



Inženjerski crteži

Dr Aco Antić, redovni profesor

antica@uns.ac.rs

Mašinski instituti kancelarija 107a

Dr Aleksandar Živković, vanredni profesor

acoz@uns.ac.rs

Mašinski instituti kancelarija 107

Miloš Knežev, MsC - asistent

knezev@uns.ac.rs

Mašinski instituti kancelarija 107

Inženjerski crteži

Obaveze na predmetu:

Predispitne obaveze

1. Obavezni zadatak iz CAD modeliranja (3D i 2D)
2. Obavezni zadatak iz CAE (analiza konstrukcije - dela)

Usmeni deo ispita

(polaže se test 20 pitanja iz sadržaja sa predavanja i vežbi)

- Polaže se 1 kolokvijum iz CAD (nakon otslušanog gradiva)
- Polaže se 2 kolokvijum iz CAE

Ko ne položi preko kolokvijuma polaže ceo ispit u ispitnom roku

3

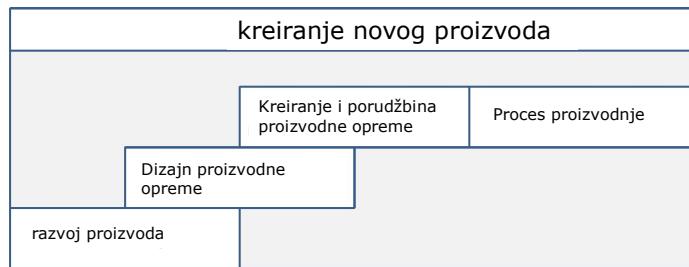
Sadržaj

1. Uvod u projektovanje proizvoda i CAD sisteme
2. Geometrijske onove CAD sistema
3. Geometrijsko modelovanje

4

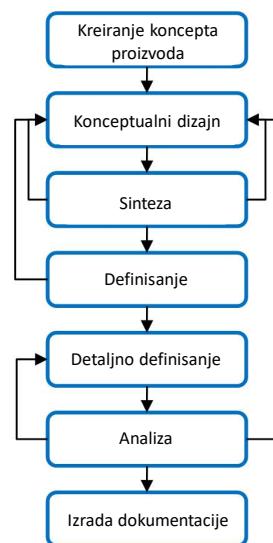
Uvod u CAD sisteme

Proces kreiranja proizvoda



5

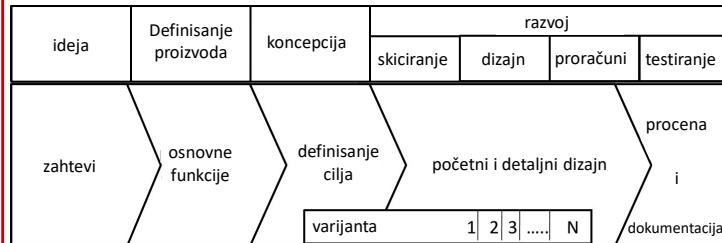
Proces razvoja proizvoda



6

CAD – uvod

Razvij proizvoda prema (VDI 2221.)



Na slici su prikazani koraci procesa razvoja proizvoda prema VDI 2221 preporukama.

Koraci su slični prethodno pomenutom procesu.

Povratne informacije i različite varijacije proizvoda i proces testiranja i procene imaju veliku ulogu tokom razvoja proizvoda. Ove aktivnosti karakterišu vreme početka razvoja.

7

CAD – uvod

CAD sistemi su integrirani sistemi koji mogu da vas dvedu od početnog koncepta do stvaranja objekata koji se mogu proizvesti. CAD sistemi kombinuju:

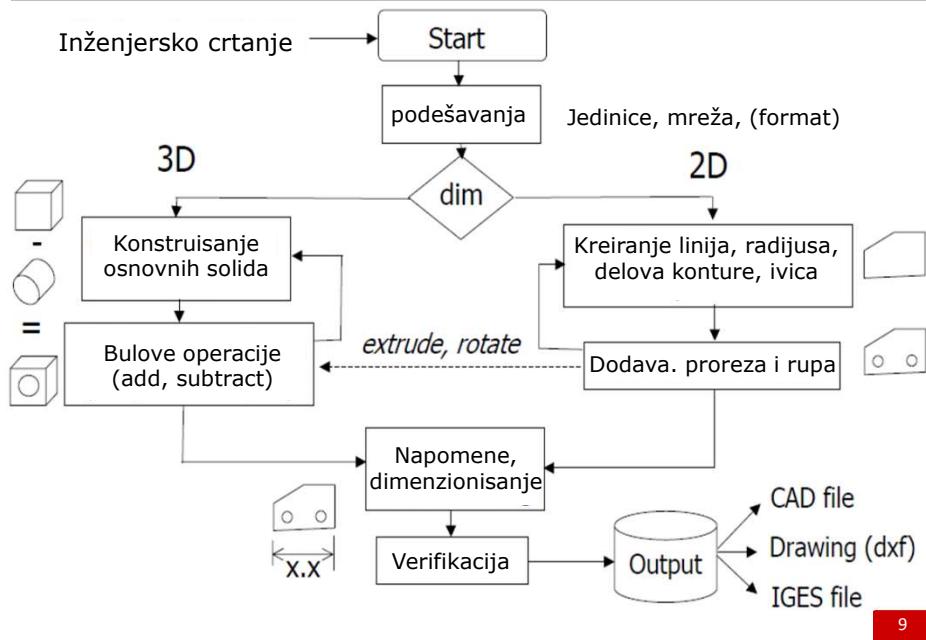
- Digitalno skiciranje, omogućavajući eksperimentisanje koje nije moguće korišćenjem tradicionalnih alata.
- Modelovanje površina slobodne forme sa veoma fleksibilnim alatima za modelovanje.
- Realni prikazi u vizuelizaciji dizajna, evaluacija dizajna, pregled i manipulacija objektom.
- Poseduju kvalitet, tačnost i preciznost potrebni za integraciju sa inženjerskim i proizvodnim procesima.
- Alati za reversni inženjering, koji transformišu podatke digitalizacije u 3D digitalne modele.
- Prenos podataka u CAD sisteme.

Neki od najpopularnijih sistema za industrijski dizajn su:

- Parametric Technology Corporation, CREO
- Dassault CATIA,
- Unigraphics, SDRC itd.

8

CAD – uvod



9

CAD – uvod

CAD kroz istoriju

1960
1957 - Dr. Patrick J. Hanratty - PRONTO (the 1st CAM system)

Early 1960's - Ivan Sutherland - Sketchpad



1965 - Dr. Hanratty, General Motors - DAC (Design Automated by Computer)

1966 - McDonnell-Douglas - CADD



1967 - Ford - PDGS

1967 - Lockheed - CADAM



10

CAD – uvod

CAD kroz istoriju

1970

Fokus na širok dijapazon primene



1980

1980 – DEC MicroVAX
1980 - IGES - Initial Graphic Exchange Standard



11

CAD – uvod

CAD kroz istoriju

1980

1980 – IBM PC



1981 – Autodesk - AutoCAD Release 1
1982 - CADRA 2D CAD

1984 - Bentley Systems - MicroStation
1984 - Diehl Graphsoft - *miniCAD*



1985 - Micro-Control System - CADKEY
1985 - CATIA v2

1987 - Parametric Technology - Pro/Engineer



1990

1989 – Unigraphics – *UniSolids*

12

CAD – uvod

CAD kroz istoriju

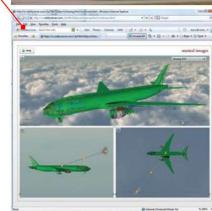
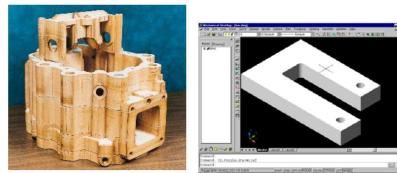
1990 1990 – Boeing 777 – full CAD design process



