Slika 20.	Simulirani mjerni rezultati sa pripadajućim nesigurnostima u odnosu na referentnu vrijednost prije izbacivanja LAB6 .....	66
Slika 21.	Simulirani mjerni rezultati sa pripadajućim nesigurnostima u odnosu na referentnu vrijednost poslije izbacivanja LAB6 .....	67



**POPIS TABLICA**

Tablica 1.	Top 10 zemalja po broju CMC-ova na dan 13.aprila 2012.godine [3] .....	13
Tablica 2.	Top 10 sudionika međunarodnih usporedbi [3] .....	14
Tablica 3.	Područja i grane usporedbenih mjerenja [5] .....	20
Tablica 4.	Lista sudionika .....	36
Tablica 5.	Shema putovanja uzoraka .....	38
Tablica 6.	Dimenzije uzoraka .....	40
Tablica 7.	Uzorak 1 .....	42
Tablica 8.	Uzorak 2 .....	43
Tablica 9.	Uzorak 3 .....	44
Tablica 10.	Uzorak 4.....	45
Tablica 11.	Manja dimenzija.....	56
Tablica 12.	Veća dimenzija.....	56
Tablica 13.	Manja dimenzija.....	57
Tablica 14.	Veća dimenzija.....	57
Tablica 15.	Manja dimenzija.....	57
Tablica 16.	Veća dimenzija.....	58
Tablica 17.	Manja dimenzija.....	58
Tablica 18.	Veća dimenzija.....	58
Tablica 19.	Simulirani rezultati mjerenja .....	62
Tablica 20.	Simulirani rezultati mjerenja i analiza.....	63
Tablica 21.	Simulirani rezultati mjerenja .....	64
Tablica 22.	Simulirani rezultati mjerenja i analiza.....	65
Tablica 23.	Vrijednosti $E_n$ prije i poslije izbacivanja laboratorija .....	65

**POPIS OZNAKA**

$d$	[mm]	nazivna debljina
$T$	°C	temperatura
$f$	Hz	frekvencija
$v$	m/s	brzina zvuka
$E_n$		faktor slaganja
$k$		faktor pokrivanja
$p$	[%]	vjerojatnost
$R_B$		Birgeov koeficijent
$X_w$	[mm]	težinska srednja vrijednost
$X_{ref}$	[mm]	referentna vrijednost
$u(X_{lab})$	[mm]	standardna mjerna nesigurnost laboratorija
$u(X_{ref})$	[mm]	referentna standardna mjerna nesigurnost

## SAŽETAK

Osnovna tema ovog rada su usporedbena mjerenja. Rad je podijeljen u tri dijela.

U prvom dijelu se opisuje podjela mjeriteljstva danas te se objašnjava i prikazuje važnost usporedbenih mjerenja na nacionalnoj, europskoj i svjetskoj razini. Poseban naglasak se stavlja na BIPM, Međunarodni ured za utege i mjere te Sporazum o međusobnom priznavanju (CIPM - MRA) potpisan 1999. godine. Isto tako, u prvom dijelu je prikazan protokol jednog tipičnog usporedbenog mjerenja.

Drugi dio rada prikazuje protokol za konkretno usporedbeno mjerenje debljine ultrazvukom koje će se odvijati pod organizacijom Laboratorija za nerazorna ispitivanja, koji se nalazi na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Izrađeni su i prikazani svi sastavni dijelovi jednog protokola za usporedbeno mjerenje te strukturiran obrazac u koji će se unositi rezultati mjerenja.

U trećem dijelu ovog rada prikazana je statistička metoda koja se koristi za analizu prikupljenih mjernih rezultata, a pošto samo usporedbeno mjerenje tek treba biti provedeno napravljena su dva primjera gdje su simulirani rezultati i prikazana analiza istih.

## 1. UVOD

U današnjem svijetu tehnologije mjeriteljstvo igra vrlo važnu ulogu. Paralelno sa razvojem tehnologije kroz povijest, rodila se potreba za jedinstvenim mjernim jedinicama koje će biti „opći tehnički jezik“ cijelog svijeta. Jedan metar u Japanu, predstavlja istu duljinu kao i jedan metar u Europi, ili pak jedan metar u Americi. Međutim netko je trebao dogovoriti, odrediti i izraditi taj prvi metar, kilogram i druge etalone. 20. svibnja 1875. godine u Parizu je potpisan tzv. Dogovor o metru. Tim dogovorom su udareni temelji mjeriteljstva u svijetu. Dogovoreno je da će se osnovati i održavati Međunarodni ured za utege i mjere (BIPM) kojemu će sjedište biti Pariz, a biti će pod vodstvom Međunarodnog odbora za utege i mjere (CIPM) kojeg čine zastupnici svih vlada potpisnica ugovora. Male dopune i izmjene dogovor je doživio 6. listopada 1921. godine, kada su dodane i jedinice električnih veličina. Tim činom je postavljen temelj današnjem Međunarodnom sustavu jedinica SI. [1]

Danas, tvrtke i vlade upotrebljavaju mjeriteljstvo, normizaciju i ocjenu sukladnosti da bi poboljšale proizvodnju, zdravlje, zaštitu potrošača, okoliš, sigurnost i kvalitetu. Njihovom djelotvornom primjenom podupire se održivi razvoj i društvena dobrobit te olakšava trgovina.

Mjeriteljstvo obuhvaća i rad nacionalnih mjeriteljskih instituta koji svake godine intezivno rade na doradama uređaja, razvijanjima novih i poboljšavanjima već postojećih metoda mjerenja. Uz to, svake godine se vrše brojna usporedbena mjerenja kojima laboratoriji pokušavaju povećati dokazati svoju preciznost i vrednovati se u odnosu na druge. Cilj svakog instituta ili laboratorija je doći do CMC-a, certifikata kojim dokazuju sposobnosti mjerenja i umjeravanja.

## 2. MJERITELJSTVO I USPOREDBENA MJERENJA

### 2.1. Važnost mjeriteljstva

U današnjem svijetu tehnologije poseban se naglasak stavlja na mjeriteljstvo. Uz strahovit napredak nanotehnologije u posljednjih 20 godina, mjeriteljstvo se nameće kao jako bitna djelatnost. Nanotehnologija je bilo koja tehnologija čije je polje djelovanja veličine reda milijarditog dijela metra. Pod nanotehnologijom se smatra izrada minijaturnih čipova, minijaturnih uređaja toliko sićušnih da mogu prolaziti ljudskim žilama. Za razvoj takvih uređaja potrebno je razviti metode mjerenja i uređaje koji mogu raditi u tako sićušnom svijetu.

Tim svijetom bavi se mjeriteljstvo. Mjeriteljstvo je znanost o mjerenju. Obuhvaća mjerne jedinice i njihove etalone, mjerila i njihovo područje primjene te sve teoretske i praktične probleme vezane s mjerenjem.

#### 2.1.1 Podjela mjeriteljstva

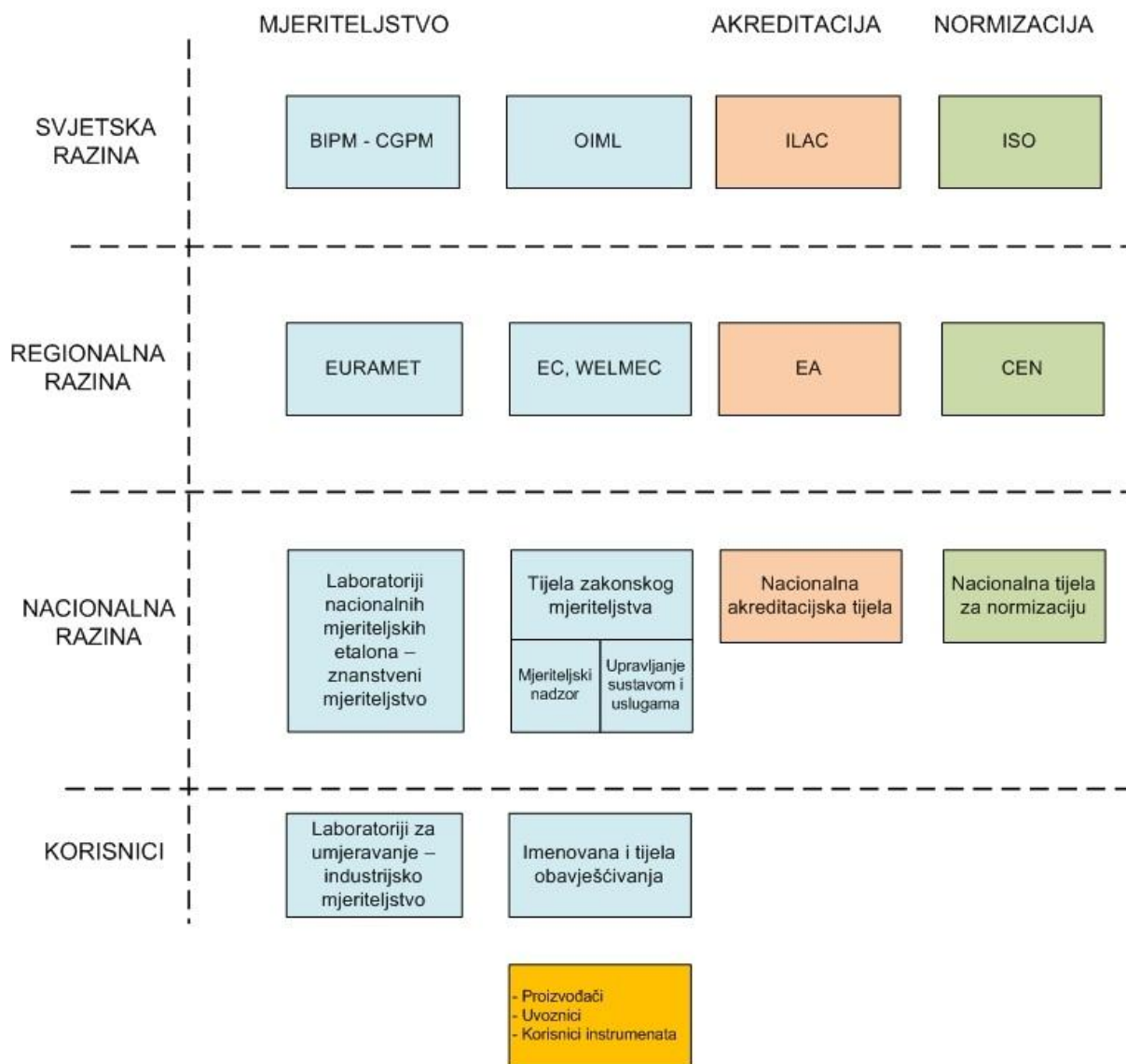
Mjeriteljstvo se u biti dijeli na tri glavna područja: zakonsko mjeriteljstvo, znanstveno mjeriteljstvo i industrijsko mjeriteljstvo. [2]

Zakonsko mjeriteljstvo je dio mjeriteljstva uređen zakonom i drugim propisima u cilju uspostave povjerenja u rezultate mjerenja u području primjene zakonitih mjerenja. Odnosi na djelatnosti koje su rezultat zahtjeva iz propisa, a odnose se na mjerenja, mjerne jedinice, mjerila i mjerne metode koje provode mjerodavna tijela.

Znanstveno mjeriteljstvo je dio mjeriteljstva koji se bavi problemima koji su zajednički za sva mjeriteljstva pitanja bez obzira na mjerenu veličinu. Ono obuhvaća opće teoretske i praktične probleme koji se tiču mjernih jedinica, uključujući njihova ostvarenja i njihovo prenošenje znanstvenim metodama, probleme mjernih pogriješaka i nesigurnosti te probleme mjeriteljskih svojstava mjerila.

Industrijsko mjeriteljstvo bavi se mjerenjima u proizvodnji i upravljanju kvalitetom. Ono obuhvaća postupke umjeravanja, razdoblja umjeravanja, upravljanje mjernim procesima i upravljanje mjerilima i industriji kako bi se osiguralo da ona budu u skladu sa zahtjevima za njihovu predviđenu uporabu.

U današnjem mjeriteljstvu je izuzetno značajna međunarodna suradnja i usklađivanje mjera, postupaka i mjeriteljskih zahtjeva. Međusobna povezanost razina na kojima se odvija mjeriteljstvo može se vidjeti na slici 1.



**TUMAČ:**

BIPM – Međunarodni ured za utege i mjere  
 CGPM – Generalna konferencija za utege i mjere  
 OIML – Međunarodna organizacija za zakonsko mjeriteljstvo  
 ILAC – Međunarodna akreditacija laboratorija  
 ISO – Međunarodna organizacija za standardizaciju  
 EA – Europska suradnja za akreditaciju  
 WELMEC – Europska suradnja u zakonskom mjeriteljstvu  
 CEN – Europsko udruženje za standardizaciju

**Slika 1. Mjeriteljstvo, normizacija i ocjena sukladnosti**

## 2.2. BIPM

BIPM predstavlja Međunarodni ured za utege i mjere (Bureau International des Poids et Measures), a osnovan je Dogovorom o metru 1875. godine. Rad BIPM-a pod nadzorom je Međunarodnog odbora za utege i mjere (CIMP-Comite International des Poids et Measures).

Glavna i osnovna zadaća BIPM-a je svjetsko usklađivanje mjeriteljstva na najvišoj razini, a to čini preko nacionalnih mjeriteljskih instituta, koji tu zadaću vrše na razinama ispod svoje sve do industrije i krajnjih korisnika.

BIPM uz nacionalne mjeriteljske institute uspostavlja i potvrđuje usporedivost i točnost mjerenja tako da uspoređuje mjerne etalone.

Postupak koji koristi BIPM prilikom usporedbi je sljedeći:

- Nacionalni etaloni se odnose u BIPM i tamo uspoređuju se s BIPM-ovim etalonima, bilo individualno ili kao grupa te sa sličnim etalonima ostalih nacionalnih instituta. Razlikujemo primarne i sekundarne nacionalne etalone.
- BIPM-ovi putujući primarni etaloni se donose u primarne nacionalne mjeriteljske institute za usporedbu s etalonima tog instituta, ili češće, s etalonima od grupe nacionalnih etalona iz iste zemljopisne regije.
- Sekundarni BIPM-ovi putujući etaloni se šalju u nacionalne mjeriteljske institute za usporedbu s nacionalnim etalonima tog instituta.

## 2.3. CIPM

CIPM (International Committee for Weights and Measures) predstavlja Međunarodni odbor za utege i mjere. Riječ je o upravnom tijelu BIPM-a koje čini 18 osoba iz država članica Dogovora o metru (Metre Convention). Glavni zadatak je osigurati jednakost mjernih jedinica po cijelom svijetu, a to čini direktnim akcijama ili podnošenjem prijedloga CGPM-u, Generalnom kongresu za utege i mjere (Conference on Weights and Measures). Sjedište odbora je u francuskom gradu Sevresu.

Fokus CIPM-a je u zadnjih desetak godina na Sporazumu o međusobnom priznavanju (Mutual Recognition Arrangement, MRA) koji služi kao okvir za međusobno prihvaćanje mjerenja izvedenih od strane država članica Dogovora o metru.

CIPM se obično nalazi jednom godišnje na Međunarodnom uredu za utege i mjere (Bureau international des poids et mesures, BIPM) i raspravlja o izvještajima koja su mu izložena od strane Savjetodavnog odbora (Consultative Committees). Vladama država članica Dogovora o metru izdaje godišnje izvješće na temu administrativne i financijske pozicije BIPM-a.

Druge dužnosti CIPM-a uključuju određene odgovornosti kao što su:

- raspravljati o radu BIPM-a pod okriljem CGPM-a
- izdavati godišnji izvještaj o administrativnoj i financijskoj poziciji BIPM-a i to vladama država članica Dogovora o metru.
- raspravljati o mjeriteljskom poslu što su ga zajednički odlučile napraviti države članice i određivati i koordinirati aktivnosti između stručnjaka u metrologiji.
- izraditi odgovarajuće preporuke
- izraditi izvješća komisije kao pripremu za Generalni kongres za utege i mjere (CGPM)

### **2.3.1 Sporazum o međusobnom priznavanju (MRA)**

Ključan trenutak za usporedbena mjerenja dogodio se u Parizu, 14. listopada 1999. godine kada je na sastanku direktora Nacionalnih mjeriteljskih instituta iz ukupno 38 država članica skupa sa predstavnicima dvaju međunarodnih organizacija potpisan „Sporazum o međusobnom priznavanju“ (CIPM MRA) za nacionalne mjerne standarde, kalibraciju i mjernih certifikata izdanih od strane nacionalnih mjeriteljskih instituta. Brojni drugi instituti su u međuvremenu potpisali sporazum.

Ovaj sporazum je odgovor na rastuću potrebu za otvorenim, transparentnim i sveobuhvatnim planom da se korisnicima pruže pouzdane kvantitativne informacije o usporedivosti nacionalnih mjeriteljskih usluga i pruži tehnička osnova za šire sporazume o međunarodnoj trgovini, poslovanju i poslovima nadzora.

Sporazum o međusobnom priznavanju je sastavljen radi sljedećih ciljeva:

- utvrditi stupanj slaganja nacionalnih mjeriteljskih standarda podržanih od strane nacionalnih mjeriteljskih instituta.
- osigurati certifikate o uzajamnom priznavanju kalibracije i mjerenja izdane od strane nacionalnih mjeriteljskih instituta.



- osigurati vladama i drugim stranama siguran tehnički temelj za šire sporazume o međunarodnoj trgovini, poslovanju i poslovima nadzora.

Procesi kroz koje se to sve misli postići sadrže:

- međunarodna usporedbena mjerenja, poznata kao međunarodne ključne usporedbe (key comparisons)
- regionalna usporedbena mjerenja, poznata kao regionalne ključne usporedbe
- druga regionalna ili bilateralna usporedbena mjerenja, poznata kao dodatne usporedbe
- pregled tehničke kompetencije sudionika, uglavnom na temelju rezultata usporedbi
- implementacija i pregled sistema kvalitete i demonstracija sposobnosti od strane nacionalnih mjeriteljskih instituta

Do sada je sporazum potpisalo 87 instituta iz 51 države članice, 33 društva koja pripadaju generalnom kongresu za utege i mjere (CGPM) i 3 međunarodne organizacije te danas sporazum pokriva 142 instituta određena potpisnicima ugovora. Laboratoriji potpisnici sporazuma su dužni sudjelovati u usporedbenim mjerenjima.

Glavni problem usporedbenih mjerenja koja se održavaju u sklopu sporazuma o međusobnom priznavanju je jako velik period između ponavljanja usporedbenih mjerenja, čak preko 7 godina. Taj period je jako velik s obzirom na brzinu kojom se razvijaju mjerni postupci i bilo bi poželjno da se to smanji.

### **2.3.2 Sposobnost mjerenja i umjeravanja (CMC)**

Sve gore spomenute organizacije i potpisani sporazum o međusobnom priznavanju imaju za cilj urediti i poboljšati odnose u svijetu mjeriteljstva. Cilj svakog laboratorija je doći do tzv. CMC-a, a on predstavlja „Sposobnost mjerenja i umjeravanja“, i dostupan je korisnicima pod normalnim okolnostima:

- bilo publiciran u bazi ključnih usporedbi, tzv. KCDB-u koji nadgleda međunarodni ured za utege i mjere
- bilo opisan od strane laboratorija koji ima punomoć, a dobio ju je kao potpisnik ILAC sporazuma. ILAC predstavlja međunarodno udruženje ovlaštenih laboratorija.

