

**42. JUPITER KONFERENCIJA**  
sa međunarodnim učešćem

**42<sup>nd</sup> JUPITER CONFERENCE**  
with foreign participants

# **ZBORNIK RADOVA** **PROCEEDINGS**



**UNIVERZITET U BEOGRADU - MAŠINSKI FAKULTET**

**UNIVERSITY OF BELGRADE**  
**FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING**

Beograd, oktobar 2020.

## **42. JUPITER KONFERENCIJA**

### **ZBORNİK RADOVA**

Organizator i izdavač:

**UNIVERZITET U BEOGRADU - MAŠINSKI FAKULTET**

Adresa:

Kraljice Marije 16, 11120 Beograd, Srbija

Tel: 011-3370341, Fax: 011-3370364

**El. pošta: [jupiter@mas.bg.ac.rs](mailto:jupiter@mas.bg.ac.rs)**

Odobreno za štampu odlukom Dekana

br. 21/2020 od 29.09.2020.

Tehnički urednici:

Prof. dr Bojan Babić

Prof. dr Saša Živanović

Doc. dr Mihajlo Popović

Beograd, oktobar 2020.

---

Tiraž: 100 primeraka

Štampa: **Planeta print,**

11000 Beograd, Igora Vasiljeva 33r, tel.: 011 650 6564

**ISBN 978-86-6060-055-6**

Spisak svih radova na JUPITER Konferenciji  
po prezimenu prvog autora

<b>Бабић, Б., Вишић Ј., Ђермановић А.</b> ДИГИТАЛНИ БЛИЗАНЦИ У ПАМЕТНОЈ ПРОИЗВОДЊИ И ИНДУСТРИЈИ 4.0 .....	1.1
<b>Baltić, M., Peković, O., Svorcan, J., Kovačević, A.</b> METODE PROIZVODNJE KOMPOZITNIH LOPATICA VETROTURBINA SA HORIZONTALNOM OSOM OBRATANJA .....	3.73
<b>Blanuša, V., Zeljković, M., Živković, A.</b> UTICAJ KINEMATSKE VISKOZNOSTI MAZIVA NA GENERISANU TOPLOTU SKLOPA GLAVNOG VRETENA .....	3.22
<b>Gostimirović, M., Pavkov, B., Rodić, D., Sekulić, M.</b> APLIKACIJA ZA MODELIRANJE I IZBOR MERODAVNIH REŽIMA OBRADJE PRI STRUGANJU .....	3.29
<b>Hasan, M.S., Vorkapić, M., Ivanov, T., Kovačević, A.</b> PREDIKCIJA BRZINE NA 3D ŠTAMPAČU PRIMENOM VEŠTAČKIH NEURONSKIH MREŽA .....	2.7
<b>Jakovljević, Ž., Nedeljković, D., Ševarlić, F., Puzović, R.</b> KOMUNIKACIJA IZMEĐU PROIZVODNIH RESURSA KORIŠĆENJEM OPC-UA STANDARDA .....	4.1
<b>Jovančićević, L., Popović, M., Pjević, M., Tanović Lj.</b> EKSPERIMENTALNA IDENTIFIKACIJA UGLA ELASTIČNOG VRAĆANJA KOD ŠIREG SPEKTRA MATERIJALA .....	3.35
<b>Јовичић, М.</b> О ЖИВОТУ И ДЕЛУ ПРОФ. ДР ВЛАДИМИРА Б. ШОЛАЈЕ .....	UR
<b>Kalabić R., Popović M., Pjević, M., Mladenović, G., Tanović Lj.</b> ISTRAŽIVANJE UTICAJA PARAMETARA OBRADJE NA POKAZATELJE KVALITETA PRI OBRADI REZANJEM POLIMERA .....	3.41
<b>Kovačević, A., Ivanov, T., Simonović, A., Vorkapić, M.</b> POVEĆANJE PRECIZNOSTI IZRADE 3D ŠTAMPANIH DELOVA PRIMENOM ITERATIVNE METODE .....	2.13
<b>Kurbegović, R., Janjić, M., Vukčević, M., Đurović, D.</b> UTICAJ PARAMETARA OBRADJE ABRAZIVNIM VODENIM MLAZOM NA ODSTUPANJE PREDNJE LINIJE REZA .....	3.81
<b>Lazarević, D., Nedić, B., Mišić M., Šarkoćević Ž., Čamagić, I.</b> TAČNOST OBRADJE VREtenASTIM GLODALOM U FUNKCIJI ŠIRINE REZANJA .....	3.88
<b>Lukić, N., Petrović, P. B., Matijašević L.</b> KONCEPTUALNI ASPEKTI KRUTOSTI KONFIGURACIONOG PROSTORA NULE RELEVANTNI ZA PROCES ROBOTIZOVANOG SPAJANJA .....	3.94
<b>Matijašević, L., Petrović, P., Lukić, N.</b> PODAKTUIRANI SISTEMI ZA ROBOTSKO HVATANJE I MANIPULACIJU OBJEKTIMA U TEHNOLOGIJI ROBOTSKJE MONTAŽE – RAZVOJ CMSysLab ROBOTSKJE ŠAKE .....	3.100
<b>Miljković, K., Petrović, M.M., Jovanović, R.</b> PRILOG RAZVOJU INTELIGENTNOG UPRAVLJANJA SERVO MOTORAJEDNOSMERNE STRUJE PRIMENOM VEŠTAČKIH NEURONSKIH MREŽA .....	4.24
<b>Mitrović, R.</b> INDUSTRIJA 4.0 - NOVA PARADIGMA U PROIZVODNIM KOMPANIJAMA I OBRAZOVANJU .....	UR
<b>Mladenović, G., Tanović, Lj., Milovanović, M., Popović, M., Puzović, R., Pjević, M.</b> RAZVOJ SISTEMA ZA AUTOMATSKO PROJEKTOVANJE TEHNOLOGIJE PREDOBRADJE DELOVA SA SLOŽENIM POVRŠINAMA .....	2.1



Jakovljević, Ž., Nedeljković, D., Ševarlić, F., Puzović, R. <sup>1)</sup>

## KOMUNIKACIJA IZMEĐU PROIZVODNIH RESURSA KORIŠĆENJEM OPC-UA STANDARDA <sup>2)3)4)</sup>

### Rezime

Primena kibernetičkih sistema i industrijskog interneta stvari u proizvodnim pogonima otvara nove mogućnosti u oblasti automatizacije proizvodnje i dovodi do značajnih promena u industrijskoj proizvodnji nazvanih jednim imenom Industrija 4.0. Jedan od ključnih elemenata za efikasnu implementaciju rekonfigurabilnih tehnoloških sistema koji su u samoj osnovi Industrije 4.0 jeste interoperabilnost između uređaja i softverskih sistema različitih proizvođača na svim nivoima piramide automatizacije. OPC-UA (engl. Open Platform Communication – Unified Architecture) je prepoznat kao najistaknutiji standard za ostvarivanje komunikacije između različitih sistema uz visok nivo interoperabilnosti. U okviru ovog rada izlažu se osnove OPC-UA i ukazuje se na mogućnosti njegove primene u proizvodnim pogonima. Pored toga, prikazuje se primer upotrebe OPC-UA u komunikaciji između automatskog sistema za montažu delova i sistema za izvršavanje proizvodnje uz automatski protok informacija u realnom vremenu.

*Ključne reči:* Industrija 4.0, OPC – UA, Industrijski internet stvari, Sistem za izvršavanje proizvodnje

### 1. UVOD

Proizvodnja malih serija do nivoa pojedinačnih proizvoda po cenama masovne proizvodnje predstavlja imperativ opstanka na savremenom tržištu i može se ostvariti samo uz izuzetno visoku prilagodljivost tehnoloških sistema. Nesumnjivo, najveći stepen prilagodljivosti tehnološkog sistema se postiže uz visok stepen učešća manuelnog rada u tehnološkim operacijama. S druge strane, prihvatljiva cena gotovog proizvoda (jednaka ceni masovne), ujednačenost njegovog kvaliteta kao i brzina proizvodnje nameću automatizovanu proizvodnju koja je pak tradicionalno okarakterisana visokom osetljivošću na neodređenosti u procesu inherentno prisutne kod velike varijantnosti proizvoda. Odgovor na pitanje kako izaći iz ovog začaranog kruga i kako automatski proizvoditi u uslovima visoke varijantnosti proizvoda daju rekonfigurabilni tehnološki sistemi (engl. *Reconfigurable Manufacturing Systems - RMS*).

