

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Бојан Р. Бабић

Рачунарски интегрисани системи и технологије



Машински факултет
Београд, 2017.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Бојан Р. БАБИЋ

**РАЧУНАРСКИ ИНТЕГРИСАНИ
СИСТЕМИ И ТЕХНОЛОГИЈЕ**

Прво издање

МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ
Београд, 2017.

Др Бојан Р. Бабић, редовни професор

Рачунарски интегрисани системи и технологије

Рецензенти:

Проф. др Милисав Калајџић
Проф. др Милан Зељковић

Издавач:

Универзитет у Београду – Машински факултет
Краљице Марије 16, Београд

За издавача:

Проф. др Радивоје Митровић, декан

Главни и одговорни уредник:

Проф. др Милан Лечић

Лектор:

Љубица Весић

Одобрено за штампу одлуком декана Машинског факултета у Београду
бр. 26/2017 од 03. 11. 2017

Тираж: 200 примерака

Штампа: Planeta print, d.o.o.

ISBN 978-86-7083-960-1

**© Прештампавање или фотокопирање није дозвољено
Сва права задржавају издавач и аутор**

Предговор

Примена концепта рачунарски интегрисаних технологија (*Computer Integrated Manufacturing – CIM*) од изузетног је значаја за индустријску производњу у глобалној економији коју карактерише скраћивање животног циклуса производа и честе измене програма производње. У књизи су приказани основни принципи увођења и примене рачунарски интегрисаних технологија.

У првом поглављу се дају основне дефиниције рачунарски интегрисаних система, острва аутоматизације и приказ CIM архитектуре.

Наредна три поглавља су посвећена пројектовању технолошких процеса. Објашњени су основи теорије и модели за формализацију пројектовања технолошких процеса. Изложена теорија пројектовања технолошких процеса, заједно са одређеним кибернетским знањима, представља основу за развој система за пројектовање технолошких процеса применом рачунара (*Computer Aided Process Planning – CAPP*). Размотрени су и проблеми развоја и увођења CAPP система, при чему су нека карактеристична решења илустрована кроз примере развијених система.

Пето поглавље се односи на технолошке системе. Технолошки систем се посматра као скуп интегрисане опреме и људских ресурса. Интегрисана опрема обухвата обрадне системе, средства за руковање материјалом и компјутерске системе. Посебно су анализирани флексибилни технолошки систем као високо аутоматизовани технолошки системи.

Аксиоматско пројектовање флексибилних технолошких система и технолошких система уопште, представља посебно развијен концепт пројектовања, заснован на аксиоматској теорији пројектовања. Поглавље шест даје основе теорије аксиоматског пројектовања и описује модел пројектовања технолошких система, заснован на примени те теорије.

Модели засновани на агентима представљају рачунарске моделе за симулацију различитих комплексних система. С обзиром на то да је овај концепт погодан за моделирање технолошких система, посвећено му је седмо поглавље.

Посебно поглавље посвећено је примени компјутерске симулације за моделирање технолошких процеса и технолошких система у функцији вредновања алтернативних решења технолошких поступака и распореда производне опреме.

Девето поглавље третира проблеме планирања и управљања производњом. Планирање и управљање производњом треба да омогући решавање логистичких проблема у производњи. Рачунари су од суштинског значаја за обраду огромних количина података који се односе на дефинисање производа и средстава за њихову производњу. Планирање и управљање производњом је интегратор у рачунарски интегрисаној производњи.

Десето поглавље се бави новом парадигмом развоја, планирања и управљања животним циклусом производа.

Циљ овог уџбеника је да будућим инжењерима пренесе знања неопходна за примену CIM концепта и савремених софтверских алата за управљање производњом, као и да их подстакне на даља инжењерска размишљања.

САДРЖАЈ

1. УВОД	1
1.1 Производни системи	3
1.2 Рачунарски интегрисана производња	4
1.3 Производни процеси	9
2. ПРОЈЕКТОВАЊЕ ТЕХНОЛОШКИХ ПРОЦЕСА	11
2.1 Увод.....	11
2.2 Дефиниција пројектовања технолошког процеса	11
2.3 Захтеви које треба да задовољи пројектовање технолошког процеса	12
2.4 Основне информације за пројектовање технолошког процеса	12
2.5 Активности пројектовања технолошког процеса	14
2.5.1 Анализа технолоичности машинског дела	16
2.5.2 Избор обрадних процеса и алата	17
2.5.3 Груписање захвата	17
2.5.4 Одређивање редоследа обраде – правила приоритета	18
2.5.5 Избор начина стезања и позиционирања дела	21
2.5.6 Избор машина алатки.....	21
2.5.7 Режији обраде, времена, трошкови	21
3. ГРУПНА И ТИПСКА ТЕХНОЛОГИЈА	23
3.1 Увод у групну и типску технологију	23
3.2 Формирање фамилија делова.....	24
3.3 Класификација и кодирање	25
3.3.1 Компјутеризација кодирања и класификације	28
3.4 Примери система за кодирање и класификацију.....	28
3.4.1 Opitz систем.....	28
3.4.2 CODE систем.....	28
3.5 Кодирање и формирање фамилија делова	31
3.6 Анализа производног тока	33
3.6.1 Алгоритам заснован на рангирању.....	35
3.6.2 Алгоритам директне кластеризације	36
3.6.3 Алгоритам заснован на коефицијентима сличности	36
4. ПРОЈЕКТОВАЊЕ ТЕХНОЛОШКИХ ПРОЦЕСА ПРИМЕНОМ РАЧУНАРА	39
4.1 Увод.....	39
4.2 Ефекти примене рачунара	40
4.3 Модели пројектовања технолошких процеса.....	42
4.3.1 Варијантни приступ.....	44
4.3.2 Генеративни приступ	45
4.4 Услови за увођење CAPP система	46
4.5 Представљање знања за пројектовање технолошких процеса.....	48
4.6 Индустриска реалност CAPP система	49
4.7 Аутоматско препознавање технолошких форми	51
4.7.1 Стандарди за размену података.....	52
4.7.2 Препознавање форми	53

4.7.3	Синтатичко препознавање облика	54
4.7.4	Дијаграми стања и аутомати	56
4.7.5	Логички приступ	57
4.7.6	Препознавање форми помоћу графова суседности	59
4.7.7	Препознавање форми помоћу матрица суседности	63
4.7.8	Форме као елементи интеграције пројектовања и производње	65
4.8	Архитектуре CAPP система	69
4.8.1	Quick Turnaround Cell (QTC) систем	70
4.8.2	Knowledge-based CAPP System (KCAPPS)	70
4.8.3	Систем XTURN	71
4.8.4	Систем PART	72
4.8.5	Систем MCOES	73
4.8.6	Систем САПТ	74
4.8.7	Систем САПОР	75
4.8.8	Систем ПРОТЕН-R	76
4.9	Вредновање CAPP система	82
4.10	Упоредна анализа описаних CAPP система	83
5.	ТЕХНОЛОШКИ СИСТЕМИ	85
5.1	Увод	85
5.2	Диспозициони план технолошког система	86
5.2.1	Функционални распоред машина (оријентисан процесу)	87
5.2.2	Распоред оријентисан производу	88
5.2.3	Распоред са фиксном позицијом производа	90
5.2.4	Распоред заснован на групној технологији (ћелијска производња)	91
5.2.5	Избор распореда опреме у зависности од обима производње	92
5.3	Системи за руковање материјалом	94
5.3.1	Опрема за транспорт материјала	96
5.3.2	Систем за складиштење материјала	105
5.3.3	Аутоматска идентификација и прикупљање података	109
5.4	Флексибилни технолошки системи	112
5.4.1	Класификација флексибилних технолошких система	112
5.4.2	Типови диспозиционог плана флексибилног технолошког система	115
5.4.3	Рачунарски систем за управљање ФТС	117
5.4.4	Примена флексибилних технолошких система	118
5.4.5	Планирање и имплементација ФТС	119
5.4.6	Предности примене флексибилних технологија	120
5.4.7	Анализа перформанси технолошких система	121
5.4.8	Алтернативни приступи флексибилној производњи	129
5.5	Пројектовање производних система	133
5.5.1	Пројектовање распореда опреме (диспозиције)	135
6.	АКСИОМАТСКО ПРОЈЕКТОВАЊЕ ФТС	141
6.1	Основи аксиоматске теорије пројектовања	141
6.1.1	Аксиоми пројектовања, последице аксиома и теореме	142
6.1.2	Пројектовање за производњу	143
6.1.3	Информациони аксиом	144
6.2	Модел аксиоматског пројектовања ФТС	149
7.	ТЕХНОЛОШКИ СИСТЕМИ ЗАСНОВАНИ НА АГЕНТИМА	153
7.1	Дефиниција агента	153
7.2	Карактеристике агената	155
7.3	Врсте агената	156
7.4	Вишеагентни системи	158

7.5	Декомпозиција као метод пројектовања модела система	160
7.6	Моделирање система заснованих на агентима	160
8.	СИМУЛАЦИЈА У ПРОИЗВОДНИМ ТЕХНОЛОГИЈАМА	163
8.1	Дефиниција симулације	163
8.2	Примена симулације	164
8.3	Дискретни и континуални системи	166
8.4	Елементи дискретне симулације	167
8.5	Модел система	168
8.5.1	Типови модела	168
8.6	Кораци у симулационој студији	169
8.7	Општи принципи симулације	172
8.7.1	Терминирање догађаја	174
8.8	Симулациони софтвер	175
8.8.1	Симулациони језик GPSS	175
8.8.2	Симулационо окружење	178
8.8.3	Симулационо окружење AnyLogic	183
9.	ПЛАНИРАЊЕ И УПРАВЉАЊЕ ПРОИЗВОДЊОМ	205
9.1	Увод	205
9.2	Агрегатно планирање производње и главни план производње	207
9.3	Планирање потреба материјала	208
9.3.1	Улази у MRP систем	209
9.3.2	Излази из MRP система	210
9.4	Планирање капацитета	211
9.5	Управљање процесом производње	212
9.5.1	Издавање радног налога	213
9.5.2	Терминирање производње	214
9.5.3	Праћење реализације налога	214
9.5.4	Систем за прикупљање података у фабрици	215
9.5.5	Управљање залихама	216
9.6	Управљање производним ресурсима	216
9.7	Управљање ресурсима предузећа	218
9.7.1	Управљање ланцима снабдевања	220
9.7.2	Управљање односима са купцима	221
9.7.3	Пословна интелигенција	223
9.7.4	Online аналитичко процесирање (OLAP)	224
9.7.5	Ископавање података (<i>Data mining</i>)	228
9.7.6	Benchmarking	229
9.7.7	Предиктивна аналитика	230
9.7.8	Системи за подршку одлучивању	230
10.	УПРАВЉАЊЕ ЖИВОТНИМ ЦИКЛУСОМ ПРОИЗВОДА	231
10.1	Увод	231
10.2	Подаци или информације о производу	232
10.3	Концепт управљања животним циклусом производа	233
10.3.1	Ставке	234
10.4	Системи за управљање животним циклусом производа	235
10.5	Архитектура система	237
10.6	Информациони модели и структуре производа	239
10.6.1	Информациони модел	239
10.7	Разлози за увођење PLM система	240
	ЛИТЕРАТУРА	241

