

# Prvih 75 godina Proizvodne metrologije na Mašinskom fakultetu u Beogradu

## Prošlost / sadašnjost / budućnost

VIDOSAV D. MAJSTORVIĆ, redovni član Svetske akademije za  
proizvodno inženjerstvo (CIRP), Pariz, Francuska  
ORCID: 0000-0001-9534-8461

Pregledni rad  
UDC: 37.091.21:006.91(497.11)"1949/..."  
DOI: 10.5937/tehnika2406749M

*Proizvodna metrologija je nauka o merenjima u proizvodnom inženjerstvu. Ona se deli na naučnu, zakonsku i primenjenu. Ovaj rad se odnosi na primenjenu proizvodnu metrologiju iz ugla njenog razvoja kao inženjerske discipline na Mašinskom fakultetu u Beogradu, na Katedri za proizvodno mašinstvo. Ovaj rad ima nekoliko celina: (i) pregled razvoja proizvodne metrologije u svetu, i (ii) njen razvoj na Katedri za proizvodno mašinstvo, u periodu od 75 godina, sa nekoliko aspekata: obrazovanje inženjera, istraživanja i industrijskih primena. Takođe, na kraju je dat jedan pogled autora na budućnost Proizvodne metrologije.*

**Ključne reči:** Proizvodna metrologija, obrazovanje inženjera, istraživanja, razvoj

### 1. UVOD

Metrologija je nauka o merenju, koja se bavi merenim jedinicama i njihovim etalonima, mernim sistemima, merenjima, uključujući metode, njihovu tačnost i greške, i obuhvata sve teorijske i praktične probleme koji se odnose na merne sisteme i merenja. Metrologija takođe obuhvata određivanje fizičkih konstanti i svojstva materijala i materije. Metrologija se može posmatrati i u zavisnosti od fizičke veličine koju razmatra: metrologija dužina, metrologija vremena, metrologija temperature i slično, ili prema oblasti primene, kao tehnička metrologija (uključuje i proizvodnu metrologiju), astronomska metrologija, medicinska metrologija, itd. Metrologija se deli na naučno-istraživačku, zakonsku i primenjenu.

Metrologija ima dugu istoriju svog razvoja, ali istraživači za njen početak kao nauke uzimaju 18. vek, odnosno period od Francuske revolucije, koja je dala značajan podstrek njenom razvoju. Naime, u tom periodu začela se ideja o stvaranju decimalnog metarskog sistema i o usvajanju definicije za jedinicu dužine – metar. Nakon potpisivanja Međunarodne metarske konvencije 20. maja 1875. godine u Parizu, kojoj su tokom vremena pristupile skoro sve razvijene zemlje,

uključujući i tadašnju Srbiju. Od tada, metrologija se kao nauka od opšteg interesa ubrzano razvija.

Proizvodna metrologija je deo tehničke metrologije i odnosi se na merenja u oblasti proizvodnog inženjerstva. Ona je izuzetno važna oblast ove inženjerske oblasti, pa je zato, i isto tako važan deo obrazovanja proizvodnih inženjera.

Cilj ovog rada je da prikaže razvoj Proizvodne metrologije na Mašinskom fakultetu u Beogradu, od vremena kada je ona uvedena kao obrazovna i naučno – istraživačka disciplina na Katedri za proizvodno mašinstvo u Beogradu, a bilo je to 1. oktobra 1949. godine.

Ovaj rad ima nekoliko celina: (i) razvoj proizvodne metrologije u svetu i kod nas, (ii) obrazovanje inženjera proizvodnog mašinstva i udžbenička literatura, (iii) naučna istraživanja, značajne publikacije i konferencije Laboratorije za proizvodnu metrologiju i TQM, (iv) današnji istraživački model Laboratorije, (v) Laboratorija, članstva u međunarodnim organizacijama, nagrade i priznanja, kao i jedan pogled autora na budućnost Proizvodne metrologije.

### 2. RAZVOJ PROIZVODNE METROLOGIJE – PREGLED LITERATURE

Matična oblast Proizvodne metrologije na Mašinskom fakultetu je Proizvodno mašinstvo, ali je ona deo obrazovanja i istraživanja i ostalih grana Mašinstva (vazduhoplovstvo, motorna vozila, brodogradnja, itd). Svaki inženjerski proizvod (traktor, procesno postrojenje, lokomotiva, itd), sadrži tolerancije, koje se u

---

Adresa autora: Vidosav Majstorović, redovni član Svetske akademije za proizvodno inženjerstvo (CIRP), 9 rue Mayran, Pariz, Francuska

e-mail: [vidosav.majstorovic@sbb.rs](mailto:vidosav.majstorovic@sbb.rs)

Rad primljen: 19.06.2024.

Rad prihvaćen: 23.10.2024.

njegovoj proizvodnji moraju ostvariti i verifikovati metodama na mernim sistemima Proizvodne metrologije. Detaljna analiza razvoja Proizvodne metrologije.

logije, posebno u poslednjoj deceniji, koja se poklapa i sa definisanjem i razvojem modela Industrija 4.0, je prikazana u tabeli 1.

Tabela 1. Pregled razvoja Proizvodne metrologije

Karakteristika	Ref. / god.	Metod	Cilj	Primena
Metrologija u međunarodnoj trgovini	[1] 2007	Međunarodni sistem mera (CIPM)	Sledljivost jedinica (i onih koje se odnose na Proizvodnu metrologiju)	Nacionalni metrološki institut
CMM kao CPS	[2] 2007	Mikro-nano scale merenja	Metrološka identifikacija svih vrsta tolerancija	CPS
CMM za velike delove	[3] 2011	Inspekcija svih vrsta tolerancija, uključujući i mikro geometriju obrađenih površina	On line praćenje prametara kvaliteta na mašinama alatkama kao CPS	Delovi velikih dimenzija, preko 1000 mm u pravcu jedne ose
Interoperabilnost metroloških podataka	[4] 2011	RAMI model	PC DMIS	Integracija metroloških informacija
Istorijski razvoj proizvodne metrologije	[5] 2012	Sedam etapa etapa	Proširenje obima tolerancija za inspekciju	CT CMM (inspekcija unutrašnjeg sastava mernog predmeta)
3D metrološki modeli	[6] 2013	GDT standardi	Nominalni virtuelni metrološki model	Inspekcija na CMM kao CPS
Rezolucija i ponovljivost merenja	[7] 2013	Kalibracije CMM	Visoka tačnost merenja	Red veličine manja od tolerancija
Proizvodna metrologija - razvoj	[8] 2013	Sinteza i analiza tolerancija za inspekciju	Analiza povećanja tačnosti merenja	Pregled razvoja
Tačnost CMM	[9] 2016	Ispitivanje tačnosti	Eliminacija grešaka merenja	Modeli za ispitivanje tačnosti
Pametna metrologija	[10] 2017	Podrška AI i ML	Inteligentna metrologija	Deo pametne proizvodnje
Senzori 4.0	[11] 2018	Pametni senzori, podržani AI i ML	Deo modela Industrije 4.0	Nova paradigma proizvodne metrologije
Proizvodna metrologija 4.0	[12] 2018	Virtuelna metrologija	Tačna i pouzdana merenja	Primena elemenata Industrije 4.0
CMM u Industriji 4.0	[13] 2018	Virtuelna metrologija	Metrološka integracija	Deo modela Industrije 4.0 u primeni
Napredna proizvodna metrologija	[14] 2019	CPM <sup>3</sup>	Virtuelna metrologija	Kontekst Industrije 4.0
Nacionalni metrološki instituti	[15] 2019	Razvoj virtuelne metrologije	Povezivanje sa modelom Industrija 4.0	NIST, NPL i PTB
Inteligentno planiranje inspekcije na CMM	[16] 2019	Primena AI	Plan inspekcije za deo	Prizmatski merni predmeti
AR kao model proizvodne metrologije	[17] 2020	SPC model	Online upravljanje kvalitetom	Kontrolna karta
Inteligentna inspekcija	[18] 2020	Metodi AI	Min vreme inspekcije	Krive površine
Inteligentna CMM	[19] 2021	MES	Integracija u model pogona	Pametna proizvodnja
3D skener	[20] 2021	Online kontrola	Proizvodnja bez škarta	3D kontrola delova od lima
Pametna metrologija za pametnu proizvodnju	[21] 2021	Novi metodi i tehnike	Razvoj pametnih metroloških sistema	Evropski projekat
Pametna proizvodnja	[22] 2022	Obim i vrsta digitalizacije	Vrsta metrološke aktivnosti	Digitalizacija metrologije (CPM <sup>3</sup> )
Industrija 4.0	[23] 2022	AI i ML	Online merenje	Pametna metrologija
Pametna proizvodnja	[24] 2022	Online merenje	Obradni proces	Procesno merenje
Virtuelna metrologija	[25] 2022	Cloud i MES	Veličina organizacije	Industrija 4.0
Integracija CAM i CAI modela	[26] 2023	Zajednički koordinatni sistem obrade i merenja	Veća tačnost obrade	Prizmatski delovi

Realizacija i razvoj međunarodne trgovine se zasniva na metrologiji. Iz tih razloga, razvoj međunarodnog sistema jedinica, kao i nacionalnih instituta za metrologiju, koji će obezbediti metrološku sledljivost mera (preko nacionalnih etalona), je od esencijalnog značaja za ceo svet [1]. Ovim aktivnostima se na nivou sveta upravlja preko Međunarodnog komiteta za tegove i mere (CIPM). Koordinatne merne mašine (CMM) su uvele revoluciju u proizvodnu metrologiju, od 1960. godine (DEA je proizveo prvi model CMM), do danas (Zeiss CPS za metrologiju, kao element Industrije 4.0) [2]. CMM danas predstavljaju metrološke sisteme u proizvodnoj metrologiji kojima se kontrolišu sve vrste tolerancija, od makro, preko mikro i nano veličina (CT CMM), a primena modela Industrije 4.0 u praksi se ne može realizovati bez CMM kao CPS metrološkog sistema. Posebno važna oblast proizvodne metrologije je inspekcija delova velikih dimenzija [3]. Za ove slučajeve digitalne proizvodnje se primenjuju digitalne metrološke ćelije, integrisane u proizvodnom pogonu sa drugim mašinama, kao CPS moduli. Metrološkim aktivnostima u njima se upravlja preko MES (upravljanje radnim nalogom u pogonu) modula. Interoperabilnost metroloških informacija je stub izgradnje sajber fizičkog modela u proizvodnoj metrologiji [4]. Za poslovno-proizvodne i inženjerske informacije, za model Industrije 4.0 se primenjuje model RAMI 4.0 za horizontalno-vertikalnu informacionu integraciju. Ovaj koncept se primenjuje i za digitalnu metrologiju, preko PC DMIS modela interface-a. Jedan pregled istorijskog razvoja proizvodne metrologije je prikazan u [5]. Od početka 20. veka, do danas identifikovano je sedam etapa razvoja metroloških sistema u proizvodnoj metrologiji: dužine (granična merila, pomična merila i mikrometri), optički metrološki sistemi (merni mikroskopi), pneumatski i hidraulični merni sistemi, električni merni sistemi, digitalni merni sistemi, CMM i CMM kao CPS. GDT model standarda [6], predstavlja prilog 3D modeliranju delova sa aspekta tolerancija. Njegovom primenom se dobijaju nominalni oblici i dimenzije 3D metroloških modela, koji služe kao baza za inspekciju istih na CMM kao CPS. Rezolucija i ponovljivost merenja su najvažnije karakteristike savremenih metroloških sistema iz oblasti proizvodne metrologije [7]. Ovi parametri se danas iskazuju tačnošću za red veličine, koja je manja od tolerancija čija inspekcija se vrši, što znači, ako su tolerancije za inspekciju reda veličine mikrometra, onda rezolucija metrološkog sistema treba da bude deseti deo mikrometra. Primenom novih standarda i modela za ispitivanje CMM vrši se provera ovih parametara. Jedan detaljan pregled razvoja i primene metroloških sistema u oblasti proizvodne metrologije je prikazan u [8]. Radi eliminisanja grešaka merenja, ili svođenje njihovih vrednosti na najmanju

