ПРЕДГОВОР

Развој, усавршавање и реконструкције машинских система и производа, у данашње вријеме је незамисливо без коришћења савремених рачунарских система. У циљу лакшег, бржег и једноставнијег дефинисања конструкција, њихове варијације и унапређења, аутор(и) су публикацију под називом „Конструисање уз помоћ рачунара и брза израда прототипова“ написали као основни универзитетски уџбеник намијењен, првенствено, студентима Машинског факултета али и другим техничким лицима која желе да науче основе моделовања, анализе, израде техничке документације, итд. Акценат публикације јесте да корисници науче правила дефинисања модела од идеје до израде техничке документације, али и брзе израде прототипова.

Публикација је конципирана у 12 поглавља која су систематично и хронолошки поредана на начин да читаоцима омогући јасно разумијевање могућности дефинисања и израде различитих модела.

У првом поглављу дата су објашњења шта представља конструисање, начин на који се може доћи до полазних информација или функционалних захтјева, као и процеси конструисања дефинисани од стране различитих аутора. На овај начин се читаоцима приближава и даје појашњење различитих фаза конструисања са јасном хронологијом и излазним резултатима сваке фазе.

Кроз друго поглавље дат је приказ историјског развоја рачунара и софтвера са њиховим могућностима. Такође, дат је приказ и имплементација софтвера у различитим фазама конструисања. Сам процес развој или варијације модела немогуће је замислити без коришћења рачунара. Да би корисници изабрали одговарајући рачунар

или софтвер, неопходно је да познају потребе и могућности различитих произвођача.

У трећем поглављу дат је приказ и начин дефинисања жичаних, површинских и запреминских модела са њиховим предностима и недостацима, али и начин како извршити валидацију дефинисаних модела. Дефинисање модела се врши на идентичан начин, без обзира о ком софтверу се ради.

Кроз четврто поглавље дате су основе за дефинисање модела са акцентом на могућност израде, заједно са упоредним приказом правилно и неправилно дефинисаног модела. Комбинацијом призматичних и цилиндричних модела могуће је дефинисати различите облике. Без обзира на који начин је била извршена њихова комбинација, неопходно је водити рачуна о могућностима израде дијелова конвенционалним или неконвенционалним технологијама.

У петом поглављу дато је објашњење како и на који начин се извршавају геометријске трансформације модела са јасним приказом промјене координата са промјеном положаја. Приликом дефинисања модела и његове геометрије честе су варијације положаја и облика у односу на координатни систем.

У шестом поглављу дато је објашњење начина дефинисања модела, дјелимично или потпуно параметарски. За било коју промјену потребно је познавање начина на који се врши параметарска промјена. У истом поглављу дато је објашњење типизације и унификације, али и геометријске сличности модела. На основу геометријске сличности могуће је развијати различите фамилије дијелова са одређеним стандардним фактором пораста. Кроз исто поглавље дато је објашњење и приказ модуларног конструисања.

Кроз седмо поглавље дате су смјернице о чему се мора водити рачуна приликом развоја или реконструкције сваке компоненте. При развоју компонената или дијелова мора се водити рачуна о њиховој улози и положају у подсклоповима или склоповима. Са правилним размишљањем у ранијим фазама развоја олакшава се и моделовање склопова. Пратећи ове смјернице олакшава се дефинисање модела, накнадне реконструкције, уколико то буде потребно, и склапање дијелова, компонената и подсклопова у склопове.

У осмом поглављу се на једноставан начин дају кратке смјернице за анализу напонских стања, које типове коначних елемената треба дефинисати и гдје би требало да се дефинише који тип елемената. При дефинисању модела неопходно је размишљати о функционалности модела, са аспекта оптерећења којима је дио изложен у процесу експлоатације. Већина дијелова се подвргава неком виду једноставнијих анализа напонских стања, у циљу сагледавања извора концентрације напона, али и потенцијалних оштећења.

Кроз девето поглавље дата су појашњења анимација и симулација, као и начин њиховог дефинисања. Са развојем модела јављају се и потребе за презентовањем развијеног рјешења. Како се све

чешће модели презентују лицима која нису технички образована настале су потребе за различитим типовима анимација и симулација.

Кроз десето поглавље дате су јасне смјернице шта треба да задовољава техничка документација и на који начин се брже, лакше и једноставније дефинише, али и врше измјене у њој. Задовољавањем захтјева и усаглашавањем са налогодавцима завршава се процес развоја конструкције и створене су подлоге за израду техничке документације. Техничка документација мора бити јасно и недвосмислено дефинисана, јер она представља улазне информације за производњу.

У једанаестом поглављу дато је појашњење реверзибилног инжењерства, као и приказ могућих начина прикупљања података са неког објекта и њихово коришћење за дефинисање модела. Као улазне информације за израду модела не морају да буду само информације које се добијају од налогодавца, оне могу да буду и информације које се добијају „снимањем“ готовог производа на коме треба извршити неки вид дораде или реконструкције.