1

1. УВОД

На путу успешног рада и пословања савремени производни системи морају адекватно да одговоре на изазове који постоје у окружењима у којима се налазе. Прилагођавање новим правилима и околностима осликава поменуте системе у светлу њиховог опстанка на производној сцени. Неки од изазова који стоје пред производним системима су:

- интеграција компанија – циљ интеграција је обезбеђивање глобалне конкурентности и одговора на честе промене различите природе на тржишту; интеграција резултује крутим, хијерархијски контролисаним архитектурама, чија структурна комплексност убрзано расте са величином и обимом система; интеграција води ка повећаној комплексности проблема одлучивања;
- дистрибуирана организација – оваква карактеристика већ постојећих организација, неопходан је параметар на путу ка успешној интеграцији компанија;
- хетерогена окружења – неизбежна хетерогеност спољашњег окружења доводи до тога да ће производни системи морати да прилагоде постојеће хетерогене софтверске и хардверске системе, како производним тако и информационим окружењима;
- интероперабилност – производни системи су лоцирани, па самим тим морају да буду и оспособљени за реализацију постављених задатака у хетерогеним информационим окружењима, која омогућавају коришћење различитих програмских језика, представљање параметара битних за функционисање система кроз различите моделе и рад на различитим софтверским платформама;
- отворена и динамичка структура – системи са оваквом структуром имају способност да ефикасно интегришу нове подсистеме у свој састав, као и да елиминишу већ постојеће а непотребне, без заустављања и поновне иницијализације радног окружења;
- кооперација – све важнији и неопходнији елемент на путу испуњавања постављених циљева; кооперација подразумева сарадњу између производних компанија са добављачима материјала, произвођачима делова, сектором маркетинга и продаје, тј. свих чланова ланца пред које се, као заједнички циљ, поставља задовољење потреба све захтевнијег тржишта;

- интеграција људског фактора са хардверско-софтверским компонентама – интеграција ових елемената је неопходна, како на различитим нивоима развоја и израде производа тако и у току његовог животног циклуса;
- агилност – кључна компонента производних стратегија, када је глобална конкурентност у питању, јесте способност савремених производних система да се брзо прилагођавају сталним и непредвидивим променама на тржишту.
- скалабилност – у складу са потребама пословања, производни системи могу да мењају структуру њихових капацитета, а да притом не угрожавају већ постојећу организацију;
- отпорност на поремећаје – у циљу детекције, минимизације и опоравка, производни системи су отпорни на поремећаје на свим хијерархијским нивоима; у циљу апсорбовања изненадних промена, без обзира на то да ли се ради о унутрашњим поремећајима или променљивим тржишним условима, додатне функције и одговорности елемената система морају бити дефинисане.

У последњих неколико деценија врше се значајна истраживања у вези са развојем нових технологија и концепата производње који треба да доведу до успостављања напредних технолошких система који ће моћи да одговоре на изазове 21. века. Према изворима асоцијације CIRP¹, најзначајнији концепти и облици производње који су развијени су:

1. CAD/CAM/CAE (Computer Aided Design / Manufacturing / Engineering) – Компјутерски подржани пројектовање / производња / инжењерство
2. GT (Group Technology) – Групна технологија
3. TQC (Total Quality Control) – Тотално управљање квалитетом
4. MRP-I (Material Requisite Planning) – Планирање потреба материјала
5. MRP-II (Manufacturing Resource Planning) – Планирање ресурса за обезбеђење производње
6. FMS (Flexible Manufacturing System) – Флексибилни технолошки системи
7. JIT (Just In Time) – Правовремено обезбеђење ресурса за производњу
8. CAPP (Computer Aided Process Planning) – Компјутерски подржано пројектовање технолошких процеса
9. DFM, DFT, ... DFX (Design for Manufacturability, Design for Testability,...) – Пројектовање производа погодних за производњу (технолошких), за тестирање
10. CIMS (Computer Integrated Manufacturing System) – Компјутерски интегрисани технолошки системи
11. CDP (Customer Driven Production) – Производња управљана захтевима купаца
12. BR (Business Reengineering) – Пословни реинжењеринг
13. CE (Concurrent Engineering) – Конкурентно (симултано/паралелно) инжењерство
14. EFM (Environment Friendly Manufacturing) – Производња повољна за околину
15. LP (Lean Production) – „Танка“ производња
16. AM (Agile Manufacturing) – Агилна производња
17. MAMS (Multi-Agent Manufacturing System) – Вишеагентни технолошки системи

¹ CIRP – *Collège International pour la Recherche en Productique*
(The International Academy for Production Engineering)

18. VM (Virtual Manufacturing) – Виртуална производња
19. HMS (Holonc Manufacturing System) – Холонски технолошки системи
20. BMS (Biological Manufacturing System) – Биолошки технолошки системи
21. LCE (Life Cycle Engineering) – Инжењерство животног века производа
22. GM (Green Manufacturing) – „Зелена“ производња
23. CM (Collaborative Manufacturing) – Колаборативна производња
24. RM (Remote Manufacturing) – Даљинска производња
25. TPM (Total Production Maintenance) – Тотално одржавање производње
26. OAMS (Open Architecture Manufacturing System) – Технолошки системи са отвореном архитектуром
27. IMS (Intelligent Manufacturing System) – Интелигентни технолошки системи
28. FE (Fractal Enterprise) – Фрактално предузеће
29. P³IS (Pre-Planned Product Improvement System) – Систем за претпланирано унапређење производа)
30. ERP (Enterprise Resource Planning) – Планирање ресурса предузећа
31. SOPS (Self-Organized Production System) – Самоорганизовани производни системи
32. RMS (Reconfigurable Manufacturing Systems) – Реконфигурабилни технолошки системи
33. GM (Global Manufacturing) – Глобална производња
34. NGMS (Next Generation Manufacturing System) – Технолошки системи следеће генерације

Неки од наведених концепата технолошких система и режима производње су у практичној примени у различитим областима производње и доводе до значајног смањења времена производње. Неки су још увек у фази концептуализације и истраживања. Иза ових производних система и начина производње лежи непрекидно трагање за интелигентним пројектовањем, интелигентном производњом, интелигентним руковођењем и интелигентним предузећем у целини.

1.1 Производни системи

Производни системи се могу дефинисати као системи у оквиру којих се одвија серија процеса у циљу трансформације иницијалних идеја пројекта производа у финалне производе који имају употребну и тржишну вредност. Производни систем је скуп људи, опреме и процедура организованих да обављају технолошке операције компаније (предузећа). У том смислу могу се издвојити две категорије, односно два нивоа (слика 1.1) (Groover, 2015):

1. *Средства за производњу.* Средства за производњу обухватају фабрику, опрему у фабрици и начин на који је опрема организована.
2. *Системи за подршку.* Системи за подршку подразумевају скуп процедура које компанија користи за управљање производњом и решавање техничких и логистичких проблема везаних за наручивање материјала, унутрашњи транспорт, остваривање захтеваног квалитета, и сл. Пројектовање производа и одређене пословне функције су такође део система за подршку производњи.



Слика 1.1 Структура производног система

1.2 Рачунарски интегрисана производња

Рачунарски интегрисана производња (*Computer Integrated Manufacturing – CIM*) је приступ производњи, заснован на примени рачунара за управљање целокупним производним процесом. Овај вид интеграције омогућава размену информација између индивидуалних процеса. Рачунарски интегрисана производња обухвата компјутеризовану интеграцију свих аспеката производног процеса, од пројектовања производа преко пројектовања технолошких процеса и од производње до дистрибуције, а укључујући и руковођење и управљање целокупним производним системом. Рачунарски интегрисана производња је *методологија* и њена ефикасност зависи од примене интегрисаних комуникационих система који се састоје од рачунара, машина и њихових управљачких јединица. У идеалном случају рачунарски интегрисана производња обухвата све оперативне функције једног предузећа и због тога је неопходна екстензивна база података која укључује и техничке и пословне аспекте предузећа. Због тога, уколико се планира и уводи одједном, овај концепт може да буде веома скуп, посебно за мала и средња предузећа.

Дугорочно стратешко планирање које обухвата све фазе планирања од суштинског је значаја за максималну корист *CIM* концепта. Овакво планирање и ниво интеграције морају да узму у обзир:

- мисију, циљеве и културу предузећа,
- доступност финансијских, техничких и људских ресурса,
- постојеће и надолазеће технологије у области производа који се производе.

Рачунарски интегрисани технолошки системи обухватају подсистеме међусобно интегрисане у целину (Kalpakjian, Schmidt, 2010):

1. Пословно планирање и подршка
2. Пројектовање производа
3. Планирање и пројектовање технолошких процеса
4. Аутоматизација и управљање процеса
5. Системи за надгледање производње

Опстанак на тржишту, у условима глобалне конкуренције, условљен је сталним подизањем квалитета, снижавањем трошкова производње и скраћењем трајања производног циклуса. Остваривање ових циљева условљено је применом рачунарских технологија у циљу аутоматизације и интеграције активности у оквиру производног система. Кључне технологије су:

CAD (Computer Aided Design) је пројектовање, тј. конструисање геометријског модела производа уз помоћ рачунара. Омогућује везу са системима за прорачуне **CAE (Computer Aided Engineering)**, који врше анализу и тестирање статичког, динамичког и топлотног понашања пројектованог дела, као и оптимизацију структуре у складу са функцијом циља. Пројектовање производа помоћу CAD система, убрзава развој, анализу, редизајнирање модела и доношење одлука о правим решењима. Права решења представљају оптимална решења која задовољавају захтев: минимум цене – максимум квалитета. Пројектовање производа представља критичну активност производног процеса, јер се процењује да је њен удео од 70% до 80% од цене развоја и производње. CAD системи обезбеђују висок квалитет и тачност пројектовања.

CAM (Computer Aided Manufacturing) се дефинише као рачунарски подржана припрема за производњу и обухвата превођење пројектних информација у технолошке информације и производњу са различитим нивоима аутоматизације (NC машине, обрадни центри, флексибилни технолошки системи) (Zhang, Altling, 1994).

