

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Техничко цртање са компјутерском графиком

Број индекса: 159/2012

Николета Н. Трајковић

Примена боје у рачунарској графици **завршни рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Лозица Ивановић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да систематизује постојећа знања о карактеристикама боја, њиховој подели и психолошком значењу. Затим је потребно описати моделе боја и њихову примену у рачунарској графици. Такође, дати приказ савремених трендова у примени боја у рачунарској графици, са посебним нагласком на инжењерске примене.

Препоручена литература:

- [1] др Миомир Јовановић, РАЧУНАРСКА ГРАФИКА-ауторизована предавања, 2007.
- [2] проф. др Ивана Берковић, РАЧУНАРСКА ГРАФИКА- изводи са предавања, 2004.
- [3] Ивановић Л., Кузмановић С., Вереш М., Рацков М., Марковић Б.,ИНДУСТРИЈСКИ ДИЗАЈН, Крагујевац, 2015.

Крагујевац, март 2017.

Ментор:

проф. др Лозица Ивановић

САДРЖАЈ

1. УВОД	7
1. 1 Перцепција светлости	8
1. 2 Карактеристике и подела боја	9
1. 3 Симболика и психолошки утицај боја	12
1. 4 Хармонија и контрасти боја	13
1. 5 Модели боја	17
1. 6 Односи између боја – колор шеме	19
2. РАЧУНАРСКА (КОМПЈУТЕРСКА) ГРАФИКА	20
2. 1 Историја рачунарске графике	20
2. 2 Подела рачунарске графике	22
2. 3 Примена рачунарске графике.....	27
3. ПРИМЕНА БОЈЕ У РАЧУНАРСКОЈ ГРАФИЦИ	28
3. 1 Боје текста.....	28
3. 2 Боје корисничког интерфејса	28
3. 3 Боје у САД програмима.....	29
4. Закључак	35
5. Литература.....	36

Изјављујем да сам овај завршни рад урадила самостално, служећи се
стеченим знањем и искуством као и наведеном литературом.

Број индекса Име и презиме
159/2012 Николета Трајковић

Резиме

У првом делу завршног рада представљена је теорија боје, њене основне карактеристике и поделе, симболички значај и психолошки утицај боја. Дате су дефиниције хармоније боја, њихових контраста и међусобних односа. Такође су описани и најчешће коришћени модели боја, као и колорне шеме.

У другом делу рада је појашњен појам рачунарске графике, њене основне поделе и примена. Дефинисан је значај и утицај примене боје у рачунарској графици. Приказани су конкретни примери примене боје на изради склопа измоделираног у програму *Catia*.

Кључне речи: рачунар, графика, боја

Abstract

The first part of the final paper presents the theory of color, its basic characteristics and divisions, the symbolic significance and the psychic influence of colors. The definition of harmony of colors, their contrasts and the relationship between certain colors is presented. Also shown are the most commonly used color models, as well as color schemes.

The second part of the paper clarifies the concept of computer graphics, its basic division and application. The significance and influence of the applied color in computer graphics is defined. Specific examples are presented that are used to create a assembly in a Catia program.

Keywords: computer, graphics, color

1. УВОД

Боја од давнина игра важну улогу у људском животу. Пре два века је чувени немачки књижевник Јохан Волфганг Гете (1749.–1832.) објавио књигу под називом *"Теорија боја"* (*"Zur Farbenlehre"*) у којој су дата нека од првих објашњења шта су боје. Ово Гетеово дело је својим приступом омогућило да се отвори и поље испитивања људске перцепције боја, поред истраживања оптичког спектра са аспекта физике. Отуда данашња теорија боје којом се објашњава мешање боја и њихово комбиновање за потребе ликовних уметности и визуелних ефеката. Гете се суочио са темом светлости и испитао неке њене феномене након што је погледао једно преламање беле светлости кроз призму. Гете се у својим анализама ослања на темељну теорију коју је Исак Њутн (1643.–1727.) већ дао у књизи *"Оптика"* из 1704. године. Њутнова књига се сматра пионирским делом о природи светлости и првим научним објашњењем о настанку боја. Преламање светлости кроз призму је чувени Њутнов експеримент помоћу којег је дао објашњење да је боја својство светлости и да она није карактеристика предмета (слика 1.1). Гете је био мишљења да светлост није сачињена од честица, како је то тврдио Њутн, нити да је светлост талас, што је била тврдња Хајгенсове школе. Гетеова тврдња се заправо запањујуће поклапа са савременим квантномеханичким објашњењем понашања светлости. Гете је творац точка са шест боја. Касније, крајем 19.века, немачки научници су подробније разрадили такозвани RGB систем боја који се састоји од три основне боје: црвене, зелене и плаве.



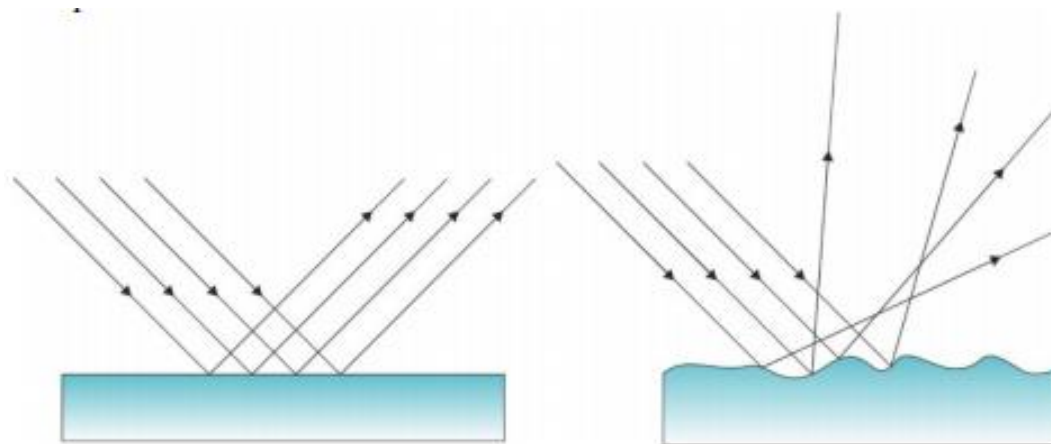
Слика 1.1 Исак Њутн (1643.–1727.) [1]

Захваљујући рецепторима у ретини ока, човек је у стању да види један део електромагнетног спектра и то онај који има таласне дужине између 380 и 780 нанометара. Тај део спектра називамо видљивим делом спектра. Светлост или зрачење мање или веће таласне дужине спада у радиоталасе, микроталасе, инфрацрвено зрачење, x -зрачење или γ -зрачење) [1].

Графика је визуелна презентација информација помоћу боја и облика на некој подлози, нпр. зиду, платну, рачунарском екрану, папиру или камену, са циљем да информише, или забави гледаоца, односно читаоца. Рачунарска графика (енг. *computer graphics*) обухвата стварање, чување и употребу модела и слика објеката који потичу из природе, науке итд. Високо развијена способност препознавања облика и боје код човека чини рачунарску графику једним од најприроднијих начина комуникације са рачунаром. Данас је рачунарска графика трећи доминантни начин производње слика поред фотографије и телевизије. Рачунарска графика је уједно и поље визуелне уметности где корисник путем рачунара ствара слике и мења их визуелно комбинујући их са информацијама и материјалима из реалног света. Рачунарска графика је почела да се нагло развија са појавом персоналних рачунара [2]. Првобитна примена рачунара тј. жеља због које су и конструисани јесте да се осмисли машина која ће нумеричка израчунавања учинити лакшим, бржим и прецизнијим. Након те првобитне тенденције, примена рачунара се проширује и на обраду и чување текста. Следећа примена је била коришћење већих количина података (како нумеричких, тако и текстуалних), у такозване базе података. На самом почетку, програми за цртање били су посебне намене и обично повезани са неким програмом за нумеричке прорачуне, како би се резултати графички приказивали. Данас је ова примена у области графике проширена употребом рачунара у области пројектовања, дизајна, анимације, посебних визуелних ефеката, разних симулација, дигиталне фотографије, скенираних материјала итд.

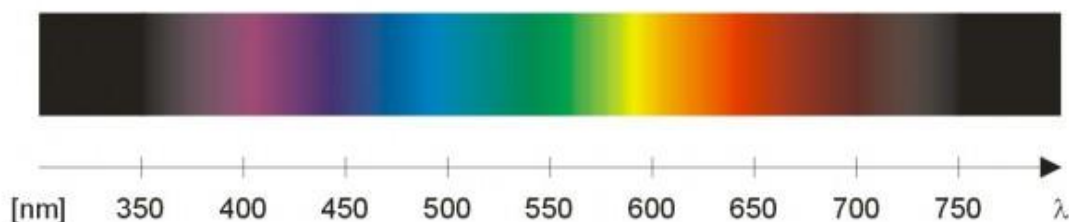
1. 1 Перцепција светлости

Боја је резултат рефлектовања светлости о неку површину, те је при изучавању човекове перцепције боја веома важно познавање особина светлости. Светлосним извором сматра се свако тело које емитује светлост. Светлосни извори се могу поделити на примарне и секундарне. *Примарни извори светлости* јесу они који имају сопствено зрачење, као што је Сунце на пример. *Секундарни извори светлости* рефлектују светлост коју емитује примарни извор. Рефлексија може бити тачкаста (спекуларна) или дифузиона. Примери секундарних светлосних извора приказани су на слици 1.2.



Слика 1.2 Секундарни извори светлости: а) спекуларна рефлексија, б) дифузиона рефлексија [3]

У зависности од састава таласних дужина електромагнетног зрачења које садржи, светлост може бити монохроматска или полихроматска. Монохроматска светлост је електромагнетно зрачење из опсега таласних дужина од 380 до 780 nm, док полихроматска представља мешавину две или више монохроматских светлости [3].



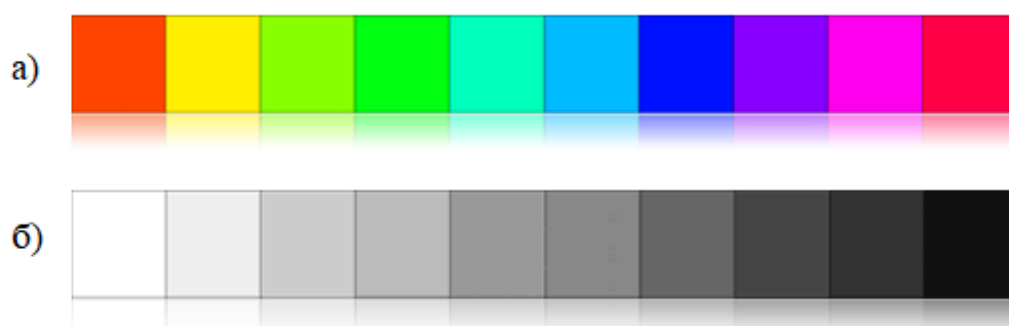
Слика 1.3 Део спектра електромагнетног зрачења [1]

Боје се у људском оку могу разликовати захваљујући мрежњачи (ретини) која је осетљива на светлост и која се састоји од рецептора осветљаја (штапића) и светлосних рецептора боја (чепића). Селективну осетљивост на боје омогућавају три врсте фотохемијских материја које садрже чепићи – пигмент осетљив на плаву, црвену и зелену светлост. Механизам људског вида има способност да разликује зрачења одређених таласних дужина светлости које се називају спектралним бојама.