Rekonfigurabilni tehnološki sistemi su sistemi koji evoluiraju zajedno sa proizvodima koje proizvode i koji kroz fizičku i logičku rekonfiguraciju obezbeđuju „neophodan kapacitet i funkcionalnost tačno onda kada su potrebni i tačno na način na koji su potrebni“ [1]. Jedna od ključnih karakteristika rekonfigurabilnih sistema jeste njihova modularnost i to ne samo modularnost mehaničkih komponenata već i modularnost sistema upravljanja. U tom kontekstu kibernetičko-fizički sistemi (engl. *Cyber-Physical Systems - CPS*) u okviru kojih su fizički procesi i proračunske sposobnosti integrisani kroz interakciju u realnom vremenu, a ponašanje sistema u celini definisano njegovim fizičkim i kibernetičkim delom [2] imaju izuzetno značajnu ulogu. CPS se konfiguriraju u obliku sistema sistema (engl. *System-of-Systems*) gde sistemi manje kompleksnosti (npr. pametni senzori i aktuatori sa integrisanim proračunskim i komunikacionim sposobnostima) kreiraju sisteme veće kompleksnosti sve do nivoa kibernetičko fizičkih tehnoloških sistema (engl. *Cyber-Physical Manufacturing Systems - CPMS*) koji predstavljaju tehnološki sistem i njegovu virtuelnu reprezentaciju [3]. Smatra se da će promene koje CPS uvode u proizvodne sisteme biti istog nivoa

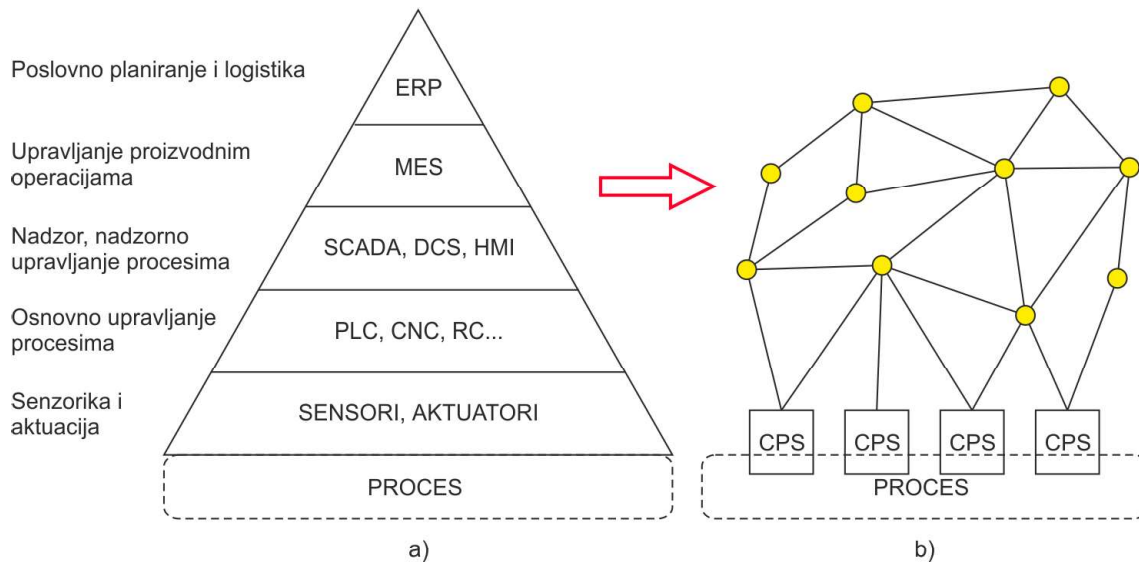
<sup>1)</sup> prof. dr Živana Jakovljević, Univerzitet u Beogradu - Mašinski fakultet, ([zjakovljevic@mas.bg.ac.rs](mailto:zjakovljevic@mas.bg.ac.rs)), Dušan Nedeljković, mast. ing. maš., Univerzitet u Beogradu - Mašinski fakultet, ([dnedeljkovic@mas.bg.ac.rs](mailto:dnedeljkovic@mas.bg.ac.rs)), Filip Ševarlić, mast. ing. maš., GMB Automatik ([filipsevarlic@gmail.com](mailto:filipsevarlic@gmail.com)), prof. dr Radovan Puzović, Univerzitet u Beogradu - Mašinski fakultet, ([rpuzovic@mas.bg.ac.rs](mailto:rpuzovic@mas.bg.ac.rs)).

<sup>2)</sup> U okviru ovog rada saopštavaju se rezultati istraživanja koja su sprovedena uz podršku Fonda za nauku Republike Srbije, broj projekta: 6523109, VI-Mission4.0, kao i MPNTR Republike Srbije u okviru projekta ev. broj: 451-03-68/2020-14/200105

<sup>3)</sup> Autori se zahvaljuju kompaniji SMC International Srbija na donaciji komponenata koje su upotrebljene za izradu demonstracionog sistema za montažu.

<sup>4)</sup> Autori se zahvaljuju kompaniji Key-IT, Beograd na donaciji *OperaMES* softvera.

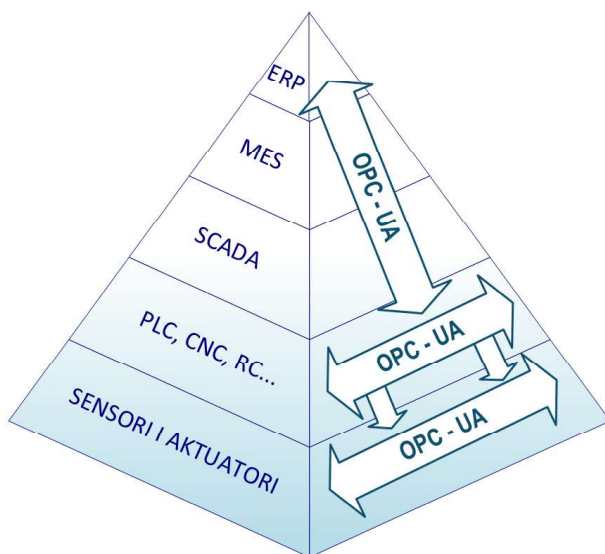
kao promene do kojih je u prošlosti dovelo na primer uvođenje programabilnih kontrolera ili mehanizacije i podele rada, tj. da će dovesti do nove industrijske (r)evolucije poznate pod imenom Industrija 4.0.



**Slika 1.** a) Piramida automatizacije, b) distribuirani sistemi upravljanja [3]

Kreiranje tehnoloških sistema u formi *ad hoc* mreže CPS bazirane na industrijskom internetu stvari (engl. *Industrial Internet of Things - IIoT*) nameće značajne izazove u modeliranju i kreiranju sistema upravljanja. Radi efikasne rekonfiguracije i brzog protoka informacija, sistemi upravljanja se distribuiraju na pojedinačne komponente/resurse, a funkcionalnost sistema se ostvaruje kroz njihovu intenzivnu komunikaciju [4]. Tradicionalna piramida automatizacije standardizovana kroz IEC 62264 [5] ustupa mesto distribuiranim sistemima upravljanja – slika 1. Model referentne arhitekture za Industriju 4.0 (engl. *Reference Architecture Model Industrie 4.0 – RAMI4.0*) predviđa da će svi nivoi piramide automatizacije nastaviti da egzistiraju u okviru Industrije 4.0 kao funkcionalni elementi sistema, ali bez striktno piramidalne segmentacije. Na primer, postojaće mogućnost direktne komunikacije između senzora i aktuatora i sistema za izvršavanje proizvodnje. Pored toga, neke funkcionalnosti će biti distribuirane na vertikalno i horizontalno umrežene CPS koji ih kolektivno izvršavaju.

Mehaničke strukture proizvodne opreme su po pravilu modularne i pogodne za rekonfiguraciju, pa usko grlo prilikom rekonfiguracije tehnoloških sistema predstavljaju sistemi upravljanja. U tom kontekstu jedan od ključnih faktora za brzu integraciju komponenata i njihovo rekonfigurisanje, a ne reprogramiranje jeste suštinska interoperabilnost koja mora biti nezavisna od proizvođača opreme [6]. Ukoliko se posmatra OSI (engl. *Open Systems Interconnection*) model komunikacije, može se uočiti da su na prva četiri nivoa ovog



**Slika 2.** Uloga OPC-UA u okviru piramide automatizacije

modela na raspolaganju široko rasprostranjeni i opšte prihvaćeni standardi (TCP/IP, Ethernet, Wi-Fi, ZigBee...) [7]. S druge strane, na višim nivoima postoji čitav niz standarda namenski razvijanih za pojedine primene ili za opremu pojedinih proizvođača koji povezivanje različitih uređaja često čini izuzetno vremenski zahtevnim i podložnim greškama. OPC-UA (engl. *Open Platform Communication – Unified Architecture*) predstavlja namenski razvijan IEC (engl. *International Electrotechnical Commission*) standard čiji je cilj da obezbedi pouzdanu i sigurnu razmenu podataka u okviru industrijske automatizacije uz visoku interoperabilnost uređaja različitih proizvođača [8]. U okviru RAMI 4.0 OPC-UA je prepoznat kao najpogodniji standard za komunikaciju između uređaja [9, 10].

