



Univerzitet u Beogradu Mašinski fakultet

Automatizacija proizvodnje

Miroslav PILIPOVIĆ Živana JAKOVLJEVIĆ



Beograd, 2017

AUTOMATIZACIJA PROIZVODNJE

Miroslav Pilipović

Živana Jakovljević

Univerzitet u Beogradu - Mašinski fakultet
Beograd, 2017.

Dr Miroslav Pilipović, redovni profesor u penziji
Dr Živana Jakovljević, vanredni profesor

AUTOMATIZACIJA PROIZVODNJE

Recenzenti:

Dr Bojan Babić, redovni profesor, Univerzitet u Beogradu Mašinski fakultet
Dr Žarko Spasić, redovni profesor u penziji, Univerzitet u Beogradu Mašinski fakultet

Lektor:

Dr Goran Zeljić, docent, Univerzitet u Beogradu Učiteljski fakultet

Izdavač:

Univerzitet u Beogradu Mašinski fakultet
11120 Beograd 35, Kraljice Marije 16
tel. 011-33-70-350 i 011-33-02-384, faks 011-33-70-364

Za izdavača:

Prof. dr Radivoje Mitrović, dekan

Odobreno za štampu odlukom dekana Mašinskog fakulteta u Beogradu
br. 31/2016 od 28.12.2016. godine

Tiraž:

200 primeraka

Glavni i odgovorni urednik:

Prof. dr Milan Lečić

Štampa:

Planeta print
11000 Beograd, Ruzveltova 10

Beograd, 2017.

ISBN: 978-86-7083-927-4

Zabranjeno preštampavanje i fotokopiranje.
Sva prava zadržava izdavač i autori.

Predgovor

Ovaj udžbenik je plod sistematskog sređivanja predavanja, auditornih i laboratorijskih vežbi koje su autori držali na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu iz predmeta Automatizacija proizvodnje. U isto vreme knjiga predstavlja nastavak razvoja oblasti automatizacije proizvodnje, čije je osnove postavio prof. dr Svetislav Zarić 1960-ih godina svojim predavanjima i prvim udžbenikom iz ovog predmeta [208]. Knjiga je prevashodno namenjena studentima Modula za proizvodno mašinstvo kao osnovni udžbenik za predmet Automatizacija proizvodnje. Teorijske osnove prekidačke algebre, kombinacionih i sekvencijalnih automata i detaljni prikaz programabilnih kontrolera sa programskim jezicima za njihovo programiranje, mogu korisno poslužiti i studentima mašinstva sa drugih modula na kojima se koriste digitalni računari i drugi savremeni digitalni sistemi upravljanja.

Informacije o domaćim i međunarodnim standardima iz oblasti pneumatike, elektropneumatike i programabilnih kontrolera, mogu biti korisne i u inženjerskoj praksi pri izradi projekata iz ove oblasti. Autori očekuju da će i stručnjaci iz industrije koji se bave savremenom automatizacijom proizvodnje u knjizi naći korisne informacije i primere za svoj rad.

Pri pisanju ove knjige značajnu podršku i korisne sugestije dali su recenzenti prof. dr Žarko Spasić i prof. dr Bojan Babić, kao i lektor doc. dr Goran Zeljić, zbog čega im se najsrdačnije zahvaljujemo.

Beograd, 27.11.2016.

AUTORI

Sadržaj

1	Uvod	5
2	Uvod u automatizaciju proizvodnje	9
2.1.	Osnovne definicije automatizacije	9
2.2.	Vrste industrijskih procesa i automatizacija proizvodnje	11
2.3.	Razvoj industrijske proizvodnje i automatizacija	12
2.3.1	Evolucija proizvodnih paradigmi i automatizacija	13
2.4.	Automatizacija u savremenoj proizvodnji	15
2.4.1	Vrste automatizacije u savremenoj proizvodnji	17
2.5.	Sistemi upravljanja u automatizaciji	20
2.5.1	Primeri sistema upravljanja u savremenoj automatizaciji	20
2.5.2	Modeli povezivanja i integracije sistema upravljanja u savre- menoj automatizaciji	25
2.6.	Ciljevi i faktori za uvođenje automatizacije	30
3	Brojni sistemi i kodovi	35
3.1.	Brojni sistemi	35
3.1.1	Aditivni brojni sistemi	35
3.1.2	Pozicioni brojni sistemi	36
3.2.	Prevođenje brojeva u pozicionim brojnim sistemima	40
3.2.1	Prevođenje broja iz decimalnog brojnog sistema u ostale pozicione brojne sisteme	40
3.2.2	Prevođenje broja iz ostalih pozicionih brojnih sistema u de- cimalni brojni sistem	45
3.2.3	Prevođenje celog broja iz ostalih pozicionih brojnih sistema u decimalni brojni sistem	45
3.2.4	Prevođenje brojeva između binarnog, oktalnog i heksadecimalnog brojnog sistema	46
3.3.	Kodovi	47
3.3.1	Prirodni binarni kod	48
3.3.2	Grejov kod	48
3.3.3	Kodovi kružnih brojača	53
3.3.4	Binarno kodirani decimalni brojevi	53
3.3.5	Kodovi za kodiranje alfanumeričkih znakova	57

4	Prekidačka algebra	59
4.1.	Definicija Bulove algebre	60
4.1.1	Teoreme prekidačke algebre	63
4.1.2	Primeri dokaza teorema prekidačke algebre	65
4.2.	Logičke funkcije	67
4.3.	Algebarske forme logičkih funkcija	69
4.3.1	Normalne forme logičkih funkcija	71
4.3.2	Savršene normalne forme logičkih funkcija	71
4.4.	Logičke funkcije jedne i dve promenljive	76
4.4.1	Logičke funkcije jedne promenljive	77
4.4.2	Logičke funkcije dve promenljive	77
4.4.3	Bazisi logičkih funkcija	77
4.4.4	Logički dijagrami	80
5	Minimizacija logičkih funkcija	87
5.1.	Osnovni pojmovi koji se koriste u minimizaciji logičkih funkcija	88
5.2.	Grafička metoda Vešč-Karno	90
5.2.1	V-K mapa	91
5.2.2	V-K mapa sa $n = 3$ promenljive	98
5.2.3	V-K mapa sa $n = 4$ promenljive	101
5.2.4	V-K mape sa $n = 5$ i $n = 6$ promenljivih	104
5.2.5	Određivanje minimalnih KNF pomoću V-K mapa	109
5.2.6	Faktorizacija logičkih funkcija	111
5.3.	Tabelarna metoda	112
5.3.1	Tabelarna metoda minimizacije logičkih funkcija sa binarnim prikazom proizvoda	115
5.3.2	Tabelarna metoda minimizacije logičkih funkcija sa decimalnim prikazom proizvoda	118
5.4.	Zaključne napomene o minimizaciji logičkih funkcija	127
6	Tehnologije i komponente za tehničku realizaciju	129
6.1.	Pneumatski sistemi upravljanja	131
6.1.1	Struktura pneumatskog sistema upravljanja	133
6.1.2	Pneumatske komponente	135
6.1.3	Razvodnici	136
6.1.4	Ventili	146
6.1.5	Pneumatski pojačivači	150
6.1.6	Pneumatski prekidači i senzori	150
6.1.7	Realizacija logičkih funkcija pneumatskim komponentama	152
6.1.8	Realizacija memorijskih elemenata pneumatskim komponentama	161
6.1.9	Pneumatski aktuatori	164
6.1.10	Upravljanje radom pneumatskih aktuatora	172
6.1.11	Proizvodnja, priprema i razvođenje vazduha pod pritiskom	180

6.1.12	Izrada pneumatskih šema upravljanja	183
6.2.	Električni sistemi upravljanja	189
6.2.1	Struktura električnog sistema upravljanja	189
6.2.2	Podsystem za prikupljanje informacija u okviru električnih sistema upravljanja	190
6.2.3	Ulazno/izlazni interfejs električnih sistema upravljanja	202
6.2.4	Električni aktuatori i izvršni elementi	203
6.2.5	Električni i elektronski upravljački podsystemi	205
6.3.	Elektropneumatski sistemi upravljanja	213
6.3.1	Interfejs između električnog i pneumatskog sistema	214
6.4.	Zaključne napomene	216
7	Konačni automati	219
7.1.	Apstraktni model konačnog automata	219
7.2.	Kombinacioni konačni automati	221
7.2.1	Analiza kombinacionih konačnih automata	223
7.2.2	Sinteza kombinacionih konačnih automata	227
7.2.3	Moguće greške u funkcionisanju kombinacionih automata	231
7.3.	Sekvencijalni konačni automati	233
7.3.1	Tablice prelaza i izlaza	236
7.3.2	Graf sekvencijalnog konačnog automata	237
7.3.3	Kombinaciona tablica sekvencijalnog konačnog automata	239
7.3.4	Klasifikacija sekvencijalnih konačnih automata	241
7.3.5	Struktura sekvencijalnih konačnih automata	242
7.3.6	Sinteza sekvencijalnih konačnih automata	245
7.3.7	Sinteza asinhronih sekvencijalnih konačnih automata direk- tne reakcije	246
7.3.8	Memorijski elementi	259
7.3.9	Sinteza asinhronih sekvencijalnih konačnih automata sa me- morijskim elementima	266
7.4.	Upravljanje pneumatskim cilindrima i sinteza asinhronih sekvenci- jalnih konačnih automata	278
7.5.	Sinteza sekvencijalnog upravljanja metodom „Korak po korak“	288
7.5.1	Osnovni koncept metode „Korak po korak“	288
7.5.2	Načini rada sekvencijalnog kontrolera	293
7.5.3	Sekvencijalno upravljanje višelinijjskim ciklusima metodom „Korak po korak“	297
7.5.4	Tehnologije za realizaciju sekvencijalnog kontrolera projek- tovanog metodom „Korak po korak“	297
8	Programabilni kontroleri	303
8.1.	Struktura programabilnih kontrolera	306
8.1.1	Detaljna struktura programabilnih kontrolera	308

8.1.2	Ulazno/izlazni sistem programabilnog kontrolera	312
8.1.3	Princip rada programabilnih kontrolera	315
8.2.	Programski jezici za programiranje programabilnih kontrolera . . .	316
8.2.1	Struktura korisničkog programa	317
8.2.2	Zajednički elementi programskih jezika za programiranje programabilnih kontrolera	320
8.2.3	Funkcije	327
8.2.4	Funkcijski blokovi	330
8.2.5	Zaključne napomene	335
8.3.	Tekstualni jezici za programiranje programabilnih kontrolera . . .	335
8.3.1	Programski jezik liste instrukcija (IL)	335
8.3.2	Programski jezik strukturisanog teksta (ST)	345
8.4.	Grafički jezici za programiranje programabilnih kontrolera	350
8.4.1	Programski jezik funkcijskih blok dijagrama (FBD)	352
8.4.2	Programski jezik lestvičastih dijagrama (LD)	365
8.5.	Programski jezik sekvencijalnih funkcionalnih dijagrama (SFC) . .	381
8.5.1	Struktura programa u jeziku sekvencijalnih funkcionalnih dijagrama	381
8.5.2	Programiranje prelaza	389
8.5.3	Programiranje akcije	390
8.5.4	Primeri programa u SFC programskom jeziku	392
8.5.5	Prevođenje SFC programa u lestvičasti dijagram	394
8.5.6	Primena Petri mreža u programiranju programabilnih kontrolera	399
	Indeks	418
	Spisak skraćenica	423

Glava 1

Uvod

Automatizacija je termin koji se danas sreće u svim oblastima nauke, tehnike, industrijske proizvodnje, kao i u skoro svim drugim ljudskim aktivnostima u savremenom društvu. Automatizacija proizvodnje prisutna je u svim industrijama i ne može se zamisliti bez primene digitalnih računara i drugih savremenih digitalnih sistema upravljanja. U proizvodnom mašinstvu, automatizacija proizvodnje je kompleksan zadatak koji se sprovodi na različitim nivoima proizvodnog sistema polazeći od automatizacije pojedinačnih mašina, tehnoloških ćelija, proizvodnih i montažnih linija do koncepta potpuno automatskih fabrika. Ovaj pristup automatizaciji zahteva primenu računara, komunikacionih mreža računara i drugih sistema upravljanja koji se baziraju na računarima kao što su: CNC upravljačke jedinice za mašine alatke, robot upravljačke jedinice, programabilni kontroleri i drugi mikroprocesorski sistemi upravljanja. Osnova za obradu binarnih informacija u računarima i drugim navedenim digitalnim sistemima upravljanja su kombinacije i sekvencijalne prekidačke mreže. Ova knjiga daje teorijske i praktične osnove za projektovanje kombinacionog i sekvencijalnog upravljanja u automatizaciji proizvodnje. U isto vreme ona daje teorijske osnove za lakše savladavanje drugih predmeta Modula za proizvodno mašinstvo koji u svom programu sadrže informacione sisteme, računarski integrisanu proizvodnju, numerički upravljane mašine alatke, industrijske robote, odnosno obuhvataju automatizaciju viših nivoa proizvodnog sistema.

Iako nije eksplicitno navedeno, knjiga se sastoji od pet celina i u ovom uvodnom poglavlju navedene su napomene koji omogućavaju čitaocima izbor odgovarajućih delova i poglavlja prema oblasti interesovanja.

Prvi deo knjige, dat u poglavlju 2, uvodi čitaoce u osnovne koncepte i principe savremene automatizacije proizvodnje. Posebno su obrađeni faktori za uvođenje automatizacije i protiv nje i dato je viđenje evolucije proizvodnih paradigmi i trendova razvoja automatizacije budućnosti.

Drugu celinu čine tri poglavlja (3, 4, i 5). Ona uvode čitaoce u teorijske osnove obrade binarnih informacija i prekidačke algebre. U poglavlju 3 dat je prikaz brojnih sistema i kodova sa izabranim metodama konverzije između pojedinih brojnih i kodnih sistema neophodnih za praćenje narednih poglavlja. Ovo

poglavlje je korisno za sve čitaoce koji u dosadašnjem školovanju i drugim predmetima nisu upoznati sa prikazanim metodama, a posebno za one koji će se dalje baviti informacionim sistemima, softverskim inženjerstvom, obradom signala itd. U poglavlju 4 date su osnovne definicije Bulove i prekidačke algebre, prikaz osnovnih logičkih funkcija jedne i dve promenljive i njihove algebarske forme. Izrada logičkih dijagrama prikazana je u ovom delu knjige kratkim pregledom pravila i simbola za izradu logičkih dijagrama u skladu sa međunarodnim standardom IEC 60617. U poglavlju 5 opisane su grafičke i tabelarne metode minimizacije logičkih funkcija. Izabrane metode daju čitaocima osnovna znanja o teorijskim principima minimizacije logičkih funkcija i mogu ih koristiti za rešavanje sopstvenih zadataka ručnim putem. Istovremeno, prikazane metode obezbeđuju i neophodna znanja za efikasnu primenu savremenog komercijalnog softvera za minimizaciju složenih logičkih funkcija.

Treća celina knjige, data u poglavlju 6, upoznaje čitaoce sa tehnologijama za tehničku realizaciju sistema logičkog i sekvencijalnog upravljanja. Detaljno je prikazana struktura pneumatskih sistema upravljanja i opisane karakteristike pneumatskih komponentata koje se primenjuju u automatizaciji proizvodnje. U ovom poglavlju dati su i osnovni primeri realizacije logičkih funkcija i memorijskih elemenata pneumatskim komponentama, što je osnova za realizaciju pneumatskog sistema upravljanja primenom prekidačke algebre i teorije kombinacionih i sekvencijalnih automata. Posebna namena ovog poglavlja jeste upoznavanje čitalaca sa domaćim i međunarodnim standardima iz oblasti pneumatike. Dva ključna standarda koji se odnose na izradu pneumatskih šema upravljanja – ISO 1219-1:2012 i ISO 1219-2:2012 – prikazana su detaljnije. Ističe se da su izmene standarda ISO 1219-2:2012, u odnosu na ranije verzije ovog standarda, značajno promenile način označavanja pneumatskih komponentata u pneumatskim šemama sistema upravljanja i da je neophodno da se ovaj standard primeni u inženjerskoj praksi. Električni senzori koji imaju primenu u električnim i elektropneumatskim sistemima upravljanja prikazani su detaljnije sa odgovarajućim grafičkim simbolima prema standardu IEC 60617 DB:2012. U ovom poglavlju prikazane su i osnovne strukture električnih i elektropneumatskih sistema upravljanja. Dat je primer hardverske elektronske realizacije logičkih funkcija primenom tehnologije integralnih kola. Prikazani su osnovni principi za realizaciju logičkih funkcija relejno-kontaktnim prekidačkim mrežama sa primerom električne šeme koja odgovara lestvičastom dijagramu. Posebno je prikazano usaglašavanje standarda ISO 1219-2:2012 i SRPS EN 81346:2015 pri izradi električnih i pneumatskih šema za elektropneumatske sisteme upravljanja. Delovi poglavlja koji se odnose na hardver električnih sistema upravljanja imaju za cilj da studentima mašinstva daju osnovna znanja neophodna za učešće u kompleksnim projektima sa zajedničkim projektним timovima inženjera mašinstva i elektrotehnike.

Četvrti deo knjige, dat u poglavlju 7, upoznaje čitaoce sa teorijom konačnih automata i sa apstraktnim modelima kombinacionih i sekvencijalnih konačnih automata. Dati su opšti postupci analize i sinteze kombinacionih automata i primeri njihove primene za pneumatsku realizaciju kombinacionih prekidačkih mreža. Analiziran je uticaj kašnjenja signala u realnoj kombinacionoj prekidačkoj mreži na moguće greške u njenom funkcionisanju. Dat je primer eliminisanja logičkog

hazarda dodavanjem dopunskih kontura pri grafičkoj minimizaciji logičkih funkcija.

U drugom delu ovog poglavlja definisan je opšti postupak sinteze sekvencijalnih konačnih automata i detaljno prikazan postupak sinteze asinhronih sekvencijalnih konačnih automata direktne reakcije i asinhronih sekvencijalnih konačnih automata sa memorijskim elementima. Dati su karakteristični primeri sinteze za zadatke upravljanja pneumatskim aktuatorima, a za realizaciju pneumatskog sistema upravljanja. Posebno je prikazan uticaj načina upravljanja pneumatskim aktuatorima na postupak sinteze sekvencijalnih konačnih automata sa aspekta smanjenja broja taktova i broja promenljivih. Prikazane su dve metode koje u rezultatu daju jednostavniji postupak sinteze i olakšavaju primenu Hafmanovog tabelarnog postuka sinteze sekvencijalnih konačnih automata za pneumatske sisteme upravljanja.