moću meru, potrebno je, po definisanoj proceduri i standardu, ispitivati tačnost CMM. U referenci [9] je izvršena analiza i primena kroz eksperiment više modela za ispitivanje tačnosti, tako je da je dobijen virtuelni model mape grešaka ispitivane CMM. On se zatim koristi za programiranje iste, vršeći korekciju putanje mernog senzora prema mapi grešaka u radnom prostoru ove CMM. Pametna metrologija je deo pametne proizvodnje [10]. Ovaj koncept je moguće razvijati kao deo modela Industrije 4.0, uz podršku AI i ML (mašinsko učenje). Senzori 4.0 je nova paradigma proizvodne metrologije [11]. Radi se o pametnim sensorima, kao elementima modela Industrije 4.0, koji su vođeni podacima. Ceo lanac se realizuje u nekoliko koraka: (i) preprocesing podataka, (ii) izdvajanje karakteristika, (iii) izbor karakteristika, (iv) klasifikacija, i (v) ocena. Osnovna karakteristika modela Metrologija 4.0 u primeni je: brzina merenja, tačnost merenja, ponovljivost merenja i fleksibilnost merenja. Nivoi komunikacije u ovom modelu se izvode preko interface za CAD/CAI geometrijske i metrološke informacije [12]. Industrija 4.0, zasnovana na novim konceptima pametnih fabrika, gde su mašine povezane u mrežu (IoT), omogućava izvođenje operacija u realnom vremenu, uzimajući kao polaznu tačku dobijene podatke, koji se online analiziraju [13]. To isto važi i za metrološke procese, gde su CMM osnova celog ovog koncepta. Napredna proizvodna metrologija u kontekstu Industrije 4.0 je detaljno izložena u [14]. Prikazan je naš istraživački model Cyber Physical Manufacturing Metrology Model (CPM<sup>3</sup>), koji predstavlja integraciju fizičkog i virtuelnog modela proizvodne metrologija. Najpoznatiji nacionalni metrološki instituti, koji imaju i departmane za proizvodnu metrologiju su: NIST (SAD), NPL (GB) i PTB (Nemačka) [15]. Inteligentni model za planiranje inspekcije na CMM za prizmatične delove je prikazan u [16]. Ovaj model koristi AI za definisanje ovog plana. Proizvodna metrologija, kao deo koncepta virtuelnog kvaliteta 4.0 je prikazana u [17]. Koristi se virtuelna platforma, pomoću koje se online prate dimenzione karakteristike kvaliteta i definiše kontrolna karta u modelu pametne proizvodnje. Posebno važan aspekt razvoja i primene pametne proizvodne metrologije je inspekcija krivih linija i površina [18]. Ovaj rad razmatra problem optimizacije broja mernih tačaka na krivim površinama, čija inspekcija se vrši na CMM, koristeći četiri metoda AI. Model pametne proizvodnje sa integracijom CMM, se izlaže u [19]. Okvir za ovu integraciju je MES model. Primena 3D skenera za praćenje dimenzija i oblika delova koji se dobijaju izvlačenjem iz lima u digitalnoj proizvodnji je prikazana u [20]. Istraživane su potrebne karakteristike skenera (tačnost), za zadovoljenje zahteva kvaliteta procesa.

Pametna proizvodnja zahteva nove metode i tehnike proizvodne metrologije [21]. Iz ovih razloga je pokrenut Evropski projekat, koji se bavi istraživanjima naprednih metroloških metoda i sistema sa primenom u pametnoj proizvodnji. Ključne tehnologije, koja će biti obuhvaćene ovim istraživanjima su: mikro i nanoelektronika, nanotehnologija, napredni materijali, industrijska biotehnologija i fotonika. Ove tehnologije će se koristiti da se razviju novi metrološki sistemi za pametnu proizvodnju sa aspekta: digitalizacije, merne nesigurnosti, optimizacije procesa, razvoja senzora, kontrole i praćenja procesa i aditivne proizvodnje. U [22] su istraživani aspekti digitalizacije proizvodne metrologije, kao: digitalna transformacija metrološke usluge, primena modela BDA u proizvodnoj metrologiji (IIoT), horizontalna/vertikalna integracija u proizvodnoj metrologiji (RAMI model) i virtualni metrološki blizanci (DT), kao CPM<sup>3</sup>. Merenje u procesu za Industriju 4.0 je koncept vođen podacima, gde se sensorima online prikupljaju podaci, a BDA analizama analizira proces, toliko duboko, kao nikada ranije [23]. Sastavani deo ovog koncepta je AI i ML, što sve zajedno čini pametnu metrologiju. Model online merenja u procesu koji je opremljen sensorima za praćenje habanja alata [24], je prilog primeni Industrije 4.0 u obradnom procesu. Aspekti cloud i




MES modela virtualne metrologije se razmatraju u [25]. Oba prilaza su deo modela Industrije 4.0, a njihova primena zavisi od veličine proizvodne organizacije. Za SME je bolje cloud rešenje. Rad [26] prikazuje razvoj matematičkog modela za integraciju koordinatnih sistema obrade (CAM model) i inspekcije na CMM (CAI model). Ovom integracijom se postiže veća tačnost obrade.



Završavajući ovu analizu, možemo da definišemo sledeće zaključke: (i) pametna metrologija je neizostavni deo pametne proizvodnje, što znači da istraživanja u oblasti primene modela Industrije 4.0 u proizvodnoj metrologiji, postaju izuzetno važna, i (ii) analiza drugih radova iz ove oblasti, pokazuje da je model CPM<sup>3</sup>, prihvaćen kao jedan od originalnih naučnih prilaza u pametnoj proizvodnoj metrologiji.

### 3. OBRAZOVANJE INŽENJERA PROIZVODNOG MAŠINSTVA I UDŽBENIČKA LITERATURA

Zvanično obrazovanje mašinskih inženjera proizvodnog smera (tadašnji naziv je bio – industrijski smer), je počelo 1. oktobra 1949. godine. Detaljan pregled razvoja obrazovanja za Proizvodnu metrologiju na Katedri za proizvodno mašinstvo, Mašinskog fakulteta u Beogradu je prikazan u tabeli 2.

Tabela 2. Pregled razvoja obrazovanja inženjera za Proizvodnu metrologiju na Mašinskom fakultetu u Beogradu

Period	Nastavnik	Predmet / Fond
1949–1958. god.	 Prof. dr Pavle Stanković	<u>Mašine alatke i industrijska proizvodnja mašina</u> (6+4, VI, VII i VIII semestar – po 6 časova predavanja i vežbi) <u>Merenja</u> u svakom semestru)
1959–1966. god.	 Prof. dr Vladimir Šolaja	<u>Pomoćni pribori i merenja</u> (4+2, VII i VIII semestar – po 6 časova predavanja i vežbi) <u>Merenja</u> u svakom semestru)
1967–1989. god.	 Prof. dr Joko Stanić	<u>Merenja i kvalitet obrade</u> (4+2, VII i VIII semestar – po 12 časova predavanja i vežbi) <u>Merenja</u> u svakom semestru). (1967–1976. god.) <u>Tehnološki merni sistemi</u> (2+2, VII i VIII semestar ), (1977–1989. god.)

Period	Nastavnik	Predmet / Fond
1990–2018. god.	 Prof. dr Vidosav D. Majstorović	<u>Tehnološki merni sistemi</u> (2+2, VII i VIII semestar ), (1990–2006. god.) <u>Proizvodne tehnologije i metrologija</u> (2+2, VI semstar), (2007–2018.) (OAS - obavezni) <u>Numerički upravljanje merne mašine</u> (2+2, VII semstar), (2007–2018.) (MAS - izborni) <u>Digitalni merni sistemi</u> (2+2, VIII semstar), (2007–2018.) (MAS - izborni) <u>CAI modeli</u> (2+2, II semstar), (2007–2018.) (DAS - izborni)
2019-	 Prof. dr Slavenko Stojadinović	<u>Proizvodne tehnologije i metrologija</u> (2+2, VI semstar), (2019-) (OAS - obavezni) <u>Numerički upravljanje merne mašine</u> (2+2, VII semstar), (2019-) (MAS - izborni) <u>Digitalni merni sistemi</u> (2+2, VIII semstar), (2019-) (MAS - izborni) <u>CAI modeli</u> (2+2, II semstar), (2019-) (DAS - izborni)

Dakle, u periodu od 75 godina, Proizvodnu metrologiju su predavali i razvijali, kao naučno-stručnu disciplinu petorica profesora. Svako od njih je u svom pe-

riodu dao svoj lični doprinos njenom razvoju, koji je nemerljiv. Tako na primer, tokom celog perioda, ovaj predmet je bio pokriven udžbeničkom literaturom, tabela 3.

Tabela 3. Pregled udžbenika iz oblasti Proizvodne metrologije

Autori	Naziv udžbenika	Izdavač
Prof. dr Pavle Stanković	<i>Merenje i kontrola</i>	Naučna knjiga, Beograd, 1952.
Prof. dr Joko Stanić	<i>Tehnološki merni sistemi</i>	Mašinski fakultet, Beograd, 1976.
Prof. dr Vidosav Majstorović	<i>Koncept totalnog kvaliteta - novi prilozi za tehnološke sisteme, Monografija</i>	Mašinski fakultet, Beograd, 1994.
Prof. dr Vidosav D. Majstorović, prof. dr Janko Hodolić	<i>Numerički upravljane merne mašine</i>	Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad Mašinski fakultet, Beograd, 1996.
Prof. dr Slavenko Stojadinović, prof. dr Vidosav D. Majstorović	<i>An Intelligent Inspection Planning System for Prismatic Parts - Monograph</i>	Springer Nature, Germany, 2019.

