

# Europska infrastruktura nanomjeriteljstva

---

**Mitrović, Ivan**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*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:235:801165>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-26**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Izv. prof. dr. sc. Gorana Baršić

Student:

Ivan Mitrović

Zagreb, 2022.

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

Zahvaljujem se svojoj mentorici izv. prof. dr. sc. Gorani Baršić na ukazanoj pomoći u izradi završnog rada.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
 Povjerenstvo za završne i 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: 602 – 04 / 22 – 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 21 -	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Ivan Mitrović** JMBAG: **0035210589**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Europska infrastruktura nanomjeriteljstva**

Naslov rada na engleskom jeziku: **European nanometrology infrastructure**

Opis zadatka:

Nanomjeriteljstvo se definira kao znanost i praksa mjerenja na nanoskali. Zadaća nanomjeriteljstva je osigurati sljedive i pouzdane rezultate mjerenja dimenzija kao i drugih fizikalnih svojstava, npr. mehaničkih, električnih, magnetskih, optičkih, kemijskih te bioloških svojstava nanomaterijala. Nacionalni mjeriteljski instituti, kao nosioci razvoja nanomjeriteljstva, djeluju kroz regionalne mjeriteljske organizacije. U ovom radu je potrebno definirati europsku infrastrukturu nanomjeriteljstva.

U radu je potrebno:

1. Definirati ulogu i značaj regionalnih mjeriteljskih organizacija.
2. Prikazati i pojasniti strukturu EURAMET-a (*European Association on National Metrology Institutes*).
3. Definirati područja nanomjeriteljstva u Europi prema sistematizaciji Co-Nanomet-a (*Co-ordination of Nanometrology in Europe*).
4. Pojasniti ulogu europskih mjeriteljskih programa - *European Metrology Research Programme (EMPR)* i *European Metrology Programme for Innovation and Research (EMPIR)* u razvoju europskog nanomjeriteljstva.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. 11. 2021.

Datum predaje rada:

1. rok: 24. 2. 2022.  
 2. rok (izvanredni): 6. 7. 2022.  
 3. rok: 22. 9. 2022.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 28. 2. – 4. 3. 2022.  
 2. rok (izvanredni): 8. 7. 2022.  
 3. rok: 26. 9. – 30. 9. 2022.

Zadatak zadao:

Izv. prof. dr. sc. Gorana Baršić

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Branko Bauer

## Sadržaj

POPIS SLIKA .....	IV
SAŽETAK .....	V
SUMMARY .....	VI
1. UVOD.....	1
2. TEORETSKO DEFINIRANJE NANOMJERITELJSTVA .....	3
2.1. Klasifikacija nanostruktura .....	5
2.2. Značaj nanomjeriteljstva.....	6
3. STRUKTURA EUROPSKOG UDRUŽENJA NACIONALNIH MJERITELJSKIH INSTITUTA (EURAMET).....	9
3.1. Povijest EURAMET-a.....	9
3.2. Organizacijska struktura EURAMET-a.....	13
3.3. Strateški ciljevi EURAMET-a .....	14
4. KOORDINACIJA NANOMJERITELJSTVA U EUROPI.....	18
4.1. Specifični ciljevi CO-NANOMET-a.....	20
4.2. Potencijalni utjecaj CO-NANOMET-a .....	21
4.3. Koordinacija nanomjeriteljstva u Europi.....	24
5. ULOGA EUROPSKIH MJERITELJSKIH PROGRAMA (EMPR) I (EMPIR).....	27
5.1. Europski mjeriteljski istraživački program (EMRP).....	29
5.2. Europski mjeriteljski program za inovacije i istraživanje (EMPIR) .....	30
6. ZAKLJUČAK .....	33
LITERATURA.....	34

## POPIS SLIKA

Slika 1. Usporedba veličina struktura na nanoskali [16] .....	1
Slika 2. Naslovna strana izdanja časopisa "Metrologia" [17] .....	4
Slika 3. Podjela nanostrukturiranih materijala prema dimenzionalnosti [18] .....	5
Slika 4. Podjela nanomaterijala prema broju dimenzija [19] .....	5
Slika 5. Javna ulaganja u istraživanje i razvoj nanotehnologije na globalnoj razini [20] .....	7
Slika 6. Prva stranica šeste verzije "Memoranduma o razumijevanju" [21] .....	10
Slika 7. Države članice EUROMET-a [22] .....	12
Slika 8. Organizacijska struktura EUROMET-a [10] .....	13
Slika 9. Koordinacija u europskom mjeriteljstvu izvan EMPIR-a [22] .....	17
Slika 10. Naslovna strana strategije europskog nanomjeriteljstva [23] .....	19
Slika 11. Koordinirano mjeriteljsko istraživanje u Europi u okviru EMPIR-a [22] .....	32

## **SAŽETAK**

Povećanje korištenja nanotehnologija dovelo je do potrebe za uređenjem infrastrukture nanomjeriteljstva i što boljom koordinacijom ljudi, resursa i institucija. U ovom radu će se opisati kako se kroz povijest razvila udruga europskih mjeriteljskih organizacija i kakva je struktura i strategija same regionalne mjeriteljske organizacije EUROMET-a.

Najprije će se općenito pisati o nanomjeriteljstvu i njegovoj upotrebi da se stekne dojam o čemu se radi i zašto je ono bitno za napredak nanotehnologije i općenito znanosti. Koordinacija nanomjeriteljstva u Europi značajna je za gospodarski razvoj Europske unije što potvrđuje ulaganje u program koji će okupiti europske nacionalne institucije i tijela koja se bave nanomjeriteljstvom da međusobno u skladu funkcioniraju i surađuju. Konačno zadnji dio se bavi konkretnim europskim mjeriteljskim inovacijskim i istraživačkim programima.

**SUMMARY**

The increase in the use of nanotechnologies has led to the need to organize the infrastructure of nanometrology and to coordinate people, resources and institutions as best as possible. This work will describe how the association of European metrology organizations has developed throughout history and what is the structure and strategy of the regional metrology organization EUROMET itself.

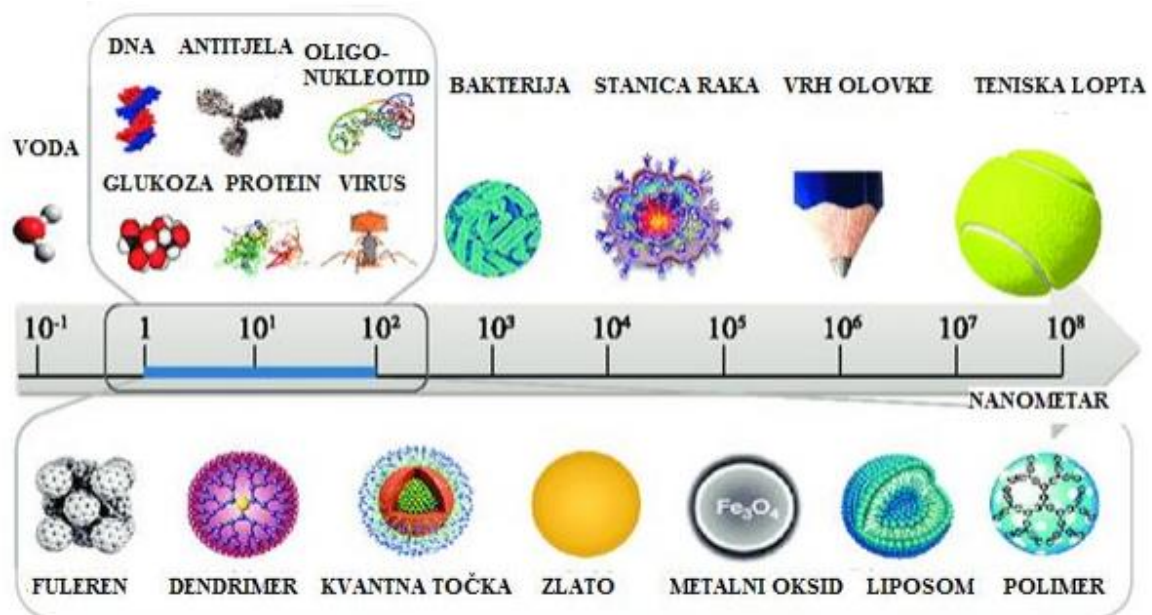
First, it will write about nanometrology in general and its use in order to get an impression of what it is about and why it is essential for the progress of nanotechnology and science in general. Coordination of nanometrology in Europe is significant for the economic development of the European Union, which confirms the investment in a program that will bring together European national institutions and bodies dealing with nanometrology to function and cooperate in harmony with each other. Finally, the last part deals with specific European metrology innovation and research programs.



## 1. UVOD

Znanost o mjerenjima naziva se mjeriteljstvo, a potpodručje mjeriteljstva poznato kao nanomjeriteljstvo usredotočuje se posebno na mjerenja koja se izvode na nanoskali. Značaj nanomjeriteljstva može se lako utvrditi ističući da je sposobnost izvođenja mjerenja na nanoskali bez sumnje bila bitna komponenta u evoluciji nanotehnologije.

Pojam "nanotehnologija" odnosi se na fizičke procese koji se odvijaju na atomskoj, molekularnoj, mezo i mikroskopskoj razini, a svi oni imaju barem jednu dimenziju manju od 100 nanometara. Zbog ove definicije, nanotehnologija je interdisciplinarno područje koje obuhvaća širok raspon tema u znanostima kemije, biologije i fizike. Na tako malim razmjerima pojavljuju se i novi fizički učinci, a upravo su ti učinci važni za razvoj novih proizvoda. Kao ilustracija, sada je moguće proizvesti nove materijale, koji se nazivaju metamaterijali, koji imaju fizikalna svojstva koja se ne pojavljuju prirodno.



Slika 1. Usporedba veličina struktura na nanoskali [16]

Nanomjeriteljstvo se definira kao znanost i praksa mjerenja na nanoskali. Zadaća nanomjeriteljstva je osigurati sljedive i pouzdane rezultate mjerenja dimenzija kao i drugih fizikalnih svojstava, npr. mehaničkih, električnih, magnetskih, optičkih, kemijskih te bioloških svojstava nanomaterijala. Nacionalni mjeriteljski instituti (eng. *National Measurement Institute*

-NMI) kao nosioci razvoja nanomjeriteljstva, djeluju kroz regionalne mjeriteljske organizacije. U ovom radu je potrebno definirati europsku infrastrukturu nanomjeriteljstva.

Početak ljudskog osvajanja u području nanomjeriteljstva može se pratiti unatrag do stare Grčke. Filozofi su počeli raspravljati o postojanju konačne granice u fragmentaciji materije; međutim, mogli su samo nagađati o odgovoru jer nisu imali priliku eksperimentalno provjeriti svoja nagađanja. Ne samo da je moćnim mikroskopima moguće promatrati događaje u mikro i nano svijetu, već je njima moguće izravno i precizno upravljati zahvaljujući značajnom napretku znanosti i tehnologije koji se dogodio u posljednjim desetljećima.

Sada je moguće nadići fizička ograničenja koja smo stoljećima prihvaćali kao zakone prirode zahvaljujući činjenici da se ti metamaterijali mogu prilagoditi specifičnoj primjeni. Posljedično, iskorištavanje takvih učinaka pridonosi poboljšanju velikog broja proizvoda u raznim industrijama. Kao posljedica toga, nanotehnologija utire put dosad nezamislivim inženjerskim mogućnostima za specifično oblikovanje svojstava materijala u skladu s njihovom namjeravanom primjenom. Zbog toga se očekuje da će nanotehnologija imati značajan utjecaj na budućnost proizvodnje u gotovo svim sektorima gospodarstva.

