

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Стефан Г. Милосављевић

Примена интерактивне рачунарске графике у машинству

завршни рад

Крагујевац, 2014.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Техничко цртање са компјутерском графиком

Број индекса: 170/2009

Стефан Г. Милосављевић

Примена интерактивне рачунарске графике у машинству

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Лозица Ивановић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да:

Истражи и проучи начине приказивања објеката у дводимензионалној (2D) и тродимензионалној (3D) рачунарској графици, основне графичке елементе, геометријско моделирање, као и примену рачунарске графике у машинству.

Препоручена литература:

- [1]. Техничко цртање са компјутерском графиком - скрипта- Лозица Ивановић, Крагујевац 2008
- [2]. Софтверска решења CAD/CAM система – Др Горан Девеџић – Крагујевац 2004
- [3]. Рачунарска графика – Др Миомир Јовановић – Ниш 2006
- [4]. Пројектовање рачунаром – Др Миомир Јовановић – Ниш 2010

Крагујевац, 09.07.2014.

Ментор:
Др Лозица Ивановић

Резиме :

У овом раду посебна пажња посвећена је елементима техничког цртања, као и форми рачунарског моделирања. У уводу је писано о техничком цртању као дисциплини која служи за приказивање предмета из стварне околине на цртежу. Касније током рада су приказани стандарди рачунарске графике, кориснички интерфејс, основни графички елементи, као и 3D моделирање.

Кључне речи:

Техничко цртање, моделирање, стандарди, пројектовање, цртање

Summary:

In this project special attention is paid to the elements of technical drawing, as well as the form of computer modeling. The introduction is written about drafting as a discipline that is used to display objects from the real environment in the drawing. Later in the work there are presented the standards of computer graphics, user interface, basic graphic elements, as well as 3D modeling.

Keywords:

Technical drawing, modeling, standards, design, drawing

Садржај:

1. Увод.....	1
2. Стандарди рачунарске графике.....	10
2.1 Кориснички интерфејс.....	11
2.2 Примена рачунарске графике.....	12
2.3 Приказивање објеката у рачунарској графици.....	13
2.4 Основни графички елементи.....	15
2.5 Концепт графичке интерпретације садржаја.....	17
3. Пројектовање рачунаром.....	18
3.1 Конструкциона документација.....	20
4. Модел и моделирање.....	22
4.1 Цртање и моделирање.....	24
4.2 Моделирање 3D објеката.....	26
5. Примери из праксе.....	31
6. Закључак.....	36
7. Литература.....	37

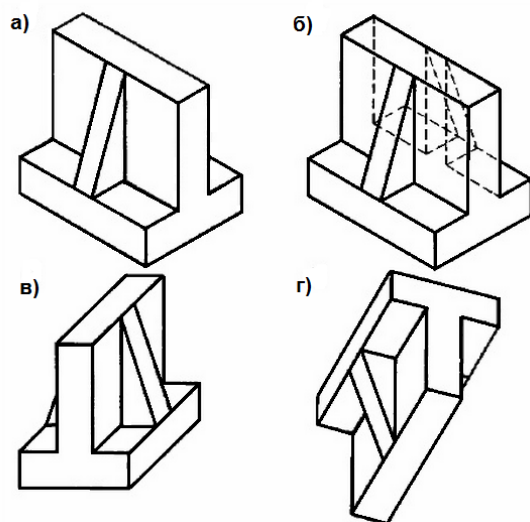
1. Увод

Техничко цртање је техничка дисциплина која служи за приказивање предмета из стварне околине на цртежу. Предмети из стварне околине дефинисани су са три димензије, а технички цртеж је у једној равни. Техничко цртање служи за једнозначну инжењерску комуникацију. То значи да цртеж, ако је правилно нацртан, може бити протумачен на само један начин. Правила техничког цртања дефинисана су међународним стандардима *ISO* из којих су преузета у националне стандарде. Због тога се каже да је техничко цртање “интернационални језик” комуникације. Цртеж који је правилно нацртан у Србији може се прочитати и растумачити у било којој држави. Наравно, додатне информације на цртежу су на националним језицима, али свим технички образованим лицима облик и димензије нацртаног дела су јасни. Основа техничког цртања је нацртна геометрија, која је посебни део геометрије, односно математике. Основни принцип техничког цртања је једноставност. То значи да технички цртеж мора бити јасан, прегледан и прецизан, тј. да се на њему једноставно могу одредити све димензије предмета. Другим речима циљ машинског техничког цртања је да се кроз технички цртеж или скуп цртежа у потпуности једнозначно дефинише функција, облик, димензије, материјал, врсте обраде, квалитета и друге карактеристике машинских делова и склопова као подлога за производњу [1].

Облик и димензије предмета могу се представити на два начина:

1. Аксонометријским цртежом и
2. Ортогоналним цртежом.

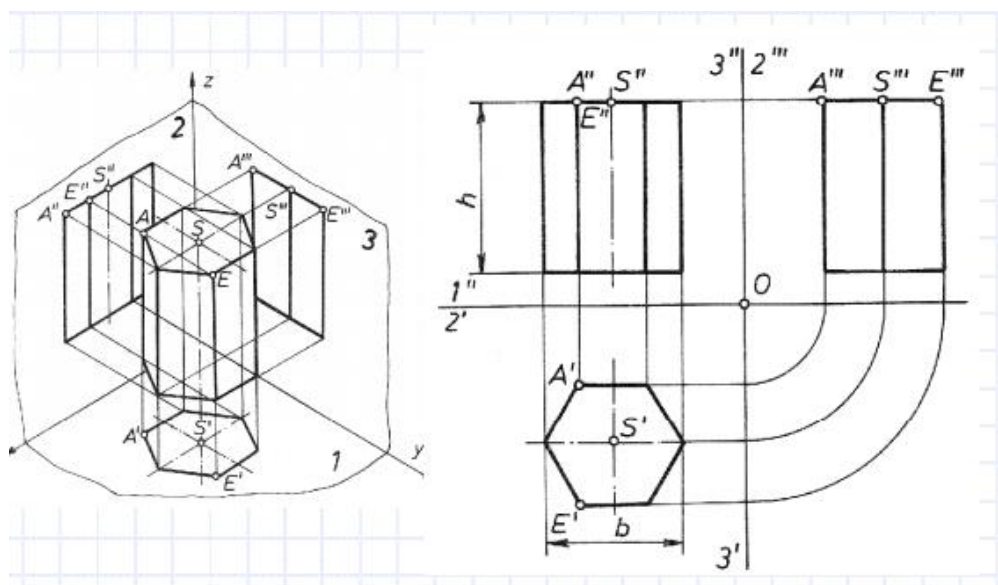
Аксонометријски цртеж је онај на коме се виде све три карактеристичне димензије предмета. Тај начин цртања сличан је слици коју види наше око при посматрању предмета (сл. 1).



Слика 1: Различити типови аксонометријских цртежа [2]

Овај начин цртања погодан је за просторно разумевање облика предмета. Међутим има недостатке у погледу представљања стварних димензија. Постоји више типова аксонометријских цртежа. Аксонометријски цртежи се мање употребљавају у машинству и грађевинарству. Њихова употреба је најзначајнија у архитектури.

Ортогонални цртеж је базиран на посматрању предмета са свих страна. Предмет се “посматра” такозваним паралелним зрацима, а тако уочена слика се пројектује на раван која је нормална на зраке посматрања (сл. 2).

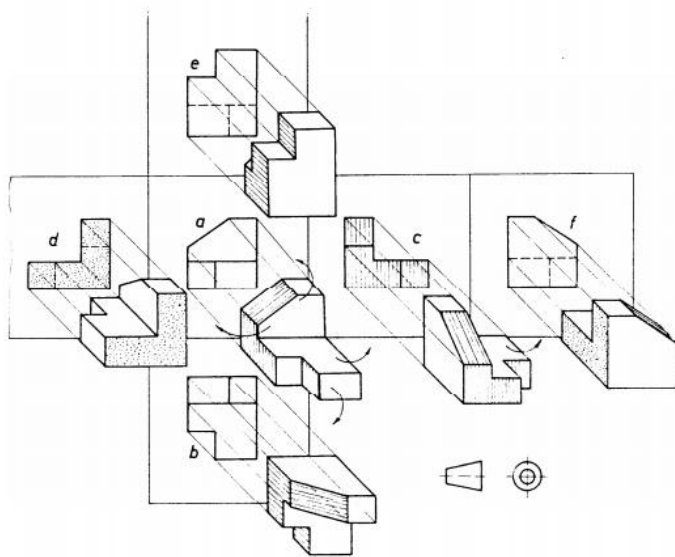


Слика 2: Поступак добијања ортогоналних пројекција [1]

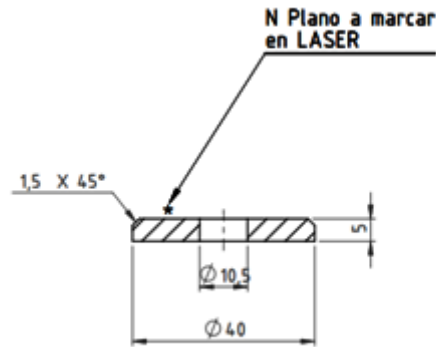
У овом делу техничког цртања је повезаност са нацртном геометријом. Наиме, предмет који се жели нацртати у ортогоналним пројекцијама налази се у првом октанту правоуглог координатног система. Паралелним зрацима који полазе са предње стране добија се поглед спреда. Тај поглед се црта у вертикалној $x-z$ равни. Посматрањем предмета са горње стране добија се поглед одозго, који се црта у хоризонталној $x-y$ равни. Посматрањем предмета са леве стране добија се пројекција која се црта у бочној или профилној равни $y-z$. Ова пројекција назива се поглед са леве стране. Пошто је циљ техничког цртања да се све што се црта представи у једној равни (на папиру), након оваквог пројицирања хоризонтална раван се обара наниже, а профилна раван се закреће удесно. На тај начин добија се равански цртеж. Са тог цртежа уклањају се помоћне линије (пројектни зраци, осе и др.), тако да остану само линије које приказују облик и димензије нацртаног предмета.

Понекад је потребно предмет посматрати са свих страна. То значи да се може користити пројекција поглед сдесна која се налази на левој профилној равни. Поред тога постоје погледи одоздо и отпозади који се цртају на одговарајуће равни. Може се замислити да се предмет постави у коцку и пројицира на странице те коцке (сл. 3).

Скоро никада се на цртежу не цртају сви погледи. Црта се онолико погледа колико је довољно да се потпуно дефинишу облик и димензије предмета. С обзиром да у стандардизованим правилима техничког цртања постоје многа поједностављења и додатна означавања, понекад је довољна и једна пројекција (сл. 4).



Слика 3: Распоред ортогоналних пројекција развијањем страница коцке [1]



Слика 4: Једна пројекција са довољно информација за израду дела

Стандардизација је дефинисана као процес стварања и примене правила у циљу постизања једнообразности и боље размене информација [1].

Та правила називају се стандарди. Применом стандарда постижу се следећи циљеви:

- Побољшање квалитета производа
- Погодан избор разних параметара и других карактеристика индустријских производа
- Повећање економичности
- Олакшана заменљивост машинских делова и склопова увођењем типизације и унификације

Стандарди могу бити:

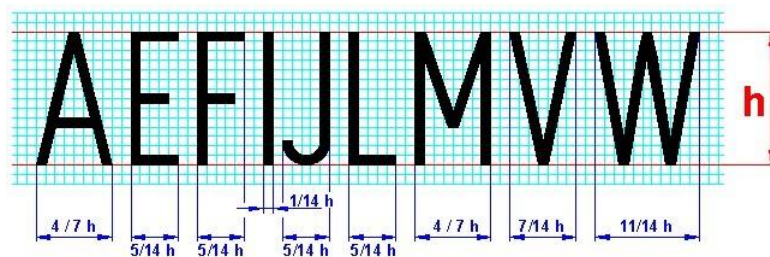
- Међународни (*ISO* стандарди)
- Национални (*DIN*-немачки, *ANSI*-амерички, *ГОСТ*-руски, *СРПС*-српски)
- Интерни (нпр. фабрички стандард)

Техничку нормизацију у Републици Србији спроводи Институт за стандардизацију Србије. СРПС је ознака за стандарде и сродне документе. Каталог СРПС строго је усвојен према прописима *ISO*.