OPC-UA je baziran na servisno orijentisanoj arhitekturi u okviru koje su funkcionalnosti servera na raspolaganju klijentu kroz unapred definisan skup

servisa [11]. Interoperabilnost između uređaja obezbeđuje kroz razmenu informacija zajedno sa njihovim semantičkim meta modelom [12]. Značajna karakteristika OPC-UA je da je komunikacija prema ovome standardu nezavisna od platforme i može se vršiti korišćenjem različitih medija – žičanih i bežičnih [13]. Takođe, OPC-UA je skalabilan u smislu da omogućuje povezivanje uređaja između različitih nivoa i unutar istog nivoa piramide automatizacije na taj način doprinoseći distirbuiranju zadataka upravljanja na različite uređaje počevši od senzora i aktuatora, preko programabilnih logičkih kontrolera (engl. *Programmable Logical Controller - PLC*), SCADA (engl. *Supervisory Control and Data Acquisition*) sistema, sistema za izvršavanje proizvodnje (engl. *Manufacturing Execution Systems - MES*), pa sve do sistema za planiranje resursa (engl. *Enterprise Resource Planning - ERP*) [14]. Osnovna karakteristika OPC-UA je da nije neophodan protok informacija kroz sve slojeve piramide automatizacije već je moguće da na primer senzori direktno komuniciraju sa ERP, ili međusobno – slika 2.

Imajući u vidu značaj koji OPC-UA ima u okviru preduzeća koje posluje po principima Industrije 4.0, u okviru ovog rada se izlažu osnovni elementi ovog standarda sa primerom njegove primene kroz direktnu komunikaciju MES i automatskog sistema za montažu.

## 2. OPC-UA

OPC-UA standard je razvila OPC fondacija [8] koja predstavlja industrijski konzorcijum proizvođača opreme i softvera za automatizaciju proizvodnje i krajnjih korisnika. Specifikacija standarda trenutno sadrži 18 delova (1-15, 17, 19 i 100) [7], a pojedini delovi su standardizovani i kroz standard *IEC 62541 - OPC Unified Architecture*. U okviru ovog odeljka izlažu se osnovni elementi OPC-UA.

### 2.1. Konfiguracija za razmenu podataka

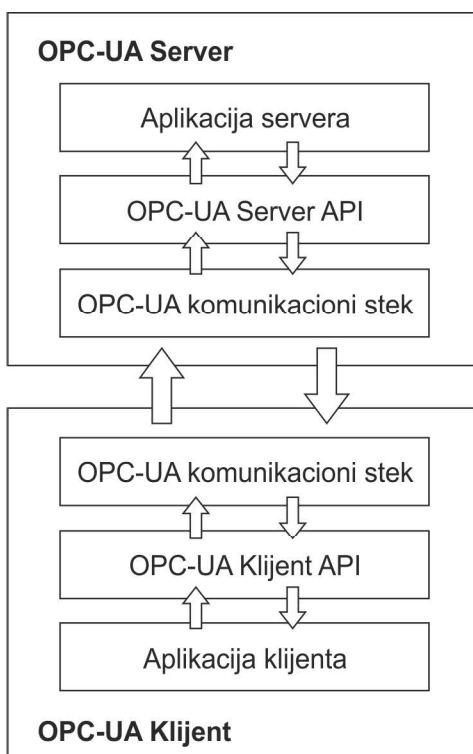
Kod OPC-UA moguća su dva pristupa za razmenu poruka: (1) klijent/server pristup i (2) objava/pretplata (engl. *publish/subscribe*) pristup [15]. U oba pristupa OPC-UA server, odnosno uređaj koji objavljuje poruku (engl. *Publisher*) enkapsulira podatke na odgovarajući način i stavlja ih na raspolaganje OPC-UA klijentu, odnosno OPC-UA pretplatniku (engl. *Subscriber*). Klijent bira koje podatke će pratiti, čitati, pisati i za to

koristi unapred definisane servise za pristup podacima. Potrebno je naglasiti da klijent može komunicirati sa više servera i obrnuto, kao i da je omogućena i komunikacija između servera.

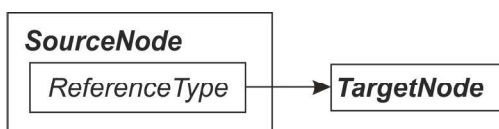
Softverska implementacija OPC-UA i na strani klijenta i na strani servera sastoji se iz tri softverska sloja – Slika 3 [15, 16]. Na strani servera prvi sloj je aplikacija servera čija je uloga da obezbedi podatke; ona po pravilu ima pristup realnim objektima (fizičkim ili softverskim) koji predstavljaju izvor podataka. Drugi sloj je OPC-UA Server API (aplikacija) koja izoluje kod iz aplikacije servera i pretvara ga u oblik pogodan za OPC-UA komunikacioni stek. Komunikacioni stek je poslednji, treći, sloj koji implementira odgovarajuće rutine vezane za transport; u okviru ovog sloja se definiše način kodiranja poruka (XML/text, UA Binary ili JSON [15]), način zaštite podataka kao i

korišćeni mrežni protokol (OPC-UA TCP, HTTPS ili WebSockets OPC-UA Applications [15]). Na strani klijenta, nalaze se analogni slojevi. OPC-UA komunikacioni stek ima istu ulogu kao kod servera. OPC-UA Klijent

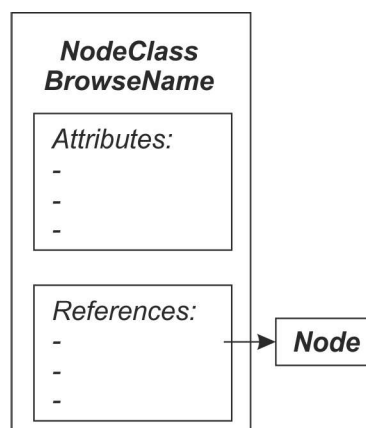
API izoluje podatke iz OPC-UA komunikacionog steka i predaje ih aplikaciji klijenta koja ih dalje koristi za odgovarajuće namene.



Slika 3. Softverski slojevi OPC-UA



Slika 5. OPC-UA referenca (Reference) [15]



Slika 4. OPC-UA čvor (Node) [15]

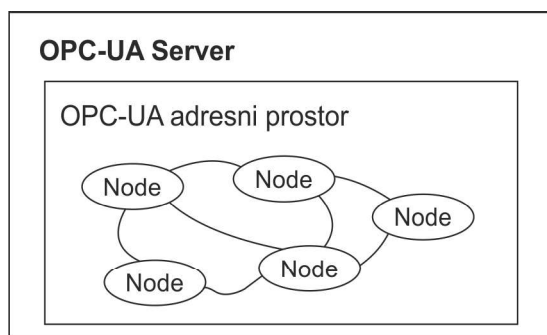
## 2.2. OPC-UA meta model i model informacija

OPC-UA meta model je jedan od najznačajnijih elementa OPC-UA specifikacije; on praktično obezbeđuje zajedničku semantiku kao izuzetno bitan element za interoperabilnost uređaja. Osnovni element ovog modela je čvor (engl. *Node*) kojim se objekti koje server čini vidljivim klijentu reprezentuju u adresnom prostoru servera. Svaki čvor je bliže određen svojim atributima i referencama – Slika 4. OPC-UA specifikacija sadrži osam definisanih klasa čvorova (engl. *Node Classes*) koje čine meta podatke. To su klase čvorova: *Object*, *ObjectType*, *Variable*, *VariableType*, *Method*, *ReferenceType*, *DataType*, *View*; sve one su zasovane na *Base NodeClass* koja sadrži attribute navedene u tabeli 1.