Od brojnih inženjerskih metoda razvijenih za sintezu sekvencijalnih sistema upravljanja u pneumatici prikazana je metoda „Korak po korak“. Prikazani primeri logičkih dijagrama sekvencijalnog upravljanja dobijeni metodom „Korak po korak“ pogodni su za realizaciju pneumatskim sistemom upravljanja, ali i u drugim tehnologijama, na primer primenom programabilnih kontrolera.

Ovo poglavlje u potpunosti upoznaje čitaoce sa osnovnim teorijskim metodama sinteze asinhronih sekvencijalnih konačnih automata, ali daje i neophodna znanja za primenu savremenog komercijalnog softvera za sintezu složenih primera sekvencijalnih konačnih automata.

Peti deo knjige, dat u poglavlju 8, uvodi čitaoce u oblast primene programabilnih kontrolera u savremenoj automatizaciji proizvodnje. Polazeći od istorije razvoja programabilnih kontrolera ukazano je na njihovo mesto i ulogu u savremenim sistemima upravljanja u automatizaciji proizvodnje. Date su oblasti primene i osnovna hardverska struktura programabilnih kontrolera. Posebno je istaknut značaj razvoja nacionalnih i međunarodnih standarda za dalji razvoj i primenu programabilnih kontrolera. Međunarodni standard IEC 61131 – Programabilni kontroleri prikazan je sa svojim delovima i dat kratak pregled njegovog sadržaja. Uzimajući za osnovu standard IEC 61131-3, Programabilni kontroleri – Programski jezici, izvršena je osnovna klasifikacija programskih jezika za programiranje programabilnih kontrolera. Detaljno su prikazane zajedničke karakteristike programskih jezika za programiranje programabilnih kontrolera. Tekstualni jezici za programiranje programabilnih kontrolera prikazani su kroz programski jezik lista instrukcija i programski jezik strukturisanog teksta, a grafički kroz programski jezik funkcijskih blok dijagrama i programski jezik lestvičastih dijagrama. Posebno je prikazan programski jezik sekvencijalnih funkcionalnih dijagrama i ukazano je na mogućnost primene dijagrama stanja iz sinteze sekvencijalnih konačnih automata za direktnu izradu programskog rešenja i realizaciju upravljanja primenom programabilnih kontrolera. Za korisnike koji raspolažu samo softverom za programski jezik lestvičastih dijagrama, prikazana je procedura prevodenja sekvencijalnog funkcionalnog dijagrama u lestvičasti dijagram.

Sva poglavlja sadrže primere rešenih zadataka osmišljenih da prikažu karakteristične slučajeve primene prikazane teorije i da pripreme studente za laboratorijske vežbe i za rešavanje zadataka iz inženjerske prakse.

Kratak pregled korišćenih skraćenica i akronima i definicije najznačajnijih termina dat u prilogima knjige doprinosi praćenju teksta i njegovom razumevanju.

Glava 2

Uvod u automatizaciju proizvodnje

Razvoj savremenog ljudskog društva izrazito je dinamičan i brz, prožet uvođenjem čitavog niza novih tehnika i tehnologija koje su bitno izmenile mnoge oblasti ljudskog života. Ljudi su kroz istoriju uvek maštali o lepšem životu, o „čarobnim štapićima“ ili „magičnim mehanizmima“, koji će umesto njih izvršiti različite zadatke i aktivnosti. Danas postignuti razvoj nauke, tehnike i tehnologije, ogleda se u terminima kao što su numeričko upravljanje, roboti, računari, informaciono-komunikacione tehnologije, veštačka inteligencija, kibernetско-fizički sistemi, inteligentni tehnološki i proizvodni sistemi, potpuno automatizovane fabrike bez ljudi [34, 39] i dr. i daje realne mogućnosti da se vekovne vizije i maštanja mnogih generacija realizuju. Tu mogućnost današnjem ljudskom društvu daje niz tehnologija i, među njima, i kompleksna tehnologija koja u sebi okuplja čitav niz naučnih, tehničkih, tehnoloških, društvenih i drugih oblasti – **automatizacija**.

Skoro sve ljudske aktivnosti, uključujući obrazovanje, zdravstvo, transport, komunikacije, istraživanje i razvoj, odbranu, industrijsku proizvodnju, komercijalne i poslovne funkcije itd., danas su pod uticajem automatizacije.

Automatizacija predstavlja interdisciplinarnu naučnu i tehničko-tehnološku oblast. Naučne i inženjerske podloge automatizacije date su kroz niz grana nauke i tehnike kao što su mašinstvo (mehanika, hidraulika, pneumatika...), elektrotehnika i elektronika, računarske, informacione i komunikacione nauke, hemija, metalurgija, industrijsko inženjerstvo, tehnologija merenja, automatsko upravljanje – sve posebno podržane fundamentalnim principima fizike i matematike. Najnoviji sistemi automatizacije podrazumevaju primenu *soft computing* tehnika i tehnika veštačke inteligencije.

2.1. Osnovne definicije automatizacije

Sama reč automatizacija odnosi se na uvođenje automatskog rada nekog uređaja – bez direktnog učešća čoveka bilo kroz direktan fizički rad, bilo kroz uprav-

ljanje uređajem. Ona potiče od grčke reči automaton (grč. *αυτοματον*, srp. automat) koja označava uređaj koji se kreće sam od sebe [203]. U literaturi se može pronaći veliki broj definicija automatizacije.

Oksfordski rečnik definiše reč *automatski* kao samostalan rad (mašine) bez neposrednog učešća (upravljanja) čoveka [167]. Izvedenu reč *automatizacija* (engl. *Automation*) Oksfordski rečnik definiše kao *upotreba* automatske opreme i mašina za rad koji je prethodno izvršavao čovek.

U tehničkoj literaturi reč *automatizacija* definiše vrstu proizvodnje u kojoj se proizvodni proces realizuje pomoću mašina koje rade samostalno bez neposrednog učešća čoveka. Tako, na primer, M. Groover automatizaciju definiše na sledeći način: „Automatizacija je tehnologija, koja se odnosi na primenu mehaničkih, elektronskih i računarskih sistema u radu i upravljanju proizvodnjom“ [39], dok prof. S. Zarić uvodi sledeću definiciju: „Pod automatizacijom se podrazumevaju sve ekonomski i tehnički opravdane mere čiji je cilj ostvarivanje tehnoloških procesa uz angažovanje opreme i sredstava visoke proizvodnosti bez neposrednog učešća čoveka“ [209].

Sublimiranjem prethodno navedenih definicija, automatizacija proizvodnje može se definisati na sledeći način:

Automatizacija proizvodnje odnosi se na primenu mehaničkih i mehatronskih sistema koji zamenjuju fizički rad čoveka, kao i njegov intelektualni rad u upravljanju proizvodnim resursima.

Za potpuno razumevanje automatizacije, neophodno je odrediti njen odnos sa mehanizacijom i automatskim upravljanjem.

Mehanizacija podrazumeva primenu mašina i opreme u potpunom uklanjanju ili olakšavanju fizičkog rada čoveka u obavljanju određenih delatnosti. Termin *mehanizacija* vezan je za sredinu devetnaestog i prvu polovinu dvadesetog veka. Osnovna karakteristika mehanizacije je da mehaničke, hidrauličke, pneumatske i električne komponente zamenjuju fizičko učešće čoveka u proizvodnji (I i II industrijska revolucija). Automatizacija odlazi korak dalje, u smislu da se primenom upravljačkih sistema, pored fizičkog, zamenjuje i umni rad čoveka u upravljanju mašinama, procesima i drugom opremom.

Automatsko upravljanje bavi se primenom teorije upravljanja u regulaciji procesa. U širem smislu ono je čvrsto povezano sa obradom podataka, sintezom i programiranjem elektronskih računara ¹ [192]. Automatizacija, s druge strane, između ostalog, podrazumeva i implementaciju automatskog upravljanja, ali bavi se i rešavanjem drugih tehničko-tehnoloških, organizacionih, ekonomskih i socijalnih problema.

¹Sve ove discipline od izuzetnog su značaja za automatizaciju i implementiraju se u okviru nje.

2.2. Vrste industrijskih procesa i automatizacija proizvodnje

U automatizaciji proizvodnje primenjuju se različite nauke, tehnike i tehnologije prema vrsti proizvodnih procesa. U zavisnosti od vrste operacija koje se izvode u proizvodnom procesu, svi industrijski procesi mogu se podeliti u tri grupe [23, 131, 200]:

- kontinualni proizvodni procesi (engl. *Continuous Manufacturing Processes*) ili kontinualna proizvodnja (engl. *Continuous Manufacturing*),
- grupni proizvodni procesi (engl. *Batch Manufacturing Processes*) ili grupna (šaržna) proizvodnja (engl. *Batch Manufacturing*), i
- diskretni proizvodni procesi (engl. *Discrete Manufacturing Processes*) ili proizvodnja diskretnih proizvoda (engl. *Discrete Products Manufacturing*).

Svaki industrijski proces ima svoje individualne karakteristike i zahteve koji se moraju uzeti u obzir pri uvođenju automatizacije i projektovanju sistema upravljanja.

Kontinualni proizvodni procesi preuzimaju kontinualni tok sirovog materijala na ulazu, odvijaju se kontinualno i proizvode kontinualni finalni proizvod na izlazu. U nekim slučajevima kontinualni procesi odvijaju se bez prekida, odnosno proces se odvija 24 h. Vreme procesa može biti različito – nekoliko minuta, više časova ili čak i više sedmica. Industrije sa primerima kontinualnih procesa jesu metalurgija, industrija čelika, naftna i hemijska industrija, industrija plastičnih materijala, elektroindustrija itd., a primeri proizvoda kontinualnih proizvodnih procesa jesu voda za piće, nafta i derivati nafte, plastične cevi, električna energija, valjani čelični polufabrikati itd.

Grupni (šaržni) proizvodni procesi prerađuju određenu količinu sirovog materijala na ulazu, obavljaju operacije procesa i proizvode određenu količinu poluproizvoda za novu šaržu ili gotovih proizvoda na izlazu. Po završetku procesa, nova količina materijala formira novu šaržu na osnovu koje se realizuje novi proces. U jednoj proizvodnoj instalaciji, svaka šarža može da ima različite polazne materijale u različitim količinama, različite karakteristike proizvodnog procesa (vreme mešanja, temperatura, pritisak itd.) i na izlazu proizvode sa različitim željenim karakteristikama. Primeri grupnih/šaržnih procesa karakteristični su za hemijsku, prehrambenu i niz drugih procesnih industrija. Primeri proizvoda proizvedenih šaržnim procesima su: pivo, viski, sladoled, lepak, različiti hemijski proizvodi koji se dobijaju u hemijskim reaktorima itd.

U **diskretnim proizvodnim procesima** diskretni proizvodi (engl. *Discrete Products*), izrađuju se komad po komad primenom različitih operacija, dok se ne dobije finalni proizvod. Jedan ili više komada u grupi transportuju se od prethodne radne stanice/mašine do naredne. Alternativno, više različitih delova mogu se transportovati od stanice do stanice u procesu montaže kojim se dobija složeni finalni proizvod. Diskretni proizvodni procesi, odnosno proizvodnja pojedinačnih delova i montaža složenih proizvoda tipična je za mašinogradnju, elektroindustriju, vazduhoplovnu, automobilsku i slične industrije.

2.3. Razvoj industrijske proizvodnje i automatizacija

Industrijska revolucija predstavlja ključnu tačku – prekretnicu u istoriji razvoja ljudskog društva. Industrijalizacija društva započela je uvođenjem energije vode i vodene pare za pogon mašina i taj period - kraj osamnaestog, početak i sredina devetnaestog veka, definisan je kao I industrijska revolucija. Koristeći energiju vodene pare razvijen je niz mašina za različite oblasti industrije. Između ostalog, razvijene su osnovne vrste mašina alatki (strugovi, glodalice, bušilice, rendisaljke itd.), što je omogućilo proizvodnju produktivnijih i efikasnijih mašina za brži razvoj ostalih industrija. Osnovna vrsta proizvodnje bila je zanatska sa malim obimom proizvodnje ili, u nekim slučajevima, i pojedinačna proizvodnja. Glavna karakteristika I industrijske revolucije jeste mehanizacija.

II industrijska revolucija počela je krajem devetnaestog veka uvođenjem električne energije za pogon mašina i nastavila se u dvadesetom veku uvođenjem masovne proizvodnje u većem broju industrija kao što su industrija čelika, hemijska industrija, naftna idustrija i industrija motornih vozila. Masovnu proizvodnju u industriji motornih vozila i sličnim industrijama omogućile su automatske proizvodne linije (transfer linije), podela rada i pokretne trake za montažu. Sa aspekta automatizacije industrijske proizvodnje u ovom periodu uvodi se fiksna automatizacija.

Razvoj elektronike, računara, računarskih sistema upravljanja i informacionih tehnologija u drugoj polovini dvadesetog veka definiše početak informacionog doba i predstavlja III industrijsku revoluciju. Za početak informacionog doba i računarskog upravljanja u automatizaciji proizvodnje u više literaturnih izvora uzima se uvođenje programabilnog logičkog kontrolera Modicon 1969. godine [1]. Ovome treba dodati računarsko numeričko upravljanje mašina alatki i industrijske robote koji se uvode tokom sedamdesetih godina dvadesetog veka i stvaraju uslove za novu vrstu automatizacije industrijske proizvodnje – programabilnu automatizaciju. Tokom osamdesetih godina, dalji razvoj informacionih tehnologija i računarskog upravljanja, uz opremu programabilne automatizacije, dovodi do razvoja fleksibilnih tehnoloških sistema, odnosno fleksibilne automatizacije.

Informacione i komunikacione tehnologije radikalno su promenile društvo i početak dvadeset prvog veka karakteriše njihovo uvođenje u sve oblasti, od industrijske proizvodnje, preko obrazovanja, do svakodnevnog života u našim domovima. Globalizacija, razvoj interneta i infrastrukture informacionih tehnologija, doveli su do mogućnosti formiranja mreže informacija, objekata i ljudi i formiranja interneta stvari i usluga (engl. *Internet of Things and Services*), što se vidi kao četvrta industrijska revolucija [1] (Industrija 4.0²). Za Industriju 4.0 koriste se i drugi nazivi kao što su Industrijski Internet, Pametna industrija (engl. *Smart Industry*), Pametna proizvodnja (engl. *Smart Manufacturing*) itd.

Faze razvoja industrijske proizvodnje sa osnovnim karakteristikama opreme, vrste proizvodnje i vrste automatizacije prikazane su u tabeli 1. Vidi se da je

²Termini Industrija 1.0, Industrija 2.0, Industrija 3.0 i Industrija 4.0 originalno su uvedeni u nemačkim referencama i zvaničnim dokumentima i odnose se na industrijske revolucije od prve do četvrte.

razvoj ključnih tehnologija i karakteristične opreme omogućio i promenu vrste proizvodnje i vrste automatizacije.

Tabela 2.1. Faze industrijske proizvodnje

FAZE RAZVOJA INDUSTRIJSKE PROIZVODNJE	PERIOD	ENERGIJA/ KLJUČNA TEHNOLOGIJA	KARAKTERISTIČNA OPREMA	VRSTA PROIZVODNJE/ VRSTA AUTOMATIZACIJE
I industrijska revolucija (Industrija 1.0)	Kraj 18. veka, prva polovina i sredina 19. veka	Energija vode i vodene pare za pogon mašina	Mašine alatke (bušilice, glodalice, strugovi it.d.)	Zanatska proizvodnja/ Mehanizacija
II industrijska revolucija (Industrija 2.0)	Kraj 19. veka, prva polovina i sredina 20. veka	Električna energija	Transfer linije, pokretne montažne linije	Masovna proizvodnja/ Fiksna automatizacija
III industrijska revolucija (Industrija 3.0)	Druga polovina 20. veka	Elektronika, računari, informacione tehnologije	CNC mašine, industrijski roboti, programabilni kontroleri	Pojedinačna i maloserijska proizvodnja/ Programabilna automatizacija
			Fleksibilne proizvodne linije i sistemi	Fleksibilna proizvodnja/ Fleksibilna automatizacija
IV industrijska revolucija (Industrija 4.0)	21. vek	Internet stvari i usluga, kibernetički fizički sistemi	Rekonfiguralni proizvodni sistemi, pametna fabrika	Masovna kastomizacija (personalizacija)/ Inteligentna automatizacija

2.3.1. Evolucija proizvodnih paradigmi i automatizacija

Vrste automatizacije koje se pojavljuju u savremenoj proizvodnji usko su povezane sa proizvodnom paradigmom koju kompanija primenjuje. Tokom istorije industrijske proizvodnje (tabela 2.1) pod uticajem promena prirodnog, ekonomskog, socijalnog i tehnološkog konteksta poslovanja [130], došlo je do razvoja više osnovnih paradigmi proizvodnje od kojih su posebno značajne:

1. pojedinačna (zanatska) proizvodnja,

2. masovna proizvodnja,
3. fleksibilna proizvodnja,
4. masovna kastomizacija.

U **pojedinačnoj proizvodnji**³ proizvod se izrađuje tačno prema zahtevu kupca. Model poslovanja je takav da se proizvod prvo proda, a zatim projektuje, izrađuje i montira. Ovakav tip proizvodnje podrazumeva visoko kvalifikovanu radnu snagu i univerzalne i izuzetno fleksibilne mašine. Ovo je prva proizvodna paradigma koja se pojavila sa prvom industrijskom revolucijom. Obim proizvodnje je vrlo mali – obično manji od 50, a nekad je u pitanju i samo jedan proizvod. Pojedinačna proizvodnja realizuje se u pogonima tipa radionice. Ona se koristi i za izradu prototipova novih proizvoda i za posebno velike proizvode kao što su brodovi, avioni, turbine elektrana, specijalne mašine, specijalni alati itd.

Masovna proizvodnja odnosi se na proizvodnju ekstremno velikih količina identičnih proizvoda. Ona je zasnovana na postojanju stalne tražnje kupaca za proizvodima, koji, pak, zbog načina na koji se izrađuju imaju nisku cenu koja dalje povećava tražnju kroz povećanje broja kupaca koji dati proizvod mogu da kupe. Kod ove vrste proizvodnje nije neophodna visoko kvalifikovana, već usko specijalizovana radna snaga, a koristi se namenski projektovana oprema. Model poslovanja je takav da se proizvod prvo projektuje, zatim izrađuje i montira, a nakon toga prodaje.