Jedan od trenutačnih izazova s kojima se suočava nanomjeriteljstvo je kontinuirani razvoj metoda za mjerenje. To će omogućiti bolje znanstveno razumijevanje fenomena koji se događaju na nanoskali, što je jedna od stvari koja nanotehnologiju čini tako zanimljivom. Uspostava pouzdane infrastrukture (konceptualne i praktične) koja jamči pouzdanost rezultata mjerenja kao i rezultata mjerenja na nanomaterijalima i nanoproizvodima dodatni je izazov.

## 2. TEORETSKO DEFINIRANJE NANOMJERITELJSTVA

Zbog brzog napretka nanotehnologije, postoji veća potražnja nego ikad prije za preciznim metodama karakterizacije nanočestica i nanomaterijala. Osim toga, postoji značajna potražnja za nanomjeriteljstvom u poljima nanomaterijala i nanočestica kao izravan odgovor na dramatično rastuću primjenu nanomaterijala u raznim industrijskim područjima.

Kao rezultat toga, postoji hitna potreba za pouzdanim pristupima za korelaciju nanostrukture i svojstava koja one pokazuju, pristupima koji se temelje na kvantitativnim metodologijama koje omogućuju karakterizaciju nanomaterijala. Kako bi ove metode bile korisne za proizvodnju nanomaterijala, moraju pružiti pouzdane i usporedive rezultate s obzirom na niz različitih vrsta informacija uključujući:

- Gustoća nanočestica i koncentracija nanočestica
- Raspodjela veličine čestica (ili veličine zrna)
- Oblik čestice
- Karakteristične dimenzije nanostrukturnih materijala i
- Nanoporoznost sinteriranih materijala [1].

Nanomjeriteljstvo predstavlja znanost mjerenja na razini nanoskale. Kao posljedica toga, igra bitnu ulogu u proizvodnji nanomaterijala i uređaja koji imaju visoku razinu točnosti i pouzdanosti (tj. u nanoproizvodnji). Kao rezultat toga, nanomjeriteljstvo obuhvaća ne samo mjerenja duljine, već i mjerenja kemijskog sastava, koncentracije nanočestica i širokog spektra drugih svojstava. Napredak nanomjeriteljstva stoga je izuzetno važan za daljnji razvoj nanotehnologije [1].

Nanomjeriteljska mjerenja ne uključuju samo duljinu (oblik, omjer širine i veličine), već i kemijski sastav, koncentracije nanočestica i optička svojstva, snagu, masu, električna i razne druge vrste svojstava. Pojam "nanomjeriteljstvo" dolazi od grčkih riječi "nanos", što znači jedan milijarditi dio, i "metrologia", što znači teorija omjera. Drugim riječima, nanomjeriteljstvo je znanstveno područje mjerenja na dimenziji nanoskala. Nanomjeriteljska mjerenja povezana su s mjerenjem na nanoskali, kao i s procjenom koncentracija nanočestica i kemijskog sastava,

kao i s određivanjem električnih, optičkih, masenih, sila i različitih drugih svojstava nanomaterijala [2].

Tim istraživača koji radi u Japanskom nacionalnom istraživačkom laboratoriju za mjeriteljstvo prvi je put skovao pojam "nanomjeriteljstva" 1992. Pojam je prvi put objavljen u časopisu Metrologia. Provodeći precizna mjerenja, ova je istraživačka skupina uspjela uspostaviti temeljne konstante i potvrditi fizikalnu teoriju koja se odnosi na razmak između rešetki silicija i kvantuma magnetskog toka. Nanomjeriteljstvo nalazi široku primjenu u područjima znanstvenog istraživanja i tehnološkog razvoja koja zahtijevaju točna mjerenja [2].



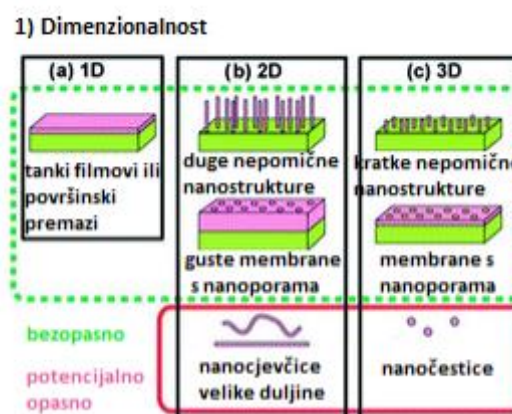
**Slika 2. Naslovna strana izdanja časopisa "Metrologia" [17]**

Mjerenja na nanoskali obično se provode uz korištenje niza različitih tehnika, uključujući skenirajuću tunelsku mikroskopiju (STM), optičku mikroskopiju bliskog polja (NFOM), mikroskopiju atomske sile (AFM), skenirajuću elektronsku mikroskopiju (SEM) i transmisivnu elektronsku mikroskopiju (TEM). Osim toga, tehnika poznata kao fluorescentni rezonantni prijenos energije, ili FRET, može se koristiti za mjerenje udaljenosti između fluorofora u rasponu od 1 do 10 nanometara.

## 2.1. Klasifikacija nanostrukture

Predložen je niz definicija nanostrukture. Na primjer, Izvješće o nanoznanosti i nanotehnologijama Kraljevskog društva i Kraljevske inženjerske akademije iz srpnja 2004. uspostavlja tri klase nanostrukture prema dimenzionalnosti, naime:

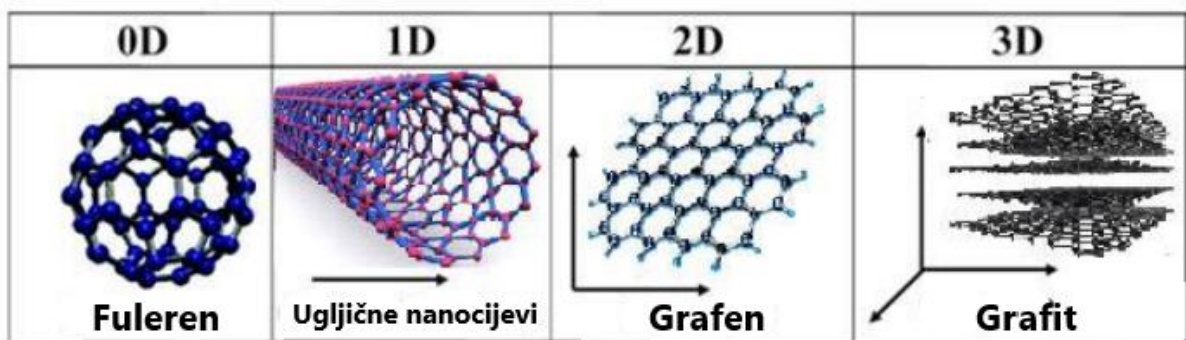
1. Nanostrukture u jednoj dimenziji (tanki slojevi i površine),
2. Nanostrukture u dvije dimenzije (uglikove nanocijevi, anorganske nanocijevi, nanožice i biopolimeri),
3. Nanostrukture u tri dimenzije (nanočestice, fulereni, dendrimeri i kvantne točke) [5].



Slika 3. Podjela nanostrukturiranih materijala prema dimenzionalnosti [18]

Sljedeća klasifikacija temelji se na broju dimenzija:

- 0D (nanočestice, kvantne točke i nanotočke),
- 1D (nanožice, nanošipke i nanocijevi),
- 2D (premazi i višeslojni tanki filmovi),
- 3D (rasuti materijali) [5].



Slika 4. Podjela nanomaterijala prema broju dimenzija [19]

Površinski slojevi debljine otprilike 1 nm, monokristalni filmovi metala na površini monokristala, sendviči takvih struktura i nizovi metalnih čestica na površini nisu uključeni u ovu kategoriju jer se smatraju nanostrukturama. U budućnosti bi se mogla pojaviti potreba za razlikovanjem nanostrukturiranih slojeva, samosastavljenih uzoraka nanožica, nanokristalita, pojedinačnih tankih filmova i premaza napravljenih od nanokristala.

## **2.2. Značaj nanomjeriteljstva**

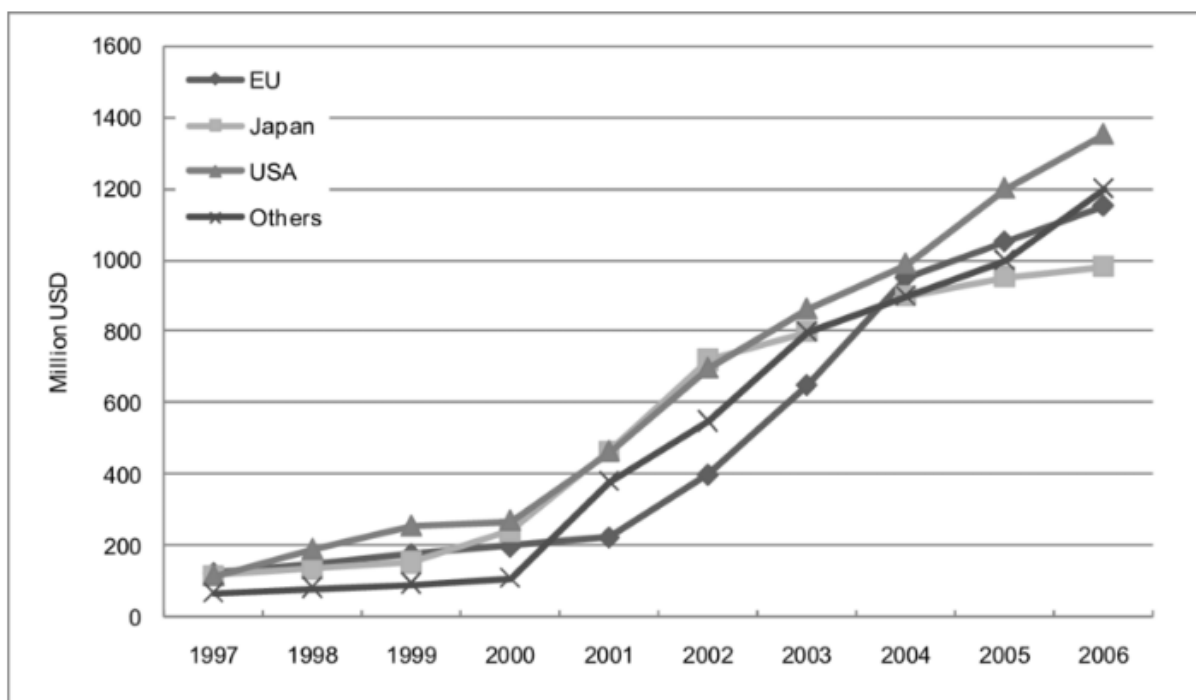
Postoji bliska veza između razvoja nanotehnologije i napretka nanomjeriteljstva. Bez područja nanomjeriteljstva nemoguće je da nanotehnologija postigne razinu popularnosti koju zaslužuje [3]. Istraživači su otkrili da rasuti oblik materijala ima drugačija svojstva od nanostrukturnog oblika. Budući da imaju velik omjer površine i volumena, nanomaterijali su vrlo reaktivni. Na primjer, sposobni su učinkovito reagirati s drugim molekulama kao što su antigeni [3].

