

Digitalni kalibracijski certifikat

Edelinski, Karlo

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:262238>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-24**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**

Sveučilišni studij

Digitalni kalibracijski certifikat

Završni rad

Karlo Edelinski

Osijek, 2023.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1 Zadatak završnog rada	1
2. POVIJEST MJERITELJSTVA I NJEGOVA TRANSFORMACIJE	2
2.1 Mjeriteljstvo i mjerne jedinice	2
2.2 Povijesni razvoj mjeriteljstva i njegova važnost	2
2.3 Digitalna transformacija mjeriteljstva	4
2.3.1 Digitalna budućnost mjeriteljstva	5
2.4 Mjerne jedinice i SI Sustav	6
3. KALIBRACIJA, INSTITUCIJE I KVALITETA	8
3.1 Infrastruktura kvalitete	8
3.2 Uloga kalibracije	10
3.2.1 Metode kalibracije mjernih instrumenata	11
4. DIGITALNI KALIBRACIJSKI CERTIFIKAT	13
4.1 Struktura DCC-a	13
4.2 Hijerarhijska struktura DCC-a	15
4.2.1 Administrativni podaci	15
4.2.2 Mjerni rezultati	17
4.2.3 Komentari	17
4.2.4 Dokument	18
4.3 Prednosti DCC-a	18
5. INTEGRACIJA I PRIMJENA DIGITALNIH KALIBRACIJSKIH CERTIFIKATA	21
5.1 Univerzalni zahtjevi i rješenja za digitalni kalibracijski certifikat	21
5.2 Važnost jasne definicije ne SI-jedinica i njihovo rukovanje	23
5.3 Uloga DCC-a u Industriji 4.0	26
5.4 Digitalni blizanac	27
6. PRIMJER DIGITALNOG KALIBRACIJSKOG CERTIFIKATA	29
7. ZAKLJUČAK	36
LITERATURA	37
ABSTRACT	39
ŽIVOTOPIS	40
PRILOZI	41

1. UVOD

Mjeriteljstvo je znanost o mjerenju, koja prihvaća i eksperimentalna i teorijska određivanja na bilo kojoj razini nesigurnosti u bilo kojem području znanosti i tehnologije [1].

Radi tehnološkog napretka došlo je do značajnih promjena u mjeriteljstvu, u ovom radu će se analizirati kakve je sve promjene donijela digitalizacija ove znanosti, a fokus rada će biti primjena digitalnih kalibracijskih certifikata. Hrvatski termin za kalibraciju je "umjeravanje", no radi boljeg razumijevanja uloge DCC-a i zbog učestalosti spominjanja, u ovom radu koristit će se termin "kalibracija". Analizirat će se utjecaj dolaska novih tehnologija i kako su one utjecale na točnost, učinkovitost i dosljednost u procesima umjeravanja te kakve su sve prednosti i mane prelaska sa tradicionalnih analognih certifikata na digitalne formate.

Temeljni zaključci nam govore da digitalizacija donosi brojne prednosti kao što su poboljšanje u dostupnosti i integritetu podataka, kao i pojednostavljenje samog izvođenja kalibracije. Problemi koje je potrebno riješiti da bi se ostvario puni potencijal digitalnih kalibracijskih certifikata su vezani u standardizaciju i sigurnost podatka te kompatibilnost sa već postojećim sustavima.

1.1 Zadatak završnog rada

Glavni zadatak ovog rada je istražiti digitalne kalibracijske certifikate, te istaknuti prijelaz sa tradicionalnih na digitalne formate u području mjeriteljstva. Rad će sadržavati informacije o značaju kalibracijskih certifikata, metodama koje se koriste za njihovo dobivanje i prednostima digitalizacije. Također, u radu će biti pokriveni izazovi implementacije kao i budući trendovi, te primjer digitalnog kalibracijskog certifikata izrađenog na temelju stvarnog analognog certifikata.

2. POVIJEST MJERITELJSTVA I NJEGOVA TRANSFORMACIJE

2.1 Mjeriteljstvo i mjerne jedinice

Mjeriteljstvo je znanost o mjerenju koja potiče iz latinskog jezičnog područja i kombinacija je dvije riječi (metron - mjerenje, logos - znanost) , te obuhvaća sve mjerne metode i instrumente pomoću kojih se dolazi to točnih mjerenja fizikalnih veličina [2].

Mjeriteljstvo se može podijeliti na više područja primjene : Duljine, površine i kutovi - Industrijska; Mase, sile i tlakovi - Zakonska; Fizikalno-kemijske veličine - Znanstvena; Električne veličine – Industrijska [2].

Nema međunarodno definirane jedinstvene definicije za znanstveno mjeriteljstvo, no ona označava najveću razinu točnosti unutar određenog područja. Osigurava točnost i pouzdanost u industriji , trgovini i znanstvenim istraživanjima te joj je primarni cilj održavanje etalona kao referentnih točaka za usporedbu. Na ovaj način se održava dosljednost kako bi se rezultati mjerenja mogli povezati sa međunarodnim standardima [2].

Dijeli se na jedanaest područja: Masa - Interdisciplinarno mjeriteljstvo - Elektricitet - Duljina - Vrijeme i frekvencija - Temperatura - Ionizirajuće zračenje i radioaktivnost - Fotometrija i radiometrija - Protok - Akustika - Količina supstance [2].

2.2 Povijesni razvoj mjeriteljstva i njegova važnost

Kroz povijest, ispravnost mjerenja bila je od velike važnosti. Izricane su smrtne kazne za one koje nisu ispunjavali svoje dužnosti u umjeravanju i kontroliranju mjernih sredstava. Mjerila su se redovito provjeravala, kao na primjer na povijesnim gradilištima poput onih na kojima su izgrađeni faraonski hramovi i piramide prije 3000. godine, redovito bi se provodilo umjeravanje alata za mjerenje duljine i procjena njihove valjanosti za buduću upotrebu tijekom svakog punog mjeseca [3].

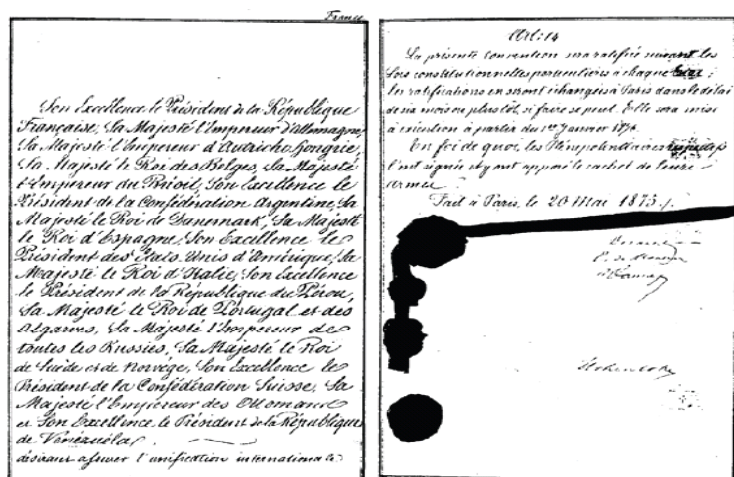
Razmjena podataka o materijalnom svijetu kroz povijest bila je ključna za međusobno razumijevanje ljudi. Potrebno je bilo razviti sustav razmjene informacija o mjerenju koji bi bio razumljiv svima. S vremenom su se razvili različiti načini mjerenja, ovisno o potrebama trgovine i rada. Korištene su razne jedinice poput duljine prstiju, laktova i koraka, količina koja stane u ljudsku šaku, korpe i uspoređivali bi mase sa njima tada poznatima predmetima. Starije civilizacije poput Babilona i Sumeraca imale su složene sustave mjernih jedinica, dok su Europske srednjovjekovne civilizacije koristile primitivne metode upravo nabrojane [2,3].

Tijekom povijesti su se razvile mnoge različite jedinice mjere koje su se mijenjale od mjesta do mjesta i vremena do vremena. Uz razvoj tehnologije, razvijalo se i mjeriteljstvo, a stupanj kulture i civilizacije odražavao se u razini razvijenosti mjernih sustava [2].

Prvi etaloni, poput kraljevskog lakta u Egiptu, definirali su temeljne mjere. Njih su radnici na gradilištima dobivali kao primjerke u granitu ili drvu, a graditelji su bili odgovorni za njihovo čuvanje. Važnost ispravnosti mjerenja i kvalitete etalona bila je jasna tijekom povijesti, bez obzira na mjesto i vrijeme [2,3].



Slika.1 Etaloni kilograma i metra [2]



Slika.2 Konvencija o metru [2]

2.3 Digitalna transformacija mjeriteljstva

Integracija novih tehnologija u procese mjerenja dala je nove učinke u razvoju industrija kao što su proizvodnja, inženjerstvo i zdravstvo. Govorimo o većoj točnosti i preciznosti te prikupljanju podataka u stvarnom vremenu kao i lakšem upravljanju podacima što je dovelo do bolje učinkovitosti [4,5].

Ključni dio transformacije je usvajanje digitalnih instrumenata i senzora, uz poboljšanje točnosti i preciznosti kako je već rečeno jedna od glavnih prednosti u odnosu na analogne je ta da postoji mogućnost povezivanja, a time i integracije sa drugim digitalnim sustavima i softverskim aplikacijama [4,5].

U proteklih deset godina, nove tehnologije su doživjele značajan napredak, a istaknule su se neke od ključnih inovacije [4,5] :

Ugrađeni sustavi

- Posebni računalni sustavi dizajnirani za obavljanje specifičnih funkcija unutar uređaja, vozila ili opreme , koji rade bez izravnog korisničkog upravljanja.

Internet stvari (IoT)

- Koncept koji omogućuje svakodnevnim predmetima, uređajima i aparatima da se povežu s internetom i komuniciraju međusobno.

Kibernetički fizički sustavi

- Integracija računalnih algoritama s stvarnim svijetom s ciljem postizanja inteligentne kontrole.

Računalstvo u oblaku

- Podaci ne moraju biti na lokalnom računalo nego se njima pristupa preko interneta.

Koncepti velikih podataka

- Istraživanje i analiza ogromnih količina informacija.

Razvojem ovih tehnologija došlo je do stvaranja potpuno novih domena kao što su industrijski internet i pametne usluge. Industrijski internet se odnosi na primjenu digitalnih tehnologija u industriji radi poboljšanja produktivnosti i učinkovitosti, a pametne usluge su digitalne usluge

koje koriste tehnologije kao IoT i analitiku podataka kako bi pružile bolje usluge korisnicima [4,5].