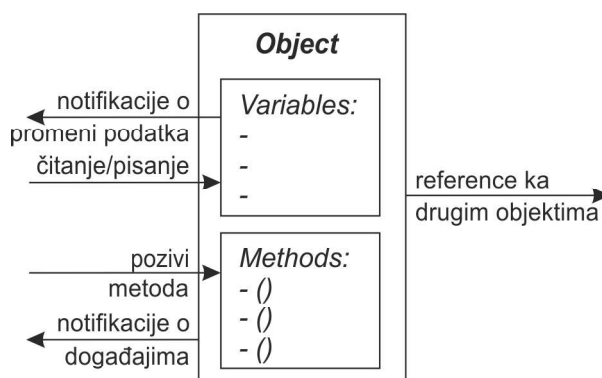
Pored atributa, koji ih bliže određuju, čvorovi sadrže i reference (engl. *References*) koje definišu relacije između pojedinih čvorova. Čvor koji sadrži reference naziva se *SourceNode*, a onaj na koji se referiše je *TargetNode* (slika 5). Prilikom kreiranja instance čvora u adresnom prostoru servera određuju se vrednosti atributa čvora kao i relacije (reference) između njih – slika 6.

**Tabela 1.** Atributi klase čvorova *Base NodeClass* [17]

Naziv atributa <sup>5</sup>	Obavezan (M)/ Opcion (O)	Opis
<i>NodeId</i>	M	Jedinstveni identifikator čvora
<i>NodeClass</i>	M	Klasa čvora
<i>BrowseName</i>	M	Naziv čvora koji je razumljiv čoveku; koristi se za pretraživanje adresnog prostora servera
<i>DisplayName</i>	M	Naziv čvora koji klijent koristi za prikaz čvora korisniku
<i>Description</i>	O	Opis čvora
<i>WriteMask</i>	O	Ukazuje na mogućnost da klijent upisuje vrednosti u attribute čvora ne uzimajući u obzir prava pristupa koje korisnik ima
<i>UserWriteMask</i>	O	Ukazuje na mogućnost da klijent upisuje vrednosti u attribute čvora uzimajući u obzir prava pristupa koje korisnik ima
<i>RolePermissions</i>	O	Definiše odobrenja za odgovarajuće uloge ( <i>Anonymous</i> , <i>AuthenticatedUser</i> , <i>Observer...</i> ) koje imaju pristup čvoru
<i>UserRolePermissions</i>	O	Definiše odobrenja za sve uloge u datoj sesiji
<i>AccessRestrictions</i>	O	Definiše restrikcije vezane za pristup čvoru



Slika 6. OPC-UA adresni prostor [15]



Slika 7. OPC-UA model objekta [17]

Model informacija konkretnog servera definiše se u zavisnosti od aplikacije na osnovu OPC-UA meta modela, tj. na osnovu OPC-UA modela adresnog prostora [16]. Prilikom kreiranja modela informacija adresni prostor konkretnog servera se strukturiira u formi objekata (*Objects*) koji mogu da sadrže promenljive (*Variables*), metode (*Methods*), druge objekte i mogu da generišu događaje (*Events*) – slika 7. *Variables* predstavljaju ili određena svojstva – meta podatke (*Properties*) ili vrednosti podataka (*DataVariables*) koje klijent može čitati ili u koje može zapisivati određene vrednosti [18]; metode su funkcionalnosti sistema koje klijent može pozivati uz predaju odgovarajućih ulaznih podataka i koje klijentu vraćaju određene izlazne rezultate; podešavanjem atributa *EventNotifier* objekat može da generiše određene događaje (npr. dostizanje određene vrednosti neke promenljive) o kojima obaveštava klijente koji su na njih pretplaćeni.

Pored osnovnog modela informacija koji je definisan modelom adresnog prostora, OPC-UA predviđa i 4 standardna modela: *Data Access*, *Historical Access*, *Alarms & Conditions* i *Programs*. *Data Access* (pristup

<sup>5</sup> Klasa *BaseNodeClass* nema specificirane reference

podacima) model informacija se odnosi na reprezentaciju i korišćenje podataka u automatizaciji [19]. Podaci se mogu nalaziti na uređajima koji su preko I/O kanala povezani sa OPC-UA serverom ili na samom serveru (npr. rezultati odgovarajućih proračuna). Ovaj model informacija pre svega odnosi se na definisanje odgovarajućih *VariableTypes* i njihovih svojstava.

*Historical Access* model informacija obezbeđuje pristup vrednostima podataka i događajima iz prethodnog perioda. Istorijski podaci se mogu čuvati u kratkotrajnim baferima ili u bazama podataka [20].

*Programs* se koriste za modeliranje kompleksnih funkcionalnosti na serveru ili na sistemu koji je na njega povezan, a koje klijent može pokrenuti. Za razliku od metode koja vraća izlazne vrednosti, programi su kompleksniji i korišćenjem događaja mogu klijentu slati i određene međuvrednosti [16,21].

*Alarms & Conditions* [22] definiše model informacija za odgovarajuće događaje koji označavaju ispunjavanje nekih uslova u sistemu ili dešavanje alarmnih situacija. Kada se ispune neki od uslova ili kada se desi alarm, server obaveštava pretplaćenog klijenta koji treba da potvrdi prijem ove informacije ili ne u zavisnosti od podešavanja.

Potrebno je naglasiti da je pre uvođenja OPC-UA korišćena takozvana klasična OPC arhitektura koja je podrazumevala postojanje nezavisnih *OPC Data Access*, *OPC Historical Access* i *OPC Alarms & Events* servera [13]; u okviru OPC-UA sve ove funkcionalnosti su integrisane u jedinstveni adresni prostor. Postoji veliki broj aplikacija razvijenih za klasičan OPC i za njihovu integraciju u OPC-UA postoje dva osnovna pristupa [11, 13]: (1) upakivanje (engl. *wrapping*) klasičnih OPC servera korišćenjem web zasnovanih softvera ili upotreba *proxy*-ja za klasične OPC klijente (*wrapper*-i *proxy*-ji mogu biti u formi OPC-UA gejtvėja za sve klasične OPC servere istovremeno) i (2) direktan pristup podacima. Prvi pristup podrazumeva teže održavanje zbog raznorodnosti aplikacija na serveru i otvara određena pitanja vezana za sigurnost podataka, dok je drugi pristup lakši za održavanje, ali je sve funkcionalnosti servera potrebno ponovo implementirati.

### 2.3. Skup servisa

Kao što je već navedeno, OPC-UA predstavlja servisno orijentisanu arhitekturu u okviru koje serveri stavljaju na raspolaganje klijentima podatke i funkcije strukturane u obliku objekata kojima klijenti mogu pristupati korišćenjem standardizovanih servisa [23]. OPC-UA standardom je definisano 8 skupova servisa

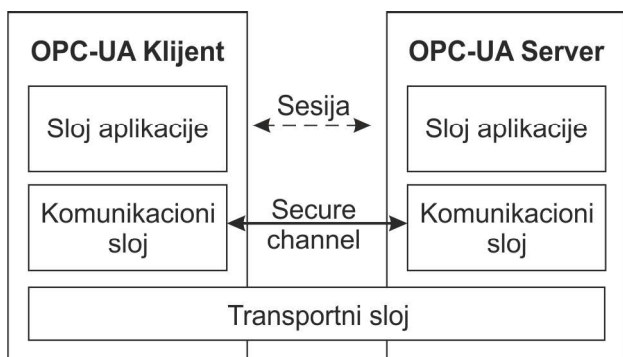


**Slika 8.** Razmena poruka između OPC UA klijenta i servera [15]

koji su uz kratak opis navedeni u Tabeli 2 [24]. Ovi servisi su na raspolaganju klijentu koji šalje zahtev (engl. *request*) serveru za ispunjavanje odgovarajućeg servisa; server odgovara na ovaj zahtev (engl. *response*) i uzvraća porukom o uspešnosti zahteva i podacima koje je u zavisnosti od servisa potrebno dostaviti klijentu (slika 8).

### 2.4. Arhitektura za bezbedan prenos podataka

Imajući u vidu posledice koje sajber napadi mogu imati na proizvodne pogone i radnu snagu u njima, bezbednost podataka koji se razmenjuju korišćenjem OPC -UA predstavlja izuzetno značajan element ovog standarda. Ona je raprezentovana kroz arhitekturu za bezbedan prenos podataka između klijenta i servera prikazanu na slici 8 [25]. U okviru sloja aplikacije obezbeđuje se autentifikacija i autorizacija korisnika.



**Slika 9.** OPC-UA arhitektura za bezbedan prenos podataka [25]

Bezbedni kanal (engl. *Secure Channel*) koji se ostvaruje na komunikacionom sloju obezbeđuje (i) poverljivost podataka korišćenjem enkripcije, (ii) integritet podataka kroz potpisivanje poruka i (iii) autentifikaciju aplikacije korišćenjem sertifikata. Ovi mehanizmi se implementiraju u okviru steka i podešavaju se u zavisnosti od bezbednosnog profila klijenta i servera. Slična arhitektura je na raspolaganju i za objava/pretplata konfiguraciju, s tim što za razliku od klijenata koji mogu imati različita bezbednosna podešavanja, svi pretplatnici moraju koristiti iste bezbednosne mehanizme.