#### 4. NAUČNA ISTRAŽIVANJA, PUBLIKACIJE I KONFERENCIJE LABORATORIJE ZA PROIZVODNU METROLOGIJU I KVALITET

Svih ovih 75. godina Proizvodne metrologije na Katedri za proizvodno mašinstvo, istraživanja (razvojna i primenjena) su bila deo Projekata Laboratorije, što je tako i danas. Sa druge strane, odbranjeno je 285 diplomskih i master radova, 6 magistarskih i 4 doktorska rada iz ove oblasti, samo kod autora ovog rada, u periodu od 1987–2018. god. Ovaj period je izuzetno važan jer je u to vreme Laboratorija imala CMM, tabela 4, pa su iz tih razloga ostvareni ovi rezultati. Objavljeno je 93 rada na domaćim i međunarodnim konferencijama, kao i časopisima, od 1989. do 2021.

god. (vidi Prilog 1 – Reference članova i saradnika Laboratorije). Za potrebe privrede urađeno je više od 100 projekata, posebno iz oblasti CMM programiranja i merenja, najviše u periodu 1987–1998. godina. Laboratorija je učestvovala na devet međunarodnih projekata (dva su bila TEMPUS – 1991. god, i 2003. god, jedan sa Slovenijom, dva sa Austrijom, jedan sa Danskom, jedan sa Nemačkom, jedan sa Italijom i jedan sa Poljskom).

U daljem tekstu se navodi samo nekoliko najznačajnijih referenci:

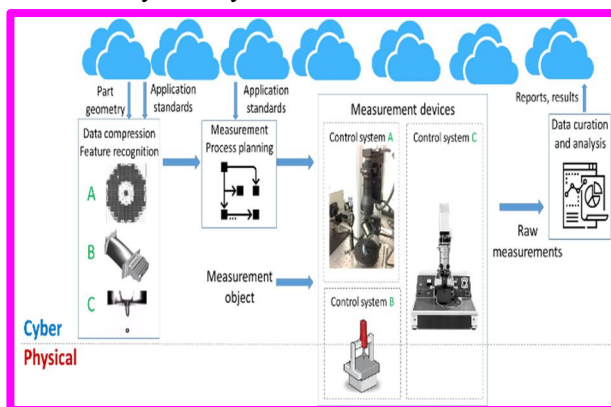
1. Majstorović V, Bojanić P, Milačić V, CAD-CAI Integration with Special Focus on Complex Surfaces, Annals of the CIRP, Vol. 41/1 (1992),

- pp. 535-538. [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)61262-1](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)61262-1).
- Dragan Djurdjanović, Yibo Jiao, Vidosav Majstorović, Multistage manufacturing process control robust to inaccurate knowledge about process noise, *CIRP Annals*, Volume 66, Issue 1, 2017, Pages 437-440, ISSN 0007-8506, <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.04.012>.
  - Vidosav Majstorovic, Slavenko Stojadinovic, Zivana Jakovljevic, Srdjan Zivkovic, Dragan Đurđanovic, Julija Kostic, Nemanja Gligorijevic, Cyber-Physical Manufacturing Metrology Model (CPM<sup>3</sup>) – Big Data Analytics Issue, *Procedia CIRP*, Volume 72, 2018, Pages 503-508, ISSN 2212-8271, <https://doi.org/10.1016/j.procir.-2018.-03.091>.
  - Djurdjanovic, Dragan & Haq, Asad & Magnanini, Maria Chiara & Vidosav, Majstorovic. (2019). Robust model-based control of multistage manufacturing processes. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.03.014>.
  - Majstorovic, V. D, Durakbasa N, Takaya Y, Stojadinovic S. (2019). Advanced Manufacturing Metrology in Context of Industry 4.0 Model. In: Majstorovic V, Durakbasa N. (eds) *Proceedings of the 12th International Conference on Measurement and Quality Control - Cyber Physical Issue*. IMEKO TC 14 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-18177-2\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-18177-2_1).
  - Ramin Sabbagh, Srdjan Živković, Vidosav Majstorovic, Dragan Djurdjanovic, Organization of big metrology data within the Cyber-Physical Manufacturing Metrology Model (CPM<sup>3</sup>), *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 6, Decembar 2021. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2021.10.009>.
  - Slavenko M. Stojadinovic, Vidosav Majstorovic, Adam Gaška, Sładek Jerzy Sładek, Numan Durakbasa. Development of a Coordinate Measuring Machine - Based Inspection Planning System for Industry 4.0. *Applied Sciences*. 2021; 11(18):-8411. <https://doi.org/10.3390/app-11188411>.

Referenca [1], predstavlja jedno od prvih istraživanja u svetu, gde je prikazan razvijeni model za definisanje metroloških primitiva za krive površine. Ono je posebno važno zbog toga, što je na taj način izvršena geometrijsko-metrološka integracija informacija za CMM programiranje, pri inspekciji krivih površina.

Ovaj prilaz je 2014. god, preveden u STEP AP 242 model, za iste namene. Sledeća referenca [2] je prikazala rezultate istraživanja na upravljanju tačnošću obradnih procesa, kada imamo nedovoljne i nepotpune informacije o njima. Za rešenje ovog problema, razvijen je i primenjen model dubokog učenja (DML), koji je pokazao dobre rezultate.

Dalje produbljenje ovih istraživanja za koncept Industrije 4.0, koji je prikazan u [4]. Istraživački model Laboratorije (CPM<sup>3</sup>) za Proizvodnu metrologiju u konceptu Industrije 4.0 je detaljno izložen u referencama [3, 5, 6 i 7]. On se u stručnim krugovima smatra za jedan od istraživačkih prilaza u ovoj oblasti, koji je do avgusta 2024. god, citiran 106 puta. Šema ovog modela - CPM<sup>3</sup>, je prikazana na slici 1.




Slika 1 - Sajber fizički model proizvodne metrologije (CPM<sup>3</sup>)

Suština ovog modela je da je virtuelni deo razvijen za cloud koncept, a obuhvata: 3D geometrijsko-metrološko modeliranje zasnovano na metrološkim primitivima [1], inteligentno planiranje inspekcije [4] i primenu DT za online simulaciju i inspekciju na realnoj CMM. Izlaz iz sistema su rezultati metrološke inspekcije, na kojima se primenjuju različite BDA analize.

Ovaj koncept je primenjen na više mesta u industriji Srbije, u fabrikama koje uvode u primenu elemente Industrije 4.0, posebno u oblasti proizvodne metrologije.

Laboratorija za metrologiju Mašinskog fakulteta, kao zajednička sa Institutom IAMA, je osnovana 1959. godine, tabela 4.

Tabela 4. Pregled razvoja Laboratorija iz oblasti Proizvodne metrologije na Mašinskom fakultetu u Beogradu

Naziv Laboratorije	Osnovna oprema
Laboratorija za Metrologiju Rukovodioci: 1. Prof. dr Vladimir Šolaja (1959–1966. god.) 2. Prof. dr Joko Stanić (1967–1985. god.)	Laboratorija je bila opremljena, u tadašnje vreme, savremenim alatnim mikroskopima, profil projektorima i uređajima za merenje hrapavosti.
Laboratorija za Proizvodnu metrologiju i TQM ( <a href="https://cent.mas.bg.ac.rs/">https://cent.mas.bg.ac.rs/</a> ) Rukovodioci: 1. Prof. dr Vidosav Majstorović (1986–2018. god.) 2. Prof. dr Slavenko Stojadinović (2018–)	Demo Centar KOMEG, Z. Nemačka – MF, Bgd (1987–1998. god.)  Laboratorija je bila opremljena sa Opton (Zeiss) CMM – 1200 x 800 x 450. Današnji pandam je Zeiss Prismo TS (na slici)

Prvu Laboratoriju za metrologiju je u Zavodu za mašine alatke formirao prof. dr Vladimir Šolaja, 1959. godine, kao istraživačku jedinicu za primenjenu metrologiju, koja je bila deo Instituta IAMA, ali je istovremeno korišćena za obrazovanje studenata, kroz njihov laboratorijski rad. Nivo tačnosti alatnih mikroskopa koje je Laboratorija koristila je bio 10 mikrometara. Laboratorija za proizvodnu metrologiju i menadžment totalnim kvalitetom je otvorena 4.4.1987. godine, povodom proslave 125 godina Univerziteta u Beogradu. Istovremeno je u okviru nje uspostavljen i zajednički Demo centar: KOMEG, Z. Nemačka -MF, Beograd. Kao jedna od sedam laboratorija Instituta za proizvodno mašinstvo i CIM, u navedenom periodu, ona raspolaže ili je raspolagala sledećom opremom: (i) metrološkim sistemima prethodnih generacija (univerzalni alatni mikroskop, uređaj za merenje hrapavosti i drugi), (ii) Numerički upravljana merna mašina (NUMM) UMC-850 sa odgovarajućom softverskom podrškom, i (iii) više PC stanica za off-line programiranje NUMM i geometrijsko modeliranje i razvoj softvera za sistem menadžmenta kvalitetom. Softver sa kojim Laboratorija raspolaže obuhvata: UMESS (inspekcija tolerancija dužina, uglova i položaja), KUM (inspekcija krivih linija i površina), GON (inspekcija cilindričnih zupčanika sa pravim i kosim zubima), RAM (inspekcija zupčanika sa zavojskim zubima), NOM (inspekcija bregastih osovinama), SAM (statističke analize i sinteze), MFT (off-line programiranje MM). U okviru istraživanja koristi se i licencirani Pro/Engineer softver, a posebno njegov CMM modul. Takođe se koristi softver SQC (Statistical Quality Control), VP-Expert (shell za ekspertne sisteme), kao i sopstveno razvijeni softver za: SPC, Tagučići metod, geometrijsko modeliranje krivih linija i površina i softver za bazu znanja za ekspertni sistem za

inspekciju, zatim softver za samoocenjivanje po TQM-VM modelu za poslovnu izvrsnost, softver za ocenjivanje organizacija prema evropskom TQM modelu za mala i srednja preduzeća, softver za ocenjivanje sposobnosti procesa, ekspertni sistem za inteligentno planiranje inspekcije. Strukturu sistema za inteligentno planiranje inspekcije čine sledeći osnovni moduli: (i) procesor neutralnog formata za inteligentni ES za inspekciju, čiji ulaz predstavlja CAD dokument mernog predmeta, projektovan u CATIA ili ProE programu i koji ima zadatak da generiše STEP fajl na osnovu unetog CAD fajla (ovaj modul je deo standardnih CAD/CAM paketa), (ii) baza znanja koja sadrži podatke o različitim mernim predmetima i načinima njihovog dekomponovanja na metrološke primitive, (iii) mehanizam za zaključivanje, koji ima ulogu da u strukturi STEP fajla prepozna metrološke primitive koji se mogu upariti sa odgovarajućim metrološkim primitivima iz baze znanja, da izvrši njihovu dekompoziciju na geometrijske primitive, da prepozna poziciju i orijentaciju dela i da definiše logičan konceptijski plan inspekcije analiziranog mernog predmeta na odgovarajućoj NUMM, (iv) modul za učenje, koji korišćenjem različitih tehnika veštačke inteligencije treba da vrši akviziciju novog znanja i formiranje novih pravila na osnovu prethodnih eksperimentalnih rezultata, (v) modul za objašnjenje linije zaključivanja, koji na zahtev korisnika opisuje proces zaključivanja i (vi) procesor neutralnog formata za on-line programiranje NUMM, koji treba da generiše program inspekcije na NUMM u neutralnom formatu (DMIS, NDF, VDA), kao ulaz u upravljačku jedinicu NUMM. Moduli (ii), (iii) i (iv) čine inteligentni ekspertni sistem za inspekciju (IESI). Laboratorija je od 1987. godine održavala i svoje konferencije, tabela 5.