Jedan od konkretnih koncepta koji se počeo istraživati i koristiti je "digitalni blizanac", koji predstavlja digitalnu repliku fizičkog mjernog instrumenta, ova tema je također detaljnije obrađena u 5. poglavlju završnog rada [4,5].

U kontekstu digitalne transformacije važno je i spomenuti istraživački projekt „AnGeWaNt“, koji uključuje predstavnike iz različitih sektora poput industrije vaganja, građevinske industrije i znanosti. Vodeću ulogu u ovom projektu ima njemački nacionalni mjeriteljski institut PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt), zajedno s regionalnim agencijama za inovacije i Institutom za primijenjenu radnu znanost (IfaA). Primarni cilj projekta je prevladati ograničenja tradicionalne infrastrukture promoviranjem digitalne transformacije u zakonskom mjeriteljstvu. Distribuirana modularna arhitektura usluga temelj je ove transformacije, to znači da se procesi i tehnologije razvijaju na način da se usluge mogu kombinirati i prilagoditi prema potrebama, što omogućuje digitalizaciju i automatizaciju mjernih instrumenata koji su pod nadzorom zakona. Projekt podržava ciljeve PTB-a tako što se fokusira na cjelovit pristup mjernim instrumentima i efikasnu upotrebu digitalnih tehnologija [4,5].

2.3.1 Digitalna budućnost mjeriteljstva

Dana 30. ožujka 2022. godine, BIPM, Međunarodna organizacija za pravno mjeriteljstvo (OIML), Međunarodna konfederacija za mjerenje (IMEKO), Međunarodno vijeće za znanost (ISC) i njegov Odbor za podatke (CODATA) potpisali su Zajedničku izjavu namjere o digitalnoj transformaciji globalne znanstvene i kvalitativne infrastrukture. Zajednička izjava pružila je mrežu organizacijama koje su potpisale izjavu da zajedno podrže razvoj, implementaciju i promociju „SI-Digital“ kao sastavnog dijela opsežne digitalne modernizacije globalne znanstvene i kvalitativne infrastrukture [6].

Primarni cilj Međunarodnog odbora za težine i mjere (CIPM) i njegove radne skupine za digitalni SI (CIPM-TG-DSI) je da osmisle i implementiraju globalni, dosljedan i siguran format razmjene podataka temeljen na Međunarodnom sustavu jedinica (SI) i Zajednička izjava o namjeri digitalne transformacije samo je još jedan korak u tom smjeru. Profesor J. Ullrich, predsjednik CIPM-TG-DSI, izjavio je da potpisivanje zajedničke izjave predstavlja ključni trenutak u transformaciji iznimno uspješne međunarodne znanstvene i kvalitativne infrastrukture, pri čemu SI služi kao temeljni stup povjerenja u digitalno doba [6].

2.4 Mjerne jedinice i SI Sustav

Međunarodni sustav jedinica (SI sustav) je sustav mjernih jedinica koji je globalno prihvaćen i čija je uporaba zakonom propisana u većini država svijeta. SI sustav se sastoji od sedam osnovnih koje možemo vidjeti u tablici 2.1 i više izvedenih jedinica koje se dobiju kombiniranjem osnovnih [7].

Tablica.2.1 SI mjerne jedinice

Naziv	Oznaka	Veličina
kilogram	kg	Masa
metar	m	Duljina
sekunda	s	vrijeme
amper	A	Jakost električne struje
kelvin	K	Termodinamička temperatura
Mol	mol	Količina tvari
kandela	cd	Svjetlosna jakost

Važnost SI sustava u kalibraciji je ključna jer osigurava jednoznačno i dosljedno izražavanje mjerenih količina, što omogućava točne i usporedive rezultate kalibracije širom svijeta. Korištenje SI jedinica osigurava standardizaciju u kalibracijskim postupcima, te se na taj način dolazi do pouzdanih i točnih mjerenja [8].

Razmjena podataka i sami podaci od iznimne su važnosti za automatizirane procese, i s obzirom da globalna industrija proizvodnje i samim time mnoge druge teže što većoj automatizaciji došlo je do naglog razvoja novih, vrlo kompleksnih tehnologija kao što su umjetna inteligencija i strojno učenje [8].

Samim time, točnost mjernih jedinica postaje još značajnija jer digitalizacija omogućava preciznije i pouzdanija mjerenja, a digitalna transformacija SI sustava u će otvoriti nove prilike i mogućnosti u znanosti i tehnologiji [8].

Međunarodni odbor za utege i mjere (CIPM) trenutačno preuzima vodstvo u transformaciji SI-ja u digitalizirani svijet putem svoje Radne skupine za "Digitalni SI" [8].

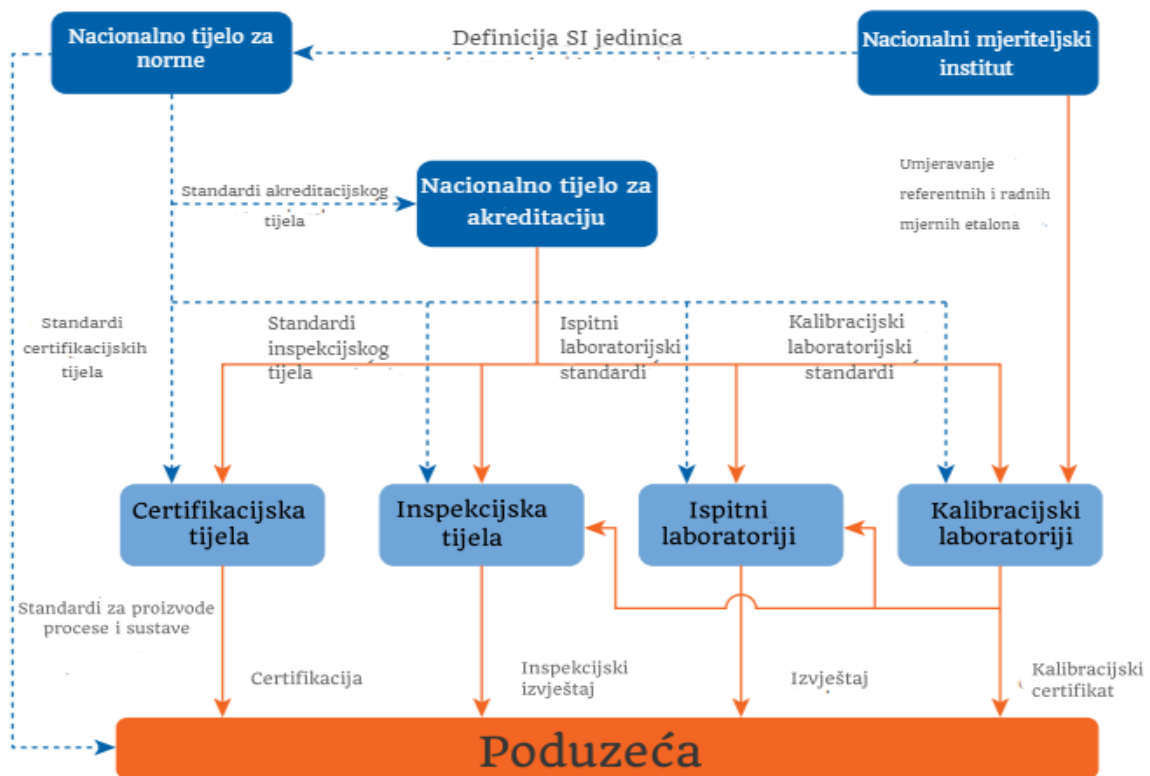
Digitalni SI je primjena međunarodnog sustava jedinica (SI) u kontekstu digitalnih tehnologija i informacija. U analizi podataka i znanstvenim istraživanjima, precizno izražavanje digitalnih

mjerenja u okviru SI jedinica omogućuje znanstvenicima da uspoređuju i analiziraju na temelju podataka iz različitih izvora. Ovaj pristup također prati razvoj tehnologije i dopušta uvođenje novih jedinica kako bi se bolje opisale napredne tehnologije [8].

3. KALIBRACIJA, INSTITUCIJE I KVALITETA

3.1 Infrastruktura kvalitete

Infrastruktura kvalitete države igra ključnu ulogu u pružanju javnih usluga i zaštiti prava potrošača. Ovaj koncept je javno iznesen 2007. godine u izvještaju Svjetske banke [9].



Slika 3.1. Nacionalna struktura kvalitete [9]

Slika 3.1 predstavlja dijagram koji napravljen na temelju publikacije Svjetske banke iz 2007. godine. Dijagram je prilagođen suvremenom kontekstu, a ključno pitanje jest: Kako se može pružiti pomoć korisnicima i široj javnosti kroz usavršavanje mjeriteljstva [9].

Tri temelja nacionalne infrastrukture kvalitete:

Nacionalni instituti za mjeriteljstvo: Ovi instituti pružaju definicije za jedinice koje su potrebne u standardima. Oni podržavaju tijela za standardizaciju.

Nacionalna tijela za norme Ona stvaraju norme za različita radna područja. Te se norme potom predaju nacionalnim tijelima za akreditaciju i također se dijele s tvrtkama.

Nacionalna tijela za akreditaciju: Ova tijela akreditiraju laboratorije, inspeksijske i certifikacijske entitete. Ona osiguravaju održavanje visokog stupnja kvalitete .

Zbog tih temelja i postoje laboratoriji za kalibraciju i testiranje, što je vrlo bitno za institucije koje se bave proizvodnjom i drugim aktivnostima koje zahtijevaju određenu kvalitetu i standardizaciju. Ovako se osiguravaju regulacije i norme koje omogućuju dosljednost, pouzdanost i usklađenost proizvoda što osigurava kvalitetu za krajnjeg potrošača [9,10].

Nacionalni mjeriteljski instituti pružaju tijelima za normiranje definicije jedinica potrebnih za standarde. Nacionalna tijela za standardizaciju trebaju pružiti nacionalnim tijelima za akreditaciju standarde za njihov rad. Istovremeno, nacionalna tijela za normiranje prenose relevantne standarde poduzećima kao i tijelima koja su zastupljena u svijetlo plavoj boji na dijagramu (Slika.3.1) [9,10].

Nacionalna tijela za akreditaciju potom akreditiraju laboratorije za kalibraciju i testiranje, tijela za inspekciju i tijela za certifikaciju. Na taj način osiguravaju visok standard kvalitete i osiguravaju povratnu vezu mjera i stopa prema nacionalnim standardima [9,10].