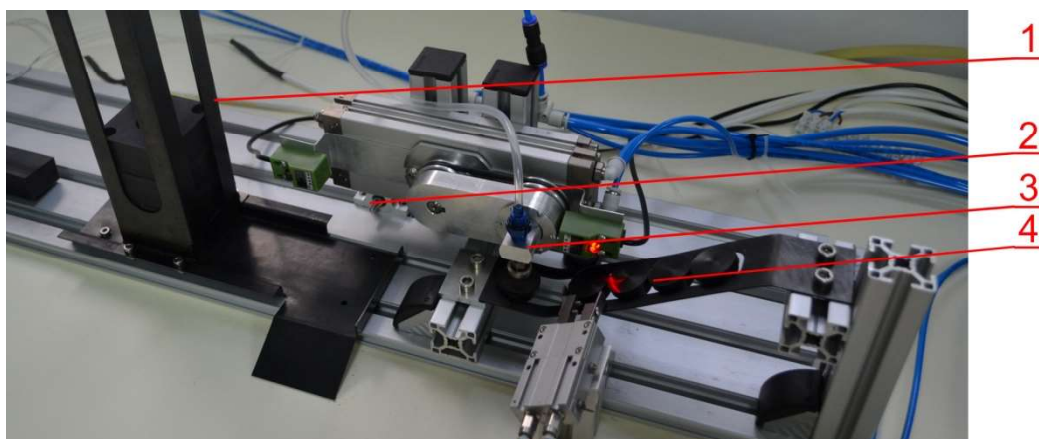
Naziv skupa servisa	Opis
<i>Discovery Service Set</i>	Omogućuju klijentu da otkrije krajnje tačke na serveru i sigurnosne protokole koji se na njima primenjuju
<i>SecureChannel Service Set</i>	Omogućavaju klijentu da uspostavi bezbednu komunikaciju sa serverom
<i>Session Service Set</i>	Omogućavaju klijentu da izvrši autentifikaciju korisnika i da upravlja sesijom
<i>NodeManagement Service Set</i>	Omogućavaju klijentu da doda, modifikuje i briše čvorove iz adresnog prostora servera
<i>View Service Set</i>	Omogućavaju klijentu da pretražuje adresni prostor servera
<i>Attribute Service Set</i>	Omogućavaju klijentu da upisuje vrednosti i čita attribute
<i>Method Service Set</i>	Omogućavaju klijentu da poziva metode
<i>MonitoredItem and Subscription Service Sets</i>	Omogućavaju pretplatu klijenta na odgovarajuće čvorove – definišu attribute i događaje koji će se pratiti i pretplatu na njihove promene

### 3. KOMUNIKACIJA IZMEĐU SISTEMA ZA AUTOMATSKU MONTAŽU I SISTEMA ZA IZVRŠAVANJE PROIZVODNJE KORIŠĆENJEM OPC-UA

U okviru ovog rada biće opisano povezivanje demonstracionog sistema za montažu delova i sistema za izvršavanje proizvodnje korišćenjem OPC-UA.

#### 3.1. Sistem za montažu delova

Demonstracioni sistem za montažu delova (slika 10.) razvijen je u okviru Laboratorije za automatizaciju proizvodnih procesa na Katedri za proizvodno mašinstvo Mašinskog fakulteta u Beogradu [26, 27] i vrši montažu delova tipa čep u otvor. Sastoji se od magacina delova sa otvorom koji sadrži dodavač (1), magacina čepova sa pneumatskim selektorom (4), manipulatora koji vrši spajanje delova (3) i pneumatskog cilindra za izbacivanje gotovih sklopova (2). Radom sistema se upravlja pomoću programabilnog kontrolera *Omron CPM1-10CDR-A*. Nadređeni sistem za izvršavanje proizvodnje zadaje sistemu za montažu potreban broj ciklusa koje on počinje da izvršava nakon dobijanja odgovarajućeg signala. S druge strane, sistem za montažu vraća sistemu za izvršavanje proizvodnje informaciju o trenutnom broju ostvarenih ciklusa. Promenljive u okviru PLC-a koje se koriste za ostvarivanje ovih funkcionalnosti navedene su u tabeli 3.



*Slika 10.* Demonstracioni sistem za montažu delova

Naziv promenljive	Vrsta podatka	Adresa	Opis
<i>OPC Start</i>	BOOL	2.00	Startovanje zadatog broja ciklusa
<i>brojC</i>	UINT_BCD	DM0	Broj željenih ciklusa
<i>broj</i>	UINT_BCD	DM110	Broj ostvarenih ciklusa

#### 3.2. Sistem za izvršavanje proizvodnje

Sistemu za montažu delova nadređen je sistem za izvršavanje proizvodnje *OperaMES* [28]. U ovom odeljku će biti naznačeni samo pojedini elementi koji ilustruju primenu OPC-UA komunikacije u okviru ovog softvera, dok će detalji koji se odnose na unos podataka vezanih za klijente, radnike, mašine, operacije,

kreiranje operatorske konzole itd. zbog ograničenja u broju strana biti izostavljeni.

Slika 11. OperaMES - Kreiranje narudžbenice 13

U okviru *OperaMES*, po prispeću narudžbenice (slika 11.), generiše se radni nalog za kreiranje sklopova na odgovarajućoj mašini; u konkretnom slučaju radi se o operaciji broj 20 – *Sklopavanje* koja se izvršava na mašini broj 020 – *Masina za sklapanje* i kojom se formira proizvod broj 050 – *Sklop* – slika 12. Kada se kreira radni nalog, on se identifikuje kao *Processable* u tabeli radnih naloga (slika 12.) i istovremeno se pojavljuje na operatorskoj konzoli odabrane mašine označen crvenim emotikonom kao spreman za pokretanje – slika 13. Ova operatorska konzola se nalazi na bilo kom uređaju kojim se može pristupiti internetu korišćenjem klasičnih web pregledača (npr. *Mozilla Firefox*, *Google Chrome*, *Internet Explorer*) kao što su PC računar, tablet, mobilni telefon.

Number	Progr. Status Color	Work Stage Status	Scheduled Activity	Order	Activity Id	Operation	Batch no.	Schedule Description	Product	Product Descr.	Machine
1	●	Closed	783	narudzbenica_1000043	783	20	0	Sklopavanje	050	Sklop	020
2	●	Closed	784	narudzbenica_1100044	784	20	0	Sklopavanje	050	Sklop	020
3	●	Closed	785	narudzbenica_1200045	785	20	0	Sklopavanje	050	Sklop	020
4	●	Processable	788	narudzbenica_1300046	788	20	0	Sklopavanje	050	Sklop	020
5	●	Closed	772	Narudzbenica_300038	772	20	0	Sklopavanje	050	Sklop	020
6	●	Closed	770	Narudzbenica_400037	770	20	0	Sklopavanje	050	Sklop	020
7	●	Closed	774	narudzbenica_500039	774	20	0	Sklopavanje	050	Sklop	020

Slika 12. OperaMES – Kreiran radni nalog na osnovu narudžbenice 13 – status Processable

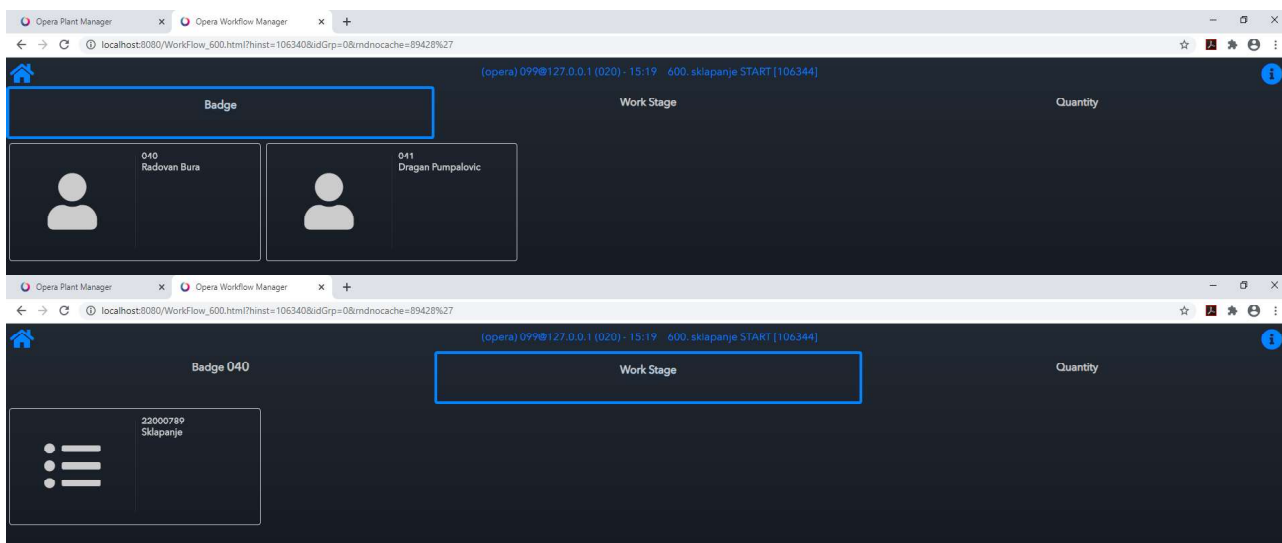
ID number	Operator	Product	Operation	WO
1		Sklop	Sklopavanje	