Iako se još tokom 19. veka javljaju začeci masovne proizvodnje, 1913. godina i uvođenje pokretne trake za montažu u Fordovoj fabrici automobila uzimaju se za početak paradigme masovne proizvodnje. Naime, u uslovima velike potražnje, vođen zahtevom za povećanjem obima proizvodnje, a suočen sa nedostatkom kvalifikovane radne snage [33], Henri Ford 1913. godine uvodi pokretnu liniju za montažu automobila Ford Model T. Osnovni tehnološki faktori koji su omogućili uvođenje masovne proizvodnje jesu podela rada, izmenljivost delova i mehanizacija [26].

U proizvodnji diskretnih proizvoda mogu se definisati dve kategorije masovne proizvodnje:

- Masovna proizvodnja prostih proizvoda/delova, koja se primenjuje u proizvodnji proizvoda sa manjim brojem operacija, uglavnom manjih delova na pretežno standardnim, potuno automatizovanim mašinama kao što su prese, mašine za automatsku izradu zavrtnjeva, prese za brizganje plastike i slično.
- Linijska – lančana proizvodnja primenjuje se za proizvodnju složenih pojedinačnih proizvoda (na primer blokovi motora za automobilsku industriju) ili za montažu složenih proizvoda (na primer karoserija automobila).

U **fleksibilnoj proizvodnji** obim proizvodnje po vrsti proizvoda se smanjuje, a varijantnost proizvoda povećava. Proizvod se prvo projektuje, zatim se izrađuje, ali montira se tek nakon prodaje, kada se klijent odluči za određene opcije. Osnovni tehničko-tehnološki faktori koji su omogućili implementaciju paradigme

³Pojedinačna (zanatska) proizvodnja (engl. *Craft production* ili *Piece-Part Production*).

fleksibilne proizvodnje jesu računari, informacione tehnologije i fleksibilni tehnološki sistemi (numerički upravljane mašine alatke, roboti, programabilni kontroleri, automatski sistemi za montažu, transport i rukovanje materijalom i delovima...). U fleksibilnoj proizvodnji veći broj pojedinačnih komponenti još uvek se proizvodi po paradigmi masovne proizvodnje [130]. Tokom godina došlo je do zasićenja tržišta robom masovne proizvodnje i povećanja konkurencije, pa su, kako bi ostvarile profit, kompanije bile prinuđene da se prilagode zahtevima potrošača. Ovde treba napomenuti da je masovna proizvodnja u najvećoj meri bila implementirana u SAD, a da su se sedamdesetih godina prošlog veka, nakon oporavka od ratnih razaranja na tržištu u većem obimu pojavile kompanije iz Japana i Evrope koje su se morale prilagoditi ukusima kupaca kako bi povećale svoj udeo u tržištu. Tržišni uslovi bili su takvi da je ponuda postala veća od potražnje.

Dalje povećanje tržišne konkurencije i još značajnije povećanje ponude u odnosu na potražnju izazvano globalizacijom krajem prošlog veka, dovelo je, na početku dvadesetprvog veka, do uvođenja paradigme **masovne kustomizacije proizvoda** – proizvodnje proizvoda maksimalno prilagođenih zahtevima kupca. Kod ove paradigme proizvodi se izrađuju po narudžbi, u varijantama skoro kustomizirani (prilagođeni) zahtevima kupca, ali po cenama i uz efikasnost masovne proizvodnje. Tehničko-tehnološki faktori koji omogućuju uvođenje ove paradigme jesu informacione tehnologije, internet, rekonfigurabilni tehnološki sistemi i niz novih tehnologija kao što su aditivne tehnologije (3D štampa), novi materijali itd. Očekuje se da će nastavak razvoja u ovom pravcu dovesti do masovne personalizacije, pametne proizvodnje [207] odnosno četvrte industrijske revolucije i novog modela preduzeća i automatizacije zasnovane na kibernetско-fizičkom proizvodnom sistemu [1, 158].

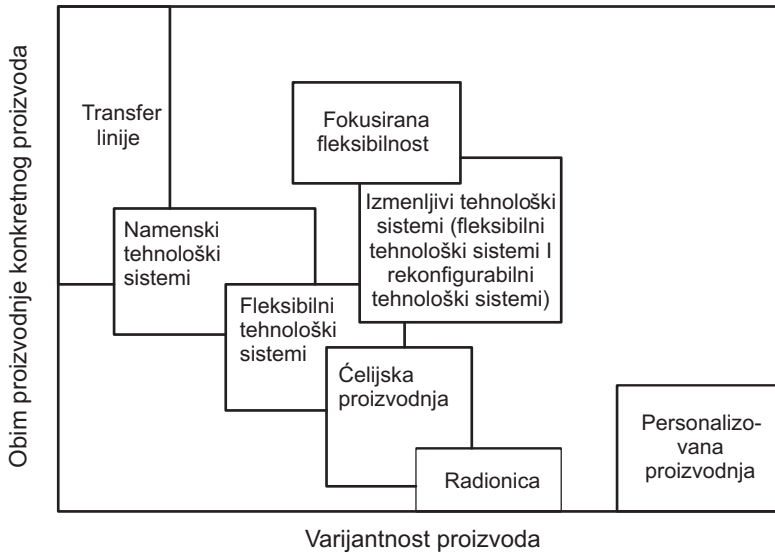
Naravno, bez obzira na različite trenutke njihovog nastanka, sve opisane paradigme proizvodnje egzistiraju (u zavisnosti od poslovne orijentacije kompanije, vrste proizvoda, tražnje na tržištu itd.) i u savremenoj proizvodnji. Slika 2.1. prikazuje vrste proizvodne opreme koju je optimalno koristiti u zavisnosti od obima proizvodnje konkretnog proizvoda (tabela 2.1) i varijantnosti proizvoda prema prikazanim paradigmatama proizvodnje [27].

2.4. Automatizacija u savremenoj proizvodnji

Tehnologije i oprema u automatizaciji proizvodnje zavise od vrste industrije, odnosno proizvoda i njima odgovarajućih industrijskih procesa. Ova knjiga primarno posmatra automatizaciju proizvodnje delova, mašina i drugih gotovih proizvoda primenom tehnologije mašinogradnje, koja se pre svega odnosi na proizvodnju diskretnih proizvoda.

Savremena automatizacija proizvodnje obuhvata veliki broj proizvodnih aktivnosti sa tendencijom integracije i potpune automatizacije proizvodnih i menadžerskih funkcija na nivou ukupnog poslovno-proizvodnog sistema.

U industrijskim pogonima automatizacija se primenjuje u svim proizvodnim aktivnostima. Primeri karakterističnih grupa proizvodnih aktivnosti u kojima se intezivno i uspešno uvodi automatizacija jesu:



Slika 2.1. Varijantnost proizvoda i tehnološki sistemi [27]

1. Obradni procesi – svi obradni procesi koji pripadaju mehaničkim tehnologijama danas se upešno automatizuju. Primeri obradnih procesa sa široko sprovedenom automatizacijom su livenje, obrada rezanjem (struganje, glodanje, bušenje, brušenje itd.), obrada plastičnim deformisanjem (kovanje, izvlačenje, savijanje, prosecanje, probijanje itd.), nekonvencionalne metode obrade (laserska obrada, elektroeroziona obrada itd.).
2. Montaža – pojedinačno proizvedeni delovi i gotove komponente automatski se montiraju u podsklopove, sklopove i na kraju u finalne proizvode.
3. Transport i rukovanje materijalom i delovima – u automatizovanim pogonima materijal i delovi automatski se transportuju, postavljaju i sklanjaju sa obradnih sistema i na kraju ostavljaju u magacinima bez neposrednog učešća čoveka.
4. Inspekcija i kontrola kvaliteta – automatska kontrola kvaliteta, u potpuno automatskim sistemima, prisutna je u toku i nakon obradnog procesa. Za složene proizvode prisutna je i probno puštanje u rad i automatska provera ostvarenih performansi.
5. Pakovanje – kod proizvoda koji zahtevaju pakovanje, posebno kod onih koji su manjih dimenzija, uvodi sa automatsko pakovanje.

Navedene, kao i ostale aktivnosti u proizvodnim pogonima, podržane su automatizacijom svih drugih funkcija proizvodnog i poslovnog sistema, koja se sprovodi uz intezivnu primenu računara i informaciono-komunikacionih tehnologija.

Posebno se ističu CAx tehnologije koje podrazumevaju primenu računara i informacionih tehnologija u automatizaciji aktivnosti koje podržavaju proizvodnju. U njih spadaju:

1. Alati za projektovanje, proračun i analizu proizvoda pomoću računara – softver za projektovanje pomoću računara – CAD (engl. *Computer-Aided Design*), za proračune i druge inženjerske aktivnosti – CAE (engl. *Computer-Aided Engineering*), za analizu metodom konačnih elemenata – FEA (engl. *Finite-Element Analysis*) i dr., pomoću koga se uspešno sprovodi automatizacija svih funkcija projektovanja proizvoda.
2. Projektovanje tehnološkog procesa pomoću računara – CAPP (engl. *Computer-Aided Process Planning*).
3. Proizvodnja pomoću računara – CAM (engl. *Computer-Aided Manufacturing*).

2.4.1. Vrste automatizacije u savremenoj proizvodnji

Proizvodne aktivnosti mogu se automatizovati primenom različite opreme i različitim tehnologijama. Paradigme proizvodnje prikazane u odeljku 2.3.1. i tehnološke sisteme sa slike 2.1, prate i odgovarajući vidovi automatizacije. U savremenoj proizvodnji postoje tri osnovna vida automatizacije za koje se može reći da su dostigli svoju zrelost [39, 131]. To su:

- fiksna (kruta) automatizacija,
- programabilna automatizacija,
- fleksibilna automatizacija.

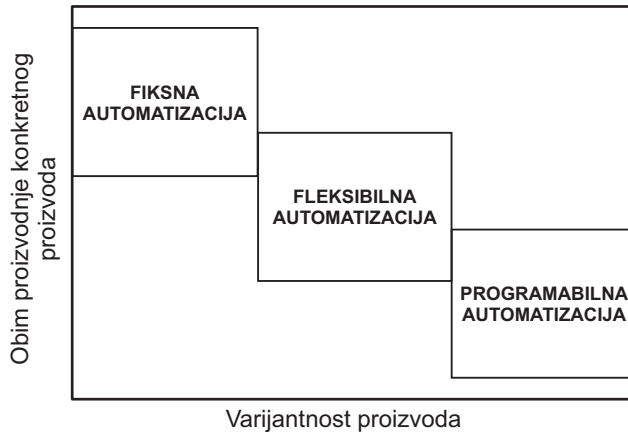
Slika 2.2. prikazuje oblast primene navedenih vidova automatizacije u odnosu na obim proizvodnje date varijante proizvoda i varijantnost proizvoda.

Fiksna automatizacija

Fiksna automatizacija koristi specijalizovanu opremu, a njen raspored je definisan sekvencama procesa – redosledom operacija obrade ili montaže. Svaka operacija je što je moguće jednostavnija i najčešće se sastoji iz elementarnih linearnih ili rotacionih kretanja.

Osnovna oprema u okviru ove vrste automatizacije jesu automatske montažne linije i automatske proizvodne linije – transfer linije. Transfer linije formiraju se na modularnom principu, od većeg broja transfer mašina međusobno povezanih transfer mehanizmom – sistemom za automatski transport materijala i delova. Transfer mašine su specijalizovane i ne postoji mogućnost značajne promene oblika i dimenzija proizvoda odnosno projektovane su za određeni proizvod. Projektovanje i izgradnja transfer linija je skupa i primena fiksne automatizacije ekonomična je samo za vrlo veliki obim proizvodnje – masovnu proizvodnju.

Karakteristike fiksne automatizacije jesu:



Slika 2.2. Varijantnost proizvoda i vrste automatizacije u savremenoj proizvodnji

- visoke investicije u namenski projektovanu opremu;
- visoka produktivnost;
- relativna nefleksibilnost u odnosu na uvođenje novog proizvoda;
- niska cena jedinice proizvoda.

Programabilna automatizacija

Kada je obim proizvodnje mali, a varijantnost proizvoda velika koristi se programabilna automatizacija. Kod programabilne automatizacije oprema je takva da se može primeniti za izradu različitih proizvoda, a sekvence operacija se mogu izmenjivati i programski se zadaju. Osnovna oprema u okviru programabilne automatizacije su numerički upravljane mašine alatke, roboti i druga oprema upravljana programabilnim logičkim kontrolerima ili industrijskim računarima. Tipično za programabilnu automatizaciju jeste da se varijante proizvoda lansiraju u serijama. Mašine se reprogramiraju u skladu sa varijantom proizvoda, a neophodno je izvršiti i fizičke izmene na opremi (postavljanje odgovarajućih alata i pribora, podešavanje mašine). Karakteristike ove vrste automatizacije jesu:

- visoke investicije u univerzalnu programabilnu opremu;
- mala produktivnost u odnosu na fiksnu automatizaciju koja je uslovljena većim pripremnim vremenom;
- velika fleksibilnost u odnosu na vrstu proizvoda;
- proizvodnja u serijama.

Fleksibilna automatizacija

Fleksibilna automatizacija razlikuje se od programabilne u smislu da kod nje nije potrebno vreme za reprogramiranje i fizičko podešavanje mašine. Naime, kod fleksibilne automatizacije, razlike između varijanti proizvoda nisu velike, ovde se ne radi o potpuno različitim proizvodima već o varijantama u dizajnu, tj. o unapred planiranim familijama proizvoda [27]. U okviru sistema koji imaju implementiranu fleksibilnu automatizaciju, nije neophodno vreme za podešavanje između proizvodnje različitih varijanti proizvoda, pa se proizvodnja ne mora lansirati u serijama, već se mogu koristiti različite kombinacije varijanti proizvoda koje se proizvode u proizvoljnom redosledu.

Kod fleksibilne automatizacije, sve glavne proizvodne aktivnosti su integrisane i realizuju se u visoko automatizovanom sistemu. Sistem je, najčešće, potpuno automatizovan, od preuzimanja materijala iz skladišta, preko proizvodnje i kontrole kvaliteta, sa automatskim transportom, do ostavljanja gotovih proizvoda u odgovarajućem skladištu. Osnovna oprema su fleksibilne tehnološke ćelije, fleksibilni tehnološki sistemi i fleksibilne fabrike. Proizvodne radne stanice u fleksibilnim tehnološkim ćelijama i tehnološkim sistemima su numerički upravljane mašine alatke – CNC (engl. *Computer Numerical Control*), industrijski roboti i druga proizvodna oprema upravljana programabilnim kontrolerima ili računarima. Sistem automatskog transporta i rukovanja materijalom i delovima sadrži automatski vođena vozila, robote, konvejere i druge transportne sisteme upravljane računarima. Upravljanje svim automatskim funkcijama fleksibilnog sistema vrši se pomoću mreže računara različite strukture hardvera i softvera prilagođenih funkcijama i fizičkoj strukturi svakog fleksibilnog tehnološkog sistema – FTS-a (engl. *FMS – Flexible Manufacturing System*).

Karakteristike fleksibilne automatizacije su:

- visoka investicija u namenski projektovan sistem;
- srednja produktivnost;
- fleksibilnost u odnosu na varijantnost u dizajnu proizvoda;
- fleksibilnost u lansiranju proizvodnje (nema potrebe za formiranjem serije).

Inteligentna automatizacija

Proizvodna paradigma masovne kastomizacije, aktuelna od početka dvadeset-prvog veka, intezivirala je istraživanja koja treba da prevaziđu nedostatke programabilne i fleksibilne automatizacije. Iz navedene analize, može se zaključiti da je osnovni nedostatak programabilne automatizacije u odnosu na fleksibilnu u pripremnom vremenu koje je neophodno za reprogramiranje i podešavanje mašine. S druge strane, njena prednost je u mogućnosti ekstremne varijantnosti proizvoda. Kao što je već pomenuto, kako bi uspele da proizvedu heterogene proizvode u razumnim rokovima i po niskim cenama, kompanije u okviru paradigme masovne kastomizacije moraju biti sposobne da stalno menjaju i preraspoređuju opremu [27] u okviru koncepta rekonfigurabilnih tehnoloških sistema – RTS (engl. *RMS*

– *Reconfigurable Manufacturing Systems*). Ovakvi sistemi zahtevaju implementaciju distribuiranih sistema upravljanja sa elementima veštačke inteligencije, koji će omogućiti autonomnost sistema i nesmetan rad u nestruktuiranom radnom okruženju. Razvojem i implementacijom inteligentne automatizacije prevazišli bi se nedostaci programabilne automatizacije u odnosu na fleksibilnu i uz internet stvari i usluga i kibernetско-fizičke sisteme očekuje se potpuno novi nivo automatizacije – pametna fabrika. Pored intenzivnih istraživanja u ovom smeru, za podršku paradigmi masovne kastomizacije i personalizacije neophodna je i automatizacija sistema podrške proizvodnji u okviru digitalne fabrike (CAD-CAM-CAPP-CAQ...).

2.5. Sistemi upravljanja u automatizaciji

Savremena automatizacija i koncept fabrike budućnosti podrazumevaju intenzivnu primenu informaciono-komunikacionih tehnologija, računara i drugih industrijskih sistema upravljanja za praktično sve funkcije upravljanja poslovno-proizvodnim sistemom. Za automatizaciju proizvodnje posebno su značajni računari i namenski sistemi upravljanja koji se primenjuju u savremenoj proizvodnji za upravljanje programabilnom opremom u programabilnoj i fleksibilnoj automatizaciji (slika 2.2) i za upravljanje tehnološkim sistemima koji se razvijaju u okviru paradigme masovne kastomizacije proizvodnje (slika 2.1).

2.5.1. Primeri sistema upravljanja u savremenoj automatizaciji

Sistemi upravljanja u savremenoj automatizaciji jesu kompleksni hardverski i softverski sistemi, koji su u svom razvoju direktno pratili razvoj elektronike, računara i informaciono-komunikacionih tehnologija. U zavisnosti od vrste opreme u primeni su računari opšte namene, industrijski računari specijalne namene i namenski sistemi upravljanja, po pravilu, višeprosorski mikroprocesorski sistemi razvijani za kompleksne zadatke upravljanja, kao što su numerički upravljane mašine alatke, industrijski roboti, fleksibilni tehnološki sistemi itd.

Upravljačke jedinice numerički upravljanih mašina alatki

Numerički upravljane mašine alatke – NUMA predstavljaju osnovnu proizvodnu opremu savremenih fabrika u diskretnoj proizvodnji. Od pojave prvih numerički upravljanih mašina alatki 1952. godine do danas, upravljačke jedinice NUMA (engl. *Machine Control Unit* – MCU) prešle su dug razvojni put. Prve generacije upravljačkih jedinica – UJ izvedene su u „ožičenoj logici“ (specifično hardversko rešenje). Od sedamdesetih godina dvadesetog veka u UJ NUMA uvodi se računar (mini računar), a zatim i veći broj mikroprocesora što dovodi do nove generacije UJ – računarsko numeričko upravljanje (engl. *Computer Numerical Control* – CNC). Upravljačka jedinica NUMA postaje složeni višeprosorski mikroprocesorski sistem, odnosno industrijski računar specijalne namene. Ovim su otvorene mogućnosti uvođenja svih dostignuća računarskih i informaciono-komunikacionih tehnologija na nivou sistema upravljanja u pogonu. Stvoreni su uslovi za laku

integraciju CNC UJ u komunikacione mreže računara i drugih sistema upravljanja kao i u sisteme upravljanja savremenim poslovno-proizvodnim sistemima.