Postupak izrade CMC dokumenta je kompleksan i detaljno je opisan u dokumentu „Calibration and Measurement Capabilities in the context of the CIPM MRA“ (CIPM MRA-D-04, Version 2) koji se može preuzeti na službenim web stranicama BIPM-a. ([www.bipm.org](http://www.bipm.org)) [1]

Kako bi se postigao cilj sporazuma o međusobnom priznavanju izdanom od strane Međunarodnog ureda za utege i mjere, nacionalni mjeriteljski instituti i odabrani instituti iz pojedinačnih država razvijaju i održavaju svoje nacionalne standarde u mjeriteljstvu i objavljuju CMC-e dokumente tako što osnivaju sisteme kvalitete, uzimajući istovrsne članke od strane nacionalnih i odabranih mjeriteljskih instituta, i sudjelujući na pripadajućim međunarodnim usporedbama za svako mjerenje. Jednom kada je konačno CMC odobren, podaci će se registrirati u bazi koju nadgleda BIPM i tamo će se održavati i biti redovno ažurirani kako novi CMC-ovi budu predavani ili revidirani i odobreni.

Na dan 13.travnja 2012. godine broj registriranih CMC dokumenata je iznosio 24 736. U tablici ispod se može vidjeti kojih 10 zemalja prednjači u CMC dokumentima.

**Tablica 1. Top 10 zemalja po broju CMC-ova na dan 13.travnja 2012.godine [3]**

Redni broj	Država	Područje CMC-a									UKUPNO
		Akustika ultrazvuk vibracije	Duljina	Vrijeme frekvencija	Temperatura	Fotometrija Radiometrija	Masa količina	Elektricitet Magnetizam	Radiokativnost Ionizacija	Količina materije	
1	SAD	32	49	11	81	134	121	329	540	984	2281
2	Njemačka	76	91	25	93	76	209	263	266	512	1611
3	Rusija	72	20	36	137	44	59	325	329	450	1472
4	U.K.	42	47	12	48	129	81	338	194	423	1314
5	Koreja	41	28	23	51	41	47	141	214	429	1015
6	Francuska	60	27	11	83	29	119	310	244	131	1014
7	Kina	53	14	26	23	27	55	157	195	461	1013
8	Japan	8	33	27	29	49	106	133	248	363	996
9	Nizozemska	6	76	26	56	13	89	238	78	259	841
10	Italija	42	42	14	59	23	108	209	98	10	605
	<b>UKUPNO</b>	<b>1044</b>	<b>1341</b>	<b>667</b>	<b>1854</b>	<b>1184</b>	<b>2759</b>	<b>7003</b>	<b>3902</b>	<b>4982</b>	<b>24736</b>

Rezultat međunarodne usporedbe je bitan dokaz za objavu CMC-a nacionalnih i odabranih mjeriteljskih instituta. U svakom Savjetodavnom odboru koji je određen za svako mjeriteljsko

područje unutar Međunarodne komisije za utege i mjere (CIPM), provodi se ključna usporedba koja je međunarodna usporedba za svako polje mjeriteljstva.

U principu, CIPM ključna usporedba se provodi od strane instituta koji posjeduju visoku tehnologiju i bogato iskustvo u određenom polju. Obično su to nacionalni i odabrani mjeriteljski instituti država članica Savjetodavnog odbora. Nakon CIPM ključne usporedbe, ti se instituti promatraju kao pilot laboratoriji i provode RMO ključne usporedbe (usporedbe na razini regije). Članovi tih regionalnih mjeriteljskih organizacija, ali i drugi laboratoriji mogu sudjelovati u tim usporedbama.

Rezultat RMO ključne usporedbe se povezuje sa CIPM ključnom usporedbom preko instituta odnosno laboratorija koji sudjeluju u CIPM ključnoj usporedbi, i biti će, uz rezultat u CIPM ključnoj usporedbi, važan dokaz za proglašavanje CMC-ova. U međuvremenu, dodatna usporedba se individualno provodi od strane Regionalne mjeriteljske organizacije i nije obuhvaćena od strane CIPM i RMO ključnih usporedbi.

Ovi rezultati međunarodnih usporedbi su registrirani u posebnoj bazi (KCDB) koju podržava Međunarodni ured za utege i mjere (BIPM), a ažurira se i na web stranici. U 4. mjesecu 2012. godine je registrirana 1081 međunarodna usporedba, a zemlje koje najviše sudjeluju u tim usporedbama mogu se vidjeti na tablici 2. ispod.

**Tablica 2. Top 10 sudionika međunarodnih usporedbi [3]**

Redni broj	Država	1999	4 mj. 2004	6 mj. 2006	8 mj. 2007	7 mj. 2008	6 mj. 2009	5 mj. 2010	5 mj. 2011	4 mj. 2012
1	Njemačka	59	323	445	454	470	505	530	547	575
2	U.K.	70	282	356	280	384	376	391	403	422
3	SAD	51	282	330	335	349	361	384	400	417
4	Japan	42	188	263	284	300	319	341	361	390
5	Francuska	48	205	227	308	318	332	353	369	389
6	Koreja	16	143	209	238	262	269	288	303	332
7	Rusija	30	139	194	222	240	270	287	301	322
8	Kina	28	134	175	193	204	227	242	253	277
9	Italija	15	122	207	210	215	223	236	244	257
10	Australija	17	111	166	182	195	211	224	233	249
	<b>UKUPNO</b>	<b>376</b>	<b>1929</b>	<b>2305</b>	<b>2706</b>	<b>2937</b>	<b>3093</b>	<b>3276</b>	<b>3414</b>	<b>3630</b>

Iz tablice 2. vidljiv je očit trend porasta međunarodnih usporedbi.

### 2.3.3 Savjetodavni odbori (CC-i)

CIPM je osnovao nekoliko Savjetodavnih odbora (CC) čiji cilj je okupljanje eminentnih svjetskih stručnjaka na pojedinim područjima koji služe kao savjetnici za znanstvena i tehnička pitanja. Neki od zadataka ovih odbora su i detaljno razmatranje novih saznanja u fizici koji imaju direktan utjecaj na mjeriteljstvo, priprema za preporuke za raspravu u CIPM-u, identifikacija, planiranje i izvršenje ključnih usporedbi nacionalnih mjeriteljskih etalona i savjetovanje CIPM-a pri znanstvenom radu u laboratorijima BIPM-a.

CIPM imenuje predsjednike odbora. Članovi odbora su metrologijski laboratoriji i specijalizirani instituti odobreni od CIPM-a koji šalju delegate po vlastitom izboru. Dodatno, pojedinačni članovi su imenovani od strane CIPM-a i također je barem jedan član BIPM-a u odboru.

Savjetodavni odbori (CC-i) su:

- CCAUV za akustiku ultrazvuk i vibracije
- CCEM CC za elektricitet i magnetizam
- CCPR CC za fotometriju i radiometriju
- CCT CC za termometriju
- CCL CC za duljinu
- CCTF CC za vrijeme i frekvenciju
- CCRI CC za ionizacijsko zračenje
- CCU CC za jedinice
- CCM CC za masu i srodne veličine
- CCQM CC za količinu tvari

Zadaci CC-ova su:

- detaljno razmatranje prednosti u znanosti koji utječu na mjeriteljstvo;
- priprema preporuka za raspravu u CIPM-u;
- poticanje međunarodnih usporedbi mjernih etalona i metoda;
- procjena rezultata međunarodnih usporedbi;
- pružanje savjeta CIPM-u u znanstvenom radu u laboratorijima BIPM-a.

### **2.3.4 Nacionalni mjeriteljski instituti (NMI-i)**

NMI predstavljaju nacionalne mjeriteljske institute i u pravilu što je industrijski razvijenija zemlja, to je bolji i kvalitetniji institut. Instituti su povezani u regionalne mjeriteljske organizacije s obzirom na svoj zemljopisni položaj.

U skoro pa svim državama zakonom je određeno da se moraju osigurati uspostavljanje odgovarajućih mjernih etalona.

NMI je dužan ostvariti i održavati nacionalne mjerne etalona te prenositi mjerne jedinice s tih etalona na druge etalone i mjerila.

Temeljni je cilj NMI-a osigurati međunarodno priznatu sljedivost i usporedivost svojim korisnicima koji mogu npr. biti umjerni i mjerni laboratoriji iz industrije, instituta ili državni. Te ciljeve NMI može postići umjeravanjem korisničkih mjernih etalona i mjernih uređaja ili organizacijom međulaboratorijskih usporedba u slučajevima kad korisnici imaju svojstvene primarne etalone. Sve više usluga NMI-a uključuje isporuku primarnih referentnih tvari koje su opisane i kojima je vrijednosti dodijelio NMI.

## **2.4. Europsko udruženje nacionalnih mjeriteljskih instituta**

EURAMET predstavlja regionalnu mjeriteljsku organizaciju osnovanu 23.rujna 1987. godine koja pokriva nacionalne mjeriteljske institute na području Europe.

Koordinira suradnju europskih nacionalnih mjeriteljskih instituta u poljima kao što su istraživanje mjeriteljstva, sljedivost SI jedinica, međunarodno priznavanje nacionalnih mjeriteljskih standarda te srodnih umjeravanja i mjernih sposobnosti svojih članova. Kroz prijenos znanja i suradnju svojih članova EURAMET olakšava razvoj nacionalnih mjeriteljskih infrastruktura.

Članice EURAMET-a su:

Albanija, Austrija, Belgija, Bosna i Hercegovina, Bugarska, Češka, Cipar, Danska, Estonija, Finska, Francuska, Grčka, Hrvatska, Irska, Island, Italija, Latvija, Litva, Luksemburg, Mađarska, Makedonija, Malta, Nizozemska, Njemačka, Norveška, Poljska, Portugal, Rumunjska, Slovačka, Slovenija, Srbija, Španjolska, Švedska, Švicarska, Turska i Velika Britanija. [4]



Slika 2. Članice EURAMET-a [4]

Svrha EURAMETA je promicanje usklađivanja djelatnosti i usluga u području mjeriteljstva radi postizanja više efikasnosti.

Ciljevi:

- Poticanje suradnje u razvoju nacionalnih etalona i mjernih metoda
- Optimiranje raspoloživih resursa i usluga
- Poboljšanje mjernih mogućnosti i usluga koje trebaju biti dostupne svim članicama
- Provođenje usporedbi radi bolje koherentnosti mjerenja

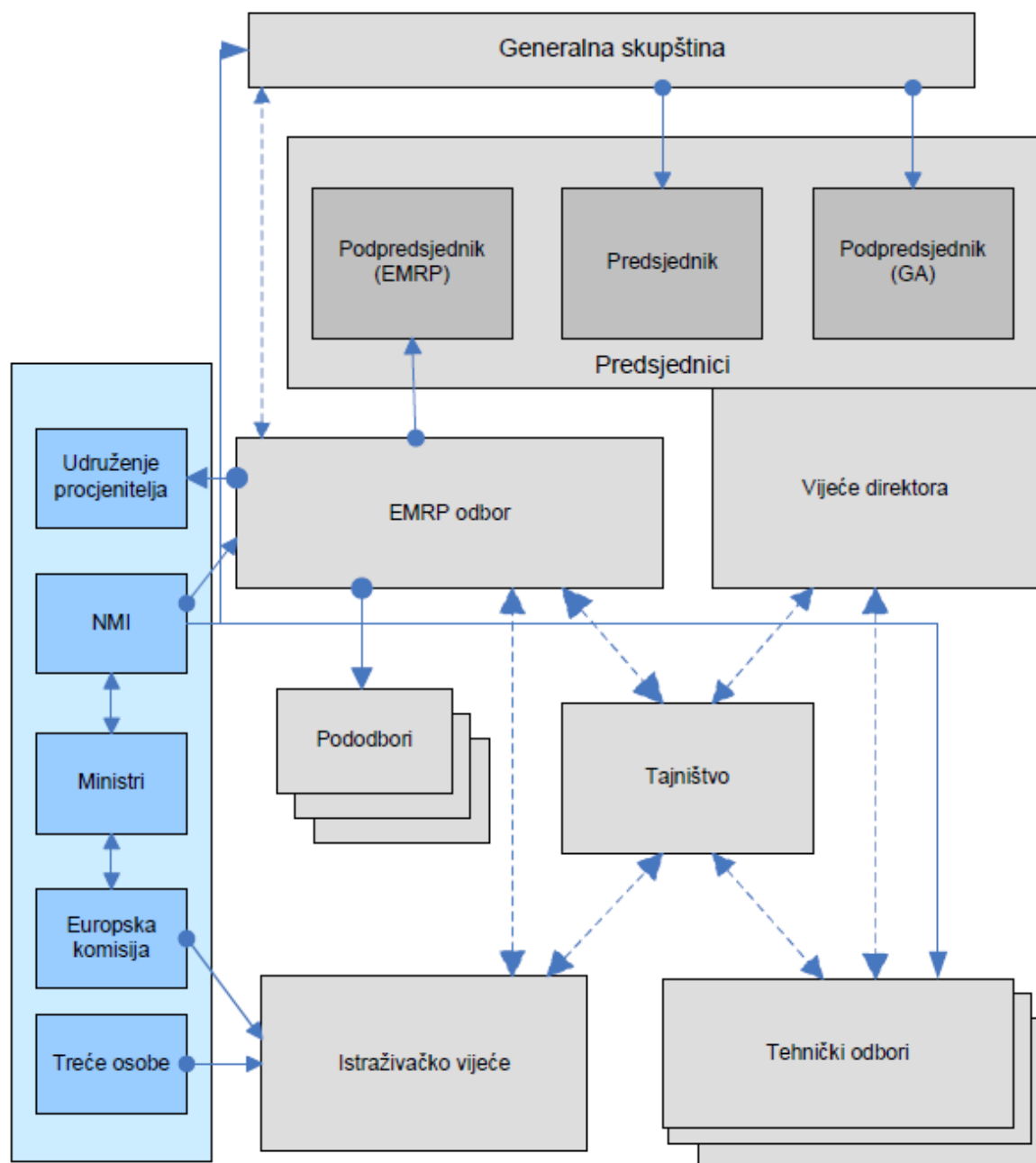
Djelatnosti su usmjerene na:

- Nastojanja da koordinirana europska mjeriteljska infrastruktura zadovolji sve industrijske potrebe Europe
- Sudjelovanje u međulaboratorijskim usporedbama, podršku i pružanje usluga članicama te suradnju s ostalim RMO i BIPM

EURAMET je u službi i promociji znanosti i istraživanja i europske suradnje na polju Mjeriteljstva.

Ovo se ostvaruje sljedećim mjerama:

- Razvojem i podrškom na polju mjeriteljstva i mjeriteljskih standarada
- Razvojem, redovitim poboljšavanjem i implementacijom Europskog Programa Istraživanja Metrologije (EMPR)
- Podrška članovima i asocijacijama kod traženja novčanih sredstava za istraživanje u svrhu Europskih kooperativnih projekata
- Koordinacija zajedničkog korištenja posebnih sredstava
- Poboljšavanje efikasnosti korištenja dostupnih izvora za bolje spajanje mjeriteljskih potreba i osiguranja sljedivosti nacionalnih etalona
- Tehnička suradnja s mjeriteljskim institutima izvan EURAMET-a i s ostalim regionalnim i međunarodnim mjeriteljskim organizacijama
- Izvršavajući zadatke Regionalne mjeriteljske organizacije (RMO) s ciljevima svjetskog međusobnog priznavanja nacionalnih mjeriteljskih etalona i umjernih i mjernih certifikata
- Koordinacija i promocija transfera znanstvenih znanja i iskustva na području mjeriteljstva
- Predstavljanje mjeriteljstva na europskoj razini i promicanju najbolje prakse donosiocima političkih odluka s obzirom na mjeriteljsku infrastrukturu i europsku suradnju
- Suradnja s europskim i međunarodnim organizacijama odgovornim za kvalitetnu infrastrukturu, osobito sudjelovanjem u pripremanju tehničke dokumentacije



Slika 3. Organizacijska struktura EURAMET-a [4]

## 2.5. Usporedbena mjerenja

Mjerenje je dinamičan posao koji zahtjeva neprestano usavršavanje i napredak. Instituti imaju potrebu uspoređivati se sa drugim institutima i na taj način, uspoređivanjem dobivenih rezultata i izraženih mjernih nesigurnosti, testirati svoju mjernu opremu, ali i mjeritelje. Zbog toga se već duže vrijeme u svijetu njeguju usporedbena mjerenja. Glavni svrha usporedbenih mjerenja je vidjeti gdje stojimo u odnosu na druge institute, a sve u cilju što preciznijih rezultata sa što manjom izraženom mjernom nesigurnosti. Da bi institut ostao konkurentan,



osim na svjetskoj razini, usporedbeno mjerenja se trebaju provoditi i na nižim razinama, kako na europskoj, tako i na nacionalnoj. Kao posljedicu ove međusobne suradnje u vidu usporedbenih mjerenja imamo poboljšavanje mjernih metoda i mjernih nesigurnosti svakog laboratorija na osnovu međusobne suradnje. Isto tako, instituti mogu vidjeti što „konkurencija“ radi, upoznati njihove metode i vidjeti njihove rezultate, te na taj način doći do novih saznanja i šire slike.

### 2.5.1 Područja usporedbenih mjerenja

Rezultati procesa usporedbenog mjerenja su izjave o mjernoj sposobnosti pojedinog nacionalnog mjeriteljskog instituta, poznate kao „Sposobnost mjerenja i umjeravanja“ (CMC).

Ove sposobnosti se izdaju u BIPM–ovoj bazi podataka ključnih usporedbi, poznatijoj kao KCDB, a podržavanoj od strane BIPM–a i javno dostupnoj preko interneta na službenim stranicama BIPM–a.