Боја се доживљава искључиво под утицајем природне или вештачке светлости. Природна светлост долази од Сунца чији су зраци састављени од седам боја распоређених у спектру следећим редоследом: црвена, наранџаста, жута, зелена, плава, индиго и љубичаста.

1. 2 Карактеристике и подела боја

Све боје које се налазе унутар сунчевог спектра су *хроматске боје*, а црна, бела и сиве, које се такође називају “небоје”, припадају *ахроматским* (неутралним) бојама (слика 1.4) [4]. Бела боја је заправо мешавина свих боја, а црна је у ствари, одсуство свих боја.



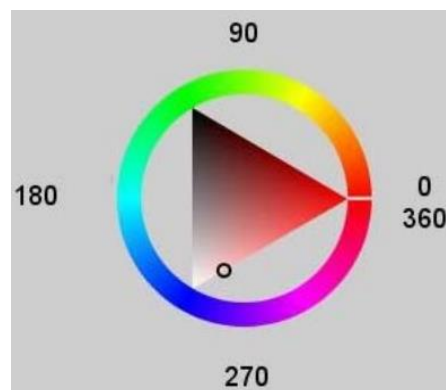
Слика 1.4 а) хроматске, б) нехроматске боје

Једино својство нехроматских, односно монохроматских боја јесте квантитет светлости. Посматрач нема осећај за искуство које везује за боје. Визуелне сензације узроковане хроматском светлошћу су много богатије од оних обојених ахроматском светлошћу.

Свака хроматска боја поседује три основне карактеристике, а то су:

- тон,
- светлина и
- засићеност.

Тон (енг. *Hue*) је карактеристика по којој заправо боја и добија назив и представља положај боје на тзв. точку боја (слика 1.9), на коме се налазе све примарне и секундарне боје, као и њихове комбинације (слика 1.8). Описује се у колорном кругу на којем угао од 0° представља црвену боју, од 60° жуту, од 120° зелену, од 180° цијан, 240° плаву, а од 300° магенту (слика 1.5).



Слика 1.5 Тон боје на колорном кругу [14]

Светлина односно валер (енг. *Value, Luminance, Brightness*) је количина светлости у некој боји. Валер поседују како хроматске тако и ахроматске боје. Осветљеност даје проценат црне или беле боје која се меша са посматраном бојом. Има вредност од 0 – 100%, при чему је 0% црна, а 100% је најсветлији ниво боје тј. бела боја, без обзира на тон или засићеност (слика 1.6).



Слика 1.6 Светлина боје [14]

Засићеност или интензитет (енг. *Saturation*) је чистоћа боје. Односи се на интензитет боје. Овај квалитет варира од неутралног сивог тона, до врло интензивних боја. Уколико задата боја не садржи белу, односно сиве боје, за њу кажемо да је потпуно засићена боја (слика 1.7).

Засићеност такође има вредност од 0 – 100%, где 0% представља белу, сиву или црну боју, док 100% представља чисту боју [5].



Слика 1.7 Засићеност боје [14]

На точку боја се може уочити 12 нијанси, односно 3 примарне (основне), 3 секундарне (изведене) и 6 терцијалних (интермедијарне), што је приказано на слици 1.8. Примарне боје су жута, плава и црвена и оне не могу настати мешањем других боја, а све остале боје настају од њих. Секундарне су наранџаста, љубичаста и зелена боја, које настају мешањем основних боја. Мешањем примарних и секундарних добијају се терцијарне боје: жуто - наранџаста, црвено - наранџаста, црвено - љубичаста, плаво - љубичаста, плаво - зелена, жуто - зелена. На точку боја се свака терцијарна боја налази између боја од којих је заправо и настала. На кругу боја се не налазе неутралне боје.



Слика 1.8 Приказ примарних, секундарних и терцијарних боја [6]

Сврха формирања круга боја јесте јасно дефинисање релација између поједних нијанси. Користи се свуда где се јави потреба за хармонизацијом боја, највише у уметности и дизајну.



Слика 1.9 Точак боја [6]

Круг боја нам може послужити такође и за одређивање “топлих” и “хладних” боја (слика 1.10). Међу *топле* боје убрајамо црвену, наранџасту и жуту, као и боје између њих. Називамо их топлим бојама јер асоцирају на Сунце и ватру. У *хладне* боје спадају плава, зелена и љубичаста, и боје које се налазе између њих. Асоцирају на свежину природе и на воду, те их зато називамо хладнима.



Слика 1.10 Топле и хладне боје [9]

1. 3 Символика и психолошки утицај боја

Од нарочитог је значаја да боја визуелно комуницира са човеком, односно са његовом свешћу, тако да ствара одређене емоције и утиске, на основу којих човек доноси закључке и одлуке. Научно је доказано да људи различито реагују на одређене боје. У дизајну је од великог значаја познавање психолошког утицаја боја, како би се привукао што већи број потенцијалних корисника дизајнираног производа. У зависности од циљне групе важно је имати на уму и различита значења боја у различитим културама, између осталог.

У табели 1.1 је дат преглед позитивних и негативних симболичких значења за сваку боју посебно.

Табела 1.1 *Символика боја*

БОЈА	ПОЗИТИВНЕ АСОЦИЈАЦИЈЕ	НЕГАТИВНЕ АСОЦИЈАЦИЈЕ
Плава	небо, вода, рај, верност, стабилност, дубина	депресија, пасивност
Зелена	природа, здравље, мир, вечитост	пропаст, завист, несрећа
Црвена	љубав, радост, снага, страст, топлота	ватра, рат, крв, опасност, љутња, агресија
Наранџаста	егзотика, плодност	упозорење, агресија, неукус
Жута	сунце, лето, злато, жетва	кукавичлук, издаја, упозорење, болест
Љубичаста	отменост, спиритуалност	љубомора, меланхолија
Црна	угаљ, моћ, формалност, стил, дубина	страх, празнина, ноћ, тајност, зло, анонимност
Бела	снег, чистоћа, мир, невиност	хладноћа, предаја, баналност, смрт, клиника
Сива	интелигенција, достојанство, ограничење, зрелост	сенка, бетон, пролазност, досада

Истраживања су показала да постоје боје које више изазивају пажњу посматрача. Помоћу специјалних апарата за мерење дужине трајања погледа и пажње обављена су тестирања и показало се да следеће боје изазивају следећу пажњу:

- наранџаста – 21,4%;
- црвена – 17%,
- плава – 13,4%,
- црна - 13%,
- зелена - 12,6%,
- жута - 12%,
- сива - 7%,
- љубичаста - 5,5%.

Боје имају специфично психосоцијално значење. Уколико дизајнери желе да буду сигурни у смислено коришћење боја морају да буду упућени у социјално културну имплементацију одређене боје, као и у психологију исте.

Научна истраживања су показала да боје различито утичу на расположење човека. Плава боја има моћ смиривања, делује опуштајуће и пријатна је за око посматрача. У уметности и дизајну је јако популарна. Зелена је такође опуштајућа боја. Она представља синоним за здравље и природу. У уметности и дизајну је захвална, мада не треба претеривати са површином која се боји овом бојом. Црвена боја је најтемпераментнија. Црвена боја се користи често да би се ставио акценат на нешто. Као ни са зеленом, ни са црвеном није пожељно претеривати са величином бојене површине. Наранџаста је топла боја која одржава будност и концентрацију. Жута се, с психолошке стране, сматра најстимулативнијом бојом. Привлачи пажњу и убрзава метаболизам. Љубичаста се сматра краљевском бојом. Симбол је отмености и стила. У дизајну је јако популарна. Због веома мале заступљености у природи, симболизује јединственост. Црна боја, односно небоја, симболизује моћ, ауторитет. У дизајну оставља утисак префињености, елеганције и мистериозности. Бела се у дизајну повезује са пословношћу и професионализмом, док се сива везује за креативност и инспирацију. Сива боја се користи као подлога када дизајнер има потребу да нагласи неки одређени производ, нарочито у комбинацији са наранџастом.

1. 4 Хармонија и контрасти боја

Под хармонијом боја се подразумева узајамно деловање двеју или више боја. Комплементарне боје су оне боје које се на кругу налазе једна наспрам друге. Свакој основној боји је комплементарна одговарајућа секундарна боја, тако да су добијени следећи парови:

- жута и љубичаста,
- плава и наранџаста,
- црвена и зелена.

Постоје два правила комплементарних односа, а то су:

- 1) *правило комплементарних боја*, којим се тврди да свака основна боја коју прима човек у својој свести изазива потребу за одговарајућим комплементарним паром;
- 2) *правило истовременог контраста боја*, по којем свака комплементарна боја истиче једна другу у истој мери и истом снагом.



Слика 1.11 Приказ комплементарних боја [14]

Установљено је да је највидљивија боја по дану жута или наранџаста, а у мраку зелена или плава. Све боје на светлости делују жуће него што јесу, а у тами љубичастије. Боје изазивају и међусобни утицај једна на другу.

Комбинације боја могу проћи неопажено када су пријатне, али понекад могу и да буду драматично одбијајуће. Визуелни баланс и хармонија су оно чему се тежи у композицији, а постиже се визуелним контрастима који постоје у комбинацијама боја. Користећи круг боја као основу, лако могу да се уоче везе између боја и на основу тога да се направе успешне и пријатне комбинације.

Ако би се извесно време посматрала слика црвеног квадрата, па након тога затвориле очи, видела би се слика зеленог квадрата. Исти експеримент може се извести за било коју боју и тиме доказати да ће се сваки пут када се затворе очи приказати слика комплементарне боје у односу на посматрану боју. Та појава се назива **сукцесивни контраст**.

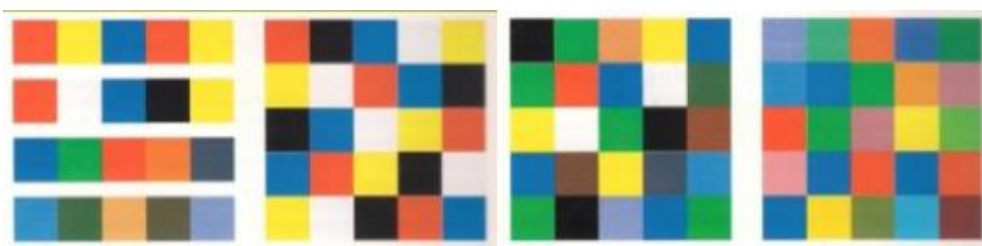
Уколико би се слика сивог квадрата поставила на позадину једнако чисте светле боје, видело би се да тај сиви квадрат добија тон комплементарне боје. На жутој позадини ће сива деловати светлољубичасто; на наранџастој – плавичастосиво; на црвеној – зеленкастосиво; на зеленој – црвенкастосиво; на плавој – наранџастосиво, а на љубичастој – жутосиво. Ова појава се назива **симулантни контраст**.

Ове две појаве, сукцесивни и симулантни контраст, показују да је око човека задовољно, односно у равнотежи, тек онда када је задовољен закон комплементарности [6].