CAPP (Computer Aided Process Planning) је скуп рачунаром подржаних активности које поједностављују рад пројектанта технолошких процеса

Наведене компјутерске технологије омогућавају аутоматизацију појединих функција. Аутоматизација сама по себи не обезбеђује интеграцију, односно стварају се тзв. острва аутоматизације, која се могу категорисати у четири групе:

1. CAD/CAM
 - Групна технологија
 - CAD
 - CAM
 - CAE
2. Планирање и управљање производњом
 - Управљање залихама
 - Планирање капацитета
 - Терминирање производње
 - Набавка
 - Снабдевање погона

3. Аутоматизација погона

- CAM
- Роботи
- NC/DNC/CNC
- Флексибилни технолошки системи
- Системи за аутоматизовано руковање материјалом
- Аутоматизована опрема за контролу
- Процесни контролери

4. Пословни менаџмент

- Књиговодство и рачуноводство
- Маркетинг
- Примање наруџби
- Подршка одлучивању
- Праћење радног учинка
- Исплата плата

Информационо повезивање функционалних целина преко улазно/излазних параметара, управљања и одговарајућих механизма представља логичку основу за интеграцију.

Рачунарски интегрисан технолошки систем (СІМ) је концепт уведен у циљу интеграције свих аспеката производње. У СІМ систему је реализована флексибилна аутоматизација свих производних активности и обезбеђена је координација и оптимизација целокупног система. СІМ концепт се односи на производни систем као целину на једној локацији. Промене услова на тржишту и развој комуникационо-информационих технологија условили су промене видова сарадње између компанија. Као одговор на данашње економске изазове, развијени су нови видови повезивања као што су виртуелне фабрике и мрежна производња (Бабић, 2003).

Девет главних елемената рачунарски интегрисаног система су (слика 1.2):

1. Маркетинг

- Утврђивање потребе за производом
- Спецификација производа, пројекција количина за производњу
- Стратегија маркетинга производа
- Процена трошкова производње и економске одрживости производа

2. Пројектовање производа

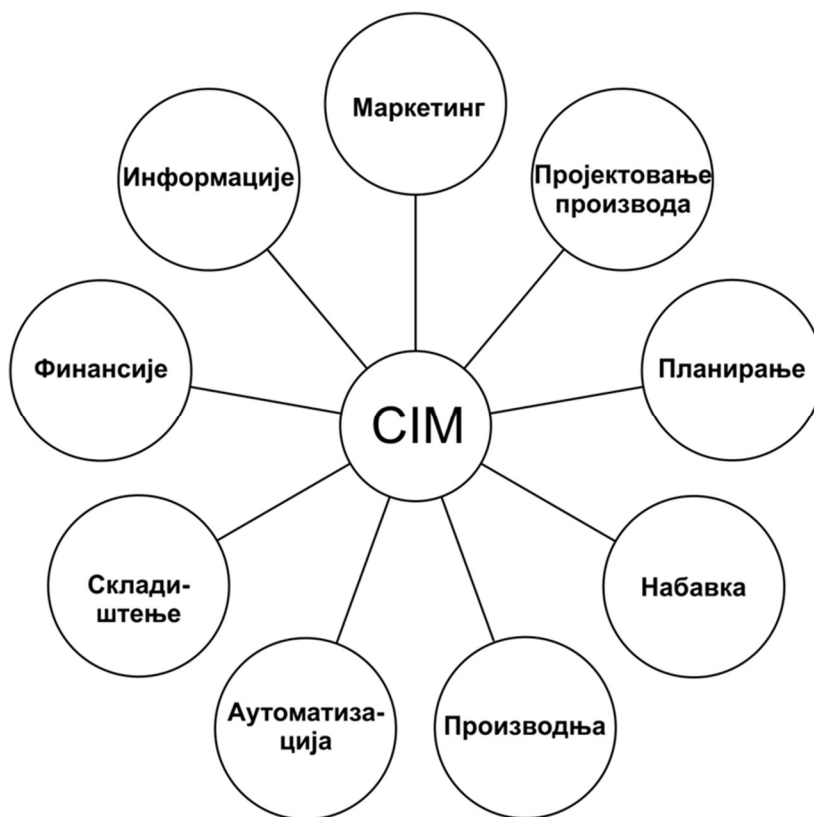
- Геометријско моделирање (CAD), успостављање полазне базе података за производ

3. Планирање

- Допуна базе података производним подацима и израда плана производње

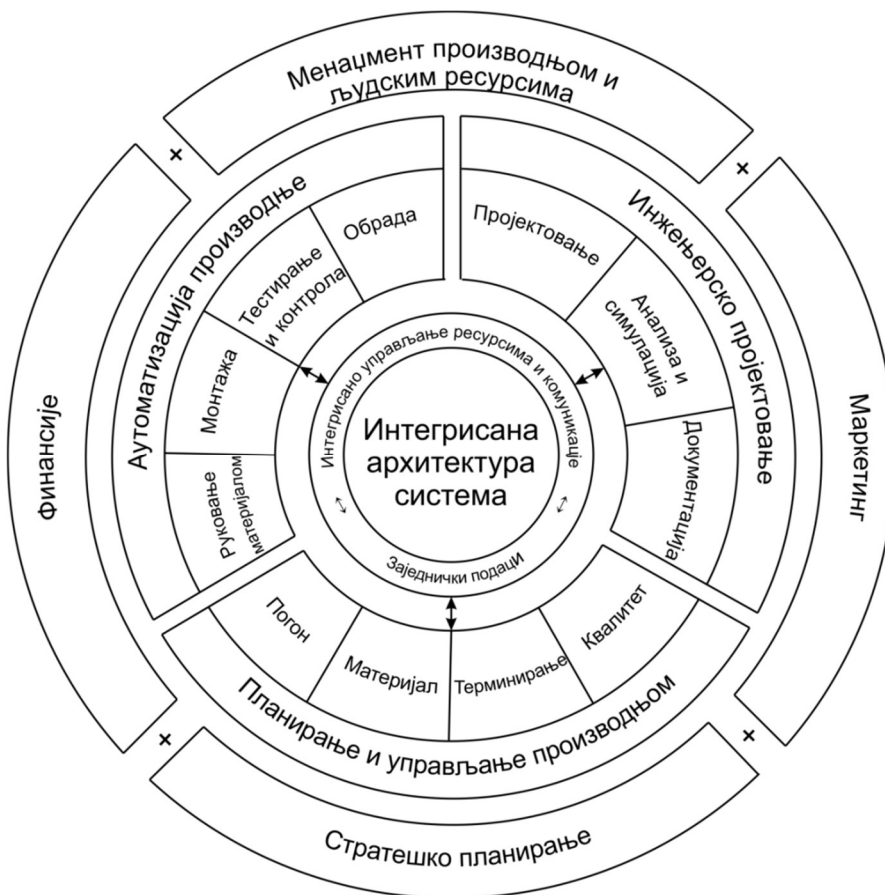
4. Набавка

5. Производно инжењерство



Слика 1.2 Главни елементи CIM система

6. Аутоматизација производње
 1. CNC машине
 2. Флексибилни технолошки системи
 3. Роботи
 4. Аутоматски системи за монтажу
 5. Компјутерски управљане мерне машине
7. Складиштење
 - Аутоматизована складишта
 - Полуфабрикати, готове компоненте, финални производи
8. Финансије
 - Планирање инвестиција, обртни капитал, токови новца, реализација наплате, књиговодство
9. Управљање информацијама
 - Главно терминирање производње, управљање базом података, комуникација, интеграција



Слика 1.3 CASA/SME CIM Точак

CIM дефиниција према CASA/SME²:

„CIM је интеграција укупног производног система кроз коришћење интегрисаних система и комуникације података спрегнутих са новим филозофијама менаџмента које унапређују организациону ефикасност и ефикасност људи.”

CASA/SME група је предложила оквир у виду CIM точка, у циљу појашњења значења CIM концепта (слика 1.3). CIM точак приказује језгро у средини (интегрисану архитектуру система), које рукује заједничким производним подацима и има задатак да управља информационим ресурсима и комуникацијама. Радијални сектори који окружују језгро представљају различите производне активности. Ове активности су груписане у три категорије (унутрашњи прстен):

1. Инжењерско пројектовање
2. Планирање и управљање производњом
3. Аутоматизација производње

² CASA/SME – „Computer and Automation Systems Association” division of the „Society of Manufacturing Engineers”

Спољашњи прстен обухвата функције вишег нивоа управљања, груписане у четири категорије:

1. Стратешко планирање
2. Маркетинг
3. Управљање производњом и људским ресурсима
4. Финансије

Често се поставља питање да ли је рачунарски интегрисана технологија концепт или технологија. CIM представља концепт, окружење, стратегију. Свакако рад у CIM окружењу се не може остварити без савремене технологије.

Главни фактори који су допринели развоју CIM концепта и одговарајућих технологија су:

1. Развој нумеричког управљања
2. Развој и ширење компјутера и њихова финансијска ефикасност
3. Производни изазови (глобална конкуренција, високи трошкови радне снаге, захтеви за квалитетним производима)
4. Однос могућности–цена код микрокомпјутера

1.3 Производни процеси

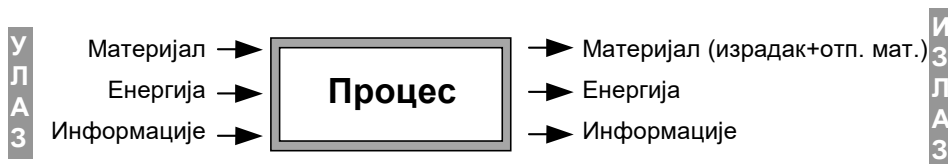
Производни процес који се одвија у оквиру производног система представља скуп међусобно повезаних активности помоћу којих се врши трансформација полуфабриката или сировина у готов производ (Калајџић, 2004). Циљ производног процеса је трансформација идеје у производ који се може продати на тржишту. Општи модел процеса приказа је на слици 1.4.

Производни процес обухвата четири групе процеса (Калајџић, 2004):

- Директне или основне процесе (конструкција производа, пројектовање технолошког процеса, израда делова, спајање и монтажа, итд.)
- Индиректне или посебне процесе (унутрашњи транспорт материјала, контрола делова, испитивање производа и др.)
- Допунске процесе (израда помоћних прибора и специјалних алата, оштрење алата, ремонт производне опреме и др.)
- Помоћне процесе (набавка, довоз и одвоз материјала и др.)

Технолошки процес је део производног процеса и састоји се од скупа међусобно повезаних активности чији је циљ трансформација полуфабриката у готове делове, подсклопове и склопове (Калајџић, 2004).