Procjena veličine, oblika, fizičkih, optičkih i drugih svojstava nanomaterijala iznimno je važna za razvoj visoko preciznih i pouzdanih nanouređaja. To se može postići karakterizacijom nanomaterijala. Dimenzije nanomjera i jedinstvene karakteristike su najznačajnije karakteristike nanomaterijala. Razumijevanje nanostrukture, koje se mogu definirati kao raspored atoma ili čestica, još je jedan aspekt istraživanja koji je od vitalne važnosti. Karakterizacija i razumijevanje nanomaterijala na dubljoj razini apsolutno su potrebni prije nego što se krene u neistraženo područje u smislu njihove potencijalne primjene [4].

Postoji beskonačan broj primjena nanomjeriteljstva u znanstvenim istraživanjima, posebno u područjima biologije, medicine i znanosti o okolišu. Tehnike skenirajuće sonde, tehnike elektronskog snopa i optičke pincete neki su od primjera instrumenata koji su napredovali do točke u kojoj je to sada moguće [4].

Predviđa se da će se nanotehnologija nastaviti širiti vrlo velikom brzinom, čineći značajan udio u cjelokupnom industrijskom sektoru. Potreba za točnom i preciznom kontrolom dimenzija nanomaterijala porasla je kao izravna posljedica tako brzog razvoja. Zapravo, to je najvažniji problem koji treba riješiti u nanotehnologiji i znanosti o nanomaterijalima. Tipično dimenzije

manje od 100 nm nanomaterijala pridonose složenosti nanometrijskih mjerenja. Nanomaterijali mogu biti u rasponu veličine od 1 do 100 nm. Mjerenja na ovoj skali zahtijevaju visoku preciznost, a to se postiže posebnim metodama mjerenja. To je zbog činjenice da tradicionalne metode za mjerenje konvencionalnih materijala ne uspijevaju u tom pogledu kada se primjenjuju na nanostrukture i nanomaterijale. Inherentne karakteristike nanostrukture glavni su uzrok komplicirane strukture nanosvijeta. Kao rezultat toga, nanostrukture se može shvatiti kao raspored atoma ili čestica u novim oblicima kao što su oni fulerena, nanočestica jezgre i ljuske, zapetljanih nanocijevi, nanostrukturiranih metala ili dendrita.



**Slika 5. Javna ulaganja u istraživanje i razvoj nanotehnologije na globalnoj razini [20]**

Nanomaterijali su privukli veliko zanimanje istraživača i inženjera zbog jedinstvenih svojstava koja se mogu pripisati njihovoj maloj veličini. Ovo je jedan od najznačajnijih aspekata nanomaterijala. Opet, to je nemoguće s konvencionalnim metodama i zahtijeva nove, učinkovite metodologije koje također omogućuju proizvodnju ponovljivih nanostrukture kao preduvjet za razumijevanje njihovih svojstava. Međutim, kako bi se učinkovito iskoristila takva svojstva, potrebno je dobro poznavati njihovu prirodu, kao i sposobnost karakteriziranja fizike ili kemije vrlo malih objekata. To je preduvjet za razumijevanje njihovih svojstava. Nove metode za pripremu nanostrukture i njihovu karakterizaciju trebaju biti nadopunjene odgovarajućim standardima [6].

Općenito, nanomjeriteljstvo usmjereno na istraživanje sada je dobro uspostavljeno i u industrijskom sektoru i u istraživačkim institutima. Unatoč tome, još uvijek postoji niz prepreka koje treba prevladati prije nego što se može implementirati industrijsko nanomjeriteljstvo [6].



### 3. STRUKTURA EUROPSKOG UDRUŽENJA NACIONALNIH MJERITELJSKIH INSTITUTA (EURAMET)

Kao europska regionalna mjeriteljska organizacija - EURAMET (eng. *European Association on National Metrology Institutes*) je odgovoran za koordinaciju suradnje mjeriteljskih instituta europskih zemalja (eng. *National Metrology Institutes*) u raznim domenama uključujući, ali ne ograničavajući se na međunarodno priznavanje nacionalnih etalona i istraživanja u mjeriteljstvu. Primarna odgovornost organizacije je djelovati kao katalizator za širenje nacionalne mjeriteljske infrastrukture [7].

NMI (trenutačno ih ima 38) i imenovani instituti (ima ih 78) vrste su organizacija koje čine EURAMET. Te su organizacije odgovorne za održavanje nacionalnih mjernih etalona, osiguravanje sljedivosti prema Međunarodnom sustavu jedinica (SI) i osiguravanje prijenosa znanja korisnicima mjeriteljstva u njihovim zemljama. Suradnja između NMI-a i imenovanih instituta potrebna je u svim njihovim područjima djelovanja, uključujući, ali ne ograničavajući se na provođenje mjeriteljskih istraživanja i pružanje usluga mjerenja. Takve potrebe nastaju kako u tradicionalnim područjima (trgovina, proizvodnja, itd.), tako i u procesu rješavanja nekih od izazova s kojima se moderno društvo suočava, uključujući energiju i okoliš, zdravlje i sigurnost, često u kombinaciji s tehnologijama (nanotehnologija i biotehnologija) [8].

#### 3.1. Povijest EURAMET-a

Rani počeci EURAMET-a mogu se pronaći u Velikoj Britaniji 1973. godine, kada je na Zapadnoeuropskoj mjeriteljskoj konferenciji osnovan *West European Metrology Club*. Na ovoj konferenciji sudjelovalo je oko 80 ljudi iz 16 različitih zemalja, uključujući predstavnike Europske komisije (eng. *European Commission*) i Međunarodnog ureda za utege i mjere (fra. *Bureau International des Poids et Mesures*) [9].

Godine 1986. britansko ministarstvo trgovine i industrije bilo je pokretač početka daljnjeg razvoja suradnje u mjeriteljstvu koja je inspirirana Europskom unijom. Tripartitna radna skupina sastavljena od NMI-ja Velike Britanije, Njemačke i Francuske istraživala je mogućnost povećanja razine suradnje kao i više službenih organizacijskih struktura. Sve države članice Europske unije i Europskog udruženja slobodne trgovine, s izuzetkom Islanda, okupile su se u

Madridu u rujnu 1987. godine kako bi potpisale „Memorandum o razumijevanju“ koji nije bio pravno obvezujući i uspostavile organizaciju EUROMET [9].



**EUROMET** • European Collaboration in Measurement Standards

**EUROMET MoU**

Issued: 23.09.1987  
Revised: 25.07.2002/Sh  
Version: 6.0

**EUROMET Memorandum of Understanding (MoU)**

EUROMET was formally established by the signing of a Memorandum of Understanding by participating States in Madrid, Spain on the 23<sup>rd</sup> of September 1987 to become operative from the 1<sup>st</sup> of January 1988. The MoU was amended in August 1990, in September 1995, in May 1998, in May 2001 (Version: 5.0) and in July 2002 (Version 6.0). This Section reproduces the text of the Memorandum of Understanding, which has been in force since the 25<sup>th</sup> of July 2002 (Version: 6.0).

**EUROMET MEMORANDUM OF UNDERSTANDING**

**SECTION 1**

- 1 *The Signatories to the Memorandum of Understanding declare their common intention to take part in EUROMET, a European collaboration in measurement standards.*
- 2 *EUROMET is open to membership of national metrology institutes of all States of the European Communities, of all States of the European Free Trade Association and to the Commission of the European Communities.*  
*EUROMET is further open to national metrology institutes of other European States, subject to the agreement of the existing members.*
- 3 *A EUROMET COMMITTEE will be set up. It consists of one Delegate from each participating State, one Delegate from the Commission of the European Communities and, if it so wishes, one observer from the Secretariat of the European Free Trade Association. The EUROMET COMMITTEE ensures that the specific tasks are pursued in accordance with the objective and aims of EUROMET.*

**SECTION 2**

- 1 *The objective of EUROMET*  
*The participating metrology institutes intend to collaborate in EUROMET, with the objective of promoting the co-ordination of metrological activities and services with the purpose of achieving higher efficiency.*
- 2 *The aims of EUROMET are:*
  - I) *To develop a closer collaboration between Members in the work on measurement standards within the present decentralised metrological structure.*
  - II) *To optimise the utilisation of resources and services of Members and emphasise the deployment of these towards perceived metrological needs.*
  - III) *To improve measurement services and make them accessible to all Members.*
  - IV) *To ensure that national facilities developed in the context of EUROMET collaboration are accessible to all Members.*
- 3 *EUROMET has the following specific tasks:*
  - I) *Co-ordination of projects on measurement standards.*
  - II) *Co-ordination of major investments for metrological facilities.*
  - III) *Transfer of expertise in the field of primary or national standards between Members.*

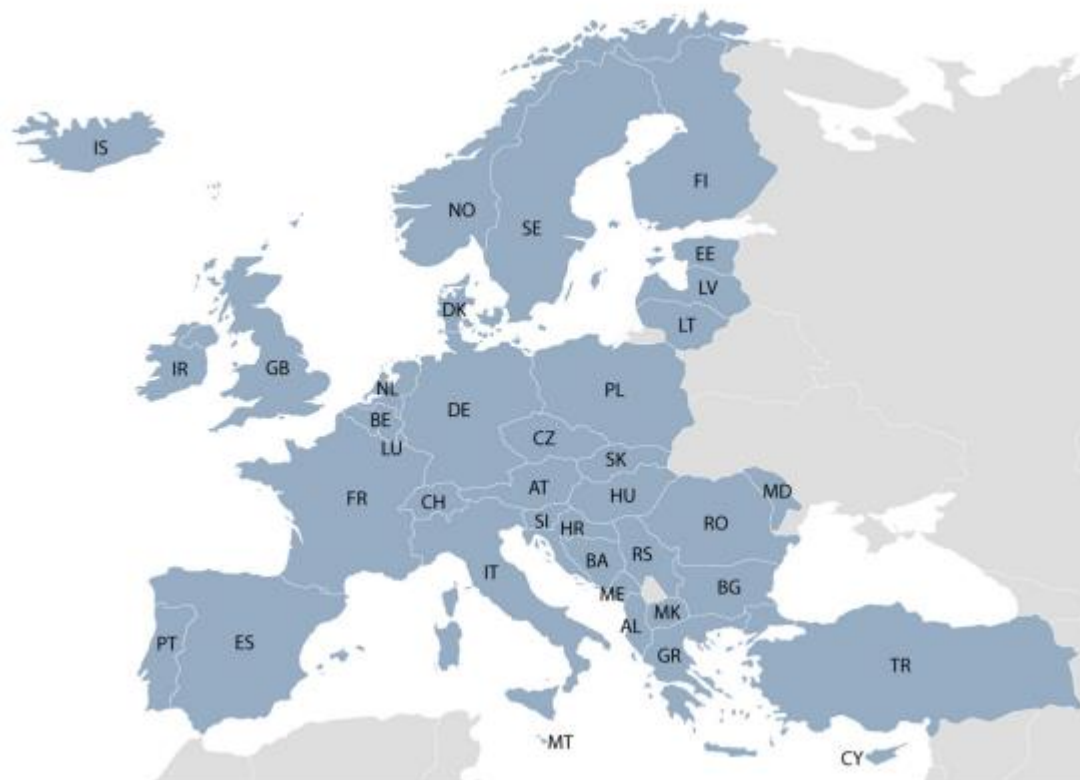
Unatoč činjenici da je neformalna i neobvezna, suradnja u okviru EUROMET-a (i drugih regionalnih mjeriteljskih organizacija) pokazala se izuzetno uspješnom u okupljanju mjeritelja unutar regije, pružanju međusobne tehničke podrške i savjetovanja, suradnji na istraživačkim i razvojnim projektima [9].