Можемо разликовати седам контраста боја:

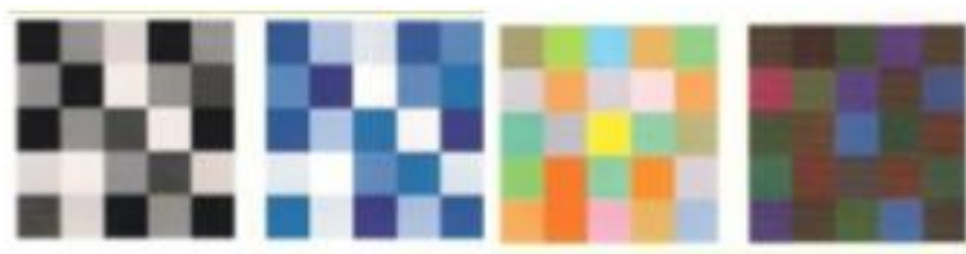
- контраст боје према боји;
- контраст светло – тамно;
- контраст топло – хладно;
- комплементарни контраст;
- симулантни контраст;
- контраст квалитета;
- контраст квантитета.

Најједноставнији колористички контраст јесте контраст боје према боји (слика 1.12). Узимају се и упоређују само чисте боје. Највећа разлика може да се види између примарних боја, што представља контраст боје према боји првог реда. Мање приметна разлика је између секундарних боја (контраст другог реда), док је најмање приметна разлика између терцијарних боја (контраст трећег реда).



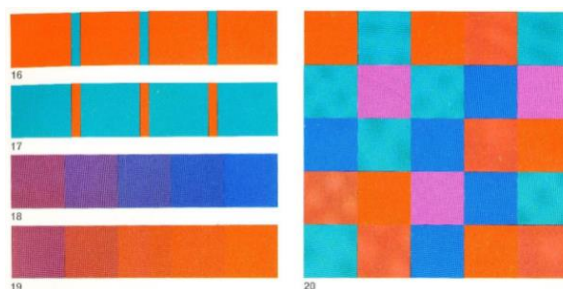
Слика 1.12 *Контраст боје према боји [7]*

Најизраженији контраст се уочава између црне и беле боје. Најсветлија од свих боја је жута, затим наранџаста, црвена, зелена, плава и на крају љубичаста (слика 1.13).



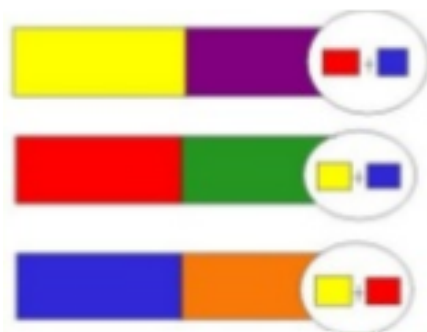
Слика 1.13 *Контраст светло- тамно [7]*

Боје код човека, између осталог, изазивају и осећај топлоте и хладноће, те отуда и подела на топле и хладне боје. Контраст топло – хладно је најзвучнији од свих седам контраста (слика 1.14).



Слика 1.14 *Контраст топло – хладно [7]*

Стављањем у однос једне примарне и једне секундарне боје добијене мешањем других двеју примарних боја, добија се комплементарни контраст. Уколико се помешају пигменти комплементарних боја, оне једна другу поништавају и добија се неутрална сива – црна боју, а уколико се ставе једна поред друге, оне се међусобно појачавају (слика 1.15).



Слика 1.15 Комплементарни контраст [7]

Под симултаним контрастом се подразумева појава при којој око самостално ствара виђење комплементарне боје посматраној боји, иако она физички није присутна (слика 1.16).

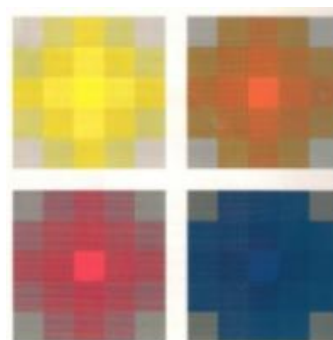


Слика 1.16 Симултани контраст [7]

Квалитет боје означава њен интензитет, чистоћу, засићеност. Што је мањи удео сиве у посматраној боји, она је квалитетнија.

Контраст квалитета је контраст између чистих, засићених и нечистих, односно замућених боја.

Интензитет боје се смањује додавањем црне, беле или сиве и мешањем са одговарајућом комплементарном бојом (слика 1.17).



Слика 1.17 Контраст квалитета [7]

Контраст квантитета подразумева однос између двеју или више обојених површина. Према Гетеу је жута боја у односу на љубичасту три пута интензивнија, наранџаста у односу на плаву два пута, док су црвена и зелена једнаке јачине. То значи да и обојене површине требају бити у датим односима (слика 1.18) [6].



Слика 1.18 Контраст квантитета [7]

1. 5 Модели боја

Боје се могу мешати и на тај начин добити неке нове боје. Постоје два начина мешања боја и то су:

- адитивно (светлост) и
- суптрактивно (пигменти).

Према психолошко-физиолошкој троподражајној теорији боја, максимална осетљивост чепића на различите таласне дужине те светлости одговара црвеној, зеленој и жутој светлости. На бази ове особине су развијени различити модели формирања боја.

RGB модел

RGB је скраћеница за енглески појам “*Red*” (црвена), “*Green*” (зелена), “*Blue*” (плава). RGB је адитивни модел боја код којег се сабирањем основних боја добија бела боја, односно мешањем та три светлосна зрака добија се бела светлост (слика 1.19). Црна боја се дефинише као одсуство свих компоненти. Боја се описује појединачним уделом црвене, зелене и плаве боје који варира између 0% и 100%, односно између 0 и 255. У зависности од интензитета добија се светлија или тамнија боја, а од односа тих боја тон тј. нијанса. Мешањем двеју основних боја добија се нова, изведена боја. Тако мешањем црвене и плаве боје, добија се љубичаста боја; мешањем црвене и зелене добија се жута боја; мешањем плаве и зелене боје добија се тиркизна боја. На овом принципу раде монитори, пројектори и остали уређаји код којих се слика добија емитовањем светлости [4].



Слика 1.19 RGB модел боја [8]

СМУК модел

СМУК је скраћеница енглеских речи “*Cyan*” (тиркизна), “*Magenta*” (љубичаста), “*Yellow*” (жута), “*Black*” (црна). За ознаку црне боје узето је последње слово како не би било поклапања са првим словом плаве боје.

СМУК је суптрактивни систем боја. Код овог модела, боје се добијају одузимањем задате боје од беле боје. Тиркизноплави филтер (*Cyan*) од беле светлости одузима

црвену, љубичасти (*Magenta*) зелену, а жути (*Yellow*) плаву. Овај систем налази примену у случајевима када се боје граде одбијањем светлости и када се врши наношење боје на неку подлогу (штампање) и у фотографији и филму.

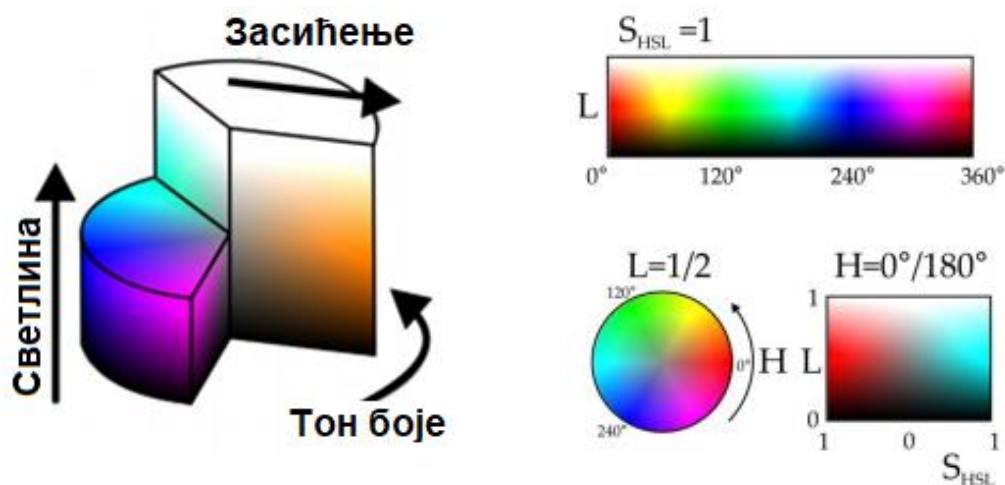
У основи се ради о *RGB* систему, који се означава као *CMY*, али је временом убачена и црна боја, јер се показало да се мешањем основних *CMY* штампарских боја добија несавршена црна (због деликатних наноса и одређених хемијских процеса у пигментацији медија). Боје слике које се виде на монитору (*RGB* модел) не могу никада бити идентичне бојама те исте слике након штампања (*CMYK* модел), пошто се користе различити начини дефинисања боја [4].



Слика 1.20 *CMYK* модел боја [7]

HSL модел

HSL је скраћеница енглеских речи “*Hue*” (тон), “*Saturation*” (засићеност) и “*Lightness*” (светлина). Овај модел је један од начина приказа *RGB* опсега боја са цилиндричним координатама и циљу интуитивнијег представљања боја. Угао централне осе сисема представља промену тона боје, удаљеност од осе у хоризонталном смеру представља засићеност, док позиција на вертикалној оси представља светлину боје (слика 1.21) [3].



Слика 1.21 *HSL* модел боја [3]

1. 6 Односи између боја – колор шеме

Монохроматски однос - Монохроматска шема је најједноставнија шема боја. Заправо је то скуп варијација једне, од постојећих дванаест боја, у њеним нијансама или засићености (слика 1.22).

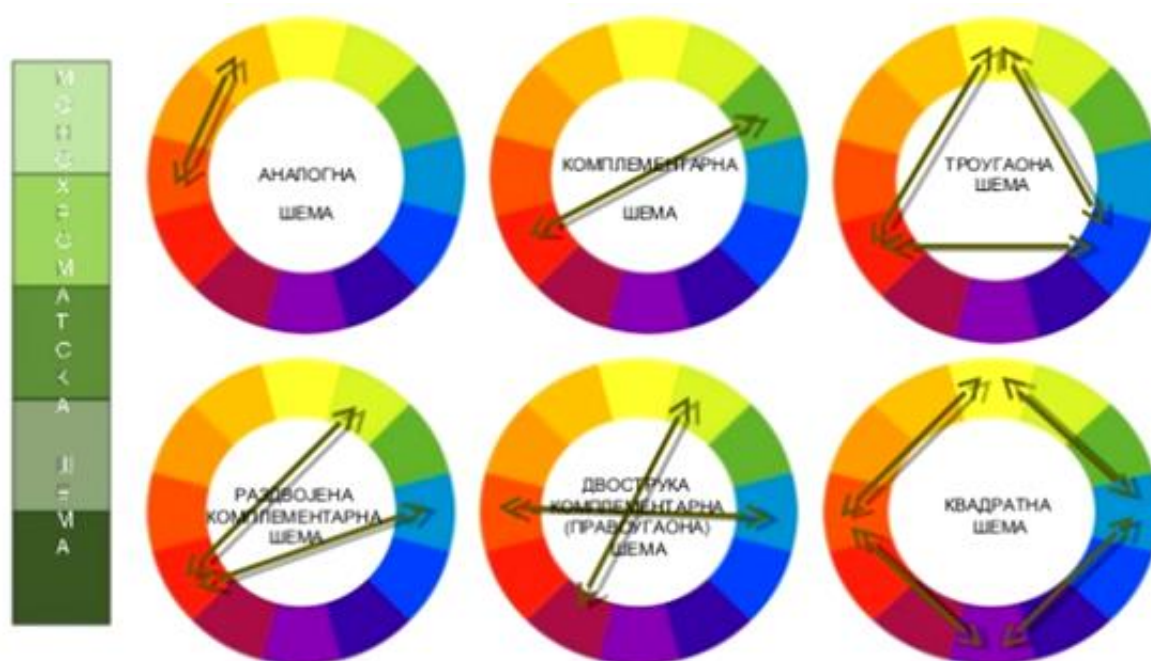
Комплементарни однос - Две комплементарне боје се на колорном кругу налазе једна наспрам друге. Ако је једна топла, друга је хладна. Оне имају исти степен осветљености, али се разликују по бојеном квалитету (слика 1.22).