Најзначајнији СРПС стандарди за техничко цртање су:

- Техничко писмо – СРПС А.А0.101, СРПС А.А0.102, СРПС А.А0.103
- Формати цртежа – СРПС А.А0.104
- Размере – СРПС А.А0.106
- Општи принципи приказивања – СРПС А.А0.110
- Заглавља – СРПС М.А0.040
- Саставнице – СРПС М.А0.041
- Котирање – СРПС А.А0.114
- Толеранције облика и положаја СРПС М.А0.065

За исписивање натписа, ознака и бројева у техничким цртежима користи се техничко писмо. Техничко писмо може бити право или косо под углом од 15° према вертикали. Величине техничких слова везане су за називну висину великих слова и бројева h (сл. 5).



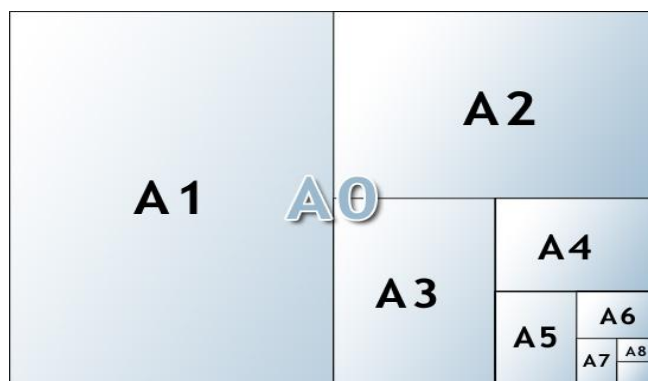
Слика 5: Пример односа називне висине h и ширине слова [3]

Формати хартија на којима се цртају технички цртежи стандардизованог су односа дужина страница. Као основни формат узет је правоугаоник чија је површина $1m^2$. Наиме, идеја је била да се добије такав формат хартије како би се пресавијањем дуже стране (a) правоугаоника на пола добила страна која је у истом односу са краћом (b) страном као краћа са дужом пре савијања, тј. сваки наредни формат добијен савијањем биће сличан претходном. Математички то се може изразити као:

$$a:b = b:\frac{a}{2}$$

$$a:b = \sqrt{2}$$

Из два претходно наведена услова долази се до величина страна основног формата, **формата A0** – $a = 1189\text{ mm}$ и $b = 841\text{ mm}$. Остале величине које произилазе из A0 пресавијањем дуже стране на пола су редом: A1, A2, A3, A4 (сл. 6).



Слика 6: Формат A0 са изведеним форматима [4]

У техничким цртежима предмети могу бити приказани у стварној величини, увећано или умањено. **Размера** је однос дужине линије на цртежу и дужине у природи

коју та линија представља. Избор размере зависи од величине предмета и његове сложености. Предмети великих димензија и једноставног облика цртају се умањено, док се предмети малих димензија и сложеног облика понекад морају јасније приказати, па се тада цртају увећано. Без обзира на то да ли је предмет нацртан у стварној величини, увећано или умањено, при котирању у цртеж се уносе стварне мере предмета. Размера се означава као $x:y$, где x представља величину предмета на цртежу, док y представља стварну величину предмета. Тако на пример размера 5:1 представља увећан приказ (5 јединица на цртежу одговарају 1 јединици у стварности), док 1:5 представља умањење.

Стварна величина	1:1		
Умањење	1:2	1:5	1:10
	1:20	1:50	1:100
	1:200	1:500	1:1000
Увећање	2:1	5:1	10:1
	20:1	50:1	100:1

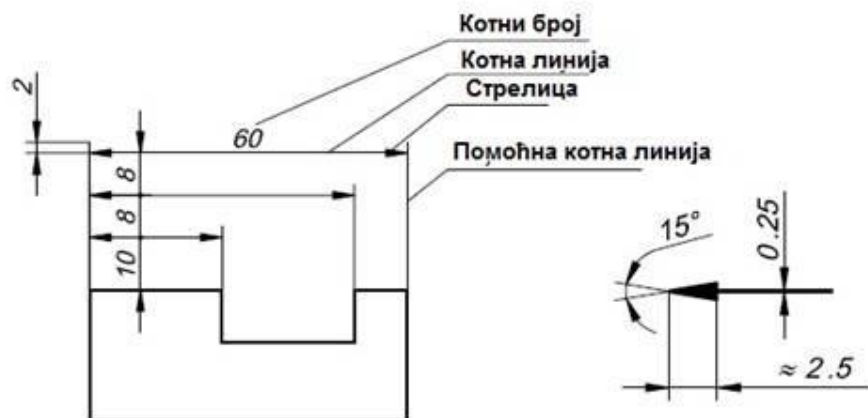
Табела 1: Примери размера за умањење и увећање [1]

Осим дефинисања облика предмета на техничком цртежу је најзначајније уношење димензија (мера), а то се постиже котирањем. Котирање је уношење бројних вредности величина предмета у цртеж [1].

Котама се морају означити све мере неопходне за израду дела (склопа), притом водећи рачуна о једнозначности цртежа. То подразумева да се свака мера котира само једном на цртежу, и то у оној пројекцији односно пресеку који даје најјаснију представу о облику предмета на том месту.

Елементи котирања су:

- помоћна котна линија
- котна линија
- показна линија
- котни завршетак (стрелица)
- почетна тачка
- котни број (сл. 7)

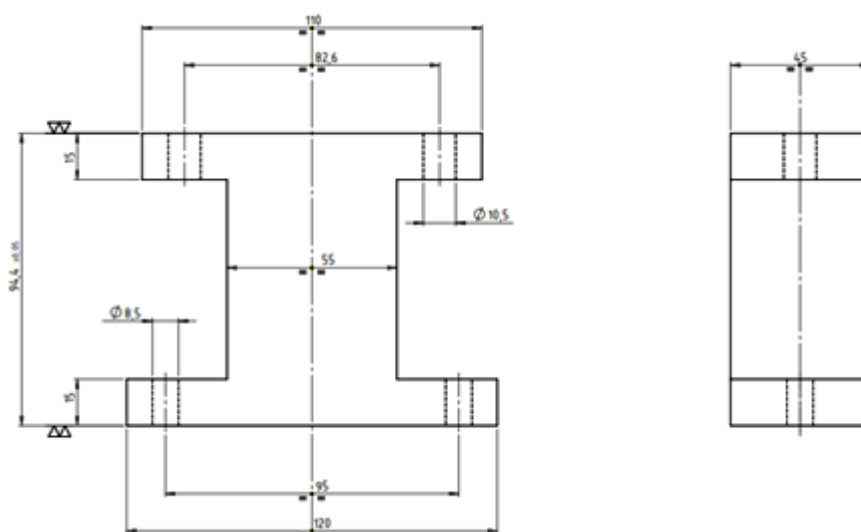


Слика 7: Елементи котирања [1]

Према правилима котирања, све котне, помоћне котне и показне линије цртају се пуном танком линијом. Котне и помоћне котне линије не би требало да пресецају друге линије, осим ако је то неизбежно. Међусобни пресек котне и помоћне котне линије би требало избегавати, а када то није могуће, ниједна од њих не сме имати прекид. Котни број се уписује паралелно са котном линијом, првенствено у средину и изнад котне линије, и то тако да га не пресецају никакве линије на цртежу. Котни бројеви се уписују обавезно тако да се могу читати одоздо или са десне стране цртежа [1].

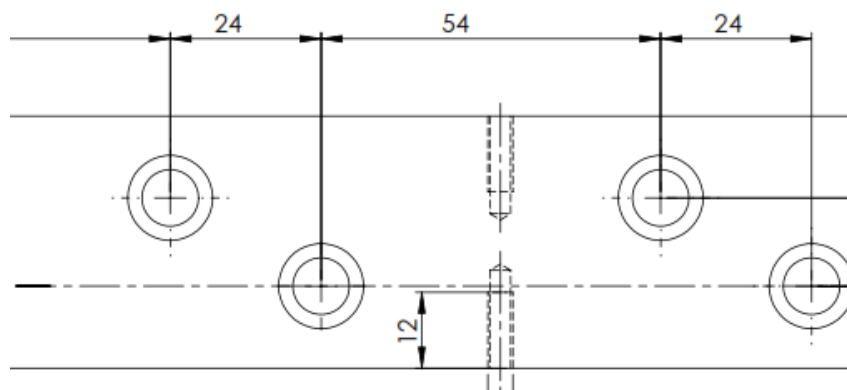
Према начину котирање се може делити на :

- Симетрично котирање – примењује се код комада симетричних на једну или више својих оса (сл. 8).



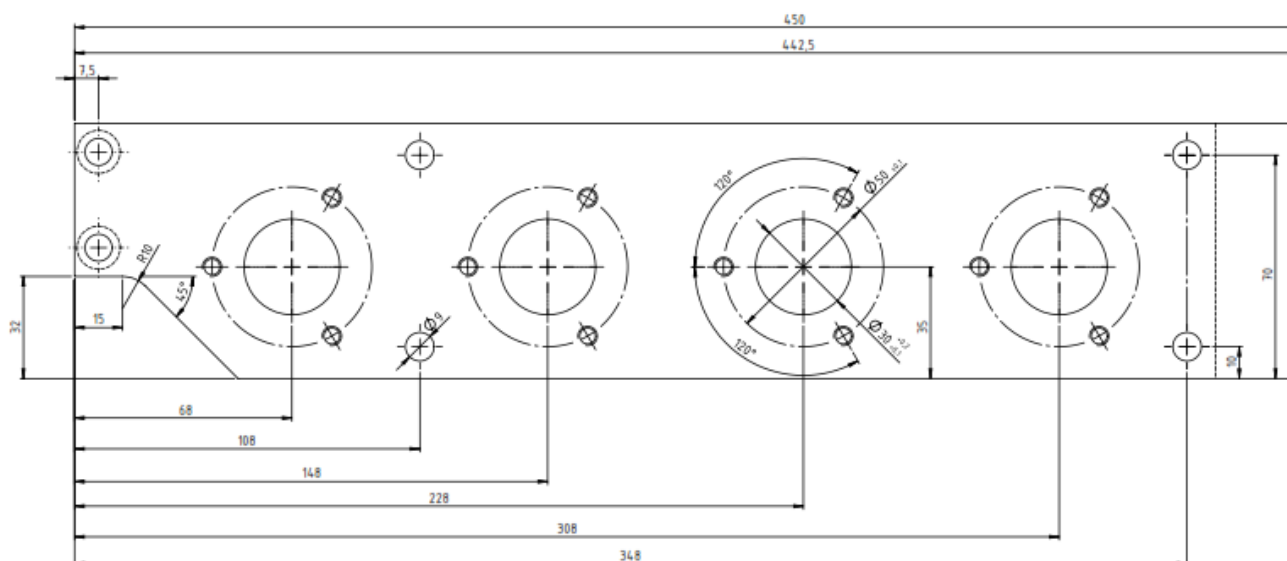
Слика 8: Симетрично котирање

- Ланчано котирање – користи се код делова код којих збир већег броја вредности у реду нема утицаја на функционалност дела (сл. 9).



Слика 9: Ланчано котирање

- Паралелно котирање се користи када део захтева тачно растојање више површина од једне базне површине (сл. 10).