Tijekom dvadeset godina EUROMET je marljivo radio na ostvarenju ciljeva koji su pred njega postavljeni. Ti su ciljevi uključivali poticanje suradnje između NMI-a, maksimiziranje korištenja resursa i usluga koje pružaju države članice te poboljšanje usluga mjerenja i dostupnosti tih usluga svim članicama, uključujući one izgrađene u sklopu EUROMET projekata.

Unatoč tome, razina intenziteta i nužnih obveza suradnje je tijekom godina stalno rasla, a pojavili su se i novi izazovi koji se više nisu mogli na zadovoljavajući način rješavati u neformalnom obliku suradnje kroz „Memorandum o razumijevanju“ koji nije zakonski obvezujući. Kao rezultat toga, europski NMI-ji došli su do zaključka da moraju uspostaviti EURAMET kako bi svojoj suradnji dali službeniju osnovu. Struktura postojećeg EUROMET-a korištena je kao osnova za razvoj zahtjeva, strukture, podzakonskih akata i pravila za novu organizaciju koja je stvorena. Dana 11. siječnja 2007. u Berlinu je održana ceremonija službenog osnivanja EURAMET-a kao registrirane neprofitne udruge u skladu s propisima Njemačke. U trenutku inauguracije nove organizacije, 26 od 34 članice EUROMET-a potpisale su statut kao osnivači. Sve bivše članice EUROMET-a sada su članice nove organizacije [9].

Ciljevi EURAMET-a mogu se sažeti na sljedeći način:

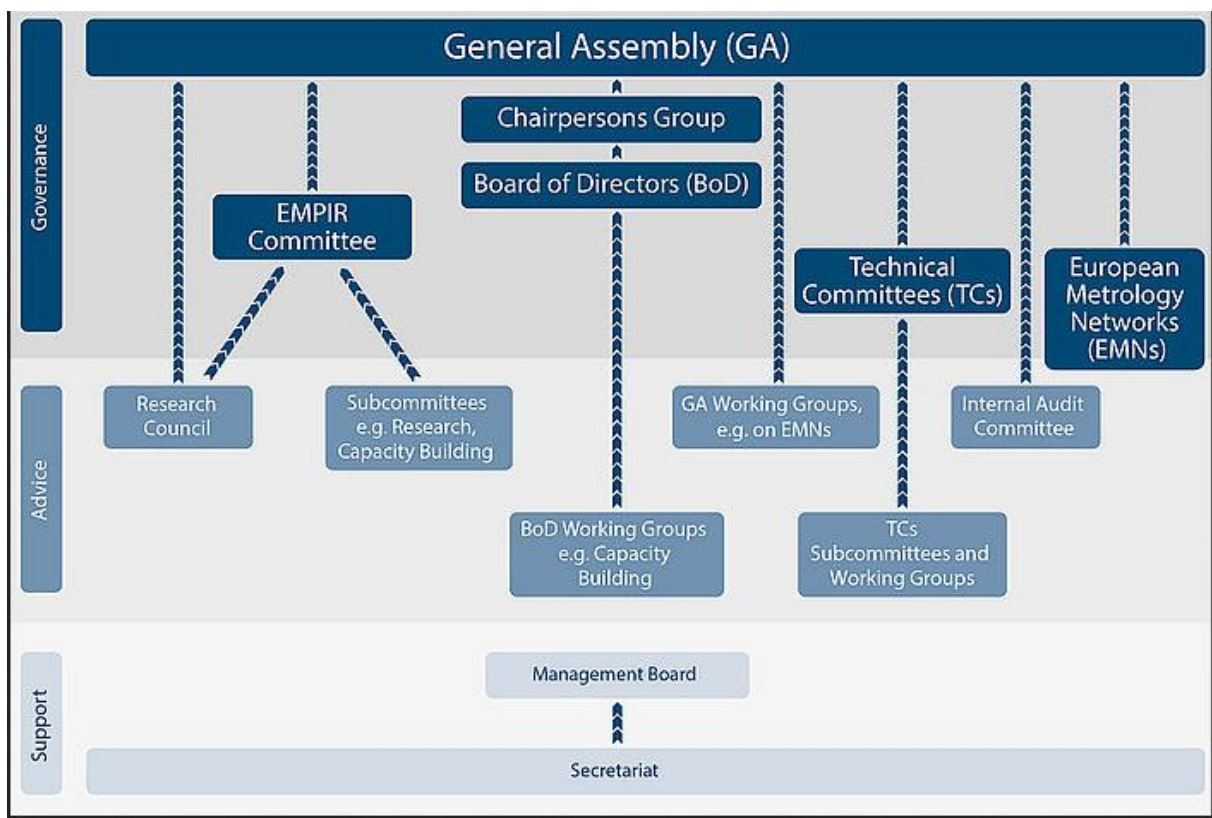
- razvoj i distribucija odgovarajuće, integrirane i profitabilne mjerne infrastrukture za Europu uzimajući u obzir potrebe krajnjih korisnika u industriji, poslovanju i državnim tijelima
- podrška članovima prilikom ispunjavanja vlastitih nacionalnih zahtjeva kroz suradnju i uravnoteženu europsku mjernu infrastrukturu
- osiguranje međunarodne konkurentnosti i kvalitete europske mjerne infrastrukture [9].



Slika 7. Države članice EUROMET-a [22]

### 3.2. Organizacijska struktura EURAMET-a

Organizacijska struktura EURAMET-a prikazana je na **slici 6**. Generalna skupština (GA) je najviše tijelo u EURAMET-u i tijelo koje je odgovorno za donošenje odluka. Na Generalnoj skupštini, jedan delegat je imenovan da predstavlja svakog člana organizacije. Predstavnicima nacionalnih mjeriteljskih instituta zainteresirani za pridruživanje dobivaju status promatrača u obje organizacije.



**Slika 8. Organizacijska struktura EUROMET-a [10]**

EURAMET vodi predsjednik, koji se zajedno s dva potpredsjednika bira na trogodišnji mandat. Predsjednici služe kao službeni predstavnici organizacije u pravnim stvarima. Upravljanje EURAMET-om, kao i njegovo cjelokupno strateško usmjerenje, odgovornost je Upravnog odbora. Čine ga tri predsjednika, te šest članova koji su izabrani iz redova delegata.

EURAMET-ovih dvanaest tehničkih odbora odgovorni su za koordinaciju tehničkih zadaća organizacije. Pravo sudjelovanja u radu tehničkih odbora kao kontakt osobe ili promatrača imaju članovi i suradnici organizacije. Nacionalni delegati su ti koji odlučuju tko će obavljati

dužnost kontakt osobe tehničkih odbora. Moguće je imenovati jednu kontakt osobu iz svake zemlje za svaki od dvanaest tehničkih odbora. Glavna skupština odabire predsjednika svih tehničkih odbora koji će ih voditi. [10].

Unutar svakog tehničkog odbora (eng. *Technical Committees*) mogu se osnovati tehnički pododbori (eng. *Technical Subcommittees*). Pravo sudjelovanja u radu SC-ova kao kontakt osobe ili promatrači imaju članovi i suradnici organizacije.

Odbor EMPIR (eng. *European Metrology Programme for Innovation and Research*) je tijelo odgovorno za donošenje odluka u vezi s provedbom zajedničkih istraživačkih programa kao što su Europski mjeriteljski program za inovacije i istraživanje i Europski mjeriteljski istraživački program. Ovi su programi osmišljeni za unaprjeđenje područja mjeriteljstva [10]. Jedan predstavnik se imenuje da služi interesima svake organizacije članice koja sudjeluje u EMPIR-u ili EMRP-u. Osoba koja predsjeda EMPIR odborom također služi kao jedan od potpredsjednika EURAMET odbora. Kad je riječ o odlukama koje se tiču EMPIR-a i EMRP-a, EURAMET prepušta „Istraživačkom vijeću“ kao svom savjetodavnom odboru. Predstavnici se sastoje od osobnih i institucionalnih članova, od kojih su svi izvučeni iz vanjske zajednice dionika. Stalno sjedište „Tajništva“ EURAMET-a nalazi se u Braunschweigu, Njemačka. Tajništvo pruža pomoć EURAMET-u i njegovim članicama kako bi mogli ispuniti svoje odgovornosti i raditi na postizanju svojih ciljeva [10].

### **3.3. Strateški ciljevi EURAMET-a**

Neizbježno je da će zahtjevi za ulaganjima u budućnost europske mjerne infrastrukture uvijek daleko nadmašivati sredstva koja su dostupna od vlada za njezino financiranje. Kako bi se pozabavili trenutnim i budućim prioritetima gospodarstva, vlade i društva, bitno je da EURAMET razumije investicijske zahtjeve za europsku mjernu infrastrukturu i rangiraju te zahtjeve po prioritetu [11].

EURAMET održava kontakt sa značajnim brojem važnih korisnika mjerne infrastrukture. Uspostavlja nekoliko europskih mjeriteljskih mreža (eng. *European Metrology Networks*, EMN) kako bi ojačao postojeće odnose i uspostavio nove odnose u prioritetnim područjima primjene. Osim toga, jedna od mreža usmjerena je na inteligentnu specijalizaciju u određenoj regiji, što se odnosi na stvari koje članovi mogu postići radeći zajedno sa svojim neposrednim

susjedima. Uz pomoć EMN-ova, EURAMET će poticati sudjelovanje dionika kako bi se steklo dublje razumijevanje trenutnih mjeriteljskih potreba i kako bi se bolje predvidjele potrebe budućnosti.

Učinkovita komunikacija rada EURAMET-a i dobrobiti njegovih postignuća za društvo ključna je za uspješan angažman dionika. Ovo razumijevanje mora se proširiti kako bi se uspješno uključili dionici. Time će se osigurati buduća potpora mjeriteljstvu, jer će podržati povećano prihvaćanje i utjecaj rezultata mjeriteljskih istraživanja [11].

S pokretanjem Europskog partnerstva za mjeriteljstvo, EURAMET podiže stvari na višu razinu u području mjeriteljstva. Imat će tematski opseg koji je usporediv s EMPIR-om i uključivat će dva nova strateška cilja. Prvi od njih je uspostava održive, koordinirane i integrirane europske mjeriteljske infrastrukture. Drugi je sustavno pokrivanje mjeriteljskih potreba koje proizlaze iz propisa. Istraživački program Europskog partnerstva za mjeriteljstvo bit će snažno vođen gore opisanim ciljevima i izazovima, kao što je „Zeleni dogovor“ u kojem je definirana potreba za multidisciplinarnim pristupima, digitalnom transformacijom i posljedicama redefiniranja. To će uključivati povećanu suradnju s istraživačkim institutima, akademijom, industrijom i drugim dionicima. Ova rastuća suradnja, poslužit će kao temelj za dodatni pristup financiranju drugih istraživanja [11].

Mjeriteljstvo, normiranje, akreditacija i ocjena sukladnosti čine četiri stupa koja čine infrastrukturu kvalitete. Mjeriteljstvo je moguće smatrati najosnovnijim stupom svakog nacionalnog sustava osiguranja kvalitete jer proizvodi mjerenja koja su i pouzdana i priznata, osiguravajući njihovu sljedivost. Zbog važnosti mjeriteljstva za normiranje, akreditaciju i ocjenu sukladnosti, mjeriteljski instituti često su aktivni i kompetentni i u tim područjima. Osim toga, EURAMET-ovi mjeriteljski istraživački programi, kao i usluge, suradnja u odborima i savjeti o politici, načini su na koje organizacija odgovara na potrebe standardizacije i regulacije.