Кроз дванаесто поглавље дат је поступак шест различитих начина брзе израде прототипова (БИП) са њиховим предностима и недостацима, као и њиховом примјеном. Сагледавајући ове поступке даје се ширина у размишљањима приликом дефинисања и примјене модела. Све чешће се прибјегава брзој изради прототипова са различитим циљевима јер сваки од дефинисаних модела мора да има своју сврху. Да би се што брже, лакше, једноставније и функционалније дефинисао неко модел, конструктори морају познавати и различите поступке БИП.

У Источном Сарајеву и Косовској Митровици, јун 2022. године

Аутори

Садржај

1 УВОД.....1
1.1 Процес конструисања.....5
1.1.1 *Pahl and Beitz* модел.....7
1.1.2 *Shigley* модел.....11
1.1.3 *Erle* модел.....13

2 РАЗВОЈ И ПРИМЈЕНА РАЧУНАРА У ПРОЦЕСУ КОНСТРУИСАЊА.....17
2.1 Хардвер у CAD-у.....21
2.2 Софтвер CAD -а.....22
2.3 Примјена рачунара у процесу конструисања.....28
2.3.1 Предности коришћења CAD софтвера.....33

3 ОСНОВЕ ГЕОМЕТРИЈСКОГ МОДЕЛОВЊА.....35
3.1 Врсте модела.....38
3.1.1 Жичани модел.....38
3.1.2 Површински модели.....41
3.1.2.1 НУРБРС krive.....43
3.1.2.2 *B-spline*.....45
3.1.2.3 Формирање површина на основу тачака.....46
3.1.3 Запремински модели.....47
3.1.3.1 Технике запреминског моделовња.....48
3.1.3.1.1 Модел граничног представљања.....49
3.1.3.1.2 *Euler-Pinocare* операције.....53
3.1.3.1.3 Састављање модела од *3D* примитива, модел геометријског конструисања.....55

4 МОДЕЛОВАЊЕ ПРИЗМАТИЧНИХ И ЦИЛИНДРИЧНИХ ОБЛИКА..61
4.1 Моделовање призматичних облика.....62
4.2 Моделовање цилиндричних облика.....67

5 ГЕОМЕТРИЈСКЕ ТРАНСФОРМАЦИЈЕ.....73
5.1 Геометријске трансформације *2D* модела.....74
5.1.1 Транслаторно помјерање.....74
5.1.2 Ротационо помјерање.....76
5.1.3 Скалирање или мијењање димензија објекта.....77
5.1.4 Пресликавање објекта у огледалу.....78
5.1.5 Мијењање облика *2D* модела са задржавањем димензија..... ..80
5.2 Геометријске трансформације *3D* модела.....81
5.2.1 Транслаторно помјерање *3D* модела.....81
5.2.2 Ротационо помјерање *3D* модела.....82
5.2.3 Скалирање или мијењање димензија *3D* објекта.....84

5.2.4 Пресликавање *3D* модела у огледалу.....85
5.2.5 Мијењање облика *3D* модела са задржавањем димензија.....86

6 ПАРАМЕТАРСКО МОДЕЛОВАЊЕ.....89
6.1 Шема параметризације 92
6.2 Стандардизација и модуларни приступ у развоју техничких система.....94
6.2.1 Кошијев критеријум геометријске сличности.....96
6.2.1.1 Коришћење стандардних бројева при развоју фамилије производа.....99
6.2.2 Модуларно конструисање машинских система.....101

7 МОДЕЛОВАЊЕ СКЛОПОВА.....113
7.1 Коришћење стандардних и стандардизованих елемената.....123

8 АНАЛИЗА НАПОНСКИХ СТАЊА.....127

9 АНИМАЦИЈА И СИМУЛАЦИЈА РАДА СКЛОПОВА.....133
9.1 Анимација рада склопова.....133
9.2 Симулације рада склопова.....140

10 ИЗРАДА ТЕХНИЧКЕ ДОКУМЕНТАЦИЈЕ.....143
10.1 Израда цртежа са пројекцијама, пресјецима и погледима.....146

11 РЕВЕРЗИБИЛНО ИНЖЕЊЕРСТВО.....151
11.1 Скенирање објеката.....156
11.1.1 Контактне методе.....156
11.1.2 Бесконтактне методе.....157
11.1.2.1 Трансмисионе методе.....158
11.1.2.2 Рефлективне методе.....159
11.1.3 Примјена реверзибилног инжењерства.....161