Tabela 5. Pregled konferencija Laboratorija za proizvodnu metrologiju i TQM

Naziv Konferencije	Osnovne činjenice
International Conference “ <u>CMM – Coordinating measuring machines</u> ”	Organizovana 1987, 1988, 1990 i 1991. godine. Organizatori: KOMEG, West Germany i MF, Beograd. Ukupno publikovano 84 rada, po pola iz Jugoslavije i Zapadne Nemačke. Bilo prisutno 296 učesnika iz Jugoslavije i Zapadne Nemačke.
IFIP TC 5, WG 5.3 International Working Conference „ <u>Computer Integrated Quality System in CIM systems</u> ”	Organizovana 1989. godine. Organizatori: KOMEG, West Germany i MF, Beograd. Zbornik radova je izdao Elsevier, North Holland Publishing - ISBN-10 : 0444885625. 361 strana, 48 radova. Na Konferenciji je bilo 136 učesnika iz SAD, Engleske, Izraela, Francuske, Austrije, Zapadne i Istočne Nemačke, Mađarske, Grčke, Japana i Jugoslavije.
International Working Conference „ <u>Total Quality Management - Advanced and Intelligent Approaches</u> ”	Organizovana od 2001. do 2017. godine, svake druge godine, ukupno IX konferencija, na engleskom jeziku. Konferencija Laboratorije. Podržana od strane CIRP, Paris, Francuska, svaka Konferencija. Izdato 9 Zbornika radova sa oko 2400 strana. Publikovano ukupno 345 radova (oko 60% iz inostranstva). Na Konferencijama je bilo prisutno oko 2100 učesnika (oko 40% iz inostranstva).
JUPITER Konferencija – Simpozijum „ <u>Menadžment kvalitetom</u> ”	Održava se svake dve godine, 2022. godine održan 23. Simpozijum. Topic – Inteligentna metrologija.

Iz tabele 5 se može zaključiti da Laboratorija izuzetnu pažnju poklanja međunarodnim komunikacijama i saradnji, što pokazuje i spektar konferencija. One su u prethodnom periodu najviše doprinele uključivanju mlađih kolega u međunarodne komunikacije u oblasti Proizvodne metrologije.

Pored navedenih Konferencija, Laboratorija je bila domaćin još dve posebne konferencije i izdala dve međunarodne Monografije, kod Springera, tabela 6.

Tabela 6. Pregled Međunarodnih konferencija/monografija Laboratorija za proizvodnu metrologiju i TQM

Naziv Konferencija / Monografija	Osnovne činjenice
	Advanced Multiresponse Process Optimisation: An Intelligent and Integrated Approach, 1st ed. 2016 Edition, by Tatjana V. Šibalija, Vidosav D. Majstorović, Monograph. <a href="https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-19255-0">https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-19255-0</a> .
	Proceedings of 5th International Conference on Advanced Manufacturing Engineering and Technologies: NEWTECH 2017, Editors: V. Majstorovic, Z. Jakovljevic. <a href="https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-56430-2">https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-56430-2</a> .
	Proceedings of the 12th International Conference on Measurement and Quality Control - Cyber Physical Issue, IMEKO TC 14 2019, Editors: V. Majstorovic, N. Durakbasa. <a href="https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-18177-2">https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-18177-2</a> .
	An Intelligent Inspection Planning System for Prismatic Parts on CMMs, Authors: Slavenko M. Stojadinović, Vidosav D. Majstorović, Monograph. <a href="https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-12807-4">https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-12807-4</a> .

Monografija *Advanced Multiresponse Process Optimisation: An Intelligent and Integrated Approach*, sadrži sveobuhvatni model za optimizaciju kompleksnih industrijskih procesa sa više izlaznih kara-



teristika, koji je projektovan na osnovu tehnika veštačke inteligencije (AI).

Ovaj integrisani i inteligentni model je generičke prirode, odnosno, njegova primena nije uslovljena specifičnom prirodom industrijskog procesa koji se optimizuje, a namenjen je pretežno za kompleksne, napredne procese čiji analitički model nije poznat.

Laboratorija je bila domaćin The 5th International Conference on Advanced Manufacturing Engineering and Technologies: NEWTECH 2017. Bilo je 116 učesnika iz 12 zemalja Evrope, sa 36 radova. Prethodne četiri Konferencije su održane u TU Galati (Rumunija), KTH Stockholm (Švedska), TU Brno (Češka) i TU Wroclaw (Poljska). Laboratorija je takođe bila i domaćin The 12th International Conference on Measurement and Quality Control - Cyber Physical Issue, IMEKO TC 14 2019.

Naime IMEKO organizacija i njen TC 14 (<https://www.imeko.org/-/index.-php/tc14-homepage>) su nam poverili domaćinstvo ove prestižne Konferencije. Na naš predlog, glavna tema je bila Proizvodna metrologija u kontekstu Industrije 4.0. Na Konferenciji je bilo prisutno 86 učesnika iz 24 zemlje Evrope, Azije i Severne Amerike. Izloženo je ukupno 29 radova.

Najzad, Monografija „An Intelligent Inspection Planning System for Prismatic Parts on CMMs“, sadrži istraživanja o inteligentnom sistemu za planiranje inspekcije prizmatičnih delova na CMM. Istraživanja se sprovodena kroz razvoj četiri osnovna elementa ovog sistema: inženjerska ontologija, model planiranja inspekcije prizmatičnih delova na CMM, model optimizacije putanje mernog senzora, zasnovan na koloniji mrava i model planiranja konfiguracije mernog senzora korišćenjem genetskog algoritma.

Razvijeni model planiranja inspekcije na CMM ima sledeće module: definisanja metrološkog primitiva, strategije izbora mernih tačaka, analize pristupačnosti mernog senzora mernom predmetu i automatizovanog generisanja putanje mernog senzora, sa proverom kolizije.

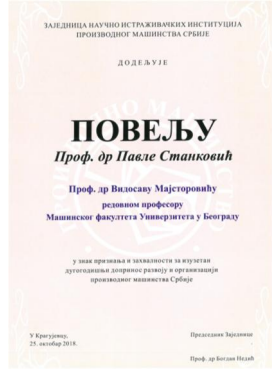
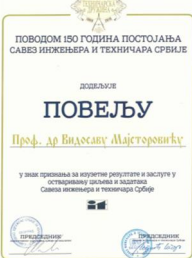
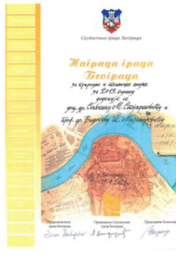

## 5. NAGRADE I ČLANSTVA U MEĐUNARODNIM ORGANIZACIJAMA

Prethodne informacije pokazuju obim i dubinu istraživačkih rezultata Laboratorije u poslednjih nekoliko decenija. Sve je to ostvareno predanim radom i jasnim istraživačkim planovima i ciljevima, koji su uvek bili usmereni ka unapređenju obrazovanja inženjera i industrijske primene izvršenih istraživanja.

Kao posledica ovakog prilaza, dobijena su i odgovarajuća priznanja, tabela 7. Ovde se posebno navodi da je Plaketu „Pavle Stanković“ dobio i prof. dr Joko Stanić, ali za istraživanja iz oblasti obrade metala

rezanjem, koja je bila osnovna istraživačka delatnost, a ne metrologija.

Tabela 7. Priznanja članovima Laboratorije za proizvodnu metrologiju i TQM





Naziv priznanja	Karakteristike
	Povelja i Plaketa prof. dr Pavle Stanković je dodeljena prof. dr Vladimiru Šolaji na XIV Savetovanju proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Budva, 1983. god. Povelja i Plaketa prof. dr Pavle Stanković je dodeljena prof. dr Joki Staniću na XXIV Savetovanju proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Novi Sad, 1992. god. Povelja i Plaketa prof. dr Pavle Stanković je dodeljena prof. dr Vidosavu D. Majstoroviću na XXXVII Savetovanju proizvodnog mašinstva Srbije, Kragujevac, 2018. god.
	Povelja SITS, povodom 150. god. njegovog postojanja je dodeljena prof. dr Vidosavu D. Majstoroviću za lični doprinos razvoju ove organizacije, Beograd, 2018. god.
	Nagrada za PRIRODNE I TEHNIČKE NAUKE grada Beograda za 2019. god. Prof. dr Slavenko Stojadinović, prof. dr Vidosav D. Majstorović
	Pismo o izboru prof. dr Vidosava D. Majstorovića za Profesora po pozivu na Cravow University of Techonolgy – Faculty of Mechanical Engineering, Cracow, 2019. god.

Povelja i plaketa Prof. dr Pavle Stanković, dodeljuje se poznatim i priznatim naučnim i stručnim radnicima za izuzetan doprinos razvoju proizvodnog mašinstva Srbije. Ona se dodeljuje na Savetovanju Proizvodnog mašinstva Srbije, koje se održava svake dve godine. Prof. dr Vidosavu D. Majstoroviću je dodeljena 2018. god. Savez inženjera i tehničara Srbije je 2018. god, slavio 150. godina postojanja i uspešnog rada. Tim povodom je prof. dr V. Majstorović nagrađen Poveljom za lični doprinos razvoju SITS. Nagrada za nauku grada Beograda je druga po rangu nagrada za nauku u našoj zemlji. Ona je članovima naše Laboratorije dodeljena 2019. godine. Mašinski fakultet iz Krakova, Poljska je 2019. god. je izabrao prof. dr Vidosava D. Majstorovića, za profesora po pozivu. To

je rezultat dugogodišnje saradnje sa prof. dr J. Sladekom i prof. dr A. Gaska-om iz Laboratorije za metrologiju. Takođe, ovde se posebno navodi, da je prof. dr V. Majstorović 2001. godine takođe izabran za profesora po pozivu na Vienna University of Technology, Department for Interchangeable Manufacturing and Industrial Metrology Vienna, kod prof. dr Herberta Osanne i prof. dr Numan-a Durakbase, sa kojima je takođe ostvarena dugogodišnja saradnja.