Tablica 3. Područja i grane usporedbenih mjerenja [5]

PODRUČJA USPOREDBENIH MJERENJA	PODJELA
<b>Akustika, ultrazvuk i vibracija</b>	➤ Akustika
	➤ Ultrazvuk
	➤ Vibracija
<b>Količina materije</b>	➤ Elektrokemija
	➤ Plinovi
	➤ Anorganska
	➤ Organska
	➤ Površina
	➤ Bioanaliza
<b>Elektricitet i magnetizam</b>	➤ Istosmjerni napon i struja
	➤ Izmjenični napon, struja, snaga i AC/DC prijenos
	➤ Otpor

	➤ Kapacitet
	➤ Radio frekvencije
	➤ Magnetizam
	➤ Visok napon i struja
<b>Ionizirajuća radijacija</b>	➤ Sekcija I (x i gama zrake, elektroni)
	➤ Sekcija II (mjerjenje radionuklida)
	➤ Sekcija III (mjerjenja neutrona)
<b>Duljina</b>	➤ Laserske frekvencije
	➤ Dimenzijsko mjeriteljstvo
<b>Masa</b>	➤ Standardi mase
	➤ Sila
	➤ Pritisak
	➤ Gustoća
	➤ Tvrdća
	➤ Tečnost fluida
	➤ Viskozitet
	➤ Torzija
	➤ Gravitacija
	➤ Mjeriteljstvo materijala
<b>Fotometrija i radiometrija</b>	➤ Fotometrija
	➤ Radiometrija
	➤ Optička vlakna
	➤ Kolorimetrija
	➤ Svojstva materijala
<b>Vrijeme i frekvencija</b>	➤ Vrijeme
	➤ Frekvencija

<b>Temperatura</b>	➤ Fiksirane ćelije
	➤ Standardni otpornički termometri izvedeni sa platinom
	➤ Otpornički termometri izvedeni sa rodijem koji ima dodatak željeza
	➤ Pirometar
	➤ Vlažnost
	➤ Termo parovi
	➤ Industrijski termometri

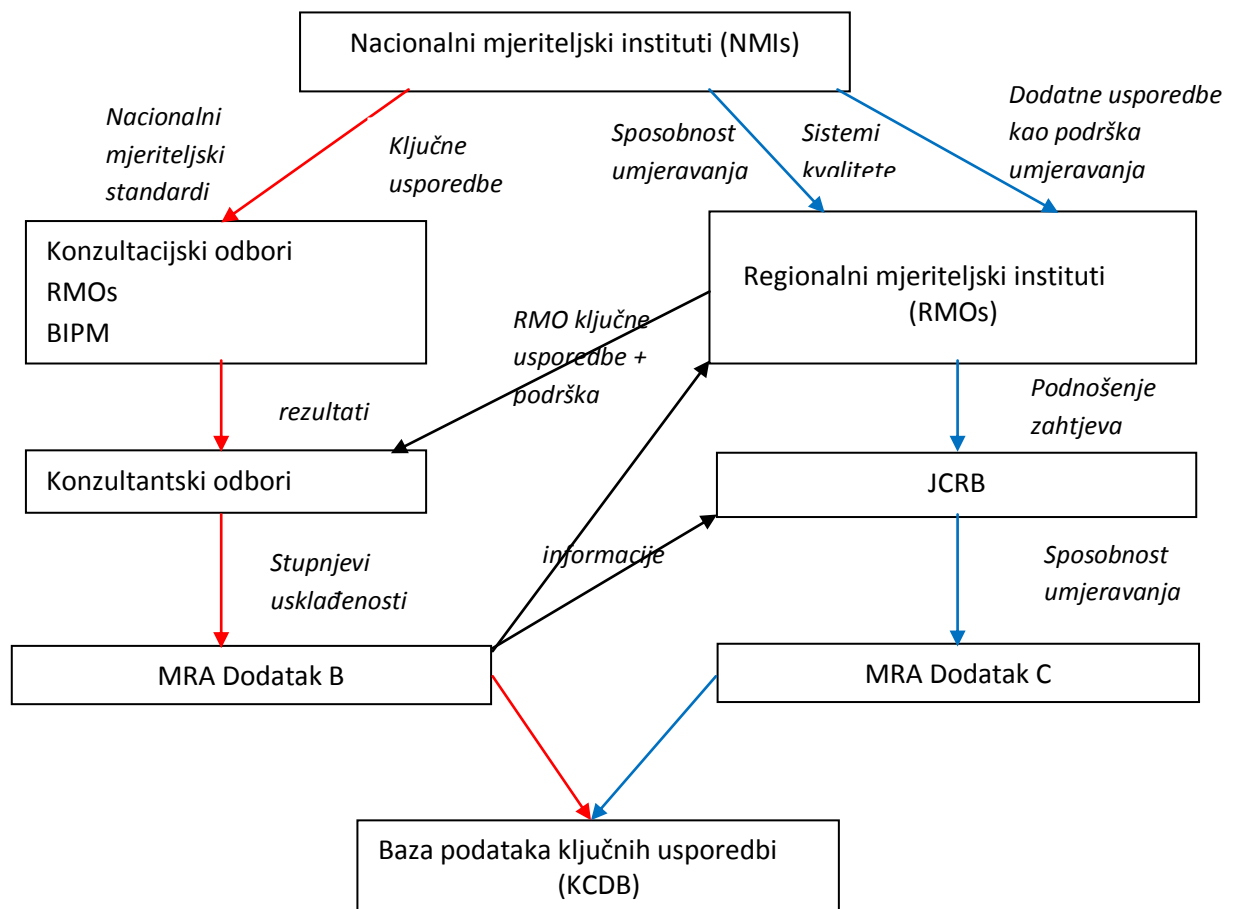
### 2.5.2 Organizacijska struktura usporedbenih mjerenja

Organizacijska struktura CIPM MRA-a je prikazana na slici 4, a na slici 5 je prikazana šema ključnih usporedbi. Svaka od ovih slika služi samo kao ilustracija, a za pune detalje služi dokument „Measurement comparisons in the CIPM MRA“ dostupan na službenim stranicama BIPM-a. Regionalne mjeriteljske organizacije (RMOs) igraju važnu ulogu u Sporazumu o međusobnom priznavanju (MRA) izdanom od strane Međunarodne komisije za utege i mjere (CIPM). Na njima je odgovornost da provode ključne usporedbe na razini svoje regije, obavljaju dodatne usporedbe i druge akcije kako bi podržali uzajamno povjerenje u valjanost certifikata za umjeravanje i mjerenje svojih članova i odgovorni su za koordinaciju ulaska svojih članica, nacionalnih instituta u „Dodatak C“ sporazuma o međusobnom priznavanju koji se tiče umjeravanja i mjeriteljskih sposobnosti, a sve to kroz „Zajednički odbor regionalnih mjeriteljskih organizacija i BIPM-a“ (JCRB). Dodatak C predstavlja jedan alat pretraživanja baze svih radova sa područja mjeriteljstva i nalazi se na stranicama BIPM-a.

Podjela RMO-a: [6]

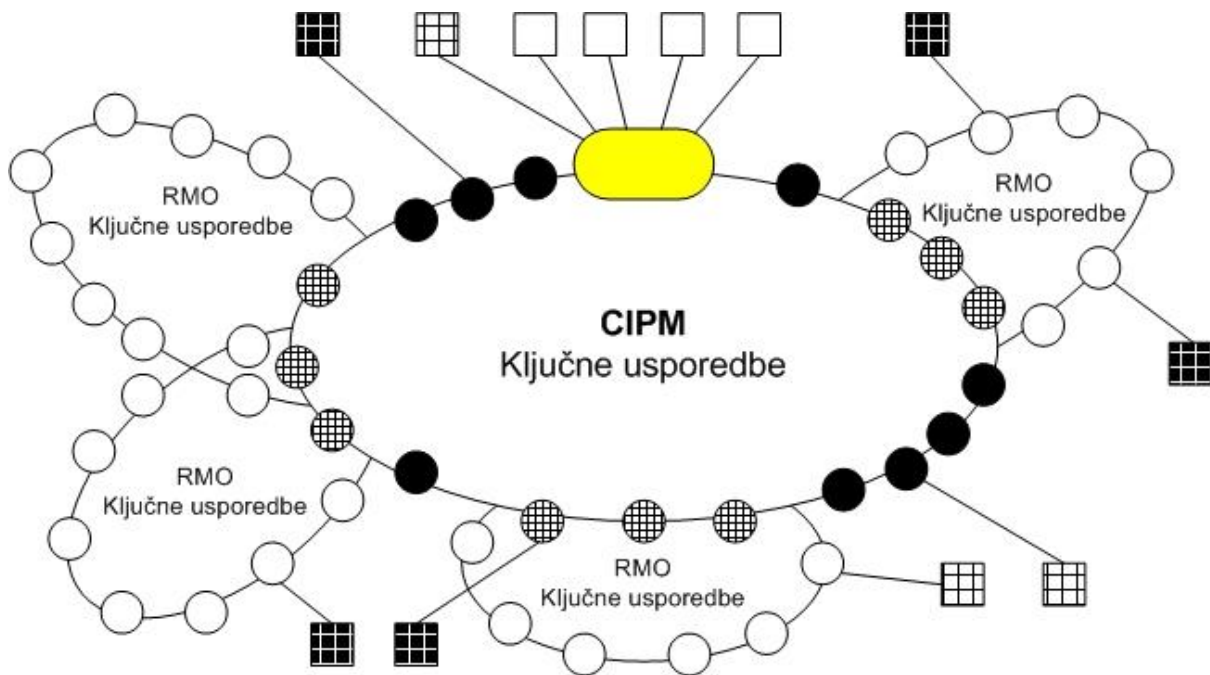
- Europa: EURAMET
- Amerika: SIM (NORAMET, CAMET, ANDIMET, SURAMET, CARIMET)
- Azija: APMP
- Juž. Afrika: AFRIMETS
- Srednja i istočna Europa: COOMET (Coopération Métrologique)
- Bliski istok i sjeverna Afrika: MENAMET (Middle East and Northern

Africa Metrology)



Slika 4. Organizacijska struktura CIPM MRA-a [1]

U izradi „Sporazuma o međusobnom priznavanju“ (MRA) Međunarodni odbor za utege i mjere (CIPM) je osmislila sljedeću šemu za organizaciju ključnih usporedbi. Ova shema se često naziva shema Mickey-evih ušiju zbog njenog oblika, a može se vidjeti na slici 5.



- Nacionalni mjeriteljski institut (NMI) koji sudjeluje u CIPM ključnim usporedbama
- ⊗ Nacionalni mjeriteljski institut koji sudjeluju i u CIPM ključnim usporedbama i u ključnim usporedbama regionalnih mjeriteljskih institucija (RMO)
- Nacionalni mjeriteljski institut koji sudjeluju u ključnim usporedbama regionalnih mjeriteljskih institucija (RMO)
- Nacionalni mjeriteljski institut koji sudjeluju u trenutnim BIPM ključnim usporedbama
- ▣ Nacionalni mjeriteljski institut koji sudjeluju u bilateralnoj ključnoj usporedbi
- ⊞ Međunarodna organizacija potpisnik MRA

Slika 5. Organizacijska shema ključnih usporedbi [1]

### 2.5.3 Tipovi usporedbenih mjerenja

Ključne usporedbe se u svojoj osnovi dijele na dvije vrste:

- CIPM ključne usporedbe, međunarodnog opsega, provode ih oni sudionici koji imaju najvišu razinu vještine u mjerenju i ograničeni su na laboratorije država članica. CIPM ključne usporedbe donose „referentnu vrijednost“ za odabranu ključnu količinu.
- RMO ključne usporedbe, regionalnog opsega, organizirane su na razini regije (iako mogu uključivati dodatne sudionike iz drugih regija) i otvorene su laboratorijima suradnicima kao i državama članicama. Ove ključne usporedbe donose dopunske informacije bez mjenjanja referentne vrijednosti.

Nerijetko se kao treća vrsta usporedbenih mjerenja spominju pilot studije ili dodatna usporedbena mjerenja. [1]

Osim okvira u kojem se odvijaju, odnosno razlici razina, razlika između međunarodnih i regionalnih usporedbenih mjerenja je i u rezultatima. Međunarodna usporedbena mjerenja nas vode do referentnu vrijednosti ključne usporedbe (key comparison reference value). Referentna vrijednost se dobiva na osnovu mjerenja koja su provedena u samoj usporedbi, a računa se skupa sa svojom standardnom nesigurnošću. Za ključne usporedbe koje se odvijaju na regionalnoj razini, veza na referentnu vrijednost se dobiva kao referenca na rezultate onih instituta koji također sudjeluju i u međunarodnim ključnim usporedbama. Metoda koja se koristi za određivanje referentne vrijednosti je dio protokola usporedbe i određena je od strane Savjetodavnog odbora ili nadležne radne grupe kojoj je Savjetodavni odbor dao taj zadatak.

Stupanj slaganja koji pripada referentnoj vrijednosti predstavlja stupanj u kojem je izmjerena vrijednost u skladu sa referentnom vrijednosti. Ovo se izražava kvantitativno na dva načina: kao odstupanje od referentne vrijednosti i proširena nesigurnost ovog odstupanja pomnožena sa razinom pouzdanosti od 95% (u praksi, ovo se često aproksimira korištenjem faktora  $k = 2$ ). „Graf jednakosti“ prikazuje stupnjeve slaganja u odnosu prema referentnoj vrijednosti.

Osim međunarodnih i regionalnih usporedbi postoje i dodatne usporedbe, koje obično izvode regionalne mjeriteljske organizacije da bi zadovoljile specijalne potrebe koje nisu pokrivena ključnim usporedbama, kao npr. mjerenje određenih specijalnih predmeta ili mjerenja parametara koja nisu uobičajeno u okviru Savjetodavnih odbora. Savjetodavni odbori mogu međutim, odlučiti pokrenuti dodatnu usporedbu kada postoji samo mal broj sudionika

sposoban izvest određeno mjerenje (a ni jedan sudionik nije unutar iste regije), kada se ne može povezati na regionalnu usporedbu ili kada distribucija mjernih uzoraka je ograničena (npr: mjerenja radioaktivnih matričnih materijala)

Uz regionalne i međunarodne usporedbe postoje i pilot studije kao treća kategorija usporedbi, a provode se kako bi se ustanovili mjerni parametri za instrumente u novi poljima, ili kao obična vježba za trening. Rezultati pilot studija se ne smatraju dovoljnom podrškom za dobivanje CMC-a.

CIPM zadužuje svoje savjetodavne odbore (CC) za organizaciju usporedbenih mjerenja. Svaki savjetodavni odbor odabire ključne količine koje treba usporediti u svom polju stručnosti, odobrava protokole ključnih usporedbi te odobrava svoje rezultate prije objave u KCDB-u. Svaki se savjetodavni odbor sastoji od vodećih svjetskih laboratorija u svom području te neki ili čak svi od članova savjetodanih odbora sudjeluju na CIPM ključnim usporedbama, što se onda obično određuje sa oznakom „SO ključna usporedba“ (CC key comparison).

Regionalni mjeriteljski instituti (RMO) organiziraju odgovarajuće RMO ključne usporedbe sa brojnim zajedničkim sudionicima i sa protokolima koji dopuštaju da njihovi rezultati budu povezani s onima u SO ključnim usporedbama jednom kada je sve izračunato (izračunata referentna vrijednost ključne usporedbe i stupanj slaganja ). Nomenklatura korištena u KCDB-u odražava organizaciju, npr. CCAUV.A-K1 predstavlja CC usporedbu na koju su povezani regionalni ekvivalenti APMP.AUV.A-K1, EURAMET.AUV.A-K1, itd.

Zajedno, skup CC ključnih usporedbi i BIPM ključnih usporedbi tvore ansambl CIPM ključnih usporedbi provedenih u okviru CIPM-ovog sporazuma o međusobnom priznavanju (CIPM MRA).

BIPM ključna usporedba može (a često i to čini) služiti kao centralna usporedba u tzv shemi Mickeyevih ušiju (slika 5). Rezultati BIPM ključnih usporedbi se tumače u smislu slaganja, sa referentnom vrijednosti ključne usporedbe i stupnja slaganja. S obzirom da su ove usporedbe u tijeku, postoji kontinuirana akumulacija novih podataka. S obzirom na slučaj (i odluku relevantnog savjetodavnog odbora), referentna vrijednost se može ponovno izračunati kada novi podaci stignu ili može ostati konstantna. Osim uloge centralne ključne usporedbe, BIPM ključna usporedba može također služiti kao vježba „na zahtjev“ onda kada je nepraktično

čekati do sljedeće međunarodne ključne usporedbe savjetodavnog odbora (CC key comparison). Ova opcija je posebno vrijedna kada uređaji u laboratoriju nisu istovremeno dostupni nego se uvode ili mjenjaju tokom godine.

CIPM ključne usporedbe je općenit pojam koji označava prave vježbe „CC ključne usporedbe“ i „BIPM ključne usporedbe“. Pošto omogućava fleksibilnost, drugačiju prirodu CC i BIPM ključnih usporedbi (vježba sa konačnim vremenom naspram trajne bilateralne usporedbe koja je u tijeku ) omogućava implementaciju sporazuma o međusobnom priznavanju međunarodne komisije za utege i mjere.

## **2.6. Protokol usporedbenih mjerenja**

Kao što je već gore spomenuto, ključna usporedbena mjerenja se uglavnom provode na dvije razine. Mogu biti provedena od strane Savjetodavnih odbora (Consultative Committees) ili Međunarodnog ureda za utege i mjere (BIMP) te od strane regionalnih mjeriteljskih organizacija (RMO). RMO ključne usporedbe moraju biti povezane na odgovarajuću CIPM ključnu usporedbe preko zajedničkih sudionika. Ključne usporedbe koje provodi CC ili BIMP nazivamo međunarodnim ključnim usporedbama (CIMP key comparisons) dok ključne usporedbe koje provodi RMO nazivamo regionalni ključnim usporedbama (RMO key comparisons) i one su na nižoj razini. Stupnjevi slaganja izvedeni iz regionalnih i međunarodnih usporedbenih mjerenja imaju jednak status.

### **2.6.1 Sudjelovanje u CMO usporedbenim mjerenjima**

Savjetodavni odbori odabiru koje će se međunarodne ključne usporedbe provoditi. U svakom području mjeriteljstva se odabire određeni broj ključnih usporedbi gdje se namjeravaju testirati glavne tehnike mjerenja.

Procedure koje koriste odbori prilikom odabira, izvođenja i vrednovanja ključnih usporedbi, uključujući njihove detaljne tehničke protokole i periodičnost su konstruirane tako da:

- usporedbe testiraju sve glavne tehnike u određenom području
- rezultati budu jasni i nedvojbjeni
- rezultati budu robusni
- rezultati budu lagani za usporediti sa onima iz odgovarajućih usporedbi koje će izvoditi naknadno na regionalnoj razini



- povrh svega, usporedbe budu dostatne u rasponu i učestalosti za demonstrirati i održati jednakost između laboratorija koji sudjeluju u CIPM MRA-u.

Sudjelovanje u međunarodnoj ključnoj usporedbi (CIPM key comparison) je otvoreno za sve laboratorije koji imaju najviše tehničko znanje i iskustvo, obično su to laboratoriji članovi odgovarajućih Savjetodavnih odbora. Oni laboratoriji koji nisu članovi Savjetodavnih odbora i nisu nacionalni mjeriteljski instituti moraju biti nominirani od strane određenog nacionalnog mjeriteljskog instituta koji je odgovoran za odgovarajuće nacionalne mjerne standarde. Pri odabiru sudionika, Savjetodavni odbori trebaju uzeti u obzir odgovarajuću regionalnu zastupljenost. Broj laboratorija sudionika u međunarodnim ključnim usporedbama može biti ograničen zbog tehničkih razloga.

Sudjelovanje u regionalnim ključnim usporedbama je otvoreno za sve članove Regionalnih mjeriteljskih organizacija i druge institucije koje zadovoljavaju pravila regionalnih organizacija (uključujući institucije pozvane izvan regije) i koje imaju tehničku sposobnost odgovarajuću za određenu usporedbu. Ista pravila vrijede i za sudjelovanje u dodatnim regionalnim usporedbama.

### **2.6.2 Iniciranje međunarodnih usporedbenih mjerenja**

Međunarodne ključne usporedbe se iniciraju na sastancima savjetodavnih odbora. Savjetodavni odbor na svakom sastanku ispituje potrebu za usporedbama i odlučuje koje će se usporedbe sa popisa uzeti u obzir te se o njima raspravljati na sastanku pritom uzimajući u obzir, uz ostale stvari, razmišljanja regionalnih mjeriteljskih organizacija. Za svaku usporedbu se određuje pilot institut da preuzme glavnu odgovornost za vođenje međunarodne ključne usporedbe.

Prilikom izrade prethodne liste sudionika i približnih rokova, savjetodavni odbor osigurava da sudjeluje adekvatan broj sudionika bude iz svake od glavnih regionalnih mjeriteljskih organizacija, tako da odgovarajuće regionalne usporedbe mogu biti provedene nakon.

U nekim međunarodnim usporedbenim mjerenjima broj sudionika može biti ograničen zbog tehničkih razloga.

Isto tako, savjetodavni odbori mogu formirati koordinacijsku grupu, tako da nominira dva ili tri instituta sa prethodne liste da pomognu pilot institutu u izradi tehničkog protokola i rokova za usporedbu.

Rokovi koje savjetodavni odbor određuje za ovu, ali i sve druge usporedbe, moraju osigurati tako da radno opterećenje cijelog postupka nije preveliko za sudionike i pilot laboratorije, i da rezultati budu dostupni na sljedećem sastanku, obično 3 (ili povremeno 2) godine nakon. Zato ukupno vrijeme cirkulacije uzorka mora biti fiksno i ne smije preći 18 mjeseci osim u nekim vanrednim okolnostima.

### **2.6.3 Organizacija međunarodnih ključnih usporedbi (CMO key comparison)**

Organizacija međunarodne ključne usporedbe je zadatak pilot laboratorija kojemu može pomoći koordinacijska grupa. Prvi zadatak ove grupe je izraditi i poslati detaljni tehnički protokol za usporedbu u kojem se pozivaju sudionici određeni od strane Savjetodavnog odbora. Ti odbori imaju stalne radne grupe ili sekcije odgovorne za određene aktivnosti koje moraju poslati nacrt protokola predsjedniku relevantne grupe ili sekcije. Pozivnice sudionicima se šalje direktno delegatima instituta članica koji su sudjelovali na prošlom sastanku Savjetodavnog odbora, plus odsutnim članovima. Kopije pozivnica i nacrt protokola se također šalju izvršnom tajniku Međunarodnog ureda za utege i mjere.