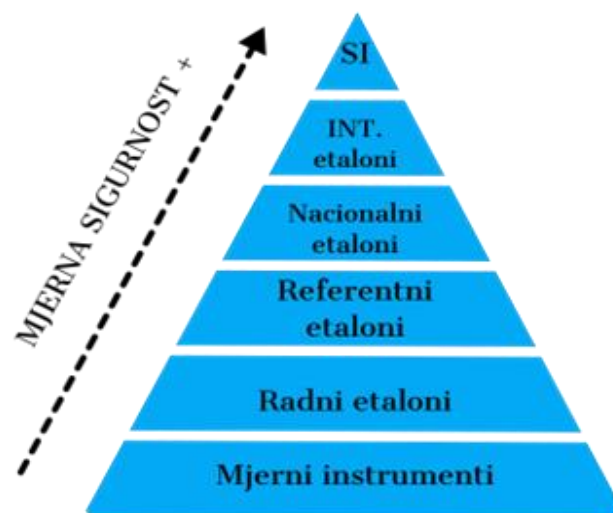
Nacionalni mjeriteljski instituti dodjeljuju kalibracijske certifikate laboratorijima za kalibraciju. Ti laboratoriji zatim daju svoje kalibracijske certifikate poduzećima, laboratorijima za testiranje i laboratorijima za inspekciju. Sva četiri instituta koja su označena svijetlo plavom bojom tada pružaju usluge poduzećima. Ta poduzeća su tada sposobna postići visoku kvalitetu proizvoda. To rezultira povećanjem sigurnosti a istovremeno se štede resursi i smanjuje onečišćenje okoliša [9,10].

Ukoliko se razmotri utjecaj digitalizacije, može se doći do zaključka da kada se jedinice prenose digitalno to znatno smanjuje šanse za pogrešku pri prijenosu i tako poboljšava rezultate i sveukupnu kvalitetu infrastrukture. Tu bi ulogu digitalni kalibracijski certifikat mogao učinkovito preuzeti [10].

Upotrebom DCC-ova i zahvaljujući činjenici da će biti moguće podatke prenositi uz minimalnu mogućnost grešaka, postići će se značajan porast kvalitete eliminiranjem problema prijenosa [10].

Također, prednost je što se putem DCC-ova mogu prenositi veće količine podataka, te što se kalibracijske informacije mogu integrirati u digitalnog blizanaca na automatiziran i siguran način [10].

3.2 Uloga kalibracije



Slika 3.2. Prikaz kalibracijske piramide [9]

Kalibracija je usporedba između standardne vrijednosti poznate točnosti i izmjerene vrijednosti dobivene mjerenjem. Cilj postupka kalibracije je osigurati kvalitetu i točnost mjerenja koja se provodi mjernim instrumentima [11].

Kalibracija mjernih instrumenata osigurava da su ona precizna i da su mjerenja provedena sa istim pouzdanom. Ona je temeljni element distribuiranih proizvodnih procesa koji su česti u suvremenoj industriji. Bez provedene kalibracije, nije moguće donijeti pouzdanu ocjenu o kvaliteti proizvoda [9].

Kalibracija se temelji na standardima mjerenja koje uspostavljaju Nacionalni mjeriteljski instituti. Ti standardi su uklopljeni u opći sustav mjernih jedinica (SI sustav) [12].

Dosljednost rezultata mjerenja osiguravaju nacionalni mjeriteljski instituti , a preciznost globalno se postiže međunarodnom suradnjom između država.

Struktura kalibracijske piramide prikazuje (Slika.3.2) da se sigurnost mjerenja postupno povećava kako se ide od dna do vrha piramide, čime sami vrh predstavlja SI vrijednost mjerne jedinice koja je referentna za sva ostala mjerenja [9].

3.2 Metode kalibracije mjernih instrumenata

Električni instrumenti (elektrotehnička kalibracija):

Tu se kalibriraju električni instrumenti kao na primjer multi-metri i osciloskopi. Koriste se referentni izvori napona i struje koji su poznati i s njima se uspoređuje ispravnost mjerenja. Na temelju usporedbe s referentnim izvorima, utvrđuje se koliko su rezultati mjernih instrumenata točni i pouzdani [9,10].

Termometri (termička kalibracija):

Kalibracija termometara obično se provodi pomoću stabilnih termalnih izvora. Ti izvori mogu generirati poznate temperature koje se koriste za provjeru točnosti termometara na različitim točkama temperaturnog raspona. Termometri se umjeravaju na referentne temperature kako bi se osigurala dosljedna i pouzdana preciznost mjerenja [13,14].

Masa i težina (kalibracija vage):

Kalibracija vage uključuje korištenje kalibracijskih utega koji imaju poznate mase. Vage se provjeravaju na različitim mjernim točkama koristeći te utege kako bi se osigurala točnost mjerenja težine. Kalibracija vage prilagođava skaliranje vage kako bi se rezultati što pouzdanije podudarali s referentnim masama [13,14].

Instrumenti za mjerenje dimenzija (kalibracija mjerila duljine):

Ovdje se kalibriraju instrumenti kao što su mikrometri i pomična mjerila usporedbom sa etalonom. Te referentne duljine su poznate i omogućuju provjeru preciznosti i točnosti mjerila, mjerne nesigurnosti za kalibraciju ovakvih instrumenata za mjerenje duljine obično iznose između 0,001 mm (milimetara) i 0,005 mm. Određuje se da li su rezultati unutar prihvatljivih granica odstupanja [13,14].

Optički instrumenti (optička kalibracija):

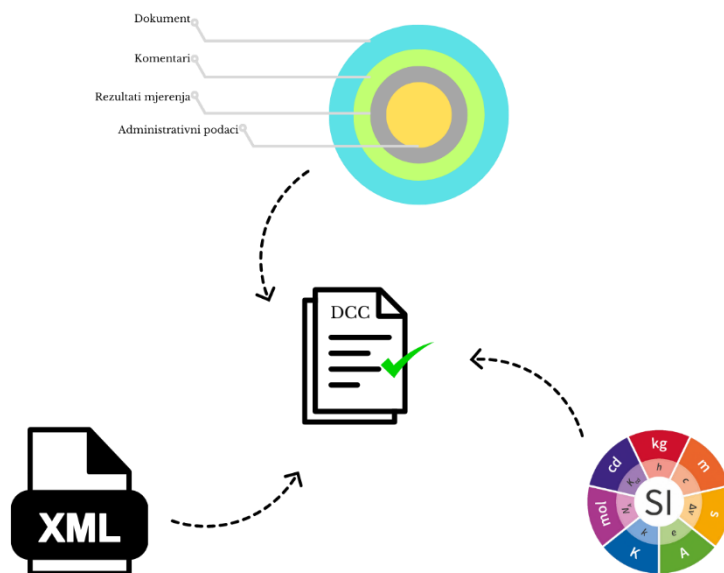
Kalibracija optičkih instrumenata, kao što su laserski niveliri ili teodoliti, obuhvaća uporabu kalibracijskih mreža ili referentnih optičkih instrumenata. Ti referentni instrumenti generiraju precizne optičke uzorke ili mjere kutova kako bi se provjerila ispravnost i preciznost optičkih uređaja [13,14].

4.DIGITALNI KALIBRACIJSKI CERTIFIKAT

4.1 Struktura DCC-a

Digitalni kalibracijski certifikat (DCC) je dokument u digitalnom obliku koji služi kao zamjena za analogni kalibracijski certifikat. Na njemu se nalaze svi kalibracijski podaci u strojno čitljivom obliku, što znači da se informacije kao i potvrda mogu prenijeti izravno i automatski svim digitalno podržanim procesima [15].

DCC predstavlja značajan napredak u odnosu na tradicionalni analogni kalibracijski certifikat, koji se sastojao od tiskanih rezultata mjerenja na papiru. Za razliku od jednostavne pretvorbe u digitalne formate poput PDF-a, DCC nudi više od informacija čitljivih ljudima. Uključuje strukturirane podatke koje strojevi mogu učinkovito interpretirati. To omogućuje DCC-u da pohranjuje i prenosi značajnu količinu podataka na precizniji i organiziraniji način nego što je to dosad bilo moguće [15].



Slika.4.1 Struktura Digitalnog Kalibracijskog Certifikata [15]

Na slici 4.1 možemo vidjeti temeljnu strukturu DCC-a. Prvi temelj digitalnog certifikata za kalibraciju (DCC) odnosi se na norme i standarde, koji su primjenjivi kako na sam DCC tako i na analogni certifikat za kalibraciju. DCC je izgrađen na temeljima digitalnog SI (Sustav međunarodnih jedinica). Izvještaj o rezultatima DCC-a pridržava se specifikacija navedenih u ISO 70-025 [15].

Drugi temelj DCC-a je sama struktura DCC-a koja je hijerarhijski organizirana. Početni dio ili jezgra koji je na slici 4.1 u žutoj boji obuhvaća administrativne podatke, slične prvom dijelu analognog certifikata za kalibraciju. Ovdje se bilježe važni podaci, kao što su kalibrirani uređaj, osoblje koje je obavilo kalibraciju i datum kalibracije. Svi ovi podaci strogo su propisani, uključujući rezultate kalibracije koliko god je to moguće [15,16].

Drugi prsten u sivoj boji pruža sveobuhvatan prikaz rezultata mjerenja, procjena i kalibracijskih pojedinosti, sve sadržano unutar elementa „rezultati mjerenja“. Svaka zabilježena vrijednost dosljedno je povezana s odgovarajućom jedinicom, s korištenjem SI jedinica tijekom cijelog dokumenta [15,16].

Treći prsten u zelenoj boji uključuje područje nazvano "komentari", gdje se mogu pohraniti nepropisani komentari koji nisu izravno povezani s kalibracijom. Ovo područje može uključivati informacije o obračunu usluga kalibracije, kao što je primjerice uključivanje računa za kalibraciju [15,16].

Četvrti prsten u plavoj boji je posvećen dijelovima DCC-a koji su čitljivi ljudima, omogućujući individualno prilagođavanje. Osim SI jedinica, ovdje se mogu prikazati i druge jedinice, poput milimetara žive i paskala za mjerenje krvnog tlaka u medicini [15,16].

Treći temelj DCC-a je XML, međunarodno prepoznati i široko korišteni oblik za razmjenu podataka. XML se već oko 20 godina koristi i smatra se pouzdanim. Olakšava upravljanje dokumentima i omogućava prijenos podataka u druge formate za razmjenu poput JSON-a ili MQTT-a. XML također može uključiti kriptografske potpise za poboljšanu sigurnost, čime se osigurava da sadržaj ostane nepromijenjen [15,16].