Članstva i aktivan rad u međunarodnim naučno-stručnim organizacijama, su sledeći aspekt rada istraživača Laboratorije na međunarodnoj naučnoj sceni. Iz tih razloga se u prethodnom periodu poklanjala posebna pažnja ovim aktivnostima, tabela 8.

Tabela 8. Članstvo u međunarodnim organizacijama članova Laboratorije za Proizvodnu metrologiju i TQM

Organizacija	Članstvo
 The International Academy for Production Engineering <a href="http://www.cirp.net">www.cirp.net</a>	Prof. dr Vladimir Šolaja, Active member (1969 – 1985). god. Prof. dr Vidosav D. Majstorović, Fellow Member, 1995. god.
 International Measurement Confederation <a href="http://www.imeko.org">www.imeko.org</a>	TC14 - Measurement of Geometrical Quantities 1. Prof. dr Vidosav D. Majstorović, 1996. god. 2. Prof. dr Slavenko Stojadinović, 2019. god.
 The International Federation for Information Processing <a href="http://www.ifip.org">www.ifip.org</a>	IFIP Working Group 5.7, Advances in Production Management Systems (APMS) Prof. dr Vidosav D. Majstorović, 2004. god.
 The International Federation of Automatic Control <a href="http://www.ifac-control.org">www.ifac-control.org</a>	TC 5.1. Manufacturing Plant Control TC 5.2. Management and Control in Manufacturing and Logistics Prof. dr Vidosav D. Majstorović, 2006. god.

CIRP je naznačajnija međunarodna Akademija za proizvodno inženjerstvo, osnovana 1951. god, sa sedištem u Parizu. Njegovo članstvo se zaslužuje vrhunskim naučnim rezultatima, jer se primenjuju vrlo visoki kriterijumima za izbora njegovih članova, a posebno redovnih (Fellow). Broj redovnih članova je ograničen, a sada ih ima 156. IMEKO je federacija nacionalnih organizacija za metrologiju, osnovan 1958. godine, a radi preko svojih Tehničkih komiteta (TC), koji čine pojedine oblasti metrologije, a imah ih ukupno 25. Naš TC 14 je za Metrologiju geometrijskih veličina, je osnovan 1980. godine. Kriterijumi za izbor svojih članova IMEKO takođe zasniva na ostvarenim naučnim rezultatima kandidata iz metrologije (TC u koji se bira). IFIP je međunarodna federacija za obradu informacija, osnovana 1959. godine, koga podržavaju

nacionalne organizacije. On svoje naučno-stručne aktivnosti realizuje preko TC kojih ima 13, sa 132 Radne grupe (WG). Naš TC je broj 5 – Primena informacionih tehnologija, a WG 5.7 – Napredni proizvodni menadžment. IFAC je međunarodna organizacija za automatsko upravljanje, osnovana 1956. god. I njega čine nacionalne organizacije, a rad je organizovan preko 9 koordinacionih komiteta (CC) i ukupno 39 TC (tehničkih komiteta). Naš CC je 5 – Sajber fizička proizvodnja, a TC su: TC 5.1 Upravljanje proizvodnjom u pogonu, i TC 5.2 – Upravljanje proizvodnjom i logistikom. I na kraju, IFIP i IFAC takođe svoje članove biraju prema ostvarenim naučnim rezultatima kandidata. Laboratorija za metrologiju i TQM je među retkima, da njihovi članovi imaju članstvo u najuglednijim naučno-stručnim organizacijama u svetu.

## 5. PROIZVODNA METROLOGIJA – ŠTA JE BUDUĆNOST

Budućnost proizvodne metrologije je u potpunoj korelaciji sa razvojem modela pametne proizvodnje, ili drugačije rečeno, puna primena modela Industrije 4.0 u proizvodnoj metrologiji.

U takvom sledu događaja, uloge AI i ML će biti velike i značajne, što znači da će se u tom kontekstu proizvodna metrologija primenjivati i biti podrška za [14]:

(i) digitalnu proizvodnju, koja će biti zasnovana na AI, gde će se kreirati digitalne verzije fizičkih proizvoda, omogućavajući virtuelnu izradu prototipa, simulaciju i merenje, pre realne proizvodnje,

(ii) projektovanje za proizvodnju, uključujući i metrologiju, a u ovom slučaju AI će pomoći da se stvore proizvodi pogodni za proizvodnju, koji će zadovoljiti sve zahteve kupca i ekologije, a uz štednju resursa,

(iii) optimizacija procesa proizvodnje i merenja, AI može analizirati proizvodne podatke kako bi se optimizirali proizvodni i metrološki procesi, smanjujući potrošnju energije, otpad i troškove,

(iv) inteligentno planiranje proizvodnje, uključujući i metrologiju, zasnovano na AI može optimizirati proizvodne i metrološke resurse, na osnovu predviđanja potražnje, ograničenja lanca snabdevanja i proizvodnih kapaciteta,

(v) automatizacija metrologije i kolaborativni roboti, će koristiti AI algoritme za optimizaciju zadatka montaže, zavarivanja i inspekcije. Koboti sa AI povećavaju produktivnost i smanjuju troškove rada,

(vi) proširena stvarnost (AR) i digitalni blizanci (DT) podržani AI će se koristiti za simulaciju procesa, mašina i sistema, uključujući i metrologiju, a radi njihovog održavanja i obuke, i

(vii) kontrola i obezbeđenje kvaliteta, AI će se koristiti za analizu podataka o kvalitetu proizvoda u realnom vremenu, otkrivanje nedostataka i grešaka, uz omogućavanje brzih korektivnih akcija za poboljšanje kvaliteta proizvoda, koristeći pri tome BDA analize.

Ovo su neki pravci budućeg razvoja Proizvodne metrologije, kao sastavnog dela pametne proizvodnje.

## 6. UMESTO ZAKLJUČKA

Proizvodna metrologija je izuzetno važna oblast inženjerstva, jer ona čini suštinu svakog inženerskog proizvoda, ili je kvalitetan ili ne, metrologija to utvrđuje svojim metodama i metrološkim uređajima.

Ovaj rad sa najvećim poštovanjem, zahvalnošću i uvažavanjem posvećujem prvoj trojici izuzetnih profesora Proizvodne metrologije na Katedri za proizvodno mašinstvo, Mašinskog fakulteta u Beogradu:

prof. dr Pavlu Stankoviću, prof. dr Vladimiru Šolaji i prof. dr Joku Staniću.

## 7. ZAHVALNICA

Autor želi da izrazi posebnu zahvalnost, kolegici i kolegama, koji su lično doprineli stvaranju vrhunskih naučnih rezultata Laboratorije u poslednje dve decenije: prof. dr Numan Durakbasa, TU Vienna, Austria, prof. dr Dragan Đurđanović, MEF, University of Texas, Austin, USA, prof. dr Slavenko Stojadinović, MF, Bgd, prof. dr Tatjana Šibalića, Univerzitet Metropolitan, Beograd i dr Srđan Živković, VTI, Beograd.

### LITERATURA

- [1] Kaarls, R. Metrology, essential to trade, industry and society. *Accred Qual Assur* 12, 435–437 (2007). 10.1007/s00769-007-0301-6.
- [2] Weckenmann Albert & Krämer, Philipp & Hoffmann, Jörg. Manufacturing Metrology - State of the Art and Prospects. *9th International Symposium on Measurement and Quality Control (9th ISMQC)*, November 21 – 24, IIT Madras, pp. 1-8, 2007.
- [3] Franceschini Fiorenzo & Galetto Maurizio & Maisano Domenico & Mastrogiacomo Luca & Pralio Barbara. *Distributed Large-Scale Dimensional Metrology: New Insights*. Springer-Verlag London Limited 2011. 10.1007/978-0-85729-543-9, 2011.
- [4] Zhao Yaoyao & Brown R. & Kramer Thomas & Xu Xun. *Information Modeling for Interoperable Dimensional Metrology*. Springer-Verlag London Limited, 10.1007/978-1-4471-2167-1, 2011.
- [5] Weckenmann, A, Philipp Krämer and Goekhan Akkasoglu. Metrology–base for scientific cognition and technical production. *AIP Conf. Proc.* 1431, 283, 10.1063/1.4707576, 2012.
- [6] Weckenmann Albert & Hartmann W, Function-oriented Measurements - The Path from Macro to Micro and Nano Range. *Procedia Engineering*. 63. 861-872. 10.1016/j.proeng.2013.08. 173, 2013.
- [7] Hartmann Wito & Weckenmann Albert, Function-Oriented Dimensional Metrology - More than Determining Size and Shape. *Proceedings Sensor 2013*. 285-290. 10.5162/sensor2013/B6.1, 2013.
- [8] N. V. Raghavendra, L. Krishnamurthy, *Engineering Metrology and Measurements*, Oxford University Press 2013.
- [9] Śladek, Jerzy. *Coordinate Metrology - Accuracy of Systems and Measurements*. Springer-Verlag London Limited 2016. 10.1007/978-3-662-48465-4, 2016.
- [10] Eric Tell, Alexander Ökvist, Smart Manufacturing and Metrology - How can metrology enable smart manufacturing? Bachelor Thesis in Product Real-