Glavne točke o kojima grupa na čelu sa pilot laboratorijem treba odlučiti su:

- Lista sudionika sa punim detaljima, kako adrese za poštu, tako i elektroničkih adresa.
- Prijenos standarda ili više njih koji će se koristiti u usporedbi.
- Dali treba ili ne biti provedena pilot usporedba ili bilo kakav drugi preliminarni posao između ograničenog broja sudionika da se provjerila učinkovitost prijenosa standarda.
- Model punog opsega usporedbe, koji može biti jednostavan kružni do zvjezdatstog oblika gdje se svaki put prije nego što uzorak treba doći do novog sudionika usporedbenog mjerenja on vraća u pilot laboratorij. Isto tako postoji mogućnost kombinacije ova dva oblika.
- Datum početka, detaljni rokovi, sredstvo transporta i raspored koji treba slijediti. Datum početka označava početni datum usporedbe.
- Postupak u slučaju greške u transportu uzorka.
- Postupak u slučaju neočekivanog zastoja nekog sudionika.

- Carinski dokumenti koji će pratiti uzorak koji se mjeri, bilo ATA karnet ili drugi za one sudionike koji nisu kvalificirani za ATA shemu.

#### **2.6.4 Tehnički protokol ključne usporedbe**

Koordinatna grupa izrađuje detaljan tehnički protokol. Ovaj tehnički protokol je bitan dio usporedbe i detaljno navodi postupak koji treba slijediti. Važno je imati na umu da je svrha ključne usporedbe usporediti standarde između sudionika, a ne zahtijevati da svaki sudionik usvoji točno iste uvjete realizacije mjerenja. Protokol dakle treba odrediti postupke potrebne za usporedbu, ali ne i uspoređivati postupke koji se koriste za ostvarivanje standarda.

Točke kojih se dotiče protokol trebaju uključivati sljedeće:

- Detaljan opis uređaja: izrada, tip, serijski broj, veličina, težina, pakiranje, itd. i tehničke informacije potrebne za njihov rad.
- Savjeti za korištenje transportnih normi, što uključuje raspakiravanje i naknadno pakiranje i slanje sljedećem sudioniku. Ovo bi trebalo uključiti kompletnu listu sadržaja paketa skupa sa priručnicima, itd...i težinom i veličinom cijelog paketa.
- Radnje koje sudionici trebaju poduzeti prilikom prijenosa standarda.
- Bilo koji test koji treba obaviti prije mjerenja
- Uvjete korištenja prijenosa standarda tijekom mjerenja.
- Upute za prijavljivanje rezultata.
- Prijedlog metode za određivanje referentne vrijednosti ključne usporedbe
- Popis glavnih komponenti koje utječu na proračun nesigurnost. Svaki sudionik treba to izračunati i isto tako dati sve potrebne savjete kako je došla do tog proračuna. Uz glavne komponente nesigurnosti, zajedničke svim sudionicima, neki sudionici mogu dodati neke koje smatraju prikladnima. Nesigurnosti su ocjenjene na razini jedne standardne nesigurnosti i informacije se moraju dati za potrebni broj efektivnih stupnjeva slobode da bi se pravilno procjenila razina pouzdanosti.
- Raspored za slanje rezultata pilot laboratoriju. Rana komunikacija pomaže da se uslijed usporedbe otkriju problemi sa poslanim uzorkom.
- Financijski aspekt usporedbe, s napomenom da je općenito svaki institut sudionik odgovoran za svoje vlastite troškove uslijed mjerenja, transporta i bilo kakvih carinskih pristojbi kao i bilo koje štete koja se može pojaviti u njihovoj zemlji.

Ukupne troškove organizacije usporedbe, uključujući opskrbu prijevoznih sredstava obično snosi pilot institut.

- Osiguranje transportnih sredstava je odlučeno sporazumom između sudionika, uzimajući u obzir odgovornost svakog sudionika za bilo kakvu štetu nastalu u njegovoj zemlji.

### **2.6.5 Kruženje uzoraka i carinske formalnosti**

Pilot instituti su odgovorni za organizaciju kruženja i transporta uzoraka i dužni su osigurati da sudionici naprave odgovarajuće aranžmane kako bi se riješili problemi lokalne carine. Opremom se treba rukovati posebno oprezno, samo od strane kvalificiranog mjeriteljskog osoblja. Poželjno je i u nekim slučajevima neophodno da se instrumenti prenose isključivo ručno. Ako se to ne smatra bitnim, određene mjere opreza se ipak moraju poduzeti. Zajedno sa robom bi se trebalo slati upozorenje nalijepljeno na paket da isti smije otvarati samo osoblje laboratorija. Instituti sudionici su odgovorni za transport do sljedećeg instituta prema shemi cirkulacije. Metoda transporta definirana u instrukcijama se treba poštivati.

Prije slanja paketa, sudionik treba informirati sljedećeg sudionika i pilot institut, dajući detalje transporta.

Ako se koristi ATA karnet, mora se koristiti pravilno. Prilikom svakog premještanja paketa osoba koja organizira prijevoz mora osigurati da se karnet prikaže carini prilikom izlaska paketa iz zemlje, i prilikom ulaska u zemlju koja je destinacija. Kada je paket poslan bez pratnje, karnet mora biti uključen sa ostalim dokumentima tako da paket može proći carinu. U ni jednom slučaju ne smije karnet biti skupa sa uređajem u paketu. U nekim je slučajevima moguće prikačiti karnet na paket.

Nakon dolaska paketa, institut sudionik treba informirati pilot institut tako da ispuni i vrati obrazac koji je uključen u paket. Odmah nakon primitka paketa, institut sudionik treba provjeriti štetu, moguće ogrebotine i hrđu i o tome izvjestiti pilot laboratorij. Ako dođe do kašnjenja pilot institut treba o tome obavjestiti sudionike i ako je potrebno revidirati vremenski raspored ili redosljed kruženja između zemalja.

### **2.6.6 Izvještaj o rezultatima mjerenja**

Instituti koji sudjeluju moraju izvesti pilot institut o rezultatima mjerenja što je prije moguće, a najkasnije 6 tjedana nakon što su mjerenja završena.

Mjerni rezultati, zajedno sa pripadajućim nesigurnostima i bilo kojim dodatnim informacijama koje su potrebne, se trebaju predati u obliku koji je naveden u uputima kao dio protokola, obično tako da se popune standardne forme koje su prilog uputama. Rezultat sudionika se ne smatra kompletnim ako nisu navedene pripadajuće nesigurnosti, i takvi rezultati nisu uključeni u izvješćima. Kompletnim rezultatima se smatraju oni koji imaju pripadajuću nesigurnost sa svojim potpunim proračunom. Nesigurnosti se sastavljaju sljedeći upute iz tehničkog protokola.

Ako pilot institut prilikom ispitivanja kompletnih rezultata pronade rezultate koji se čine nemogućim, ti instituti su pozvani da provjere da li je došlo do numeričke greške u rezultatima, ali bez da ih se informira o veličini greške. Ako se ne pronade numerička greška, rezultati se smatraju zaključanima i šalju se svim sudionicima.

### **2.6.7 Izvještaj o međunarodnoj ključnoj usporedbi**

Pilot institut je odgovoran za pisanje izvještaja o ključnoj usporedbi. Izvještaj prolazi kroz brojne faze prije nego što se objavi, a one se spominju kao Nacrt A, Nacrt B i Konačni izvještaj. Prvi nacrt, Nacrt A se priprema čim su svi rezultati primljeni od sudionika. Uključuje rezultate koje su prenijeli sudionici, identificirani po imenu te prvi izračun referentne vrijednosti ključne usporedbe. Međutim, rezultati se neće priopćiti ako postoji neki sudionik koji se izbacuje sve dok se taj sudionik ne kontaktira kako bi se sigurno znalo da nema nekih aritmetičkih, tipografskih ili pogrešaka u prijepisu.

Sudionici mogu komentirati svoje rezultate i oni mogu biti promjenjeni ako postoje greške u izvještaju o rezultatima (tipografske greške, različite jedinice, greške u prijepisu prilikom pisanja Nacrta A). U slučaju rezultata proturječnih sa referentnom vrijednosti ili onih koji nisu u skladu sa izdanim CMC-ovima, sudionicima nije dopušteno povući svoje rezultate iz izvještaja osim ako postoji razlog koji se ne može pripisati izvedbi u laboratoriju. Pojedinačne vrijednosti i nesigurnosti se mogu mijenjati ili ukloniti ili potpuno napustiti, samo uz slaganje svih sudionika i na osnovi jasne greške prijenosa standarda ili nekog drugog fenomena koji čini usporedbu, ili dio nje, potpuno nevaljanom.

Pošto rezultati mogu biti promijenjeni zbog razloga objašnjenog poviše, Nacrt A se (u svim svojim verzijama) mora smatrati povjerljivim i distribuirati se samo među sudionicima. Kako se rezultati mogu mijenjati. Nacrta A nemogu se koristiti za traženje CMC-ovo.

Sve dok se svi sudionici nisu složili oko izvještaja, on se smatra da je u fazi Nacrta A, s mogućnošću više verzija (Nacrt A1, Nacrt A2, itd.).

U izračunu referentne vrijednosti ključne usporedbe, pilot institut koristi metodu koju smatra najprikladnijom za određenu usporedbu (obično je metoda predviđena protokolom). Oko metode su se prethodno složili sudionici, te radna grupa ključne usporedbe i Savjetodavni odbor. Nakon izračuna referentne vrijednosti ključne usporedbe i njene nesigurnosti, za svaki od rezultata se utvrđuje odstupanje od referentne vrijednosti i proširena nesigurnost na stupnju pouzdanosti odstupanja od 95% ( $k = 2$  za beskonačne stupnjeve slobode). U ovoj fazi sudionici mogu pregledati početnu odluku da uključe ili ne bilateralne stupnjeve slaganja, uz odobrenje odgovarajućeg Savjetodavnog odbora.

Nakon što su sudionici odobrili finalnu verziju Nacrta A, koja uključuje predloženu referentnu vrijednost ključne usporedbe i stupnjeve slaganja, izvještaj se smatra Nacrtom B. Nakon toga se treba predati na odobrenje odgovarajućem Savjetodavnom odboru. U ovoj fazi se rezultati ne smatraju povjerljivima i mogu se koristiti kao potpora za CMC-ove i za prezentacije i publikacije, osim referentne vrijednosti i stupnjeva slaganja koji se trebaju smatrati povjerljivima dok nisu odobreni od Savjetodavnog odbora i objavljeni u KCDB-u.

Radna grupa ključne usporedbe obično ispituje Nacrt B prije njegove distribucije svim članovima Savjetodavnog odbora, kako bi se osiguralo da ispunjava sve uvjete propisane od strane komisije. U slučaju onih Savjetodavnih odbora koji imaju stalne radne grupe koje se bave ovim specifičnim aktivnostima, Savjetodavni odbor može zatražiti od ovih radnih grupa da poduzmu funkcije od radne grupe ključne usporedbe.

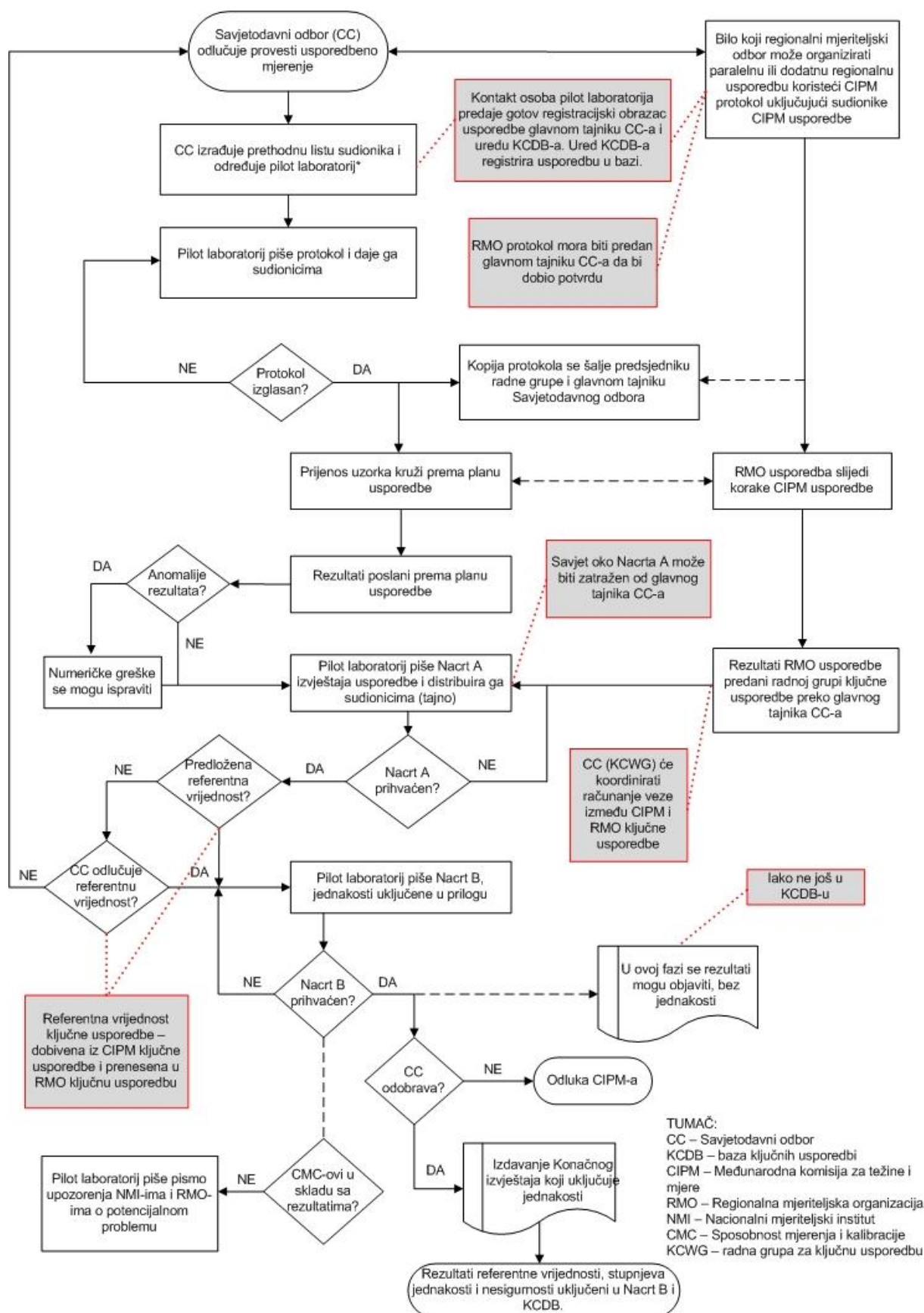
Ulazak rezultata skupa sa stupnjevima slaganja u KCDB mora čekati sve dok nadležni Savjetodavni odbor ne potvrdi Nacrt B, i u tom trenutku on postaje Konačni izvještaj. U toj fazi u svim daljnjim spominjanjima, Nacrt B bi se trebao zamijeniti sa Konačnim izvještajem. Odobrenje Savjetodavnog odbora se može dati na preporuku radne grupe ključne usporedbe. Svaki Savjetodavni odbor određuje vlastiti postupak za odobrenje rezultata ključnih usporedbi na najučinkovitiji mogući, a istodobno vremenski efikasan način.

U slučaju problema neslaganja po pitanju rezultata ili interpretacije rezultata ključne usporedbe, koji ne mogu riješiti niti sudionici, niti radna grupa ključne usporedbe, niti Savjetodavni odbor, CIPM preuzima stvar i donosi odluku.

Institut koji smatra svoje rezultate nereprezentativnima za svoje standarde može zatražiti naknadnu odvojenu bilateralnu usporedbu sa pilot institutom ili jednim od sudionika. Ovo bi se trebalo održati nakon završetka usporedbe koja je u tijeku, što je prije moguće. Naknadna bilateralna usporedba se smatra novom i zasebnom usporedbom.

Dijagram toka odnosno protokol međunarodne i regionalne ključne usporedbe se može vidjeti na sljedećoj stranici.





Slika 6. Dijagram toka međunarodnih i regionalnih ključnih usporedbi [1]



### 3. INTERKOMPARACIJA ULTRAZVUČNOG MJERENJA DEBLJINE

#### 3.1. Protokol

Laboratorij za nerazorna ispitivanja Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu (LNI) provodi usporedbeno mjerenje. Tema mjerenja je ultrazvučno mjerenje debljine. U daljnjim točkama može se naći:

- Lista sudionika
- Shema usporedbenog mjerenja
- Opće informacije
- Uzorci za mjerenje
- Postupak mjerenja
- Obrazac
- Europska norma za nerazorna ispitivanja – Ultrazvučno mjerenje debljine; najvažniji dio

#### 3.2. Lista sudionika

**Tablica 4. Lista sudionika**

	IME INSTITUTA	ADRESA	KONTAKT BROJ & E-MAIL	OSOBA ZA KONTAKT
1.	LNI	Ivana Lučića 1, 10 000 Zagreb, Hrvatska	01/ 6168 392 damir.markucic@fsb.hr	Dr.sc. Damir Markučić
2.	LAB1			
3.	LAB2			
4.	LAB3			
5.	LAB4			
6.	LAB5			
7.	.....			

### 3.3. Shema usporedbenog mjerenja

Mjerne uzorke moraju izmjeriti svi sudionici ovog usporedbenog mjerenja. Uzorci će kružiti između laboratorija, a karakteristike ove interkomparacije su:

- Nazivne dimenzije uzoraka dane su u nastavku ovog rada, na slici 9 i tablici 6.
- Prvo mjerenje obavlja LNI i potom šalje uzorke sljedećem sa liste sudionika. Slanje uzoraka se obavlja redoslijed koji će biti naknadno utvrđen, a njegov izgled prikazan je u tablici 5. Ako dođe do bilo kakvih odstupanja od vremenskog rasporeda, laboratorij je dužan obavijestiti LNI i sljedeći laboratorij koji čeka na uzorke. U tom slučaju LNI zadržava pravo izmjene odnosno prilagođavanja vremenskog raspored.
- Uzorci se šalju osobno, što znači da je laboratorij dužan odrediti jednu osobu koja će automobilom osobno odnijeti uzorke do laboratorija koji je sljedeći na listi.
- Maksimalno dva tjedna nakon obavljanja mjerenja laboratorij je dužan ispuniti interaktivni obrazac „Ultrazvučno mjerenje debljine“ te ga poslati na mail: damir.markucic@fsb.hr. Uz mjerne rezultate laboratoriji su dužni iskazati proširenu mjernu nesigurnost uz faktor pokrivanja  $k$  i vjerojatnost  $p$ . Obrasci koji nisu potpuni ili nemaju iskazane mjerne nesigurnosti smatraju se nevažećima.
- Ako laboratorij izvodi mjerenja sa više uređaja, ili ima više mjeritelja, dužan je poslati obrazac za svaki pojedini uređaj, i za svakog pojedinog mjeritelja.
- U slučaju da LNI zaprimi rezultate sa očitim nepravilnostima obavještava laboratorij koji dobiva dodatna dva tjedna za provjeru svojih iskazanih proširenih nesigurnosti i rezultata mjerenja. [7]
- LNI prikuplja pojedinačne rezultate i uspoređuje ih sa referentnom vrijednosti koja se izračunava poznatim statističkim metodama.
- Sudionici su dužni koristiti ultrazvučne instrumente koji se navode u normi.

**Tablica 5. Shema putovanja uzoraka**

	IME INSTITUTA	IZVOĐAČ DOSTAVE	PERIOD DOSTAVE	PERIOD ZA MJERENJE
1.	LNI	LNI	-	-
2.	LAB1			
3.	LAB2			
4.	LAB3			
5.	LAB4			
6.	LAB5			
7.	LAB6			
8.	.....			