Процес директног дејства над обратком у циљу промене облика, димензија и механичких особина или монтаже делова у финални производ представља обрадни процес, односно процес обликовања. Од правилног постављања обрадног процеса и његовог компоновања у технолошки процес, у складу са расположивим средствима за производњу, зависи испуњење техничко-технолошких услова које конструктор поставља технологији, односно производњи.



Слика 1.4 Општи модел процеса

Ова груписања су у складу са редоследом добијеним према матрици на слици 2.8. Међутим, ово је идеалан случај. У пракси настају конфликти које је неопходно разрешити кроз измене приоритета у складу са расположивим машинама и функционалним захтевима.

2.5.5 Избор начина стезања и позиционирања дела

После одређивања редоследа захвата и операција, неопходно је да се одреди начин позиционирања и стезања дела која треба да обезбеде прецизно постављање дела у односу на координатни систем машине. Такође, део треба да буде чврсто стегнут, тако да спољне силе које настају у процесу резања не могу да промене позицију дела или да наруше његову стабилност.

2.5.6 Избор машина алатки

Наредни корак је избор машина алатки, одговарајућих за извођење претходно дефинисаних операција и захвата. Главни критеријуми за избор су (Wang, Halevi, 1995):

- број алата потребан за извођење различитих операција,
- величина серије,
- потребна тачност.

Доступне информације о машинама дају детаљне податке о могућностима машина, којима се технолог руководи при разматрању припремних операција, подешавања машина, трошкова машина, флексибилности итд. У савременим предузећима, базе података које, између осталог, садрже и датотеке машина омогућавају брз и адекватан избор машина.

Избор машина алатки је углавном између универзалних машина и специјалних машина. У случају универзалних машина цена радног сата је висока, подешавање алата захтева више времена, стезање дела у један стезни прибор захтева трансфер толеранција, што доводи до смањења производних толеранција и подизања трошкова производње, а могућности машине се не користе у потпуности. Са друге стране коришћење универзалних стезних прибора је економичније и машина је флексибилнија. Универзалне машине се обично користе за појединачну и малосеријску производњу.

Код специјалних машина трошкови машине су нижи, као и трошкови радне снаге. Подешавања су једноставнија, али су помоћни прибори специјални и скупљи. Такође, неопходна је промена машина током обраде дела што утиче на кумулирање толеранција. Специјалне машине се обично користе за масовну великосеријску производњу.

2.5.7 Режији обраде, времена, трошкови

После дефинисања редоследа операција и захвата и одређивања начина стезања, неопходно је одредити и следеће:

1. Тачне мере на које се врши обрада за сваки захват.
2. Режије обраде (дубина резања, корак, брзина резања, дужина обраде, тип алата, време обраде).
3. Опис мерних прибора којима ће се проверити тачност обраде.

Димензије и толеранције у производњи не морају да буду исте као у пројекту. Могуће су следеће две ситуације:

1. Мере и толеранције са цртежа се могу директно остварити током обраде дела. Ово је, на пример, случај за меру 13 ± 0.8 током обраде површине (2) за део са слике 2.3.

10

10. УПРАВЉАЊЕ ЖИВОТНИМ ЦИКЛУСОМ ПРОИЗВОДА

10.1 Увод

У индустрији, управљање животним циклусом производа (*Product Life Management – PLM*) је процес управљања читавим животним циклусом производа од његовог увођења, кроз инжењерско пројектовање и производњу, до сервисирања и одлагања произведених производа. PLM интегрише људе, податке, процесе и пословне системе и пружа информације о производима за компаније и њихова предузећа. PLM системи помажу организацијама да се суоче са све већом комплексношћу и инжењерским изазовима развоја нових производа за глобална конкурентна тржишта.

Управљање животним циклусом производа може се сматрати једним од четири камена темељца информационог система производне корпорације. Све компаније морају да управљају информацијама и комуникацијама са својим клијентима (управљање односима са купцима – CRM), добављачима (управљање ланцем снабдевања – SCM). Такође, морају да управљају ресурсима у оквиру предузећа (планирање ресурса предузећа – ERP) и планирањем и развојем производа.

На много начина, управљање подацима о производима може се посматрати као подскуп PLM-а. Управљање инжењерским (конструкционим) подацима (*Engineering Data Management – EDM*) и затим, управљање подацима о производима (*Product Data Management – PDM*) појавили су се крајем осамдесетих година прошлог века, док су инжењери у производној индустрији препознали потребу да прате растући обим датотека са конструкционим информацијама које генеришу CAD системи. PDM им је омогућио да стандардизују ставке, да чувају и контролишу документе, да одржавају конструкционе информације и саставнице, контролишу ставку, ревизије докумената и одмах виде односе између делова и склопова. Ова функција омогућава брзи приступ стандардним ставкама, саставницама производа и датотекама за поновно коришћење и извођење, смањујући ризик од коришћења нетачних верзија пројекта и повећања могућности поновне употребе постојећих информација о производу.

Управљање животним циклусом производа је систематски, контролисани концепт за управљање и развој производа и информација везаних за производ. PLM нуди управљање и контролу производа (процес развоја производа, производње и маркетинга производа) и поступак испоруке поруџбина, контролу информација везаних за производ током целог животног циклуса производа, од почетне идеје до растављања производа и

одлагања отпада. Скоро без изузетка, PDM и PLM се односе на информационе системе развијене да управљају животним циклусом производа и подацима везаним за производ.

Срж управљања животним циклусом производа је стварање, чување и одржавање информација које се односе на производе и активности компаније, како би се обезбедио брзи, једноставни и непроцењиви налаз, пречишћавање, дистрибуција и поновна употреба података потребних за свакодневне послове. Другим речима, резултати претходног рада треба да остану у употреби, без обзира на место и време, али у оквиру граница прописаних власништвом над подацима.

10.2 Подаци или информације о производу

Подаци о производу се у овом контексту односе на информације које су широко повезане са производом. Подаци о производу могу се грубо поделити у три групе:

1. Подаци који дефинишу производ
2. Подаци о животном циклусу производа
3. Метаподаци који описују податке о производу и животном циклусу

Подаци који дефинишу производ – описују физичка и/или функционална својства производа, тј. облик и функције производа. Ови подаци описују особине производа са становишта одређене странке (нпр. купца или произвођача) и повезују информације са тумачењем странке која је у питању. Ова група садржи веома прецизне техничке податке, као и апстрактне и концептуалне информације о производу и сродним информацијама. Такође, ова група информација укључује и слике и концептуалне илустрације које карактеришу производ. Дакле, мање или више, овај скуп информација може се окарактерисати као потпуна дефиниција производа. Широки спектар информација и разлика у садржају података које дефинишу производ могу лако изазвати проблеме, захваљујући различитим интерпретацијама и контекстима.

Подаци о животном циклусу производа – увек су повезани са производом и фазом испоруке производа или поруџбине. Ова група информација је повезана са технолошким истраживањима, пројектовањем и производњом, употребом, одржавањем, рециклирањем и уништавањем производа, а можда и са званичним прописима који се односе на производ.

Метаподаци – информације о информацијама. Другим речима, они описују податке о производима: какве су информације, где се налазе, у којој бази података, ко их је записао, и где и када им се може приступити. Концепти података о производима или информационом моделу и моделу производа (структура производа тј. саставница) такође су блиско повезани са подацима о производу.

Подаци о производу или информациони модел представљају концептуални модел производа у којем се информације о производу и везе између различитих информативних елемената и објеката анализирају на општем, генеричком нивоу. Подаци о производу – информације о производу који се креира – представљају срж интеграције функција и пословних процеса производне компаније. Стварање, развој, руковање, подела и дистрибуција информација повезују нематеријалну и материјалну експертизу организације. Актуелни физички производ укључује оба аспекта. Са друге стране, нематеријални производи, на пример софтвер и услуге немају физички аспект. Стога је изузетно важно покушати конкретизовати функције и карактеристике нематеријалног производа на исти ниво као и физичке производе, тј. претворити функције и карактеристике у информационе објекте којима се може управљати као физичким ентитетима.

Спољне и унутрашње функције компаније користе и производе податке о производима у свом свакодневном пословању. Унутрашње функције које производе

информације о производу укључују планирање, пројектовање и инжењерске функције повезане са производом, као и организацију набавке, производње и услуга за кориснике.

Спољне функције које производе и користе податке о производу укључују, на пример, партнере у услугама одржавања, пројектовању и инжењерингу, производњи и монтажи. Потреба за заједничким коришћењем података о производима ће се појавити најјасније у функцијама које су најближе стварном процесу производа за цели животни циклус производа – у умреженом пројектовању производа и умреженим функцијама производње и постпродајним услугама.

10.3 Концепт управљања животним циклусом производа

Управљање животним циклусом производа не односи се на одређени рачунарски софтвер или метод. То је концепт и скуп систематских метода којима се контролишу информације о производима. Идеја је да се контролише и управља процесом стварања, руковања, дистрибуције и снимања информација везаних за производ.

Управљање инжењерским подацима (EDM) које је, као концепт, прерасло у PLM, представља систематски приступ пројектовању, управљању и контроли свих информација, потребних за документовање производа током читавог животног века: развој, планирање, пројектовање, производња и коришћење. У свакодневном пословању, проблеми управљања животним циклусом производа обично постају очигледни у три различита подручја (Saaksvuori и Immonen, 2008):

1. Концепти, термини и акроними у области управљања животним циклусом производа нису јасни и нису дефинисани унутар компанија. То значи да садржај информација који је повезан са одређеним терминима није увек јасан и да су концепти коришћења информација везаних за производ још увек недовољно јасни.
2. Начин коришћења информација и формати у којима се чува и снима варирају. Информације су обично произведене у различите сврхе или у неким другим релацијама, али би требало да могу да се користе у контекстима различитим од првобитне намене за коју су креиране: у другом локалитету или чак у другој компанији. Пример може бити употреба у продаји е-пословања, структуре производа која је првобитно створена током фазе пројектовања. Недостатак интегрисаног система за обраду података често значи да се структура производа поново мора ручно уносити у систем продаје е-пословања.
3. Не може се загарантовати потпуност и доследност информација произведених у различитим јединицама, одељењима или компанијама. Овај проблем се јавља када се подаци о производу креирају и чувају на различитим медијима података или чак као папирни документи, и када стране имају различите приступе заштити и руковању информацијама. Један практичан проблем може бити разјашњавање локације најновије верзије одређеног документа. На пример, у многим компанијама сервер у локалној мрежи је место за складиштење комплетиране и објављене документације производа. Међутим, недостаци у процесима, стандардима и алатима за креирање и управљање информацијама могу проузроковати одређену ерозију модела операција у пракси. Људи и организације почињу да ажурирају исте информације локално, на сопственим радним станицама и дистрибуирају информације одатле. Нико не зна сасвим сигурно да ли се најновија верзија налази на серверу.