- zation and Industrial Engineering. 2017. [citirano 2024, Septembar 20]. Raspoloživo na: [https://www.diva-portal.org/smash/get/div\\_a2:1292563/-fulltext01.pdf](https://www.diva-portal.org/smash/get/div_a2:1292563/-fulltext01.pdf).
- [11] Andreas Schütze, Nikolai Helwig, and Tizian Schneider, Sensors 4.0 – smart sensors and measurement technology enable Industry 4.0, *J. Sens. Syst.*, 7, 359–371, 2017, 10.5194/jsss-7-359-2018.
- [12] Dietrich Imkamp, Jürgen Berthold, Michael Heizmann, Karin Knie, Eberhard Manske, Martin Peterek, Robert Schmitt, Jochen Seidler, and Klaus-Dieter Sommer, Challenges and trends in manufacturing measurement technology – the “Industrie 4.0” concept, *J. Sens. Syst.*, 5, 325–335, 2017, 10.5194/jsss-5-325-2017.
- [13] Ferreira, Fernando & Guerra, H. The coordinate measuring machines, essential tools for quality control of dimensional and geometrical specifications of technical components, in the context of the industry 4.0. *Journal of Physics: Conference Series*. 1044. 012065. 10.1088/1742-6596/1044/1/012065, 2018.
- [14] Vidosav, Majstorovic & Durakbasa, Numan & Takaya, Yasuhiro & Stojadinovic, Slavenko. Advanced Manufacturing Metrology in Context of Industry 4.0 Model. In book: *Proceedings of the 12th International Conference on Measurement and Quality Control - Cyber Physical Issue*, (pp.1-11). 10.1007/978-3-030-18177-2\_1, 2019.
- [15] Fanton, Jean-Pierre. A brief history of metrology: Past, present, and future. *International Journal of Metrology and Quality Engineering*. 10. 5 (2019), 10.1051/ijmqe/2019005, 2019.
- [16] Stojadinovic, Slavenko & Vidosav, Majstorovic. *An Intelligent Inspection Planning System for Prismatic Parts on CMMs*. Springer Nature Switzerland AG 2019. 10.1007/978-3-030-12807-4, 2019.
- [17] Štefan Bodi, *Virtual Quality Management in the Era of Industry 4.0*, PhD Thesis, 10.13140/RG.2.2.34973.26084, 2020.
- [18] Fountas, N. A. & Vaxevanidis, Nikolaos. Intelligent 3D tool path planning for optimized 3-axis sculptured surface CNC machining through digitized data evaluation and swarm-based evolutionary algorithms. *Measurement*. 158. 107678. 10.1016/j.measurement.2020.107678, 2020.
- [19] Castro-Martin, A. P, Ahuett-Garza H, Guamán-Lozada D, Márquez-Alderete M. F, Urbina Coronado, P. D, Orta Castañón, P. A, Kurfess, T. R, González de Castilla, E. Connectivity as a Design Feature for Industry 4.0 Production Equipment: Application for the Development of an In-Line Metrology System. *Appl. Sci.* 2021, 11, 1312. 10.3390/app11031312.
- [20] Hinz L, Metzner S, Müller P, Schulte R, Besserer H. B, Wackenrohr S, Sauer C, Kästner M, Hausotte T, Hübner S, Nürnberger F, Schleich B, Behrens B. A, Wartzack S, Merklein M, Reithmeier E. Fringe Projection Profilometry in Production Metrology: A Multi-Scale Comparison in Sheet-Bulk Metal Forming. *Sensors* 2021, 21, 2389. 10.3390/s21072389.
- [21] Przyklenk, Anita & Balsamo, Alessandro & O'Connor, Daniel & Evans, Alexander & Yandayan, Tanfer & Akgoz, Sibel & Flys, Olena & Phillips, Dishi & Zelený, Vít & Czułek, Dariusz & Meli, Felix & Ragusa, Carlo & Bosse, Harald. (2021). New European Metrology Network for Advanced Manufacturing. *Measurement Science and Technology*. 32. 10.1088/1361-6501/ac0d25.
- [22] Barbosa C. R. H, Sousa M. C, Almeida M. F. L, Calili R. F. Smart Manufacturing and Digitalization of Metrology: A Systematic Literature Review and a Research Agenda. *Sensors*, 22, 6114. doi.org/10.3390/s22166114, 2022.
- [23] Rubel, Robiul Islam & Ali, Md & Akram, Md Washim. Role of in-process metrology in industry 4.0 smart manufacturing. *Academic Journal of Manufacturing Engineering*. 20. [citirano 2024, Septembar 20]. Raspoloživo na: [https://www.-ajme.ro/PDF\\_AJME\\_2022\\_2/L2.pdf](https://www.-ajme.ro/PDF_AJME_2022_2/L2.pdf), 2022.
- [24] Kankar P. K, Moona G. & Desai K. A. Measurement and Metrology in Advanced Manufacturing Processes. *MAPAN* 37, 703–705, 10.1007/s12647-022-00606-w, 2022.
- [25] Dreyfus Paul-Arthur & Psarommatis Foivos & May Gökan & Kiritsis Dimitris. Virtual metrology as an approach for product quality estimation in Industry 4.0: a systematic review and integrative conceptual framework. *International Journal of Production Research*. 60. 10.1080/00207543.2021.1976433, 2021.
- [26] Serban, Petru & Stanasel, Iulian & Peti, Ferencz. (2023). Mathematics Connection Between CMM and CNC Parameter Setup. *SCIENDO*. 20. 2023. 10.2478/amset-2023-0011.
- Prilog 1. Reference članova i saradnika Laboratorije u oblasti Proizvodne metrologije u periodu 1989 – 2021. god.
- Ovaj period je važan jer je Laboratorija raspolagala 11. godina (1987–1998.god.) sa najsvremenijom istraživačkom opremom iz oblasti proizvodne metrologije, pa su tada izvršena istraživanja i postavljeni modeli koji imaju i refleksiju danas: ekspertni sistemi, mašinsko učenje i inteligentna inspekcija na CMM. U tom

periodu je i urađen najveći broj diplomskih/magistarskih i doktorskih radova (3/4), navedenih u tački 4.

- [27]Majstorović V, Milačić V, Stanić J, An Approach to the Inspection Expert System Building, Proceedings of The *First International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instrument*, pp. 148 – 156. Wuhan, China, 1989.
- [28]Majstorović V, Milačić V, Stanić J, Development of An Expert System for Inspection, Proceedings of IFIP WG 5.3 *Working Conference on Computer Integrated Quality System in CIM Systems*, pp. 12-18, Belgrade, Yugoslavia, 1989.
- [29]Majstorović V, Stanić J, Metrological Integration for CAI Model, Proceedings of *International Symposium Automatization and Measurement Technique*, pp. 84-90, Vienna, Austria, 1990.
- [30]Majstorović Vidosav, Rakić M, Stanić, J. Inspekcija i merenje krivih linija i površina, U: Zbornik radova. S. 1.: *Jupiter system*, 1990, str. 205-212. [COBISS.SR- ID 513699491], 1990.
- [31]Majstorović Vidosav, Rakić M, Stanić J. Povoljnost merenja NUMM-a na bazi mernih predmeta, U: Zbornik radova. S. 1.: *Jupiter system*, str. 213-219. [COBISS.SR-ID 513699747], 1990.
- [32]Majstorović V, Stanić J, Milačić V, Knowledge Base Model in an Expert System for Inspection, *The First CIRP Workshop Learning in IMS*, Proceedings, pp. 264-270, Budapest, Hungary, 1991.
- [33]Stanić, Joko, Majstorović, Vidosav, Merni sistemi u proizvodnoj metrologiji, *Časopis Kval. stand.*, 19, 2-3, str. 11-25. [COBISS.SR-ID 28500994], 1991.
- [34]Majstorović, Vidosav D, Milivojević, Milovan, Stanić, Joko. Razvoj CIQ - modela za tehnološke fabrike, *Tehnika* Beograd, 46, 3-4, str. 199-204. 1991.
- [35]Majstorović, Vidosav, Milivojević, Milovan, Stanić, Joko. Razvoj CiQ modela, *Tehnika*, Beograd, god. 46, br. 3/4, str. 199-204. 1991.
- [36]Bojanić P, Majstorović V, Milačić V, CAD-CAI Integration with Special Focus on Complex Surfaces, *Annals of the CIRP*, Vol. 41/1, pp. 535-538, 1992.
- [37][11] Majstorović V., Balendra, R., Expert System for Inspection Planning, *Eight International Conference on Manufacturing Research*, Proceedings, pp. 157-162, Birmingham, UK, 1992.
- [38]Majstorović V, Milačić V, Uncertainty of Coordinate Measuring Machine, *ASPE Annual Meeting, Proceedings*, pp. 120-128, Seattle-Washington, USA, 1993.
- [39]Majstorović V, Milačić V, Rakić M, Intelligent Inspection in CIM Environment, *International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments*, Proceedings, pp. 214-220, Wuhan, China. 1993.
- [40]Majstorović, Vidosav, Rakić, Milutin, Stanić, Joko. *Geometrijsko modeliranje pomoću NUMM*, U: Teška mašinogradnja: Zbornik radova. knj. 3, Proizvodnja. Kraljevo: Mašinski fakultet, str. 482-487. 1993.
- [41]Majstorović Vidosav D, Kokotović Slobodan, CAD-CAI integracija za složene krive linije, *Tehnika* Beograd, 49, 3-4, str. M5-8M. 1994.
- [42]Majstorović Vidosav D. Koncept totalnog kvaliteta: novi prilozii za tehnološke sisteme = Total quality concept: advanced approach to manufacturing systems, (Inteligentni tehnološki sistemi, Serija monografskih radova, knj. 6, vol. 6). Beograd: Mašinski fakultet, 200 str., graf. prikazi. 1995.
- [43]Majstorović, V, Stojković S, Tumbas Z, Intelligent CAD/CAI Interface, *Second International Workshop on Learning in Intelligent Manufacturing Systems*, Proceedings, pp. 84-88, Budapest, Hungary, 1995.
- [44]Majstorović V, Tumbas Z, Inspection Features in Intelligent CAI Model, *Second International Workshop on Learning in Intelligent Manufacturing Systems*, Proceedings, pp. 210-214, Budapest, Hungary, 1995.
- [45]Majstorović, V, Bojanić, P, Milačić, V, Expert System for Planning on Coordinate Measuring Machine, *The First World Congress on Intelligent Manufacturing Processes & Systems*, Proceedings, pp. 909-919, San Yuan, Puerto Rico, 1995.
- [46]Rakić Milutin, Stanić Joko, Majstorović Vidosav, *Formiranje mernog senzora NUMM pomoću ekspertnog sistema za inspekciju*, U: Kalajdžić, Milisav. Zbornik radova. Beograd: Mašinski fakultet: JUPITER asocijacija, str. 5.31-5.36. 1996.
- [47]Rakić, Milutin, Majstorović, Vidosav. *Izbor karakteristika NUMM pomoću ekspertnog sistema za inspekciju*, U: Јовановић, Томислав (ур.). Zbornik radova. Beograd: Mašinski fakultet, str. 525-527. 1996.
- [48]Majstorović Vidosav. Virtualni kvalitet = Virtual quality. *Menadž. total. kval.* 24, 3-4, str. 87-96. 1996.
- [49]Majstorović V, Rakić M, Metrological Features of Expert System for Inspection of Curves, *International Conference "Flexible Automatization"*, Proceedings, pp. 180-186, Taipei, Taiwan, 1996.
- [50]Bojović Božica, Majstorović Vidosav, *Primena veštačke inteligencije kod QFD metode*, U: Milačić, Vladimir, Kalajdžić, Milisav. Zbornik radova. Beograd: Mašinski fakultet: JUPITER asocijacija, str. 527-532, 1997.