Kada se ova tri temelja - norme i standardi, digitalni SI i XML kombiniraju, postiže se sveobuhvatni i prilagodljivi digitalni certifikat za kalibraciju (DCC) [15].

4.2 Hijerarhijska struktura DCC-a

Opća struktura DCC-a podijeljena je na četiri područja:

- Administrativni podaci (regulirano područje)
- Rezultati mjerenja (djelomično regulirano područje)
- Komentari (neregulirano područje)
- Dokument (dodatno područje)

Uz to XML se pruža kao format podataka s odgovarajućim shematskim datotekama [15].

4.2.1 Administrativni podaci

Segment označen kao `dcc:administrativeData` sadrži ključne administrativne podatke, koji obuhvaćaju različite aspekte kalibracijskog objekta, kao što su proizvođač, klijent, kalibracijska oznaka i više. Ove su informacije slične uvodnom dijelu koji se nalazi u tradicionalnim analognim kalibracijskim certifikatima i dosljedne su u svim DCC-ovima [16,17].

Ovo su svi obavezni elementi koji moraju biti popunjeni prilikom stvaranja DCC-a:

- **podaci o softveru (`dcc:dccSoftware`):** Ova se komponenta odnosi na informacije o softveru koji je korišten za izradu digitalnog kalibracijskog certifikata (DCC). Detalji o verziji softvera i postavkama pohranjeni su ovdje. Softver koji je korišten u svrhu izrade DCC-a za primjer u ovome radu je GEMMIMEG 1.4.1.
- **temeljni detalji kalibracije (`dcc:coreData`):** U okviru podređenih elemenata `dcc:coreData`, smješteni su osnovni detalji o kalibraciji. Ovi detalji uključuju informacije kao što su datum kalibracije, metode korištene za umjeravanje te informacije o referentnim standardima koji su upotrijebljeni.
- **identifikacija predmeta umjeravanja (`dcc:items`):** Ovaj element omogućava jasnu identifikaciju i opis predmeta koji su podvrgnuti umjeravanju. To uključuje informacije o svakom predmetu, stanju u kojem se nalazi te njegovoj specifičnoj svrsi.
- **podaci o kalibracijskom laboratoriju (`dcc:calibrationLaboratory`):** Ova komponenta pruža ključne podatke za identifikaciju kalibracijskog laboratorija. To obuhvaća ime laboratorija, adresu, kontakt informacije te sve relevantne akreditacije ili certifikate.

- **odgovorne osobe (dcc:respPerson):** Ovdje su navedeni podaci osoba koje su odgovorne za odobrenje i potvrdu izvješća o kalibraciji.
- **podaci o kupcu (dcc:contactType):** Ovaj element pruža podatke o klijentu koji zahtijeva kalibraciju. To uključuje ime, adresu, informacije za kontakt i sve relevantne pojedinosti o korisniku usluge kalibracije.

Primjer.1.1

```

1. <dcc:coreData>
2. <dcc:countryCodeISO3166_1>CH</dcc:countryCodeISO3166_1>
3. <dcc:usedLangCodeISO639_1>en</dcc:usedLangCodeISO639_1>
4. <dcc:usedLangCodeISO639_1>de</dcc:usedLangCodeISO639_1>
5. <dcc:usedLangCodeISO639_1>fr</dcc:usedLangCodeISO639_1>
6. <dcc:mandatoryLangCodeISO639_1>nl</dcc:mandatoryLangCodeISO639_1>
7. <dcc:mandatoryLangCodeISO639_1>en</dcc:mandatoryLangCodeISO639_1>
8. <dcc:uniqueIdentifier>1199</dcc:uniqueIdentifier>
9. <dcc:receiptDate>2015-09-10</dcc:receiptDate>
10. <dcc:beginPerformanceDate>20015-07-25</dcc:beginPerformanceDate>
11. <dcc:endPerformanceDate>20015-07-27</dcc:endPerformanceDate>
12. <dcc:performanceLocation>customer</dcc:performanceLocation>
13. </dcc:coreData>

```

U primjeru 1.1 priložen je izvedeni XML kod elementa dcc:coreData digitalnog kalibracijskog certifikata. Na početku samog koda, između elementa dcc:countryCodeISO3166, jasno se vidi da je zemlja porijekla certifikata Švicarska (CH), označena sa dvama velikim tiskanim slovima.

Također, u retcima 3. - 5., pod elementom dcc:countryCodeISO3166, naznačeni su jezici koji su korišteni prilikom izrade DCC-a: Engleski (en), Njemački (de) i Francuski (fr). To se zaključuje iz kratica koje su unutar elemenata omeđenih s ">"<" znakovima.

U slučaju nejasnoća, valjani jezici koji se mogu koristiti su Nizozemski (nl) i Engleski (en), što se može primijetiti kod elementa dcc:mandatoryLangCodeISO639.

Jedinstveni identifikacijski broj (broj kalibracijskog certifikata) je "1199", a kalibracija je provedena na lokaciji kupca od 25. srpnja 2015. do 27. srpnja 2015. godine.

4.2.2 Mjerni rezultati

Unutar elementa "dcc:measurementResult" smješteni su svi rezultati provedenih mjerenja, procjena te relevantne informacije povezane s kalibracijom. Unosi u ovom području su uvijek povezani sa SI-jedinicom [16,17].

Od obaveznih elemenata koji se moraju unijeti možemo navesti:

- **ime predmeta kalibracije (dcc:name):** U ovom elementu se unosi ime kalibriranog instrumenta.
- **korištene metode (dcc:usedMethods):** Mjerna metoda koja se koristila za kalibraciju unosi se ovaj element.
- **utjecajni faktori (dcc:influenceConditions):** U ovom elementu unose se utjecajni faktori, odnosno utjecajne veličine. To su većinom okolišni parametri koji utječu na mjerenja. Ovdje se također mogu pohraniti rezultati mjerenja koji više nisu aktualni zbog prilagodbe ili popravka.
- **rezultati (dcc:results):** Ovdje se unose rezultati mjerenja.

Vrlo je bitno opet naglasiti važnost korištenja SI formata podataka za komunikaciju između strojeva. Taj format je univerzalno definiran i jedinstven. Korištenje jasno definiranih SI jedinica jedini je način za izbjegavanje nesporazuma. Nepridržavanje ovog načela može dovesti do velikih troškova i potencijalno ugroziti živote i zdravlje [15].

4.2.3 Komentari

Unutar elementa dcc:comment može se nalaziti neograničeni broj opcionalnih datoteka i komentara, kao što su tablice i grafike, a oni su pohranjeni u različitim formatima pojedinačnih datoteka.

Ovo područje "komentara" pruža pojedinačne informacije o postupku mjerenja, dodajući dodatne detalje o rezultatima mjerenja. Korisnik ima slobodu koristiti ovo područje po vlastitom izboru. Na primjer, može sadržavati grafove mjernih krivulja, video ili audio dokumente, ili pojedinačne nizove mjerenja u različitim formatima datoteka.

Drugi mogući način korištenja je prijenos troškovne analize u pdf formatu za provedbu kalibracijskih aktivnosti.

Sve te datoteke pohranjene su i kodirane u base64 formatu unutar ovog područja DCC-a. To omogućuje da binarni podaci budu preneseni putem tekstualnih kanala, kao što su e-mailovi ili URL-ovi, a da pritom ostaju nepromijenjeni.

Kodiranje u base64 osigurava siguran prijenos osjetljivih podataka i sprječava njihovo narušavanje ili oštećenje tijekom prijenosa [16,17].

4.2.4 Dokument

DCC dokument je element unutar DCC-a u kojem se može pohraniti jedan dokument koji predstavlja rezultate kalibracije u obliku koji je čitljiv ljudima. Taj dokument obično uključuje kalibracijski certifikat i može biti spremljen u formatima kao što je PDF. To omogućuje digitalnu reprezentaciju prethodno izdanog analognog kalibracijskog certifikata koji je klijentu bio pružen u papirnatom obliku nakon što je kalibracijski pružatelj usluge ispunio naručenu kalibraciju.

Prednost korištenja base64 enkripcije je da omogućuje pohranu PDF-A dokumenta zajedno s drugim relevantnim informacijama unutar XML datoteke.

Autori DCC-a predviđaju da će HTML5 postati široko korišten format za prezentacije koje su razumljive ljudima. Taj format nudi fleksibilnost jer nije vezan uz određeni format, omogućavajući jednostavno prikazivanje većih tablica i veću učinkovitost za korisnike [16].

4.3 Prednosti DCC-a

Čitljiv ljudima

Sve administrativne informacije kao i mjerni rezultati mogu se pročitati na tzv. ljudsko čitljivom prikazu, u poglavlju 6. možemo vidjeti kako to izgleda. Spoj ljudski čitljivog i strojno čitljivog formata eliminira potrebu za ispisivanjem podataka na papiru, što pojednostavljuje procese i smanjuje mogućnost grešaka prilikom ručnog unosa podataka [15,16].

Eliminacija prekida u medijima

"Prekidi medija" u kalibraciji odnose se na prekide između različitih vrsta medija koji pohranjuju ili prenose informacije. U prošlosti su podaci i nalazi kalibracije bili dokumentirani na papirnatim certifikatima. Međutim, integracija tih podataka u digitalne sustave ili baze podataka nalagala je ručni unos ili skeniranje podataka, što je dovodilo do pogrešaka ili kašnjenja. "mediji" se odnose na različite načine ili kanale koji se koriste za prijenos, pohranu ili komunikaciju informacija [15,16].

Efikasan protok podataka značajna je prednost DCC-a, posebno u suvremenim kalibracijskim laboratorijima koji koriste IT sustave za rukovanje mjerenjima i podacima. DCC uklanja potrebu za pretvaranjem podataka iz papirnatih u digitalne formate i također omogućuje da se koristi na više lokacija istovremeno [15,16].

Standardizacija i smanjenje stope grešaka

DCC se pridržava globalnog standarda koji jasno definira položaj i nazivlje informacija. Ovaj standardizirani pristup značajno smanjuje greške tijekom obrade i tumačenja podataka. Takva standardizacija osigurava da se podaci iz različitih laboratorija za kalibraciju i izvora mogu lako integrirati, promičući interoperabilnost i jednostavnost razmjene podataka [15,16].