Данас се управљање животним циклусом производа у пракси одвија, скоро без изузетка, уз помоћ различитих система за обраду података. Могуће је решити многе, претходно описане проблеме и ситуације помоћу система за обраду података који подржавају управљање животним циклусом производа. Системи за обраду информација су се брзо развили током последњих неколико година. Ипак није било могуће уклонити све проблеме. Највећи проблеми, на практичном нивоу, најчешће резултирају из различитог начина рада, широког спектра различитих софтвера који се користе за стварање информација, функционалних разлика у софтверу и бројних интерфејса између различитих система за обраду информација.

Концепт управљања животним циклусом производа представља општи план практичног управљања животним циклусом производа у свакодневном пословању на нивоу корпорације, у одређеном пословном или производном подручју. То је компилација правила пословања, метода, процеса и смерница као и упутства о примени правила у пракси. Обично, концепт управљања животним циклусом производа обухвата следеће области (Saaksvuori и Immonen, 2008):

1. Термини и скраћенице које се користе, као што су: дефиниција производа, животни циклус, фазе животног циклуса итд.
2. Модели информација о производима и модели производа
3. Дефиниција производа и информације везане за производ (ставке, структуре, документа везана за производ, дефинисање информација о производу, итд.)
4. Пракса и принципи управљања животним циклусом производа који се користе и примењују у предузећу (како се управља производима током целог њиховог животног циклуса, идентификација принципа управљања информацијама, принципи додељивања верзија, статуси информација, итд.)
5. Процеси везани за управљање производима и процеси управљања информацијама о производу
6. Упутства о примени концепта у свакодневном послу

Значај изградње оваквог концепта информација о производу лежи у потреби постављања заједничких пословних правила за целокупну корпорацију и њене пословне и производне области. Пажљиво одређени концепт омогућава остваривање синергије између пословања и између производа. Заједнички концепт информације о производу омогућава несметану и брзу имплементацију процеса и пракси везаних за PLM, јер су кључне области информација договорене на заједничким и концептуалним нивоима. Дobar PLM концепт никада није статичан, он наставља да се развија у складу са пословањем и захтевима пословања.

10.3.1 Ставке

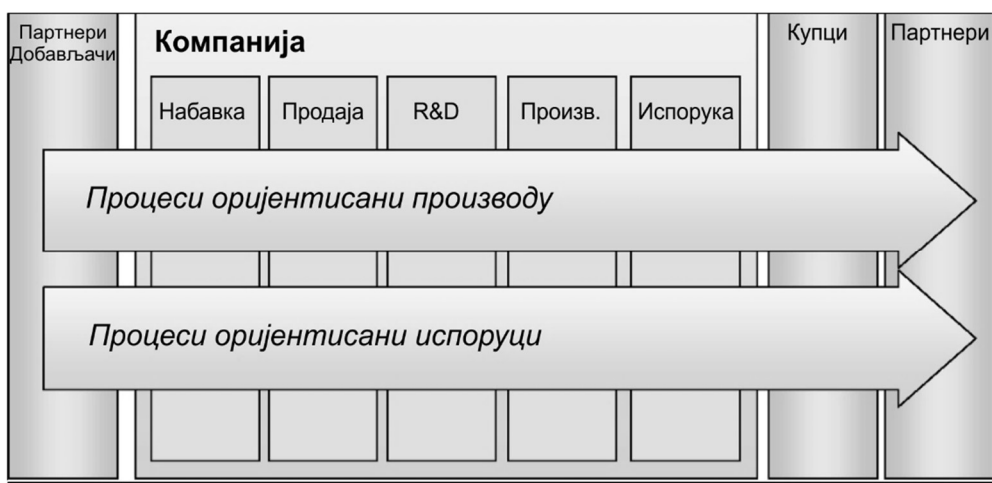
Развој управљања животним циклусом производа и употреба различитих система управљања животним циклусом производа, у великој мери се заснивају на коришћењу ставки. Ставка представља јединку која омогућава да се систематски и на стандардан начин идентификације, кодира и назове производ, елемент производа или модула, компонента, материјал или услуга. Ставке се такође користе за идентификацију докумената. Дакле, значење ставке зависи од специфичних потреба и производа сваке компаније. Осим горе поменутог, ствари као што су паковање, алати, калупи, стезни прибори и софтвер, могу такође бити ставке. Рачунарски софтвер који се користи у производњи и NC софтвер за машине алатке, такође често представљају ставке. Са аспекта управљања животним циклусом производа, неопходно је да ставке и њихова класификација буду уједначени унутар сваке компаније. Такође је неопходно да предмети формирају одвојене класе, подкласе и групе на одговарајућем нивоу детаљности, према сопственим или, алтернативно, ширим међународним стандардима.

Јасно и логично груписање ставки у различите класе олакшава управљање и проналажење појединих ставки. С друге стране, сувише прецизна класификација успорава оперативне процесе и знатно повећава количину рада потребног за управљање ставкама. Ставке могу бити и нематеријалне (нпр. софтвер или услуге), а користе се исто као и у производњи. Када се користи PLM систем за подршку PLM процесима, природно је да се користе ставке. У пракси ово значи да се функције и форме софтвера или услуга морају трансформисати у ставке, тј. да буду кодиране, именоване и класификоване.

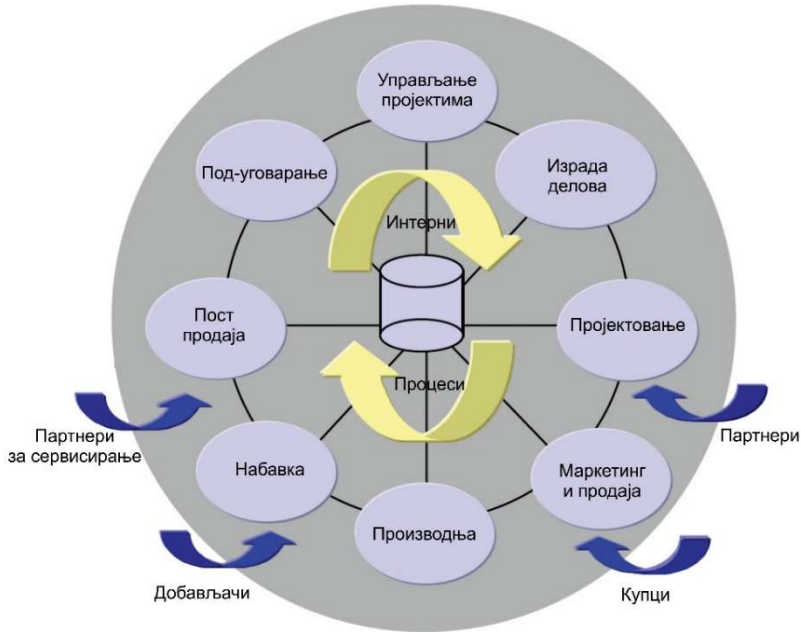
10.4 Системи за управљање животним циклусом производа

Систем за управљање животним циклусом производа представља систем за обраду информација или скуп IT система који интегришу функције читаве компаније. Ова интеграција се обавља путем повезивања, интеграције и контроле пословних процеса компаније и произведених производа помоћу података о производима. PLM се може посматрати као оперативни оквир рачунарски интегрисане производње (Computer Integrated Manufacturing – CIM). Другим речима, то је систем или скуп система који интегришу функције читаве компаније уз помоћ информационе технологије. Специјализовани информациони систем може бити врло ефикасан у својој области, али такви системи обично узрокују уска грла на другим местима у токовима података компаније и на нивоу практичне имплементације у корпоративним IT системима. Најважнији пословни процеси, процеси производње и процеси испоруке у производној индустрији, међусобно су функционално повезани. Задатак PLM-а, у једном смислу, јесте да обезбеди неопходне услове за повезивање одвојених информационих система, процеса и острва аутоматизације. Поред тога, PLM систем би требало да управља широким спектром информационих система и да на тај начин доведе до постизања потпуне интеграције.

Слика 10.1 илуструје основне процесе индустријског предузећа. Показује како су основни процеси унакрсни и функционално испреплетани. Слика 10.2 илуструје како је PLM систем позициониран као заједничка и централна база података у оквиру процесно оријентисаног производног предузећа (Saaksvuori и Immonen, 2008).



Слика 10.1 Основни процеси и функционалне вертикале индустријског предузећа



Слика 10.2 Свеобухватност функција и својстава PLM система

Типичне функције оваквих система укључују:

1. *Управљање ставкама* – једна од основних функција PLM система је управљање ставкама. Систем контролише информације о ставци, њеном статусу, као и процесе везане за креирање и одржавање ставки.
2. *Управљање и одржавање структуре производа* – PLM систем идентификује појединачне информације и њихове везе са другим информацијама помоћу структуре производа, која се састоји од ставки које су хијерархијски повезане.
3. *Управљање привилегијама корисника* – PLM систем се користи за дефинисање права приступа информацијама. Такође, дефинише људе који могу да креирају нове информације или да направе, провере и прихвате промене и оне којима је дозвољено само прегледање информација или докумената у систему.
4. *Одржавање стања или статуса докумената и ставки* – систем чува информације о стању и верзији сваког документа и ставке (нпр. скица, нацрт, прихваћен, дистрибуиран, застарео) и о њиховим променама: шта је измењено, када и ко је направио измену.
5. *Проналажење информација* – један од главних задатака PLM система је проналажење информација. PLM системи интензивирају и олакшавају проналажење информација, тако да је:
 - а. При креирању нове информације могуће искористити постојеће информације боље него раније. Свим постојећим информацијама о датом субјекту, као што је одређени производ, може се лако приступити (документима, компонентама, пројектном решењу доказаног квалитета).