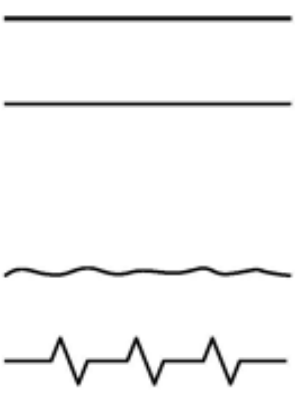
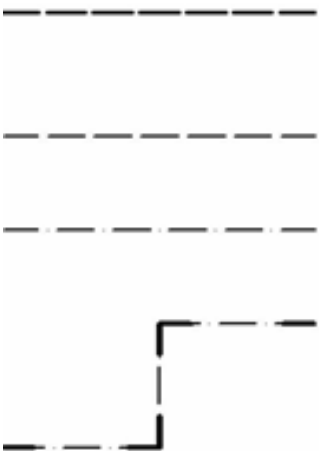


Слика 10: Паралелно котирање

- Котирање преклапањем котних линија користи се када постоји просторно ограничење. Све котне линије крећу из једне тачке и завршавају се стрелицом само с једне стране.
- Котирање координатама примењује се при већем броју отвора, када се уместо класичног котирања даје табела котних бројева.

- Комбиновано котирање представља спој паралелног и ланчаног котирања.

У машинству постоји више врста линија и стандардом је дефинисана употреба сваке појединачно. Свака линија у машинском техничком цртању има свој назив, ознаку, тачно прописан облик, ширине и примену. На цртежима се користе две ширине чији је однос 2:1. Стандардне ширине линија су: 0,25; 0,35; 0,5; 0,7; 1,0; 1,4 и 2,0 mm [1].

Тип линије		Опис	Примена
	A	Пуна дебела	Контуре и незаклоњене ивице
	Б	Пуна танка	Котне и помоћне котне линије, показне линије, линије шрафуре, контуре заокружених пресека
	Ц	Пуна танка извучена слободном руком	Ограничавање делимичних пресека, прекида
	Д	Пуна танка цик-цак	Служи као и линија Ц , али на једном цртежу увек користити само један тип линије
	Е	Испрекидана дебела	Цртање заклоњених ивица и контура
	Ф	Испрекидана танка	Служи као и линија Е , али на једном цртежу увек користити само један тип линије
	Г	Црта-тачка-црта, танка	Осне линије, симетрале и путање
	Х	Црта-тачка-црта, танка, задебљана на крајевима и местима промене правца	Цртање трагова равни пресека

Табела 2: Типови и дебљина линија (СРПС А.А0.110) [1]

Појава разних програма за техничко цртање убрзала је и поједноставила израду сложених цртежа и техничке документације. Овакво образовање је временом постало обавезно, па се људи широм света оспособљавају за модерне начине цртања и конструисања. Овакав систем се примењује и у нашим образовним установама.

2. Стандарди рачунарске графике

Први графички рачунарски стандард *Graphical Kernel System - GKS* стандард публикован је као *ISO 7942* стандард за рачунарску графику 1985. године. Написан је у независној верзији од програмског језика и формулисан најпре у две варијанте: сопственој (*GKS*) и фортранској коришћењем *FORTTRAN 77*. Данас су његове функције написане у језицима за програмирање *C*, *ADA*, *Pascal*, а развијено је и више софтверских варијанти за *PC* рачунаре. Из основног развијен је и графички стандард *GKS – 3D (ISO 8805)*. Развој овог стандарда условио је стандардизацију других садржаја у рачунаској графици, као што је стандард за графичке метафајлове (*CGM ISO 1987*), и стандард за графичке интерфејсе (*CGM ISO 1991*). Данас *GKS* стандард подржава преко 90% апликација рачунарске графике. *GKS* је написан за три врсте корисника рачунарске графике. Прву групу чине имплементатори који се баве развојем основног графичког софтвера. То значи да *GKS* може да се дограђује. Другу групу корисника чине програмери апликација који користе основни графички систем за писање апликативних програма. То је посао за водеће индустријске програмере или професионалне софтверске произвођаче. Трећу групу корисника чине оператори који користе (извршавају) готове апликативне програме, што не захтева чак ни знање програмирања.

GKS графички систем садржи библиотеку од око 200 потпрограма чијим позивом се остварују одговарајуће графичке функције. Концепт *GKS* система дефинише везу оперативног система рачунара и апликативног програма преко језичких слојева (*layer-a*) који користе графичко језгро (*kernel*) стандарда.

Према периферним графичким уређајима, *GKS* користи управљачке програме уређаја "драјвере". Драјвери дефинишу управљачке команде за уређаје (скенер, штампач, монитор...) и активирају се само програмским навођењем захтева (позива) из апликативног програма. Генерисање слика врши се повезивањем основних графичких елемената - **графичких примитива**. У *GKS* -у то су: линије, маркери, текстови, полигони, матрице ћелија и генералисани графички елементи. Генералисани графички елементи су готове сложене примитиве (крugови, елипсе, одсечци и исечци круга, односно у 3D простору то су одсечци лопти, исечци ваљака и друго). Графичке примитиве су описане атрибутима којима се дефинишу карактеристике примитива. Атрибути текста су врста фонта, величина, оријентација, боја.

PHIGS стандард је дефинисан прописима ISO 9592, 1985. године. **PHIGS** је акроним енглеског назива **Programmer's Hierarchical Interactive Graphics System**. Њиме је поред рада у 3D простору, могућ и рад са хијерархијски повезаним сегментима, који се могу и накнадно мењати. Примена **PHIGS** система је погодна за **CAD** системе у којима се врши просторно геометријско моделирање предмета са симулацијама његовог кретања. Користи се у молекуларном моделирању, картографији, препознавању облика и процесуирању слика...

IGES стандард – Системи за пројектовање помоћу рачунара садрже мноштво информација о производу, технологијама и корисницима **CAD** система. За боље коришћење и пренос ових података, ANSI је 1981. дефинисао стандардну "чауру" под називом **Initial Graphics Exchange Specification (IGES)** [7].

2.1 Кориснички интерфејс

Кориснички интерфејс је програм који омогућава дијалог између корисника и рачунара [5].

У основи то је однос човека са рачунаром па се он назива интерфејс човек-рачунар (*Human Computer Interface – HCI*). Кориснички интерфејс има задатак да на једноставан начин обезбеди дијалог корисника са рачунаром .

Типови интерфејса могу бити графички, говорни и комбиновани. Графички интерфејси користе графичке симболе за представљање различитих садржаја као што су датотеке, директоријуми, параметри за подешавање, алати за обављање различитих операција. У ту сврху развијени су оперативни системи *Windows*, *Unix* и др. Све програмске апликације које раде под *Windows* оперативним системима имају развијене графичке интерфејсе (*Program Manager*, *File Manager*, *Windows Explorer*, *Internet Explorer...*).

Основни графички елемент који илуструје намену унутар корисничког интерфејса је сличица (икона). Она сликовито и асоцијативно делује на корисника: јасно означава функцију, лако се памти и добро се разликује од осталих икона. Селектовањем иконе покреће се програм или отвара датотека преко путање до садржаја на меморијском медијуму где је датотека смештена. Кориснички интерфејс нуди могућност директног постављања, уклањања и премештања икона на радној

површини графичког уређаја. Преко ових операција врши се директна манипулација програмима, као типична категорија оперисања корисничким интерфејсом [7].

2.2 Примена рачунарске графике

Рана истраживања у области рачунарске графике показала су да се графичком интерпретацијом појмова убрзава кориснички интерфејс неколико стотина пута у односу на текстуални интерфејс. Техничке услове за развој графичких интерфејса дало је повећање брзине процесора који су обезбедили потребне капацитете за графичко интерпретирање садржаја. Први видови графичких интерпретација били су у равни (дводимензионални *2D*). Захтеви за универзалном интерпретацијом, довели су до тродимензионалне (*3D*) интерпретације садржаја. Из тих креација настала је примењена математичка и информациона дисциплина за графичку интерпретацију садржаја – компјутерска графика. Она се ослања на принципе математичких наука, нацртну геометрију, информатику и примењену електронику. Компјутерска графика је примењена за пројектовање применом рачунара (***Computer Aided Design***), скраћено названо ***CAD*** у оквиру кога се реализује и израда техничке документације (*Computer Aided Design Drafting - CADD*). Примена компјутерске графике у машинству реализује се кроз геометријско моделирање, чиме се формирају модели за прорачуне. Подаци о моделима, формирани као датотеке геометријских ентитета, користе стандардне формате база података. Базе података се даље користе за пројектовање производње и технологија (*Computer Aided Process Planning - CAPP*). Савремена примена компјутерске графике је такође у машинском виђењу објеката, вештачкој интелигенцији... Рачунарска графика има изузетно широку примену и у другим областима: медицини за дијагностику применом компјутерске томографије, медицинској графици за интерпретацију хемијских анализа, видео медијима (филм, ТВ), картографији и геологији (*CAGES*), уметности (*Computer Art*)...

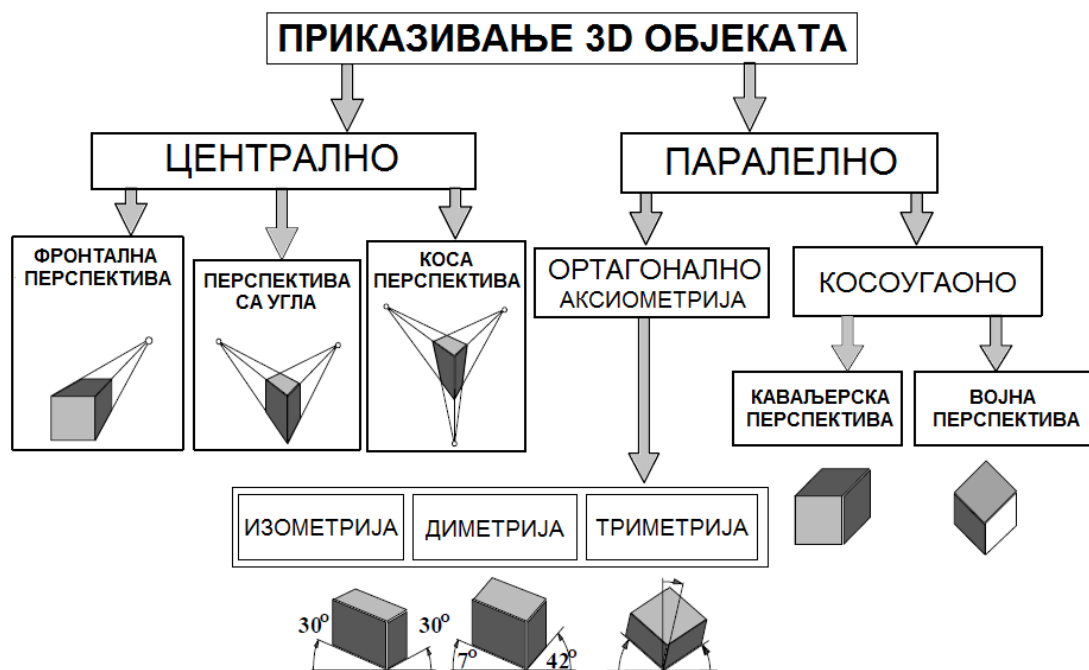
Основа ширења рачунарске графике и превазилажења различитости графичког софтвера и хардвера је појава рачунарских стандарда као што су *GKS*, *GKS-3D*, *PHIGS*, *CGM*, *CGI*, *IGES*. Данас се компјутерска графика стандардизује под окриљем Комитета за националну компјутерску графику (***National Computer Graphics Association - NCGA***) и Комитета за светску компјутерску графику (***World Computer Graphics Association -***

WCGA). *ISO* стандарди дефинишу рачунарску графику као скуп метода и техника за конверзију података који се шаљу ка графичком екрану или са њега, посредством рачунара. Зависно од смера конверзије података између рачунара, улазно-излазног уређаја и врсте рачунарског система, постоје три основне области примене рачунарске графике. Прва област је генеративна-рачунарска графика где корисник уноси податке у рачунар, извршава програме за конверзију излазних резултата у линије, тачке, слова, полигоне, чиме се генерише слика. Друга област примене је анализа слика на бази информација унетих *CCD* камером са циљем препознавања предмета који чине слику (примењено у савременој роботизици). Трећа област примене је обрада слика (процесирање) чиме се мења садржај слике у циљу побољшања квалитета [8].