- [51]Majstorović Vidosav D, Bojanić Pavao. Informaciona integracija za kvalitet, U: Majstorović, Vidosav (ur.). Menadžment totalnim kvalitetom: Radovi saopšteni na 24. godišnjoj konferenciji JUSK-a, 28-30. maj 1997. Beograd: Jugoslovensko udruženje za standardizaciju i kvalitet (JUSK), 1997, str. 169-175. 1997.
- [52]Majstorović Vidosav D. Menadžment totalnim kvalitetom i reinženjerstvo tehnoloških sistema, U: *Save-tovanje Razvoj i realizacija nacionalne strategije unapređenja kvaliteta*: Kopaonik, 18-21. mart 1997. Beograd: JUSK, str. 71-78. 1997.
- [53]Majstorović V, Rakić M, Expert System for Inspection Planning on CMM, *The Second Congress on Intelligent Manufacturing Processes & Systems*, Proceedings, pp. 145-148, Budapest, Hungary, 1997.
- [54]Živković S, Majstorović V, Kalajdžić M, Developed CAI System for Complex Parts, Proceedings, *The Second World Congress on Intelligent Manufacturing Processes & Systems*, Proceedings, pp. 425-429, Budapest, Hungary, 1997.
- [55]Bojanić P, Majstorović V, Vraneš S, Intelligent Environment for Product and Process Design, Proceedings of 29th CIRP Manufacturing Systems Conference, pp. 145-148, Osaka, Japan, 1997.
- [56]Majstorović Vidosav, Hodolić Janko. *Numerički upravljane merne mašine*, (Edicija NUMA FTS), [1. izd.]. Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, 183 str., ilustr. 1998.
- [57]Majstorović V, Bojanić P, Domazetović S, Recognition of Product Features as a Basic for the Building of Intelligent Concurrent Design Systems, *International Journal "Production Engineering and Computers"*, No.2, Vol. 2, pp. 23-27, Belgrade, Yugoslavia, 1998.
- [58]Majstorović V, Virtual Quality in Agile Manufacturing Systems, *4th International Seminar "Intelligent Manufacturing Systems - Theory and Practice"*, Proceedings, pp. 27-31, Belgrade, Yugoslavia, 1998.
- [59]Majstorović V, Hodolić J, Stević M, *Model for CMM Testing by LMS*, American Society for Precision Engineering, Proceedings of Annual Meeting, pp. 318-324, St. Louis, USA, 1998.
- [60]Rakić Milutin, Majstorović Vidosav. *Učenje u ekspertnom sistemu za inspekciju*, Zbornik radova. Beograd: Mašinski fakultet: JUPITER asocijacija, str. 5.49-5.54. 1999.
- [61]Bojanić P, Majstorović V, Vraneš S, Intelligent Environment for Product and Process Design, pp. 78 – 84, *International Journal "CIRP of Manufacturing Systems"*, Vol. 29, No. 1, ISSN 1581 – 5048, Ljubljana, Slovenia, 1999.
- [62]Živković Srđan, Majstorović Vidosav. *Inspekcija složenih prostornih oblika u agilnim tehnološkim sistemima* Zbornik radova. Beograd: Mašinski fakultet: JUPITER asocijacija, 1999, 1999, стр. 5.17-5.22. 1999.
- [63]Rakić Milutin, Stanić Joko, Majstorović Vidosav. *Statistički metod sinteze korelacionih grešaka obradnih procesa* Zbornik radova. Beograd: Mašinski fakultet univerziteta, str. 5.9-5.12, 2001
- [64]Majstorović V, Inspection Planning on CMM Based Expert System, Proceedings of 36<sup>th</sup> CIRP International Conference on Manufacturing Systems, pp. 48 – 56, Saarbrucken, Germany, 2003..
- [65]Majstorović Vidosav D, Nešić Nenad. Razvoj modela ekspertnog sistema za inspekciju, *Q kvalitet*, vol. 13, br. 9/10, str. 80-84, 2003.
- [66]Majstorović Vidosav D. Digitalna fabrika i digitalni kvalitet, *Menadž. total. kval*, vol. 32, br. 3/4, str. 86-90. 2004.
- [67]Gligorić Srđan J, Majstorović Vidosav D. Istraživanja za razvoj CAI modela, *Model. Menadž. total. kval*, 2004, vol. 32, br. 3/4, str. 112-117. 2004.
- [68]Majstorović Vidosav D, Erčević Bojan, Erčević Marko, Zukan Igor, Digitalna fabrika i CAI model. *Menadž. total. kval. izvr.*, vol. 37, br. 3/4, str. 107-111, slike. 2009.
- [69]Stojadinovic S, Majstorovic V, Metrological primitives in production metrology – ontological approach, *34th International Conference on Production Engineering*, 29.-30. September, Nis, Serbia, 167-170, 2011.
- [70]Tatjana V. Sibalija & Sanja Z. Petronic & Vidosav D. Majstorovic & Radica Prokic-Cvetkovic & Andjelka Milosavljevic, Multi-response design of Nd:YAG laser drilling of Ni-based superalloy sheets using Taguchi's quality loss function, multivariate statistical methods and artificial intelligence, *Int J Adv Manuf Technol* 54:537–552, 10.1007/s00170-010-2945-3, 2011.
- [71]Vidosav D Majstorović, Digital Engineering – Current Challenges and Opportunities, Proceedings of XV International Scientific Conference on Industrial Systems (IS'11), 34-40, Novi Sad, Serbia, September 14. – 16. University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department for Industrial Engineering and Management, Novi Sad, Yugoslavia, 2011.
- [72]Vidosav D. Majstorović, Serbian Contribution for High Performance and High Aided Value Manufacturing – An Industrial Application, Special session related to ManuFuture Village Umbrella Initiative called “South East Europe Contributions for the New Industries European Innovation

- Partnership”, *Manufuture Conference*, Wroclaw 24 – 25, October, Poland, 2011.
- [73] Tatjana Šibalija, Vidosav Majstorović, Mirko Soković, Taguchi-Based and Intelligent Optimisation of a Multi-Response Process Using Historical Data, *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering* 57(2011)4, 357-365, 0.5545/sv-jme.-2010.-061, 2011.
- [74] Stojadinović S, Majstorović V, Engineering ontology – state of the art and future development, *Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Working Conference "Total Quality Management – Advanced and Intelligent Approaches"*, 53-58, Belgrade, Serbia, 6<sup>th</sup> – 10<sup>th</sup> June 2011, 2011.
- [75] Stojadinovic S, Majstorovic V, Towards the Development of Future-Based Ontology for Inspection Planning on CMM, *Journal of Machine Engineering*, Vol. 12, No. 1, Proceedings, 89-98, 2012.
- [76] Majstorović V, Towards a Digital Factory – Research in the World and our Country, Introduction paper, *Proceedings of 5th International Conference of Industrial Engineering*, pp. 13 – 16, Belgrade, ISBN 978-86-7083-4, 2012
- [77] Prof. dr. Vidosav D. Majstorović, Bojan Erčević, M.Sc, Marko Erčević, M.Sc, Igor Zukan M.Sc, CAI Model for Digital Manufacturing – Our Approach, Introduction paper, *International Conference "KODIP - 2012"*, Proceedings, pp. 24-28, Budva, Montenegro, 19.06.2013, 2012.
- [78] Šibalija T, Majstorovic V, An integrated simulated annealing-based method for robust multiresponse process optimisation (Article), *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, April 2012, Volume 59, Issue 9-12, pp 1227-1244, <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00170-011-3572-3>, 2012.
- [79] Šibalija T, Majstorovic V, An integrated approach to optimise parameter design of multi-response processes based on Taguchi method and artificial intelligence (Article), *Journal of Intelligent Manufacturing*, October 2012, Volume 23, Issue 5, pp 1511-1528, <http://link.springer.com/article/10.10072Fs10845-010-0451-y>, 2012.
- [80] Majstorović V, Šibalija, T. Knowledge-based system for Taguchi’s robust design model, *Proceedings of the 14th International Conference on Modern Information Technology in the Innovation Processes of Industrial Enterprises – MITIP 2012*, pp. 486-498, October 2012, Budapest, Hungary, 2012.
- [81] Majstorovic V., Hybrid Knowledge-based Process Designer Model - PIP\_12 – WMF 2012 - Scientific Forum and Proposers’ Day, *World Manufacturing Forum*, Stuttgart, Germany, 2012.
- [82] Majstorovic V, *Intelligent system for engineering optimization based on Taguchi model*, SIG Meeting of European project “Virtual Factory Framework” (VFF) FP7, Budapest, April 2012, Proceedings, pp. 24-30, Budapest, Hungary, 2012.
- [83] Majstorovic Vidosav D, Trajanovic Miroslav D, Vitkovic Nikola, Stojkovic Milos S, Reverse engineering of human bones by using method of anatomical features, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, vol. 62 br. 1, str. 167-170. 10.1016/j.cirp.2013.03.081, 2013.
- [84] Vidosav D. Majstorovic, Tatjana Šibalija, Quality Improvement Using Taguchi’s Model: – A Case Study from Serbia, *Scientific Journal of RTU: Economics and Business*, Vol. 24, pp. 94-98. 10.7250/eb.2013.011, 2013.
- [85] Slavenko M. Stojadinović, prof. dr. Vidosav D. Majstorović, Inspection Planning for Prismatic Parts on CMM Based on Ontology Knowledge Base, Production Engineering Department, Laboratory for Quality Management and Production Metrology, Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, Serbia; *The 7th International Working Conference "Total Quality Management – Advanced and Intelligent Approaches"*, 3rd – 7th June, 2013, Belgrade, Serbia. Session 4 – Young PhD researchers, Proceedings 005.6 (082), pp:71-76, 2013.
- [86] Tatjana V. Šibalija, Vidosav D. Majstorović, Bojan M. Erčević, Marko M. Erčević, PROCESS Planning for Prismatic Parts in Digital Manufacturing, Introduction paper, Faculty of Engineering International Management, European University, Belgrade, Serbia; 2 Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade, Belgrade, Serbia; 3 IVA 28 d.o.o, Novi Beograd, Serbia. *The 7th International Working Conference "Total Quality Management – Advanced and Intelligent Approaches"*, 3rd – 7th June, 2013, Belgrade, Serbia. Session 21 - Closing Plenary Session - QM, TQM & IMS - New Dimensions, Proceedings 005.6 (082), 2013.
- [87] Majstorovic V, Stojadinovic D, Research and development of knowledge base for inspection planning prismatic parts on CMM – (ID 256) *11th IMEKO TC14 International Symposium on Measurement and Quality Control – ISMQC*, 2013, September 11-13, Cracow-Kielce, Poland, Session W1.1. Coordinate Measuring Machines I, Proceedings, pp. 46 – 52. 10.21014/ACTA\_IMEKO.V4I2.205, 2013.
- [88] Majstorovic V, Zivkovic S, Developed computer aided inspection method for free-form surfaces applied on aeronautical lift and control surfaces – (ID 262), *11th IMEKO TC14 International Symposium on Measurement and Quality Control*, September 11-13, Cracow-Kielce, Poland, Miscellaneous appli-