Status	Product	Operation	Expected Start Date	Expected End Date
●	Sklop	Sklopavanje	7/14/2020 12:00:00 AM	7/16/2020 3:15:54 PM

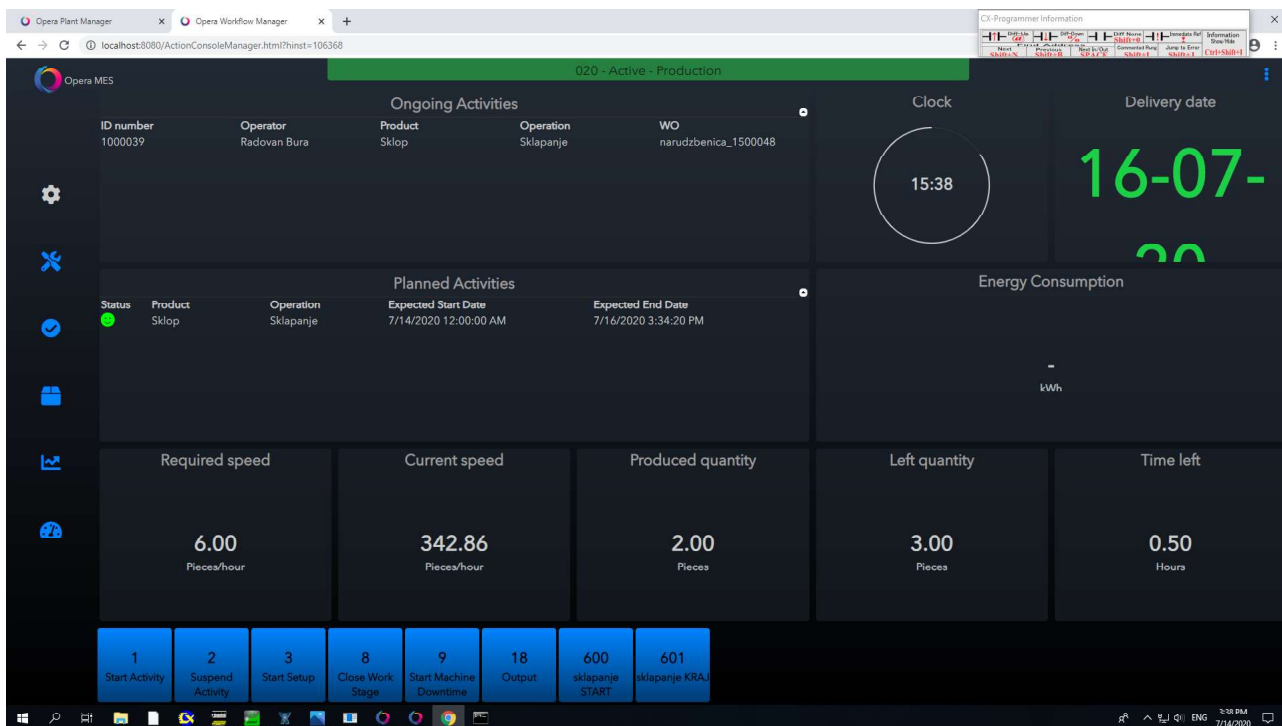
Required speed	Current speed	Produced quantity	Left quantity	Time left
0.00 Pieces/hour	0.00 Pieces/hour	0.00 Pieces	0.00 Pieces	0.00 Hours

Slika 13. OperaMES – Operatorska konzola mašine za sklapanje (mašina broj 020) na kojoj je moguće započeti aktivnost sklapanje koja je u radnim nalogima označena kao Processable

Pritiskom na dugme *sklapanje START* na konzoli, nakon izbora operatera i operacije koja će se izvršavati (slika 14.) i zatvaranja odgovarajućeg prozora pokreće se procedura *StpMntrUserzivana600\_Commt* kojoj će biti reči u odeljku 3.3. Ova procedura sistemu za montažu korišćenjem OPC-UA šalje podatke o broju željenih ciklusa koji je automatski preuzet iz narudžbenice i signal starta kako bi se automatski započelo sklapanje delova. Tokom izvršavanja montaže, na operatorskoj konzoli emotikon odgovarajuće operacije dobija zelenu boju (slika 15.), a u poljima *Produced quantity* i *Left quantity* se automatski osvežava broj montiranih i broj sklopova preostalih za montažu. Tokom trajanja sklapanja na mašini za montažu, u tabeli radnih naloga tekući radni nalog se automatski identifikuje kao *Ongoing*. Nakon završetka procesa sklapanja, operater pritiskom na dugme *sklapanje KRAJ* zatvara radni nalog, koji se uklanja iz liste planiranih aktivnosti na operatorskoj konzoli i u tabeli radnih naloga se označava kao *Closed*. Na ovaj način u okviru sistema za izvršavanje proizvodnje u realnom vremenu je na raspolaganju informacija o poslovima koji su u toku u pogonu.

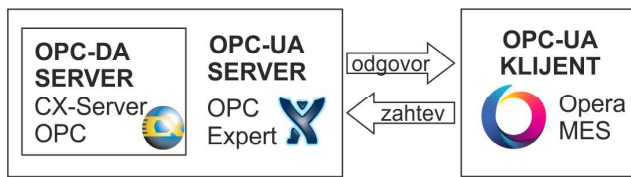


**Slika 14.** OperaMES – Započinjanje aktivnosti Sklapanje izborom radnika i konkretne aktivnosti



**Slika 15.** OperaMES – Operatorska konzola mašine za sklapanje (mašina broj 020) nakon započinjanja aktivnosti sklapanje – sklopljena su 2 sklopa, a preostalo je 3 za sklapanje

### 3.3. Uspostavljanje komunikacije između sistema za montažu delova i sistema za izvršavanje proizvodnje korišćenjem OPC-UA



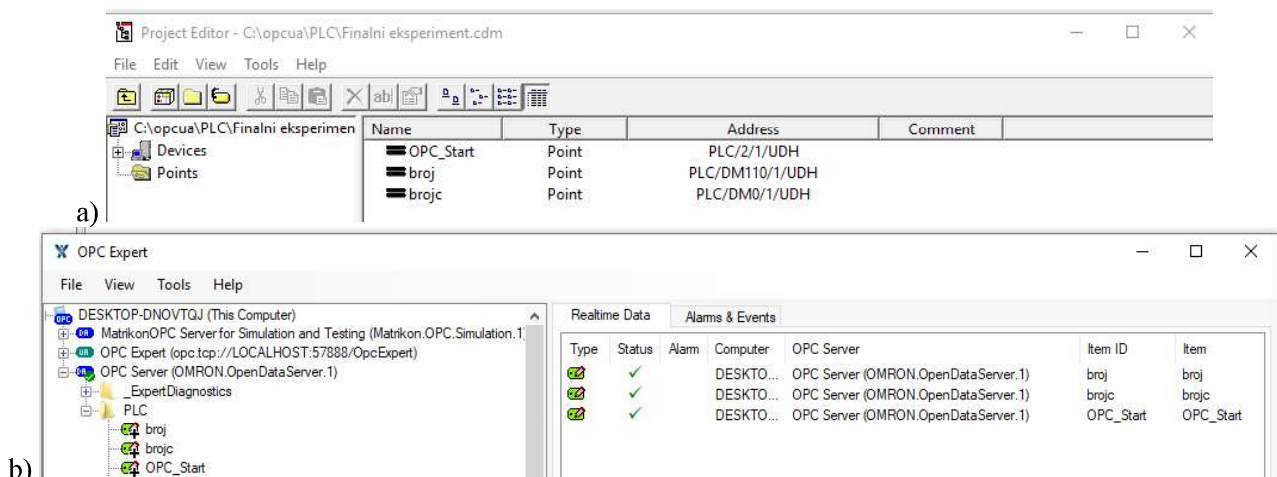
Slika 16. OPC-UA konfiguracija

Prenošenje podataka između *OperaMES* i sistema za montažu zasnovano je na OPC-UA klijent/server konfiguraciji. Na strani sistema za montažu podignut je OPC-UA server, dok *OperaMES* predstavlja OPC-UA klijenta. Za upravljanje radom sistema za montažu upotrebljen je PLC starije generacije za koji je na raspolaganju klasičan OPC-DA server *Omron*