Раздвојени комплементарни однос - Ову шему граде три боје – главна боја на једној и две боје које се налазе поред њене комплементарне боје, на супротној страни круга боја, од којих је једна увек терцијарна (слика 1.22).

Дупли комплементарни однос - Двоструку комплементарну шему или правоугаону шему чине четири боје. То су два пара комплементарних боја размештених у облику правоугаоника (слика 1.22).

Аналогни комплементарни однос - Аналогна шема боја је сачињена најчешће од три боје које се на колорном кругу налазе једна до друге и то тако поређане да је главна боја у средини, а друге две се налазе поред ње и тако је обогаћују (слика 1.22).

Триадни однос - Троугаона шема је сачињена од три боје које се на колорном кругу налазе на међусобно једнаком растојању (слика 1.22) [9].



Слика 1.22 Колор шеме [9]

2. РАЧУНАРСКА (КОМПЈУТЕРСКА) ГРАФИКА

Рачунарска графика је област рачунарства која се бави креирањем и обрадом дигиталних и визуелних садржаја. Ти визуелни садржаји могу бити стварни или замишљени објекти. Рачунарска графика подразумева стварање дводимензионалних и тродимензионалних слика уз помоћ рачунара и, за то предвиђених, програма. Рачунарска графика се најпре дели на интерактивну и неинтерактивну графику. Интерактивна рачунарска графика је графика у којој постоји интеракција између корисника и рачунара у процесу формирања, манипулисања или графичког приказа модела објекта. Неинтерактивном рачунарском графиком се подразумева свако генерисање или презентација сликовних информација које не задовољава претходне услуге. Рачунарска графика се може поделити и на векторску и растерску графику. Ова подела настала је према основним градивним елементима слике и много је чешће у употреби од прве поделе. Код векторске графике, градивни елементи су објекти који могу да се преклапају, прекривају или уклапају и тако створе слику. Векторска графика се неретко назива и објектна графика. Она своју примену налази у *CAD* програмима намењеним дизајнерима и свугде где је састављање слике од објеката природан начин стварног или замишљеног света. Уколико се жели да се помоћу рачунара симулира тродимензионални свет, векторској графици алтернативе нема. За приказ призора који се састоје од пуно детаља који не стоје у математички описивој вези векторска графика је у потпуности неподесна. У тим случајевима користи се растерска графика која као основни градивни елемент користи пиксел. Растерска графика или битмапа је податак који представља правоугаону мрежу пиксела или обојених тачака, на неком графичком излазном уређају као што је монитор или на папиру. Свака боја појединог пиксела је посебно дефинисана тако да (на пример) *RGB* слике садрже три бајта по сваком пикселу, сваки бајт садржи једну посебно дефинисану боју. *Red Green Blue* - то значи да свака боја има своју вредност, мењањем вредности се добијају друге боје осим ове три основне. Што је више ових вредности слика ће заузимати више простора. Ако је слика црно-бела то значи да пиксел захтева само један бит за разлику од слике у боји која захтева три бајта (*RGB*) по једном пикселу. Црно-беле слике су управо ради тога мање по заузимању простора [1].

2. 1 Историја рачунарске графике

Међу најзначајнијим подухватима у историји рачунарске графике је био пројекат ваздушне одбране *SAGE* (слика 2.1), *Whirlwind I* који је први пут представљен 1951. године, а угашен је 1983. године. Током рада на овом пројекту коришћени су рачунари са командном и екранском конзолом за приказивање позиције авиона. Они су функционисали по пинципу векторске графике, а управљање је вршено преко светлосног пера. Географске референце, идентификација и слично, контролисано је путем различитих прекидача.

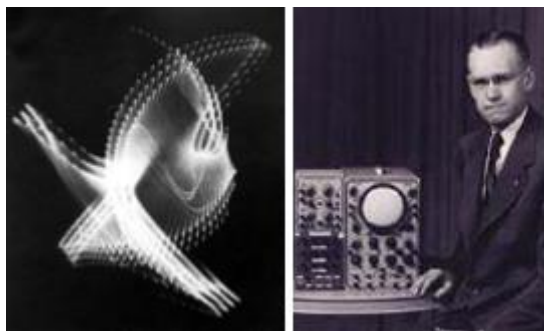


Слика 2.1 Оператори *SAGE* [2]

1954. године Џон Бакус из *IBM*-а је предложио израду програмског језика *FORTRAN*, чији се принцип рада заснивао на идеји да се нумеричке формуле у програмском путем преводиоца претворе у језик који рачунар разуме.

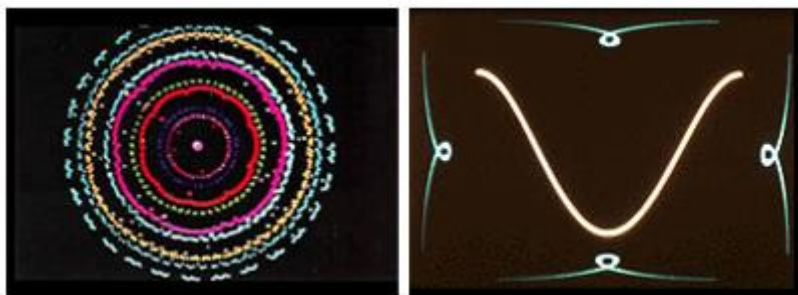
1960. године Џон МекКарти са *MIT*-а предлаже нови програмски језик *Lisp* (*List Processing*). Језик је садржао једноставне операторе и функционалне ознаке, изграђене око једноставне централне структуре за код и податке.

1964. године Томас Курц представља програмски језик *BASIC* који се испрва користио на Дартмонт колеџу. Језик се јако брзо распространио и имао велики утицај на индустрију јер је био бесплатан и свима доступан. То време је представљало увод у "дигитално доба". Дигитална уметност постала је јако популарна, те су осим математичара и програмера, и уметници и дизајнери почели да користе програме. Начин коришћења програма од стране програмера и уметника се није много разликовао. Као пример можемо узети Бена Лапоског (слика 2.2), математичара и уметника из Лове који је 1950. креирао прве графичке слике путем рачунара. Он је снимао филм кретања осцилоскопа, а радове назвао кретање осцилоскопа, "*oscilloni*" и "електронске апстракције". Сличне ствари радио је и Херберт Франке из Немачке.



Слика 2.2 Бен Лапоски са радом "*oscilloni*" [2]

Графичком дизајнеру Вилијаму Фетеру се приписује заслуга за осмишљену фразу "рачунарска графика" 1960. године. У исто време један од најутицајнијих аниматора на рачунарима, Џон Витни је са *IBM*-овим програмерима радио на изради језика за проширење могућности рачунара како би се контролисали графички уређаји. Резултат тог рада представљало је његово најпознатије дело „*Permutations*” из 1968. године (слика 2.3 лево). Његово друго најпознатије дело „*Arabesque*” креирао је нешто касније заједно са својм сином (слика 2.3 десно). Поред ове две анимације, Џон Витни је 1961. године урадио почетну анимацију за филм „*Vertigo*” познатог редитеља Хичкока.



Слика 2.3 Радови Џона Витнија „*Permutations*” (слика лево) и „*Arabesque*” (слика десно) [2]

Развојем TX-2 дигиталног рачунара на MIT (*The Massachusetts Institute of Technology*), Иван Садерленд је за своја докторски рад узео тему “Израда програма којим би се могло цртати на рачунару”. У свом раду је користио светлосну оловку и екран, из чега је касније настао графички програм “*Sketchpad*”, који је означио револуцију у подручју рачунарске графике, а самим тим и почетак интерактивне рачунарске графике.

1961. године, млади програмер Стив Расел водио је тим који је први креирао рачунарску игрицу „*Spacewar*” (слика 2.4).



Слика 2.4 Прва видео игрица „*Spacewar*” [2]

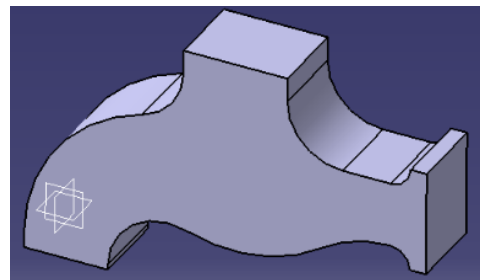
За кратко време, у раним осамдесетим, рачунарска графика све више налази своју примену. Почињу да се отварају комерцијалне компаније које користе рачунарску графику у сврху оглашавања и телевизије [1].

2. 2 Подела рачунарске графике

Појава персоналних рачунара довела је до развоја и ширења рачунарске графике. Рачунарска графика је област рачунарства која се бави креирањем и обрадом дигиталних и визуелних садржаја. Ти визуелни садржаји могу бити стварни или замишљени објекти. Рачунарска графика подразумева стварање дводимензионалних и тродимензионалних слика уз помоћ рачунара и, за то предвиђених, програма. Основне поддисциплине рачунарске графике су:

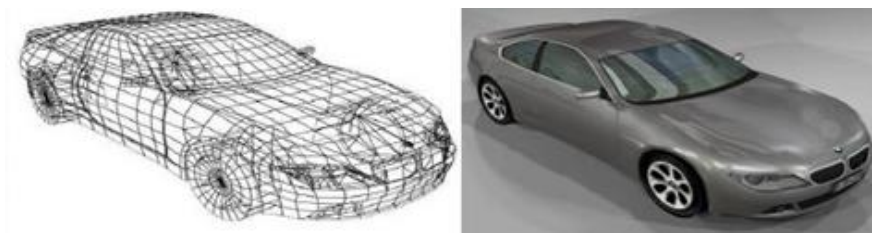
- моделирање;
- рендеровање;
- анимације [10].

Моделирање се бави описивањем раванских фигура и тела, као на пример мрежним моделима. Бави се прављењем математичке спецификације тела и његових визуелних својстава на начин који је могуће сачувати на рачунару (слика 2.5).



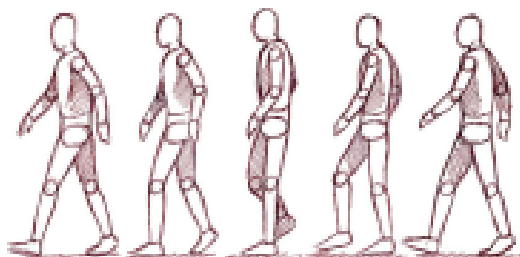
Слика 2.5 3д модел

Рендеровање је трансформација сцене сачињене од тродимензионалних модела у дводимензионалну слику (слика 2.6).



Слика 2.6 Рендеровање [15]

Анимације су низови слика које када се посматрају у брзом кретању једне за другом, одају утисак глатког кретања (слика 2.7).



Слика 2.7 Приказ кретања човека [10]

Прва и основна подела рачунарске графике јесте на **интерактивну** и **неинтерактивну** графику.