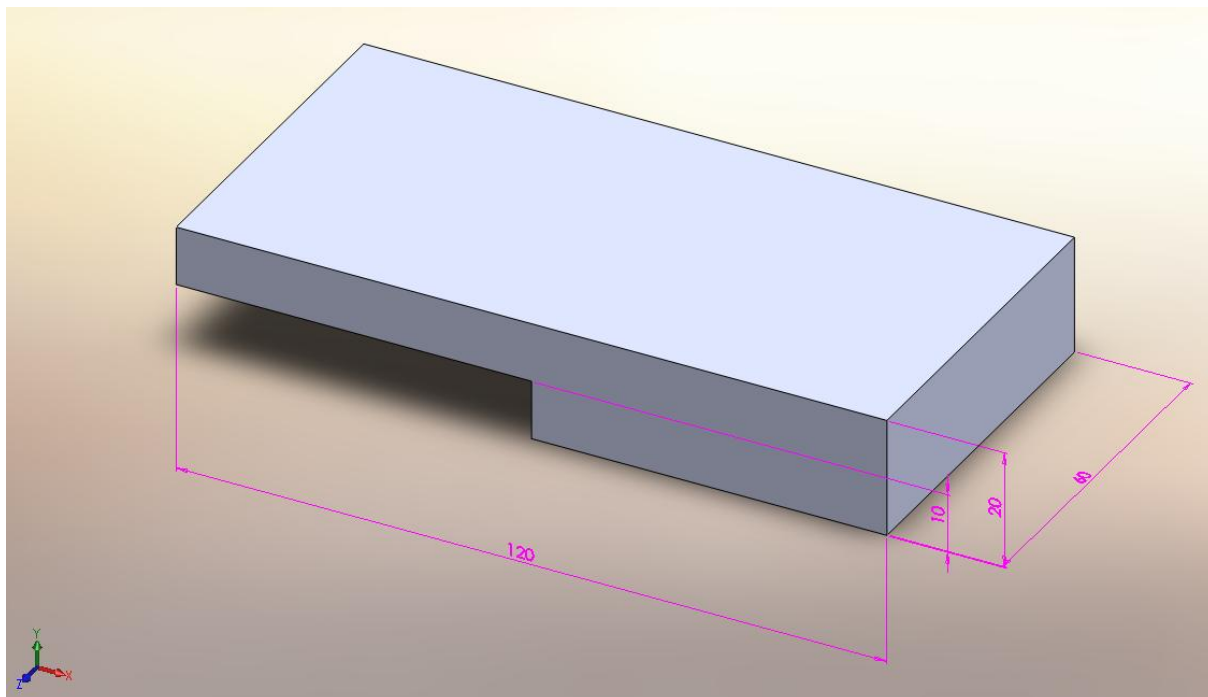
### 3.4. Opće informacije

- Laboratorij koji je obavio mjerenja organizira transport uzoraka do sljedećeg laboratorija i pokriva troškove transporta. Laboratorij je dužan odrediti osobu koja će osobno, automobilom, odnijeti uzorke do sljedećeg laboratorija.
- Kada izvođač primi uzorke, mora ih odmah provjeriti i utvrditi postoje li ikakva vidljiva oštećenja, ako da, dužan je napisati izvještaj i obavijestiti LNI.
- Mjerenja se provode u skladu sa instrukcijama mjerenja koje se navode u normi.
- Rezultati se unose u obrazac i šalju LNI-u putem e-maila.
- Konačni sastanak će se održati na Fakultetu strojarstva i brodogradnje. O točnom datumu svi sudionici će biti na vrijeme obavješteni.

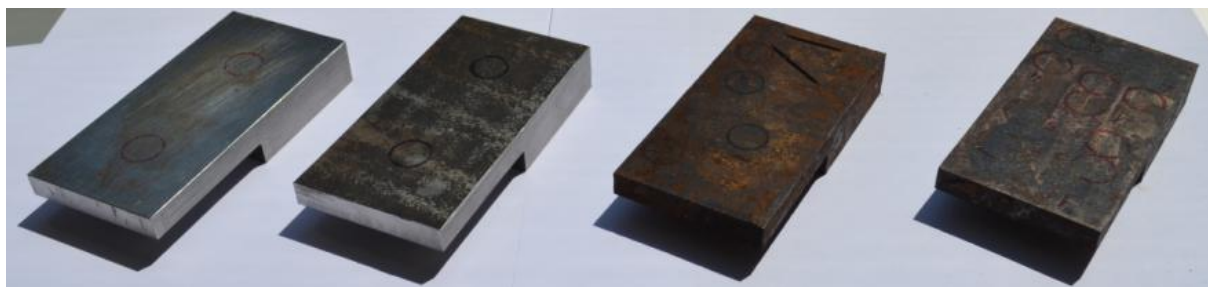
### 3.5. Uzorci

Mjerit će se četiri uzorka. Svaki uzorak na sebi ima označena mjesta na kojima se mjeri. Detaljniji opis uzoraka, njihove skice i slike su dani u nastavku.

Na slici 7 prikazan je 3D model uzorka napravljen u programu SolidWorks.

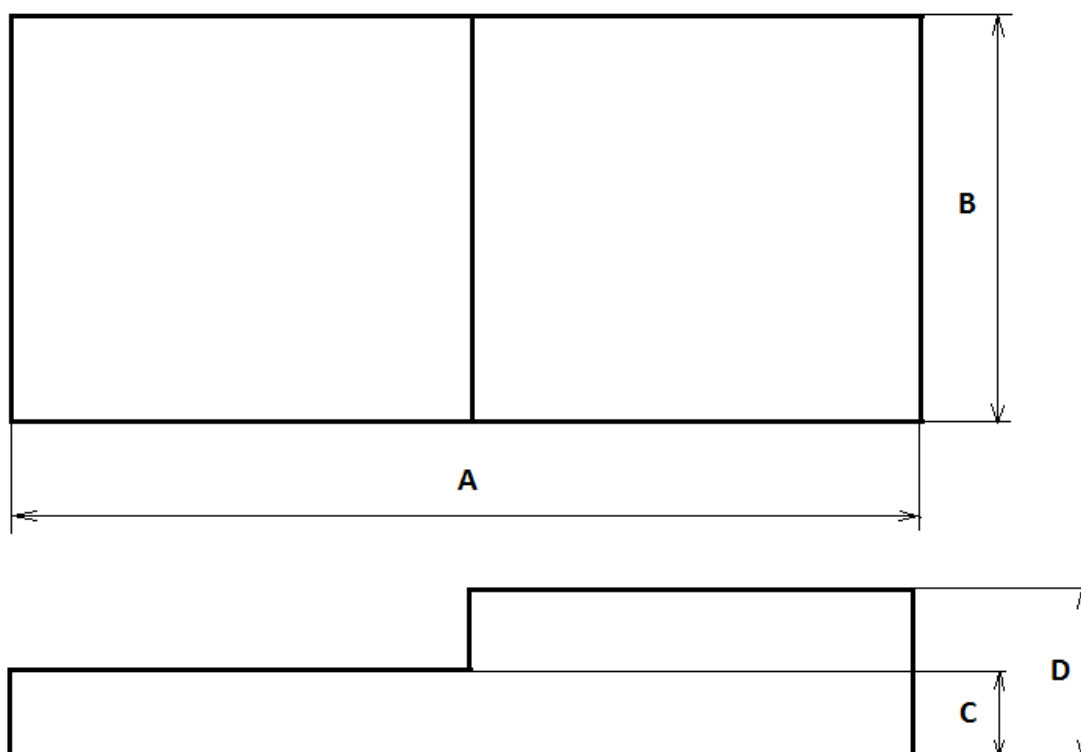


Slika 7. 3D model uzorka



Slika 8. Slika svih uzoraka

Svi uzorci imaju jednake nazivne dimenzije koje se mogu vidjeti u tablici 6 na sljedećoj stranici. Uzorci 3 i 4 su podvrgnuti procesu korozije što se vidi na slikama.

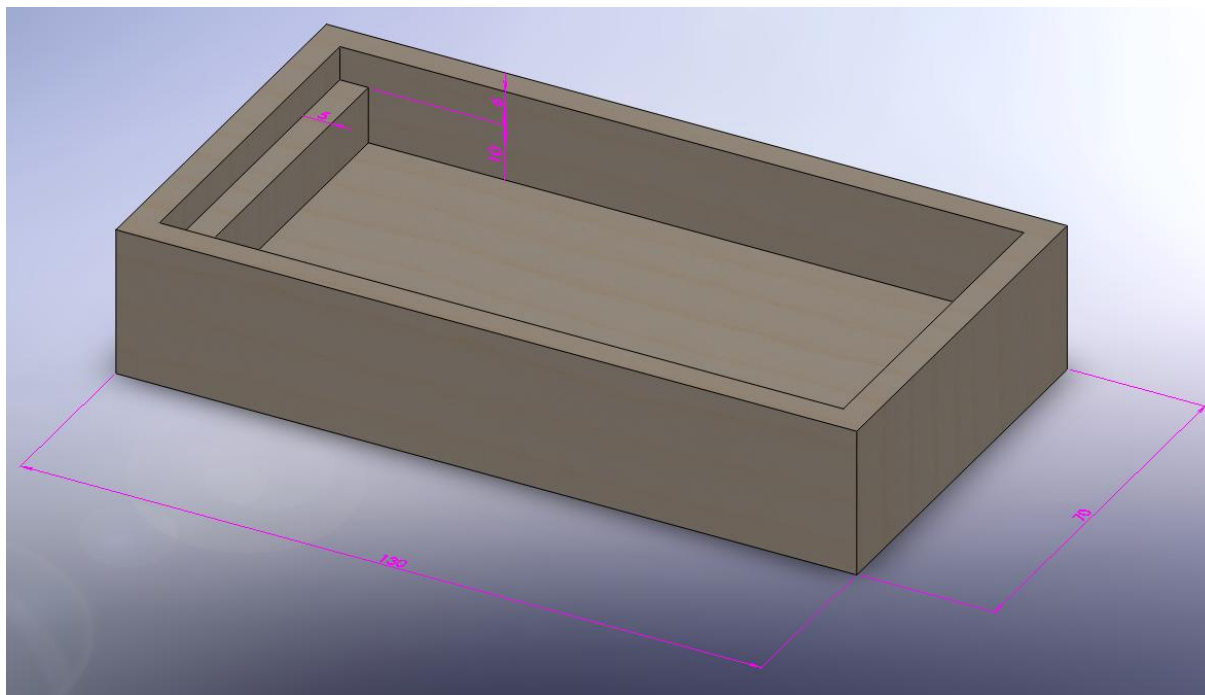


Slika 9. Tlocrt i bokocrt uzoraka

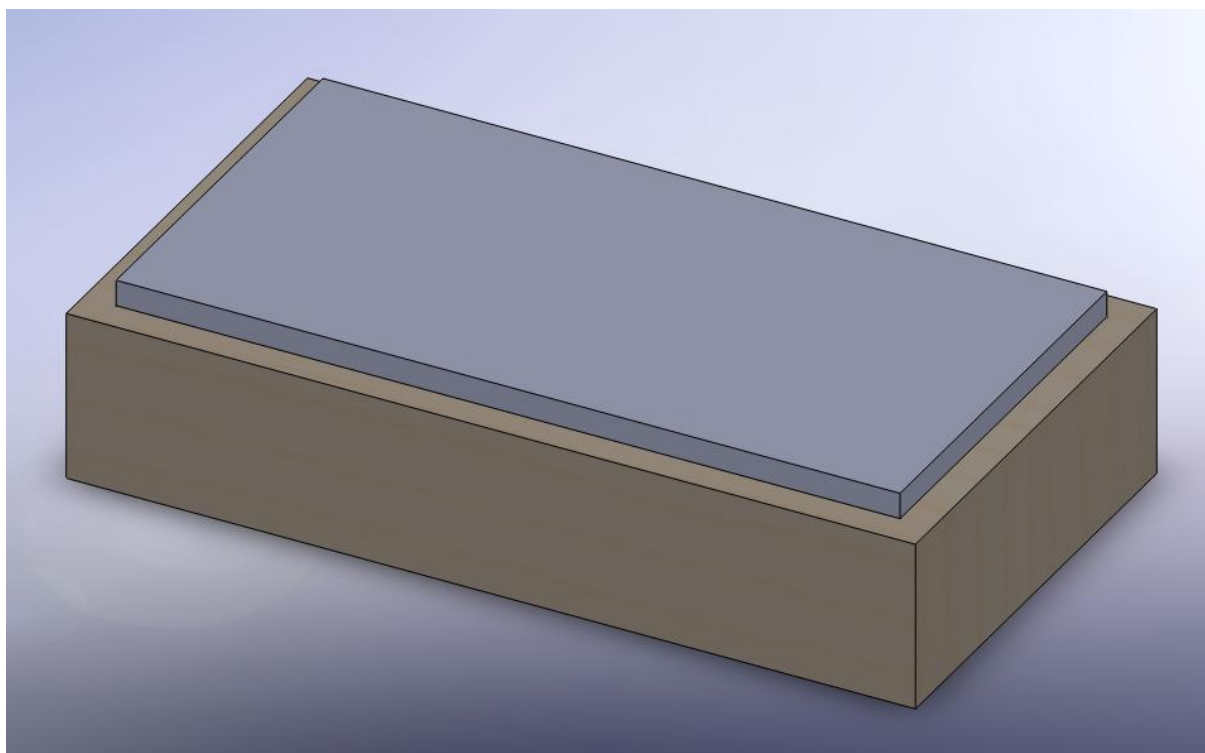
Tablica 6. Dimenzije uzoraka

	NAZIVNE DIMENZIJE
<i>A</i>	120 mm
<i>B</i>	60 mm
<i>C</i>	10 mm
<i>D</i>	20 mm

Svi uzorci će biti poslani u posebno dizajniranim kućištima. Kućišta onemogućuju vađenje uzoraka. Na slikama se mogu vidjeti označena mjesta na kojima će se vršiti mjerenje.