2.3 Приказивање објеката у рачунарској графици

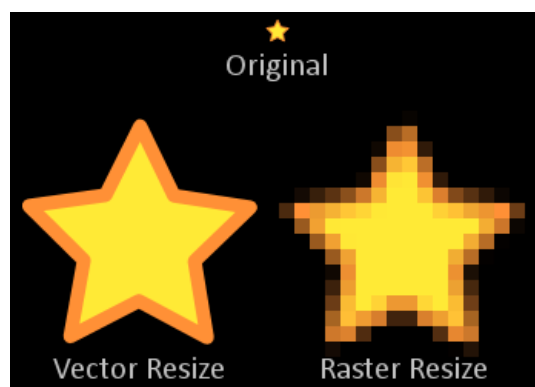
Два основна начина приказивања објеката у рачунарској графици су дводимензионалан (*2D*) и тродимензионалан (*3D*). Тродимензионално приказивање може бити централно и паралелно. Централно приказивање води у три основне врсте перспектива (фронталну, угаону и косу). Паралелно приказивање *3D* објеката може бити ортогонално и косоугаоно. На слици 11 приказани су типови перспектива централног и паралелног приказивања. У машинству је најчешће у употреби ортогонална пројекција.

Техника оперисања објектима, ликовима и телима, посебно је обрађена кроз дисциплину познату под именом “геометријско моделирање“. Геометријско моделирање користи математичке функције за просторни опис или интерполацију геометрије.



Слика 11: Класификација начина приказивања 3D објеката [7]

Приказ графичких садржаја врши се на два могућа начина: растерски систем (битмап) – слика је формирана из тачака (сл. 12) и системом базираним на геометрији (векторски систем) на коме се базира CAD. Основна предност векторског наспрам растерског система је значајна уштеда простора. Док код растерске графике сваки сегмент слике (пиксел) заузима меморијски простор, векторски систем ради са геометријским облицима, њиховим особинама и међусобном односу, и уз помоћ тих података реконструише слику. Такав систем са собом повлачи још једну позитивну особину, а то је да повећањем величине слике не долази до губитка квалитета, док код растерског система слика задржава квалитет само у оригиналној резолуцији (сл. 12).

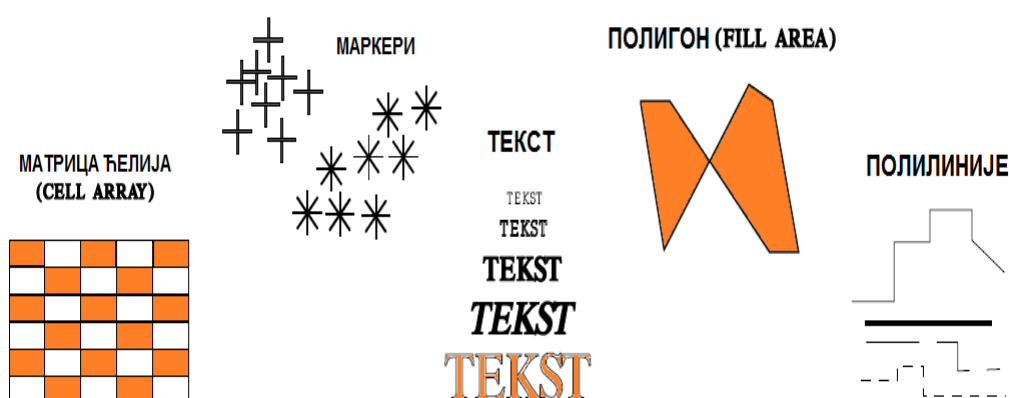


Слика 12: Упоредни приказ векторске и растерске слике звезде [10]

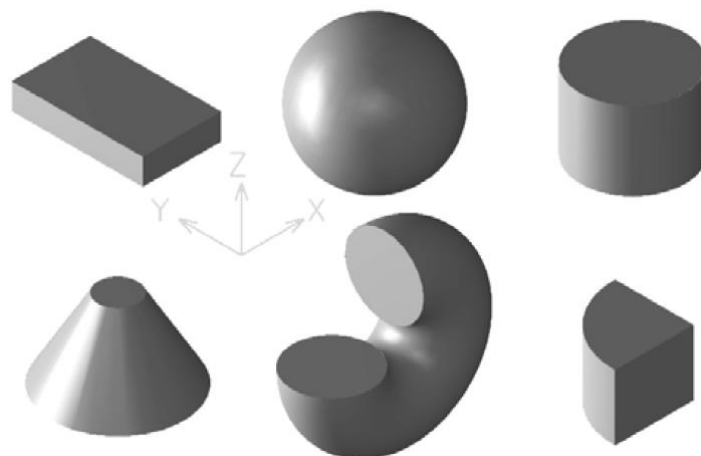
Осим основних техника приказа графичких садржаја, рачунарска графика користи различите технике за побољшање визуелне форме: тродимензионалну интерпретацију и перспективу, визуелно одређивање (скривене линије и површине), подешавање интензитета светла (по дубини објекта) и светлосних садржаја, технике сенчења, технике бојења (транспарентност, рефлексивност), технике симулације и анимације [7].

2.4 Основни графички елементи

Основни елементи за приказ графичких садржаја јесу **примитиве**. Њиховим састављањем у целину формира се слика. Зависно од стандарда који се примењује, користе се графичке примитиве као што су полилинија (низ повезаних линија), полимаркер (симбол одређене врсте), текст, испуњена област - полигон, ћелијски распоред (матрица пиксела одређене боје), као и специјалне примитиве самих радних станица (слика 13). Примитиве омогућују визуелну интерпретацију елементарних графичких форми. Дефинисање примитива захтева допунске податке о облику графичке форме и они се одређују атрибутима. Тако, на пример, атрибути текста су: величина, фонт, оријентација и боја. Типове расположивих примитива дефинише изабран графички стандард. У 3D графици додатне примитиве могу бити: призме, сфере, цилиндри, конуси, торуси, исечци и друге форме (*MicroStation'95*, слика 14).



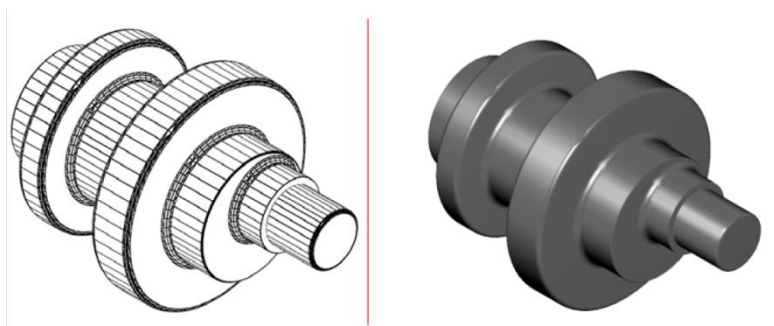
Слика 13: Основни графички елементи: полимаркер, полигон, матрица ћелија, текст и полилиније [5]



14: Слика: Примитиве: 3D призма, лопта, цилиндар, конус, торус, исечак [5]

Сегмент је скуп основних графичких елемената или део слике којим се може манипулисати као целином. Корисник дефинише сегмент. Сегмент се чува у сегментној меморији активне радне станице и има свој идентификациони број. Над сегментом се обављају класичне геометријске операције: креирање, translација, ротација, скалирање, копирање.

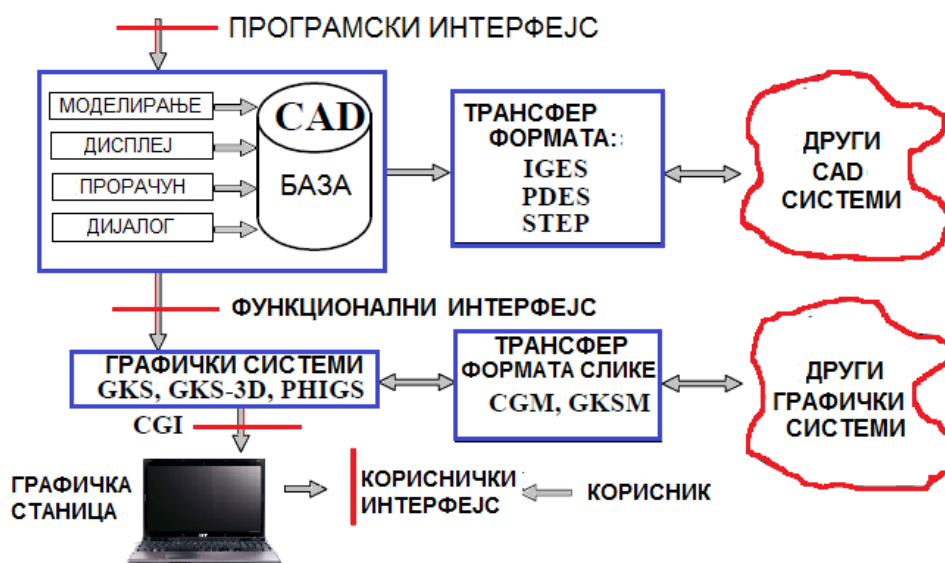
Објекти у рачунарској графици су сложени садржаји машинских елемената и склопова. Објекти могу бити видљиви и невидљиви, што је одређено постојањем међуобјекта-препреке између објекта и посматрача. 3D објекти могу бити приказани са свим линијама независно од видљивости па се такви модели називају жичани модели. 3D објекти могу користити различите технике за визуелно побољшање приказа. Према томе, површине објеката могу бити сенчене, што нарочито долази до изражаја код облик површина. Слика 15 показује геометријски моделиран 3D објекат у виду вратила са два венца за озубљење и крајем са ексцентром и прелазима за уградњу лежачева. Приказана је форма жичаног модела са скривеним линијама и сенченог модела [7].



Слика 15: 3D објекат-сложена геометријска форма изометријски приказан као жичани модел са скривеним линијама и глатко сенчени модел [7]

2.5 Концепт графичке интерпретације садржаја

Компјутерска графика заснива се на три система: апликативном систему, графичком систему и кориснику. За њихову међусобну везу су употребљена три интерфејса: апликативни (програмски) интерфејс, интерфејс уређаја и интерфејс корисника. На слици 16 приказан је интегрисани CAD систем са припадајућим стандардима, форматима графичких датотека и потребним интерфејсима. Корисник употребљава графичке стандарде *GKS*, *GKS-3D*, *PHIGS*, за креацију, док за трансфер података ка другим графичким уређајима користи *CGM* и *GKSM* стандардне датотеке познате под именом - метафајл. Сређени подаци о графичком моделу могу се упутити ка другим системима посредством *IGES*, *PDES*, *STEP* и других формата датотека. Трансфер података из графичког система ка графичкој станици обавља се у *CGI* графичком стандарду [7].

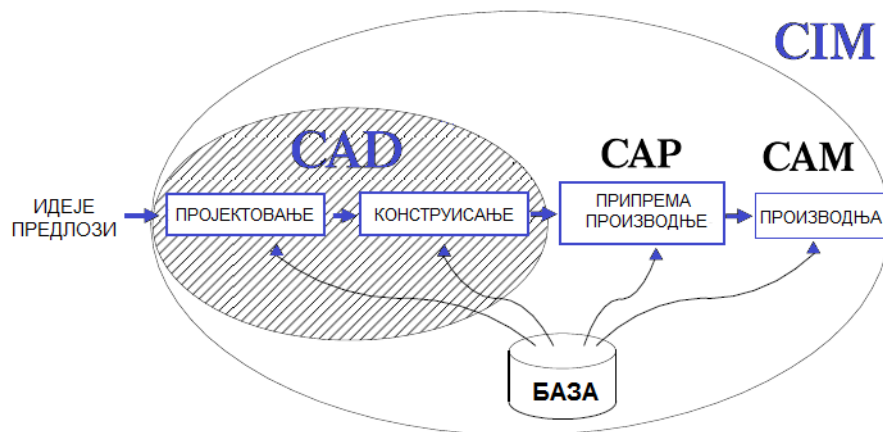


Слика 16: Основни концепт CAD система са припадајућим графичким стандардима [8]

3. Пројектовање рачунаром

Процес пројектовања представља налажење научно оправданог техничког решења које се практично може реализовати, а да при томе задовољи и економске критеријуме. У ужем смислу, пројектовање представља дефинисање техничког решења са функционалног, садржајног и конструктивног аспекта [8].