Upravljački sistemi industrijskih robota

Upravljački sistemi industrijskih robota poznati i kao robot kontroleri – RK (engl. *Robot Controller* – RC) prešli su sličan put razvoja kao i CNC upravljačke jedinice. Robot kontroleri prvih industrijskih robota, koji su uvedeni ranih šezdesetih godina dvadesetog veka, izvedeni su u „ožičenoj logici“ (specifično hardversko rešenje). Od sedamdesetih godina i robot kontroleri postaju složeni višeprosorski mikroprocesorski sistemi, odnosno industrijski računari specijalne namene. Industrijski roboti mogu biti različitih konstrukcija i različite namene tako da su u primeni i RK sa različitim funkcijama upravljanja u zavisnosti od vrste robota.

Programabilni kontroleri

Programabilni kontroleri ili programabilni logički kontroleri (engl. *Programmable Logic Controllers* – PLC) uvode se od 1969. godine kao zamena za konvencionalno relejno upravljanje u automobilskoj industriji i drugim industrijama sa velikim brojem automatskih proizvodnih i montažnih linija. Danas su programabilni kontroleri specijalizovani višeprosorski mikroprocesorski sistemi – industrijski računarski sistemi, projektovani za primenu u svim zadacima logičkog i sekvencijalnog upravljanja, kao i za kompleksne funkcije obrade informacija i komunikacije. Jedna od posebnih karakteristika programabilnih kontrolera je robusnost, odnosno sposobnost rada u vrlo teškim i nepovoljnim radnim uslovima u industrijskim pogonima. Programabilni kontroleri imaju primenu u svim industrijama i u svim vrstama proizvodnje (diskretna, grupna i kontinualna proizvodnja). U diskretnoj proizvodnji, programabilni kontroleri primenjuju sa za sve zadatke upravljanja koji ne zahtevaju CNC ili robot kontrolere. S obzirom na značaj programabilnih kontrolera za upravljanje u automatizaciji proizvodnje u poglavlju 8. ove knjige dat je detaljan opis strukture, programiranja i primene programabilnih kontrolera.

Sistemi upravljanja otvorene arhitekture

Specijalizovani sistemi upravljanja predstavljaju kompleksne hardverske i softverske sisteme i u poslednjih deset godina dvadesetog veka postavljeni se zahtevi za njihovo eliminisanje i vršena su istraživanja u pravcu prelaska na standardnu hardversku platformu personalnih računara i jedinstven pristup svim sistemima upravljanja uz razvoj upravljačkih sistema otvorene arhitekture. Impuls za istraživanja u pravcu razvoja upravljačkih sistema otvorene arhitekture dala je 1994. godine automobilska industrija SAD izdavanjem dokumenta: „Zahtevi za otvorenom, modularnom arhitekturom upravljanja za primenu u automobilskoj industriji – OMAC“ [24]. Novi sistemi upravljanja, prema [24] moraju biti ekonomični za životni vek proizvoda, sa maksimalnim vremenom rada opreme i minimalnim vremenom otkaza, otvoreni sa mogućnošću integracije hardverskih i softverskih komponenata sa „police“ u infrastrukturu koja podržava standardno okruženje, mo-

dularni da dopuštaju „uključiti i radi“ princip za ograničen broj izabranih funkcija sistema upravljanja, prilagodljivi da omoguće laku rekonfiguraciju saglasno specifičnim korisničkim zahtevima. Rezultat navedene inicijative i drugih projekata u svetu prikazanih u [176], jesu komercijalna rešenja otvorenih sistema upravljanja vodećih proizvođača CNC, RC i PLC upravljačkih sistema, koja su na tržištu od početka dvadesetprvog veka. Pored dotle prisutnih vodećih proizvođača upravljačkih sistema, u ovu inicijativu uključili su se i nezavisni proizvođači softvera. Na tržištu sistema upravljanja pojavila su se i rešenja tzv. softverskog CNC i PLC upravljanja na standardnoj hardverskoj platformi IBM PC kompatibilnog računara i pod Windows ili Unix operativnim sistemom. Primeri su dati u [148]. Primer prilagođavanja softverskog CNC-a korisničkim zahtevima primenom interfejsa za programiranje aplikacija (engl. *Application Programming Interface* – API) dat je u [176]. Poseban doprinos razvoju sistema upravljanja otvorene arhitekture dao je projekat EMC (engl. *Enhanced Machine Controller*), koji je inicirao Nacionalni institut za standardizaciju i tehnologije SAD – NIST [182]. Cilj projekta je razvoj sistema upravljanja otvorene arhitekture, koji je baziran na IBM PC kompatibilnom računaru i Unix softveru. Rezultat projekta je javno dostupan softver *LinuxCNC* (ranije EMC i EMC2) za konfigurisanje sistema upravljanja na standardnoj hardverskoj platformi personalnog računara sa *Ubuntu Linux* operativnim sistemom. Prema zahtevima korisnika, može se konfigurisati upravljačka jedinica numerički upravljanih mašina – CNC, robot kontroler – RC i softverski programabilni kontroler – PLC.

Kontroleri programabilne automatizacije

Termin „Kontroleri programabilne automatizacije“ (engl. *Programmable Automation Controllers* – PAC) 2001. godine uveo je *ARC Advisory Group* [15] za novu klasu sistema upravljanja namenjenu upravljanju programabilnom opremom u automatizaciji. Skraćenica PAC iskorišćena je da opiše novu generaciju industrijskih sistema upravljanja, koji kombinuju funkcionalne mogućnosti programabilnih logičkih kontrolera i personalnih računara.

Danas je PAC standardni proizvod na tržištu i, kako je definisao tvorac termina, kontroler programabilne automatizacije ima sledeće karakteristike [15, 28]:

- sposoban je za primenu u više-funkcionalnim oblastima, uključujući logičko upravljanje, upravljanje kretanjem, upravljanje servo pogonima, upravljanje senzorima itd, na istoj hardverskoj i softverskoj platformi;
- karakteriše ga jedna platforma sa multidisciplinarnim razvojnim okruženjem uključujući i baze podataka;
- može se programirati softverskim alatima koji obezbeđuju projektovanje to-kova procesa kroz više mašina ili procesnih jedinica;
- radi na otvorenoj, modularnoj arhitekturi sa programima koji se odnose na upravljanje ukupnim pogonima u fabrici, ali i pojedinačnim operacijama;

- koristi standard za komunikacione mreže, programske jezike i slično i omogućava izmenu podataka kao sastavni deo komunikacione mreže više korisničkih sistema;
- obezbeđuje efikasnu obradu i pretraživanje (skeniranje) ulaza/izlaza.

Na bazi navedenih karakteristika, oblasti primene kontrolera programabilne automatizacije odgovaraju funkcionalnim i softverskim mogućnostima personalnih računara uz robusnost i pouzdanost programabilnih kontrolera. Fleksibilnost PAC sistema, visoke komunikacione mogućnosti i multifunkcionalnost čine da se na osnovu njih može kreirati arhitektura sistema upravljanja fabrika budućnosti uz primenu koncepta distribuiranih sistema upravljanja.

Inteligentni elektronski uređaji

Inteligentni elektronski uređaji (engl. *Intelligent Electronic Devices* - IED) su mali namenski mikroprocesorski sistemi za specijalne zadatke merenja i upravljanja. Pojavili su se kao posledica stalnih zahteva za malim i „pametnim“ senzorima i aktuatorima. Tipičan inteligentni elektronski uređaj uključuje analogno/digitalni ulaz sa senzora, analogno/digitalni izlaz, opciono proporcionalno-integralni-diferencijalni (PID) regulator, mikroprocesor, komunikacioni interfejs i programsku memoriju u jednom uređaju. Inteligentni elektronski uređaji mogu da izvršavaju i druge kompleksne funkcije kao što su upravljanje servo sistemima, upravljanje kretanjem itd. Ovi uređaji najčešće su zasnovani na primeni mikrokontrolera – mikroracunara koji sadrže sve komponente računara (mikroprocesor, memoriju, magistrale, ulazno/izlazne i komunikacione interfejse) integrisane u jednom čipu.

Direktno digitalno upravljanje

Direktno digitalno upravljanje (engl. *Direct Digital Control* – DDC) je računarsko upravljanje koje zamenjuje konvencionalne analogne sisteme upravljanja digitalnim računarom. Primena direktnog digitalnog upravljanja uobičajena je za zatvorene sisteme upravljanja – upravljanje sa povratnom spregom. Zadatak ovog upravljanja najčešće je održavanje nekih promenljivih konstantnim (regulacija) ili promena izlaza u skladu sa funkcijom promene ulaznih signala. U ovim sistemima koriste se različiti algoritmi upravljanja razvijeni u teoriji automatskog upravljanja (konvencionalni linearni sistemi, digitalni sistemi, optimalni sistemi, adaptivni sistemi, fazi sistemi itd.). Direktno digitalno upravljanje primenjuje se u svim industrijama i u svim vrstama proizvodnje (diskretna, grupna i kontinualna proizvodnja) za upravljanje procesima koji ne zahtevaju namenske sisteme upravljanja (CNC, RC, PLC itd.).

Nadzorno-upravljački računarski sistemi

Početak sedamdesetih godina prošlog veka naglo se razvijaju računari, računarske komunikacione mreže i njihova primena u nadzornom upravljanju i prikupljanju podataka pod terminom SCADA (engl. *Supervisory Control and Data Acquisition*). Nadzorno upravljanje primenom računara označava sisteme u kojima

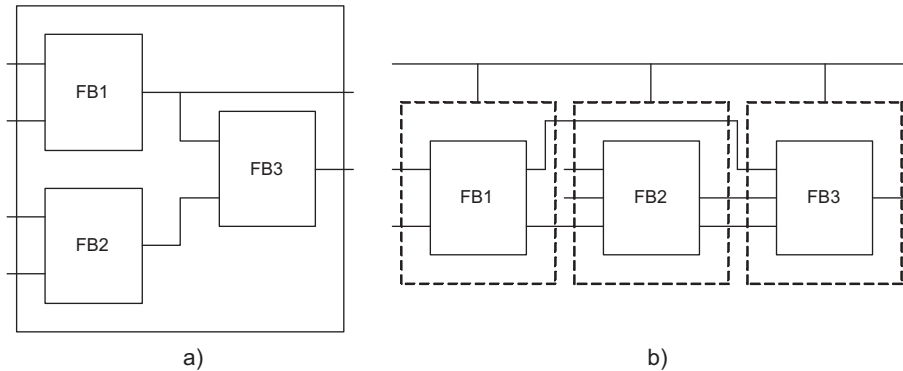
računar nadzire, upravlja i optimizuje izabrane performanse procesa [16, 39, 118]. Primeri performansi industrijskog procesa koje se mogu optimizovati jesu maksimalna proizvodnost, minimalni troškovi, minimalno vreme itd. U hijerarhijskoj strukturi sistema upravljanja u proizvodnji [72, 83] nadzorno upravljanje računom je na višem nivou od sistema koji direktno upravljaju procesom (CNC, PLC, DDC, PAC, IED itd.). SCADA sistemi se primenjuju u svim industrijama u kojima se primenjuje računarsko upravljanje i u svim vrstama proizvodnje (diskretna, grupna i kontinualna proizvodnja). SCADA sistemi imaju primenu i u infrastrukturnim procesima (prerada i distribucija vode, prikupljanje i prerada otpadnih voda, distribucija nafte i gasa, distribucija električne energije) i u upravljanju složenim objektima i sistemima (aerodromi, zgrade, brodovi, transportni sistemi). Primer strukture hardvera, softvera i funkcija SCADA sistema realizovan u laboratorijskim uslovima dat je u [179].

Distribuirani sistemi upravljanja

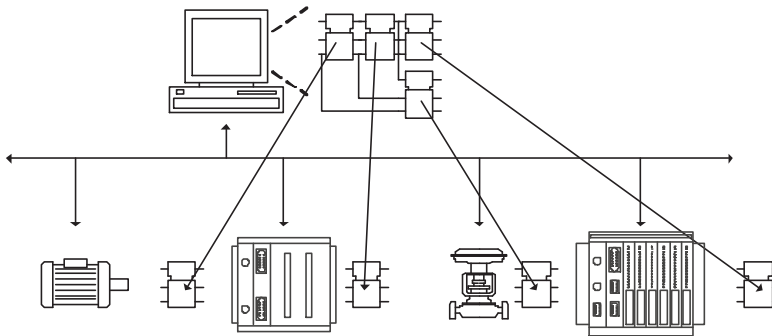
Prve primene računara u upravljanju poslovnim i proizvodnim sistemima pratile su hijerarhiju strukture poslovno-proizvodnog sistema po modelu hijerarhijskog centralizovanog računarskog upravljanja. Razvoj mikroprocesora, mikroročunara i informaciono-komunikacionih tehnologija omogućio je prelazak na distribuirane sisteme upravljanja (engl. *Distributed Control System* – DCS). Distribuirani sistem upravljanja je sistem upravljačkih jedinaca i računara povezan preko računarske komunikacione mreže. Složeni zadaci upravljanja podeljeni su na veći broj zadataka manjeg stepena složenosti i distribuirani na fizičke lokacije procesa kojim se upravlja. Distribuirani sistemi upravljanja primenjuju se u kontinualnoj, grupnoj i diskretnoj proizvodnji.

Istraživanja sistema upravljanja za distribuiranu arhitekturu vrši se na različitim mestima i u više projekata, a između ostalog jednu od važnih aktivnosti sprovela je Međunarodna elektrotehnička komisija (engl. *International Electrotechnical Commission* – IEC) koja je u periodu 2004–2005. godine usvojila novi standard IEC 61499 Funkcijski blokovi [62, 63, 64]. Standard je namenjen razvoju modularnog softvera za distribuirane sisteme upravljanja i merenja industrijskih procesa (engl. *Distributed Industrial Process Measurement and Control Systems* – DIPMCS). Osnovni doprinos ovog standarda ogleda se u evoluciji konvencionalnog koncepta primene i programiranja programabilnih logičkih kontrolera u primenu i programiranje distribuiranih sistema upravljanja koristeći „funkcijske blokove“ već uvedene u jezike za programiranje programabilnih kontrolera kroz standard IEC 61131-3 [71]. Ne ulazeći u sve detalje standarda, na slici 2.3.a prikazan je klasičan koncept primene funkcijskih blokova, a na slici 2.3.b. koncept funkcijskih blokova za distribuirane sisteme upravljanja. Klasičan koncept podrazumeva kompaktan program primenjen na jednom programabilnom kontroleru sa eventualno udaljenim ulazno/izlaznim uređajima. Distribuirani sistem upravljanja formira se iz funkcionalnih modula koji su istovremeno i funkcijski blokovi dodeljeni različitim resursima u jednom ili više nezavisnih fizičkih entiteta – uređaja.

Program za zadatak upravljanja (aplikacija) prikazuje sa na jednom dijagramu međusobno povezanih funkcijskih blokova koji se distribuiraju na veći broj upravljačkih uređaja međusobno povezanih komunikacionom mrežom. Upravljački ure-



Slika 2.3. Funkcijski blokovi za konvencionalni i distribuirani sistem upravljanja: a) Konvencionalna aplikacija – funkcijski blokovi po IEC 61131-3; b) Distribuirana aplikacija – funkcijski blokovi po IEC 61149



Slika 2.4. Distribuirani sistem upravljanja sa funkcijskim blokovima

đaj može biti proizvoljan kontroler koji raspolaže procesorom, memorijom i komunikacionim interfejsom, programabilni kontroler, inteligentni aktuator ili senzor ili drugi sistem upravljanja koji se primenjuje u automatizaciji industrijskih procesa. U okviru komunikacione mreže distribuiranih sistema upravljanja, mogu se primeniti različiti komunikacioni protokoli. Na slici 2.4. prikazan je koncept distribuiranog sistema upravljanja sa dodelom pojedinih funkcijskih blokova uređajima u komunikacionoj mreži.

2.5.2. Modeli povezivanja i integracije sistema upravljanja u savremenoj automatizaciji

Intezivna primena računara i sistema upravljanja na bazi računara u automatizaciji upravljanja procesima u pogonu sedamdesetih i početkom osamdesetih godina dvadesetog veka, vrlo brzo je stvorila niz ostrva automatizacije u okviru pogona – sistema upravljanja koji nisu komunicirali između sebe. Istovremeno, primena računara i informaciono-komunikacionih tehnologija u ostalim funkci-

jama poslovno-proizvodnog sistema (rukovođenje/menadžment poslovnim sistemom, planiranje i upravljanje proizvodnim sistemom, CAx aktivnosti za podršku proizvodnji) razvijana je nezavisno od sistema upravljanja u pogonu. Vrlo brzo je identifikovano da se u industrijskoj automatizaciji pojavljuje niz kritičnih problema, kao što su na primer: korisnik ne upravlja informacijama, izmene su bile skupe i zahtevale su mnogo vremena, sistemi nisu bili integrisani i kvalitet podataka nije bio pogodan za integraciju [161]. Kompleksnost ovih, tada novih tehnologija, ekonomski razlozi i konkurencija na svetskom tržištu inicirali su aktivnosti na integraciji funkcija poslovno-proizvodnog sistema primenom računara i informaciono-komunikacionih tehnologija.

Početak sedamdesetih godina dvadesetog veka postavljen je jedan od prvih koncepata računarom integrisane proizvodnje – CIM koncept (engl. *Computer Integrated Manufacturing*) [43], što je inteziviralo istraživanja u oblasti definisanja odgovarajućih referentnih modela. Detaljniji prikaz funkcionalnih modela integracije upravljanja poslovno-proizvodnim sistemom i referentni model Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, izveden iz modela Jupiter zajednice i razvijen za potrebe domaće industrije, prikazan je u [153] i [190]. Međunarodna organizacija za standardizaciju – ISO, ističe značaj referentnih modela za proizvodne pogone i 1990. godine izdaje tehnički izveštaj ISO/TR 10314-1 „Industrijska automatizacija: Proizvodnja u pogonu: Referentni model za standardizaciju i metodologiju identifikacije zahteva“ [83]. Ovaj tehnički izveštaj definiše referentni model proizvodnje u pogonu za diskretnu proizvodnju sa posebnim osvrtom na fizičko izvođenje proizvodnje. Postavljeni referentni model poslovno-proizvodnog sistema sa šest nivoa i odgovarajuća funkcionalna struktura namenjeni su daljem razvoju standarda za integraciju automatizovanih proizvodnih pogona i prihvaćeni su kao osnova za CIM model [46].