Usklađenost s industrijskim normama i standardima

DCC se u potpunosti pridržava postojećih normi i standarda, uključujući industrijski specifične okvire kao što su RAMI 4.0 (referentni arhitektonski model industrije 4.0) i zahtjevi Interneta stvari (IoT). To omogućuje lagano integriranje u aplikacije industrije 4.0 i podržava različite aspekte sigurnosti, čineći DCC pouzdanim izborom za industrije koje zahtijevaju usklađenost i integritet podataka [15,16].

Dugoročna dostupnost i integritet podataka

Integritet i autentičnost podataka su ključni aspekti kalibracijskih certifikata. DCC koristi digitalne potpise kako bi osigurao dugoročnu dostupnost i nepromijenjeni integritet kalibracijskih informacija. Korištenje međunarodno priznatih standarda i protokola dodatno ojačava vjerodostojnost i pouzdanost DCC-a [15,16].

Brza implementacija i globalno usvajanje

Bliska suradnja mjeriteljske zajednice i nacionalnih mjeriteljskih instituta omogućuje brzu implementaciju DCC standarda diljem svijeta. Za razliku od dugotrajnog procesa poticanja standardizacije putem međunarodnih tijela poput ISO-a, usvajanje DCC-a je brže i može odgovoriti na zahtjeve industrija promptno. Uvođenjem DCC standarda, otvara se put ka mogućem usklađivanju s ISO standardom u budućnosti [15,16].

Ekonomičnost i učinkovitost procesa

Prijelaz s analognih na digitalne procese kalibracije zahtijeva relativno niske napore migracije, što ga čini ekonomski učinkovitim. Tvrtnke mogu brzo povratiti svoje investicijske resurse zbog veće učinkovitosti procesa i poboljšanog upravljanja podacima koje postiže usvajanje DCC-a. Nadalje, uvođenje DCC-a dovodi do značajnog povećanja cjelokupne kvalitete, što pozitivno utječe na pouzdanost i performanse proizvoda [15,16].

5. INTEGRACIJA I PRIMJENA DIGITALNIH KALIBRACIJSKIH CERTIFIKATA

5.1 Univerzalni zahtjevi i rješenja za digitalni kalibracijski certifikat

U ovom poglavlju je izloženo 15 točaka koje su osmišljene unutar okvira projekta „NPR Smartcom.“. Središnji cilj tog projekta je razviti i osigurati osnovu za sigurnu, nedvosmislenu i jedinstvenu razmjenu podataka u svim komunikacijskim mrežama, gdje se koriste mjeriteljski podaci. Točke predstavljaju minimalne zahtjeve koji su potrebni da bi se mogli koristiti digitalni kalibracijski certifikati [14,12].

1. **stabilan format podataka:** Osiguranje stabilnog formata podataka kroz upotrebu XML-a omogućava dugotrajnu dostupnost DCC-a, osiguravajući da informacije ostaju čitljive i relevantne tijekom vremena [15,18].
2. **očuvanje čitljivosti, integriteta i autentičnosti:** Kombinacija kriptografskih potpisa osigurava da svaka promjena ili manipulacija podacima unutar DCC-a bude odmah uočljiva, čime se osigurava povjerenje i vjerodostojnost informacija [15,18].
3. **dugotrajna dostupnost informacija:** Uvođenje stabilnog formata podataka unutar profesionalnog IT okruženja osigurava da se DCC-ovi mogu čuvati i razmjenjivati dugi niz godina, omogućavajući pouzdano praćenje i dokumentaciju [15,18].
4. **kvalificirani napredni elektronički potpisi:** Kvalificirani elektronički potpisi pružaju zakonsku vjerodostojnost i osiguravaju da je svaki DCC povezan s ovlaštenim potpisnikom, dodatno jačajući njegovu pouzdanost [15,18].
5. **provjera valjanosti korisničkog certifikata:** Temeljita provjera valjanosti korisničkog certifikata u trenutku potpisa osigurava da se DCC izdaje isključivo od strane ovlaštene osobe ili organizacije [15,18].
6. **ovlašteni postupci potpisa:** Upotreba ovlaštenih postupaka potpisa osigurava jasnoću i povjerenje u identitet potpisnika, pružajući pravnu sigurnost i valjanost dokumenta [15,18].

7. **međusobno priznanje potpisa EU i globalno:** Zahvaljujući eIDAS direktivi (direktiva o distribuciji osiguranja), elektronički potpisi su priznati na razini EU, što olakšava međunarodnu razmjenu dokumenata unutar Europske unije [15,18].
8. **usklađenost s politikama privatnosti:** Zbog stroge politike privatnosti podaci koji su unutar samog DCC-a mogu se smatrati sigurnima , jer se s njima postupa u skladu sa najvišim standardima privatnosti [15,18].
9. **interoperabilnost i promjene u formatu:** Interoperabilnost omogućava laku razmjenu podatka među sustavima, a fleksibilnost pruža prilagodljivost u promjeni formata ukoliko je to potrebno [15,18].
10. **korisnička usklađenost i sigurnost:** DCC je jednostavan za korištenje i način na koji je osmišljen omogućava da ga ljudi bez tehničkog znanja i obuke (kao npr. studenti) mogu koristiti [15,18].
11. **upravljivost podataka i validacija procesa:** Upravljivost podataka i sposobnost provođenja valjanja procesa unutar DCC-a pomaže osigurati transparentnost i dosljednost u svakoj fazi [15,18].
12. **validacija putem XML-a:** Kroz provjeru podataka putem XML sheme, osigurava se da svaki DCC ispunjava tražene standarde i pravila [15,18].
13. **skalabilnost i modularnost:** Fleksibilnost DCC-a omogućava da se prilagodi različitim potrebama, omogućujući povezivanje prethodnih verzija kako bi se pratili povijesni podaci [15,18].
14. **opoziv digitalnih certifikata:** eIDAS direktiva, koja se primjenjuje diljem Europe, trenutno ne nudi prijedlog za ovaj problem, no organizacije poput PTB-a razrađuju načine na koje će ovaj problem biti riješen [15,18].
15. **sigurnost dizajna i enkripcija:** Integritet DCC-a osigurava se sigurnim dizajnom i enkripcijom, čime se postiže zaštita od potencijalnih prijetnji i neovlaštenog pristupa podacima [15,18].

5.2 Važnost jasne definicije ne SI-jedinica i njihovo rukovanje

Prije nego što se razmotri kako se nositi s ne-SI jedinicama unutar DCC sustava, bitno je shvatiti što one zapravo znače i zašto su uopće korisne. Ne-SI jedinice su mjerni sustavi koji se ne drže službenog međunarodnog sustava jedinica (SI) [9], ali se i dalje koriste i imaju svoje mjesto u specifičnim industrijama i tradiciji. Na primjer, razmotrimo mjerenje krvnog tlaka u medicini - koristi se izraz u milimetrima žive, što je klasična ne-SI jedinica. Takva jedinica se i dalje koristi, unatoč sveprisutnosti SI sustava u mnogim drugim područjima [15].

$$1\text{mmHg} = 133.322387415\text{ Pa}$$

Međutim, miješanje milimetara žive i hektopaskala je vrlo opasno jer je faktor konverzije otprilike $\frac{3}{4}$. Pogreška u ovom slučaju može biti opasna po život.

Stoga je ključno osigurati jasnoću i preciznost u njihovoj definiciji. Zbog mogućnosti potencijalno opasnih situacija, Ne-SI jedinice mogu se koristiti samo ako su precizno definirane [16].

Da bismo integrirali ne-SI jedinice za čitljiv prikaz digitalnog kalibracijskog certifikata (DCC), potrebne su dvije stvari:

1. Definicija ne-SI jedinice, uključujući naziv i simbol.
2. Referenca koja definira ne-SI jedinicu temeljenu na SI jedinicama.

Ovdje je naveden primjer ne-SI jedinice koja je važna za gospodarstvo:

Za mjerenje gustoće šećera u vinskom soku često se koristi "grad oechsle" kao jedinica, nazvana je po njemačkom znanstveniku Ferdinandu Oechsleu koji je razvio oechsleovu ljestvicu. Ova jedinica se često naziva i "grad axler" ili jednostavno "grad". "Grad" je ne-SI za izražavanje šećera u moštu (soku) prije fermentacije [15].

Gustoća šećera u vinskom soku izražava se u gradovima, gdje 1 grad predstavlja 1 gram šećera otopljenog u 100 ml mošta. Što je više šećera otopljenog u moštu, to je viši broj gradi. Na ovaj način vinogradari određuju razinu zrelosti grožđa i procjenjuju potencijalni sadržaj alkohola u budućem vinu.

Primjer 5.2

U primjeru je prikazana stara njemačka jedinica "Stupanj Öchsle".

Jedinica se koristi za vina koja se fermentiraju.

Gustoća u Oechsleima = Gustoća u kg/m³ - 1000;

Definicija Stupanj Öchsle-a; ovdje: globalna definicija:

- 1.) <dcc:statements>
- 2.) <dcc:statement id="Stupanj Öchsle-Definicija">
- 3.) <dcc:countryCode ISO3166_1>HR</dcc:countryCode ISO3166_1>
- 4.) <dcc:norm>DIN 1301-3</dcc:norm>
- 5.) <dcc:reference> „Jedinice - Dio 3:
Pretvorba nesistemskih jedinica u SI-jedinice" (2018) </dcc:reference>
- 6.) <dcc:nonSIDefinition>
- 7.) <dcc:content lang="hr">Stupanj Öchsle</dcc:content>
- 8.) </dcc:nonSIDefinition>
- 9.) <dcc:nonSIUnit>
- 10.) <dcc:content lang="hr">°Oechsle</dcc:content>
- 11.) </dcc:nonSIUnit>
- 12.) </dcc:statement>
- 13.) </dcc:statements>

Na primjeru 5.2 možemo vidjeti sljedeće:

<dcc:statement id="Stupanj Öchsle-Definicija">: Ova linija označava početak definicije mjernog izraza naziva "Stupanj Öchsle". "id" atribut identificira ovu definiciju, omogućujući jedinstvenu referencu na nju.

<dcc:countryCode ISO3166_1>HR</dcc:countryCode ISO3166_1>: Ova linija sadrži kod zemlje "HR", što predstavlja Hrvatsku, i povezuje ga s ovom definicijom mjernog izraza. Taj kod zemlje odgovara standardu ISO 3166-1.

<dcc:norm>DIN 1301-3</dcc:norm>: Ovdje je navedena norma "DIN 1301-3" koja se odnosi na ovu mjernu jedinicu. Norma je standard koji definira karakteristike i upotrebu ove mjernice.