Пројектовање може имати и комплекснији садржај, када се постављају захтеви тражења оптималних својстава, поузданости компонената и функција и друга специфична својства. Након пројектовања, следи конструисање техничког садржаја и оно представља дефинитивно обликовање конструкције којим се дефинишу: геометрија (карактеристичне димензије), материјал, начин монтаже, толеранције, храпавост и друго. Очигледно да се конструисање врши на бази пројектовања и њиме се прецизира коначно решење конструкције. Из активности конструисања настаје конструкциона документација. Даљи ток коришћења конструкционе документације (слика 17) одвија се кроз припрему за производњу и та делатност више не припада пројектовању и конструисању, већ технолошкој припреми.



Слика 17: Активности настанка производа подржане рачунаром [8]

Из технолошке припреме настаје радионичка документација која садржи, поред конструкционе документације, и технолошку документацију. Технолошку документацију чине: документација опреме и алата за производњу, документација контроле и документација извршених испитивања.

Класична организација поступка пројектовања и припреме производње дозвољава примену рачунара за ефикаснију реализацију овог процеса. Поступак

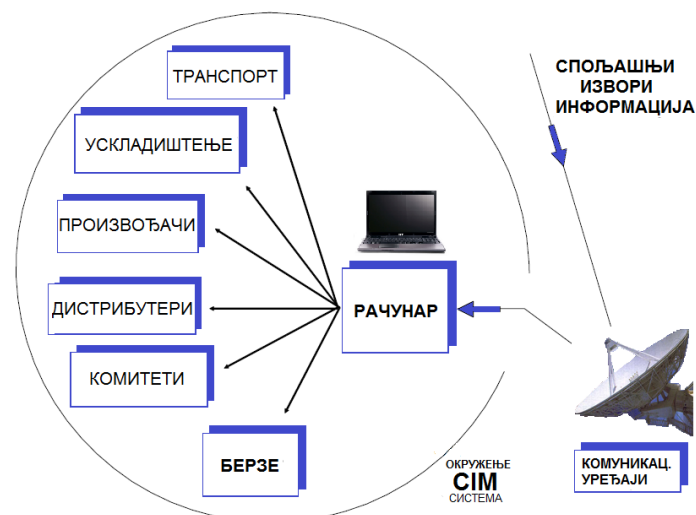
увођења рачунара условљен је формирањем базе података до нивоа радионичке документације производа. Активности пројектовања и конструисања применом рачунара познате су у стручној јавности под енглеским називом: *Computer Aided Design (CAD)*. Скраћеницу *CAD* предложио је *T. D. Ross* и она је уведена у терминологију 1979. Скраћеница је симбол технологија пројектовања рачунаром. Коришћење рачунара у области припреме производње назива се *CAP (Computer Aided Planing)*. Сама производња подржана рачунаром позната је под енглеским називом *Computer Aided Manufacturing (CAM)*.

CAD даје следеће предности пројектовању:

- виши ниво квалитета (тачност, финоћа)
- реализује најобимније задатке и ослобађање човека рутинског посла
- визуелну интерпретацију форме која омогућује, пре израде, оцену функционалних и естетских вредности производа
- омогућава специфичне анализе (прорачуни локалних напона код брзих процеса и сложених структура) из чега следи побољшање склопа пре израде
- омогућује брзу израду техничке базе података, почевши од техничких цртежа до технолошких инструкција за аутоматизовану израду
- широко интегрисана производња рачунаром (***Computer Integrated Manufacturing - CIM***)

Изван *CAD* делатности, примена рачунара отвара могућности даљих модернизовања производње. Увођењем *CIM* концепта, интегришу се остале активности производних система, слика 18:

- прилагођавање производње потражњи одређивањем динамичких параметара
- планирање (количине материјала, термин планови, радна снага, дистрибуција задатака)
- повезивање са спољашњим изворима (националним и светским) информација (комитети, берзе, произвођачи, дистрибутери, транспорт, ускладиштење, претовар) о роби и сировинама
- праћење пословања (финансијских токова, залиха робе, материјала)
- праћење производа у експлоатацији (сервис, квалитет, корекције технологија, одржавање)
- координирају основне фабричке активности (маркетинг, планирање, инвестиције) [8].

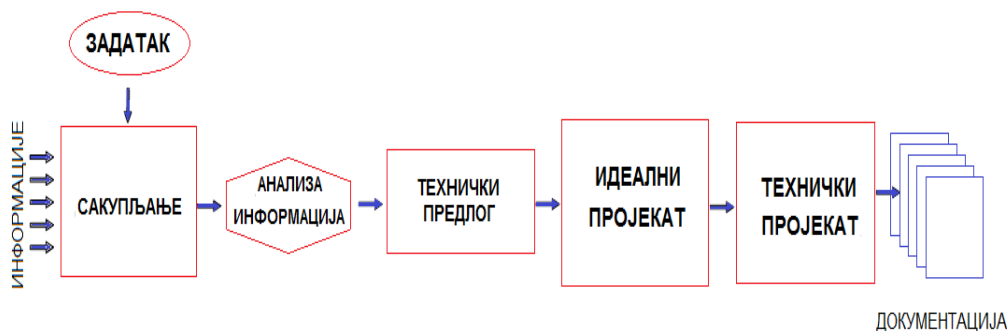


Слика 18: Активности које су интегрисане *CIM* концептом [8]

3.1 Конструкциона документација

Основни продукт пројектовања је конструкциона документација. Код класичног пројектовања, она се формира на папиру и даље дистрибуира кроз техничку припрему у производњу. Код примене рачунара у пројектовању, ток је исти, само је документација присутна на различитим медијумима. У принципу, код комплетних *CIM* система документација не мора да буде цртана са чврстим отиском. Конструкциона документација се реализује у следећим етапама (слика 19):

- постављање задатка
- прикупљање информација,
- анализа информација
- састављање техничког предлога
- израда идејног пројекта
- израда техничког пројекта и
- израда техничке документације



Слика 19: Етапе настанка конструкционе документације [8]

Конструкциону документацију чине разне врсте докумената:

- радионички цртеж за израду и контролу
- склопни цртеж
- цртеж општег изгледа (форма, принцип рада)
- теоријски цртеж (показује распоред позиција)
- габаритни цртеж (геометрија са прикључним и монтажним мерама)
- електро-монтажни цртеж
- монтажни цртеж (подаци за поступак монтаже)
- цртеж паковања
- спецификација (списак делова склопа)
- списак спецификација (то је списак свих спецификација)
- списак упутстава (попис свих докумената)
- списак полупроизвода који се купују као готова роба
- списак правних лица која поседују оригиналну документацију
- спецификација идејног пројекта
- списак техничког пројекта
- списак идејног пројекта
- објашњење (техничког решења и принципа рада)
- технички услови (норме за контролу, пријем и испоруку)
- програм и методе испитивања (испорука, пријем, периодична контрола)
- прорачун, табеле
- експлоатациони документи (одржавање, кварови)
- ремонтни документ
- карта техничког нивоа и квалитета
- остали документи (номенклатуре, проспекти, технолошке карте)

Данашњи степен *CIM* система не захтева израду документације са чврстим отиском. У будућности категорија докумената на папиру требало би потпуно да нестане. Може се очекивати рационализација и стандардизација информатичке документације производа [8].

4. Модел и моделирање

Код савремених начина пројектовања помоћу рачунара, полази се од раванске (дводимензионалне, 2D) пројекције основног тродимензионалног облика производа који се моделира. У даљњем поступку стварања модела додају се остали геометријско-технолошки ентитети, којима се подиже крајња форма производа. Савремени програмски пакети поседују посебне модуле за скицирање основних идеја конструктора, које се током рада могу лако мењати и дорађивати. Зато се често каже да ти или слични модули замењују “бележницу” конструктора, што додатно истиче повећану комфорност и природност при раду. То значи да пројектант од самог почетка није оптерећен димензијама (котама) производа, већ стварањем његовог облика, а тек након тога уводи димензионална и остала функционална ограничења, која одликују дати производ.

Овакав поступак суштински мења приступ пројектовању кроз:

- Олакшавање извођења (спровођења) активности везаних за стварање модела производа
- Већу флексибилност у раду
- Подизање нивоа креативности
- Подизање нивоа ефикасности
- Смањење трошкова развоја производа
- Већу природност при раду
- Примену кључних принципа модерног инжењерства, итд.

Дакле, суштина приступа и поступка развоја производа и процеса помоћу рачунара огледа се у стварању модела. У различитим фазама развоја, модел има различито специфично значење. Оно је повезано са карактеристикама и потребама активности које се спроводе у циљу стварања готовог производа. У контексту рачунарског пројектовања производа и процеса, може се навести следећа генеричка дефиниција модела: **”Модел је рачунарска представа (репрезентација) реалног производа или процеса”**.

Ова дефиниција је општег карактера и има за циљ да укаже како на нематеријалну страну модела, тако и на настојање постизања што реалније представе

будућег производа или процеса. Тиме се истичу претпоставке везане за имплементацију концепта модерног инжењерства и испуњење захтева тржишта, у смислу брже ефикасности и свеобухватне реализације пројеката.

Са друге стране свака фаза развоја производа и процеса има своје специфичности које на посебан начин истичу особености модела који током њих настаје. Основни модел који се користи током свих фаза развоја производа, процеса и шире, током читавог животног циклуса производа, је геометријски модел: **”Геометријски модел је рачунарска представа геометријских, димензионих и тополошких карактеристика производа”**.

Стварањем геометријског модела, обезбеђују се услови за читав низ анализа и провера. Њима се симулирају експлоатационе карактеристике производа, кроз задавање реалних ограничења. Тиме се отклањају могућности превиђања недовољно добрих решења, односно постиже се формирање оптималне конструкције, уз задовољење захтева сигурности коришћења производа у реалним условима. Такав модел, настао на основу геометријског, назива се инжењерски модел: **”Инжењерски модел је рачунарска представа кинематских, структурних, термичких и функционалних карактеристика производа”**.

Кроз пројектовање технолошких поступака обраде помоћу рачунара могу се у највећој мери симулирати стварни услови израде производа. То се, пре свега, односи на путање алата, режиме обраде и спречавање могућности интерференце алата са осталим елементима обрадног система. Сем тога, омогућена је провера и оптимизација програма за нумерички управљане машине и алатке, који се аутоматски генеришу и чине део технолошког модела: **“Технолошки модел је рачунарска представа карактеристика и технолошких поступака израде производа”**.

Коначно за симулацију и проверу читаве производње, неопходан је производни модел који садржи све релевантне карактеристике неопходне за управљање производњом, опремом и процесима: **“Производни модел је рачунарска представа производних и управљачких карактеристика и поступка производње производа”**.

Да би се креирао модел производа или процеса, неопходно је испоштовати одговарајуће поступке и процедуре. Они су усмерени ка дефинисању, како општих, тако и специфичних карактеристика модела у појединим фазама развоја. Читав процес назива се моделирање и може се дефинисати на следећи начин: **“Моделирање је процес стварања модела, кроз дефинисање његових геометријских, димензионих, тополошких, инжењерских, технолошких и производних карактеристика”**.