1990-94 - Autodesk AutoCAD
1 million licences / 4 years

1994 - Autodesk Mechanical Desktop 1.0

Komercijalne rapid prototyping tehnologije



1995

13

CAD – uvod

CAD kroz istoriju

1995 1995 - Intel Pentium Pro processor



1996 - Windows NT operation system

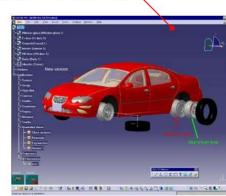


1997 – OpenGL graphic card



1998 - Dassault System – ENOVIA
PDM - Product Data Management

2000 1999 - Dassault System - CATIA v5



14

CAD – uvod

CAD kroz istoriju

2000

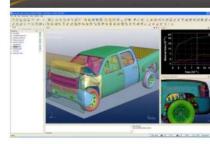
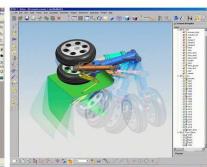
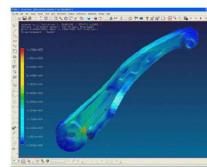
3D skeniranje, širok spektar simulacija, digitalne makete, foto realistične slike



2010

Menadžment životnog ciklusa proizvoda

Dassault Systemes – CATIA v5 & ENOVIA
Siemens – NX & iMAN
PTC - Pro/Engineer & WindChill



15

CAD – uvod

Klasifikacija CAD sistema

- Prema oblasti primene
- Tipu modelovanja
 - 2D
 - 3D
- Tipu objekata modelovanja
 - žičani modeli
 - površinski
 - solid
 - hibridni
- Parametrizaciji
 - ne parametarski
 - parametarski

16

CAD – uvod

Trenutni CAD sistemi, posebno za mašinske proizvode, su 3D sistemi i oni svoju dominaciju sada šire i na druge sektore. 3D modelovanje može biti: žičani model, površinsko, solid i hibridno modeliranje. Većina CAD sistema u modeliranju mašinskih proizvoda srednje složenosti su sistemi za parametarsko i modeliranje zasnovano na kreiranju oblika.

Modelovanje žičanog modela bio je prvi pokušaj predstavljanja 3D objekta. Reprezentacija, prikaz, je bilo neadekvatan sa mnogim nedostacima u smislu preciznosti, adekvatnosti prikaza, itd. Jednostavno rečeno, model 2D žičanog modela se gradi formiranjem skice dela koja se sastoji samo od ivica. Ova tehnika je sada srednji korak ka dobijanju površinskog ili solid modela dela.

17

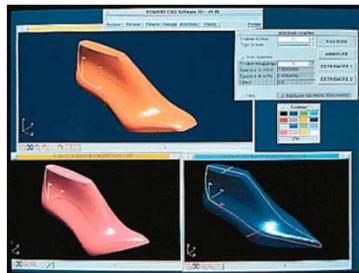
CAD – uvod

Sa površinskim modelovanjem formiramo plašt, omotač, dela. Rani sistemi su bili zasnovani na krivima tipa Fergusson i Bezier, dok sadašnji sistemi koriste uglavnom B-splin i NURBS, kojima se može modelovati skoro svaki industrijski deo, kao što su površine aviona i površine automobila (okarakterisane kao površine klase A), brodogradnja, plastični delovi i ambalaža uopšte, metalni delovi, cipele itd. Upotreba ovih metoda nije lak zadatak i zahteva značajno poznavanje NURBS matematike. One omogućavaju stvaranje površina, koje trenutno nisu dostupne u sistemima za modelovanje primenom solida. Nastaju prostornim vođenjem (sweep) duž krivih, proporcionalno razvijenih oblika korišćenjem 1, 2 ili 3 prostorno pozicioniranih tela (Sweep, loft) ili konusnim poprečnim presecima i površinama koje glatko premošćuju prazan prostor između dva ili više drugih tela (preseka). Većina njih ima sposobnost da formira oblike definisane kroz mrežu krivih/tačaka ili kroz oblak tačaka, tehniku pogodnu za zadatke reverznog inženjersva.