Digitalna funkcionalnost mjerne opreme dosljedno prolazi kroz napredak. Generiranje, obrada, prijenos i pohrana podataka sve više postaju digitalni. Složene senzorske mreže zahtijevaju sustavne pristupe, a algoritmi temeljeni na metodama umjetne inteligencije i strojnog učenja zahtijevaju potpuno nove metode osiguranja kvalitete mjernih rezultata. Ova poboljšanja nisu važna samo za mjeriteljstvo, već su ključna za mnoge regulative i norme. [11].

Neke od novih primarnih metoda ugrađuju se u mjerne instrumente i sustave koji su trenutno na tržištu. Potreba za standardnim umjeravanjima u NMI-jima ili umjernim laboratorijima promijenit će se kao odgovor na te primjene, a od instituta će se tražiti da izvrše potrebne prilagodbe [11].

Intenzivno istraživanje i razvoj, kao i dobro koordinirani pristupi suradnje različitih mjeriteljskih instituta, jedini su načini da se odgovori na sve te izazove i prilike i da se maksimalno iskoristi međusobna suradnja. Europske mjeriteljske mreže primarne su snage koje stoje iza koordinacije, interakcije s različitim dionicima i povezanosti mjeriteljskog istraživanja i razvoja s normiranjem i regulativom.

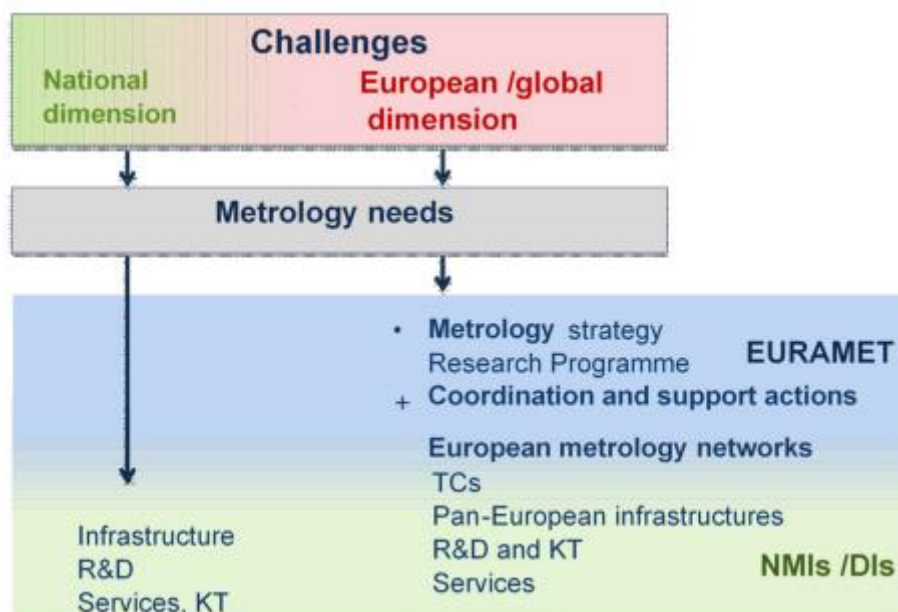
Zbog međusobno povezane prirode pitanja koja se odnose na trgovinu, klimu i okoliš na globalnoj razini, u najboljem je interesu Europe da sustavi osiguranja kvalitete budu operativni u svakoj zemlji. NMI-i imaju priliku dati doprinos kroz razne projekte tehničke suradnje koje podupiru odgovarajuće europske i nacionalne agencije za financiranje. Poštena trgovina, transparentno donošenje odluka, industrijska obnova Europe i europski suverenitet u ključnim opskrbnim lancima mogu se unaprijediti učinkovitom međunarodnom infrastrukturom kvalitete.

EURAMET nudi podršku za kreiranje politike u situacijama kada mjerenje igra važnu ulogu u procesu formuliranja ili provođenja politike. Akcijski plan Europske komisije „Green Deal“ uključuje prijedloge kao što su "Dekarbonizacija energetskega sektora", "Uvođenje čistih, jeftinijih i zdravijih oblika privatnog i javnog prijevoza" ili "Osiguranje da zgrade imaju više energije učinkovit", što će sve zahtijevati propise u kojima su mjerenja ključna [11]. Osim toga, plan uključuje "Osiguravanje energetske učinkovitosti zgrada." [12]

Međutim, okoliš nije jedino područje koje će biti predmetom donošenja propisa koji sadrže elemente mjeriteljstva. U velikom broju različitih konteksta, mjeriteljstvo daje značajan doprinos učinkovitom formuliranju i upravljanju politikama. Imperativ je da kreatori politike, poput regulatora i tijela za zakonsko mjeriteljstvo, budu svjesni stručnosti i baze znanja koju EURAMET i njegovi članovi posjeduju. Tijekom procesa razvoja europskih politika, EURAMET će preuzeti aktivnu ulogu i nuditi savjete. Kako bi EURAMET bio uspješniji u svojim nastojanjima da utječe na politiku, organizacija planira raditi na razvoju operativnog mehanizma koji će voditi „Upravni odbor“. Nacionalni mjeriteljski instituti će uložiti napor



kako bi osvijestili sva ključna nacionalna ministarstva o trenutnim problemima koji su povezani s mjeriteljstvom. EURAMET, naravno, neće biti zadužen za vođenje tih napora prema nacionalnim ministarstvima; umjesto toga, oni će olakšati i podržati inicijative svojih članova. [11].



Slika 9. Koordinacija u europskom mjeriteljstvu izvan EMPIR-a [22]

#### 4. KOORDINACIJA NANOMJERITELJSTVA U EUROPI

Gospodarstvo svijeta kakvog danas poznajemo ovisi o točnim mjerenjima i postupcima koji su priznati i kojima se vjeruje na globalnoj razini. Kao rezultat toga, mjeriteljstvo je sastavni dio našeg svakodnevnog života: kava i drvene daske kupuju se prema njihovoj težini ili veličini; brojila se koriste za mjerenje vode, struje i topline. Kako zdravlje pacijenata ne bi bilo ugroženo, neophodno je točno izmjeriti dozu aktivnih sastojaka lijeka kao i učinak kirurškog lasera.

Kako bi se proizvodi ili proizvodni procesi temeljeni na nanotehnologiji uspješno i sigurno doveli na tržište, ova se mjerna infrastruktura mora proširiti na nanomjeriteljstvo.

Važno je da se mjerenja u nanometarskom rasponu mogu pratiti do međunarodno priznatih mjernih jedinica (npr. duljine, kuta, količine tvari i sile). U tu svrhu potrebne su standardne, neovisno validirane mjerne metode, sljediva mjerna oprema i odgovarajuće kvalificirani referentni uzorci. U određenim područjima potrebno je definirati čak i najosnovnije pojmove. Zbog brzog tempa i napretka nanotehnologije, lanac sljedivosti za potrebna mjerenja u nanometrma uspostavljen je u samo nekoliko odabranih, iznimnih slučajeva.

CO-NANOMET je program rada smješten u Europi koji se bavi razvojem potrebnog mjernog okvira za uspješnu podršku razvoju i gospodarskom iskorištavanju nanotehnologije. Ovaj program rada financira „Sedmi okvirni program“ (FP7) Europske komisije.

Sedmi okvirni program koordinira tekuće aktivnosti, definira potrebe i ujedinjuje infrastrukturu, ljude i sposobnosti potrebne za suočavanje s ovim izazovom okupljajući industriju, istraživačke institute, nacionalne mjeriteljske institute, regulatorna i normativna tijela iz cijele Europe. Ta su tijela odgovorna za postavljanje propisa i razvoj standarda. Zacrtna je jedinstvena strategija za europsko nanomjeriteljstvo, a osmišljena je na takav način da će napredak nanomjeriteljstva u Europi u budućnosti graditi na brojnim postojećim prednostima. Na ovaj način je moguće podržati europsku nanotehnologiju kako bi dosegla svoj puni potencijal.



Slika 10. Naslovna strana strategije europskog nanomjeriteljstva [23]

#### 4.1. Specifični ciljevi CO-NANOMET-a

Cilj ovog projekta je definirati europsku strategiju za nanomjeriteljstvo, što znači osigurati odgovarajući mjerni okvir za učinkovit razvoj komercijalne primjene nanotehnologije. Pregled aktivnosti nacionalnog i europskog predviđanja i mapiranja puta koje su provedene do ove točke omogućit će postizanje industrijskih potreba. U suradnji s različitim ključnim dionicima, Nacionalni mjeriteljski instituti Europe zajedno će raditi na razvoju paneuropskog koordiniranog odgovora na definirane potrebe. Bit će dogovorena prioritetna područja, a očekuje se da će ona odražavati i snagu Europe i nove zakonske zahtjeve za nanoproizvode.

Disciplina nanotehnologije obuhvaća širok raspon industrija i primjena, od kojih svaka ima svoj jedinstveni skup zahtjeva koji se odnose na mjeriteljstvo. Kako bi se identificirale i koordinirale vodeće nanomjeriteljske aktivnosti diljem Europe, s krajnjim ciljem usklađivanja aktivnosti nacionalnih mjeriteljskih instituta, istraživačkih instituta, dobavljača opreme, krajnjih korisnika i visokotehnoloških tvrtki uspostavljeno je pet europskih nanomjeriteljskih akcijskih skupina (eng. *European Nanometrology Action Groups*). One će se usredotočiti na neke od temeljnih tehnoloških područja kao što su: nanočestice, nanobiotehnologija, tanki filmovi i strukturirane površine, sonde za skeniranje, modeliranje i simulacija. Svaka akcijska skupina bavit će se lancem procesa koji će voditi do širenja mjeriteljskih tehnika, sljedivosti nacionalnih standarda i međunarodno usklađenih metoda.

Cilj ove organizacije je koordinirati obrazovanje i obuku znanstvenika, inženjera i krajnjih korisnika diljem Europe u području nanomjeriteljstva, s krajnjim ciljem pružanja učinkovite infrastrukture za obuku koja će omogućiti da se razvoj mjernih standarda i tehnika izbaci iz nacionalnih mjeriteljskih instituta. Provest će se i analiza potreba za obukom, uz pregled trenutno dostupnih programa obrazovanja i osposobljavanja. Osigurat će se obuka o iskorištavanju standarda kako bi se olakšao rast, primjena i širenje europskih i međunarodnih standarda koji se temelje na pouzdanom nanomjeriteljstvu. Također će se izraditi uvodni vodič u nanomjeriteljstvo, s ciljem utvrđivanja temeljnih ideja primjenjivih kako na nove djelatnike u području nanotehnologije, tako i na iskusne mjeritelje.

Dalje je potrebno uspostaviti glavni centar koji proširuje, koordinira i pruža vidljivost novim i postojećim aktivnostima diljem Europe kako bi se postigao cilj povećanja svijesti o europskim sposobnostima i infrastrukturama u području nanomjeriteljstva. Rezultat toga je poticanje

učinkovite upotrebe ovih resursa od strane zajednice korisnika nanotehnologije. Ovaj će se centar koristiti za pružanje europskog imenika nanomjeriteljskih mogućnosti, izvješćivanje o aktivnostima i razvoju unutar europskih akcijskih skupina, pružanje informacija o obuci koja je dostupna, kao i pozivanje na širenje Europske strategije za nanomjeriteljstvo. Na taj će način moći pružiti važnu informacijsku uslugu za industriju, posebice za malo i srednje poduzetništvo, objedinjavanjem djelatnosti vodećih centara.