- cations of metrology, Proceedings, pp. 142 – 148. 10.21014/ACTA\_IMEKO.V4I2.216, 2013.
- [89] Vidosav Majstorović, Bojan Erčević, Marko Erčević, Igor Zukan, CAI Model and Digital Factory, *International Journal - Proceedings in Manufacturing Systems*, Volume 8, Issue 1, pp.25-28, 2013, ISSN 2067-9238, Romania, Bucharest, 2013.
- [90] Majstorovic V, Sibalija T, Ercevic B, Ercevic M. *CAPP model for prismatic parts in digital manufacturing*. In George L. Kovács and Detlef Kochan (Eds.): IFIP Advances in Information and Communication Technology, Digital Product and Process Development Systems, Springer; pp. 190-204. 10.1007/978-3-642-41329-2, 2013.
- [91] Majstorovic V, Manufacturing Innovation and Horizon 2020 – Developing and implement ‘new manufacturing’, Introduction Plenary Presentation, *22<sup>nd</sup> International Conference on Manufacturing Systems - ICMA S* 14<sup>th</sup> -15<sup>th</sup> November, Bucharest, Romania. (M 31-3). Proceedings, pp. 12-18, 2013.
- [92] Vidosav D. Majstorovic, Education of Production Engineers for Digital Manufacturing, *35<sup>th</sup> International Conference on Production Engineering*, 25. - 28. September 2013, Kraljevo, Serbia, University of Kragujevac, Faculty of Mechanical and Civil Engineering Kraljevo, Proceedings, pp. 349 – 352, Kraljevo, Serbia, 2013.
- [93] Vidosav D. Majstorovic, Manufacturing and Horizon 2020 - What are important for Serbia ? Plenary presentation - Review paper, *35<sup>th</sup> International Conference on Production Engineering*, 25. - 28. September 2013, Kraljevo, Serbia, University of Kragujevac, Faculty of Mechanical and Civil Engineering Kraljevo, Proceedings. pp. 35 – 40, Kraljevo, Serbia, 2013.
- [94] Vidosav Majstorović, Closing the loop from design to production – one example from Serbia - W1.2 *Supply Chains for Customised Products, Manufacture 2013 Conference*, 6-8 October 2013, Proceedings, Vilnius, Lithuania, 2013.
- [95] Vidosav Majstorovic, Tatjana Sibalija, Marko Ercevic, Bojan Ercevic, CAI Model for Prismatic Parts in Digital Manufacturing, *Procedia CIRP*, Volume 25, Pages 27-32, *8th International Conference on Digital Enterprise Technology - DET 2014* – “Disruptive Innovation in Manufacturing Engineering towards the 4th Industrial Revolution 10.1016/j.procir.2014.10.006, 2014.
- [96] Tatjana V. Sibalija, Sanja Z. Petronic, Vidosav D. Majstorovic, Andjelka Milosavljevic, Modelling and optimisation of laser shock peening using an integrated simulated annealing-based method, *Int J Adv Manuf Technol* 73:1141–1158; 10.1007/s00170-014-5917-1, (Print) 1433-3015 (Online), 2014.
- [97] Vidosav D. Majstorović, Jelena Mačužić, Tatjana V. Sibalija, Bojan Ercevic, Marko Ercevic, „Cyber-Physical Manufacturing Systems“; Introduction paper for Session: Information, Management And Communication Systems, *XVI International Scientific Conference on Industrial Systems (IS'14)*, October 15. – 17. 2014., Proceedings, pp. 113 – 118. Novi Sad, Serbia, 2014.
- [98] Vidosav D. Majstorović, Jelena Mačužić, Tatjana V. Sibalija; „Cyber-Physical Manufacturing Systems – Advanced Toward New Industrial Paradigm“; Introduction Opening Plenary Presentation, Proceedings, pp: 8-11, *23rd International Conference on Manufacturing Systems ICMAS 2014*, 13th Nov 2014 – 14th Nov 2014, Machines and Production Systems Department, University ’’Politehnica of Bucharest’’, Bucharest, Romania, 2014.
- [99] Vidosav D. Majstorović, Manufacturing and Horizon 2020 - Factory of the Future Researches in Serbia, *World Manufacturing Forum 2014, Integrated modelling, simulation and information management system*, Proceedings, pp 264-270, 30 June 2014, Milano, Italy, 2014.
- [100] Vidosav D. Majstorović, Digital manufacturing model in SMEs – Serbian’s approach, *Manufuture Conference 2014 - Leading Enabling Technologies for Societal Challenges*, Track: Future of industry - New Industrial networks based on cross cutting technologies, Proceedings, pp 226 – 232, Bologna - 29th September – 1st October 2014.
- [101] Stojadinovic S, Majstorovic V, Developing engineering ontology for domain coordinate metrology, *FME Transactions*, pp. 249-255, Vol. 42, No.3, Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, ISSN: 1451-2092 (štampano izdanje), ISSN: 2406-128X (online), UDC:621, 10.5937/fmet1403249S, 2014.
- [102] Stojadinovic S, Majstorovic V, Durakbasa NA (2015) Feature-based path planning for inspection prismatic parts on CMM, *XXI IMEKO world congress “Measurement in Research and Industry”*, In: Proceedings, pp 1551–1556, Prague, Czech Republic, August 30th–September 4th, 2015, Czech Technical University in Prague, Faculty of Electrical Engineering, Department of Measurement, 2015.
- [103] Majstorovic V, et al.: Cyber-physical manufacturing systems – manufacturing metrology aspects. *Proc. Manuf. Syst.* 10(1), 9–14 (2015). 2015.
- [104] Slavenko M. Stojadinovic, Vidosav D. Majstorovic, Numan M. Durakbasa, Tatjana V. Sibalija, Towards an intelligent approach for CMM inspection planning of prismatic parts, *Measurement*, Volume 92, Pages 326-339, 10.1016/j.measurement.-2016.-06.037, 2016.



- [105] Stojadinovic S, Majstorovic V, Durakbasa N, Šibalija T Ants colony optimization of the measuring path of prismatic parts on a CMM. *Metrol Meas Syst* 23(1):119–132. 10.1515/mms-2016-0011-(ISSN0860-8292), 2016
- [106] Šibalija T, Živković S, Fountas, N., Majstorović, V, Mačužić J, Vaxevanidis, N.: Virtual optimization of CAI process parameters for the sculptured surface inspection. *Procedia CIRP* 57, 574–579 10.1016/j.procir.2016.11.099, 2016.
- [107] Fountas N. A, Živković S, Benhadj-Djilali R, Stergiou C. I, Majstorovic V. D, Vaxevanidis, N.M. (2017). Intelligent Dual Curve-Driven Tool Path Optimization and Virtual CMM Inspection for Sculptured Surface CNC Machining. In: Majstorovic, V, Jakovljevic, Z. (eds) *Proceedings of 5th International Conference on Advanced Manufacturing Engineering and Technologies. NEWTECH 2017*, Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. 10.1007/978-3-319-56430-2\_25, 2017.
- [108] Stojadinovic, S.M., Majstorovic, V., Durakbasa, N.M. An Advanced CAI Model for Inspection Planning on CMM. In: Majstorovic, V., Jakovljevic, Z. (eds) *Proceedings of 5th International Conference on Advanced Manufacturing Engineering and Technologies. NEWTECH 2017*. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. 10.1007/978-3-319-56430-2\_5, 2017.
- [109] Majstorović V, Stojadinović S, Živković S, Đurđanović D, Jakovljević Ž, Gligorijević N, Cyber-physical manufacturing metrology model (CPM<sup>3</sup>) for sculptured surfaces – turbine blade application. In: *The 50th CIRP Conference on Manufacturing Systems 2017*, 10.1016/j.procir.2017.03.093. *Procedia CIRP*, 63:658–663, 2017.
- [110] Dragan Djurdjanović, Yibo Jiao, Vidosav Majstorović, Multistage manufacturing process control robust to inaccurate knowledge about process noise, *CIRP Annals*, Volume 66, Issue 1, Pages 437–440, 10.1016/j.cirp.2017.04.012, 2017.
- [111] Majstorovic V. D, Stojadinovic S. M, Durakbasa N. M, An in - process measurement inspection planning model for prismatic parts. In: *Proceedings of the 13th International scientific conference MMA 2018 - Flexible Technologies*, Novi Sad, Serbia, pp. 103–106, 2018.
- [112] Živković S, Čerče L, Kostić J, Majstorović V, Kramar D, Reverse engineering of turbine blades kaplan’s type for small hydroelectric power station. *Procedia CIRP* 75, 379–384 10.1016/j.procir.-2018.04.037, 2018.
- [113] Majstorovic V, et al. Cyber-physical manufacturing metrology model (CPM<sup>3</sup>) – big data analytics issue. *Proc. CIRP* 72, 503–508, 10.1016/j.procir.-2018.03, 2018.
- [114] Majstorović, V. D, et al, Cyber-physical manufacturing in context of industry 4.0 program. In: *Proceedings of 3rd International Conference on the Industry 4.0 Model for Advanced Manufacturing*, pp. 227–238. Springer, Heidelberg 10.1007/978-3-319-89563-5, 2018.
- [115] Majstorovic, V. D., Durakbasa, N., Takaya, Y., Stojadinovic, S. Advanced Manufacturing Metrology in Context of Industry 4.0 Model. In: Majstorovic, V, Durakbasa, N. (eds) *Proceedings of the 12th International Conference on Measurement and Quality Control - Cyber Physical Issue. IMEKOTC14 2019*. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. 10.1007/978-3-030-18177-2\_1, 2019.
- [116] Đurđanovic, Dragan & Haq, Asad & Magnanini, Maria Chiara & Vidosav, Majstorovic. Robust model-based control of multistage manufacturing processes. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 10.1016/j.cirp. 2019.03.014, 2019.
- [117] Majstorovic, D. V, Stojadinovic, S. Cyber Physical Manufacturing Metrology, *NEWTECH 2020*, IOP Conf. 2020 Series: Materials Science and Engineering; IOP Publishing: Bristol, UK, 2020.
- [118] Ramin Sabbagh, Srdjan Živković, Vidosav Majstorovic, Dragan Djurdjanovic, Organization of big metrology data within the Cyber-Physical Manufacturing Metrology Model (CPM<sup>3</sup>), *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 6, December 2021. 10.1016/j.cirpj.2021. 10.009, 2021.
- [119] Slavenko M. Stojadinovic, Vidosav Majstorovic, Adam Gaška, Sładek Jerzy Sładek, Numan Durakbasa. *Development of a Coordinate Measuring Machine-Based Inspection Planning System for Industry 4.0*. *Applied Sciences*. 11(18):8411. 10.-3390/app11188411, 2021.
- [120] Stojadinovic, S. M, Majstorovic V. D, Durakbasa, N. M. Toward a cyber-physical manufacturing metrology model for industry 4.0. *Artif. Intell. Eng. Des. Anal. Manuf.* 35, 20–36, 2021.

**SUMMARY****THE FIRST 75TH YEARS OF MANUFACTURING METROLOGY AT THE FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING IN BELGRADE - PAST / PRESENT / FUTURE -**

*Manufacturing metrology is the science of measurements in manufacturing engineering. It is divided into scientific, legal and applied. This paper refers to applied manufacturing metrology from the point of view of its development as an engineering discipline at the Faculty of Mechanical Engineering in Belgrade, at the Department of Manufacturing Engineering. This paper has several parts: (i) an overview of the development of production metrology in the world, and (ii) its development at the Department of Manufacturing Engineering, over a period of 75 years, with several aspects: engineer education, research and industrial applications. Also, at the end, one view of the author on the future of manufacturing Metrology is given.*

**Key Words:** *Manufacturing metrology, Engineer education, Research*