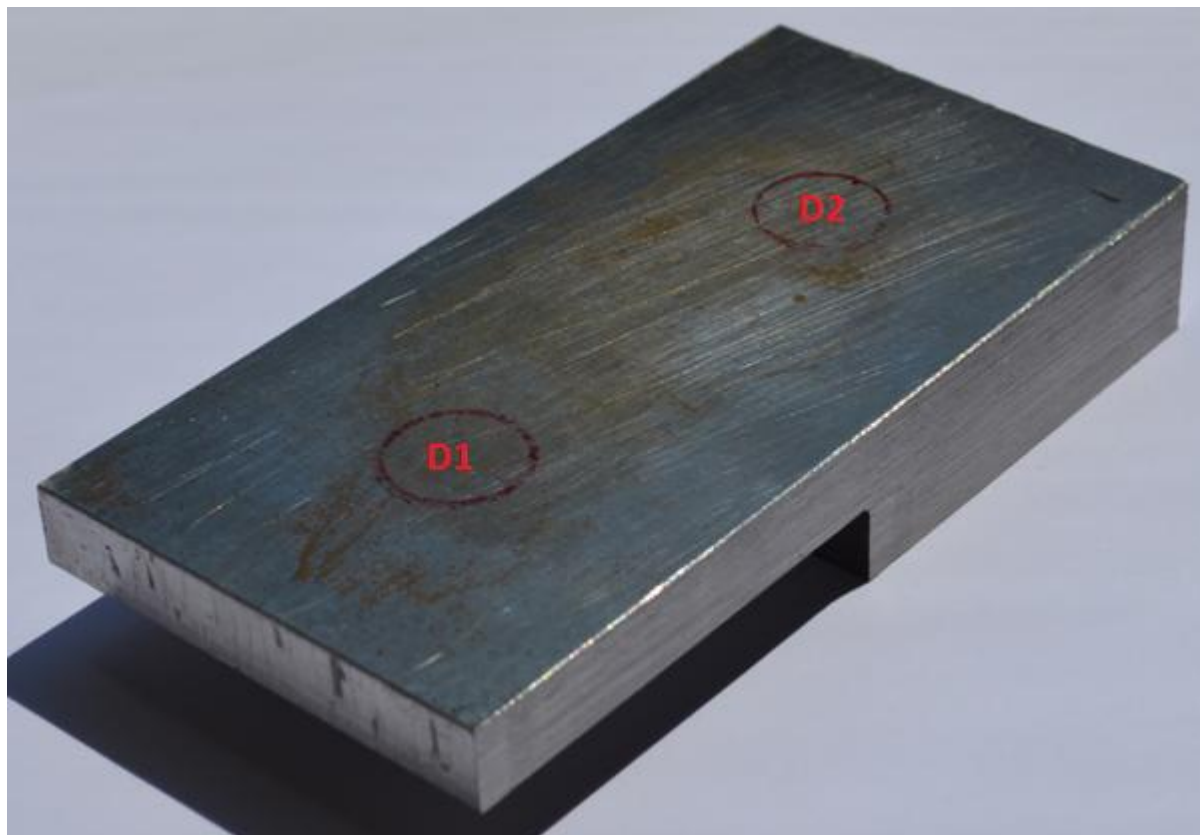


Slika 10. Kućište



Slika 11. Sklop kućišta i uzorka

### 3.5.1 Uzorak 1

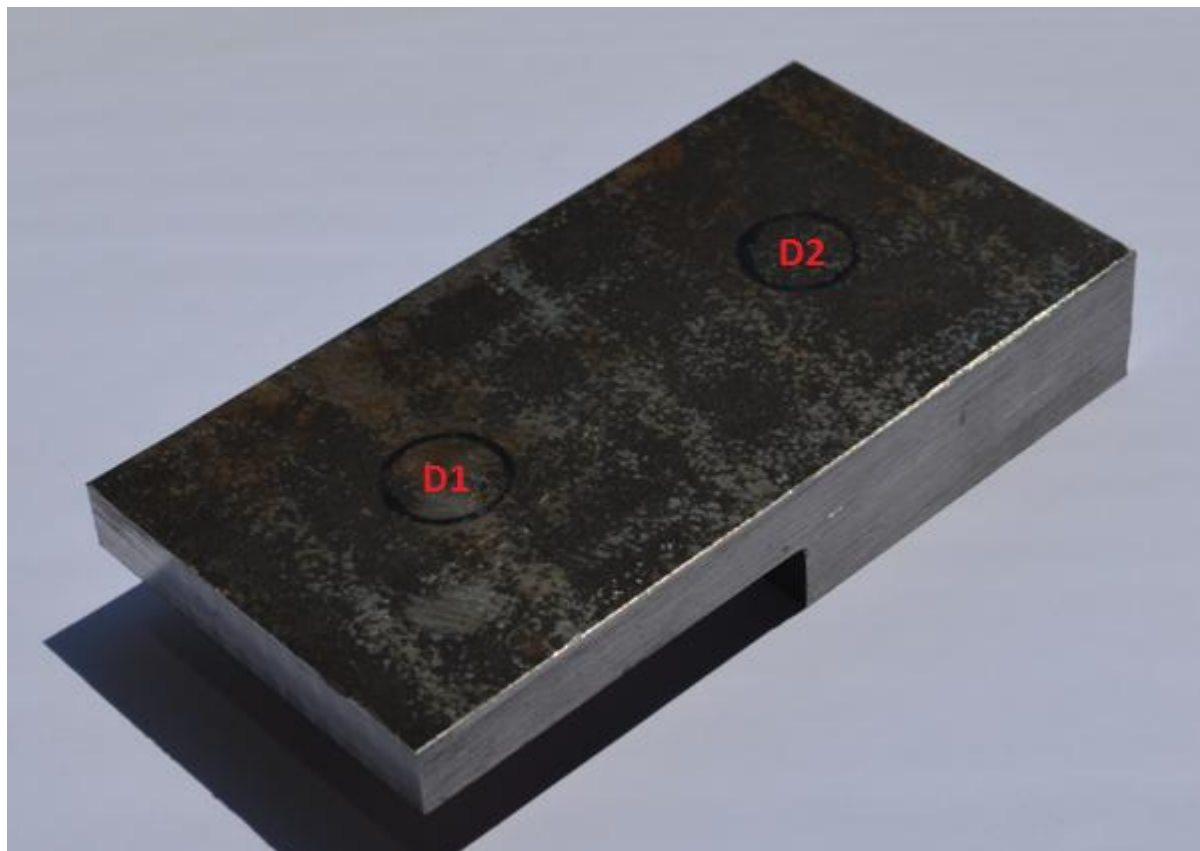


Slika 12. Uzorak 1

Tablica 7. Uzorak 1

Uzorak 1 (U1)	
Mjerna mjesta	
<i>D1</i>	<i>D2</i>

### 3.5.2 Uzorak 2



Slika 13. Uzorak 2

Tablica 8. Uzorak 2

Uzorak 2 (U2)	
Mjerna mjesta	
<i>D1</i>	<i>D2</i>



### 3.5.3 Uzorak 3

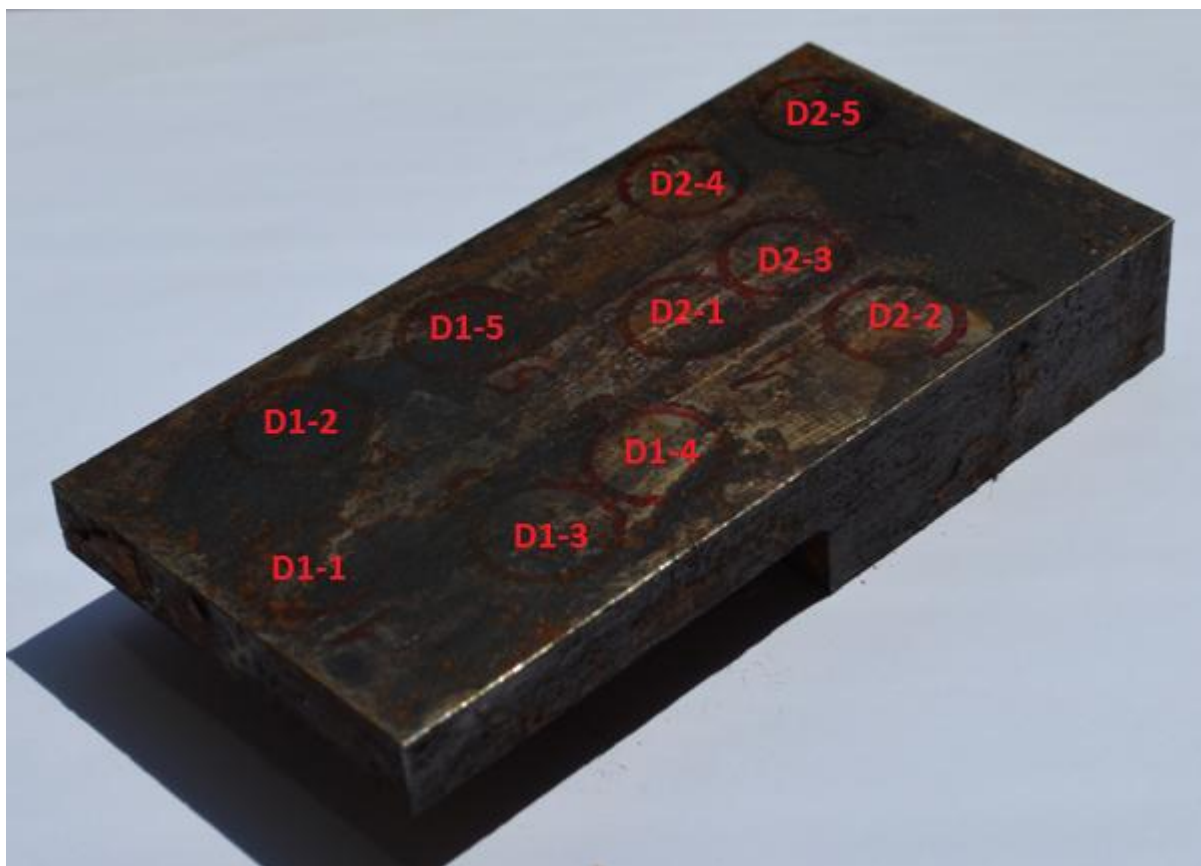


Slika 14. Uzorak 3

Tablica 9. Uzorak 3

Uzorak 3 (U3)	
Mjerna mjesta	
<i>D1</i>	<i>D2</i>

### 3.5.4 Uzorak 4



Slika 15. Uzorak 4

Tablica 10. Uzorak 4

Uzorak 3 (U3)				
Mjerna mjesta				
<i>D1-1</i>	<i>D1-2</i>	<i>D1-3</i>	<i>D1-4</i>	<i>D1-5</i>
<i>D2-1</i>	<i>D2-2</i>	<i>D2-3</i>	<i>D2-4</i>	<i>D2-5</i>

### **3.6. Instrukcije za mjerenje**

Mjerenje se obavlja na posebno predviđenim i vidljivo označenim točkama na predmetu. Uzorci 1,2 i 3 imaju po dvije mjerne točke, dok uzorak 4 ima deset mjernih točaka.

Mjerenje se obavlja na sobnoj temperaturi  $T = 20^{\circ}\text{C}$ .

Mjerne rezultate i informacije o mjerenju sudionici zapisuju na za to predviđen obrazac „Ultrazvučno mjerenje debljine“ kojeg moraju poslati ispunjenog i to na jedan od dva načina, poštom ili e-mailom. Sudionici će obrasce primiti putem e-maila.

Obrazac se šalje za svaki mjerni uređaj i za svakog mjeritelja posebno.

NAPOMENA: Svi uzorci su napravljeni od iste vrste čelika.

## 3.7. Obrazac [8]

## Ultrazvučno mjerenje debljine

(EN 14127)

LABORATORIJ:

NAČIN MJERENJA *	MOD1 <input type="checkbox"/>	MOD2 <input type="checkbox"/>	MOD3 <input type="checkbox"/>	MOD4 <input type="checkbox"/>
TIP UREĐAJA **	a) <input type="checkbox"/>	b) <input type="checkbox"/>	c) <input type="checkbox"/>	
SONDA	Dvostruka sonda <input type="checkbox"/>		Ravna sonda <input type="checkbox"/>	
SERIJSKI BROJ SONDE				
FREKVENCIJA SONDE $f$ (MHz)				
TIP ETALONA ZA PODEŠAVANJE	Etalon V1 <input type="checkbox"/>	Etalon V2 <input type="checkbox"/>	Stepeničasti etalon <input type="checkbox"/>	Ostalo <input type="checkbox"/>
REFERENTE DEBLJINE ETALONA ZA PODEŠAVANJE (mm) vrijedi za stepeničasti i ostalo				
	$d1 =$	$d2 =$	$d3 =$	$d4 =$
KONTAKTNO SREDSTVO	Choose an item.			
MJERNO PODRUČJE [mm]				
VISINA AMPLITUDE (% visine ekrana)				
BRZINA KROZ ČELIK $v$ [m/s]				
INICIJALI MJERITELJA				
CERTIFIKAT BROJ	Nema certifikata: <input type="checkbox"/>			

\*

MOD 1: Mjerenje vremena prolaska od pobudnog impulsa do prvog odjeka od zadnje stijenke, minus korekcije na nulu (zero correction) koju je potrebno uzeti u obzir uslijed debljine zaštite pretvornika i kontaktnog sredstva.

MOD 2: Mjerenje vremena preleta od kraja bloka za kašnjenje do prvog odjeka od zadnje stijenke.

MOD 3: Mjerenje vremena prolaska između dva susjedna odjeka od zadnje stijenke.

MOD 4: Mjerenje vremena prolaska impulsa od odašiljača do prijemnika koji je u kontaktu sa zadnjom stijenkom.

\*\*

- ultrazvučni uređaj određen za mjerenje debljine stijenke s numeričkim prikazom mjerene vrijednost
- ultrazvučni uređaj određen za mjerenje debljine stijenke s numeričkim prikazom mjerene vrijednost i pripadajućim A prikazom
- uređaji čija je primarna namjena za detektiranje nepravilnosti u ispitnom uzorku a koji ujedno ima i numerički prikaz izmjerene debljine uzorka.

### Mjerni rezultati

Faktor pokrivanja $k =$				Vjerojatnost $p =$					
<b>UZORAK 1</b>									
<i>D1</i>				<i>D2</i>					
<i>debljina</i>		<i>mjerna nesigurnost</i>		<i>debljina</i>		<i>mjerna nesigurnost</i>			
<b>UZORAK 2</b>									
<i>D1</i>				<i>D2</i>					
<i>debljina</i>		<i>mjerna nesigurnost</i>		<i>debljina</i>		<i>mjerna nesigurnost</i>			
<b>UZORAK 3</b>									
<i>D1</i>				<i>D2</i>					
<i>debljina</i>		<i>mjerna nesigurnost</i>		<i>debljina</i>		<i>mjerna nesigurnost</i>			
<b>UZORAK 4</b>									
<i>D1-1</i>		<i>D1-2</i>		<i>D1-3</i>		<i>D1-4</i>		<i>D1-5</i>	
<i>deb.</i>	<i>mj.nes</i>	<i>deb.</i>	<i>mj.nes</i>	<i>deb.</i>	<i>mj.nes</i>	<i>deb.</i>	<i>mj.nes</i>	<i>deb.</i>	<i>mj.nes</i>
<i>D2-1</i>		<i>D2-2</i>		<i>D2-3</i>		<i>D2-4</i>		<i>D2-5</i>	

Napomena:

Vrijednosti dimenzija i mjernih nesigurnosti se zapisuju u milimetrima.

### 3.8. Europska norma za nerazorna ispitivanja – mjerenje debljine ultrazvukom

Ultrazvučno mjerenje debljine uređuje europska norma čija je oznaka EN 14127. Norma je odobrena 16. veljače 2004. godine, od strane CEN-a, Europskog odbora za normizaciju, a u daljnjem tekstu su izvučene samo bitne stavke za ovu interkomparaciju.

#### 3.8.1 Opseg norme

Norma pokriva postupak kontaktnog ultrazvučnog mjerenja debljine metalnih i nemetalnih materijala. Debljina predmeta se dobiva koristeći vrijeme putovanja ultrazvuka kroz predmet.

#### 3.8.2 Načini mjerenja

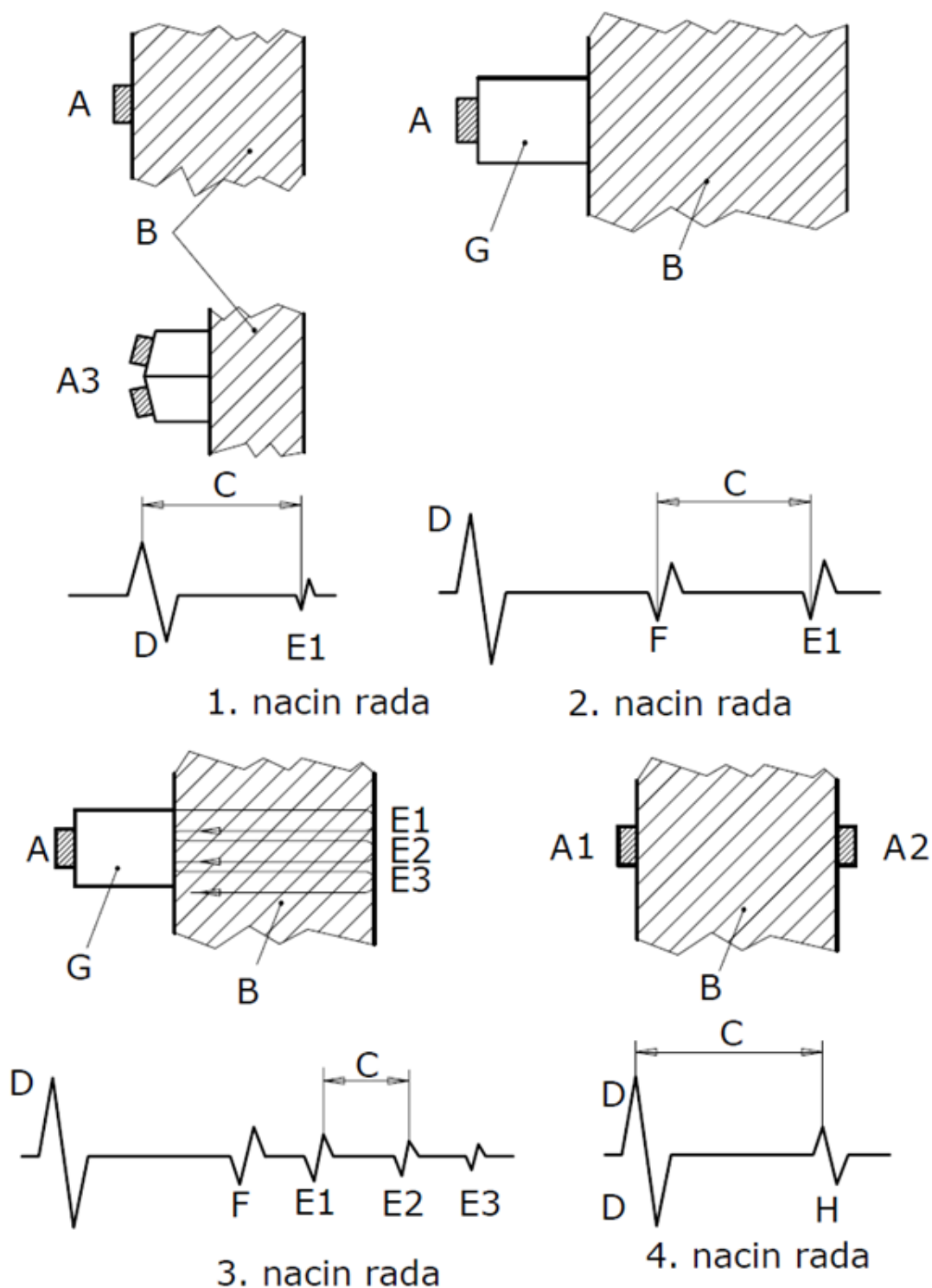
Debljina djelova ili predmeta se određuje preciznim mjerenjem vremena potrebnog da kratki ultrazvučni valovi koje proizvodi pretvornik prođu kroz materijal jednom, dvaput ili nekoliko puta, ovisno o samoj izvedbi mjerenja.

Debljina materijala se računa kao količnik gdje je u brojniku umnožak poznate brzine zvuka kroz predmet i vremena prolaza, a u nazivniku broj puta koliko je zvuk prošao kroz materijal.

Princip može biti postignut na nekoliko sljedećih načina rada:

1. NAČIN RADA (MOD 1): Mjerenje vremena prolaska od prvog impulsa do prvog odjeka od zadnje stijenke, minus korekcije na nulu (zero correction) koju je potrebno uzeti u obzir uslijed debljine zaštite pretvornika i kontaktnog sredstva.
2. NAČIN RADA (MOD 2): Mjerenje vremena preleta od kraja bloka za kašnjenje do prvog odjeka od zadnje stijenke.
3. NAČIN RADA (MOD 3): Mjerenje vremena prolaska između dva susjedna odjeka od zadnje stijenke.
4. NAČIN RADA (MOD 4): Mjerenje vremena prolaska impulsa od odašiljača do prijemnika koji je u kontaktu sa zadnjom stijenkom.

Grafički prikaz modela mjerenja može se vidjeti na sljedećoj slici (slika 16).



Tumac:

A – sonda koja odašilje i prima impuls

A1 – sonda za odašiljanje impulsa

A2 – sonda za primanje impulsa

A3 – dvostruka sonda

B – testni objekt

C – put kojim prolazi zvuk

D – indikator prolaska impulsa

E1, E2, E3 – odjek od stijenke

F – odjek

G – put kašnjenja

H – primljen impuls

**Slika 16. Grafički prikaz modela mjerenja [8]**

### 3.8.3 Osnovni zahtjevi mjerenja

#### 3.8.3.1 Uređaji

Mjerenje debljine može biti postignuto korištenjem sljedećih tipova instrumenata:

- a) Ultrazvučni uređaj određen za mjerenje debljine stijenke s numeričkim prikazom mjerene vrijednosti
- b) Ultrazvučni uređaj određen za mjerenje debljine stijenke s numeričkim prikazom mjerene vrijednosti i pripadajućim A prikazom.
- c) Uređaji čija je primarna namjena detektiranje nepravilnosti u ispitnom uzorku, a koji ujedno imaju i numerički prikaz izmjerene debljine uzorka.

#### 3.8.3.2 Sonde

Korištene su sonde za longitudinalne valove i to sljedeći tipovi:

- Dvostruka sonda
- Ravna sonda

#### 3.8.3.3 Kontaktno sredstvo

Potrebno je omogućiti tzv. zvučni kontakt između sonde (sondi) i materijala koji mjerimo, a najčešće to radimo primjenom tekućine ili gela.

Kontaktno sredstvo nebi smjelo imati nikakve negativne efekte na testirani objekt, opremu ili predstavljati opasnost za zdravlje mjeritelja.

Također, kontaktno sredstvo treba biti odabrano tako da odgovara uvjetima površine i nepravilnostima na površini te osigurava adekvatan spoj.

#### 3.8.3.4 Referentni blokovi

Mjerni sistem bi trebao biti kalibriran sa jednim ili više uzoraka reprezentativnih referentnih blokova objekta koji se mjeri, a koji imaju usporedive dimenzije, materijal i strukturu. Debljina blokova mora pokrivati raspon debljina koji se može mjeriti. Treba poznavati ili debljinu ili brzinu zvuka specifičnu za referentni blok.



### 3.8.3.5 Objekti za testiranje

Ultrazvučni val mora moći prolaziti kroz objekt koji se mjeri. Također, treba biti slobodan pristup pojedinačnim područjima na kojima se vrši mjerenje. Površina područja na kojem se obavlja mjerenje treba biti očišćena od svih nečistoća, masti, vlasi, ljuški, eventualnog praška za zavarivanje i srha, ulja ili drugih stranih tvari koje bi mogle utjecati na ispitivanje. Ako je površina obložena, premaz treba dobro prijanjati na materijal. U suprotnom se treba ukloniti.

Prilikom mjerenja kroz premaz treba biti poznata njegova debljina i brzina zvuk osim ako se koristi MOD 3.

### 3.8.3.6 Kvalifikacija mjeritelja

Prema normi mjeritelj koji izvodi ultrazvučno mjerenje debljine bi trebao imati osnovna znanja o fizici ultrazvuka, i detaljno razumjevanje te proći vježbe iz mjerenja debljine ultrazvukom. Također, mjeritelj bi trebao posjedovati znanja i o predmetu i materijalu koji mjeri.

Pretpostavlja se da kvalificirani i sposobni ljudi izvode mjerenje. Kako bi dokazali svoju kvalificiranost, preporuča se da osoblje dobije certifikat EN 473 ili neki sličan certifikat.

## 3.8.4 *Primjena tehnike*

### 3.8.4.1 Površinski uvjeti i priprema površine

Korištenjem metode povratka valova znači da ultrazvučne zrake moraju proći kontaktnu površinu između testnog objekta i sonde barem dvaput: kada ulaze u objekt i kada izlaze iz njega.

Zbog toga je poželjno imati čisto i ujednačeno kontaktno područje barem dvostruko veće od promjera sonde. Slabi kontakt će rezultirati gubitkom energije, distorzijom signala i zvučnog puta.

Da bi omogućili širenje zvuka svi odvojeni dijelovi i ne prijanjajući premazi trebaju biti uklonjeni četkanjem ili brušenjem.

Svi pričvršćeni slojevi, kao premaz boje, oplata, emajli mogu ostati na objektu, ali samo ako su zaista zanemarive debljine.