- b. Могуће лако сазнати како се одређени део информација односи на друге информације, на пример, може се сазнати где се још користи дато решење, део или склоп. (Ово је веома важно за управљање променама – када се имплементирају промене у овом делу информација).
6. *Менаџмент променама* је алат којим се најновије важеће информације о променама, као што су промене верзије производа или компоненте, евидентирају у документима или ставкама, које се онда дају на располагање на правом месту и у право време.
 7. *Управљање конфигурацијом* – варирање физичких особина сличних производа и комбиновање међусобно замењивих склопова или компоненти. Управљање конфигурацијом омогућава прилагођавање производа жељама потрошача.
 8. *Управљање задацима (порукама)*, познато и као управљање токовима рада, једна је од основних особина PLM система. Комуникација и подела задатака обавља се графичком илустрацијом ланца задатака и путем е-поште или преко листе задатака. Управљање задацима омогућује радикално интензивирање комуникације у организацији, посебно у децентрализованом окружењу.
 9. *Управљање датотекама/документима* укључује информације о индексима датотека у систему. Другим речима, питање метаподатака је информација о томе где се налазе информације.
 10. *Превенција губитка информација током ажурирања*. PLM систем контролише копирање датотека и осигурава да се главна копија чува све док се датотеке не ажурирају успешно.
 11. *Управљање Васкир-ом* – систем аутоматски креира резервне копије.
 12. *Историја/системски дневник* – база догађаја која осигурава да се све мере, као што су ажурирање докумената или промена компоненти, урађене у сфери управљања PLM-ом, могу пратити, ако је то потребно (следљивост процеса оријентисаних производу).
 13. *Банка података*. Систем такође садржи банку података или место за складиштење датотека. То је место на коме се подаци снимају. Банка података се обично налази у близини групе особа које креирају, ажурирају и управљају датотекама (систем администратори). У пракси, банка података је сервер на истој локалној мрежи. Датотекама на PLM системском серверу управља систем тако да се одржавају тачни и контролисани принципи ревизије, корисничке привилегије и информација.

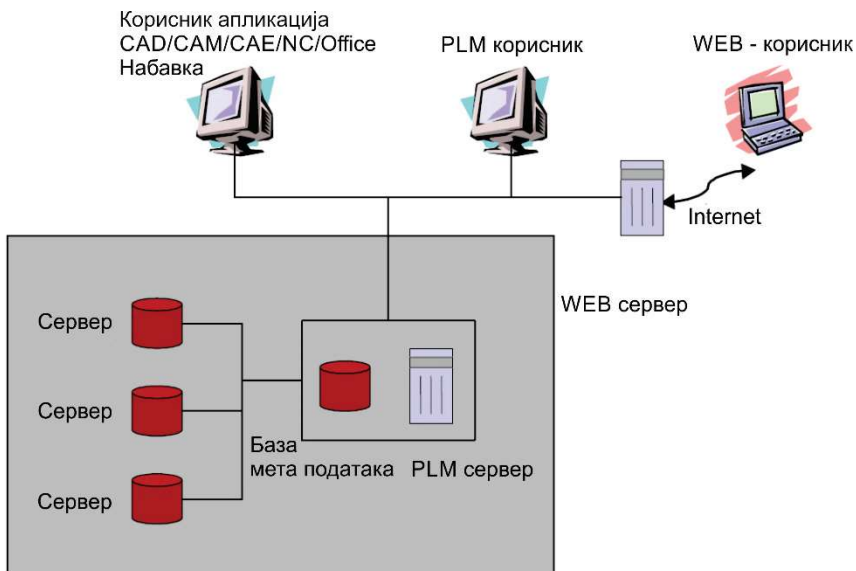
Сервери су, најчешће, децентрализовани унутар рачунарске мреже компаније, тако да се датотеке могу брзо испоручивати корисницима и апликацијама којима су највише потребне. У таквим случајевима, PLM систем мора такође бити распоређен на више фајл сервера, који увек морају имати исту верзију сваке датотеке.

10.5 Архитектура система

Комерцијални PLM системи имају много заједничких карактеристика. Сви системи садрже одређене карактеристике, функције и технике, које су функционално идентичне без обзира на систем. Такве независне функционалне јединице укључују:

- **Банку података** као централизован систем за чување података и датотека или, у пракси, концентрисана база података, обично сервер или скуп сервера. Другим речима, то је складиште за информације које се чувају у датотекама. Овакве информације се састоје од докумената у различитим фазама њиховог животног циклуса, као што су CAD цртежи, који су прихваћени и спремни да буду пуштени у дистрибуцију, или друге врсте докумената као што су Microsoft Word датотеке.
- **Базу метаподатака** која је потребна да би се одржала структура читавог система. Задатак базе метаподатака је да се бави односима између појединачних података о производу, структури информација и правила и принципа потребних за обезбеђивање систематског снимања информација. База метаподатака води евиденцију података о производима произведеним од стране различитих система и апликација које функционишу у сфери PLM-а.
- **Апликације** које извршавају PLM функције управљања базама информација и метаподатака и кориснику се јављају у виду различитих корисничких интерфејса. Задатак софтвера је да омогући све функције PLM -а, преносе података и конверзије у складу са принципима PLM-а. PLM апликација такође делује као веза између различитих апликација и система унутар сфере PLM-а и омогућава повезивање између засебних база података. Слика 10.3 илуструје основну системску архитектуру PLM система. Показује како су функционални кључни елементи система повезани једни са другима. PLM апликација управља верзијама: систем идентификује различите верзије исте датотеке на основу њихове измене или неког другог кључа.

Слика 10.3 (Saaksvuori и Immonen, 2008) илуструје основну системску архитектуру PLM система. Показује како су кључни функционални елементи система повезани једни са другима. PLM апликација има могућност управљања верзијама: систем идентификује различите верзије исте датотеке на основу времена ажурирања или неког другог жељеног кључа. Међутим, PLM систем не може да интерпретира садржај датотека



Слика 10.3 Пример PLM архитектуре

које контролише. Корисник мора уносити потребне податке (нпр. име датотеке, име творца, линк ка структури производа – другим речима, метаподатке), приликом креирања датотеке на систему. С друге стране, систем може аутоматски да произведе и идентификује информације, уколико су за то направљене неопходне специфичне процедуре. Пример овога може бити извлачење информација из заглавља CAD цртежа. Друга заједничка својства PLM апликација укључују управљање прихватањем и издавањем произведених докумената и управљање процесима промена.

У многим PLM системима се на основу документа или типа датотеке креира веза или асоцијација са апликацијом коју треба користити за правилно руковање датотеком. PLM систем, такође, садржи програме за конверзију информација, који се могу користити за претварање података о производима у други или општи формат за преглед од стране корисника система. Скоро сваки PLM систем садржи интерфејс за електронску пошту или може да користи постојећи систем компаније. Упркос овим општим карактеристикама, које су заједничке за све системе, постоје значајне разлике између различитих система и системских архитектура.

Модерни PLM системи заснивају се на објектно оријентисаној архитектури и технологији у којој су различити типови докумената или датотека садржани као објекти. Сваки објекат припада сопственој класи објеката, који PLM апликације обрађују по одговарајућем правилу.

10.6 Информациони модели и структуре производа

10.6.1 Информациони модел

Информациони модел је концептуални модел који описује односе између најважнијих ентитета информација у корпорацији. Великим корпорацијама обично је потребан низ информационог модела, као што су модели информација о купцима, модел информација о производу, модел финансијске информације и модел информација о испоруци, како би се дефинисали потребни делови информација које треба подржати, на пример, управљање производима и корисничким информацијама. Основна сврха оваквог информационог модела највишег нивоа је да опише какви су односи између под-модела информација (слика 10.4).

10.6.1.1 Информације о производу

Модел информација о производу је концептуални модел који анализира информације о производу и њихов однос са другим информацијама, описујући их формално и пажљиво. Информације о производу и везе између информација се описују само на концептуалном нивоу. Функција информационог модела података за производ је анализа производа на општем нивоу, кроз одређивање заједничких особина производа и заједничких форми информација и формирање генеричког модела података за производ, који је погодан за све појединачне случајеве на општем нивоу. Најважнија функција информационог модела за производ је описивање потребних ентитета информација и њихов значај са становишта производа. На пример, производ мора бити састављен од једног или више модула, модул мора бити састављен од једне или више ставки, одређени типови модула се не могу повезати заједно, итд.

10.6.1.2 Модел производа

Модел производа – општа структура производа за одређени појединачни производ – садржи информације о појединачном производу, снимљене и уређене према моделу података о производу. Модел производа се назива и генеричка структура производа. Другим речима, ова структура производа се односи на општи концепт производа, а не на конкретни производ. Међународни стандард за размену података о

моделу производа STEP (*Standard for the Exchange of Product Model Data*) користи опис података о производима на нивоу концептуалних модела.

10.7 Разлози за увођење PLM система

Системи управљања животним циклусом производа примењују се у различитим компанијама из различитих разлога. Они се разликују у зависности од гране привреде којом се компанија бави, производа које производи, а изнад свега од тога шта корисник жели да постигне системом. PLM систем доноси изузетно корисне алате и методе за решавање проблема у управљању животним циклусом производа. Међутим, погрешно је очекивати да сам систем решава проблеме управљања подацима. За једну компанију, PLM систем није ништа више од алата за побољшање ефикасности свакодневног пословања. Другима то је инвестиција која ће помоћи компанији да преузме међународна тржишта. Управљање животним циклусом производа наставља да се развија док га све више компанија имплементира. Ово је узроковано сложенешћу и великом количином података који се односе на креирање, одржавање и испоруку производа. Све већа глобална конкуренција захтева да се производи производе брже, економичније и да што више буду прилагођени жељама купаца. Компаније морају увек да траже нове начине да реше своје свакодневне проблеме. Купци очекују све боље и напредније особине од производа. Због тога су сами производи и њихови производни процеси постали сложенији, иако је често било могуће поједноставити производе развијањем процеса и индустријског дизајна, на пример стандардизацијом и применом концепта групе технологије. Комплексни производи су присилили компаније да се специјализују, а велике групе стручњака су везане за пројектовање и планирање производа. Развој квалитета производа и њихових производних процеса је неопходан у међународној конкуренцији. Отпад и лош квалитет не могу се толерисати.

Према истраживањима 80-90% времена потребног да нови производ изађе на тржиште, утроши се у фази планирања и развоја производа. Ако компанија жели значајно да скрати време до изласка производа на своје тржиште, напори морају да се усредсреде на фазу планирања и развоја, где се могу остварити најважније уштеде. Истраживања у овој области довела су, између осталог, до концепта конкурентног инжењерстава (*Concurrent Engineering*) и идеје да се функције компаније могу повезати помоћу рачунарски интегрисаних технологија (СІМ), другим речима, уз помоћ информационих технологија. PLM је драгоцено средство у овом развоју. Тренд у прерађивачкој индустрији током последњих неколико година био је да се концентрише на властиту експертизу – основну делатност. То је значило да су подручја рада изван сржи пословне стратегије пренесена на спољне странке или организације. Створени су под-уговорачки ланци, асоцијације, партнерски односи и компаније специјализоване у некој уској области пословања, као што су израда уговора, маркетинг или документација цртежа радионица. Кооперантска предузећа формирају мрежу, у оквиру које кооперанти управљају одређеним областима. Ефикасно управљање оваквом врстом мреже захтева напредна решења у области информационих технологија јер мрежна економија знатно повећава потребу за преносом података и координираним управљањем. Једно решење може бити коришћење PLM система. Компаније које послују у умреженом пословном окружењу морају бити у могућности да изврше промене производа и брзо пронађу потребне информације. Поуздана и ефикасна комуникација је услов опстанка компанија.