Kako bi se poboljšao pristup postojećim objektima i koordinirao budući razvoj, potrebno je dati smjernice, stvoriti mrežu i dati preporuke u vezi s razvojem novih nanomjeriteljskih infrastruktura diljem Europe. Zbog sve većih troškova kapitala i multidisciplinarnog pristupa nanotehnologije, pristup velikim infrastrukturama koje su opće ili specijalizirane ključan je za učinkovitost. U sklopu projekta analizirat će se postojeća infrastruktura i navesti novi zahtjevi. Postoji i sinergija s imenikom mogućnosti, koji će široj javnosti dati smjernice u vezi s različitim dostupnim sadržajima. Integracija i poboljšanje postojećih aktivnosti bit će riješene kako bi se osigurali novi "polovi izvrsnosti", kao što se traži u akcijskom planu Europske komisije za nanoznanosti i nanotehnologiju. Ovaj cilj će se ostvarivati zajedno s Europskim mjeriteljskim istraživačkim programom (eng. *European Metrology Research Programme*), koji je tek nedavno uspostavljen kao aktivnost u okviru inicijative ERA-NET PLUS.

#### **4.2. Potencijalni utjecaj CO-NANOMET-a**

Razvoj budućih nanomjeriteljskih kapaciteta u Europi mora započeti s jasnim i zajedničkim razumijevanjem postojećih sposobnosti i kompetentnosti kontinenta, kao i njegovih razvojnih zahtjeva u doglednoj budućnosti. Kako bismo to riješili sastavljen je direktorij mogućnosti, u kojem je dan opsežan pregled organizacija povezanih s nanomjeriteljstvom i njihovim mogućnostima.

U svjetlu toga, izrađen je nacrt okvirnog dokumenta o prioritetnim područjima za buduća ulaganja u infrastrukturu kako bi se pružile pozadinske informacije za naknadne rasprave koje će se održati s ključnim dionicima (uključujući Europsku komisiju, nacionalne mjeriteljske institute, vlade mjeriteljskih službi i ključne infrastrukture EU-a). Diseminacija imenika mogućnosti pomoći će zajednici uključenoj u nanotehnologiju u poboljšanju komercijalnog iskorištavanja postojeće infrastrukture.

Postoji značajna količina varijacija između država članica Europe u pogledu razina tehnoloških inovacija u nanotehnologijama. Najnaprednije države su one koje se uglavnom nalaze u sjeverozapadnoj regiji Europe i imaju dugu povijest dobro utemeljenih pionira u razvoju novih tehnologija. Krajolik istraživanja je promijenjen kako bi se prilagodio novom skupu vještina u svjetlu nedavnog proširenja, koje je rezultiralo uključivanjem novih država iz srednje i istočne Europe. Kako bi se to omogućilo potrebno je:

- Provesti evaluaciju obuke koja se trenutno nudi u nanomjeriteljstvu diljem Europe, kao i analizu potreba za obukom koje su naknadno utvrđene, kako bi se osiguralo da je razvoj obrazovnih resursa primjereno usmjeren na isporuku kvalificirane radne snage koji je neophodan za zadovoljenje potreba nanotehnološke zajednice.
- Osim toga, prijenos znanja iz akademskih institucija i nacionalnih instituta za mjeriteljstvo u industrijski sektor omogućen je zahvaljujući izravnom angažmanu industrije u europskim akcijskim skupinama i širenju izvješća i postupaka radionica koje su izradila ta tijela. Na taj su način poduzeća bila u tijeku s najnovijim razvojem mjeriteljskih tehnika za podršku svom poslovanju [12].

Apsolutno je neophodno da svi dionici budu obaviješteni i uključeni u proces definiranja zahtjeva za kapacitetima. Ovaj program rada oslanja se na opsežan rad koji je do danas obavljen kako bi se definirale potrebe nanotehnologije. [12].

Prihvatanje nanotehnologija u nastajanju od strane šire javnosti nužno je ako te tehnologije ikada žele ostvariti svoj puni komercijalni potencijal. U ovom području, lekcije se mogu naučiti iz drugih tehnologija koje su se ranije pojavile, kao što su tehnologija nuklearne energije ili genetski modificirani organizmi. Iskustvo stečeno u ovim područjima pokazuje da je potrebno uzeti u obzir očekivanja i brige građana, osim njihove percepcije rizika i koristi, jer imaju potencijal značajnog utjecaja na prihvatanje novih tehnologija na tržištu i, kao rezultat, određuje uspjeh ili neuspjeh tržišta.

Postojanje pouzdanog i kvalificiranog sustava mjerenja, kontrole i regulacije ključno je za prihvatanje nanotehnologija kao područja proučavanja od strane javnosti. Unutar područja nanočestica još uvijek nisu uspostavljeni potrebni okviri za mjerenja. Ovaj radni program će podržati poboljšanu pouzdanost mjerenja i analize kroz sljedeće mehanizme:

- Specijalizirana radna skupina za nanotehnologiju u Europi koja se fokusira na projektirane nanočestice i bavi se zahtjevima za klasifikaciju i metode mjerenja, kao i instrumente, standarde i referentne materijale. Optimističnija interakcija s javnošću i povećanje povjerenja javnosti mogući su rezultati ove strategije.
- Uspostava četiriju dodatnih nacionalnih savjetodavnih skupina (eng. *National Advisory Groups*) u Europi. Svaka skupina se pozabavila zahtjevima u svojim područjima kako bi uspostavila proces širenja sljedivosti do nacionalnih standarda, počevši od nacionalnih mjeriteljskih instituta i nastavljajući kroz cijeli proces proizvodnje proizvoda [12].

Potporna razvoju novih proizvoda i industrijskih procesa koji se temelje na nanotehnologiji, kao i poboljšanju njihove pouzdanosti, sigurnosti i potencijala za buduću komercijalizaciju na globalnom tržištu. Na današnjem tržištu, održavanje konkurentnosti u razvoju proizvoda i komercijalnim procesima zahtijeva inovacije koje su stalne i brze. Prema citatu koji se pripisuje lordu Kelvinu: "Ako ne možete to izmjeriti, ne možete to poboljšati." Potrebna su učinkovita mjerenja kritičnih svojstava nanomaterijala, standardizirane metode i postupci mjerenja kako bi se optimizirale performanse i pouzdanost proizvoda. [12].

Ovi zahtjevi, koji se stalno mijenjaju ispunjeni su zahvaljujući uspostavi europskih NAG-ova koji se fokusiraju na mjerne tehnologije, instrumente, standardizacijske zahtjeve, sljedivost i ekvivalentnost te alate za osiguranje kvalitete mjerenja. Budući da su ovi zahtjevi ispunjeni, razvoj nanoproduzoda odvija se brže.

U skladu sa zabrinutošću javnosti u vezi s nanotehnologijom, koja je gore navedena, brojna regulatorna tijela trenutno razmatraju implikacije ovog područja u nastajanju. Budući da je ovo relativno novo područje tehnologije, prilagodba postojećih regulatornih okvira možda neće biti dovoljna u nekim područjima; umjesto toga, možda će biti potrebni novi pristupi.

Ispunjenje regulatornih zahtjeva nužno uključuje i provedbu kontrolnih postupaka. Kontrola "kritične dimenzije" uzorka u nanometarskom rasponu je ono što daje nova svojstva proizvodima od nanomaterijala. Ova značajka može dodati korisna svojstva, ali ima potencijal uvesti nove rizike za ljude i okoliš. Ti rizici mogu biti ozbiljniji.

Sposobnost mjerenja ključnih svojstava nanomaterijala na provjerljiv način obrađena je u ovom radnom projektu, što je bio preduvjet za provedbu regulatornih kontrola. Europskim nanomjeriteljskim akcijskim skupinama dana je odgovornost evaluacije novopredloženih propisa i utvrđivanja kako će ti propisi utjecati na industriju.

### **4.3. Koordinacija nanomjeriteljstva u Europi**

Paralelno s razvojem nanotehnologije, postoji hitna potreba za rješavanjem pitanja koordinacije na europskoj razini kako bi se spriječilo da regije i države članice dupliciraju svoje napore. Kako bi se postigao ovaj cilj, program je okupio brojne europske dionike, javne i privatne, i stvorio nove eksploatacijske mreže koje omogućuju kombiniranje napora i resursa [12].

Ova koordinacijska akcija objedinila je doprinose ključnih dionika kako u sveukupnoj definiciji europske strategije tako i u fokusiranim aktivnostima duž specifičnih tehnoloških tema. Kao posljedica toga, omogućila je realizaciju potencijalnih prednosti nanotehnologije za ekološki održiv razvoj.

Budući da nanotehnologija ima tako širok raspon primjena i implikacija, baza dionika u nanomjeriteljstvu također se sastoji od vrlo velikog broja ljudi. Korisno je klasificirati dionike u dvije različite kategorije: javne dionike i privatne dionike.

#### **Javni dionici**

Nacionalni mjeriteljski instituti zaduženi su za razvoj i održavanje mjernih etalona, kao i za pružanje globalno sljedivih umjeravanja i širenje znanja koje se odnosi na mjerenje. Europsko udruženje nacionalnih mjeriteljskih instituta – EURAMET djeluje kao središnja točka za mjeriteljstvo u Europi i koordinira, u određenoj mjeri, rad NMI-ja.

Istraživačke institucije i sveučilišta obično su polazne točke za rad u nacionalnim institutima jer su odgovorne za provođenje istraživanja i podučavanje studenata. Redovito blisko surađuju s NMI-jima i posjeduju specijaliziranu mjernu opremu kao i stručnost. Ili uopće nema posebne regulative za nanomaterijale i nanotehnologiju, ili je ima vrlo malo. To se odnosi i na nacionalna



i na europska regulatorna tijela. Uz napredak u nanotehnologiji i nanomjeriteljstvu, očekuje se da će regulatorna tijela izraditi potpuno nove propise ili revidirati već važeće propise.

Laboratoriji za umjeravanja i ispitivanje su neophodni jer će, dugoročno gledano, nanotehnologiju i proizvodnju trebati podržati rutinske i akreditirane ustanove za umjeravanje i ispitivanje. Ključno je da se ove vrste laboratorija uključe u nanomjeriteljstvo u ranoj fazi kako bi se pripremili za novi posao koji će raditi [13].

Tijela za normiranje - rad se odvija u nacionalnim normizacijskim organizacijama, u Europskom odboru za normiranje (eng, *European Committee for Standardization*) i u Međunarodnoj organizaciji za normiranje (eng. *International Organization for Standardization*), često paralelno jedni s drugima. Kako bi se osiguralo da su novi nanotehnološki standardi kompatibilni sa zahtjevima mjeriteljske zajednice, neophodno je održavati bliske veze između normizacijskih tijela i zajednice mjeritelja [13]. Tijela za akreditaciju i certifikaciju dužna su navesti koji su alati za osiguranje kvalitete potrebni za procjenu rada laboratorija za umjeravanje i ispitivanje [13].

### **Krajnji korisnici**

Inovativne industrije - Kako bi industrija profitirala od snažne istraživačke pozicije Europe u nano-znanostima, mora održavati bliski kontakt s novim razvojem u mjeriteljstvu. Ovo je neophodno kako bi se osiguralo da razvoj vodi do tipova proizvoda koji se mogu karakterizirati sljedećim rezultatima mjerenja. Inovativne industrije ključne su za rast gospodarstva. Usluge umjeravanja i ispitivanja koje su učinkovite i pristupačne ključne su za proizvodne industrije [13].