</dcc:reference>: Ova linija pruža referencu na izvor informacija o ovoj mjernoj jedinici. Referenca se odnosi na „DIN 1301-3:2018-02 Einheiten - Teil 3: Umrechnung von Nicht-SI-Einheiten (2018)“ [15].

<dcc:content lang="hr">Stupanj Öchsle</dcc:content>: Ovdje je naveden tekstualni sadržaj definicije mjernog izraza "Stupanj Öchsle" na hrvatskom jeziku.

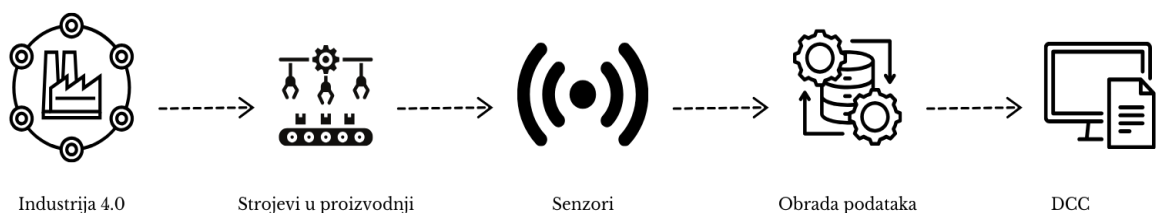
5.3 Uloga DCC-a u Industriji 4.0

Industrija 4.0

Industrija 4.0 može se definirati kao integracija inteligentnih digitalnih tehnologija u proizvodne i industrijske procese. Obuhvaća integraciju inteligentnih digitalnih tehnologija poput IIoT-a (industrijskog interneta stvari), računalstva u oblaku, umjetne inteligencije, strojnog učenja i aditivne proizvodnje. Pojam industrija 4.0 označava četvrtu industrijsku revoluciju koja se definira kao nova razina organizacije i kontrole nad cjelokupnim lancem proizvodnog ciklusa [19].

Glavni cilj industrije 4.0 je povećati produktivnost, učinkovitost i fleksibilnost te omogućiti inteligentnije donošenje odluka u proizvodnom procesu [19].

Tvornice i proizvodnja



Slika 5.1 Tok proizvodnje u Industriji 4.0 [9]

Slika 5.1 ilustrira pametnu tvornicu koja predstavlja industriju 4.0. Ove tvornice sadrže automatizirane strojeve opremljene senzorima za prikupljanje podataka u stvarnom vremenu.

DCC se koristi za upravljanje digitalnim mjernim komponentama koje se koriste u proizvodnim procesima i osigurava da se informacije o kalibraciji integriraju u digitalnu infrastrukturu tvornice. Te iste informacije se dijele i koriste u različitim fazama proizvodnje i upravljanja procesima unutar tvornice .

To uključuje 3 procesa:

Planiranje poduzeća : Informacije o kalibraciji omogućuju bolje planiranje proces proizvodnje i korištenje resursa za učinkovitiju proizvodnju.

Puštanje u pogon: Senzori su ispravno kalibrirani , točnost u proizvodnji od samog početka.

Upravljanje kvalitetom: Mogu uočiti ako nešto nije uredu sa sensorima i na vrijeme to ispraviti, održava kvalitetu proizvodnje.

Trenutačno se radi na tome da se olakša pristup DCC sadržaju i integraciji sa digitalnom proizvodnjom u sklopu GEMIMEG-II projekta [20], radi se na razvoju „open-source“ softvera poput (PyDCC) u programskom jeziku python. Ovo omogućava korisnicima da jednostavno koriste DCC na različitim uređajima i integriraju ga s ERP i PLM sustavima [9,19].

5.4 Digitalni blizanac

Digitalni blizanac virtualni je prikaz fizičkog objekta, procesa ili sustava. Može se reći da je to digitalni pandan koji prezentira stvarni objekt i njegovo ponašanje u virtualnom okruženju. Digitalni blizanci se koriste kako bi se pratile i pritom analizirale performanse stvarnih objekata, koriste se u svrhu poboljšanja održavanja i simulaciju scenarija za predviđanje budućih događaja [20].

DCC može biti jedan od elemenata koji se koristi za stvaranja digitalnog blizanca zajedno s fizičkim modelima, a nakon toga se primjenjuju numeričke metode npr. Monte Carlo simulacija za analizu rizika. Digitalni blizanci uzimaju u obzir informacije o sustavu kao što su jedinstvena identifikacija pojedinačnih komponenti i informacije o trenutnom stanju sustava (npr. izmjerene vrijednosti uvjeta okoline) ili "inteligentno" stručno znanje koje omogućuje predviđanje intervala održavanja [20].

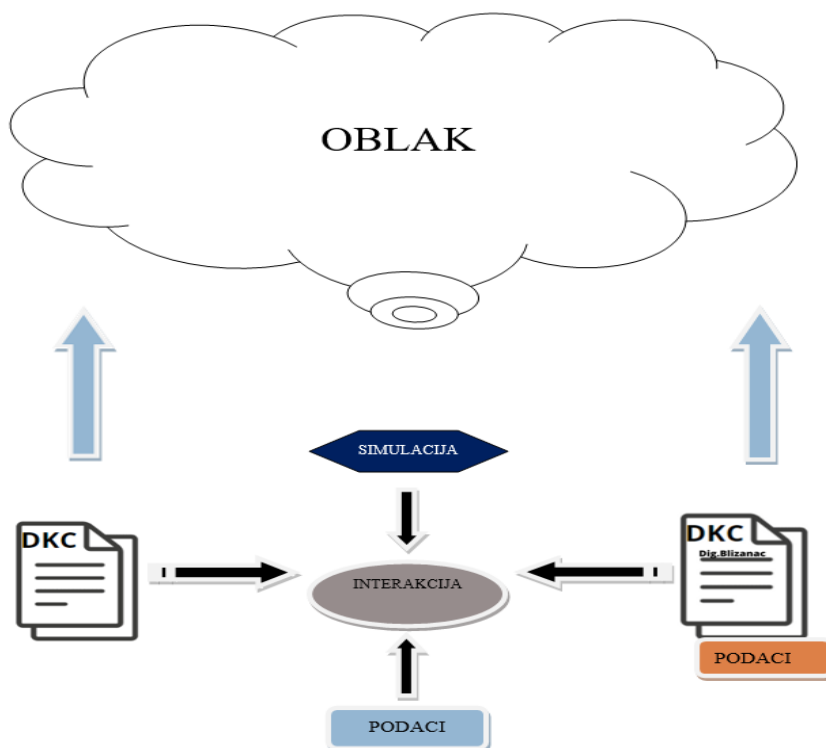
Na primjer, neka institucija stvara virtualnu repliku uređaja, bilježeći njegove fizičke karakteristike i povijest kalibracije (Slika 5.2. „Simulacija“). Taj "digitalni blizanac" radi u stvarnom vremenu zajedno sa stvarnim uređajem i na vrijeme upozorava tehničare na odstupanja. Analizom podataka iz digitalnog blizanca, tim za održavanje predviđa kada bi mogla biti potrebna ponovna kalibracija, omogućujući proaktivno održavanje [15,20].

Tehničari za kalibraciju koriste digitalnog blizanca za simulaciju i optimizaciju postupaka kalibracije, usavršavajući svoj pristup prije izvođenja na stvarnom uređaju. Rezultati kalibracije

automatski se ažuriraju i na uređaju i na njegovom digitalnom blizancu, osiguravajući točan i ažuran digitalni certifikat za kalibraciju [15,20].

Stručnjaci koji ne moraju biti fizički prisutni na udaljenom radnom mjestu mogu pristupiti digitalnom blizancu ukoliko je potrebno pružiti smjernice tijekom kalibracija. U digitalnom blizancu se također čuvaju podaci o prethodnim kalibracijama, informacije su lako dostupne za pregled, provjeru i dokazivanje da su svi koraci usklađeni sa postavljenim standardima [15,20].

Ovim integriranim pristupom, organizacije postižu poboljšanu preciznost kalibracije, veću efikasnost procesa i dosljedno pridržavanje propisa tijekom cijelog proizvodnog procesa.



Slika 5.2 Ilustracija veze između digitalnog blizanca i oblaka [15]

Na slici 5.2 možemo vidjeti „oblak“ koji igra ključnu ulogu kao virtualno skladište i platforma za podatke i resurse. S podacima kriptografski zaštićenima, digitalni blizanci omogućuju pohranu podataka o uređaju i kalibraciji te stvarno vrijeme praćenje između uređaja i blizanca. Analitički alati u oblaku omogućuju predikciju potrebe za održavanjem, dok suradnja putem oblaka olakšava daljinsku podršku i pristup digitalnim certifikatima za kalibraciju [15].

6. PRIMJER DIGITALNOG KALIBRACIJSKOG CERTIFIKATA

Skraćeni primjer digitalnog kalibracijskog certifikata izrađen je na temelju stvarnog certifikata kalibracije kojeg možemo vidjeti na slici 5.3.

Calibration Certificate

Model: Power Master MI 2892 Date: 21. 09. 2022
 Serial No.: 22320792 Performed By: Darja Oblak
 Date Placed In Service: Due Date: *

Metrel Recommended Cal Interval: 12 months
 * The due date may be established (by the customer) by adding the "Recommended Cal Interval" to the "Date Placed In Service."

Outlook, keys, battery indication, charging current **PASS**
 Common mode rejection **PASS**
 1-wire communication check (flex clamps) **PASS**
 GPS, GPRS **PASS**
 Temperature probe **PASS**

Voltage measuring (f = 50 Hz) According to IEC 61000-4-30:2008, Class A
 All readings were carried out with PowerView.

Unominal	Reference	Low limit	Reading				High limit	Uncertainty	Units
			-0,1% Unom.	L1 - N	L2 - N	L3 - N			
50 V L-N	5,00	4,95	5,00	5,00	5,00	5,00	5,05	0,01	V
	50,00	49,95	50,00	50,00	50,00	50,00	50,05	0,02	V
	75,00	74,95	75,00	74,99	75,00	75,00	75,05	0,02	V
110 V L-N	11,00	10,89	11,00	10,99	11,00	11,00	11,11	0,01	V
	110,00	109,89	110,01	110,00	110,01	110,01	110,11	0,03	V
	165,00	164,89	165,00	164,99	165,00	165,00	165,11	0,04	V
230 V L-N	23,00	22,77	23,00	23,01	22,99	23,00	23,23	0,01	V
	230,00	229,77	229,95	229,94	229,95	229,94	230,23	0,08	V
	345,00	344,77	345,07	345,06	345,08	345,07	345,23	0,09	V
400 V L-N	40,00	39,60	39,99	39,99	39,98	39,99	40,40	0,01	V
	400,00	399,60	399,98	399,96	399,98	399,96	400,40	0,13	V
	500,00	499,60	499,99	499,97	500,00	499,98	500,40	0,15	V

Current measuring (f = 50 Hz) All readings were carried out with PowerView.