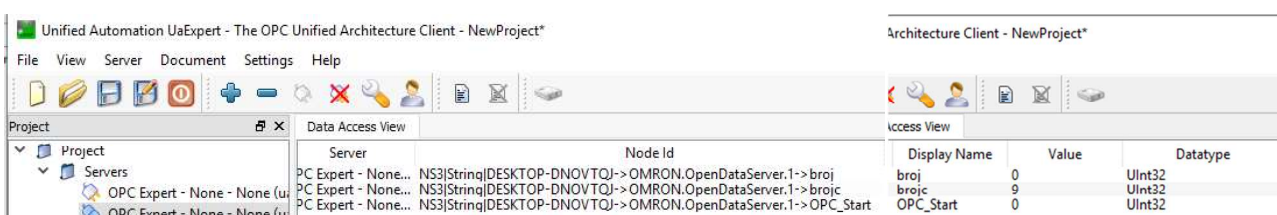
*CX-Server OPC* koji je u prethodnom radu [29] korišćen za komunikaciju. Kako bi se ovaj server prilagodio OPC-UA komunikaciji neophodno je njegovo upakivanje korišćenjem OPC-UA *wrapper-a*; u ovom radu u ove svrhe upotrebljen je *OPC Expert* [30]. Arhitektura na osnovu koje je uspostavljena komunikacija prikazana je na slici 16.

U okviru OPC-DA servera *Omron CX-Server OPC* kreirane su tri tačke (engl. *points*) koje obezbeđuju pristup odgovarajućim adresama na PLC-u *Omron CPM1-10CDR-A* u skladu sa opisom u Tabeli 3 – slika 17.a. Konverzija podataka sa OPC-DA servera u OPC-UA meta model izvršena je korišćenjem *OPC Expert-a*. Adresa OPC-UA servera je *opc.tcp://desktop-dnovtqj:57888/OpcExpert*, gde je *desktop-dnovtqj* ime *localhost-a* – slika 17.b. Pregledom adresnog prostora ovog servera korišćenjem softvera *UaExpert* [31] (slika 18.) zaključuje se da se registrima PLC-a značajnim za komunikaciju između sistema za montažu i *OperaMES* pristupa preko čvorova sa *NodeID NS3|String|DESKTOP-DNOVTQJ->OMRON.OpenDataServer.1->XX*, gde  $XX \in \{\text{broj, brojc, OPC\_Start}\}$ ; *XX* ujedno predstavlja i *DisplayName* datih čvorova, dok je *DataType* za sva tri čvora *UInt32*.

Nakon konfigurisanja OPC-UA Servera, neophodno je izvršiti i konfigurisanje klijenta, u ovom slučaju *OperaMES*. *OperaMES* OPC-UA klijent se konfigurira u namenskom *json* (engl. *JavaScript Object Notation*) fajlu koji je za konkretnu aplikaciju prikazan na slici 19. U okviru ovog fajla definišu se svi podaci relevantni za uspostavljanje komunikacije između klijenta i servera. Osnovni podatak je adresa servera koja u ovom slučaju definiše i da se radi o OPC-UA TCP mrežnom protokolu. Pošto postoji mogućnost komunikacije *OperaMES* sa većim brojem OPC-UA servera, neophodno je za svaki od njih definisati jedinstveni ID broj koji će se dalje koristiti pri kreiranju aplikacije klijenta; u ovom slučaju odabran je broj 1. Zatim se definišu čvorovi iz adresnog prostora servera kojima će se pristupiti i za njih se definišu *NodeID* i vrsta podataka. Pored toga, za svaki čvor definiše se alias koji će se koristiti tokom izrade aplikacije klijenta.



Slika 17. a) OPC-DA server *Omron CX-Server OPC* b) veza sa *OPC Expert* OPC-UA serverom



**Slika 18.** Osnovni atributi kreiranih čvorova očitani korišćenjem UaExpert-a

```
{
  "OPC-UA-Server": [
    {
      "Server": {
        "discoveryUrl": "opc.tcp://desktop-dnovtqj:57888/OpcExpert",
        "serverPollingInterval": "1000",
        "id": "1",
        "discriminator": "-1",
        "monitorAddress": "127.0.0.1",
        "monitorPort": "8087",
        "pingToMonitor": "5000",
        "username": "",
        "password": "",
        "reconnectWaiting": "5000",
        "requestedPublishingInterval": "100",
        "requestedMaxKeepAlive": "100",
        "requestedLifeTimeCount": "100",
        "publishingEnabled": "1",
        "nodes": [
          {
            "alias": "broj",
            "signalLineId": "1",
            "deltaMode": "False",
            "onlyOnChange": "False",
            "type": "UInt32",
            "nodeId": "ns=3;s=DESKTOP-DNOVTQJ->OMRON.OpenDataServer.1->broj",
          },
          {
            "alias": "brojc",
            "signalLineId": "6",
            "deltaMode": "False",
            "onlyOnChange": "False",
            "type": "UInt32",
            "nodeId": "ns=3;s=DESKTOP-DNOVTQJ->OMRON.OpenDataServer.1->brojc",
          },
          {
            "alias": "OPC_start",
            "signalLineId": "7",
            "deltaMode": "False",
            "onlyOnChange": "False",
            "type": "UInt32",
            "nodeId": "ns=3;s=DESKTOP-DNOVTQJ->OMRON.OpenDataServer.1->OPC_Start",
          }
        ]
      }
    }
  ]
}
```

**Slika 19.** Konfigurisanje Opera OPC-UA klijenta

```
declare @date datetime = getdate()
declare @XML xml = '<Collection><Event>
  <Header>
    <Info notifytype="4" timestamp="" eventid="" reasonstype="0"/>
    <Eventsource objecttype="2" discriminator="-1"/>
    <Eventtarget adp_id="99" te_id="4"/>
    <root objecttype="1029" hdl="00000000-0000-0000-000000000000" subobjecttype="3" id="1"/>
  </Header>
  <State currentstate="0"/>
  <Batches>
    <Batch ba_id="1" seq="0" ba_code="BA01" ma_codice="020">
      <Function fu_id="666" fu_code="FU01" seq="0">
        <Parameter id_parameter="brojc" fp_value="1" valustr="+@Quantity1+" />
      </Function>
    </Batch>
  </Batches>
</Event>
</Collection>'
delete from MntrSqlEvent
insert into MntrSqlEvent values (NULL, '0', @date, NULL, NULL, NULL, @XML, 99)
```

**Slika 20.** Deo procedure *StpMntrUserzivana600\_Commit* koja se koristi za prenos podataka od OperaMES ka sistemu za montažu

Kako bi se odgovarajući podaci prosledili OPC serveru, neophodno je kreirati odgovarajuću proceduru u okviru aplikacije klijenta. U *OperaMES* kreira se SQL procedura kojom se odgovarajući XML upisuje kao podatak u tabelu *MntrSqlEvent*. U našem primeru radi se o proceduri koja se pokreće nakon izbora operatera i operacije koja će se započeti – procedura *StpMntrUserzivana600\_Commit*. Deo ove procedure

koji definiše prenos podataka o željenom broju ciklusa prikazan je na slici 20. Pored OperaMES specifičnih podataka koje nećemo detaljno opisivati, XML sadrži ID broj OPC-UA servera koji je definisan u json fajlu (u našem slučaju 1), alias čvora u koji se upisuje vrednost (u ovom slučaju broj<sub>c</sub>) i vrednost koja se upisuje (u ovom slučaju sadržana u promenljivoj @Quantity1). Željeni broj ciklusa (@Quantity1) se preuzima iz tabele radnih naloga za pokrenutu aktivnost. Za prijem podataka potreban je čitav niz *OperaMES* specifičnih podešavanja koja su izvan okvira ovog rada.