Laboratoriji za umjeravanje i ispitivanje: Dugoročno gledano, nanotehnologiju i proizvodnju trebat će podržati rutinski i akreditirani laboratoriji za umjeravanje i ispitivanje. Kako bi ti laboratoriji bili spremni za ovaj novi izazov, bitno je da se što prije počnu baviti nanomjeriteljstvom.

Nevladine organizacije – Mnogo je ovih organizacija koje prate razvoj na polju nanotehnologije i imaju potencijal značajno utjecati na to kako šira javnost gleda na tu temu. Pružanje pouzdanih podataka u vezi s razvojem nanotehnologija ključna je uloga mjeriteljstva, kao i olakšavanje

identifikacije potencijalnih opasnosti. Korištenje mjeriteljstva pomaže osigurati da se rizici mogu procijeniti u određenim slučajevima, a ne generalizirati, što može izazvati neopravdanu zabrinutost javnosti [13].

Opća populacija – strah opće javnosti, opravdan ili neopravdan, spriječio je razvoj niza potencijalno korisnih tehnologija da dostignu svoj puni potencijal. U nužnoj javnoj raspravi o nanotehnologiji, prezentacija činjeničnih dokaza koji su potkrijepljeni pouzdanim mjerenjima promicat će ravnotežu [13].

## 5. ULOGA EUROPSKIH MJERITELJSKIH PROGRAMA (EMPR) I (EMPIR)

Mjerenja igraju temeljnu ulogu u gotovo svakom aspektu našeg svakodnevnog života, uključujući pomoć u osiguravanju kvalitete i sigurnosti, očuvanju našeg zdravlja, poticanju inovacija i osiguravanju da naše gospodarstvo ostane konkurentno. Naša sposobnost da napravimo još preciznija mjerenja ključna je za naše razumijevanje važnih tema kao što su klimatske promjene, kvaliteta i sigurnost hrane koju konzumiramo, zraka koji udišemo i vode koju pijemo, kao i predmeta koje kupujemo. Mjerenja su ključna u mnogim aspektima industrije, uključujući proizvodnju, kontrolu procesa, transport, telekomunikacije i mnoge druge, među kojima je važno održavanje konkurentne prednosti. Granice mogućnosti određene su našom sposobnošću mjerenja. Ono što nismo u stanju izmjeriti, općenito nismo u stanju razumjeti na odgovarajući način, a ono što nismo u stanju proizvesti točno ili pouzdano, ne možemo kontrolirati. Stoga razvoj znanosti o mjerenju, poznate kao mjeriteljstvo, ima značajan utjecaj kako na shvaćanje tako i na oblikovanje svijeta u kojem živimo [14].

Zbog brojnih prednosti koje dolaze s mjernom infrastrukturom, gotovo sve vlade u tehnološki naprednim zemljama, kao i mnoge vlade u manje razvijenim zemljama, podržavaju postojanje iste. U mnogim zemljama provode se nacionalni istraživački programi i aktivnosti kao odgovor na potražnju za mjernim standardima koji imaju sve veće razine točnosti, raspona i raznolikosti.. Unatoč svojim jedinstvenim karakteristikama, svi oni dijele, sljedeća tri primarna cilja:

- (1) Podrška industriji i poticanje inovacija
- (2) Podržati zdravu politiku i regulativu (štiteći i građane i okoliš) i
- (3) Osigurati bolje alate za druge znanstvene discipline [14].

Nacionalni mjeriteljski instituti odgovorni su i za upravljanje i isporuku mjerne infrastrukture, kao i za povezana istraživanja. Uz ovu odgovornost, NMI-ji su odgovorni za osiguranje sljedivosti prema međunarodnom sustavu mjernih jedinica. Ova odgovornost obuhvaća primarnu realizaciju osnovnih jedinica kao i širenje informacija relevantnim dionicima. Usporedivost mjerenja i interoperabilnost iznimno su važni u današnjem modernom globalnom gospodarstvu. Možda je najočitiji primjer ovoga prisutnost atomskih satova u NMI-jima; ti su satovi temelj međunarodnog mjerenja vremena, komunikacije, elektroničkog bankarstva, navigacije i drugih povezanih aktivnosti [14].

Zapadnoeuropski mjeriteljski klub osnovan je početkom 1970-ih, što se smatra početkom suradnje između različitih nacionalnih mjeriteljskih instituta diljem Europe. Ova prilično neslužbena organizacija služila je kao forum na kojem su se ravnatelji NMI-a okupljali i razgovarali o temama koje su bile od interesa za obje strane, kao što sugerira i naziv grupe. Ovaj se raspored održavao gotovo 15 godina, tijekom kojih je nastao niz struktura s primarnim naglaskom na laboratorijsko umjeravanje. Te su se strukture, zajedno s akreditacijom certifikacijskih interesa, na kraju spojile u organizaciju koja je sada poznata kao Europska akreditacija (eng. *European Accreditation*). Interesi u mjeriteljstvu s vremenom su se razvili u dva odvojena tijela, pri čemu je prvo bilo Europska suradnja u mjernim etalonima, koja je osnovana 1988., a druga je bila Zapadnoeuropska suradnja za zakonsko mjeriteljstvo, koja je osnovana 1990.

Tijekom svog gotovo dva desetljeća produktivnog rada, EUROMET suradnja stavila je poseban naglasak na pružanje pomoći u širenju znanstvenog mjeriteljstva u Europi, posebno u vrijeme dubokih preokreta. Osim toga, počevši od kasnih 1990-ih, organizacija je prihvatila odgovornost djelovanja kao Regionalna mjeriteljska organizacija za Europu u okviru „Sporazuma o međusobnom priznavanju“ Međunarodnog odbora za utege i mjere [14].

Uz ostale odgovornosti, EUROMET je imao zadatak lociranja, razvoja i provođenja zajedničkih istraživačkih projekata. Kao rezultat napora EUROMET-a, prikupljena je opsežna baza podataka o produktivnim nastojanjima tijekom njegova postojanja. Međutim, nakon provođenja dublje istrage, postalo je jasno da su u mnogim slučajevima zajednički istraživački projekti bili ometeni različitim nacionalnim sustavima koji su korišteni za financiranje svakog partnera. Te su prepreke uključivale neusklađenost u vremenskom rasporedu prioritetnog rada, kao i nedostatak raspoloživih sredstava za rješavanje određene teme. Stoga se velika većina istraživanja i razvoja, isključujući dijelove koji su uključivali usporedbe, nastavila provoditi na nacionalnoj, a ne zajedničkoj osnovi.

### 5.1. Europski mjeriteljski istraživački program (EMRP)

Na prijelazu tisućljeća, nacionalni mjeriteljski instituti Europe bili su suočeni s problemom koji se danas obično naziva "europska mjeriteljska dilema". Zahtjevi tradicionalnih dionika za širim opsegom i većom preciznošću, zahtjevi za podrškom novonastalim područjima kao što su biotehnologija i nanotehnologija, te veći zahtjevi područja kao što su sigurnost hrane, klinička medicina i okoliš, dok je javno financiranje uglavnom bilo statično, iziskivalo je promjenu paradigme u načinu na koji se obavljalo operacije. Europski mjeriteljski istraživački program, također poznat kao EMRP (eng. *European Metrology Research Programme*), omogućuje Europi postizanje kritične mase među svojim NMI-ima u svrhu rješavanja velikih istraživačkih projekata na koordiniran i suradnički način. Ti se projekti bave temeljnim mjeriteljstvom, mjeriteljstvom za industriju i inovacije te mjeriteljstvom koje poboljšava kvalitetu života.

Prva faza Europskog programa za istraživanje, koja se sastojala od 21 zajedničkog istraživačkog projekta s ukupnim proračunom od približno 64,6 milijuna eura, pokrenuta je između veljače i srpnja 2008. Početak druge i mnogo opsežnije faze poklopio se s objavljivanjem prvog poziva za potencijalne istraživačke teme koje bi se bavile mjeriteljskim potrebama energetskega sektora u svibnju 2009. godine. Ova druga faza, vrijedna 400 milijuna eura, provodit će se tijekom niza godina. Koristi se značajnim instrumentom integracije, odnosno člankom 169. Europskog ugovora. Europska komisija i 22 zemlje koje sudjeluju u EMRP-u svaka pridonose financiranju programa.

Tijekom dvije godine razvijao se Europski mjeriteljski istraživački program u sklopu projekta iMERA, koji je ujedno bio i zaslužan za uspostavu EURAMET-a. Razviti program koji bi se bavio podrškom inovacijama, kvalitetom života i europskom politikom uključivanjem većih izazova uz specifične potrebe mjeriteljskog sektora, s krajnjim ciljem razvoja programa koji bi se mogao pokrenuti prema članku 169. Europskog ugovora [15]. To je bio cilj projekta.

Kao dio priprema za ovaj rad, EUROMET je uspostavio niz fokusnih i interesnih skupina za znanost o životu, biotehnologiju, nove materijale, softver i matematiku. Ove skupine su namijenjene za rješavanje mjeriteljskih područja koja trenutno nisu pokrivena postojećim regionalnim tehničkim odborima.

Pri osmišljavanju programa bilo je bitno razumjeti i uzeti u obzir zahtjeve šireg kruga dionika, kao i tražiti povratne informacije od ljudi izvan mjeriteljske zajednice. Konzultacije su provedene kao sastavni dio procesa, a imale su oblik niza dioničkih radionica i fokus grupa koje su pokrivala teme kao što su zdravlje, energija, okoliš i sigurnost. Sudionici radionica dolazili su iz različitih područja, uključujući: medicinsku profesiju, vijeće za medicinska istraživanja, farmaceutsku industriju, zajednički odbor za sljedivost u laboratorijskoj medicini, industriju proizvodnje električne energije, industriju nafte i plina, organizaciju uključenu u nuklearnu istraživanje fuzije, agencije za okoliš, sveučilišta i glavna uprava za politiku Europske komisije.

EMRP se bavi nekim od najznačajnijih izazova s kojima se današnje društvo suočava, uključujući one koji se odnose na zdravlje, energiju, okoliš i nove tehnologije u područjima nanotehnologije i sigurnosti. Dodatno, program je usmjeren na istraživanje i razvoj u fundamentalnom i primijenjenom mjeriteljstvu, kao i na izgradnju kapaciteta. Ionizirajuće zračenje, elektricitet i magnetizam, vrijeme i frekvencija, fotometrija i radiometrija, masa i srodne veličine, uključujući akustiku, duljinu, kemiju, biotehnologiju i mjeriteljstvo materijala neka su od temeljnih i primijenjenih područja mjeriteljstva [15].

U više od 20 zemalja trebalo je uvjeriti njihove nacionalne mjeriteljske institute i ministarstava, u različitim stupnjevima, da se posvete programu, predajući suverenitet zajedničkim procesima EMRP-a u pogledu donošenja odluka o povezanim proračunima. Razvoj EMRP-a zahtijevao je značajnu količinu rada tijekom niza godina.