Integracija upravljanja poslovno-proizvodnim sistemom je kompleksan zadatak i od prvog modela, datog u [83] razvijen je niz međunarodnih standarda koji treba do olakšaju proces integracije korisnicima i proizvođačima opreme i softvera za oblast informaciono-komunikacionih tehnologija i sistema upravljanja. Između ostalih razvijen je i standard IEC 62264 pod nazivom „Integracija sistema za upravljanje preduzećem“ sa pet delova [66, 72, 73, 75, 76]. Standard definiše interfejs između proizvodnih operacija, funkcija upravljanja proizvodnim procesom i poslovnih funkcija koje se odnose na proizvodnju. Sve delove ovog standarda prihvatilo je Institut za standardizaciju Srbije i to:

- SRPS EN 62264-1, Integracija sistema za upravljanje preduzećem — Deo 1: Modeli i terminologija [110],
- SRPS EN 62264-2, Integracija sistema za upravljanje preduzećem — Deo 2: Objekti i atributi za integraciju sistema za upravljanje preduzećem [111],
- prSRPS EN 62264-3, Integracija sistema za upravljanje preduzećem - Deo 3: Modeli aktivnosti za upravljanje proizvodnim postupcima (standard u pripremi) [116],
- prSRPS EN 62264-4, Integracija sistema za upravljanje preduzećem - Deo 4

Objekti i atributi za integraciju upravljanja proizvodnim postupcima (standard u pripremi) [117],

- SRPS EN 62264-5, Integracija sistema za upravljanje preduzećem - Deo 5: Transakcije između poslovnih i proizvodnih sistema [108].

Kao što se vidi iz naslova navedenih delova, standard IEC 62264 kompletno obrađuje problematiku informacione integracije preduzeća kroz hijerarhijske modele sistema, model toka podataka, objekte i attribute, aktivnosti i transakcije. Hijerarhijski modeli definišu funkcionalnu hijerarhiju, hijerarhiju opreme prema ulozi u proizvodnji, hijerarhiju fizičke lokacije i hijerarhiju odlučivanja. Model funkcionalne hijerarhije odnosa poslovnog sistema, menadžmenta proizvodnih operacija i upravljanja proizvodnim procesima za kontinualnu, grupnu i diskretnu proizvodnju prikazan je na slici 2.5.a [110]. Funkcionalna hijerarhija poznata i kao piramida automatizacije [74], definisana je na pet nivoa:

Nivo 0 Fizički proizvodni procesi,

Nivo 1 Osnovno upravljanje fizičkim procesima, sensorima i aktuatorima,

Nivo 2 Nadzor, nadzorno upravljanje, automatsko upravljanje procesima,

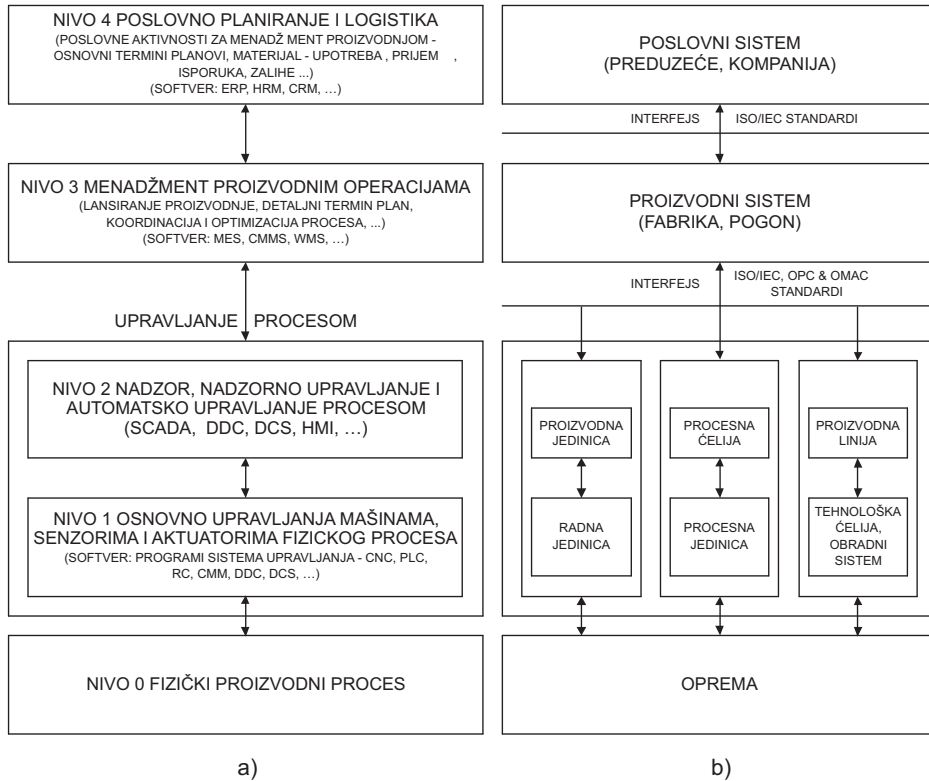
Nivo 3 Menadžment i upravljanje proizvodnim operacijama,

Nivo 4 Poslovne aktivnosti neophodne za menadžment proizvodnim sistemom.

Na prvom nivou su funkcije osnovnog upravljanja fizičkim procesima, sensorima i aktuatorima. Na ovom nivou primenjene su sve vrste računarskih i drugih industrijskih upravljačkih sistema čiji su primeri navedeni u odeljku 2.5.1 (CNC, PLC, DDC, DCS, IED itd.). Drugi nivo sa funkcijama nadzora, nadzornog upravljanja i automatskog upravljanja procesima zaokružuje u jednu celinu računarsko upravljanje proizvodnim procesima. Na ovom nivou u primeni su različiti sistemi upravljanja i softverske aplikacije kao što su: SCADA, DCS, DDC, operaterske stanice za nadzor sa softverom za interfejs čovek-mašina (engl. *Human Machine Interface* – HMI) itd.

Treći nivo su funkcije menadžmenta proizvodnim operacijama (engl. *Manufacturing Operation Management* – MOM) koje su detaljno opisane delovima standarda IEC 62264. Na ovom nivou realizuju se sve funkcije računarskog sistema za planiranje i upravljanje proizvodnjom uz upotrebu različitog softvera kao što je sistem za izvršavanje proizvodnje (engl. *Manufacturing Execution Systems* – MES), sistem za menadžment skladištem (engl. *Warehouse Management System* – WMS), računarski sistem za menadžment održavanjem (engl. *Computerized Maintenance Management System* – CMMS) itd.

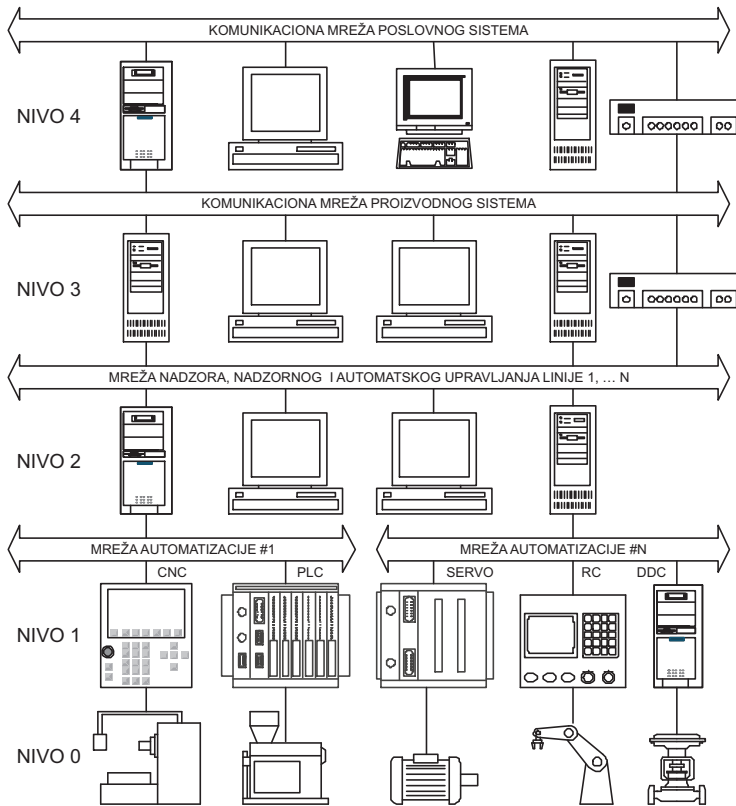
Četvrti nivo čine funkcije poslovnog sistema vezane za planiranje i upravljanje proizvodnim operacijama. Na ovom nivou primenjuju se različiti softverski paketi za funkcije poslovnog sistema, kao što su planiranje resursa preduzeća (engl. *Enterprise Resource Planning* – ERP), menadžment odnosa sa kupcima (engl. *Customer Relationship Management* – CRM), menadžment ljudskih resursa (engl. *Human Resource Management* – HRM) itd.



Slika 2.5. Hijerarhijski modeli odnosa poslovnog sistema, menadžmenta proizvodnim operacijama i upravljanja proizvodnim procesom: a) Funkcionalna hijerarhija; b) Hijerarhija opreme

Model hijerarhije opreme prema ulozi u proizvodnji prikazan je na slici 2.5.b. Istaknut je interfejs između poslovnog i proizvodnog sistema i između proizvodnog sistema i upravljanja procesima. Interfejs između poslovnog planiranja i menadžmenta proizvodnim operacijama definisan je standardom IEC 62264, ali i nizom drugih standarda koji se odnose na informacione tehnologije, baze podataka itd. Poslednja tri nivoa hijerarhijske strukture opreme prikazuju koncept za kontinualnu, grupnu i diskretnu proizvodnju.

Uzimajući za osnovu hijerarhijske modele prikazane na slici 2.5, definisan je koncept arhitekture infrastrukture informaciono-komunikacionih tehnologija, računara i sistema upravljanja za integraciju poslovnih funkcija, funkcija upravljanja proizvodnjom i funkcija upravljanja proizvodnim procesom koji je prikazan na slici 2.6. Hijerarhija računarske i komunikacione opreme prati hijerarhiju funkcija i hijerarhiju odlučivanja uz distribuciju pojedinih funkcija na veći broj računara ili HMI radnih mesta. Na nivoima upravljanja procesom svaka proizvodna celina (proizvodna linija, procesna ćelija, proizvodna jedinica), po pravilu, ima sopstveni sistem nadzora i nadzornog upravljanja sa većim brojem podređenih sistema

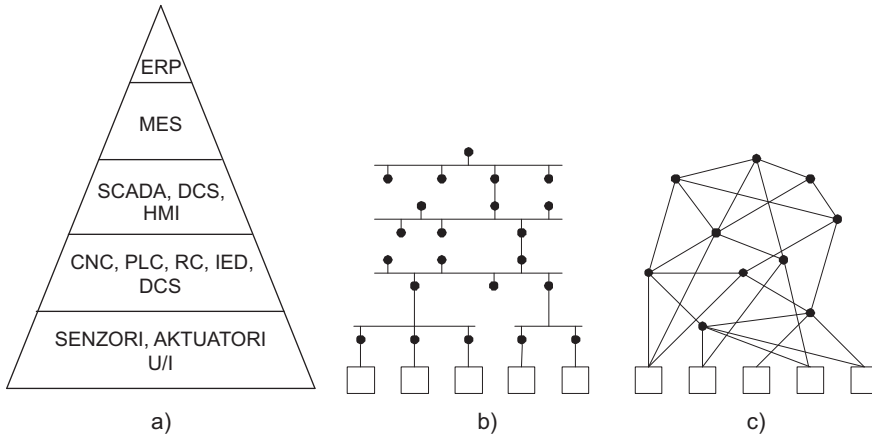


Slika 2.6. Fizička struktura infrastrukture informaciono-komunikacionih tehnologija, računara i sistema upravljanja po nivoima funkcionalne hijerarhije

upravljanja povezanih preko mreže automatizacije (slika 2.6). Navedena struktura odgovara distribuiranom hijerarhijskom sistemu upravljačkih i računarskih sistema.

Široka primena informacionih tehnologija početkom dvadesetprvog veka i novi koncepti proizvodnje za fabrike budućnosti još više su istakli potrebu definisanja referentnih modela integracije poslovno-proizvodnog sistema. Očekuje se da će primena informacionih tehnologija transformisati proizvodne pogone u potpuno integrisan sistem, koji zadovoljava zahteve krajnjeg korisnika. Analizirajući tehnološke izazove i zahteve za izgradnju fabrika budućnosti u [83] istaknut je značaj mogućnosti povezivanja i interoperabilnosti između različitih komponenata i učesnika u proizvodnom sistemu. Interoperabilnost će se uspostavljati na različitim nivoima:

- na fizičkom nivou, pri montaži i povezivanju proizvodne opreme i proizvoda,
- na nivou informacionih tehnologija, pri razmeni informacija i usluga,
- na poslovnom nivou, gde se određuju ciljevi i odgovarajuće operacije za nji-



Slika 2.7. Transformacija hijerarhije automatizacija u kibernetiko-fizički sistem fabrika budućnosti: a) Piramida automatizacije; b) Distribuirana hijerarhijska struktura; c) Mrežna struktura

hovu realizaciju.

Pri uspostavljanju interoperabilnosti u proizvodnom okruženju posmatraju se različiti pristupi integraciji:

- vertikalna integracija duž piramide automatizacije prema IEC 62264/IEC 61512 (interna fabrička integracija od senzora i aktuatora sa mašinama do ERP sistema),
- horizontalna integracija duž lanca vrednosti kroz mrežu proizvodnje,
- integracija prema inženjerskim aktivnostima i aplikacijama za praćenje životnog ciklusa proizvoda/proizvodnje (engl. *Product Lifecycle Management* – PLM).

Umesto sekvencijalnih i hijerarhijskih sistema integracije u fabrikama bućnosti očekuje se mreža stvari, procesa i korisnika, tj. decentralizacija tradicionalne hijerarhijsko-distribuirane strukture, posebno na višim nivoima kao što je ilustrirano na slici 2.7. [158].

2.6. Ciljevi i faktori za uvođenje automatizacije

Osnovni cilj automatizacije je oslobađanje čoveka od neposrednog učešća u proizvodnji uz postizanje efekata koje čovek ne može da ostvari (tačnost, kvalitet, troškovi, uslovi rada itd.). Detaljnije posmatrano mogu se definisati užji ciljevi automatizacije:

- povećanje produktivnosti i proizvodnosti,

- skraćenje ciklusa proizvodnje,
- povećanje kvaliteta proizvodnje,
- smanjenje troškova proizvodnje,
- humanizacija rada,
- izvršavanje procesa koji se ne mogu izvršiti ručno,
- očuvanje brenda.

Iz istorijskog pregleda pojave različitih paradigmi proizvodnje, može se zaključiti da su razlozi za uvođenje automatizacije pre svega tehnološki i ekonomski, ali i društveni, psihološki i fiziološki.

Uvođenjem automatizacije, a posebno u masovnoj proizvodnji dolazi do značajnog skraćanja vremena izrade. Na primer nakon uvođenja pokretne trake za montažu kroz podelu rada i automatizaciju transporta, vreme potrebno za izradu Forda Model T skraćeno je sa 12,5 sati na 93 minuta [35]. Ne samo da se uvođenjem automatizacije same operacije izvršavaju brže, već je omogućen i rad u tri smene (24/7) bez značajnog uvećanja troškova, što takođe ima pozitivan uticaj na produktivnost. Automatizacijom se smanjuju i troškovi proizvodnje i to ne samo kroz smanjenje cene rada (nije neophodna visoko kvalifikovana radna snaga ili je smanjen obim angažovanja radne snage), već i kroz smanjenje angažovanih obrtnih sredstava, pre svega, kroz manju količinu delova u međufaznim skladištima. Zamenom čoveka kao neposrednog izvršioca omogućuje se i ostvarivanje konstantnog kvaliteta i smanjivanje neusaglašenosti proizvoda. Dakle, ekonomski faktori **za** uvođenje automatizacije su pre svega:

- cena rada;
- nedostatak (ne)kvalifikovane radne snage;
- standardizacija, ujednačavanje i poboljšavanje kvaliteta proizvoda;
- smanjenje vremena proizvodnje (brže reagovanje na zahteve tržišta);
- konkurencija i kompetentnost na tržištu (visoka cena neautomatizacije);
- smanjenje zaliha u proizvodnji.

Savremene društvene pretpostavke koje se ogledaju u povećanju broja stanovnika na planeti Zemlji, potrebi povećanja standarda i potrebi smanjenja radnog vremena (skraćenje radne nedelje) predstavljaju značajne faktore **za** uvođenje automatizacije.

U psihološko-fiziološke faktore za uvođenje automatizacije mogu se svrstati:

- granične fizičke i psihičke mogućnosti čoveka (brzina, tačnost, snaga itd.);
- zamor;
- nepovoljni uslovi rada (buka, vlažnost, zagađenost, temperatura itd.);

- sigurnost na radu.

Naime, automatizacijom se vrši i humanizacija rada. Najlakše i najčešće se automatizuju operacije koje se sastoje iz ponovljivih i jednostavnih zahvata čije je izvršavanje monotono i zamorno za čoveka. Pored toga, ostvaruje se i pozitivan uticaj na zdravlje čoveka kroz njegovo uklanjanje kao neposrednog izvršioca u opasnim radnim okruženjima (buka, isparenja, zračenja, vibracije...). Automatizacijom se ublažavaju efekti nedostatka kvalifikovane radne snage, a i omogućava se izvršavanje procesa koji se ne mogu izvesti ručno ili bi njihova ručna izrada bila preskupa (tipičan primer je izrada skulptorskih površina).

Naravno, automatizacija proizvodnje je bitna i za promovisanje i očuvanje brenda i to ne samo kroz ostvarenje konstantnog kvaliteta, već i kroz psihološki efekat koji ona ima na potrošača. Kao što je već rečeno, društveni aspekti su imali izuzetno veliki uticaj na uvođenje automatizacije, ali je i uticaj automatizacije na društvo ogroman. Naime, „sredstva za rad ne samo da su merilo stepena razvoja koji je ljudski rad dostigao, već su ona i indikatori društvenih uslova u kojima se taj rad izvršava“ [145]. Savremeni kupac pored cene i kvaliteta obraća pažnju i na to u kakvim uslovima rada je neki proizvod izrađen.