Reference	Low limit	Reading				High limit	Uncertainty	Units
		I1	I2	I3	IN			
Range: 100 A								
50 mV	49,88	50,01	50,01	50,01	50,02	50,12	0,03	A
100,0 mV	99,75	100,00	100,00	100,00	100,00	100,25	0,05	A
200,0 mV	199,50	200,02	200,02	200,02	200,02	200,50	0,1	A
Range: 1000 A								
50,0 mV	49,88	50,01	50,01	50,01	50,01	50,12	0,03	A
1000,0 mV	997,5	999,8	999,8	999,9	999,8	1002,5	0,5	A
2000 mV	1995	2000	2000	2000	2000	2005	1	A

Frequency measuring (U1 = 110 V, I1 = 1000 A, U12 = 320 V) According to IEC 61000-4-30:2008, Class

Settings	Reference	Low limit	Reading	High limit	Uncertainty	Units
Synchronization: U1, Connection: 4W	50,000	49,990	49,999	50,010	0,005	Hz
	400,00	399,90	399,98	400,10	0,04	Hz
Synchronization: I1, Connection: 4W	50,000	49,990	49,999	50,010	0,005	Hz
Synchronization: U12, Connection: 3W	50,000	49,990	49,999	50,010	0,005	Hz

All results in accordance with technical specification.

Reference instruments:
 No. Instrument Type Certificate No. Due
 8508A, Fluke 082769 30. 09. 2022

 METREL®
 Measurement and Regulation Equipment Manufacturers

METREL d.d.
 Ljubljanska c. 77
 SI - 1354 HORJUL
 SLOVENIA

Tel.: (+386 1) 7558 200
 Fax.: (+386 1) 7549 095
<http://www.metrel.si>
 e-mail: metrel@metrel.si

Slika 5.3 Analogni kalibracijski certifikat za MI 2992 Power Master (Prilog 4)

Na slici 5.3 možemo vidjeti primjer stvarnog analognog kalibracijskog certifikata na kojemu se nalaze svi rezultati kalibracije na temelju mjerenja napona, struje i frekvencije. Na priloženom certifikatu možemo pronaći sve potrebne i obavezne informacije koje se traže te su navedene u administrativnim podacima. Tu su ime osobe koja je obavila kalibraciju, kao i ime osobe koja ju je odobrila, ime i lokacija laboratorija, te službeni naziv instrumenta korištenog za umjeravanja i referencu. Svi podaci navedeni u prije obrađenim administrativnim rezultatima kao i mjernim rezultatima mogu se ovdje pronaći.

Primjer u nastavku je kopija ljudski čitljivog prikaza kojeg možemo vidjeti na prilogu 1 ,
strojno čitljivu verziju istih podataka u XML formatu možemo naći na prilogu 2.

Digital Calibration Certificate

Administrative Data

DCC Software

- Software

Name GEMIMEG-Tool
Release v1.4.1

Core Data

Country Code HR
ISO3166_1

Used Language en
Code ISO639_1

Mandatory en
Language Code
ISO639_1

Unique Identifier 082769
Receipt Date 2022-09-21
Performance Date 2022-09-21
Performance laboratory
Location

Issue Date 2022-09-30

Items Power Quality Analyser

Manufacturer Metrel
E-Mail metrel@metrel.si

Phone +386 1 7558 200

Fax +386 1 7549 095

- Item MI 2892 PowerMaster

Equipment Class

Reference <https://www.metrel.si/en/shop/PQA/class-a-power-quality-analysers/mi-2892.html>

Class ID A

Description The MI 2892 Power Master is a hand-held three phase power quality analyser

with a large easy-to-read graphical colour display enabling the user to detect harmonics, phasors and waveforms anomalies in the installation simply by connecting the device

Manufacturer Metrel
E-Mail metrel@metrel.si
Phone +386 1 7558 200
Fax +386 1 7549 095
Model Power Master
Issuer manufacturer
22320792

**Calibration
Laboratory**

Metrel
E-Mail metrel@metrel.si
Phone +386 1 7558 200
Fax +386 1 7549 095
City Ljubljana
Country Code SI
Post Code 1000
State Republika Slovenija
Street Ljubljanska
Street No. 5

**Person(s)
authorizing the
report**

Name	Janko Novak
Email	jankonovak@metrel.si
Phone	+386 1234 567
Fax	+386 8765 321
Role	Head of Calibration Laboratory
Main signer	true

Customer Ivan Horvat
E-Mail ivanhorvat@gmail.com
Phone +385 1234 567

Fax +385 1234 567
 City Zagreb
 Country Code HR
 Post Code 10000
 State Republika Hrvatska
 Street Ilica
 Street No. 10

Measurement Results

Voltage Measuring (f=50Hz)

Results Reference

Label	Reference Value V
Reference	5.00

Reading 50V-LN

Label	Reading 50V-LN V	Uncertainty V	Coverage Factor	Coverage Probability
L1-N	5.00	0.01	2.00	0.95
Label	Reading 50V-LN V	Uncertainty V	Coverage Factor	Coverage Probability
L2-N	5.00	0.01	2.00	0.95
Label	Reading 50V-LN V	Uncertainty V	Coverage Factor	Coverage Probability
L3-N	5.00	0.01	2.00	0.95
Label	Reading 50V-LN V	Uncertainty V	Coverage Factor	Coverage Probability
GND-N	5.00	0.01	2.00	0.95

Upper/Lower Limit

Label	Upper/Lower Limit V
Low Limit	4.95
Label	Upper/Lower Limit V
High Limit	5.05

Current Measuring (f=50Hz)

Results Reference

Label	Reference Value V
Reference	0.005

Reading

Label	Reading A	Uncertainty A	Coverage Factor	Coverage Probability
I1	50.01	0.03	2.00	0.95
Label	Reading A	Uncertainty A	Coverage Factor	Coverage Probability
I2	50.01	0.03	2.00	0.95
Label	Reading A	Uncertainty A	Coverage Factor	Coverage Probability
I3	50.01	0.03	2.00	0.95
Label	Reading A	Uncertainty A	Coverage Factor	Coverage Probability
IN	50.02	0.03	2.00	0.95

Upper/Lower Limit

Label	Upper/Lower Limit A
Low Limit	49.88
Label	Upper/Lower Limit A
High Limit	50.12

Frequency measuring

Results Reference

Label	Reference Value Hz
Reference	50.0000

Reading

Reading Hz	Uncertainty Hz	Coverage Factor	Coverage Probability
49.999	0.005	2.0	0.95

Upper/Lower Limit

Label	Upper/Lower Limit Hz
Low Limit	49.990
Label	Upper/Lower Limit Hz
High Limit	50.010

Administrativni podaci:

Ovaj primjer predstavlja čitljiv dio digitalnog kalibracijskog certifikata izrađenog na temelju gore navedenog primjera (slika.9) za uređaj korišten za analizu kvalitete električne energije. U administrativnim podacima su navedene informacije o softveru, jeziku i jedinstvenom identifikatoru certifikata. Certifikat je izdan za uređaj MI 2892 PowerMaster proizvođača Metrel, koji je ručni analizator trofazne kvalitete električne energije s grafičkim prikazom.

Detalji o uređaju uključuju (kompletne tehničke specifikacije na prilogu 5):

Klasifikacija uređaja: A (klasa A)

Opis: MI 2892 Power Master je ručni analizator trofazne kvalitete električne energije s velikim grafičkim ekranom koji omogućuje korisniku da otkrije harmonike, faze i anomalije u valovima instalacije jednostavno povezivanjem uređaja.

Laboratorij za kalibraciju je također naveden, s kontakt informacijama za Metrel. Detalji o osobi koja je odobrila izvještaj su uključeni, uključujući ime, e-mail, telefon i ulogu. Potpisnik izvještaja je označen kao glavni potpisnik.

Kao krajnji korisnik, Ivan Horvat iz Zagreba, Republika Hrvatska, je naveden sa svojim kontakt informacijama. Detalji uključuju adresu, e-mail, telefon i fax.

Ovaj certifikat je izdan od strane proizvođača Metrel nakon provođenja analize uređaja MI 2892 PowerMaster u njihovom laboratoriju za kalibraciju u Ljubljani, Slovenija. Certifikat potvrđuje ispravnost i performanse uređaja na datum izdavanja certifikata koji je 21.09.2022

Svi navedeni podaci su izmišljeni i služe isključivo u svrhu ilustracije. Korišteni su kako bi zaštitili privatnost stvarnih osoba.

Rezultati mjerenja:

Mjerenje Napona (f=50Hz): U okviru ovog mjerenja, izvršeno je proučavanje napona pri frekvenciji od 50 Hz. Referentna vrijednost za napona postavljena je na 5.00 V. Očitavanja napona su provedena za različite faze i neutralni vod. Za svaku fazu i neutralni vod (L1-N, L2-N, L3-N i GND-N) očitani su naponi od 5.00 V. Nesigurnost mjerenja napona iznosi 0.01 V. Gornja granica napona je određena na 5.05 V, dok je donja granica postavljena na 4.95 V.

Mjerenje Struje (f=50Hz): Mjerenje struje pri frekvenciji od 50 Hz uključuje očitavanja za svaku od faza i neutralnu struju. Referentna vrijednost za struju postavljena je na 0.005 A. Za svaku fazu (I1, I2, I3) i neutralnu struju (IN) očitani su rezultati od 50.01 A i 50.02 A. Nesigurnost mjerenja struje iznosi 0.03 A. Gornja granica struje postavljena je na 50.12 A, dok je donja granica određena na 49.88 A.

Mjerenje Frekvencije: Mjerenje frekvencije uključuje usporedbu referentne vrijednosti frekvencije (50.0000 Hz) s očitanim vrijednošću (49.999 Hz). Vrijednost nesigurnosti za ovo mjerenje iznosi 0.005 Hz. Gornja granica frekvencije postavljena je na 50.010 Hz, dok je donja granica određena na 49.990 Hz.