Često puta mjerenja debljine moraju biti izvršena na korodiranoj površini, na primjer spremnicima i cjevovodima. Da bi povećali mjernu preciznost kontaktna površina treba biti učvršćena u području velikom barem dva promjera sonde. To područje treba biti očišćeno od korozivnije.

### **3.8.5 Uvjeti površine – korozija**

Slabo pridavanje pozornosti uvjetima površine može rezultirati nemogućnošću obavljanja mjerenja ili pogrešnim rezultatima.

U plinskoj i naftnoj industriji, elektranama, distribuciji energiji, skladištenju i transportu proizvoda, mehanizmi korozije ograju značajnu ulogu i često ih povezujemo sa brodovima i cijevima koje su izgrađene od željeza.

Prilikom odabira mjerne tehnike treba obratiti pozornost na tip korozije jer o tome ovisi odabir.

Uzorci 3 i 4 su jednoliko prekriveni korozijom, i može se reći da je riječ o općoj koroziji sa točkastom korozijom na nekim mjestima.

### **3.8.6 Mjerenje uz opću koroziju**

#### **3.8.6.1 Uređaji**

Digitalni mjerni instrumenti se trebaju koristiti kod opće korozije. Ako ne daju pouzdana očitavanja zbog teških površinskih uvjeta, nepravilnosti ili teških premaza, treba koristiti A-scan uređaje.

Kod uzoraka gdje je površina za mjerenje obložena, a potrebno je isključiti debljinu sloja iz rezultata debljine, pogodan uređaj za to je onaj koji radi na principu MOD-a 3.

Kod uzoraka gdje je potrebno pronaći najtanju točku unutar određenog područja treba uvesti skeniranje. Za tu svrhu se koriste A-scan instrumenti.

Kod uzoraka gdje je potrebno napraviti puno mjerenja, uređaji sa automatskim zapisivanjem podataka se trebaju uzeti u obzir.

### 3.8.6.2 Sonde

Odabir sonde ovisi o vrsti opreme, debljini materijala, uvjetima površine i o tome dali je uzorak prekriven ili ne.

Kod uređaja sa digitalnim prikazom trebaju se koristiti sonde koje preporučuju proizvođači.

Kod A-scan uređaja trebaju se primjeniti sljedeći smjernice:

- Frekvencija sonde treba biti takva da proizvede barem 1,5 valnu duljinu u testiranom objektu.
- Općenito, ravne sonde bi se trebale koristiti za debljine od 10 mm i veće. 3. Način rada (MOD 3) se izvodi samo sa ravnim sondama.
- Tamo gdje je debljina manja od 10 mm, koriste se dvostruke sonde.
- Ako je očekivana debljina manja od 5 mm, koriste se dvostruke sonde, ali sa specijalnim rasponom fokusa.
- U slučaju da je objekt zakrivljen, treba obratiti pažnju na promjer sonde.
- Na objektima koji su prekriveni slojem koristi se ravna sonda i MOD 3 kako bi se kompezirala debljina sloja (premaza).

### 3.8.6.3 Podešavanje uređaja

Podešavanje uređaja se obavlja sa posebnim klinastim predmetima koji imaju stepeničast oblik. Veličina im pokriva očekivani raspon dimenzija objekta koje treba mjeriti. Materijal i temperatura predmeta su jednak kao i na objektu kojeg trebamo mjeriti.

### 3.8.6.4 Mjerenje

Kod mjerenja sa ravnom sondom, gdje je moguće očitati nekoliko odjeka od stijenke u pozadini, najprecizniji rezultati se postižu očitavanje n-tog odjeka, i dijeljenjem sa n. Kada se ova tehnika koristi kod uzoraka sa prekrivenom površinom, udaljenost od odjeka br.1 i n-tog odjeka se očitava i dijela sa n-1. Na taj način, debljina premaza nije uključena u rezultat.

Kod mjerenja gdje se koristi samo jedan odjek, očitavanja odjeka se moraju uzeti u istom položaju kao i kod namještanja uređaja. Ako je površina prekrivena, uzima se u obzir i indeks loma metal/premaz.

Tamo gdje je jako bitna ponovljivost, točna pozicija mjernih točaka se mora dokumentirati ili na neki drugi način obilježiti. Tamo gdje je bitno pronaći najtanju točku u određenom području, treba provesti skeniranje. Ovo najčešće zahtjeva A-scan uređaje.

Korištenje uređaja sa digitalnim prikazom treba biti striktno po instrukcijama proizvođača.

Neočekivana mjerenja mogu biti posljedica unutarnjih diskontinuiteta. Ovo se treba provjeriti dodatnim istragama, koristeći sonde sa kutnom zrakom.

### **3.8.7 Mjerenje uz točkastu koroziju**

#### 3.8.7.1 Uređaji

Kod mjerenja debljine na mjestima gdje očekujemo točkastu koroziju koriste se A-scan uređaji.

#### 3.8.7.2 Sonde

Najprikladnija sonda za otkrivanje točkaste korozije je dvostruka sonda. Ona bi trebala imati fokusnu duljinu koja odgovara očekivanoj udaljenosti do točkaste korozije.

#### 3.8.7.3 Podešavanje uređaja

Podešavanje uređaja se obavlja sa posebnim klinastim predmetima koji imaju stepeničast oblik, a raspon im je u razini očekivanog raspona objekta kojeg treba mjeriti. Materijal i temperatura moraju biti jednaki materijalu u temperaturi objekta. Tamo gdje se očekuje mala točkasta korozija, osjetljivost detekcije se ocjenjuje preko blokova za podešavanje koji imaju rupe sa ravnim dnom i malenim promjerom, i koje su na istoj udaljenosti kao i očekivana točkasta korozija.

#### 3.8.7.4 Mjerenje

Prilikom traženja točkaste korozije, treba se koristiti samo prvi odjek od zadnje stijenke. Odjeci koje je izazvala točkasta korozija se mogu pojaviti zajedno sa odjecima od zadnje stijenke.

U slučaju kada se ne može odrediti vrsta odjeka, je li je nastala uslijed korozije ili raznih dodataka, treba se provesti dodatna istraga pomoću kutnih sondi. Sonde sa kutom od 45° su posebno dizajnirane da otkriju je li je riječ o dodacima u materijalu ili točkastoj koroziji.

## 4. ANALIZA REZULTATA INTERKOMPARACIJE

### 4.1. Mjerenja mikrometarskim vijkom

Prije same interkomparacije i prvih ultrazvučnih mjerenja, uzorci su izmjereni na Fakultetu strojarstva i brodogradnje i to mikrometarskim vijkom. Izmjerena je veća i manja dimenzija odnosno debljina i to svaka po 5 puta, te se uzeo prosjek. Ovo je napravljeno kako bi se dobio okviran rezultat koji možemo očekivati u kasnijim ultrazvučnim mjerenjima.

#### ➤ UZORAK 1

**Tablica 11. Manja dimenzija**

Manja dimenzija	Vrijednost (mm)
1.mjerenje	10,18
2.mjerenje	10,17
3.mjerenje	10,17
4.mjerenje	10,15
5.mjerenje	10,16
<b>PROSJEČNA VRIJEDNOST</b>	<b>10,166</b>

**Tablica 12. Veća dimenzija**

Veća dimenzija	Vrijednost (mm)
1.mjerenje	20,43
2.mjerenje	20,41
3.mjerenje	20,42
4.mjerenje	20,40
5.mjerenje	20,39
<b>PROSJEČNA VRIJEDNOST</b>	<b>20,41</b>

## ➤ UZORAK 2

Tablica 13. Manja dimenzija

Manja dimenzija	Vrijednost (mm)
1.mjerenje	10,22
2.mjerenje	10,28
3.mjerenje	10,24
4.mjerenje	10,24
5.mjerenje	10,21
<b>PROSJEČNA VRIJEDNOST</b>	<b>10,238</b>

Tablica 14. Veća dimenzija

Veća dimenzija	Vrijednost (mm)
1.mjerenje	20,86
2.mjerenje	20,85
3.mjerenje	20,85
4.mjerenje	20,9
5.mjerenje	20,85
<b>PROSJEČNA VRIJEDNOST</b>	<b>20,862</b>

## ➤ UZORAK 3

Tablica 15. Manja dimenzija

Manja dimenzija	Vrijednost (mm)
1.mjerenje	10,15
2.mjerenje	10,35
3.mjerenje	10,12
4.mjerenje	10,10
5.mjerenje	10,14
<b>PROSJEČNA VRIJEDNOST</b>	<b>10,172</b>

Tablica 16. Veća dimenzija

Veća dimenzija	Vrijednost (mm)
1.mjerenje	20,96
2.mjerenje	20,81
3.mjerenje	20,89
4.mjerenje	20,96
5.mjerenje	20,90
<b>PROSJEČNA VRIJEDNOST</b>	<b>20,904</b>

➤ UZORAK 4

Tablica 17. Manja dimenzija

Manja dimenzija	Vrijednost (mm)
1.mjerenje	10,08
2.mjerenje	10,07
3.mjerenje	10,11
4.mjerenje	10,07
5.mjerenje	10,10
<b>PROSJEČNA VRIJEDNOST</b>	<b>10,086</b>

Tablica 18. Veća dimenzija

Veća dimenzija	Vrijednost (mm)
1.mjerenje	20,80
2.mjerenje	20,90
3.mjerenje	20,89
4.mjerenje	20,88
5.mjerenje	20,85
<b>PROSJEČNA VRIJEDNOST</b>	<b>20,864</b>

## 4.2. Statistička obrada podataka usporedbenih mjerenja

### 4.2.1 Matematički model statističke obrade podataka

Analiza mjernih rezultata se provodi statističkim metodama koje ispituju distribuciju rezultata te se na taj način može vrednovati koliko je koji rezultat sa pripadajućom proširenom standardnom nesigurnosti dobar u odnosu na ostale rezultate.

Pošto ne postoji neki točan podatak što je prava vrijednost debljine uzorka, određuje se tzv. referentna vrijednost. Izračun referentne vrijednosti je ključan za usporedbeno mjerenje i postoji više metoda sa kojima se može dobiti. Nije moguće uzeti običnu srednju vrijednost pošto uz rezultate mjerenja ide i proširena standardna nesigurnost te je iz tog razloga potrebno računati težinsku srednju vrijednost. Jako je bitno da laboratoriji daju korektne i realne procjene svojih mjernih nesigurnosti.

Dvije najčešće vrijednosti koje se uzimaju za referentnu vrijednost su totalni medijan i težinska srednja vrijednost. Često puta se uzima i srednja vrijednost od ove dvije vrijednosti.[9]

U ovom radu će se kao referentnu vrijednost uzeti težinska srednja vrijednost dobivenih rezultata i njihovih proširenih standardnih nesigurnosti. ( $X_{ref} = X_w$ )

Težinska srednja vrijednost se računa prema izrazu:

$$X_w = \frac{\sum_{i=1}^n u^{-2}(X_{lab}) \cdot X_{lab}}{\sum_{i=1}^n u^{-2}(X_{lab})} = X_{ref} \quad (4.3.1.1)$$

Gdje  $X_{lab}$  predstavlja rezultat laboratorija, a  $u(X_{lab})$  standardnu nesigurnost laboratorija.

Referentna standardna mjerna nesigurnost se računa prema sljedećem izrazu:

$$u(X_{ref}) = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^n u^{-2}(X_{lab})}} \quad (4.3.1.2)$$

Kako bi se testirala ukupna statistička dosljednost podataka računa se Birgeov koeficijent  $R_B$  dok se za dosljednost pojedinačnih podataka u odnosu na referentnu vrijednost računa faktor slaganja  $E_n$ .



### 4.2.2 Faktor slaganja $E_n$

Statističku dosljednost rezultata sa njihovim pripadajućim nesigurnostima mjerimo faktorom slaganja, koji se računa za svaki laboratorij posebno. Dakle  $E_n$  ocjenjuje kompatibilnost rezultata mjerenja u odnosu na referentnu vrijednost svih laboratorija koji sudjeluju u usporedbenom mjerenju, a računa se kao omjer odstupanja od težinske sredine i nesigurnosti odstupanja:

$$E_n = \frac{X_{lab} - X_{ref}}{k \cdot \sqrt{u^2(X_{lab}) - u^2(X_{ref})}} \quad (4.3.2.1)$$

Gdje su:

$X_{lab}$  - rezultati mjerenja laboratorija učesnika

$X_{ref}$  - referentna vrijednost dobivena kao težinska sredina po formuli (4.3.1.1)

$u(X_{lab})$  - mjerna nesigurnost laboratorija učesnika

$u(X_{ref})$  - referentna mjerna nesigurnost dobivena po formuli (4.3.1.2)

$k$  – faktor pokrivanja ( $k = 2$  u našem slučaju)

Vrijednost  $E_n$ -a treba biti manja od 1 kako bi se rezultat smatrao kompatibilnim, odnosno što je vrijednost bliža 0 to se rezultat smatra kompatibilnijim. Vrijednost  $E_n$  se smatra valjano izračunatom ako je zadovoljen Birgeov kriterij. Ako vrijednost ima pozitivan predznak to znači da je rezultat laboratorija veći od izračunate referentne vrijednosti, isto tako ako je negativan predznak to znači da je rezultat laboratorija manji od referentne vrijednosti.

### 4.2.3 Birgeov kriterij

Da bi se vrijednost  $E_n$  smatrala valjanom izračunatom treba biti zadovoljen Birgeov kriterij, a to u našem slučaju, za  $k = 2$ , znači da Birgeov koeficijent treba biti manji od 1,44. U slučaju da nije zadovoljen Birgeov kriterij, rezultati laboratorija sa najvećom vrijednošću  $E_n$ -a izbacuju se iz proračuna jedan po jedan počevši od laboratorija sa najvećim  $E_n$ -om, i to sve dok se ne zadovolji Birgeov kriterij.

Birgeov kriterij računa se prema izrazu:

$$R_B < \sqrt{1 + \sqrt{\frac{8}{n-1}}} \quad (4.3.3.1)$$

A Birgeov koeficijent prema sljedećem izrazu:

$$R_B = \frac{u_{ext}}{u_{int}} \quad (4.3.3.2)$$

Gdje su:

$$u_{ext} = \frac{\sqrt{\sum_{l=1}^n \left[ \frac{x_l - x_{ref}}{u(x_l)} \right]^2}}{\sqrt{(n-1) \sum_{l=1}^n u^{-2}(x_l)}} \quad (4.3.3.3)$$

$$u_{int} = \frac{1}{\sqrt{\sum_{l=1}^n u^{-2}(x_l)}} \quad (4.3.3.1)$$

Mjerni rezultati se smatraju dosljednima tek kad Birgeov kriterij zadovoljen, odnosno Birgeov koeficijent manji od izračunatog graničnog. Ako je Birgeov koeficijent veći, podaci, tj. rezultati mjerenja se smatraju nedosljednima. U tom slučaju izbacujemo laboratorij sa najvećom vrijednosti  $E_n$ -a i ponovno računamo  $E_n$  koristeći formulu (4.3.2.1) za sve laboratorije osim onog koji je izbačen. Za njega se koristi sljedeća formula:

$$E_n = \frac{X_{lab} - X_{ref}}{k \cdot \sqrt{u^2(X_{lab}) + u^2(X_{ref})}} \quad (4.3.3.2)$$

Postupak se ponavlja sve dok Birgeov kriterij nije zadovoljen.

Teoretski je moguće da laboratorij bude isključen iz razmatranja, a kada mu je ponovno izračunat  $E_n$  on ispada manji od vrijednosti  $E_n$  dobivenih za ostale laboratorije, međutim u praksi se ovakav slučaj još nije pojavljivao.

Ova metoda nije potpuno učinkovita u statističkom smislu, jer će neki "dobri" podaci na rubovima razdiobe vjerojatnosti biti isključeni, ali to je mala cijena u zamjenu za značajnu sigurnost referentne vrijednosti od pretjeranog utjecaja grubih pogrešaka. Također je vrijedno spomena kada su dvije  $E_n$  gotovo jednake tada nije jasno koju od odgovarajućih mjerenja

treba isključiti za poboljšanje dosljednosti preostalih vrijednosti. Radi jednostavnosti zanemaruje se ova komplikacija međutim potreban je bolje razrađeni postupak koji može biti učinkovitiji u pronalaženju odgovarajuće referentne vrijednosti.

#### 4.3. Rezultati i analiza simuliranih mjerenih rezultata laboratorija – primjer 1 i 2

Pošto se ova interkomparacija tek treba provesti, prikazat će se postupak i primjer izračuna na simuliranim mjernim rezultatima. Kao osnova za simuliranje će poslužiti probna mjerenja obavljena na Fakultetu strojarstva i brodogradnje, koja su obavljena na uređaju USN 60 (MOD1), sa sondom MB4S-N, a za kontaktno sredstvo je korišten gel.

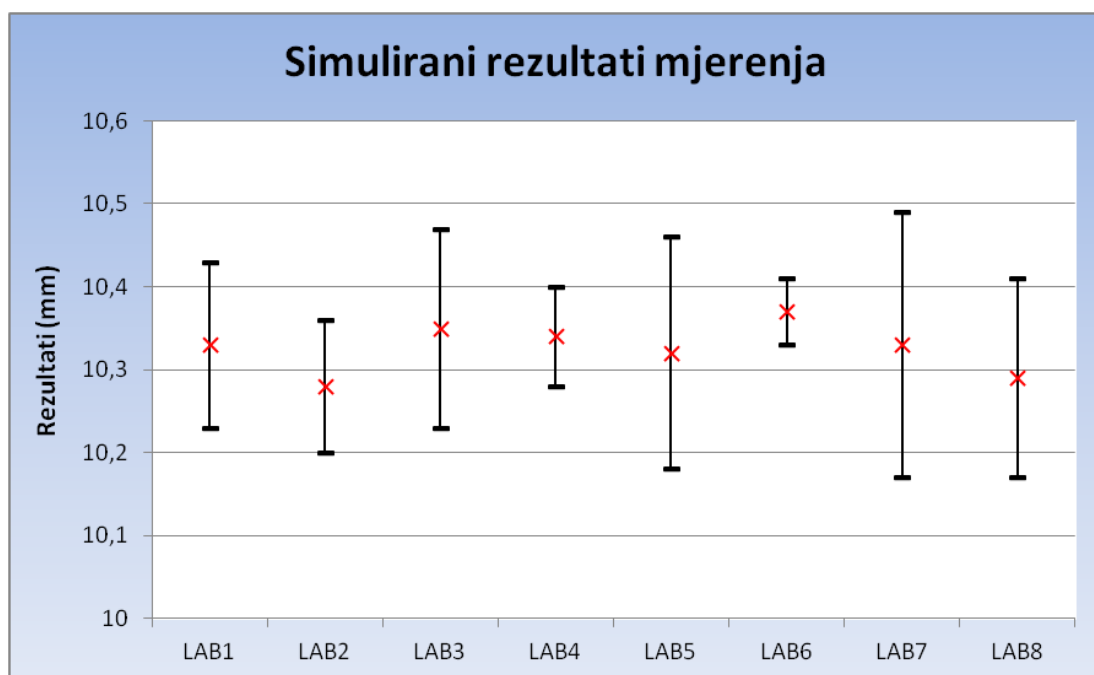
##### 4.3.1 Primjer 1

U ovom primjeru bit će prikazani simulirani rezultati mjerenja 8 laboratorija za nazivnu debljinu od 10 mm. Analiza rezultata prikazana je ispod mjernih rezultata u tablici 16.