## **5.2. Europski mjeriteljski program za inovacije i istraživanje (EMPIR)**

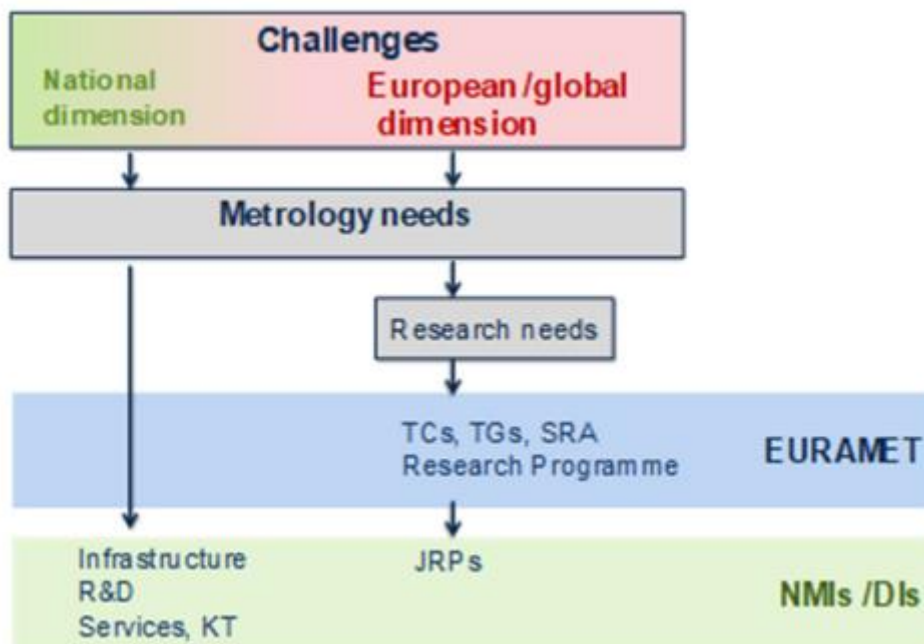
Kao sastavni dio „Obzora 2020.“, Okvirnog programa Europske unije za istraživanje i inovacije, razvijen je Europski mjeriteljski program za inovacije i istraživanje (eng. *European Metrology Programme for Innovation and Research*).

Kako bi se sustav istraživanja i inovacija učinio konkurentnijim na globalnoj razini, sveobuhvatni cilj „Obzora 2020.“ je poboljšati i proširiti znanstvenu snagu Europske unije, kao i daljnji razvoj i jačanje Europskog istraživačkog prostora (eng. *European Research Area*). Pozivi EMPIR-a, koji su pokrenuti između 2014. i 2020., imaju ukupni proračun od 600 milijuna eura, pri čemu države sudionice doprinose s 300 milijuna eura, a Europska komisija doprinosi do 300 milijuna eura koristeći se člankom 185. Europskog ugovora kao opravdanjem.

„Zajednički istraživački projekti“ EMPIR-a usredotočit će se na prioritetna područja, poznata i kao „Ciljani programi“, kako bi se odgovorilo na velike izazove EU-a u zdravstvu, energiji, okolišu i industriji, kao i za unaprjeđenje temeljne znanosti o mjerenju. Ovi su pozivi objavljeni kako bi se istraživače potaknulo na podnošenje prijedloga za „Zajedničke istraživačke projekte“.

Svrha sudjelovanja Europske unije u Europskom mjeriteljskom programu za inovacije i istraživanje je podržati pružanje odgovarajućih, integriranih mjeriteljskih rješenja koja odgovaraju namjeni, kao i stvaranje integriranog europskog mjeriteljskog istraživačkog sustava s masovnim i aktivnim angažmanom na regionalnoj, nacionalnoj, europskoj i međunarodnoj razini. To je nešto što države članice same ne bi mogle dovoljno postići. Opseg i složenost mjeriteljskih zahtjeva zahtijevaju ulaganja koja nadilaze temeljne istraživačke proračune nacionalnih mjeriteljskih instituta i njihovih imenovanih instituta. Potrebno je koordinirati napore preko državnih granica kako bi se postigla razina izvrsnosti potrebna za istraživanje i razvoj vrhunskih mjeriteljskih rješenja. To se može postići integracijom nacionalnih napora u dosljedan europski pristup; spajanje podijeljenih nacionalnih istraživačkih programa; pomoć u osmišljavanju zajedničkog istraživanja i strategija financiranja preko državnih granica; te postizanje potrebne kritične mase aktera i ulaganja.

Aktivnosti EURAMET-ovog projekta EMPIR će se sastojati od vodećih istraživanja povezanih sa međunarodnim mjernim jedinicama i istraživanjima koja će se baviti tzv. Velikim izazovima (eng. *Grand Challenges*) u oblastima energetike, okoliša i zdravlja. Aktivnosti vezane za inovacije će se bazirati na potrebama tržišta i predviđati brže rezultate mjeriteljskih istraživanja. Novi normativni istraživački modul ima za cilj mjeriteljstvo koje je R&D-u potrebno za provedbu europskog zakonodavstva. Za podršku europskoj viziji povezanosti, EURAMET se suočava sa sve većom potražnjom za organizacijskim i ljudskim resursima. EMPIR će svojim djelovanjem potaknuti istraživanja organizacija, industrije i mjeriteljskih instituta unutar i izvan Europe. Ovaj program je EURAMET-ov doprinos za postizanje ciljeva koje je postavio „Horizon 2020.“ i svih drugih inicijativa koje ovise o mjeriteljstvu.



Slika 11. Koordinirano mjeriteljsko istraživanje u Europi u okviru EMPIR-a [22]



## **6. ZAKLJUČAK**

Nanomjeriteljstvo se definira kao znanost i praksa mjerenja na nanoskali. Zadaća nanomjeriteljstva je osigurati sljedeće i pouzdane rezultate mjerenja dimenzija kao i drugih fizikalnih svojstava, npr. mehaničkih električnih, magnetskih, fizičkih, kemijskih te bioloških svojstava nanomaterijala. Nacionalni mjeriteljski instituti kao nosioci razvoja nanomjeriteljstva, djeluju kroz regionalne mjeriteljske organizacije.

Uspostava infrastrukture koja jamči pouzdanost rezultata mjerenja kao i rezultata mjerenja na nanomaterijalima i nanoproizvodima dodatni je izazov. Zbog brojnih prednosti koje dolazi s mjernom infrastrukturom, gotovo sve vlade u tehnološki naprednim zemljama, kao i mnoge vlade u manje razvijenim zemljama, podržavaju postojanje iste. U mnogim zemljama provode se nacionalni istraživački programi i aktivnosti kao odgovor na potražnju za mjernim standardima koji imaju sve veću razinu točnosti.

Europska ulaganja u istraživanje i razvoj nanotehnologije trebaju držati korak sa svjetskom konkurencijom. Primjena nanotehnologija predstavlja važan korak prema postizanju održivog razvoja. Istraživanje koje provodi EU o ekološki prihvatljivim tehnologijama i proizvodnim procesima već pridonosi smanjenju potrošnje energije, rješavanju problema otpada te poticanju odgovornog ponašanja proizvođača i potrošača. Uz pomoć nanotehnologija, Europa će moći napredovati na sljedeću razinu, postići još više uz potrošnju manje resursa nego prije.

Europska unija (EU) bi mogla ispuniti svoje međunarodne obveze u vezi s pitanjima održivosti uz pomoć nanotehnologije. Osim toga, to može pomoći poduzećima u EU-u da postanu konkurentniji i pridonijeti ispunjavanju legitimnih očekivanja građana EU-a u pogledu njihove sigurnosti i kvalitete života. Područje nanomjeriteljstva ima očiglednu poticajnu ulogu u ovom napredovanju.

## LITERATURA

- [1] Yao, N., Wang, Z. L.: Handbook of microscopy for nanotechnology. Kluwer academic publishers, Boston, 2005.
- [2] Aitken, R. J., Chaudhry, M. Q., Boxall, A. B., Hull, M.: *Manufacture and Use of Nanomaterials: Current Status in the UK and Global Trends*. Occupational Medicine 56(2006)5, 300–306.
- [3] Jamakhani, M. A.: Nanometrology in biological and medical sciences. International Journal of Advanced Biotechnology and Research, 2(2011)1, 213-223.
- [4] Graham, D.: Nanometrology—is it the next big thing in measurement? Analyst, 132(2007)1, 95-96.
- [5] Yoshida, S.: *Nanometrology*. Metrologia, 28(1991)6,433-441.
- [6] Leach, R.: Fundamental Principles of Engineering Nanometrology. William Andrew, New York, 2014.
- [7] EURAMET web, [www.euramet.org](http://www.euramet.org) , 22.08.2022.
- [8] Leslie R.: EURAMET: European Association of National Metrology Institutes, NCSLI Measure, 4(2009)4, 40-44
- [9] Henson, A., Kühne, M., Erard, L.: The European Metrology Research Programme in Action, NCSLI Measure, 4(2009)4, 26-33
- [10] Organisational Structure of EURAMET, <https://www.euramet.org/about-euramet/organisation/?L=0>, 22.08.2022.
- [11] EURAMET 2030 Strategy, [https://www.euramet.org/index.php?eID=tx\\_securedownloads&p=39&u=0&g=0&t=1668199117&hash=df5e055e220f686f0057312f7b7b889bbb2c803f&file=Media/docs/Publications/strategy/EURAMET\\_2030\\_Strategy.pdf](https://www.euramet.org/index.php?eID=tx_securedownloads&p=39&u=0&g=0&t=1668199117&hash=df5e055e220f686f0057312f7b7b889bbb2c803f&file=Media/docs/Publications/strategy/EURAMET_2030_Strategy.pdf), 23.08.2022.
- [12] COordination of NANOMETrology in Europe, <https://cordis.europa.eu/project/id/218764/reporting> 25.08.2022.
- [13] Pendrill, L., Flys, O.: European consultation on metrological traceability, standards and dissemination of metrology in industrial nanotechnology. Euspen, Cranfield, 2011.
- [14] Redgrave, F., Henson, A.: Metrology: who benefits and why should they care?. NCSLI Measure, 1(2006)3, 30-36.

- [15] Henson, A., Kühne, M., Schmid, W.: Implementing Metrology in the European Research Area – the iMERA Project, Proc. 2005 NCSL International Workshop and Symposium, National Conference of Standards Laboratories International, Boulder, CO, USA, 2005.
- [16] <https://repositorij.kemija.unios.hr/islandora/object/kemos%3A238/datastream/PDF/view>
- [17] <https://iopscience.iop.org/journal/0026-1394>
- [18] <https://repositorij.etfos.hr/islandora/object/etfos%3A2799/datastream/PDF/view>
- [19] [https://www.researchgate.net/figure/Examples-for-0D-1D-2D-and-3D-carbon-nanostructures\\_fig2\\_320595475](https://www.researchgate.net/figure/Examples-for-0D-1D-2D-and-3D-carbon-nanostructures_fig2_320595475)
- [20] [https://www.researchgate.net/figure/Public-R-D-investments-in-nanotechnology-globally\\_fig2\\_46457171](https://www.researchgate.net/figure/Public-R-D-investments-in-nanotechnology-globally_fig2_46457171)
- [21] [https://www.euramet.org/Media/docs/EUROMET-docs/E-MoU-v06\\_02.pdf](https://www.euramet.org/Media/docs/EUROMET-docs/E-MoU-v06_02.pdf)
- [22] [https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/research\\_and\\_innovation/funding/documents/e\\_c\\_rtd\\_he-partnerships-metrology.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/research_and_innovation/funding/documents/e_c_rtd_he-partnerships-metrology.pdf)
- [23] [https://www.euramet.org/Media/docs/Publications/strategy/G-GNP-STR-002\\_EURAMET\\_2020\\_Strategy\\_printout.pdf](https://www.euramet.org/Media/docs/Publications/strategy/G-GNP-STR-002_EURAMET_2020_Strategy_printout.pdf)