Faktor pokrivanja od 2.0 i vjerojatnost od 0.95 koriste se kako bi se stvorio interval pouzdanosti za analizu. Faktor 2.0 osigurava da većina podataka (95%) padne unutar tog intervala, pružajući pouzdanu analizu s razumnom preciznošću. On je isti za sva mjerenja.

Važno je napomenuti da su navedena mjerenja samo dio primjera stvarnog certifikata, kao što se može vidjeti na primjeru analognog certifikata (Slika.9), koji ima puno više provedenih mjerenja. U ovoj verziji koji služi za primjer uzeli smo samo prvi red od svakog mjerenja napona, struje i frekvencije. Ova pojednostavljena demonstracija izostavlja mnoge potencijalne parametre i dodatna mjerenja radi jasnoće i preglednosti primjera.

Stoga, ovdje prikazani primjer služi samo kao ilustracija osnovnih aspekata certifikata, a pravi certifikati obuhvaćaju širok spektar tehničkih informacija kako bi se jamčila preciznost i pouzdanost električnih mjerenja.

7. ZAKLJUČAK

Ovaj završni rad istražuje digitalnu transformaciju mjeriteljstva kroz analizu implementacije digitalnih certifikata za kalibraciju. Ova tranzicija, iako nije bez svojih izazova u pogledu standardizacije, zaštite podataka i kompatibilnosti sustava, donosi mnoge značajne koristi. To uključuje poboljšani integritet podataka, olakšan pristup, analizu u stvarnom vremenu i pojednostavljene procedure kalibracije.

Pokazano je da digitalni certifikati za kalibraciju imaju ogroman potencijal u pogledu pohrane, prijenosa i razmjene podataka. Osiguravajući visoke razine usklađenosti s industrijskim standardima, smanjenje pogrešaka, dugoročnu dostupnost podataka i učinkovitost procesa, uz sve to još su se pokazali i kao ekonomičnijim i pouzdanijim. Iako složenosti zaštite privatnosti, interoperabilnosti, usklađenosti korisnika i upravljanja podacima i dalje zahtijevaju rješavanje određenih problema, budućnost digitalnog mjeriteljstva nudi nove mogućnosti zahvaljujući svojim karakteristikama skalabilnosti, modularnosti i sigurnosti.

Rad završava naglašavanjem ključne uloge digitalnih certifikata za kalibraciju u industriji 4.0 kao alat za osiguravanje preciznosti i točnosti pri prikupljanju podataka, kao i koncept digitalnih blizanaca koji omogućava poboljšano prediktivno održavanje i simulacije postupaka. Prema nedavnim trendovima, Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) predvodi napore za daljnju digitalizaciju DCC-ova uvođenjem novih značajki poput digitalnih shema (DX, DRM, DTC), što ukazuje na kontinuiranu relevantnost i potencijalno proširenje njihove primjene u budućnosti [21].

LITERATURA:

- [1] BIPM, Worldwide metrology: Šta je mjeriteljstvo? URL: <https://www.bipm.org/en/home#metrology>
- [2] Predrag Krčum-Sveučilište u Splitu, sveučilišni odjel za stručne studije, Diplomski Rad, ELEKTRIČNA MJERENJA, 10.2012, URL: https://www.oss.unist.hr/sites/default/files/file_attach/Elektri%C4%8Dna%20mjenja%20-%20Predrag%20Kr%C4%8Dum.pdf
- [3] FSB, Biserka Runje: Predavanje iz kolegija mjeriteljstvo,Zagreb,2013,URL: https://bib.irb.hr/datoteka/764202.Predavanja_MJERITELJSTVO.pdf
- [4] PTB, F.Thiel ,M.Esche, Stručni članak: Metrology in the Digital Transformation, 22.11.2016,URL: https://www.ptb.de/cms/fileadmin/internet/dienstleistungen/vollversammlung/VV2016/2_Thiel_An1.pdf
- [5] Alexander Oppermann a, Samuel Eickelberg a, John Exner a, Thomas Bock a, Matthias Bernien a, Rolf Niepraschk a, Wiebke Heeren b, Oksana Baer b, Clifford Brown, Stručni članak: Digital Transformation in Metrology: Building a Metrological Service Ecosystem,2022,URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050922002381>
- [6] BIPM (Međunarodni ured za utege i mjere), Izjava, Odbor za podatke Međunarodnog znanstvenog vijeća, Joint Statement of Intent On the digital transformation in the international scientific and quality infrastructure, 30.3. 2022, URL: <https://www.bipm.org/en/-/2022-03-30-digital-statement>
- [7] Državni zavod za mjeriteljstvo, Stručni članak: Međunarodni sustav jedinica SI, 3.2006 URL: https://dzm.gov.hr/UserDocsImages/Zakonsko%20mjeriteljstvo/Publikacije/Mjerne_jedince.pdf
- [8] PTB, Daniel Hutzschenreuter, The Importance of the SI in Digital Metrology,2020 URL: <https://dcc-conference-2020.ptb.de/videos/public/ckfxo25lo089476h0bwu84do1>
- [9] Siegfried Hackel ,Shanna Schönhals , Lutz Doering ,Thomas Engel , Reinhard Baumfalk , Stručni članak, The Digital Calibration Certificate (DCC) for an End-to-End Digital Quality Infrastructure for Industry 4.0 , 6.3.2023, URL: <https://www.mdpi.com/2413-4155/5/1/11>
- [10] PTB-Siegried Hackel, Presentacija, Excursion: National Quality Infrastructure, 2020 URL: <https://dcc-conference-2020.ptb.de/videos/public/ckg9hb5en1365unh0t3rm62x2>
- [11] KONČAR-Institut za elektrotehniku, CALIBRATION OF ELECTRICAL MEASUREMENT EQUIPMENT,2020,URL: <https://www.koncar-institut.hr/wp-content/uploads/2020/02/KONCAR-Institute-Calibration-of-electrical-measurement-equipment-Calibration-laboratory-80-2002.pdf>

- [12] BIPM—SI Broschüre ,publikacija, SI Brochure: The International System of Units (SI),2019 URL: <https://www.bipm.org/en/publications/si-brochure/>
- [13] Alan S. Morris, Reza Langari, Knjiga, Measurement and Instrumentation Theory and Application (Second Edition), 2016 URL: <https://www.sciencedirect.com/book/9780128008843/measurement-and-instrumentation>
- [14] Myer Kutz, Knjiga, Handbook of Measurement in Science and Engineering, 15.4.2016 URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781119244752>
- [15]] PTB-Siegfried Hackel, Prezentacija, The Digital Calibration Certificate (DCC), 2020 URL: <https://dcc-conference-2020.ptb.de/videos/public/ckfm34zw70018rjh0e7wqo8yr>
- [16] PTB, Sadržaj, Digital Calibration Certificate – Wiki URL: <https://dccwiki.ptb.de/en/home>
- [17] Siegfried Hackel, Frank Härtig, Thorsten Schrader, Alexander Scheibner, Jan Loewe, Lutz Doering, Benjamin Gloger, Justin Jagieniak, Daniel Hutzschenreuter, Gamze Söylev-Öktem, Stručni članak: The fundamental architecture of the DCC, Prosinac 2021, URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2665917421003172>
- [18] PTB,Projekt, NPR SmartCom , 9.2021 URL: <https://www.ptb.de/empir2018/smartcom/project/>
- [19] Saurabh Vaidya, Prashant Ambad, Santosh Bhosle,Stručni članak, Industry 4.0 – A Glimpse,2018, URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978918300672>
- [20] PTB, Projekt, GEMMIMEG-II , Digital Twin, 2021 URL: <https://www.gemimeg.ptb.de/en/project/technologies/digital-twin/>
- [21] Gamze Söylev Öktem, Siegfried Hackel , Frank Härtig , Jan Loewe , Benjamin Gloger, Justin Jagieniak ,Stručni članak, DIGITAL SCHEMAX AND THE FUTURE OF THE DIGITAL CALIBRATION CERTIFICATE, rujan.2022, URL: <https://conferences.imeko.org/event/2/#:~:text=On%2019%20-%2021%20September%202022%20the%20IMEKO,number%20of%20places%20for%20physical%20attendance%20in%20Berlin.>

SAŽETAK

U ovom radu obrađena je tema digitalizacije mjeriteljstva, te kako digitalna transformacija, konkretno usvajanje digitalnih kalibracijskih certifikata, unaprjeđuje mjeriteljstvo. Analizirane su prednosti usvajanja kao i problemi koji su vezani standardizaciju i sigurnost podataka. Objasnjeno je gdje i kako se oni koriste u stvarnom svijetu i koja njihova uloga za budućnost. Stvaranje digitalnog kalibracijskog certifikata odrađeno je uz pomoć alata GEMMIMEG 1.4.1 na temelju potvrde o kalibraciji za mjerni instrumenta MI 2992 Power Master.

Ključne riječi : digitalizacija mjeriteljstva, digitalni kalibracijski certifikat , GEMMIMEG.

ABSTRACT

DIGITAL CALIBRATION CERTIFICATE

In this paper, the topic of metrology digitalization is discussed, along with how digital transformation, specifically the adoption of digital calibration certificates, advances metrology. The advantages of adoption and issues related to standardization and data security are analyzed. It explains where and how they are used in the real world and their role in the future. The creation of a digital calibration certificate was performed using the GEMMIMEG 1.4.1 tool based on the calibration certificate for the measuring instrument MI 2992 Power Master.

Keywords: metrology digitalization, digital calibration certificate, GEMMIMEG.

ŽIVOTOPIS

Karlo Edelinski rođen je 8.7.2000. godine u Vinkovcima. Nakon završetka Osnovne škole Vladimira Nazora u Vinkovcima, 2015. godine upisuje gimnaziju Matije Antuna Reljkovića u Vinkovcima, smjer matematički, te završava istu 2019. godine. Preddiplomski studij elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija upisuje 2019. godine i na drugoj akademskoj godini se opredjeljuje za izborni blok elektroenergetika.

PRILOZI

Prilog 1- Ljudsko čitljiva verzija digitalnog kalibracijskog certifikata za MI 2992 PowerMaster u pdf formatu.

Prilog 2-Strojno čitljiva verzija digitalnog kalibracijskog certifikata za MI 2992 PowerMaster u XML formatu.

Prilog 3-Certifikat o postupcima kalibracije .

Prilog 4-Rezultati kalibracije.

Prilog 5- Tehničke specifikacije za MI 2992 PowerMaster.