12 БРЗА ИЗРАДА ПРОТОТИПОВА.....163
12.1 Подјела технологија брзе израде прототипова.....165
12.2 Поступци израде прототипова.....167
12.2.1 Стереолитографија.....167
12.2.2 Селективно ласерско синтеровање.....172
12.2.3 Моделовање слагањем растопљеног материјала.....176
12.2.4 Ламинарна производња објеката.....181
12.2.5 Очвршћавање на чврстој подлози.....184
12.2.6 *3D* Штампање.....187
12.3 Примјена поступака БИП.....190

13 Литература.....195

1

УВОД

Савремени развој и усавршавање конструкционих рјешења незамислив је без коришћења напредних технологија које подразумијевају све већу употребу рачунара и софтвера. Један од њих јесте и *CAD* (*engl. Computer Aided Design*), који се најједноставније може дефинисати као конструисање уз помоћ рачунара, и као такав представља знатно више од самог дефинисања линија на рачунару. Приликом дефинисања модела и цртежа употребљавају се различити графичких симболи као што су: тачке, линије, облици... *CAD* представља итеративан и креативан процес који се заснива на познавању базних наука, али и интуицији, искуству на претходним пројектима, вјештини и напорном раду. Графички приказ или дизајн неког рјешења представља „умјетнички“ рад заснован на научним или стручним основама. Он представља детаљан опис било које компоненте, елемента или склопа у графичком смислу. Комуникација између развоја и производње, односно комуникација између инжењера на једном пројекту обавља се посредством цртежа или модела. Технички цртежи се користе више од 2000 година у машинској индустрији, док су погледи и пресјеци накнадно увођени и дефинисани у циљу смањења броја грешака. Ортогоналне пројекције су први пут коришћене у 18. вијеку, а увео их је француски математичар *Gaspard Monge*.

У инжењерским наукама процес конструисања је незамислив без „визуелног размишљања“, односно визуелног приказа идеје или производа, који се може назвати и инжењерски језик. Овакав начин комуникације представља знатно више од говорног језика и разумљив је свим инжењерима, без обзира са кога су говорног подручја. Језик за комуникацију међу инжењерима познат је вијековима и временом се

усавршавао и стандардизовао. Најједноставнија комуникације међу инжењерима јесте коришћењем скица са јасним дефинисањем у инжењерском смислу. У почетку су те скице ручно дефинисане, што је представљало мукотрпан посао са пуно грешака и понављања. Када је први пут представљен, *CAD* је имао одређених недостатака и није био економски прихватљив начин за развој производа. У то вријеме постојао је мали број рачунара који су били веома скупи и имали су велика ограничења у смислу могућности рада на њима. Временом се то мијењало и усавршавало, што је са развојем рачунара инжењерима створило могућности за знатно ширу примјену и коришћење *CAD* датотека са великим бројем међусобних комбинација.

У данашње вријеме рачунари су постали незамјењив алат у свим фазама конструисања, па самим тим ни процес развоја или реконструисања производа није изостављен. Повећавањем захтјева тржишта развијале су се и могућности рачунара са примјеном софтвера у процесу конструисања. У ствари, рачунари су постали незамјењив алат при конструисању, односно алат за брзе варијације, оптимизацију, анализу и корекције модела. Самим тим унапријеђен је поступак визуелизације и представљања производа што је поједноставило комуникацију између инжењера и потенцијалних корисника производа. Велики број операција, као што су манипулације, симулације и анализе модела, је унапријеђен и прилагођен корисницима. Да би се убрзао процес конструисања или реконструисања производа, приликом инсталирања софтвера или њихове надоградње, проширују се и базе модела које су постале саставни дио већине софтвера. Тако на примјер у већини *3D* софтвера, односно софтвера за моделовање имамо базе стандардних дијелова као што су: завртњи, лежаји, навртке, подлошке, итд. Могућност увоза различитих формата и скенираних датотека, које се могу обрађивати или дорађивати, постале су стандардне опције *CAD*-а. Сваки од модела је могуће прилагођавати према различитим критеријумима, скалирати по свим правцима, правити стандардизацију дијелова, правити различите базе типизираних модела и на крају сваки од њих снимити у одговарајућем формату. Веома важна ствар јесте и израда цртежа детаља, склопова итд. односно документације за комплетне склопове, која је у сваком тренутку у интеракцији са моделом. Свака промјена на моделу по аутоматизму се ажурира и у документацији и обрнуто промјене у документацији утичу на промјене на моделу. Ово је веома важно приликом израде склопних модела, поготово ако се након дефинисања појединачних модела генерише документација за те моделе па накнадно документација за склопни модел. С друге стране у било ком тренутку могуће је извршити промјене на било ком дијелу склопа. Свака грешка или мана модела се може установити приликом дефинисања склопног модела на коме се сви дијелови или подсклопови доводе у интеракцију. Основа за сваки добар и „активан“ склопни модел јесу добро дефинисани појединачни модели. То значи да се приликом дефинисања појединачних модела мора водити рачуна о њиховом положају у склопном моделу, али и о начину израде. Ако се базни