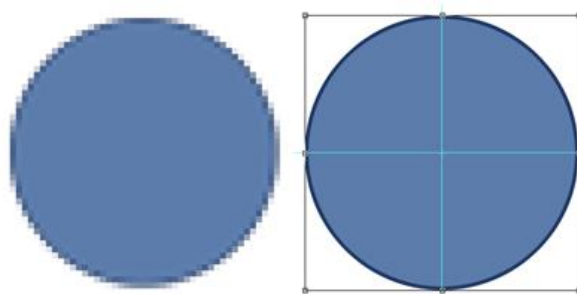
Интерактивна графика подразумева динамичан начин приказа слике на медију који то омогућава (дисплеј) и, преко одговарајућег интерфејса, активно учешће човека (дизајнера) у креирању и измени слике, при чему су резултати одмах видљиви. Интерактивна рачунарска графика значајно повећава наше могућности да разумемо представљене податке и да визуализујемо реалне или имагинарне објекте.

Неинтерактивнот рачунарскот графиком се сматра свако генерисање или презентација сликовних инфомарција које не задовољава претходне услуге.

Друга подела, која је чешће употребљавана, јесте на **векторску** и **растерску графику**. Ова подела је извршена према основним градивним елементима слике (слика 2.8).

У векторској графици основни градивни елементи су објекти (тачке, праве и криве линије, отворени и затворени, неиспуњени и испуњени геометријски облици) који могу да се међусобно преклапају, прекривају или уклапају, чинећи на тај начин слику. Распоред објеката на слици се може мењати. Може се мењати и њихова величина и облик, а да при томе положај и карактеристике остатка објеката на слици остане непромењен. Овакве слике је лакше креирати, мењати и комбиновати са другим сликама. Векторска графика налази своју примену у CAD програмима, програмима намењеним дизајнерима и свуда где је састављање слике од објеката природан начин визуелизације стварног или измишљеног света. Такође, ако се жели да се помоћу рачунара симулира тродимензионални свет, векторској графици нема алтернативе. У

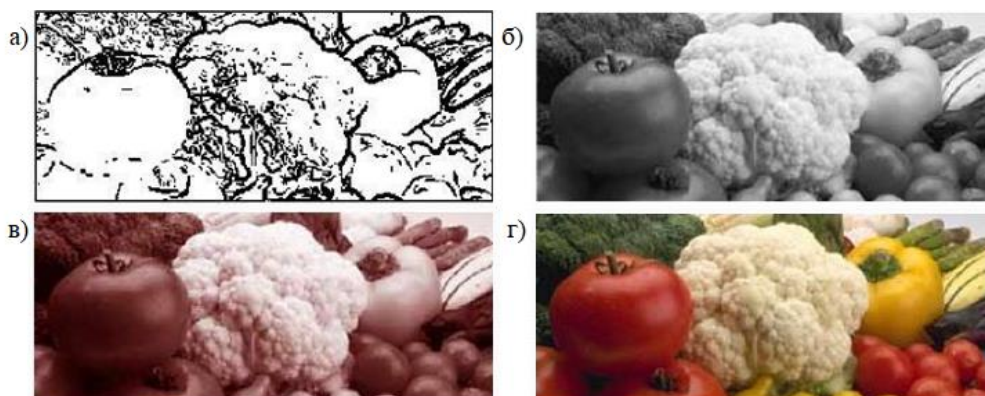
најраспрострањеније програме, који су у потпуности компатибилни и у стању су да сачувају векторски формат, спадају: “*Adobe Illustrator*”, “*Corel Draw*”, “*Macromedia Freehand*” и други. Колико год да се ради на унапређивању ових програма, немогуће је постићи фотореалистичност, што је уједно и једина мана векторског приказа. Уколико је потребно да прикажемо слику која се састоји од јако пуно детаља, векторска графика је у потпуности неподесна. Тада се јавља потреба за растерском графиком.



Слика 2.8 Растерско (слика горе) и векторско (слика доле) представљање слика [10]

Растерска графика као основни градивни елемент користи пиксел (eng. *pixel*). Пиксел је најмањи графички елемент слике који има јединствене вредности боје и интензитета осветљености. Код нас се израз “пиксел” често преводи као “тачка”. Растерска слика може бити састављена од многобројних тачака различитог нивоа осветљености или различитих боја. У зависности од броја боја од којих је слика састављена разликујемо четири различита типа растерских слика. То су:

1. *Монохроматски растер* који представља слику састављену од две боје. Најчешће је у питању комбинација црне и беле боје, мада могу бити било које две боје у комбинацији (слика 2.9 а).
2. *Grayscale растер* који представља слику у којој сваки пиксел може примити било коју боју из скале свих нијанси, од црне до беле боје. Данас се најчешће користи скала од 256 сивих тонова, рачунајући и белу и црну боју (слика 2.9 б).
3. *Вишебојни растер* који представља слику која садржи нијансе две или више боја. Најчешће се користе црна и нека друга боја.
4. *Колор растер* који представља слику у којој сваки пиксел може примити било коју боју из круга боја.

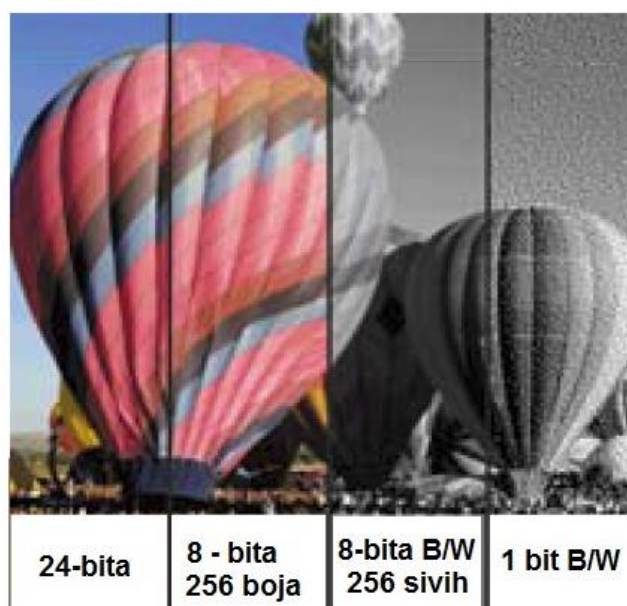


Слика 2.9 а) монохроматски, б) grayscale, в) вишебојни и г) колор растер [15]

Укупан број пиксела који чини слику је резолуција. Ако су димензије слике на пример 800x600, то значи да та слика има 800 пиксела по ширини и 600 пиксела по висини. Растерска слика се представља приближно, тако што је површина слике подељена линијама паралелним са хоризонталном и вертикалном осом у мрежи квадратића – пиксела. Колико места у меморији рачунара ће заузети слика не зависи искључиво од њене комплексности, већ и од броја пиксела и броја боја које су на располагању. Сваки пиксел слике се чува посебно у меморији и придружује му се један, два, три или четири бајта, у зависности од тога са колико боја се ради:

- Ако је пикселу придружен само један бајт, њиме њиме је могуће представити само 256 боја ($2^8=256$).
- Ако су пикселу придружена два бајта, њиме може да се представи 65 536 (2^{16}) боја.
- Ако су пикселу придружена три бајта, њиме може да се представи приближно 16,7 милиона боја (2^{24}).
- Ако су пикселу придружена четири бајта, њиме може да се представи приближно 4,3 милијарде боја (2^{32}) [11].

Оваква представа слике у меморији назива се *битмана*. Меморијски простор (у бајтовима) који једна слика заузима у меморији, добија се када се укупан број пиксела слике помножи са бројем бајта по пикселу.



Слика 2.10 Дубина боја [11]

Растерске слике могу се уметати у векторске програме, али је могућност њихових модификација и трансформација у овим програмима ограничена. За модификацију растерских слика користе се растерски програми попут: “*Adobe Photoshop*”, “*Picasa*”, “*Corel PHOTO – PAINT*” итд.

Постоји још једна подела рачунарске графике, а то је подела на **2Д** и **3Д** (дводимензионалну и тродимензионалну) графику.

Дводимензионална рачунарска графика се користи углавном у апликацијама које су намењене за стандардне технике цртања и штампања као што је типографија, картографија, техничко цртање, рекламе итд.

Тродимензионална рачунарска графика се користи за креирање и измену модела.

Програми за цртање се према начину рада могу поделити у две категорије:

- за цртање или векторски програм (тзв. *draw програми*, нпр. *AutoCAD* и *CorelDRAW*);
- за сликање или растерски програми (тзв. *paint програми*, нпр. *Paint* и *Corel PHOTO-PAINT*).

Програми за обраду цртежа су према намени подељени на две категорије:

- програме који су првенствено намењени за техничко цртање и израду сложених цртежа (*AutoCAD*);
- програме који су првенствено намењени за графички дизајн (*CorelDRAW*).

Слика се може унети у рачунар преношењем фотографије из дигиталног фотоапарата, скенирањем или креирањем у неком од програма за обраду слика.

Приликом рада са сликама разликујемо две врсте *графичких јединица*:

- јединице за уношење слика у рачунар и
- јединице за приказивање слика унетих у рачунар на екрану или штампање на папиру.

Графичке јединице се могу поделити на векторске и растерске. Једна од битних карактеристика излазних графичких јединица је резолуција.

За уношење слика у рачунар као улазне јединице користе се скенери и дигитални фотоапарати. Излазне јединице су монитори, штампачи и плотери.

Основне врсте формата записа слике и неке њихове карактеристике:

- *GIF формат* - дубина боје 8 бита, погодан за слике које се презентирају на интернету;
- *Анимирани GIF формат* – исти као GIF, само што чува покрет, погодан за анимације на web страницама;
- *JPEG формат* - универзални формат који нуди кориснику да изабере квалитет и компресију слике, погодан за све примене;
- *Targa формат* - дубина боје до 32 бита, погодан за штампане материјале, велики фајлови;
- *TIFF формат* – сличан као *Targa*, користи се у припреми за штампу, велики фајлови;
- *AVI формат* - чува покрет, користи се за анимације и за запис дигитализоване слике са камере или видео траке;

- *MPEG формат* - чува покрет, користи се у исте сврхе као *AVI*, фајлови су мањи од *AVI*-ја, али су лошијег квалитета;
- *QuickTime формат* - чува покрет, користи се код обраде слике на *Macintosh* рачунарима. [12]

2. 3 Примена рачунарске графике

Рачунарска графика се користи у различитим пољима администрације, едукације, привреде, забаве и свакодневног кућног живота. Подручје примене се убрзано шири са распрострањеношћу рачунара. Неки примери примене рачунарске графике укључују:

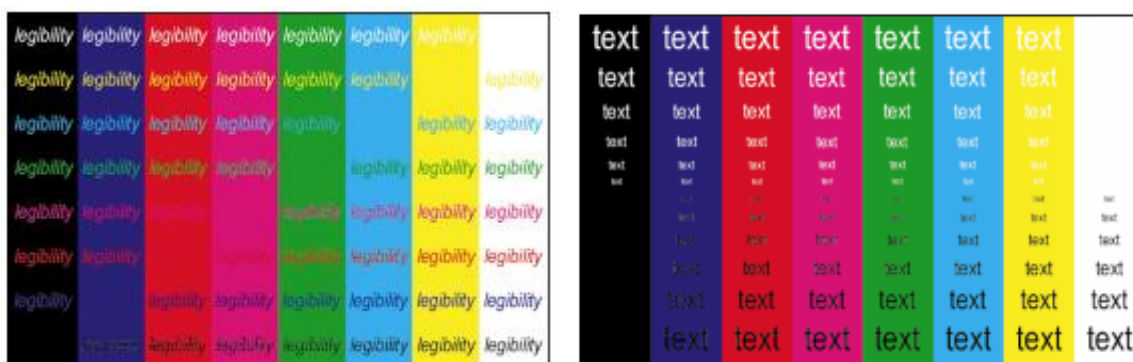
- *корисничке интерфејсе* (већина апликација на персоналним рачунарима и на радним станицама имају графички систем прозора помоћу којег комуницирају са корисницима. Примери таквих апликација укључују претраживаче Интернета, обраду текста, стоно издаваштво, табеле са прорачунима,...);
- *интерактивно цртање* (у пословним, научним и технолошким применама рачунарска графика користи се за приказивање функција, дијаграма и сличних графичких приказа са сврхом јаснијег сагледавања сложених појава и олакшања процеса одлучивања);
- *канцеларијска аутоматизација и електронско издаваштво* (рачунарска графика широко се користи за израду електронских и штампаних докумената, односно садржај на Интернету);
- *пројектовање помоћу рачунара* (енгл. *Computer Aided Design - CAD* користи се за пројектовање система и компонената у машинству, електротехници, електроници, телекомуникацијама, рачунарству...);
- *симулација и анимација* (рачунарска графика користи се за научну и инжењерску визуелизацију и забаву; ТВ и филмску технологију...);
- *индустрије рачунарских игара* (рачунарска графика се користи за креирање забавних и едукативних игара како на персоналним системима тако и путем Интернета);
- *уметност* (рачунарска графика се користи за креирање уметничких слика – дигитална уметност);
- *трговина* (рачунарска графика се користи за визуелну анимацију и електронску трговину);
- *управљање процесима* (подаци из сензора динамички се приказују у прикладном графичком облику);
- *географски информациони системи* (рачунарска графика користи се за тачан приказ географски расподељених и распрострањених система и мерних података нпр. у телекомуникацијама и телеметрији);
- *графичко програмирање* (рачунарска графика се користи за аутоматизацију процеса програмирања виртуелних система, нпр. у инструментацији) [12].

3. ПРИМЕНА БОЈЕ У РАЧУНАРСКОЈ ГРАФИЦИ

Употреба боје у било ком визуелном делу је јако битна. Боја се сматра најмоћнијим и најкориснијим алатом у дизајну. Уколико се употреби премало боје, пројекат ће изгледати празно и досадно. Уколико се пак претера или се лоше поставе боје, посматрач/корисник ће одустати од тог пројекта. Емотивно и психолошко значење боја се разликује међу цивилизацијама (на Западу је црвена боја жалости, док је на Истоку симбол радости). Из тог разлога симболичко и психолошко значење не сме бити запостављено у дизајну.

3. 1 Боје текста

Текст је битан елемент у графичком дизајну, стога је веома важно ефектно представити текстуалне информације које треба да се пренесу. Применом боје може се утицати на читљивост текста. Могу се нагласити одређене речи у тексту тако што би се другом бојом издвојиле од осталих. Од великог значаја је на каквој подлози је исписани текст. Уколико би се на црној позадини ставиле све боје, приметиле би се да се жута боја највише истиче. У супротном, ако би се на белој позадини поставиле боје, највише би се истицала љубичаста, као највећи контраст позадинској боји. Стога је важно водити рачуна о просторном контрасту. Такође, битна је и величина фонта исписаног текста. Оптимална величина зависи од контраста у боји у позадини.



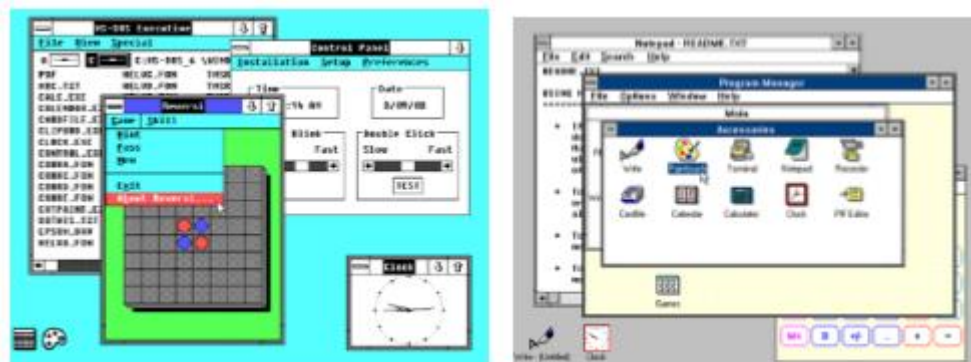
Слика 3.1 Ефекат текста (слика лево) и величине текста (слика десно)[13]

3. 2 Боје корисничког интерфејса

Графички кориснички интерфејс (енг. *Graphical User Interface*) какав се данас познаје има дугу историју. Програмирање се извршавало у текстуалном окружењу. Компанија "Microsoft" је 1985. године избацила на тржиште „слабашан” визуелни интерфејс, *Windows 1.0*, увидевши многе ограничавајуће факторе у коришћењу персоналних рачунара. Већ 1987. је иста компанија унапредила графички кориснички интерфејс *Windows-а* у верзији 2.0. Унапређена је визуелна појава са развојним алатима. 1990. године је са *Windows-ом 3.0* демонстриран тзв. графички кориснички интерфејс.

Први кориснички интерфејси су били прилично сиромашни, када су боје у питању (слика). Коришћени су углавном основни графички елементи за приказ и уска палета боја. Данашњи излед корисничког интерфејса је далеко богатији. Користи се широка

палета боја, различитих тонова. Изглед интерфејса је много привлачнији корисницима и пријатнији за око посматрача. Рачуарска графика је, захваљујући бројним прорачунима великих научних центара и подстицајем војне индустрије, брзо напредовала током историје. Од првих рачунара који су извршавали основне наредбе, рачуарска графика је данас досегла изглед тродимензионалне стварности [2].



Слика 3.2 Windows 2.0 (слика лево) и Windows 3.0 (слика десно) [2]

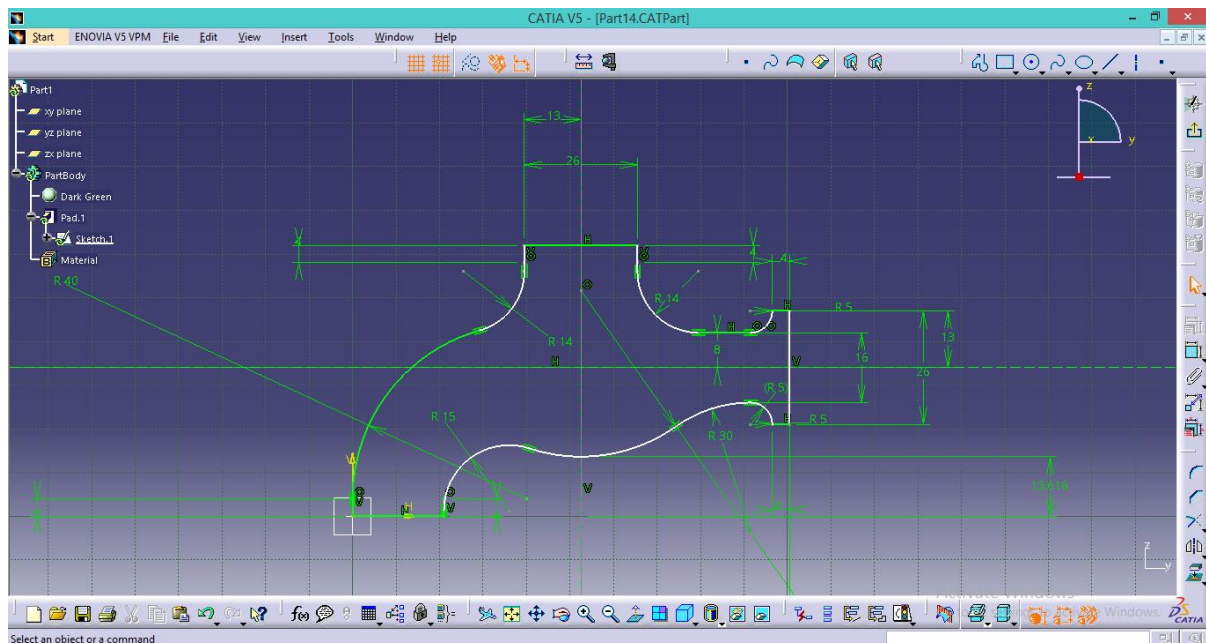


Слика 3.3 Windows XP (слика лево) и Windows Vista (слика десно) [2]

3. 3 Боје у CAD програмима

Велики је значај примене боје у рачуарски подржаном пројектовању (енгл. *Computer Aided Design*). Интерактивна рачуарска графика се користи за пројектовање компонената и система: грађевинских, механичких, електромеханичких, електричних, електронских уређаја, софтвера. У инжењерским пословима се све више користе графички програми попут *AutoCAD* – а, *Solid Works* - а и *Catia* - е како би се олакшала и убрзала израда пројеката. Њиховом применом омогућена је израда великог броја различитих објеката као што су облакодери, мостови, авиони, затим сложени електромеханички стројеви, разни други инжењерски подухвати. У даљем тексту је детаљно описана примена боје у моделирању у програму *CATIA*.

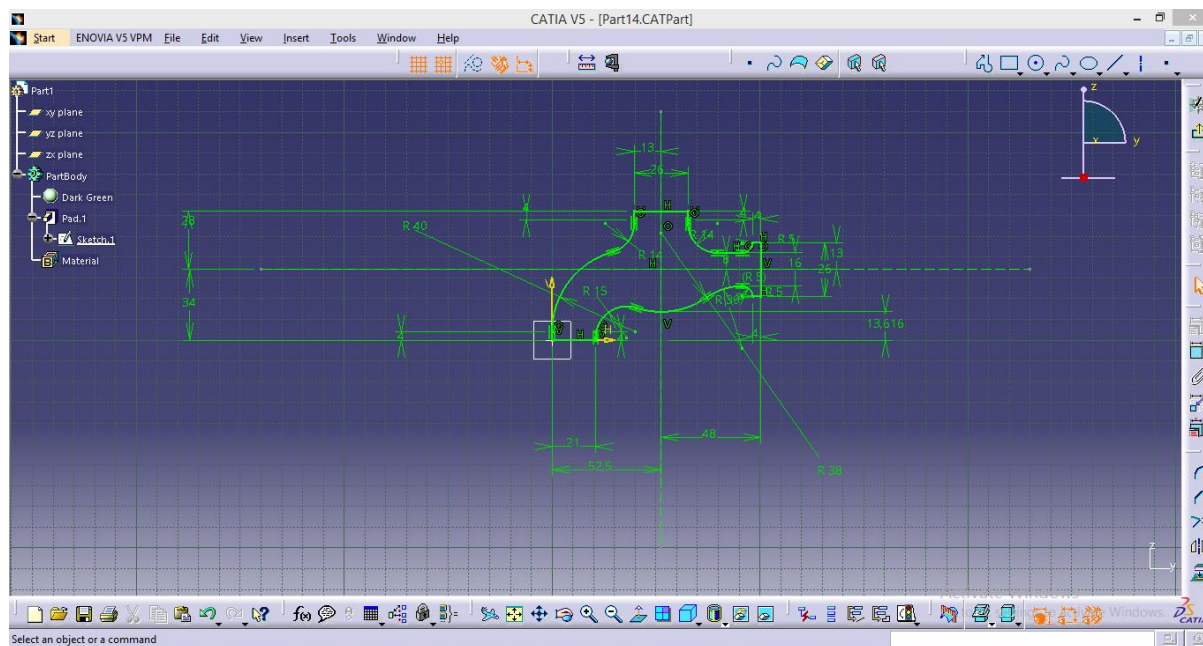
Слика 3.4 *Изглед радног окружења програма SATIA*