Faktori protiv uvođenja automatizacije

U prethodnom tekstu navedeni su razlozi za uvođenje automatizacije i njene prednosti, ali svakako da postoje i određeni ograničavajući faktori za uvođenje i mane automatizacije. Automatizacija nije uvek najracionalnije rešenje i u nekim slučajevima ima ograničen opseg i primenu. Ograničavajući faktori kao i razlozi za uvođenje automatizacije su tehnološkog, ekonomskog, socijalnog i psihološkog karaktera. To su:

- postoje procesi koji se ne mogu automatizovati;
- visoke inicijalne investicije u opremu;
- potencijalno povećanje nezaposlenosti;
- podređenost čoveka opremi i njegovo udaljavanje od neposrednog procesa proizvodnje;
- osetljivost automatizacije na neodređenosti u procesu.

Kao što je mehanizacija uslovlila prelazak radne snage iz primarnih u sekundarne, tako i automatizacija uslovljava prelazak iz sekundarnih u tercijarne delatnosti. Ukoliko sektor usluga nije dovoljno razvijen, automatizacija može dovesti do povećanja nezaposlenosti. U tom kontekstu, u poslednjoj deceniji, intenzivna su istraživanja u oblasti kolaborativnog rada čoveka i robota [6, 194]. Rad robota i čoveka u paru trebalo bi da omogući primenu automatizacije u uslovima velikih neodređenosti, gde bi se napravila simbioza superiornih čovekovih senzorskih i kognitivnih sposobnosti i brzine i preciznosti koju poseduju robotski sistemi. Uvođenjem kolaborativnog rada čoveka i robota trebalo bi da se uklone negativni uticaji automatizacije na nezaposlenost, ali i da se omogući automatizacija procesa

za koje do sada nisu postojali tehnički uslovi da se automatizuju, kao i da se smanji osetljivost automatizovanih sistema na neodređenosti. Naime, neodređenosti su inherentno prisutne kada je varijantnost proizvoda velika, a klasični sistemi za automatizaciju podrazumevaju strukturano radno okruženje. Upravo u ovoj činjenici nalazi se razlog za smanjenje broja automatizovanih procesa početkom 21. veka u odnosu na kraj 20. veka. U kontekstu automatizacije procesa u nestruktuiranom okruženju intenzivna su istraživanja u oblasti inteligentne automatizacije (odjeljak 2.4.1) čiji je konačni cilj potpuna automatizacija u nestruktuiranom okruženju.

Literatura

- [1] ACATECH: Securing the Future of German manufacturing Industry, Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0, – ACATECH National Academy of Science and Engineering 2013.
- [2] AEG-Modicon: AKF 12 Programming and Debugging Tool, Version V1.35, – AEG-Modicon 1990.
- [3] Aleksendrić D., Jakovljević Ž., Čirović V.: (2012) Intelligent control of braking process, – Expert Systems with Applications, 39, 14, 11758–11765.
- [4] Aleksendric D., Cirovic V., Jakovljevic Z.: Microcontroller based Control of Disc Brake Actuation Pressure, – 31st Annual SAE 2013 Brake Colloquium & Exhibition, 2013, 2013–01–2055.
- [5] Aleksić T.: Logička sinteza digitalnih sistema, – Naučna knjiga, Beograd 1975.
- [6] Anandan T.: The End of Separation: Man and Robot as Collaborative Coworkers on the Factory Floor, – <http://www.robotics.org> 2013.
- [7] ASCII: ASCII Code - The extended ASCII table, – www.ascii-code.com 2016.
- [8] Aspern J.: SPS-Softwareentwicklung mit Petrinetzen, – VDE Verlag GMBH, Berlin 2003.
- [9] Atwell C.: (2015) The IoT Intends to Revolutionize Hydraulics and Pneumatics, – Hydraulics & Pneumatics, 68, 2, 29–33.
- [10] Aventics: Flow and check valves, Logic valves series 551, – Aventics 2015.
- [11] Babić B.: Flexy – Inteligentni ekspert sistem za projektovanje FTS, – Mašinski fakultet u Beogradu 1994.
- [12] Balabanian N., Carlson B.: Digital Logic Design Principles, – John Wiley & Sons, Inc. 2001.
- [13] Baxter L. K.: Capacitive Sensors: Design and Applications, – Wiley-IEEE Press 1996.
- [14] Becker J. D.: Unicode 88, – UNICODE 1988.

- [15] Bell I.: (2005) The future of control (programmable automation controllers), – *Manufacturing Engineer*, 84, 4, 36–39.
- [16] Bollinger J., Duffie N.: *Computer Control of Machines and Processes*, – Addison-Wesley Publishing Company 1988.
- [17] Bolton W.: *Programmable Logic Controllers*, – Newnes 2009.
- [18] Boole G.: *An Investigation of the Laws of Thought*, – Project Gutenberg Ebook 2005 (First published in 1854).
- [19] Brodgesell A., Hordeski M. F., Liptak B. G.: *Instrument engineers' handbook, Process measurement and analysis*, – CRC Press 2003.
- [20] Brookings K.: (1991) State Logic: A Paradigm for Integrated Control in the 90s, – *Control Engineering*, 4, 36–39.
- [21] Čabarkapa M.: *Osnovi programiranja u PASCAL-u sa ekstenzijama TURBO PASCAL-a*, – DIP “Građevinska knjiga“, Beograd 1991.
- [22] CJ International: *IsaGRAF Version 3.00 User's Guide*, – CJ International, Seyssins 1995.
- [23] Condisin G., Considin M.: *Standard Handbook of Industrial Automation*, – Chapman and Hall, New York 1988.
- [24] General Motors Corporation and Ford Motor Company: *Chrysler Corporation: Requirements of Open, Modular Architecture Controllers for Applications in the Automotive Industry, Version 1.1*, – From PLCopen Web Server 1996.
- [25] Croser B., Ebel F.: *Pneumatics Basic Level*, – Festo Didactic GmbH & Co, Denkendorf 2000.
- [26] Duguay C., Landry S., Pasin F.: (1997) From mass production to flexible/agile production, – *International Journal of Operations and Production Management*, 17, 12, 1183–1195.
- [27] ElMaraghy H., Schuh G., Elmaraghy W., Piller F., Schönsleben P., Tseng M., Bernard A.: (2013) Product variety management, – *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 62, 2, 629–652.
- [28] Eslep W., Resnick C.: *The Facts About PACs*, – www.gefanuc.com/PAC 2008.
- [29] Europa-Lehrmittel: *Strukturierungsprinzipien und Referenzkennzeichnung in Schaltplänen*, – Verlag Europa-Lehrmittel, Haan-Gruiten 2016.
- [30] Festo: *Automatisieren mit Pneumatic*, – Festo GmbH, Wien 1987.
- [31] Festo: *Pneumatics Product Range - Festo Pneumatic, Catalogue 62.2/807107 BD*, – Festo GmbH, Wien 1990.

-
- [32] Festo Didactic: Reference identification to ISO 1219-2 and/or EN 81346-2, – Festo Didactic, Denkdorf 2014.
- [33] Ford H.: My Life and Work, – The Project Gutenberg EBook 2005.
- [34] Fukuda Y.: (1993) Trends on Manufacturing System, – Int. Journal Japan Soc. Prec. Eng., 27, 4, –.
- [35] Georgano G. N.: Cars: Early and Vintage, 1886–1930., – Grange-Universal, London 1985.
- [36] Gilezian K., Latinović B.: Bulova algebra i primene, Serija “Savremene računске tehnike i njena primena“ Knjijiga 5., – Matematički institut, Beograd 1977.
- [37] Gluškov V. M.: Sinteza cifarskih automata, – Zavod za izdavanje udžbenika, Beograd 1967.
- [38] Goldoftas T.: (1976) Cylinders for Profit making Designs, – Hydraulics & Pneumatics, HP1–HP32.
- [39] Groover M. P.: Automation, Production Systems and Computer Integrated Manufacturing, – Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey 1987.
- [40] Gupta A. K., Arora S. K.: Industrial Automation and Robotics, – Laxmi Publications 2007.
- [41] Hackworth J. R., Hackworth F. D.: Programmable Logic Controllers - Programming Methods and Applications, – Pearson Education Inc., New Jersey 2004.
- [42] Hall D. J.: Robotic Sensing Devices, – Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, PA 1984.
- [43] Harrington J. J.: Computer Integrated Manufacturing, – Industrial Press Inc., New York 1973.
- [44] Harrison M.: Introduction to Switching and Automata Theory, – McGraw-Hill Company, New York 1965.
- [45] Hesse S.: 99 Examples of Pneumatic Applications, – Festo AG & Co. 2001.
- [46] Hibino H., Inukai T., Fukuda Y.: (2006) Efficient manufacturing system implementation based on combination between real and virtual factory, – International Journal of Production Research, 44, 18-19, 3897–3915.
- [47] Hitchcox A.: (2015) Low-energy wireless sensors work with iOS Mobile Apps, – Hydraulics & Pneumatics, 68, 2, 16–16.
- [48] Hitchcox A.: (2015) Smart actuation of pumps and valves, – Hydraulics & Pneumatics, 68, 5, 14–45.
- [49] Holdsworth B., Woods C.: Digital Logic Design, – Newnes 2002.

-
- [50] Hopcroft J. E., Motwani R., Ullman J. D.: Introduction to Automata Theory, Languages, and Computation, – Addison Wesley 2001.
 - [51] Huffman D.: (1954) The synthesis of sequential switching circuits – Part I, – Journal of the Franklin Institute, 257, 3, 161–190.
 - [52] Huffman D.: (1954) The synthesis of sequential switching circuits – Part II, – Journal of the Franklin Institute, 257, 4, 275–303.
 - [53] Hugh J.: Automating Manufacturing Systems with PLCs, – Hugh, J. 2008.
 - [54] Huntington E.: (1904) Sets of independent postulates for the algebra of logic, – Transactions of the American Mathematical Society, 5, 3, 288–309.
 - [55] Huntington E.: (1933) New sets of independent postulates for the algebra of logic, with special reference to whitehead and russell's principia mathematica, – Transactions of the American Mathematical Society, 35, 1, 274–304.
 - [56] IEC: IEC 61131-5 Programmable Controllers - Part 5: Communications, – IEC, Geneve 2000.
 - [57] IEC: IEC 61131-7 Programmable Controllers - Part 7: Fuzzy Control Programming, – IEC, Geneve 2000.
 - [58] IEC: IEC 61131-1 Programmable Controllers - Part 1: General Information, – IEC, Geneve 2003.
 - [59] IEC: IEC 61131-8 Programmable Controllers - Part 8: Guidelines for the Application and Implementation of Programming Languages, – IEC, Geneve 2003.
 - [60] IEC: IEC/TR 61131-4 Programmable Controllers - Part 4: User Guidelines, – IEC, Geneve 2004.
 - [61] IEC: IEC 61131-9 Programmable Controllers - Part 9: Single-drop digital communication interface for small sensors and actuators (SDCI), – IEC, Geneve 2005.
 - [62] IEC: IEC 61499-1 Function Blocks - Part 1: Architecture, – IEC, Geneve 2005.
 - [63] IEC: IEC 61499-2 Function Blocks - Part 2: Software Tools Requirements, – IEC, Geneve 2005.
 - [64] IEC: IEC 61499-3 Function Blocks - Part 3: Tutorial Information, – IEC, Geneve 2005.
 - [65] IEC: IEC 61131-2 Programmable Controllers - Part 2: Equipment requirements and tests, – IEC, Geneve 2007.
 - [66] IEC: IEC 62264-3 Enterprise-Control System Integration, Part 3: Activities Models of Manufacturing Operations Management, – IEC, Geneve 2007.

-
- [67] IEC: IEC 60204-1:2005+AMD1:2008 Safety of machinery – Electrical Equipment of machines - Part 1: General requirements, – IEC, Geneve 2008.
- [68] IEC: IEC 60617 DB Graphical symbols for use in electrotechnical diagrams – Part 2 to 13 incorporated, – IEC, Geneve 2012.
- [69] IEC: IEC 61131-6 Programmable Controllers - Part 6: Functional safety, – IEC, Geneve 2012.
- [70] IEC: IEC 60529 Degrees of protection provided by enclosures (IP Code), – IEC, Geneve 2013.
- [71] IEC: IEC 61131-3 Programmable Controllers - Part3: Programming languages, – IEC, Geneve 2013.
- [72] IEC: IEC 62264-1 Enterprise-Control System Integration, Part 1: Models and Terminology, – IEC, Geneve 2013.
- [73] IEC: IEC 62264-2 Enterprise-Control System Integration, Part 2: Object and Attributes for Enterprise-Control System Integrations, – IEC, Geneve 2015.
- [74] IEC: White Paper, Factory of the Future, – IEC, Geneve 2015.
- [75] IEC: IEC 62264-4 Enterprise-Control System Integration, Part 4: Object and Attributes for Manufacturing Operations Management Integrations, – IEC, Geneve 2016.
- [76] IEC: IEC 62264-5 Enterprise-Control System Integration, Part 5: Business to Manufacturing Transaction, – IEC, Geneve 2016.
- [77] IHK: DIN ISO 1219-2 (2012-09) und DIN EN 81346-2 (2009-10) – Anwendung der aktuellen Referenzkennzeichnungen in PAL-Prüfungen, – IHK Stuttgart 2015.
- [78] ILR: Programabilni automat LPA 512, Uputstvo za programiranje, Katalog PM-LPA-1288-SH, – Ivo Lola Ribar, Beograd 1988.
- [79] Informatika: INFO 73 programabilni kontroleri - Uputstvo za programiranje, Priručnik 173PMS409608, – Informatika, Beograd 1997.
- [80] Informatika: INFO 73 programabilni kontroleri - Uputstvo za rukovanje uređajem za programiranje, Priručnik UMPLCW1S209501, – Informatika, Beograd 1997.
- [81] Iskra Kibernetika: Kompaktni programljivi upravljač IPK11, Katalog IPK11-87, – Iskra Kibernetika, Kranj 1987.
- [82] ISO: ISO 128 Technical drawings - General principles of presentation, – ISO, Geneve 1982.

- [83] ISO: ISO/TR 10314-1 Industrial Automation: Shop Floor Production: Reference Model for Standardization and Methodology for Identification of Requirements, – ISO, Geneve 1990.
- [84] ISO: ISO 11727 Pneumatic fluid power-identification of ports and control mechanisms of control valves and other components, – ISO, Geneve 1995.
- [85] ISO: ISO 12100 Safety of machinery - General principles for design, – ISO, Geneve 2010.
- [86] ISO: ISO 1219-1 Fluid power systems and components – Graphical symbols and circuit diagrams – Part 1: Graphical symbols for conventional use and data-processing applications, – ISO, Geneve 2012.
- [87] ISO: ISO 1219-2 Fluid power systems and components – Graphical symbols and circuit diagrams – Part 2: Circuit diagrams, – ISO, Geneve 2012.
- [88] ISO/IEC: ISO/IEC 15909-1 Systems and Software Engineering - High level Petri Nets – Part 1: Concept, Definitions and Graphical Notations, – ISO/IEC, Geneve 2004.
- [89] ISO/IEC: ISO/IEC 15909-2 Systems and Software Engineering - High level Petri Nets – Part 2: Transfer Format, – ISO/IEC, Geneve 2009.
- [90] ISO/IEC: ISO/IEC 10646 Information technology – Universal Coded Character Set (UCS), – ISO, Geneve 2014.
- [91] ISO/IEC/IEEE: ISO/IEC/IEEE 60559 Information technology – Microprocessor Systems – Floating-Point arithmetic, – ISO, Geneve 2011.
- [92] ISS: SRPS ISO 5598 Hidraulika i pneumatika - Termini i definicije (identičan sa ISO 5598:1985), – Institut za standardizaciju Srbije, Beograd 1994.
- [93] ISS: SRPS ISO 1219-1 Hidraulika i pneumatika – Grafički simboli i šeme – Deo 1: Grafički simboli, – Institut za standardizaciju Srbije, Beograd 1997.
- [94] ISS: SRPS EN 61131-1 Programabilni kontroleri – Deo 1: Opšte informacije, – Institut za standardizaciju Srbije, Beograd 2009.
- [95] ISS: SRPS EN 61131-5 Programabilni kontroleri – Deo 5: Komunikacije, – Institut za standardizaciju Srbije, Beograd 2009.
- [96] ISS: SRPS EN 61131-7 Programabilni kontroleri – Deo 7: Fazi upravljačko programiranje, – Institut za standardizaciju Srbije, Beograd 2009.
- [97] ISS: SRPS EN 60947-1 Niskonaponske rasklopne aparature – Deo 1: Opšta pravila, – Institut za standardizaciju Srbije, Beograd 2010.
- [98] ISS: SRPS EN 60947-2 Niskonaponske rasklopne aparature – Deo 2: Prekiđači, – Institut za standardizaciju Srbije, Beograd 2010.

- [99] ISS: SRPS EN 60947-3 Niskonaponske rasklopne aparature – Deo 3: Sklopke, rastavljači i kombinacija osigurača, – Institut za standardizaciju Srbije, Beograd 2010.
- [100] ISS: SRPS EN 61131-2 Programabilni kontroleri – Deo 2: Zahtevi za opremu i testiranje, – Institut za standardizaciju Srbije, Beograd 2010.
- [101] ISS: SRPS EN ISO 4413 Hidraulički sistemi za prenos snage – Opšta pravila i zahtevi za bezbednost sistema i njihovih komponenti, – Institut za standardizaciju Srbije, Beograd 2011.
- [102] ISS: SRPS EN ISO 4414 Pneumatski sistemi za prenos snage – Opšta pravila i zahtevi za bezbednost sistema i njihovih komponenti, – Institut za standardizaciju Srbije, Beograd 2011.
- [103] ISS: SRPS EN 61131-3 Programabilni kontroleri – Deo 3: Programski jezici, – Institut za standardizaciju Srbije, Beograd 2013.
- [104] ISS: SRPS EN 61131-6 Programabilni kontroleri – Deo 6: Sigurnost funkcionisanja, – Institut za standardizaciju Srbije, Beograd 2013.
- [105] ISS: SRPS EN 61499-1 Funkcijski blokovi – Deo 1: Arhitektura, – Institut za standardizaciju Srbije, Beograd 2013.
- [106] ISS: SRPS EN 61499-2 Funkcijski blokovi – Deo 2: Zahtevi softverskih alata, – Institut za standardizaciju Srbije, Beograd 2013.
- [107] ISS: SRPS EN 61499-4 Funkcijski blokovi – Deo 4: Pravila za profile usađanosti, – Institut za standardizaciju Srbije, Beograd 2013.
- [108] ISS: SRPS EN 62264-5 Integracija sistema za upravljanje preduzećem - Deo 5: Transakcije između poslovnih i proizvodnih sistema, – Institut za standardizaciju Srbije, Beograd 2013.
- [109] ISS: SRPS EN 61131-9 Programabilni kontroleri – Deo 9: Digitalni komunikacioni interfejs od tačke do tačke za male senzore i aktuatore (SDCI), – Institut za standardizaciju Srbije, Beograd 2014.
- [110] ISS: SRPS EN 62264-1 Integracija sistema za upravljanje preduzećem — Deo 1: Modeli i terminologija, – Institut za standardizaciju Srbije, Beograd 2014.
- [111] ISS: SRPS EN 62264-2 Integracija sistema za upravljanje preduzećem — Deo 2: Objekti i atributi za integraciju sistema za upravljanje preduzećem, – Institut za standardizaciju Srbije, Beograd 2014.
- [112] ISS: SRPS EN 60848 Jezik specifikacije GRAFCET za sekvencijalne šeme delovanja, – Institut za standardizaciju Srbije, Beograd 2015.
- [113] ISS: SRPS EN 81346-1 Industrijski sistemi, instalacije i oprema i industrijski proizvodi – Principi strukturisanja i referentne oznake – Deo 1: Osnovna pravila, – Institut za standardizaciju Srbije, Beograd 2015.