##### 4.3.1.1 Simulirani podaci za $d_{nazivni} = 10$ mm

**Tablica 19. Simulirani rezultati mjerenja**

Laboratorij	LAB1	LAB2	LAB3	LAB4	LAB5	LAB6	LAB7	LAB8
$d$	10,33	10,28	10,35	10,34	10,32	10,37	10,33	10,29
$u$	0,05	0,04	0,06	0,03	0,07	0,02	0,08	0,06

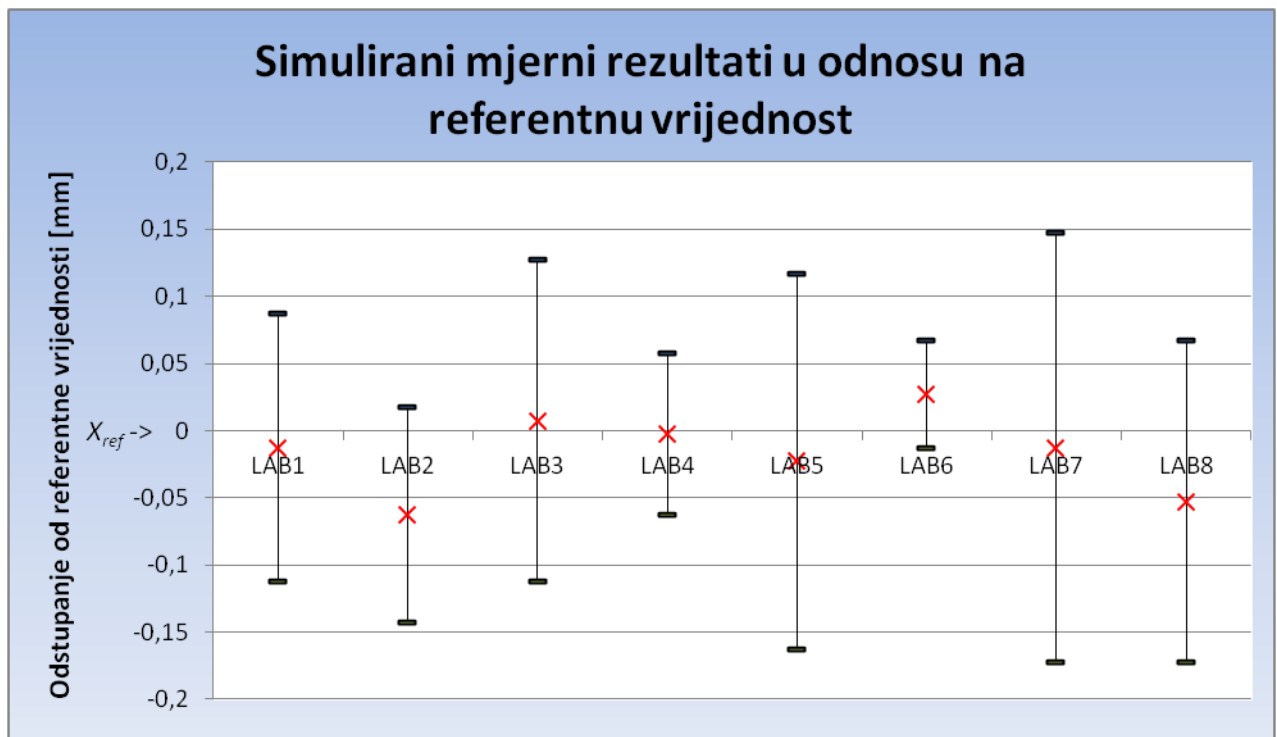


**Slika 17. Simulirani rezultati mjerenja za  $d_{nazivni} = 10$  mm**

Tablica 20. Simulirani rezultati mjerenja i analiza

Laboratorij	Odstupanje od nazivne vrijednosti (mm)	Standardna nesigurnost u (mm)	$E_n$
LAB1	+0,33	0,05	-0,14
LAB2	+0,28	0,04	-0,84
LAB3	+0,35	0,06	0,06
LAB4	+0,34	0,03	-0,06
LAB5	+0,32	0,07	-0,17
LAB6	+0,37	0,02	0,91
LAB7	+0,33	0,08	-0,08
LAB8	+0,29	0,06	-0,45
$X_{ref}$	10,343		
$u(X_{ref})$	13420,705		
$R_B$	0,861		
$R_B$ dopušteni	1,438		
UVJET	$R_B < R_B$ dopušteni		

$R_b < R_b$  dopušteni što znači da je uvjet zadovoljen i da nije potrebno izbacivati mjerne rezultate niti jednog laboratorija.



Slika 18. Simulirani mjerni rezultati sa pripadajućim mjernim nesigurnostima u odnosu na referentnu vrijednost

Na slici 17. mogu se vidjeti mjerni rezultati sa pripadajućim nesigurnostima u odnosu na referentnu vrijednost koja predstavlja nulu.

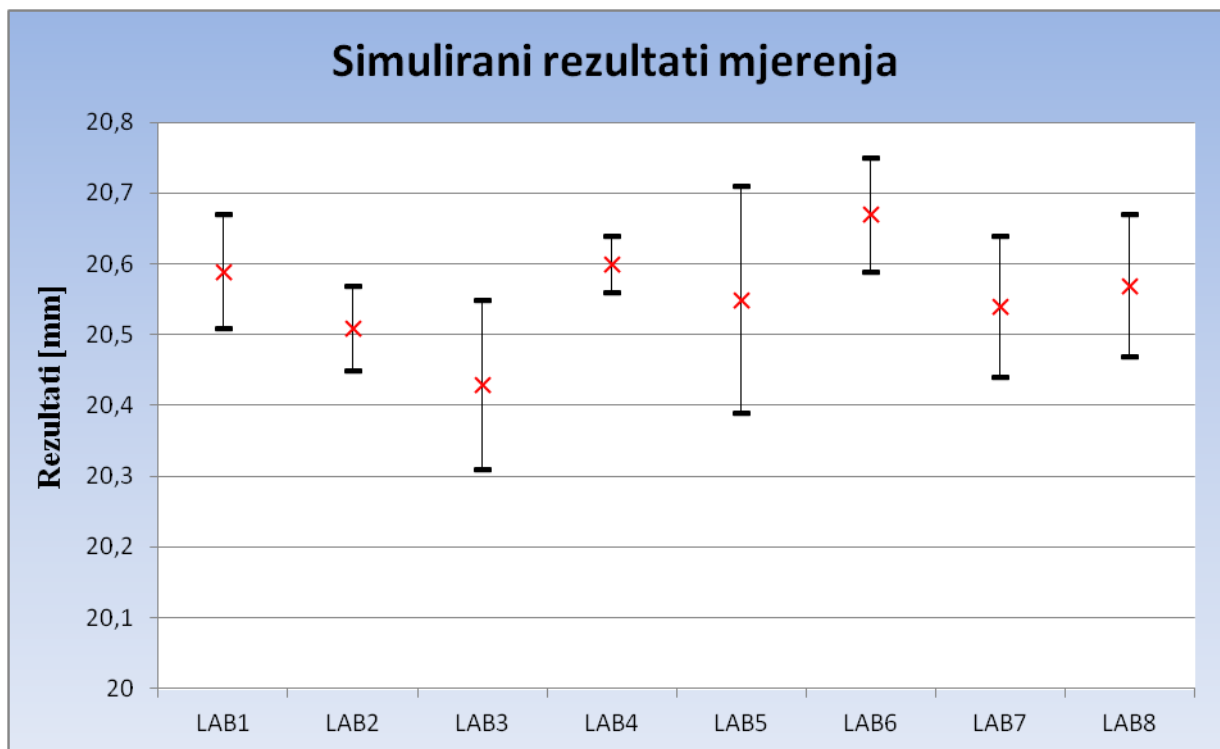
### 4.3.2 Primjer 2

U ovom primjeru bit će simulirani rezultati mjerenja 8 laboratorija za nazivnu debljinu od 20 mm. Analiza rezultata prikazana je ispod simuliranih rezultata mjerenja u tablici 18.

#### 4.3.2.1 Simulirani podaci za $d_{nazivni} = 20$ mm

**Tablica 21. Simulirani rezultati mjerenja**

Laboratorij	LAB1	LAB2	LAB3	LAB4	LAB5	LAB6	LAB7	LAB8
$d$	20,59	20,51	20,43	20,60	20,55	20,67	20,54	20,57
$u$	0,04	0,03	0,06	0,02	0,08	0,04	0,05	0,05



**Slika 19. Simulirani rezultati mjerenja za  $d_{nazivni} = 20$  mm**

Tablica 22. Simulirani rezultati mjerenja i analiza

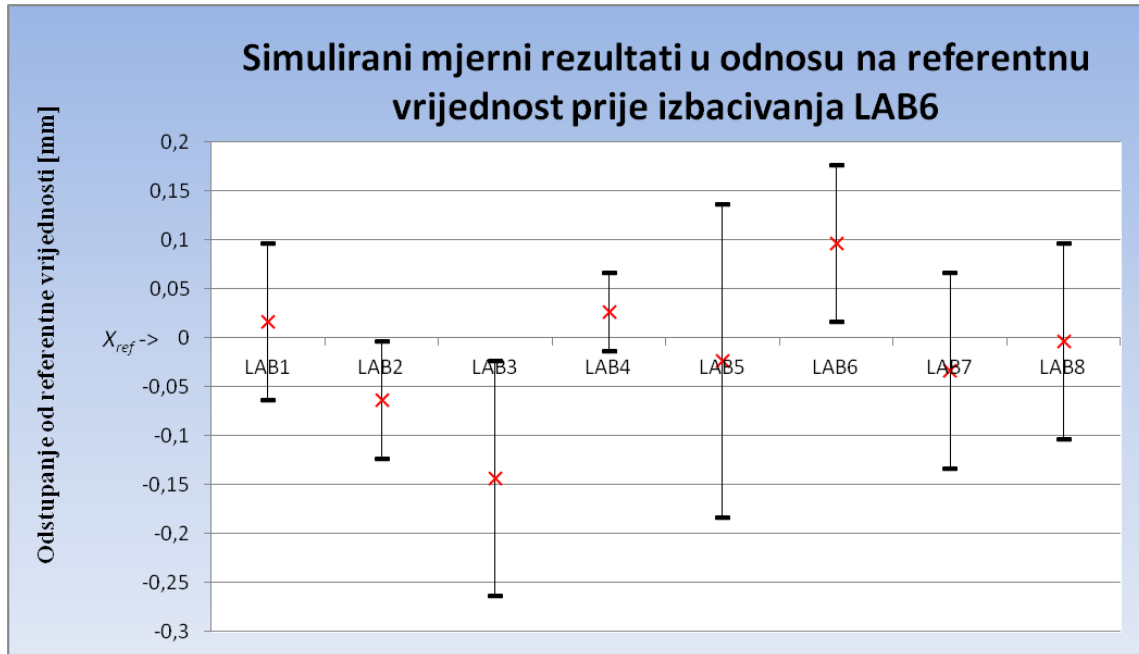
Laboratorij	Odstupanje od nazivne vrijednosti (nm)	Standardna nesigurnost u (nm)	$E_n$
LAB1	0,59	+ 0,04	0,20
LAB2	0,51	+ 0,03	-1,19
LAB3	0,43	+ 0,06	-1,24
LAB4	0,60	+ 0,02	0,82
LAB5	0,55	+ 0,08	-0,16
LAB6	0,67	+ 0,04	1,26
LAB7	0,54	+ 0,05	-0,36
LAB8	0,57	+ 0,05	-0,05
$X_{ref}$	20,575		
$u(X_{ref})$	0,013		
$R_B$	1,625		
$R_B$ dopušteni	1,438		
UVJET	$R_B > R_B$ dopušteni		

$R_B > R_B$  dopušteni što znači da trebamo iz daljnje analize izbaciti onaj laboratorij čiji  $E_n$  ima najveću vrijednost, a u ovom slučaju to je LAB6 ( $E_n = 1,26$ ). Nakon toga računa se modificirana težinska sredina, novi faktori slaganja te se provjerava Birgeov koeficijent. Postupak se ponavlja sve dok se ne zadovolji Birgeov kriterij.

Tablica 23. Vrijednosti  $E_n$  prije i poslije izbacivanja laboratorija

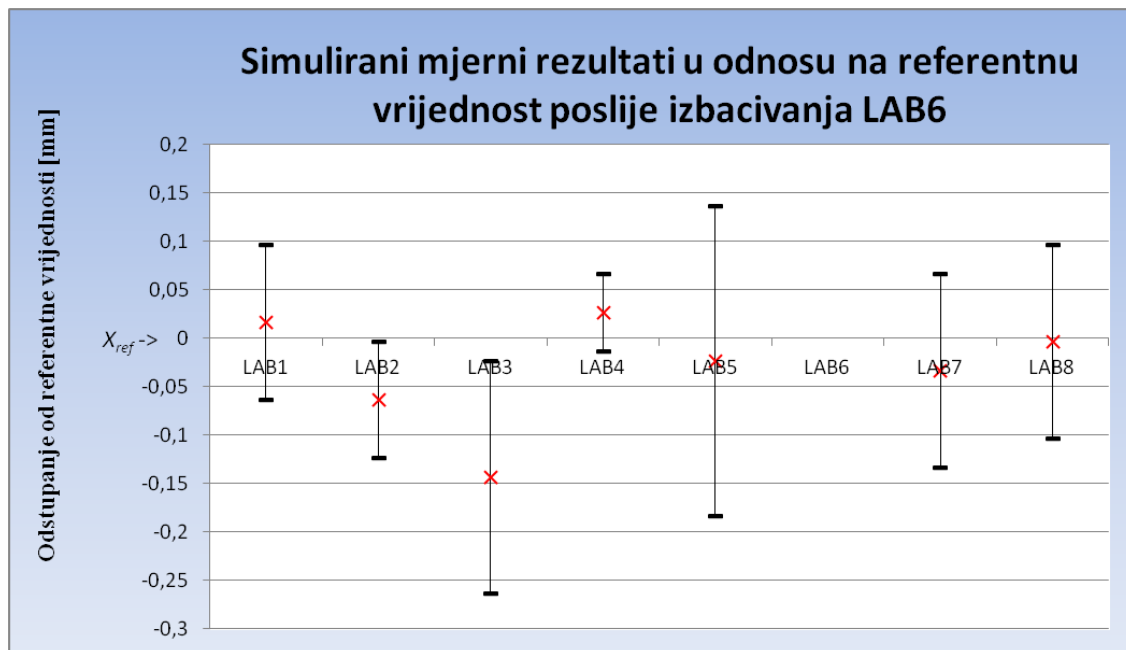
Laboratorij	$E_n$ (1)	$E_n$ (2)
LAB1	0,20	0,35
LAB2	-1,19	-1,01
LAB3	-1,24	-1,15
LAB4	0,82	1,22
LAB5	-0,16	-0,09
LAB6	1,26	1,26
LAB7	-0,36	-0,25
LAB8	-0,05	0,06
$X_{ref} =$	20,575	20,564
$u(X_{ref})$	0,013	0,014
$R_B$	1,625	1,318
$R_B$ dopušteni	1,438	1,468
UVJET	$R_B > R_B$ dopušteni	$R_B < R_B$ dopušteni
	Uvjet nije zadovoljen	Uvjet zadovoljen

Pošto je izračunati Birgeov koeficijent veći od dopuštenog, uvjet nije zadovoljen te se izbacuje laboratorij sa najvećim  $E_n$ . U ovom slučaju to je LAB6 kojemu je vrijednost  $E_n$  1,26. Nakon toga ponovno se računaju vrijednosti  $E_n$  te Birgeov koeficijent koji sada ispada 1,318 što ispunjava uvjet.



**Slika 20. Simulirani mjerni rezultati sa pripadajućim nesigurnostima u odnosu na referentnu vrijednost prije izbacivanja LAB6**

Na slici 19 se lako može primjetiti kako LAB8 odskaače u odnosu na referentnu vrijednost i ostale rezultate. Zbog toga mu je i vrijednost  $E_n$  najveća. Upravo zbog toga izbacuje se iz daljnjeg proračuna, te dobivamo novu situaciju koju možemo vidjeti na slici 20.



**Slika 21. Simulirani mjerni rezultati sa pripadajućim nesigurnostima u odnosu na referentnu vrijednost poslije izbacivanja LAB6**

## 5. Zaključak

Zadatak ovog diplomskog rada je bio prikazati važnost usporedbenih mjerenja u svijetu te prikazati organizaciju usporedbenog mjerenja debljine ultrazvukom uz sve potrebne elemente kao što su protokol, obrasci za predaju mjernih rezultata, primjer analize rezultata, itd...

Usporedbena mjerenja igraju bitnu ulogu u svijetu mjeriteljstva danas. Tehnologija svakog dana napreduje i važno je provjeravati i uspoređivati mjernu sposobnost. Usporedbena mjerenja izravno pokazuju gdje smo u odnosu na druge laboratorije i pružaju dobru podlogu za napredak. Isto tako, jedini način da laboratorij dođe do CMC-a, dokumenta koji predstavlja Sposobnost mjerenja i umjeravanja je tako da uspješno sudjeluje u međunarodnim usporedbama.

Laboratorijima je preporučljivo da sudjeluju u što više usporedbenih mjerenja, te na taj način napreduju i provjeravaju svoju mjernu opremu i svoje mjeritelje. Velika mana usporedbenih mjerenja je njihovo vrijeme trajanja i geografske zapreke koje su nažalost neizbježne. Osim vremena trajanja samog mjerenja, slanje uzoraka od jednog sudionika do drugog, često uzima puno vremena te se cjelokupno usporedbeno mjerenje rastege na nekoliko godina. Godina dana je jako puno u svijetu mjeriteljstva jer tehnologija napreduje velikom brzinom.



Krovna organizacija mjeriteljstva, a samim time i usporedbenih mjerenja je BIPM, Međunarodni ured za utege i mjere koji svake godine organizira stotine usporedbenih mjerenja na najvišoj razini.

Srž svakog usporedbenog mjerenja je protokol, koji uglavnom određuje organizator usporedbenog mjerenja. Protokol je unificiran, iako su moguće male promjene, odnosno, prilagodbe specifičnostima samog usporedbenog mjerenja.

Protokol je organiziran u suradnji sa Laboratorijem za nerazorna ispitivanja pri Fakultetu strojarstva i brodogradnje koji organizira ovo usporedbeno mjerenje debljine ultrazvukom. Vodilo se računa da sve bude organizirano na najjednostavniji, a efikasan način, te da protokol ima sve dijelove koje preporuča Međunarodni ured za utege i mjere.

Osmišljen je obrazac koji će služiti sudionicima usporedbenog mjerenja kako bi predali svoje rezultate te ostale podatke i parametre vezane za samo mjerenje (koji su uređaj koristili, koju sondu itd.).

Pošto se usporedbeno mjerenje tek treba održati dana je analiza simuliranih podataka. Pri analizi su se koristile statističke metode. Za referentnu vrijednost je odabrana težinska srednja vrijednost.

Cilj analize je bio postići statističku dosljednost podataka, a to se testira Birgeovim kriterijem. U prvom primjeru je odmah zadovoljen Birgeov kriterij dok u drugom to nije bio slučaj. Zbog toga je izvršena daljnja analiza gdje je jedan rezultat izbačen i nakon toga je Birgeov kriterij ispunjen.

Važnost i svrha usporedbenih mjerenja je velika i svi bi laboratoriji trebali težiti sudjelovanju u što većem broju usporedbenih mjerenja.

## 6. Literatura

- [1] [www.bimp.org](http://www.bimp.org)
- [2] <http://www.dzm.hr/mjeriteljstvo>
- [3] <http://www.intermet.jp/en/comp/>
- [4] <http://www.euramet.org>
- [5] DZM, Metrologija ukratko, 2.izdanje, prosinac 2003. (Preveo: Mirko Vuković)
- [6] <http://icdb.nist.gov/RMolist.asp>
- [7] Proficiency testing by interlaboratory comparisons – Part 1: Development and operation of proficiency testing schemes; (ISO/IEC 43-1:1997(E))
- [8] Non-destructive testing - Ultrasonic thickness measurement (EN 14127:2004)
- [9] CCL Key Comparison; The Calibration of Internal and External Diameter Standards; CCL-K4; FINAL REPORT; Siječanj 2007.
- [10] Kraut B. Strojarski priručnik, Sajema d.o.o., Zagreb, 2009.