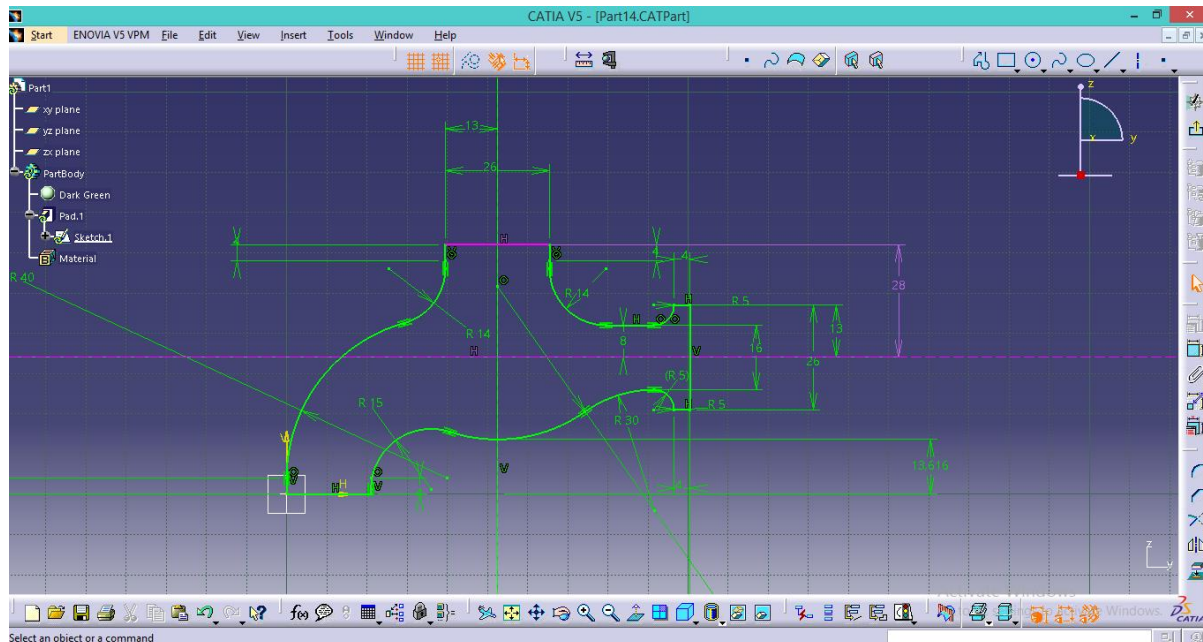
Слика 3.5 Скицирање

Када се зада почетак линије, она је беле боје. Уколико се скицира линија паралелно некој од оса координатног система, она постаје плава. Када се зада крајња тачка, линија постаје наранџаста. Наранџастом бојом означене су линије без јасно

дефинисаних дужина. Уколико се јасно дефинише линија, она тада постаје зелена (слика 3.5). Када се заврши скица у истој тачки у којој је започета, она је зелене боје (слика 3.6). Уколико се пак зада превише кота, програм ће упозорити тако што ће скица постати љубичаста (слика 3.7).



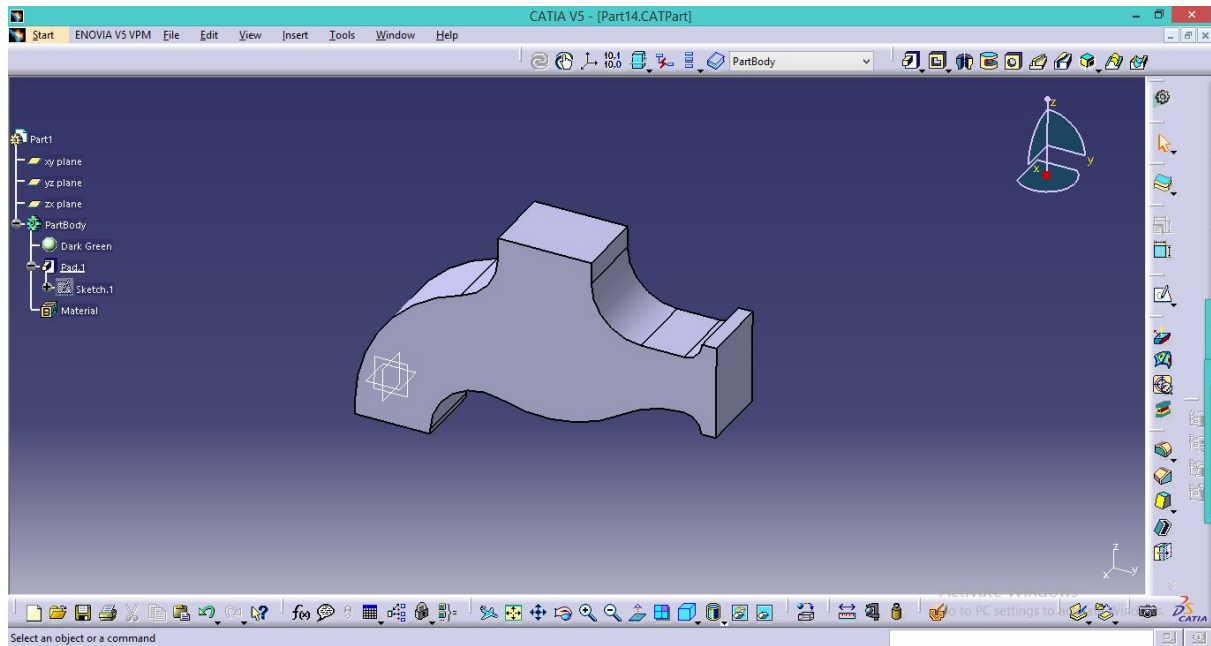
Слика 3.6 Готова скица



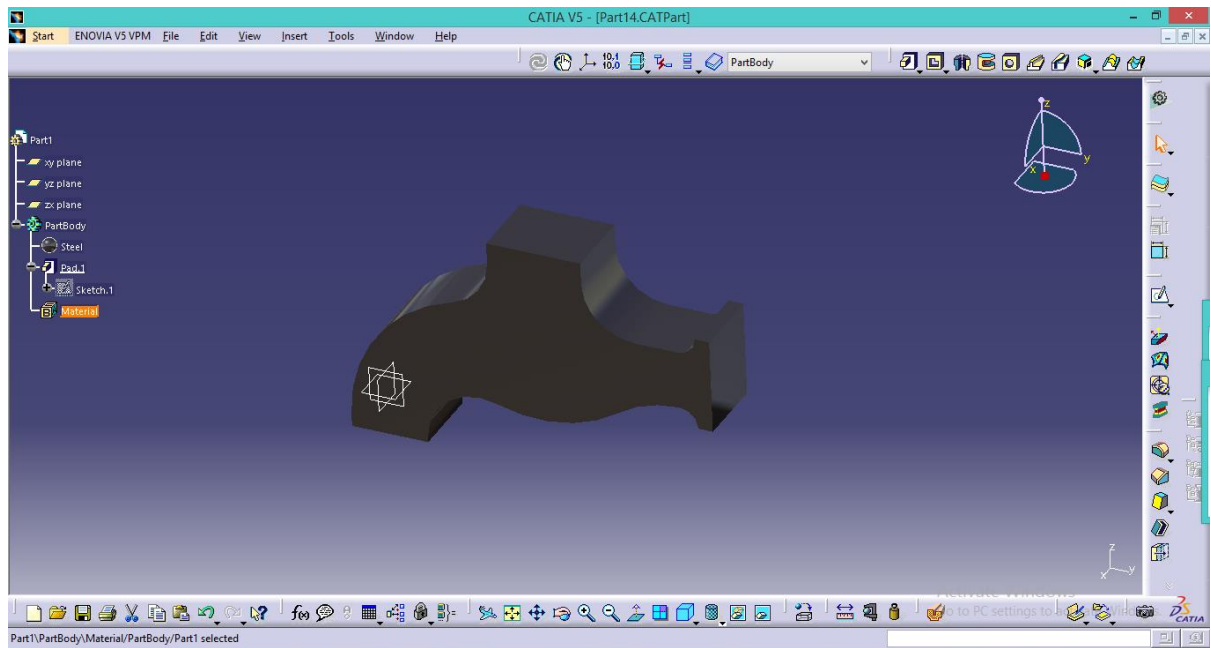
Слика 3.7 Предимензионисана скица

Када се скици додели трећа димензија добија се модел. Модел је у овом програму сиве боје (слика 3.8). Ивице модела су означене црном бојом. CATIA има широку палету материјала. Крајњем моделу може се одредити материјал од којег је предвиђено направити га, те у програму добити изглед реалистичан изглед модела (слика 3.9).

Уколико би моделирали више модела различитих материјала, те направили склоп, врло јасно би се видела разлика између делова.