- [114] ISS: SRPS EN 81346-2 Industrijski sistemi, instalacije i oprema i industrijski proizvodi – Principi strukturisanja i referentne oznake – Deo 2: Klasifikacija objekata i šifre za klase, – Institut za standardizaciju Srbije, Beograd 2015.
- [115] ISS: SRPS EN 81346-3 Industrijski sistemi, instalacije i oprema i industrijski proizvodi – Principi strukturisanja i referentne oznake – Deo 3: Pravila za primenu referentnog sistema označavanja, – Institut za standardizaciju Srbije, Beograd 2015.
- [116] ISS: prSRPS EN 62264-3 Integracija sistema za upravljanje preduzećem - Deo 3: Modeli aktivnosti za upravljanje proizvodnim postupcima, Standard u pripremi, – Institut za standardizaciju Srbije, Beograd 2016.
- [117] ISS: prSRPS EN 62264-4 Integracija sistema za upravljanje preduzećem - Deo 4 Objekti i atributi za integraciju upravljanje proizvodnim postupcima, Standard u pripremi, – Institut za standardizaciju Srbije, Beograd 2016.
- [118] Ivezić D. D., Debeljković D. L., Rančić M. V.: Automatizacija i upravljanje procesima, – Rudarski geološki fakultet Univerziteta u Beogradu 2006.
- [119] Jakovljević Ž.: (2013) Comparative Analysis of Hilbert Huang and Discrete Wavelet Transform in Processing of Signals Obtained from the Cutting Process: An Intermittent Turning Example, – FME Transactions, 41, 4, 342–348.
- [120] Jakovljević Ž., Marković V., Puzović R., Majstorović V.: (2016) Recognition of one class of quadrics from 3D point clouds, – Procedia CIRP.
- [121] Jakovljević Ž., Petrović P.: Prepoznavanje kontaktnih stanja u robotizovanoj montaži, – Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu 2011.
- [122] Jakovljevic Z., Pajic M., Aleksendric D., Milkovic D.: Wireless Sensor Network Application in Monitoring Of Machining Operations, – Proceedings, 34th International Conference on Production Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Nis, 2011, 365–368.
- [123] Jakovljevic Z., Petrovic P., Hodolic J.: (2012) Contact states recognition in robotic part mating based on support vector machines, – International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 59, 1-4, 377–395.
- [124] Jakovljevic Z., Petrovic P., Mikovic V., Pajic M.: (2014) Fuzzy inference mechanism for recognition of contact states in intelligent robotic assembly, – Journal of Intelligent Manufacturing, 25, 3, 571–587.
- [125] Jakovljevic Z., Petrovic P., Milkovic D., Pajic M.: (2015) Diagnosis of irregularities in the robotized part mating process based on contextual recognition of contact states transitions, – Assembly Automation, 35, 2.
- [126] Jakovljevic Z., Puzovic R., Pajic M.: (2015) Recognition of Planar Segments in Point Cloud Based on Wavelet Transform, – IEEE Transactions on Industrial Informatics, 11, 2, 342–352.

- [127] John K. H., Tiegelkamp M.: IEC 61131-3: Programming Industrial Automation Systems: Concepts and Programming Languages, Aids to Decision-Making Tools, – Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2001.
- [128] Johnsson C.: A Graphical Language for Batch Control, PhD Thesis, – Lund Institute of Technology 1999.
- [129] Jones C. T., Bryan L. A.: Programmable Controllers - Concepts and Applications, – An IPC/ASTEC Publication, Atlanta 1983.
- [130] Jovane F., Koren Y., Boër C.: (2003) Present and future of flexible automation: Towards new paradigms, – CIRP Annals - Manufacturing Technology, 52, 2, 543–560.
- [131] Kalpakjian S., Schmid S.: Manufacturing Engineering and Technology, – Prentice-Hall, Inc., New Jersey 2001.
- [132] Karnaugh M.: (1953) The Map Method for Synthesis of Combination Logic Circuits, – Transactions AIEE Communications and Electronics, 72, 1, 593–599.
- [133] Klein S.: SIPN Editor - Technical Report, – University of Kaiserslautern 2002.
- [134] Kohavi Z.: Switching and Finite Automata Theory, – McGraw-Hill Company, New York 1978.
- [135] Kudrjavcev V. B., Podkolzin A. S., Ušćumlić .: Uvod u apstraktnu teoriju automata, – Naučna knjiga, Beograd 1986.
- [136] Kurepa D.: Viša algebra I, – Naučna knjiga, Beograd 1979.
- [137] Lansky Z., Schrader L. J.: Industrial Pneumatic Control, – Marcel Dekker, Inc., New York 1986.
- [138] Lazić B.: Osnovi računarske tehnike - prekidačke mreže, – Akademska misao, Beograd 2006.
- [139] Lee E. A., Seshia S. A.: Introduction to Embedded Systems - A Cyber-Physical Systems Approach, – LeeSeshia.org 2015.
- [140] Lee G., Zandong H., Lee J.: (2004) Automatic generation of ladder diagram with control Petri Net, – Journal of Intelligent Manufacturing, 15, 2, 245–252.
- [141] Lee J. S., Hsu P. L.: (2005) A systematic approach for the sequence controller design in manufacturing systems, – International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 25, 7-8, 754–760.
- [142] Lesi V., Jakovljevic Z., Pajic M.: Towards Plug-n-Play Numerical Control for Reconfigurable Manufacturing Systems, – 2016 IEEE 21st International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), IEEE, Berlin, 2016, 1–8.

- [143] LOLA Institut: Uputstvo za programiranje PA 2000, – Dragon grupacija Mikro knjiga, Beograd 1991.
- [144] Manesis S., Akantziotis K.: (2005) Automatic generation of ladder diagram with control Petri Net, – *Advances in Engineering Software*, 36, 225–233.
- [145] Marx K.: *Das Kapital: A Critique of Political Economy*, – Regnery Publishing Inc. 2009.
- [146] McCluskey E. J.: (1956) Minimization of Boolean Functions, – *Bell System Technical Journal*, 35, 6, 1417–1444.
- [147] McCord B.: *Designing Pneumatic Control Circuits*, – Marcel Dekker, Inc., New York 1983.
- [148] MDSI: *Open CNC Software, V 6.1*, – Manufacturing Data Systems, Inc., Ann Arbor 2001.
- [149] Mealy G.: (1955) A Method for Synthesizing Sequential Circuits, – *Bell System Technical Journal*, 34, 5, 1045–1079.
- [150] MEDER electronic: Reed Switch Characteristics, – <http://www.meder.com/basic-switch4.html> 2014.
- [151] Menke H.: (2014) Basic Operating Principle of an Inductive Proximity Sensor, – Sensortech.
- [152] Mertke T., Frey G.: Formal Verification of PLC-Programms Generated from Signal Interpreted Petri Nets, – *Proceedings of the 2001 IEEE Systems, Man and Cybernetics Conference*, IEEE, 2001, 2700–2705.
- [153] Milačić V. R., Spasić Ž. A.: *Kompjuterski integrisani tehnološki sistemi – CIM sistemi*, – Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu i JUPITER zajednica, Beograd 1990.
- [154] Milovanović M.: *Razvoj elektropneumatskog sistema za pozicioniranje*, Master (M.Sc.) rad, – Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet 2016.
- [155] Moermond J.: (2010) Better Alternatives to Pneumatic Cylinder End-of-Stroke Detection, – Sensortech.
- [156] Moermond J.: (2011) Sensors for Pneumatic Cylinders, – *Assembly*, 54, 13.
- [157] Moermond J.: (2014) The Forgotten Proximity Sensor, – Sensortech.
- [158] Monostori L.: (2014) Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges, – *Procedia CIRP*, 17, 9–13.
- [159] Moore E. F.: *Gedanken Experiments on Sequential Machines, Automata Studies*, – Princeton University Press, Princeton 1956.

- [160] Morris R., Miller R.: Designing with TTL Integrated Circuits - Prepared by the IC application Staff of Texas Instrument Incorporated, – McGraw-Hill Company, New York 1971.
- [161] Nagalingam S., Lin G.: (2008) CIM-still the solution for manufacturing industry, – Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 24, 3, 332–344.
- [162] Nelson V. P., Nagle H. T., Carroll B. D., Irwin D.: Digital Logic Circuit Analysis and Design, – Prentice Hall 1995.
- [163] Nikolić G.: Pneumatsko upravljanje, – Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojstva i brodogradnje 1976.
- [164] Omron: CPM1 Programmable Controllers, Operation Manual, Cat. No. W262-E1-1, – Omron 1995.
- [165] Omron: CX-Programmer User Manual, Version 3.0, – Omron 2002.
- [166] Omron: Overview of Limit Switches, – Omron 2014.
- [167] Oxford: Advaned Learner's Dictionary of Current English, – Oxford University Press 2004.
- [168] Parezanović N., Kolar B.: FORTRAN 77, – Naučna knjiga, Beograd 1990.
- [169] Pessen D.: (1983) Efficient use of directional-control valves in fluid-logic circuits, – Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, Transactions of the ASME, 105, 4, 272–278.
- [170] Pessen D.: Industrial Automation Circuit Design and Components, – John Wiley & Sons, Inc., New York 1989.
- [171] Pessen D., Hubl W.: Design and Application of Programmable Sequence Controllers for Automation Systems, – Longman Inc., New York 1979.
- [172] Petri C.: Kommunikation mit automaten, Technical report, – Institute fur Instrumentelle Mathematik, Universitat Bonn 1962.
- [173] Petrović P. B., Jakovljević Ž.: Dinamička kompenzacija nehomogenih magnetskih svojstava nestacionarne feromagnetne mete kod induktivnih mernih sistema visoke preciznosti, – Zbornik radova 32. JUPITER konferencije, Mašinski fakultet u Beogradu, Zlatibor, 2007, 3.7–3.19.
- [174] Petrovic P., Jakovljevic Z.: (2009) Dynamic compensation of electrical runout in eddy current contactless measurements of non-stationary ferromagnetic target, – Sensor Letters, 7, 2, 191–202.
- [175] Pilipović M.: Upravljački sistemi u savremenoj proizvodnji, – Zbornik radova međunarodne naučne konferencije Teška mašingradnja, Mašinski fakultet u Kraljevo, Kraljevo, 1996, 4.105 – 4.110.

- [176] Pilipović M.: Upravljački sistemi otvorene arhitekture - izazov za automatizaciju fabrika budućnosti, – Zbornik radova 24. JUPITER konferencije, Mašinski fakultet u Beogradu, Zlatibor, 1998.
- [177] Pilipović M.: Automatizacija proizvodnih procesa - Laboratorija, – Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet 2006.
- [178] Pilipović M.: Sekvencijalno upravljanje primenom programabilnih kontrolera, – Zbornik radova 36. JUPITER konferencije, Mašinski fakultet u Beogradu, Beograd, 2010.
- [179] Pilipović M.: Kompjutersko nadzorno upravljanje – primer laboratorije za automatizaciju proizvodnje, – Zbornik radova 37. JUPITER konferencije, Mašinski fakultet u Beogradu, Beograd, 2011, 4.44–4.49.
- [180] Pilipović M., Stojadinović A.: Edukacija u programiranju i primeni programabilnih upravljača, – Zbornik radova 21. JUPITER konferencije, Mašinski fakultet u Beogradu, Beograd, 1995, 3.83 – 3.90.
- [181] Prede G., Scholz D.: Electropneumatics - Basic Level, – Festo Didactic GMBH & Co, Denkendorf 2002.
- [182] Proctor F. M., Michaloski J.: Enhanced Machine Controller Architecture Overview, – NIST Internal Report 5331 1993.
- [183] Quine W. V.: (1952) The Problem of Simplifying Truth Functions, – The American Mathematical Monthly, 59, 8, 521–531.
- [184] Radojević Z.: Osnovi pneumatike, – Zavodi “Crvena Zastava“, RO Zastava Yugo automobili, OOUR Održavanje, Centar za didaktiku, Kragujevac 1988.
- [185] Regtien P.: Sensors for Mechatronics, – Elsevier 2012.
- [186] Sandige R.: Modern Digital Design, – McGraw-Hill Company, New York 1990.
- [187] Shannon C.: (1938) A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits, – Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, 57, 12, 713–723.
- [188] SMC: Two Hand Control Valve Series VR51, CAT.EUS12-7, – SMC Corporation 2003.
- [189] SMC: Pregled proizvoda, – SMC Industrial Automation SRB 2014.
- [190] Spasic Ž., Dimitrijević-Marković L., Pilipović M.: Informaciona integracija preduzeća – CIM-integracija menadžmenta i kvaliteta, – Naučna knjiga, Beograd 1994.
- [191] Stanković R., Stanković M.: Logičko projektovanje, – IP “Nauka“, Beograd 1991.

- [192] Stojić M. R.: Digitalni sistemi upravljanja, – Naučna knjiga, Beograd 1989.
- [193] Stojiljković M.: Logička sinteza pneumatskog upravljanja, – Mašinski fakultet Univerziteta u Nišu 2002.
- [194] Tan J., Duan F., Kato R., Arai T.: (2010) Safety strategy for human-robot collaboration: Design and development in cellular manufacturing, – *Advanced Robotics*, 24, 5-6, 839–860.
- [195] Terzic E., Terzic J., Nagarajah R., Alamgir M.: A neural network approach to fluid quantity measurement in dynamic environments, – Springer 2012.
- [196] Teschler L.: (2004) Reed switch basics, – *Machine Design*, 76, 9, 48.
- [197] Texas Instruments: The TTL Data Book for Design Engineers, – Texas Instruments Inc. 1976.
- [198] The Unicode Consortium: About the Unicode Standard, – unicode.org 2016.
- [199] ICS Triplex: ISaGRAF 5.12, Demo Software, – ICS Triplex Isagraf Inc. 2008.
- [200] Van der Linden D.: How to Apply ANSI/ISA 88 or IEC 61512-1, – ISA-IEC 2008.
- [201] Veitch E. W.: (1952) A Chart Method for Simplifying Truth Functions, – *Proceedings of the Association for Computing Machinery*, 127–133.
- [202] Vincent S., Bridges J.: (2015) Positioning with Air, – *Hydraulics & Pneumatics*, 68, 4, 30–36.
- [203] Vujaklija M.: Leksikon stranih reči i izraza, – Prosveta, Beograd 1996/97.
- [204] Vyatkin V.: IEC 61499 Function Blocks for Embedded and Distributed Control Systems Design, – ISA—International Society of Automation 2012.
- [205] Wilhelm R. E.: Programmable Controller Handbook, – Hayden Books, Indianapolis 1985.
- [206] Yan S. Y.: An Introduction to Formal Languages and Machine Computation, – World Scientific Pub. Co. Inc. 1996.
- [207] Yao X., Lin Y.: (2016) Emerging manufacturing paradigm shifts for the incoming industrial revolution, – *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 85, 5-8, 1665–1676.
- [208] Zarić S.: Automatizacija proizvodnje, – Zavod za izdavanje udžbenika Republike Srbije, Beograd 1967.
- [209] Zarić S.: Automatizacija proizvodnje, – Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu 1984.
- [210] Zarić S.: Priručnik iz industrijske pneumatike, – Savez mašinskih i elektrotehničkih inženjera i tehničara Srbije, Beograd 1995.

- [211] Živković M., Popović M.: Impulsna i digitalna elektronika, – Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu i IP Nauka, Beograd 1992.
- [212] Župan J., Tkalić M., Kunštić M.: Logičko projektiranje digitalnih sistema, – Školska knjiga, Zagreb 1984.