#### 4. ZAKLJUČAK

U okviru Industrije 4.0 interoperabilnost uređaja predstavlja jedan od ključnih faktora za postizanje efikasne rekonfigurabilnosti tehnoloških sistema i brzog prilagođavanja različitim vrstama proizvoda. U tom kontekstu od izuzetnog je značaja je i servisno orijentisan OPC-UA komunikacioni protokol koji obezbeđuje interoperabilnost različitih uređaja zahvaljujući tome što pored samih podataka sadrži i njihov semantički meta model. Ovaj protokol je i u okviru Modela referentne arhitekture za Industriju 4.0 – RAMI4.0 prepoznat kao najpogodnija osnova za razvijanje komunikacionog sloja.

U okviru ovog rada izvršena je analiza uloge OPC-UA u Industriji 4.0 i mogućnosti koje on otvara u ostvarivanju neometane horizontalne i vertikalne komunikacije između uređaja na različitim nivoima tradicionalne piramide automatizacije. Izloženi su osnovni elementi ovog standarda kako bi se ukazalo na različite mogućnosti njegove primene kao i na mogućnosti za integraciju klasične OPC komunikacije u OPC-UA okvir. Primena OPC-UA zasnovane komunikacije ilustrovana je na primeru pokretanja ciklusa spajanja na automatskom sistemu za montažu iz sistema za izvršavanje proizvodnje uz direktno koršćenje informacija iz narudžbenice. Uz to, pokazano je da se korišćenjem OPC-UA, informacije o trenutnom statusu proizvodnje mogu automatski prikupljati u sistemu za izvršavanje proizvodnje u realnom vremenu što je od izuzetnog značaja za brzo i pouzdano kreiranje planova proizvodnje i poslovnih planova u narednom vremenskom periodu, kao i za analizu proizvodnje u prethodnom vremenskom periodu na osnovu realnih i nepristrasnih podataka.

Izloženi primer primene OPC-UA podrazumevao je direktnu komunikaciju između uređaja na prvom i trećem nivou tradicionalne piramide automatizacije. U daljem radu planira se primena ovog standarda u horizontalnoj komunikaciji između uređaja na prvom, kao i između uređaja na nultom nivou piramide automatizacije u okviru distribuiranih sistema upravljanja.

#### 5. LITERATURA

- [1] Koren, Y., Gu, X., Guo, W., *Reconfigurable manufacturing systems: Principles, design, and future trends*, Frontiers of Mechanical Engineering, vol. 13, no. 2, pp. 121–136, 2018.
- [2] Lee, E. A., Seshia, S. A., *Introduction to Embedded Systems - A Cyber-Physical Systems Approach*, Second Edition, 2015, <http://leeseshia.org>, datum pristupa: 13.08.2020.
- [3] Jakovljevic, Z., Majstorovic, V., Stojadinovic, S., Zivkovic, S., Gligorijevic, N., Pajic, M., *Cyber-physical manufacturing systems (Cpms)*, Lecture Notes in Mechanical Engineering, pp. 199–214, 2017.
- [4] Kagermann, H., Wahlster, W., Helbig, J., *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0.*, 2013, <http://www.acatech.de>, datum pristupa: 13.08.2020.
- [5] IEC 62264-1:2013 *Enterprise-control system integration — Part 1: Models and terminology*, International Electrotechnical Commission., 2013.
- [6] Schleipen, M., *OPC UA supporting the automated engineering of production monitoring and control systems*, IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA, art. no. 4638464, pp. 640-647, 2008.
- [7] OPC foundation, OPC UA Online Reference, <https://reference.opcfoundation.org>, datum pristupa: 13.08.2020.
- [8] OPC foundation, <https://opcfoundation.org>, datum pristupa: 13.08.2020.
- [9] Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI4.0), 2015, <http://www.zvei.org>, datum pristupa: 13.08.2020.
- [10] Givehchi, O., Landsdorf, K., Simoens, P., Colombo, A.W., *Interoperability for Industrial Cyber-Physical Systems: An Approach for Legacy Systems*, IEEE Transactions on Industrial Informatics, 13 (6), art. no. 8012471, pp. 3370-3378, 2017.
- [11] Hannelius, T., Salmenperä, M., Kuikka, S., *Roadmap to adopting OPC UA*, IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN), art. no. 4618203, pp. 756-761, 2008.
- [12] Greenfield, D., *Industry 4.0 and OPC UA*, Automation World,

- <https://www.automationworld.com/products/networks/blog/13311977/industry-40-and-opc-ua>, datum pristupa: 13.08.2020.
- [13] Leitner, S., Mahnke, W., *OPC UA – Service-oriented Architecture for Industrial Applications*, GI Softwaretechnik-Trends, Vol. 26, No. 4, 2006.
- [14] Azangoo, M., Blech, J.O., Atmojo, U.D., *Towards formal monitoring of workpieces in agile manufacturing*, Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology, 2020-February, art. no. 9067188, pp. 334-339, 2020.
- [15] OPC Foundation, *OPC UA Online Reference, OPC 10000-1: OPC Unified Architecture, Part 1: Overview and Concepts*, Release 1.04, 2017-11-22
- [16] Mahnke, W., Leitner, S.-H., Damm, M., *OPC Unified Architecture*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN 978-3-540-68898-3, 2009.
- [17] OPC Foundation, *OPC UA Online Reference, OPC 10000-3: OPC Unified Architecture, Part 3: Address Space Model*, Release 1.04, 2017-11-22
- [18] Cavalieri, S., Mule, S., Salafia, M. G., *Enabling OPC UA and oneM2M interworking*, Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology, art. no. 9067161, pp. 278-285, 2020.
- [19] OPC Foundation, *OPC UA Online Reference, OPC 10000-7: OPC Unified Architecture, Part 7: Profiles*, Release 1.04, 2017-11-01
- [20] OPC Foundation, *OPC UA Online Reference, OPC 10000-8: OPC Unified Architecture, Part 8: Data Access*, Release 1.04, 2017-11-01
- [21] OPC Foundation, *OPC UA Online Reference, OPC 10000-10: OPC Unified Architecture, Part 10: Programs*, Release 1.04, 2017-11-01
- [22] OPC Foundation, *OPC UA Online Reference, OPC 10000-9: OPC Unified Architecture, Part 9: Alarms & Conditions*, Release 1.04, 2017-11-22
- [23] Grüner, S., Pfrommer, J., Palm, F., *RESTful Industrial Communication with OPC UA*, IEEE Transactions on Industrial Informatics, 12 (5), art. no. 7407396, pp. 1832-1841, 2016.
- [24] OPC Foundation, *OPC UA Online Reference, OPC 10000-4: OPC Unified Architecture, Part 4: Services*, Release 1.04, 2017-11-22
- [25] OPC Foundation, *OPC UA Online Reference, OPC 10000-2: OPC Unified Architecture, Part 2: Security Model*, Release 1.04, 2018-08-03
- [26] Šljivar, S., *Projektovanje i izrada fleksibilne tehnološke ćelije za montažu*, master rad, Univerzitet u Beogradu - Mašinski fakultet, 2018.
- [27] Lazarević, M., *Projektovanje upravljanja automatizovanog sistema za montažu*, master rad, Univerzitet u Beogradu - Mašinski fakultet, 2019.
- [28] Opera MES, <https://www.opendatasrl.it/en/prodotto-2/opera-mes.html>, datum pristupa: 13.08.2020.
- [29] Ševarlić, F., *Razmena podataka između sistema za izvršavanje proizvodnje i proizvodnih resursa korišćenjem OPC-UA*, master rad, Univerzitet u Beogradu - Mašinski fakultet, 2019.
- [30] OPC Expert, <https://www.opcti.com/opcexpert.aspx>, datum pristupa: 13.08.2020.
- [31] UaExpert - A Full-Featured OPC UA Client, <https://www.unified-automation.com/products/development-tools/uaexpert.html>, datum pristupa: 13.08.2020.

Jakovljević, Ž., Nedeljković, D., Ševarlić, F., Puzović, R.

## COMMUNICATION BETWEEN MANUFACTURING RESOURCES USING OPC-UA STANDARD

**Abstract:** *The application of Cyber Physical Systems and Industrial Internet of Things at shop-floor opens up new possibilities in the manufacturing automation and leads to the significant changes in industrial manufacturing known as Industry 4.0. One of the key elements for effective implementation of Reconfigurable Manufacturing Systems, which are fundamental for Industry 4.0, is the interoperability between multi-vendor devices and/or software at all levels of automation pyramid. OPC-UA (Open Platform Communication – Unified Architecture) is considered as the most prominent standard for the establishment of communication between different systems with high level of interoperability. This paper presents the basics of OPC-UA and points out the possibilities of its application at manufacturing shop-floor. Besides, it presents an example of the OPC-UA application in communication between assembly system and manufacturing execution system with automatic real-time data flow.*

**Key words:** *Industry 4.0, OPC-UA, Industrial Internet of Things, Manufacturing Execution System*