До сада основне издате карактеристике система указују да је развој новог производа, процеса израде и пратећих процеса заснован на стварању компонентних рачунарских модела, као организованих скупова релевантних података и информација. Може се приметити да је овако дефинисан модел знатно различит од класичних цртежа и остале техничко-технолошке документације која у традиционалним приступима прати и дефинише развој и реализацију производа. У наредном поглављу се стога, описују основне разлике између модела и цртежа и истичу предности савременог приступа развоју производа и процеса [9].

4.1 Цртање и моделирање

CAD системи који омогућавају запреминско (*solid*) програмирање суштински се разликују од система за цртање. Код цртања конструктор је од самог почетка стварања конструкције усресређен на поштовање исправних димензија, немајући при том увид у њену просторну представу. Може се чак и рећи да је конструктор оптерећен линијама и котама, губећи понекад нит производних, технолошких, естетских и других ограничења. У оваквом приступу конструкција се моделира на основу цртежа, односно модел реалног објекта се изводи из цртежа.

Основна карактеристика класичног “цртачког” поступка развоја конструкција, без обзира да ли се тај поступак изводи ручно или уз помоћ одговарајућих CAD пакета, огледа се кроз стварање техничких цртежа склопа и свих саставних елемената и конструкције у целини, готово од самог почетка, односно рађања идеје. Наиме, идеја о конструкцији се најчешће иницијално забележи као низ скица, али се одмах потом прелази на стварање детаљних техничких цртежа, којима се пре свега детаљно дефинише геометријске и димензионе карактеристике производа. Сама фаза скицирања може се изоставити. Технички цртежи, јасно, садрже и низ других информација и података о производу, као што су начин и квалитет обраде, материјал од ког је направљен и чине такозвано техничко-технолошке карактеристике производа.

Све ово говори да је овако формиран модел производа дводимензионалне (2D) природе. Кориснику се стога не пружа могућност лаког и брзог разумевања стварног (просторног, тродимензионалног 3D) изгледа производа, нарочито ако се ради о недовољно технички образованој особи. То тим пре што технички цртежи садрже и мноштво помоћних линија (коте, шрафуре, линије пресека и сл.), ознака и других

техничких елемента, који додатно могу отежати разумевање просторног изгледа производа. Технички цртежи свакако не искључују примену изометријских или триметријских погледа, али се они у пракси веома ретко користе. Зато се јаснија представа о просторном изгледу производа, заправо стиче тек након његове израде.

Појавом модерних приступа пројектовању производа у *CAD* програмским пакетима заснованих на примени концепта и методологија просторног моделирања, наведени проблеми и недостаци су отклоњени у највећој мери. Полазећи од скица, које се такође формирају помоћу рачунара, најпре се генеришу основни просторни геометријски облици, чијом се даљом манипулацијом ствара коначни *3D* облик производа. Дакле, за разлику од цртања, моделирање се заснива на формирању – стварању коначних облика конструкције од тзв. “чврстих запремина материјала”. Такав приступ је ближи реалности и природнији је са становишта практичне примене. Сем тога, он конструкторима, а посебно пројектантима и креативним дизајнерима, дозвољава велику флексибилност у раду. Суштина се огледа у дефинисању неопходних правила и ограничења, која конструкција мора поштовати, да би се задовољили постављени захтеви. Током скицирања, пројектант може, али не мора, да уноси одговарајуће димензије елемената скице. При томе није оптерећен јасним постављањем кота и прецизним задавањем котних вредности, с обзиром да их током развоја конструктор може модификовати у било ком тренутку.

У поступку моделирања геометријски модел представља основу за даљу примену, употребу и манипулације. Сам геометријски модел настаје од елементарних геометријских тела и ентитета, односно од тзв. геометријских форми. Заправо, геометријске форме (*GF*) формирају појединачне делове конструкције, тј. машинске елементе (*ME*). Њиховим спајањем у мање целине – подсклопове (*PS*) или у целе производе, склопове (*S*) – настаје коначни облик конструкције. Тако креиран модел назива се виртуелни или дигитални производ.

Примена и употреба модела започиње још у фази концептуалног развоја. Наиме, карактеристике ових система омогућавају паралелан развој различитих врста модела у оквиру укупне дефиниције производа и процеса. Зато се одмах након формирања иницијалних геометријских карактеристика виртуелног производа приступа развоју осталих конструктивно-производних ентитета. То се посебно односи на структуру и друге анализе производа, пројектовање алата неопходних за производњу производа, пројектовање и симулацију технолошких поступака израде, израду интернет презентација, генерисање техничке и производне документације и др.

Треба приметити да, за разлику од традиционалног приступа, у савременом приступу пројектовања израда класичне, техничке и производне документације није неопходна. Она се може, али не мора, генерисати на основу развијеног модела производа. На пример, у случају интензивне примене нумеричких машина алатки и директног или дистрибутивног начина управљања производним процесима, класичан технички цртеж није потребан. Сем тога, данас је далеко сврсисходније и ефикасније користити предност интернет технологија и тзв. електронске документације или електронских цртежа, за све врсте инжењерске комуникације између различитих развојних тимова. Треба напоменути да технички цртежи, генерисани на овај начин, поред неопходних пројеката, погледа, пресека, детаља, димензионих и других детаља садрже најчешће и просторни приказ конструкције. Тиме се олакшава “цртање” цртежа, а кориснику пружа јаснија представа о производу.

Са производног аспекта, основна предност оваквог приступа, огледа се пре свега, у могућности сталне контроле производних ограничења. На тај начин се у значајној мери подиже квалитет производа и смањује могућност појаве шкарта [9].

4.2 Моделирање 3D објеката

Моделирање објеката у рачунарској графици представља формирање објеката (модела) рачунаром. Како је формиран модел логичка целина, он се даље може употребити за израду конструкционе документације, различите графичке приказе, технолошку припрему производње (*CAP/CAPP/CAM*) и коначно за инжењерске анализе.

У *CAD* поступцима, моделирање је скуп метода којима се, посредством рачунара, дефинишу геометријска, функционална, материјална, естетска и друга својства објеката. Процес израде геометријског модела је геометријско моделирање.

Геометријски модел је основни предмет рада у *CAD*-у. Геометријски модел има своју физичку форму (у простору то је машински део), апстрактну форму у облику цртежа, информациону форму (хијерархија елемената) и унутрашњу форму у бази података.

Геометријско моделирање методолошки користи анализу и синтезу. Синтеза је процес стварања (обавља се код прве креације), када модел још увек не постоји и представља генерисање модела.

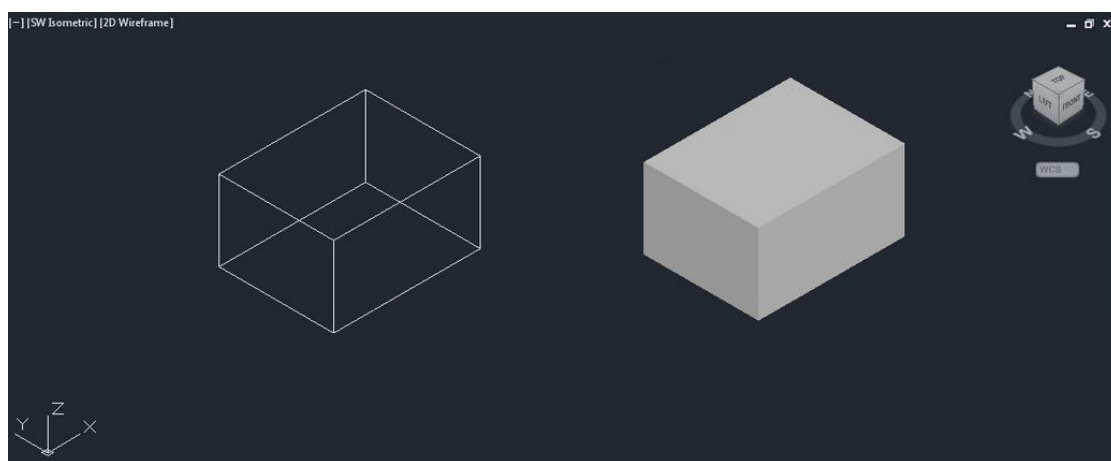
Методe анализe геометријских модела користе постојеће, сличне моделе као основу за креацију. Аналитичким поређењем сличног модела (математичког модела) са циљним моделом, утврђују се разлике, на бази којих се групом узастопних модификација формира нови модел.

Рачунарска графика користи три врсте геометријских модела:

- жичани модел
- површински модел и
- запремински модел

Жичани модел приказује објекат као скуп темених тачака и граничних ивица. Жичани модел дефинише елементарна својства објекта: контуру објекта, оријентацију у односу на окружење и функцију у склопу сцене. Жичани модел нема скривених линија, па је тешко брзо тумачити геометријску форму. Коришћење жичаног модела засновано је на брзом оперисању моделом и потреби увида у скривене линије.

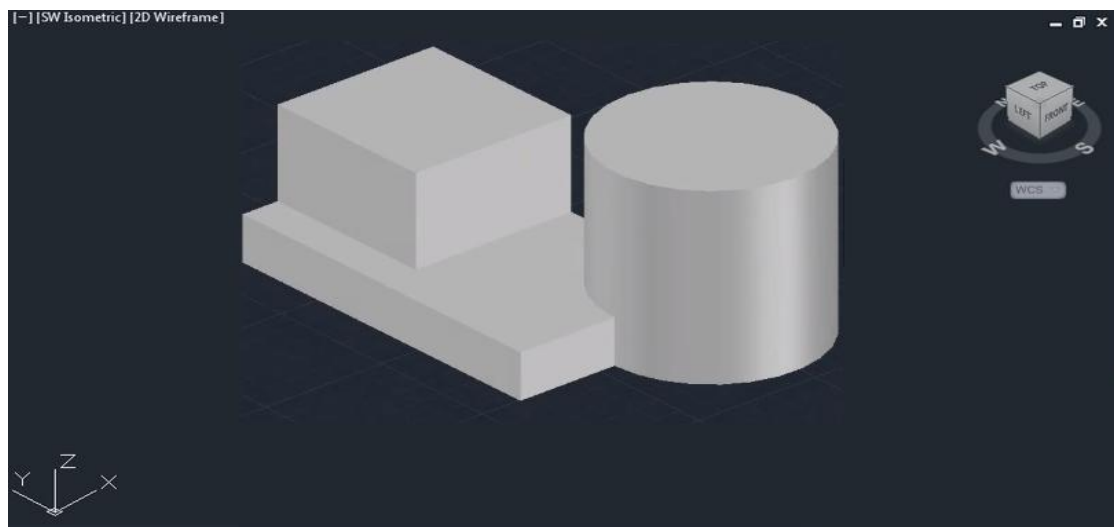
Друге предности геометријских модела нуди површински модел који је описан теменим тачкама, граничним ивицама и граничним површинама. Овај опис је детаљнији и омогућава дефинисање видљивости графичких ентитета, формирање јасне техничке документације и приказа склопова.



Слика 20: Жичани и површински модел [11]

Запремински модел описан је теменим тачкама, граничним ивицама, граничним површинама и њима захваћеном запремином. Како је простор дефинисан запреминским моделом пуно тело, такав модел омогућује одређивање површина

пресека, запремине објекта, момената инерције, положаја тежишта. Апликације у машинству користе запремински модел као основни модел.



Слика 21: Запремински модел, добијен техником екструдирања [11]

Процес формирања модела (апликација) има две етапе рада: прва етапа је дефинисање основе геометрије објеката и његов смештај у корисничку базу објеката. Према томе, моделирањем се врши избор основних геометријских примитива, а њиховим састављањем, *2D* и *3D* операцијама, формира се модел. Примитиве у *3D* простору су призма, ваљак, купа, лопта и тд. (слика 22).