ЛИТЕРАТУРА

1. Alavudeen, A., Venkatereshwaran, (2011) Computer Integrated Manufacturing, PHI Learning Private Limited, New Delhi.
2. AlGeddawy, T., ElMaraghy, H., (2013) Determining Granularity of Changeable Manufacturing Systems Using Changeable Design Structure Matrix and Cladistics, *Journal of Mechanical Design* 137 (4).
3. AMP-STEP Newsletter, "What is GPPE?", (1993) Volume 1, Number 1, South Carolina Research Authority, September, pp. 1–3.
4. Антић, В., (2010) Моделирање и симулација технолошких система заснованих на агентима. Магистарски рад, Машински факултет Београд.
5. Alpay S. (2007) Agent based dynamic job shop simulation system, in Okuno H.G. and Ali M. (eds.) EA/AIE 2007, LNAI 4570, Springer-Verlag, pp. 364–373.
6. Бабић, Б., Милер, А., Милачић, В., (1984) Примена симулације и колор графике при пројектовању ФТС, IV југословенски симпозијум „Нове технологије у стратегији технолошког развоја индустрије прераде метала”, Зборник радова (pp 360–367).
7. Бабић, Б., Милачић, В., (1988) Један приступ развоју ФТС симулатора, VII југословенски симпозијум „СИМ у стратегији технолошког развоја индустрије прераде метала”, Зборник радова (pp 77–81), Цавтат.
8. Бабић Б., (1994) FLEXY – интелигентни експерт систем за пројектовање ФТС, монографија, Машински факултет Београд.
9. Babić B., Milačić V., Čović N., (1995) FLEXY – Intelligent System for FMS Design, *The First World Congress on Intelligent Manufacturing Processes & Systems*, Proceedings (pp. 93–104), Puerto Rico.
10. Babić B., (1996) Development of an Intelligent CAD-CAPP Interface, *International Conference on Intelligent Technologies in Human - Related Sciences ITHURS'96*, Proceedings vol. II (pp.351–357), Leon – Spain.
11. Бабић Б., (1996) Развој интелигентног CAD-CAPP интерфејса, 22. Јупитер конференција, (стр. 2.7–2.12), Београд.
12. Babić B., Miljković Z., (1997) Feature Recognition as the Basis for Integration of CAD and CAPP systems, *The Second World Congress on Intelligent Manufacturing Processes & Systems*, Proceedings (pp. 596–601), Budapest.
13. Бабић, Б., (1998) Формирање ћелија при пројектовању флексибилних технолошких система, 26. ЈУПИТЕР конференција, (стр. 3.49–3.54), Златибор.
14. Babić, V., (1999a) Axiomatic design of flexible manufacturing systems, *International Journal of Production Research*, Vol. 37, No. 5, (pp. 1159–1173).
15. Бабић, Б., (1999б) Примена симулације у пројектовању флексибилних технолошких система, YUINFO '99, Копаоник.
16. Babić, B., Putnik, G., (1999) A hierarchical model of distributed simulation of manufacturing systems, *International Conference on Advances in Production Management Systems APMS '99*, Kluwer, Berlin.

17. Бабић Б., (2000) Архитектура за симулацију дистрибуираних технолошких система, VII Међународна конференција флексибилне технологије – MMA 2000, (стр. 111–112), Нови Сад.
18. Babić B., (2000) Multi-agent architecture for Simulation of Distributed Manufacturing Systems, Journal of Applied Computer Science – Special Issue: Selected Applications of Artificial Intelligence, Vol. 8 No. 2, (pp. 119–130).
19. Бабић Б., Миљковић З., (2002) Нови приступ пројектовању технолошких процеса, 28. ЈУПИТЕР конференција, (стр. 3.109–3.112), Београд.
20. Babić B., (2002) Architecture of distributed simulation system, International Conference on Manufacturing Engineering (ICMEN) (ed. K.-D. Bouzakis), (pp. 357–363), Greece.
21. Бабић, Б., Калајџић М., (2003) Мрежна производња, 29. ЈУПИТЕР Конференција, (pp. 4.5–4.8), Београд.
22. Бабић Б., (2004) Пројектовање технолошких процеса, Машински факултет Београд.
23. Babić B., Nešić N., Miljković Z., (2008) A review of automated feature recognition with rule-based pattern recognition, Computers in Industry, Vol. 59 No. 4, (pp. 321–337),
24. Babić B., Nesic N, Miljkovic Z.,(2011) Automatic Feature Recognition Using Artificial Neural Networks To Integrate Design And Manufacturing: Review Of Automatic Feature Recognition Systems, AI EDAM – Artificial Intelligence for Engineering Design Analysis and Manufacturing, vol. 25, (3), (pp. 289–304).
25. Babić B., Miljkovic Z, Vukovic N, Antic V., (2012) Towards Implementation and Autonomous Navigation of An Intelligent Automated Guided Vehicle in Material Handling Systems, Iranian Journal Of Science And Technology-Transactions Of Mechanical Engineering, vol. 36, (M1), (pp. 25–40).
26. Babić J., Kalajdžić M., Babić B., (2002) A Fully Integrated Process Planning System for Rotational Parts, International Conference on Manufacturing Engineering (ICMEN) (ed. K.-D. Bouzakis), (pp. 365–372), Greece.
27. Banks, J., Carson, J., Nelson, B., Nicol, D., (2010) Discrete-Event System Simulation, 5th Edition. Pearson UK.
28. Bradford S., *et al.*, (1988) Initial Graphics Exchange Specification (IGES), Version 4.0, U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards.
29. Borshchev, A., (2016) The Big Book of Simulation Modeling: Multimethod Modeling with AnyLogic 6, Kindle Edition.
30. CAM-I (1988) XPS-E Revisited: A New Architecture and Implementation Approach for Automated Process Planning Systems, CAM-I DR-88-PP-02.
31. CAM-I, Inc., (1976) CAPP 2.1 User's Manual, #PS-76-PPP-03, CAM-I Inc, Arlington, Texas.
32. Carrie, A., (1988) Simulation of Manufacturing Systems, John Wiley & Sons Ltd., Great Britain.
33. Chang, T. C., (1990) Expert Process Planning for Manufacturing, Addison-Wesley Publishing Company, USA.
34. Chang, T-C, Wysk, R. A., Wang, H-P, (1998) Computer-Aided Manufacturing, Prentice Hall.
35. Chen, A. M., Milner, D., (1982) Direct Clustering Algorithm for Group Formation i Cellular Manufacturing, *Journal of Manufacturing Systems*, 1 (1)

36. Домазет, Д., (1992) „Експертни систем за пројектовање технолошких процеса за ротационе делове – XROT”, XVIII ЈУПИТЕР конференција, Копаоник.
37. Домазет, Д., Манић, М., Трајановић, Д., Мишић, Д., (1994) „Концепт универзалне софтверске платформе за развој CAPP система”, 25. Саветовање производног машинства Југославије, Београд.
38. ElMaraghy, H., (1993) „Evolution and Future Perspectives of CAPP”, *Annals of the CIRP*, Vol. 42, No. 2, (pp. 739–751).
39. Eversheim, W., Schneewind, J., (1993) „Computer-Aided Process Planning – State of the Art and Future Development”, *Robotics & Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 10, No. 1/2, (pp. 65–70).
40. Feru, F., Cocquebert, E., Chaouch, H., Deneux, D., Soenen R., (1992) Feature-Based Modeling: State of the Art and Evolution, *Manufacturing in the Era of Concurrent Engineering*, (G. Halevi, R. D. Weil Eds.), Elsevier Science Publishers B. V. (pp. 29–49).
41. Гатало, Р., (1978) Прилог развоју интегралног система за аутоматско пројектовање ротационих израдака и њихове технологије израде у металопрерађивачкој индустрији, докторска дисертација, ФТН Нови Сад.
42. Gatalo, R., Rakecki, J., *et al*, (1983) „Automatic design of the technological for NC lathes by use of SAPOR-S system”, *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 21, No. 2, (pp. 197-213).
43. Гатало, Р., (1986) „Аутоматизација поступака пројектовања, извод резултата истраживања на подпројекту”, Зборник радова института за производно машинство, Нови Сад.
44. Гатало, Р., Ходолич, Ј., *et al*, (1985) „Аутоматско пројектовање технолошког процеса за машине са нумеричким управљањем у склопу тенденција развоја CAD/CAP/CAM система”, Зборник радова института за производно машинство, Нови Сад.
45. Grigoryev, I., (2016) AnyLogic in 7 days, AnyLogic Personal Learning Edition.
46. Goldman, S., Nagel, R., and Preiss, K., (1995) *Agile Competitors and Virtual Organizations*, Van Nostrand Reinhold, New York.
47. Groover, M. P., (1992) *Fundamentals of Modern Manufacturing*, Prentice Hall, USA.
48. Groover, M. P., (2015) *Automation, Production Systems and Computer-Integrated Manufacturing*, 4th edition, Pearson international.
49. Gu, Z., Zhang, Y. F., Nee, A. Y. C., (1995) Generic form feature recognition and operation selection using connectionist modelling, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 6, (pp. 263–273).
50. Halevi G., Weil R. D., (1995) *Principles of Process Planning*, Chapman & Hall, UK.
51. Ham, I., Lu, C. Y., (1988) Computer-Aided Process Planning: The Present and the Future, *Annals of the CIRP*, 37(2), (pp. 1–11).
52. Henderson M. R., Anderson D. C., (1984) Computer Recognition and Extraction of Form Features: A CAD/CAPP Link, *Computers in Industry*, vol.5, (pp. 329–339).
53. Herman, A., Lawley, M., Lui, S., Mattox, D., (1993), „An Opportunistic Approach to Process Planning within a Concurrent Engineering Environment”, *Annals of the CIRP*, Vol. 42, No. 1, (pp. 545–548)
54. Iwata, K., Fukuda, Y., (1987) KAPPS: Know-how and Knowledge Assisted Production Planning System in the Machine Shop, 19th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Pennsylvania State University, USA.