Indeks

- „ILI“ ventil, 149, 153
- „I“ ventil, 148, 153
- Šenonova teorema o razvoju, 70

- Akcija, SFC, 383, 390
- Analogni ulazno/izlazni moduli, 314
- Apsorpcija, 64, 112
- Aritmetičke funkcije, IEC 61131, 337
- Aritmetičke operacija, IEC 61131, 321
- Aritmetičke operacije, IEC 61131, 357
- Aritmetičko logička jedinica, 311
- ASCII, 57
- Asinhroni sekvencijalni konačni automat, 241
- Automat bez memorije, 220

- Bajt, 38
- BCD, 53
- Bezuslovni prelazak, 340, 364, 373
- Binarna promenljiva, 67
- Binarni brojni sistem, 38
- Bistabilni memorijski elementi, 330, 338, 362
- Bistabilni prekidači, 191
- Bistabilni razvodnik, 140
- Bit, 38
- Brojčane vrednosti, IEC 61131, 324
- Brojači, 331, 338, 362
- Brojni sistemi, 35
- Brzoispusni ventil, 149
- Bulova algebra, 59, 60

- Centralna procesorska jedinica, 311
- Cifra, 35–37
- Ciklična tabela pokrivanja, 125
- Ciklična V-K mapa, 101
- Ciklični kod, 48
- Cilindri bez klipnjače, 168

- De Morganova teorema, 65
- Decimalni brojni sistem, 37
- Decimalni ekvivalent sloga, 67
- Deklarisanje tipova promenljivih, IEC 61131, 326
- Detekcija pozitivnog i negativnog prelaza, 338, 362
- Detekcija promene stanja ulaza, 333
- Determinisani konačni automat, 220
- Digitalni ulazno/izlazni moduli, 313
- Dijagram stanja, 247, 248
- Dinamički hazard, 231
- Direktno upravljanje pneumatskim cilindrima, 172
- Disjunktivna normalna forma, 71
- Divergencija i konvergencija, SFC, 385
- Dodavanje funkcije starta, 277
- Dovoljan skup prostih implicenti, 89
- Dovoljan skup prostih implikanti, 89, 97
- Dvosmerni cilindri, 166

- EKSILI, 78
- Ekskluzivna disjunkcija, 78, 160
- Ekskluzivno NILI, 78
- EKSNILI, 78
- Ekvivalencija, 78, 160
- Električne šeme relejno-kontaktnog upravljanja, 210
- Elektromehanički prekidači, 191
- Elektromehanički relej, 207
- Elektromotori, 204
- Elementarna suma, 70
- Elementarni proizvod, 69
- Esencijalna prosta implicenta, 90
- Esencijalna prosta implikanta, 89, 97

- Flip-flop, 259
- Funkcija izlaza, 254

- Funkcija pobude, 243, 254, 269
 Funkcija, IEC 61131, 319
 Funkcije kontrole izvršavanja programa, IEC 61131, 337
 Funkcije pomeranja bitova, IEC 61131, 330, 359
 Funkcije poredjenja, IEC 61131, 337, 358, 360
 Funkcijski blok, IEC 61131, 319
 Funkcionalni hazard, 232
 Funkcionalno potpun sistem, 77
 Grananje programa, SFC, 384
 Hafmanov matrični postupak, 246, 266
 Heksadecimalni brojni sistem, 39
 Idempotentnost, 63
 Identifikacioni kod komponente, 185
 Implimentacija funkcije, 88
 Implikacija, 78, 156, 158
 Implikanta funkcije, 88
 Indeks funkcije, 69
 Indeks sloga, 67, 68, 72, 75, 92
 Indirektno upravljanje pneumatskim cilindrima, 173
 Induktivni beskontaktni prekidači, 198
 Inhibicija, 156, 158
 Involucija, 64
 IP kod, 307
 Izlaz, LD, 368, 370
 Izlazni interfejs, 134
 Izvedeni tipovi podataka, IEC 61131, 325
 Jednosmerni cilindri, 166
 Jezik lestvičastih dijagrama, simboli, 368
 Kôd instalacije, 185
 Kôd medijuma, 186
 Kanonička forma, 71, 74
 Kapacitivni beskontaktni prekidači, 198
 Kod jediničnog rastojanja, 48
 Kodovi kružnih brojača, 53
 Kombinaciona tablica, 68, 72, 74
 Komplement, 62
 Komplementarnost koda, 55
 Konjunktivna normalna forma, 71
 Konsenzus, 64
 Kontakt, LD, 367, 369
 Kontakti, 191
 Kontinualni kod, 48
 Konverzije funkcije, IEC 61131, 359
 Krajnji prekidači, 194
 Kružni brojači, 288
 Leč kolo, 259
 Linearne logičke funkcije, 79
 Lista instrukcija, 337
 Lista instrukcija, mnemonički kodovi, 338
 Logička funkcija monostabilnog razvodnika 3/2, 155
 Logičke funkcije monostabilnog razvodnika 5/2, 157
 Logičke funkcije, IEC 61131, 321, 337, 355
 Logičke vrednosti, IEC 61131, 323
 Logički hazard, 232, 254
 Logički susedna polja, 92
 Logičko množenje, 59, 61, 62
 Logičko sabiranje, 60, 62
 LSB, 38
 Magnetni beskontaktni prekidači, 195
 Magnetno rezistivni prekidači, 197
 Maksterm, 74–76
 Memorija, 311
 Milijev konačni automat, 220, 234, 244
 Minimalan bazis logičkih funkcija, 79
 Minimalna disjunktivna normalna forma, 88, 90, 95, 96
 Minimalna forma logičke funkcije, 87, 89
 Minimalna konjunktivna normalna forma, 88, 90, 95, 96, 109
 Minterm, 72, 75, 76, 91, 99, 105
 Modularni programabilni kontroler, 309
 Monostabilni prekidači, 191
 Monostabilni razvodnik, 139
 Monotone logičke funkcije, 79
 MSB, 38
 Murov konačni automat, 221, 234, 244
 Naizmenečni kontakt, 191
 Naizmenečni ventil, 149
 NBCD, 54

- Negacija, 61
 Nepotpuno definisana logička funkcija, 68, 98
 Nepotpuno sažimanje, 64, 112
 Nepovratni ventil, 148
 Nestabilno stanje, 242, 250
 Neutralni element, 61
 NI, 78, 160
 Nibl, 38
 NILI, 78, 80, 160
 Nizovi, IEC 61131, 325
 Normalno otvoren kontakt, 191
 Normalno otvoren razvodnik, 140
 Normalno zatvoren kontakt, 191
 Normalno zatvoren razvodnik, 140
 Nula elementi, 63
 Numeričke funkcije, IEC 61131, 329, 357

 Obrtni cilindar, 164
 Oktalni brojni sistem, 39
 Osnova brojnog sistema, 37, 40
 Osnovni simboli, IEC 61131, 320

 PLC na jednoj štampanoj ploči, 308
 PLC u jednom kućištu, 309
 Pneumatska šema, 183, 225, 230, 301
 Pneumatski brojači, 178
 Pneumatski krajnji prekidači, 151
 Pneumatski motori, 164
 Pneumatski tajmeri, 178
 Pneumatski zakretni motori, 164
 Podsystem za izvršavanje komandi, 134
 Podsystem za napajanje energijom, 135
 Podsystem za prikupljanje informacija, 133
 Poligon sažimanja, 251
 Poremećaj kontinuiteta, 232
 Potpuna suma, 74
 Potpuni proizvod, 72
 Potpuni skup implicenti, 89
 Potpuni skup implikanti, 89
 Potpuni skup prostih implikanti, 97
 Potpuno sažimanje, 64, 94
 Pravične konture, 99, 102, 106
 Prekidači sa Holovim efektom, 196
 Prelaz, SFC, 383, 389
 Preopširan funkcionalni sistem, 80

 Prevođenje binarnog broja u oktalni i heksadecimalni broj, 46
 Prevođenje celog broja u binarni broj, 40
 Prevođenje celog broja u decimalni broj, 45
 Prevođenje Grejovog koda u prirodni binarni kod, 51
 Prevođenje oktalnog i heksadecimalnog broja u binarni broj, 47
 Prevođenje prirodnog binarnog koda u Grejov kod, 49
 Prevođenje razlomljenog broja u binarni brojni sistem, 42
 Prigušni ventil, 146
 Primitivna tablica prelaza, 249
 Princip dualnosti, 62
 Pripremna grupa, 182
 Program, IEC 61131, 319
 Programska organizaciona jedinica, 317, 319
 Prosta implicenta, 89
 Prosta implikanta, 89, 97
 Pseudo V-K mape, 283

 Razvodnik 2/2, 141
 Razvodnik 3/2, 143, 154
 Razvodnik 4/2, 144
 Razvodnik 5/2, 144, 156
 Razvodnik 5/3, 145
 Realizacija logičkih funkcija u relejnom upravljanju, 209
 Redukovana tablica prelaza, 250
 Refleksivni kod, 49
 Refleksna dizna, 151
 Relacijski simboli, IEC 61131, 321
 Relejno upravljanje, 207
 Rid prekidači, 195
 RS memorijski element, 161, 259
 RS memorijski element sa prioritetom isključivanja, 210, 263, 330
 RS memorijski element sa prioritetom uključivanja, 210, 263, 330

 Sabiranje po modulu 2, 50, 78
 Samodualne logičke funkcije, 79

- Savršena disjunktivna normalna forma, 71
- Savršena konjunktivna normalna forma, 74
- Sekvencijalni konačni automat direktne reakcije, 242, 246
- Sekvencijalni konačni automat sa bistabilnim memorijskim elementima, 242
- Sekvencijalni konačni automat sa povratnom spregom, 242
- Sekvencijalni konačni automati u fundamentalnom modu, 241, 246
- Sekvencijalni konačni automati u impulsnom modu, 241
- Senzor vazdušne prepreke, 151
- Simboli beskontaktnih senzora, 195, 196, 198, 199, 201
- Simboli komponentata za proizvodnju, pripremu i razvođenje vazduha, 183
- Simboli logičkih funkcija, 82
- Simboli načina aktiviranja razvodnika i ventila, 139
- Simboli pneumatskih aktuatora, 165
- Simboli pneumatskih beskontaktnih senzora, 152
- Simboli pneumatskih pojačivača, 150
- Simboli prekidača, 193, 194
- Simboli razvodnika, 137, 142
- Simboli ventila, 147
- Simplifikacija, 64
- Sinhroni sekvencijalni konačni automat, 241
- Slog, 67, 91
- Solenoidi, 203
- Specijalni ulazno/izlazni moduli, 314
- Stabilno stanje, 242, 249
- Standard IEC 61131, 305
- Statički hazard, 231
- Struktura sistema upravljanja, 129
- Strukture, IEC 61131, 326
- Susednost cifara, 48
- Susednost kodova, 48
- Tabela pokrivanja, 112, 122
- Tablica istinitosti, 59, 68
- Tablica pobude memorijskih elemenata, 266
- Tajmeri, 332, 338, 362
- Takt, 221, 235
- Takt, SFC, 382
- Takt-modul, 291
- Tandem-cilindri, 167
- Težinski kod, 54
- Teleskopski cilindri, 167
- Teorema o razvoju logičke funkcije, 70
- Teorija automata, 219
- Tipovi podataka, IEC 61131, 323
- Trka, kritična, 252
- Trka, nekritična, 252
- UCS, 57
- Ugradnja cilindra, 168
- Ulazni interfejs, 133
- UNICODE, 57
- Upravljački podsistem, 134
- Upravljanje brzinom kretanja klipa, 179
- Uprošćena normalna forma, 95
- Uređaji za programiranje, 312
- Uslov prelaza, SFC, 384
- Uslovni prelazak, 340, 364, 373
- UTF-8, 57
- Vakuumski uređaji, 171
- Ventil sa obostranim pritiskom, 148
- Ventili pritiska, 149
- Višepoložajni cilindri, 167
- Višestruki ciklus rada dvosmernog cilindra, 176
- Vreme kašnjenja signala, 83, 87, 223, 244, 262
- Vreme zadržavanja signala, 262
- Vremenski tipovi podataka, IEC 61131, 325
- Zabrana, 78
- Zatvorenost, 61
- Zaustavljanje klipnjače u međupoložajima, 177
- Zaustavna mlaznica, 151
- Znakovne funkcije, IEC 61131, 330, 361
- Znakovne vrednosti, IEC 61131, 324

Spisak skraćenica

- 3D** Trodimenzionalno (engl. *three-dimensional*)
- AC** Naizmjenična struja (engl. *Alternating current*)
- ALU** Aritmetičko logička jedinica (engl. *Arithmetic Logic Unit*)
- API** Interfejs za programiranje aplikacija (engl. *Application Programming Interface*)
- ASCII** ASCII kod – američki standardni kod za razmenu informacija (engl. *American Standard Code for Information Interchange*)
- ASIC** Namenska integralna kola (engl. *Application Specific Integrated Circuit*)
- BCD** Binarno kodiran decimalni broj (engl. *Binary Coded Decimal*)
- CAD** Projektovanje pomoću računara (engl. *Computer-Aided Design*)
- CAE** Proračuni i druge inženjerske aktivnosti pomoću računara (engl. *Computer-Aided Engineering*)
- CAM** Proizvodnja pomoću računara (engl. *Computer-Aided Manufacturing*)
- CAPP** Projektovanje tehnološkog procesa pomoću računara (engl. *Computer-Aided Process Planning*)
- CAQ** Kvalitet pomoću računara (engl. *Computer-aided quality*)
- CIM** Računarom integrisana proizvodnja (engl. *Computer Integrated Manufacturing*)
- CMMS** Računarski sistem za menadžment održavanjem (engl. *Computerized Maintenance Management System*)
- CMOS** Komplementarni metalno-oksidni poluprovodnik (engl. *Complementary metal-oxide semiconductor*)
- CNC** Kompjutersko numeričko upravljanje (engl. *Computer Numerical Control*)
- CPS** Kibernetičko-fizički sistemi (engl. *Cyber Physical Systems*)
- CPU** Centralna procesorska jedinica (engl. *Central Processing Unit*)

- CRM** Menadžment odnosa sa kupcima (engl. *Customer Relationship Management*)
- DB** Baza podataka (engl. *Data Base*)
- DC** Jednosmerna struja (engl. *Direct current*)
- DFA** Determinisani konačni automat (engl. *Deterministic Finite-State Automaton*)
- DCS** Distribuirani sistemi upravljanja (engl. *Distributed Control System*)
- DDC** Direktno digitalno upravljanje (engl. *Direct Digital Control*)
- DIN** Nemački institut za standardizaciju (nem. *Deutsches Institut für Normung*)
- DIPMC** Distribuirani sistemi upravljanja i merenja industrijskih procesa (engl. *Distributed Industrial Process Measurement and Control Systems*)
- DNF** Disjunktivna normalna forma
- DP** Dvopolni (engl. *Double-pole*)
- DT** Dvopoložajni (engl. *Double-throw*)
- DTL** Diodno-trazistorska logika (engl. *Diode Transistor Logic*)
- EMC** (engl. *Enhanced Machine Controller*)
- EN** Evropski standard (nem. *Europäische Norm*)
- EPNS** Elektropneumatski sistemi za pozicioniranje (engl. *Electropneumatic Positioning Systems*)
- EPROM** Reprogramabilne ROM (engl. *Erasable PROM*)
- FEA** Analiza metodom konačnih elemenata (engl. *Finite-Element Analysis*)
- ERP** Planiranje resursa preduzeća (engl. *Enterprise Resource Planning*)
- FBD** Funkcijski blok dijagram (engl. *Function Block Diagram*)
- FMS** Fleksibilni tehnološki sistem (engl. *Flexible Manufacturing System*)
- FTS** Fleksibilni tehnološki sistem (engl. *Flexible Manufacturing System*)
- GRAFCET** Specifikacioni jezik za sekvencijalne funkcionalne dijagrame (fr. *Grphe Fonctionnel de Commande des Étapes et Transitions*)
- HMI** Interfejs čovek-mašina (engl. *Human Machine Interface*)
- HRM** Menadžment ljudskih resursa (engl. *Human Resource Management*)

- IEC** Međunarodna elektrotehnička komisija (engl. *The International Electrotechnical Commission*)
- IED** Inteligentni elektronski uređaji (engl. *Intelligent Electronic Devices*)
- IL** Lista instrukcija (engl. *Instruction list*)
- IoT** Internet stvari (engl. *Internet of Things*)
- IP kod** Kod klase zaštite (engl. *International Protection*)
- ISO** Međunarodna organizacija za standardizaciju (engl. *International Organization for Standardization*)
- KNF** Konjunktivna normalna forma
- LD** Lestvičasti dijagram (engl. *Ladder Diagram*)
- LED** Svetleća dioda (engl. *Light-emitting diode*)
- LSB** Bit najmanje težine (engl. *Least Significant Bit*)
- LSI** Veliki stepen integracije (engl. *Large-scale Integration*)
- MCU** Upravljačke jedinice NUMA (engl. *Machine Control Unit*)
- MDNF** Minimalna disjunktivna normalna forma
- MKNF** Minimalna konjunktivna normalna forma
- MOM** Menadžment proizvodnim operacijama (engl. *Manufacturing Operation Management*)
- MSB** Bit najveće težine (engl. *Most Significant Bit*)
- MSI** Srednji stepen integracije (engl. *Medium-scale Integration*)
- NBCD** Prirodni binarno kodirani decimalni broj (engl. *Natural Binary Coded Decimal*)
- NEMA** Nacionalno udruženje proizvođača električne opreme (engl. *National Electrical Manufacturers Association*)
- NIST** Nacionalni institut za standardizaciju i tehnologije SAD (engl. *National Institute of Standards and Technology*)
- NO** Normalno otvoren
- NUMA** Numerički upravljane mašine alatke
- NZ** Normalno zatvoren
- PAC** Kontroler programabilne automatizacije (engl. *Programmable Automation Controllers*)

- PC** Personalni računar (engl. *Personal Computer*)
- PLC** Programabilni (logički) kontroler (engl. *Programmable (Logic) Controller*)
- PLD** Programabilni logički uređaj (engl. *Programmable Logic Device*)
- POU** Programska organizaciona jedinica (engl. *Program Organization Unit*)
- PPS** Posebni spoljni signal
- PROM** Programabilne ROM (engl. *Programmable ROM*)
- RAM** Memorije sa ravnopravnim pristupom (engl. *Random Access Memory*)
- PID** proporcionalno-integralni-diferencijalni (regulator)
- SCADA** Nadzorno upravljanje i prikupljanje podataka (engl. *Supervisory Control and Data Acquisition*)
- RC** Robot kontroler (engl. *Robot Controller*)
- RK** Robot kontroler (engl. *Robot Controller*)
- RMS** Rekonfigurabilni tehnološki sistem (engl. *Reconfigurable Manufacturing System*)
- ROM** Samočitajuće memorije (engl. *Read Only Memory*)
- RR** Registar rezultata
- RTL** Otporničko-tranzistorska logika (engl. *Resistor Transistor logic*)
- RTS** Rekonfigurabilni tehnološki sistem (engl. *Reconfigurable Manufacturing System*)
- SDNF** Savršena disjunktivna normalna forma
- SFC** Sekvencijalni funkcionalni dijagrami (engl. *Sequential Functional Chart*)
- SIPN** Signalom interpretirane Petri mreže (engl. *Signal Interpreted Petri Net*)
- SKNF** Savršena konjunktivna normalna forma
- SP** Jednopolni (engl. *Single-pole*)
- SRPS** Oznaka za standarde i srodne dokumente koje donosi Institut za standardizaciju Srbije
- SSI** Mali stepen integracije (engl. *Small-scale Integration*)
- ST** Jednopoložajni (engl. *Single-throw*),
- ST** Strukturisani tekst (engl. *Structured Text*)
- TC** Tehnički komitet (engl. *Technical Committee*)

-
- TTL** Tranzistorsko-tranzistorska logika (engl. *Transistor-transistor logic*)
- UCS** Univerzalni skup karaktera (engl. *Universal Character Set*)
- UDC** Kod jediničnog rastojanja (engl. *Unit Distance Code*)
- UDNF** Uprošćena disjunktivna normalna forma
- UJ** Upravljačke jedinice
- UKNF** Uprošćena konjunktivna normalna forma
- UTF** Format za UNICODE transformaciju (engl. *Unicode Transformation Format*)
- VLSI** Vrlo veliki stepen integracije (engl. *Very-large-scale Integration*)
- WMS** Sistem za menadžment skladištem (engl. *Warehouse mangement System*)
- XLSI** Ekstra veliki stepen integracije (engl. *Extra-large-scale Integration*)