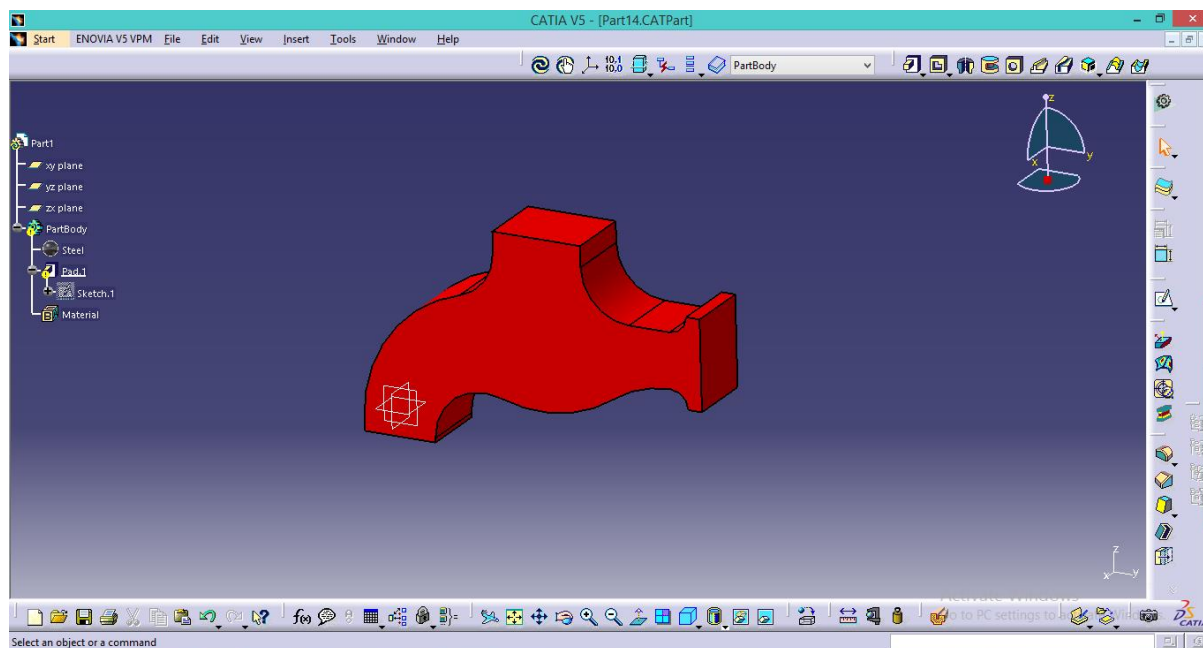


Слика 3.8 *Готов модел*



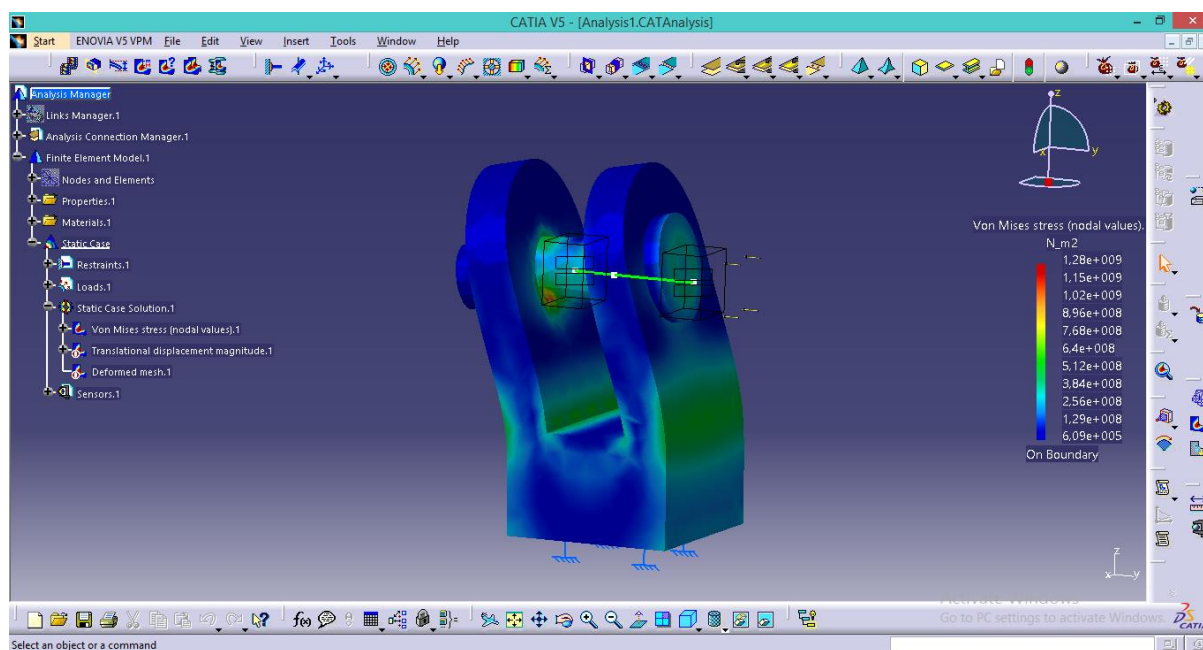
Слика 3.9 *Модел са задатим материјалом (нпр. челик)*

Уколико се у току израде модела са скице избрише нека од линија, модел аутоматски постаје црвене боје, те нас на тај начин програм обавештава да нешто није у реду (слика 3.10).



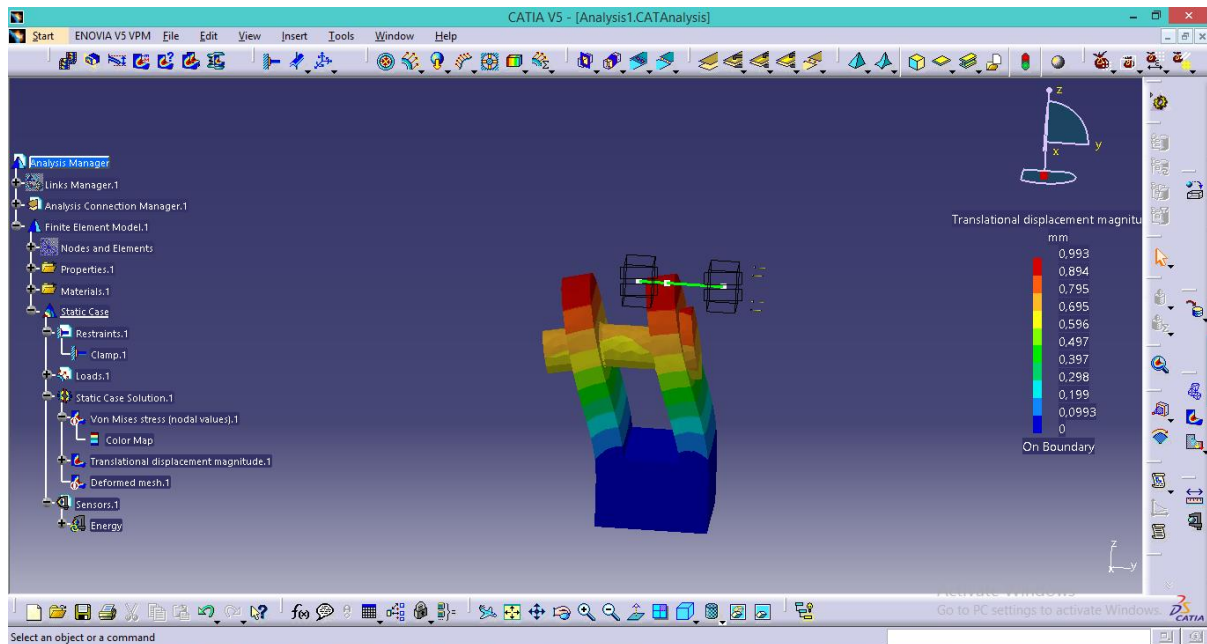
Слика 3.10 Модел

Одређени модел или склоп модела може се испитивати у програму, те добити јасно графички приказане резултате испитивања. На конкретном примеру рађено је испитивање отпорности склопа на притисак. Плава боја означава подручје које није под притиском, док је црвеном назначено критично подручје (слика 3.11).



Слика 3.11 Испитивање склопа на притисак

На истом склопу приказана су и транслаторна померања. Тамно плава боја нам приказује део склопа који је стационаран, док је светло плавом, зеленом, жутом, наранџастом и црвеном обојен део склопа који има померања услед дејства силе (слика 3.12).



Слика 3.12 Транслаторна померања

4. Закључак

Чињеница је да је човек стално окружен бојама и да је научен да аутоматски сваку боју повеже са неком карактеристиком, појмом и сл. Боја човеку служи као један од најмоћнијих алата за креирање визуелне презентације. Ефективна визуелна комуникација може побољшати интеракцију и допринети задовољству потреба корисника. Употребом одређених боја, односно њихових комбинација могуће је постићи различите циљеве.

Сврха употребе боја:

- побољшавање естетског изгледа производа (дијаграма, слике, цртежа, web странице,...);
- привлачење пажње на одређени елемент целокупне слике нпр.;
- стварање потребне атмосфере и динамике;
- остварење жељених асоцијација или емотивних реакција.

Дизајнер мора поседовати знање о теоријама боја, њиховим слагањима, контрастима, психолошким утицајима, као и значењима у различитим културама.

Нијанса одабране боје, односно одабраних боја је од веома велике важности. Мора се водити рачуна о правилима избора самих боја, као и о хармонији и контрастима, како би се постигли што бољи резултати. Првенствено је пожељно избећи нијансе и комбинације боја које могу замарати очи посматрача услед великог напрезања очију. Из тог разлога је потребно избећи превише тамне, односно светле нијансе, као и претеране контрасте између двеју обојених површина. Боја може визуелно утицати на величину, облик, хармонију и ритмичност. Сва правила дизајна се могу испоштовати коришћењем круга боја који је описан у претходним поглављима. Код избора боја је од великог значаја имати у виду симболику и карактеристике боја (табела 1.1) [5].

Рачунарска графика је током историје јако брзо напредовала. Од првих рачунара који су извршавали основне наредбе, рачунарска графика је данас дошла до тродимензионлне стварности. Сви резултати које рачунар израчуна могу се визуелно приказати у виду графикона, путања, мапа итд. Боја као изражајно средство има значајну улогу у визуелној презентацији информација. Правилним одабиром боја и њихових комбинација је могуће побољшати визуелну комуникацију у великој мери.

Осим за инжењерске послове, рачунарска графика је заразила свет и видео играцама. Раније су за потребе војне индустрије биле потребне огромне просторије и рачунари који су сатима или данима радили свој задатак, док данас тај напредак подстиче индустрија видео игара. Велики део заслуга за брзи развој рачунарске графике припада филмској индустрији. Рачунарска графика је променила начин на који посматрамо информација из области медицине, архитектуре, контроле процеса у индустрији, као и информације из свакодневног живота, те тако постоје мапе временске прогнозе и сличне визуелне информације. Можда је најзначајнији утицај рачунарске графике у области графичких корисничких интерфејса на телефонима, рачунарима, контролним таблама аутомобила и разним другим кућним уређајима [16].

5. Литература

- [1] <http://elementarium.cpn.rs/naucni-krug/> , приступљено: 16.02.2018.
- [2] <https://www.scribd.com/doc/48287022/Uvod-u-Racunarsku-Grafiku> , приступљено: 11.12.2017.
- [3] https://www.grid.uns.ac.rs/data/biblioteka/disertacije/vladic_disertacija.pdf , приступљено: 16.02.2018.
- [4] <http://ttl.masfak.ni.ac.rs/CAD/Predavanje%20-%206%20%20CAD.pdf> , приступљено: 11.12.2017.
- [5] Ивановић Л., Кузмановић С., Вереш М., Рацков М., Марковић Б., ИНДУСТРИЈСКИ ДИЗАЈН, Крагујевац, 2015.
- [6] <https://primenjenaarhitektura.wordpress.com/2015/03/25/jos-malo-o-bojama/> , приступљено: 11.12.2017.
- [7] https://monoskop.org/images/e/eb/Itten_Johannes_Umetnost_boje_1973.pdf , приступљено: 11.12.2017.
- [8] <https://racunariprogramiranje.wordpress.com/2013/11/01/%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D0%B8-%D0%B1%D0%BE%D1%98%D0%B0/> , приступљено: 10.01.2018.
- [9] <https://www.slideshare.net/teorijaforme/ss-16254439> , приступљено: 10.01.2018.
- [10] <http://www.webnstudy.com/tema.php?id=rasterska-i-vektorska-grafika> , приступљено: 28.08.2018.
- [11] <https://racunariprogramiranje.wordpress.com> , приступљено: 10.01.2018.
- [12] <http://www.nts.rs> , приступљено: 27.08.2018.
- [13] <https://www.engr.colostate.edu/ECE666/Handouts/WritingPapers/UsingColorEffectively.pdf> , приступљено: 27.08.2018.
- [14] <https://docslide.net/documents/boja-u-multimediji.html> , приступљено: 27.08.2018.
- [15] <http://www.nts.edu.rs/wp-content/uploads/2014/09/Uvod-kompjuterska-grafika.pptx> , приступљено: 27.08.2018.
- [16] <http://poincare.matf.bg.ac.rs/~vesnap/grafika/rg.pdf> , приступљено: 06.09.2018.