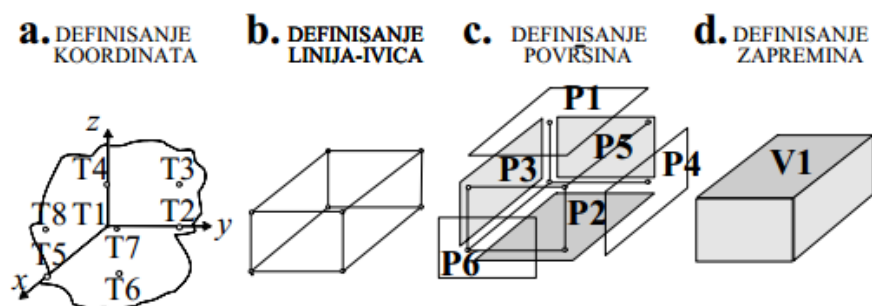


Слика 22: Примитиве у *3D* простору [11]

Друга етапа моделирања је слагање основних примитива у групе према функционалним везама у склопу. Тако се сви графички елементи једне групе могу као

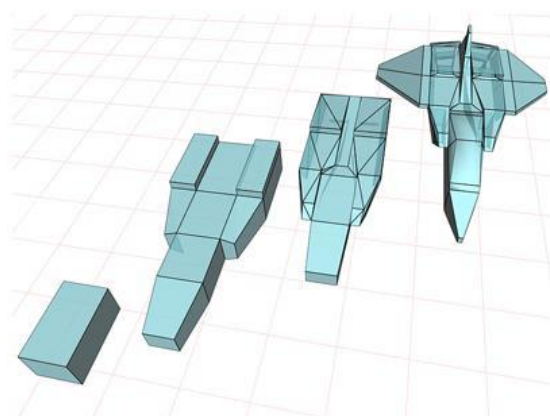
целина обрађивати. То је процес хијерархијског груписања који омогућава разлагање склопа (приказивање у расклопљеном стању), израду пројекција, израчунавање масе, момената инерције...

Формирање 3D модела по концепту синтезе има више приступа. Реализује се дефинисањем граница објекта основним графичким елементима – *B-REP* модел (сл. 23), и састављањем модела из 3D примитива.



Слика 23: Приступ дефинисањем граница објекта [8]

Састављање 3D примитива реализује се техникама контактнoг спајања и Буловим операцијама. Техника контактнoг спајања примењује се код правилних и равних контактних површина. Низом узастопних операција додавања и одузимања елемената, формира се објекат (сл. 24).

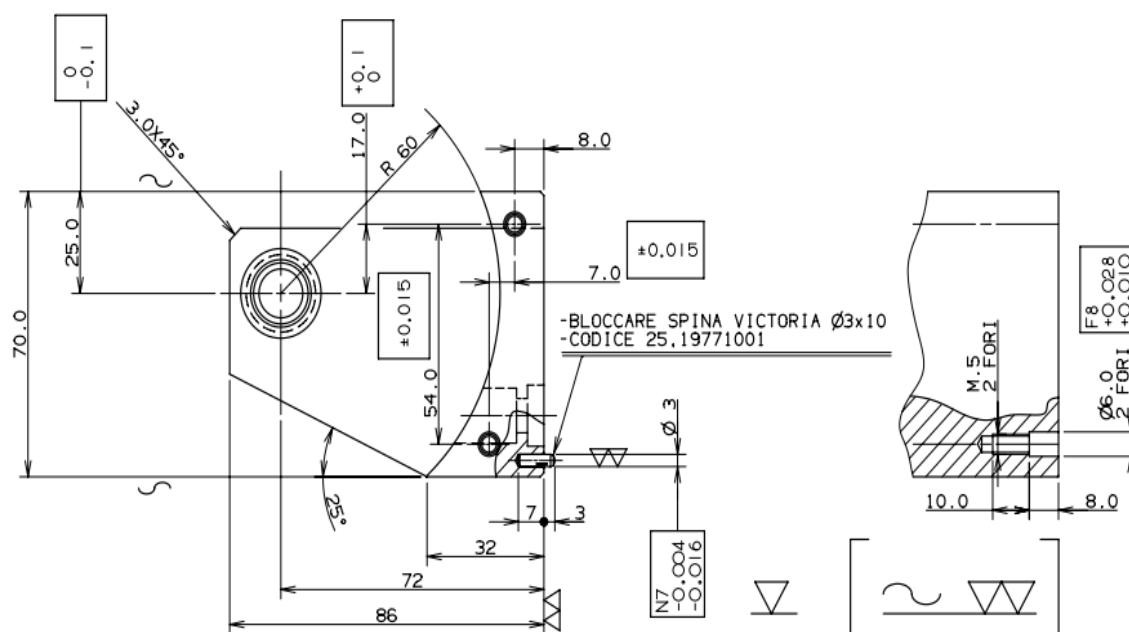


Слика 24: Техника контактнoг спајања 3D примитива [12]

Булове операције имају велики удео у савременом 3D моделирању објеката. Подразумевају рад са скуповима који дефинишу геометријска својства објеката. На 3D примитивама и телима изводе се три врсте операција: геометријско сабирање, геометријска разлика, геометријски пресек.

5. Примери из праксе

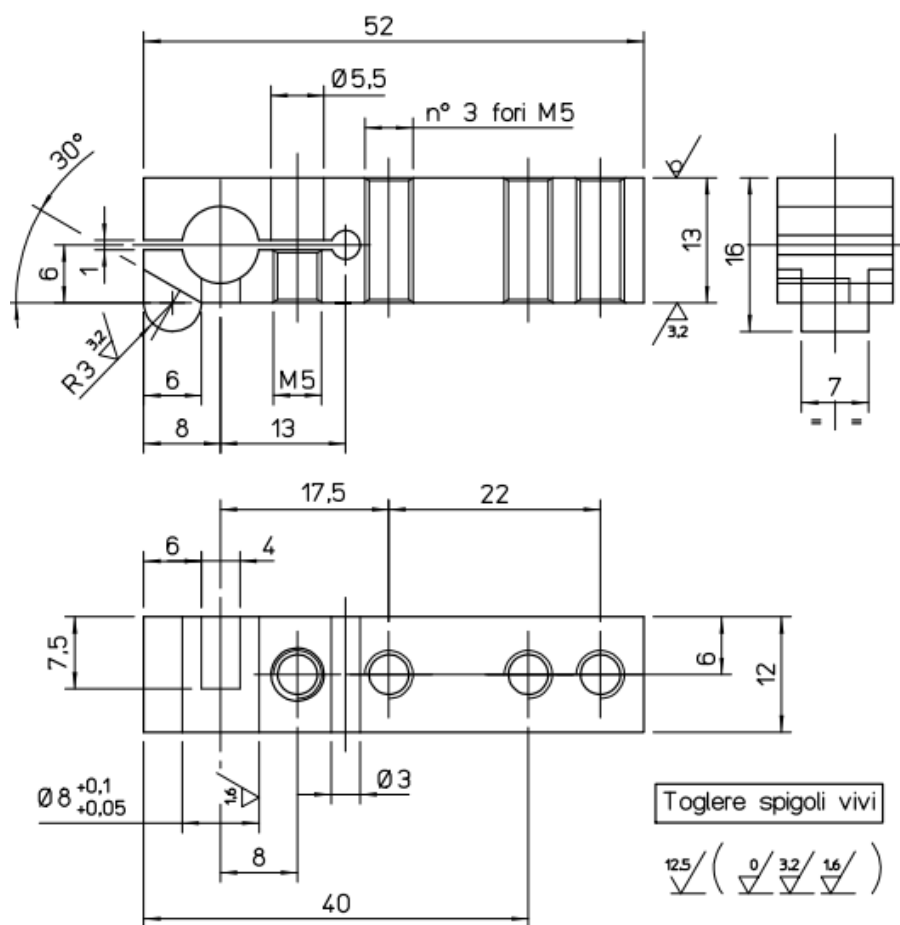
У овом поглављу биће наведено неколико примера из праксе у којима се могу видети недостаци израде цртежа у 2D техници, као и предности постојања 3D модела.



Слика 26: Употреба исте линије као контурне и котне

На слици 26 приказан је детаљ са цртежа на коме је коришћена иста врста линија за контурне линије, као и за котне. Котна линија радијуса R60 може се протумачити као контурна линија, тј. није најјасније где контура почиње а где се завршава. Сличан случај можемо видети на слици 27.

У овом случају су и линије скривених контура исте као контурне и котне, тј. постоји само једна врста линије. Конкретан проблем овде настаје због немогућности тачног утврђивања положаја жлеба на комаду. Такође се не може утврдити да ли нека пројекција представља пресек због непостојања ознака за пресек, шрафуре...

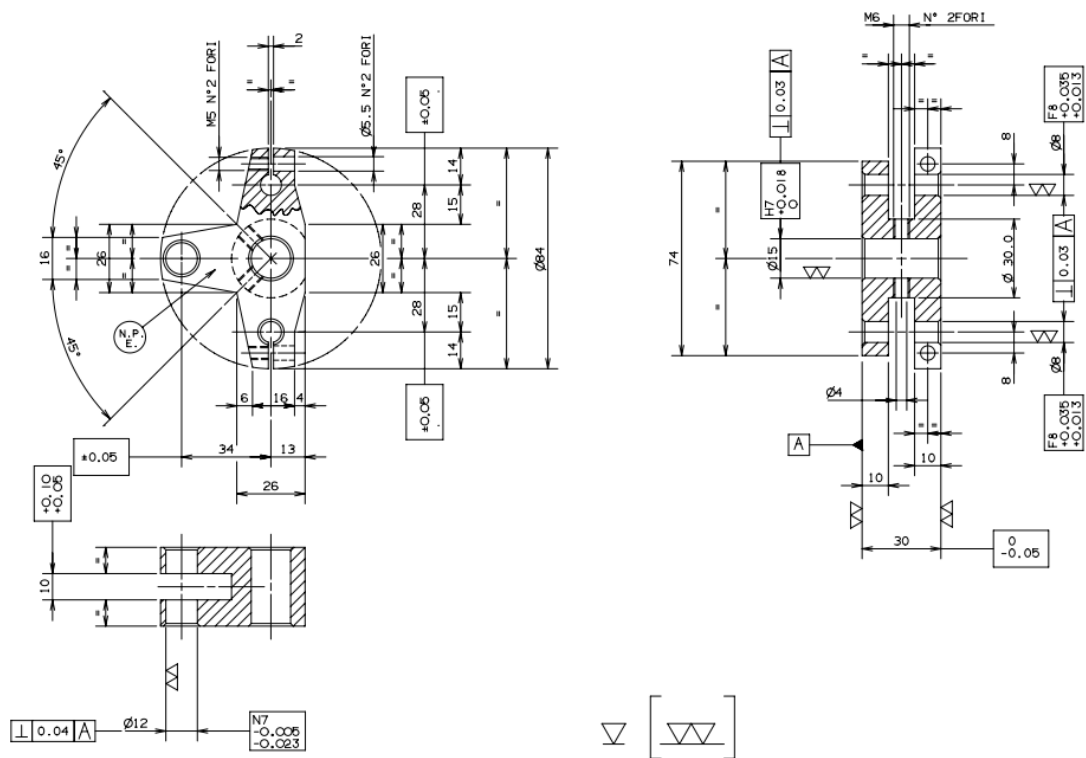


Слика 27: Једна врста линије

Слика 28 представља један од главних недостатака 2D цртања.