55. Joshi, S., Chang T. C., (1988) Graph based heuristics for recognition of mechanical features from 3-D solid model, *Computer Aided Design*, 30(2), (pp. 16–31).
56. Калајџић М., Миљковић З., Бабић Б., (2003) Технолошко препознавање базирано на вештачким неуронским мрежама, 8th International conference on flexible technologies MMA 2003, (pp. 91–92), Нови Сад.
57. Калајџић, М., (2004) Технологија машиноградње, Машински факултет, Београд.
58. Калајџић, М. (редактор), Тановић, Лј, Бабић, Б., *et al.*, (2004), Технологија обраде резањем – приручник, Машински факултет, Београд.
59. Kalpakjian, S., Schmid, R. S., (2010) *Manufacturing Engineering and Technology*, Prentice Hall.
60. Kanumury, M., Shah J., Chang, T-C, (1988) „An Automatic Process Planning System for a Quick Turnaround Cell – An Integrated CAD and CAM System”, *Proceedings of the USA–Japan Symposium on Flexible Automation – Crossing Bridges: Advances in Flexible Automation and Robotics*, Minneapolis, (pp. 861–868).
61. Kayacan, M. C., Filiz, I. H., Sönmez, A. I., Baykasoğlu, A., Dereli, T., (1996) „OPPS-ROT: An Optimised Process Planning System for Rotational Parts”, *Computers in Industry*, 32, (pp. 181–195).
62. Кикојевић-Бабић Јасмина, (2002) Развој система за аутоматизовано пројектовање технолошких процеса за класу ротационих делова, магистарски рад, Машински факултет, Београд
63. King, J. R., (1980) Machine-component grouping in production flow analysis: an approach using a rank order clustering algorithm. *International Journal of Production Research*, 18 (2), (pp. 213–232).
64. King, J. R., (1982) Machine-component group formation in group technology: Review and extension. *International Journal of Production Research*, 20 (2), (pp. 117–133).
65. Koren, Y., and Shpitalni, M. (2010) „Design of reconfigurable manufacturing systems”, *Journal of Manufacturing Systems*, 29 (4), (pp. 130–141)
66. Macal C. M., North M. J. (2006), *Introduction to agent-based modeling and simulation*, MCS LANS Informal Seminar,.
67. Манић М., Мишић Д., Ђуричић З., (2002) „Објектна база знања CAPP система” YU INFO2002, Копаоник.
68. Mantyla, M., (1993) Representation of Process Planning Knowledge for Part Families, *Annals of the CIRP Vol. 42/1/1993*, (pp. 561–564).
69. Mejabi, O., (1988) „Modeling in Flexible Manufacturing Systems Design”, PhD Dissertation, Lehigh University, Bethlehem, PA.
70. Милачић, В., Бабић Б., *et al.*, (1984) Развој система за аутоматско пројектовање технологије за потребе „Гоше”, *III југословенски симпозијум Нове технологије у стратегији технолошког развоја индустрије прераде метала*, (стр. 152–162).
71. Милачић, В., Вељовић, А., Бабић Б., *et al.*, (1984) Примена система за аутоматско пројектовање технологије на примеру цевастих затварача, *III југословенски симпозијум Нове технологије у стратегији технолошког развоја индустрије прераде метала*, (стр. 368–390), Цавтат.
72. Милачић, В., (1987) Теорија пројектовања технолошких система, Машински факултет, Београд.

73. Milačić, V., Urošević, M., Veljović, A., Miler, A., Race, I., (1987) SAPT – Expert System Based on Hybrid Concept of Group Technology, *19th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems*, Pennsylvania State University, USA.
74. Milačić, V., Babić, B., (1988) A Contribution to the Simulation and Optimization Method for FMS, *20 International CIRP Seminar on Manufacturing Systems*, Tbilisi.
75. Milačić, V., (1997) Knowledge Theory for Manufacturing Engineering, *The Second World Congress on Intelligent Manufacturing Processes & Systems*, Proceedings (pp. 567–582), Budapest.
76. Miljković Z., Babić B., Kalajdžić M., (2002) Manufacturing similarity identification in group technology design based on the “ART-1 simulator”, *International Conference on Manufacturing Engineering (ICMEN)*(ed. K. D. Bouzakis), (pp. 325–335), Greece.
77. Miljkovic Z., Vukovic N., Mitic M., Babic B., (2013) New Hybrid Vision-Based Control Approach for Automated Guided Vehicles, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 66, br. 1–4, str. 231–249.
78. Митрофанов, С. П., (1959) Научне основе групне технологије, Лениздат.
79. Monostori, L., Váncza, J., Kumara, S. R. T., (2006) Agent-based systems for manufacturing. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 55(2), (pp. 697–720).
80. Muther, R., Hales, L., (2011) *Systematic Planning of Industrial Facilities*, Third Edition, Management & Industrial Research Publications.
81. Muther, R., Hales, L., (2015) *Systematic Layout Planning*, Fourth Edition, Management & Industrial Research Publications.
82. Nolen, J., (1989) *Computer Automated Process Planning for World-Class Manufacturing*, Marcel Dekker Inc., New York
83. Opas, J., Kanerva, F., Mantyla, M., Automatic Process Plan Generation in an Operative Process Planning System, *International Journal of Production Research*, Vol. 32, No. 6, (pp. 1347–1363).
84. Пилиповић, М., Бабић, Б., (1994) Симулација у пројектовању ФТС, 25. *Саветовање производног машинства Југославије*, Зборник радова (стр. 483–490), Београд.
85. Putnik, G., Rosas, J. A., (1997) *Manufacturing System Simulation Model Synthesis: Towards Application of Inductive Inference*.
86. Qiao, B., Zhu, J., *Agent-Based Intelligent Manufacturing System for the 21st Century*, www.shaping-the-future.de/pdf_www/152_paper.pdf
87. Ranky, P. G., (1983) *The Design and Operation of FMS*, IFS (Publications) Ltd., UK.
88. Russell, S., Norvig, P., (2014) *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, Prentice-Hall, Inc.
89. Santochi M., Giusti F., (1987) „PICAP: a Fully Integrated Package for Process Planning of Rotational Parts”, *Manufacturing Systems*, Vol.16, No.3.
90. Salomons, O., (1996) *Computer Support in the Design of Mechanical Products*, Doctoral thesis, University of Twente.
91. Saaksvuori, A., Immonen, A., (2008) *Product Lifecycle Management*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
92. Schmidt, B., (1987) *The Simulator GPSS-FORTRAN Version 3*, Springer-Verlag.

93. Sheng, P., Srinivasan, M., (1995) Multi-Objective Process Planning in Environmentally Conscious Manufacturing: A Feature-Based Approach, *Annals of the CIRP*, Vol. 44/1/1995 (pp 433-437).
94. Sreevalsan, P. C., Shah, J. J., (1991) Unification Of Form Features Definition Methods, IFIP WG5. 2, Workshop on Intelligent CAD, Columbus, Ohio.
95. Solberg, J. J., (1981) „Capacity Planning with a Stochastic Workflow Model,” *AIIE Transactions*, Vol. 13, No. 2, (pp. 116–122).
96. Стошић Д., Бабић Б., (2002) Пројектовање технологије применом рачунара – систем развијан на принципима групне технологије, 28. ЈУПИТЕР конференција, (pp. 3.109–3.112), Београд.
97. Стошић Д., Бабић Б., Ивановић Р., Поповић М. (2004) Трансформисање постојећег CAPP система за вишекорисничко окружење, 30. ЈУПИТЕР конференција, (CD-ROM pp. 4.39–4.44), Београд, ISBN 86-7083-488-X.
98. Shen W., Maturana F., Norrie D. H. (1998) Learning in agent-based manufacturing systems, *Proceedings of Artificial Intelligence and Manufacturing Workshop*.
99. Suh, N. P. (1990) *The Principles of Design*, Oxford University Press, New York.
100. Šolaja, V., Urošević S. (1973) The method of hypothetical G.T. production lines, *Annals of the CIRP*, Vol. 22/1/1973, (pp. 145).
101. Ta-Ping L., Yuehwen Y., (2001) An agent-based production control framework for multiple-line collaborative manufacturing, *International Journal of Production Research*, Vol. 39, no. 10, (pp. 2155–2176).
102. Tempelmeier, H., Kuhn, H., (1993) *Flexible Manufacturing Systems – Decision Support for Design and Operation*, John Wiley & Sons, United States.
103. Tonshoff, H. K., Zahn, G., Inasaki I., (1998) Feature Oriented Data Model for CAD, CAPP, and Fixturing Planning, *International Journal of Production Engineering and Computers*, Vol. 2/2/1998 (pp. 37–43).
104. van Houten, F. J. A. M., van't Erve, A. H., (1988) „PART, a parallel approach to Computer Aided Process Planning”, *Proceedings of CAPE 4*, Edinburgh.
105. Wang, H-P, Li, J-K, (1991) *Computer-Aided Process Planning*, Elsevier, Amsterdam.
106. Wallace, T. F., Kremzar, M. H., (2001) *ERP: Making It Happen*, John Wiley & Sons, Inc.
107. Yi-Ping Yuan T. Y., Li J., Xiong F., Fang M. L., (2005) A multi-agent based approach for manufacturing grid workflow, *Proceedings of the Fourth International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, Guangzhou, (pp. 18–21).
108. Zhang, H-C, Altung, L., (1994) *Computerized Manufacturing Process Planning Systems*, Chapman & Hall, UK.

Изводи из рецензије:

...Централни део текста се односи примену рачунара у пројектовању технолошких процеса и на флексибилне технолошке системе са аксиоматским пројектовањем и на крају се заокружује концептом дигиталне компаније са планирањем и управљањем производњом и управљање животним циклусом производа...

...Овај текст ће после штампања представљати значајан допринос уџбеничкој литератури Катедре за производно машинство и Машинског факултета. Намењен је студентима мастер студија и широком кругу инжењера. Са друге стране је јасно да се, за коришћење овог уџбеника, морају поседовати инжењерска знања из производних технологија и система.

Др Миласав Калајџић, редовни професор у пензији, Машински факултет у Београду

...Публикација „Рачунарски интегрисани системи и технологије” представља дело које обрађује врло значајну проблематику за индустријску производњу и прилагођена је наставном садржају истоименог предмета. У уџбенику се обрађују основни принципи примене рачунарски интегрисаних технологија и може корисно послужити осим студентима свима који се баве истраживањем, развојем и увођењем СИМ система.

...Уџбеник на оригиналан начин разматра проблематику рачунарски интегрисаних система и технологија. Посебно се истиче оригинални концепт аксиоматског пројектовања флексибилних технолошких система базиран на аксиоматској теорији пројектовања, као и оригинални прилаз моделовању технолошких система заснован на агентима. Рукопис је писан јасним стилем. Материја коју обрађује је изложена врло систематично и илустрована брижљиво одабраним примерима.

Мишљења сам да ће публикација представљати велику помоћ за студенте да лакше савладају наставни садржај предмета, а због оскудности литературе у овој области она ће добро доћи и студентима других факултета као и стручњацима из индустрије.

Др Милан Зељковић, редовни професор, Факултет техничких наука, Нови Сад