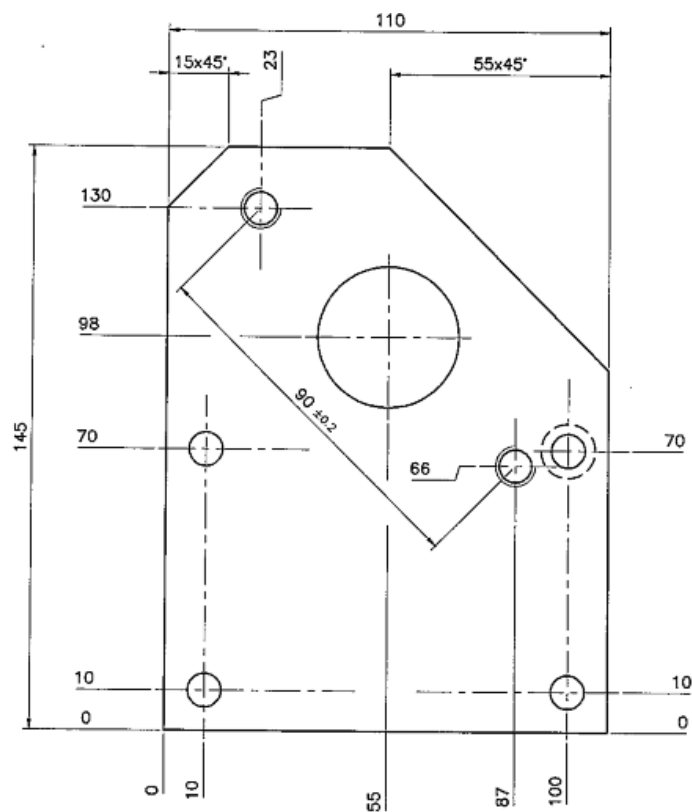
Наиме због непостојања бар још једне пројекције немогуће је утврдити шта представља кота 74, тј. да ли она представља пречник кружнице која прати контуру дела, или представља паралелне ивице. Постојање 3D модела отклонило би недоумице везане за овај детаљ.

Претходно наведени проблеми представљају грешку цртача која настаје услед његове окупираности котирањем цртежа, док се у други план ставља тачност и повезаност пројекција као реалне представе дела (склопа).



Слика 28: Недостатак пројекције

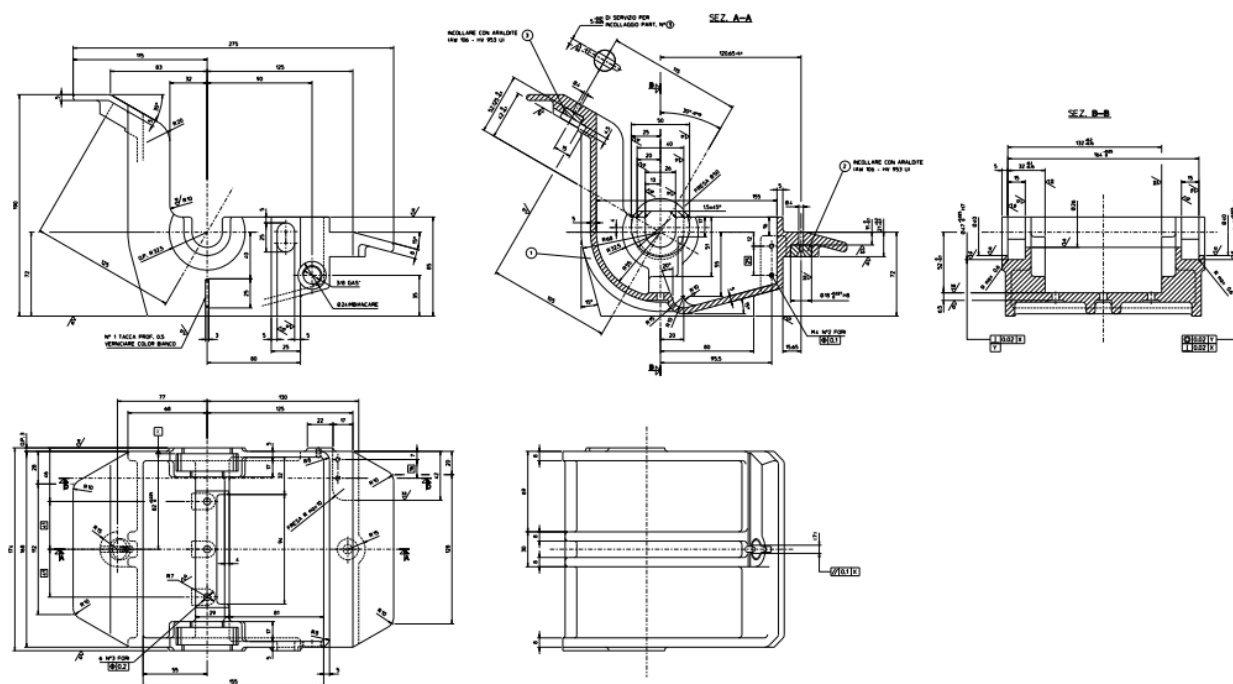
Следећи пример не може се окарактерисати као грешка у класичном смислу, али свакако одступа од правила техничког цртања (сл.29).



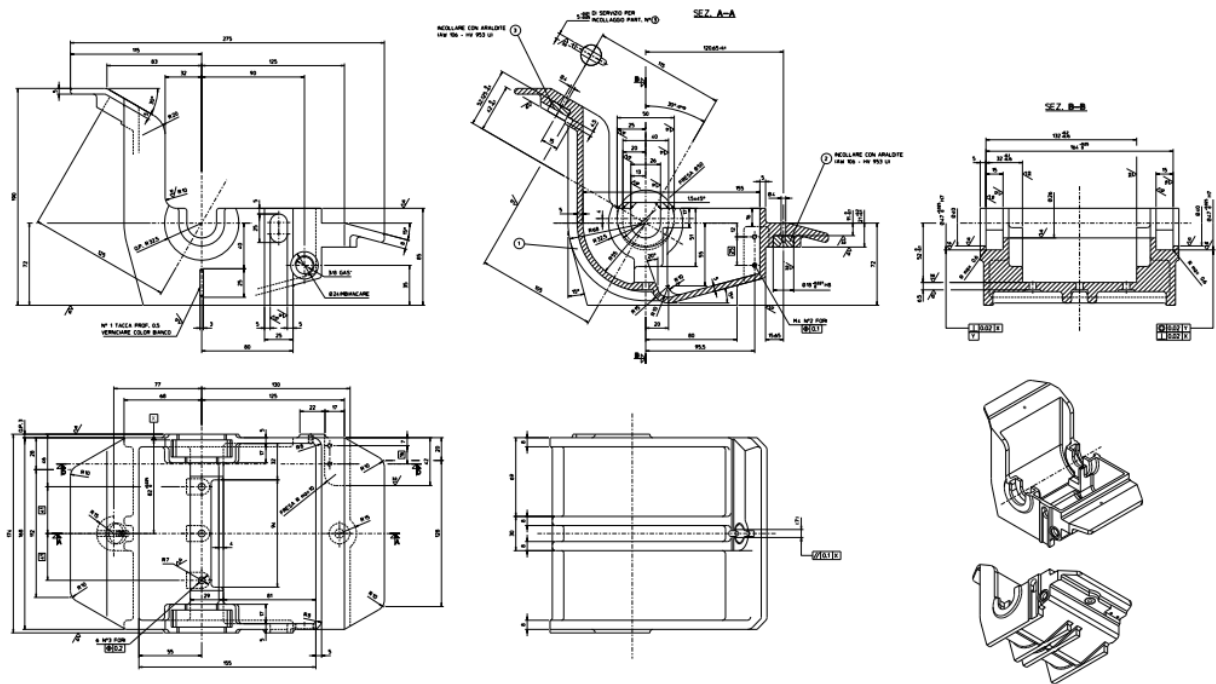
Слика 29: Предимензионираност цртежа

Координате центара отвора M10 – 66 и 130 mm по вертикали и 23 и 87 mm по хоризонтали указују да су отвори темена квадрата 64x64 mm, што указује да би се у идеалном случају отвори налазили на растојању од 90,5 mm, што прелази границу прописаног међуосног растојања за 0,3mm. Настаје проблем због немогућности поштовања свих мера, па се поставља питање које координате поштовати.

Слике 30 и 31 приказују исти машински део, с тим што на слици 32 постоји изометријски приказ дела. Ово представља огромно олакшање оператеру (или тиму оператера) који део израђује. Постојање 3D модела пружа моментални увид у изглед дела, а то само по себи олакшава приступ изради јер се не губи време на визуализацију, чиме се израдно време битно смањује.



Слика 30: Приказ без 3D пројекције



Слика 31: Приказ са 3D пројекцијом

6. Закључак

Изучавањем техничког цртања долази се до закључка да је током година његова примена постала све комплекснија. Од првобитних папира, лењира и гумица, стигло се на један сасвим нови ниво, који је задржао основна правила техничког цртања, али којима је додата једна нова палета алата и могућности. Папири су замењени рачунарима, а оловке одговарајућим програмима, који непрестано унапређују начине цртања, тј. моделирања. Лакша конструкција подразумева још лакшу израду и самим тим лакше разумевање људи. Савремене *CAD* технологије омогућавају конструкцију компликованих делова у свега неколико корака, чиме се штеди и време и новац. Ови софтвери се унапређују из дана у дан. Највеће светске фирме улажу пуно труда, енергије и новца у развијање оваквих рачунарских модела и у оспособљавање младих кадрова за рад на њима. Широки спектар примене и могућности потврђују да су то практични и брзи начини моделирања. Њима се осим цртања техничких цртежа може дизајнирати у суштини све. Од авиона, аутомобила, преко кућа и дворишта. Могу се конструисати разни делови намештаја, њихов распоред, боја, као и најситнији детаљи, што са друге стране потврђује да не морају само инжењери да користе ове софтвере, него они могу бити употребљени у било којој грани привреде. Познавање неког од програма за моделирање данас не представља луксуз, него једну од основа писмености. Инжењери не могу да напредују а да не баратају добро овим програмима. *CAD/CAM* технологија је постала једна сфера око које се врте многе огромне светске фирме и од чијег развоја зависе готово сви. У свачијем интересу је да ови системи наставе да напредују, како би на основу њих и многе светске компаније могле да се осавременењују и напредују. Само улагање у нове напредне технологије гарантује сигурну будућност компаније и запослених. Ако имамо у виду да најразвијеније земље преко 70% бруто друштвеног производа обезбеђују из нових технологија и нових производа, онда је то тренд који треба пратити. Сасвим је сигурно да су *CAD/CAM* технологије управо алати преко којих се један велики део нових производа смишљају и производе. Наша земља поприлично заостаје за светом по питању технологије, нови домаћи производи код нас представљају праву реткост и готово све новине задњих година у нашу земљу донели су странци. Оживљавање домаће привреде и производње, мора да иде преко младих и школованих генерација, које на својим факултетима имају увид у нове технологије и које су образоване да раде на њима.

7. Литература

- [1]. Техничко цртање са компјутерском графиком - скрипта- Лозица Ивановић, Крагујевац 2008.
- [2]. <http://dodatnanastava.weebly.com/tehni269ko-crtanje-sa-nacrtnom-geometrijom.html>
- [3]. http://vasiljkovicihadzinikolic.weebly.com/uploads/1/3/6/6/13661344/6314333_orig.jpg
- [4]. <http://www.bilder-plus.de/bilder/bilder/din-a-formate.jpg>
- [5]. http://kompjuterskagrafika.files.wordpress.com/2012/01/clip_image0022.jpg
- [6]. <http://tehcrtanje.files.wordpress.com/2011/10/debljina1.png>
- [7]. Рачунарска графика – Др Миомир Јовановић – Ниш 2006
- [8]. Пројектовање рачунаром – Др Миомир Јовановић – Ниш 2010
- [9]. Софтверска решења CAD/CAM система – Др Горан Девеџић –Крагујевац 2004
- [10]. http://1.bp.blogspot.com/-zTlutuRE1oA/TyMSSY_QuEI/AAAAAAAAABQ/ogARLU-Bre4/s1600/VectorVsRaster.png
- [11]. <http://autocadtips.wordpress.com/>
- [12]. http://3dmax-tutorials.com/graphics/il_workflow_modeling-2.jpg
- [13]. http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8b/Csg_tree.png