18

CAD – uvod

Smatra se da sistemi modelovanja solidima nude najpotpuniji prikaz dela. Kombinuje se modelovanje i topologija. Rani sistemi su bili zasnovani na osnovnim geometrijskim primitivima za predstavljanje u prostoru, formirajući sisteme konstruktivnog modelovanja Solidom (CSG). Trenutni sistemi su tipa Boundari Representation (B-Rep). CSG i B-Rep se koriste za modelovanje baze podataka o topologiji dela. Tokom 1990-ih svi ponuđeni sistemi za modelovanje Solidima okarakterisani su kao sistemi zasnovani na parametrima i oblicima. Počelo sa sa Parametric Technology Corp, kada je predstavila sistem Pro/ENGINEER.



Površinsko modelovanje



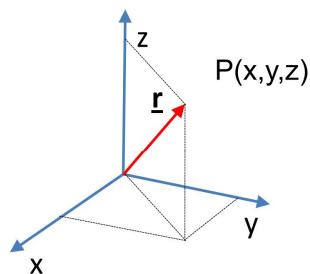
Modelovanje solida

19

CAD – osnove sistema

Geometrijske osnove CAD sistema

Point



$$\underline{r} = x_1 \cdot \underline{i} + x_2 \cdot \underline{j} + x_3 \cdot \underline{k} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

Najjednostavniji geometrijski element je tačka. Koristi se kao referentni elementi u CAD modeliranju. Predstavljanje tačke se vrši pomoću 3 koordinatne vrednosti.

20

CAD – osnove sistema

Curves

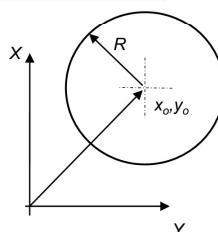
Explicit definition:

$$\begin{aligned}x &= x(t) \\y &= y(t) \\t &\in [0,1]\end{aligned}$$

Implicit definition:

$$f(x,y)=0$$

Example: CIRCLE



$$x = x_o + R \cdot \cos 2\pi t$$

$$y = y_o + R \cdot \sin 2\pi t$$

$$t \in [0,1]$$

$$(x - x_o)^2 + (y - y_o)^2 - R^2 = 0$$

Kriva se može definisati eksplisitnom ili implicitnom funkcijom.
Eksplisitna funkcija je pogodna za generisanje tačaka krive, a
implicitna formula je pogodna za istraživanje lokacije tačke. Ako
je vrednost funkcije 0, data tačka je deo krive.

21

CAD – osnove sistema

3D curves

Explicit definition:

$$\begin{aligned}x &= x(t) \\y &= y(t) \\z &= z(t)\end{aligned}$$

General description by polinoms:

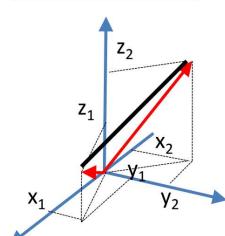
$$x(t) = \sum_{i=0}^n a_i \cdot t^i$$

$$y(t) = \sum_{i=0}^n b_i \cdot t^i$$

$$z(t) = \sum_{i=0}^n c_i \cdot t^i$$

$$t \in [0,1]$$

Example: LINE



$$x = x_1 \cdot t + x_2 \cdot (1-t)$$

$$y = y_1 \cdot t + y_2 \cdot (1-t)$$

$$z = z_1 \cdot t + z_2 \cdot (1-t)$$

$$t \in [0,1]$$

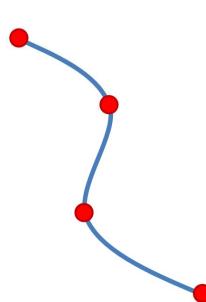
3D krive se mogu definisati eksplisitnom funkcijom. Primer
pokazuje definiciju prave, koja prolazi kroz (k_1, i_1, z_1) i (k_2, i_2, z_2)
tačke.

22

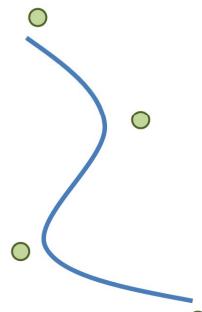
CAD – osnove sistema

Complex curves

Interpolation



Approximation



Kompleksna kriva se može definisati sa više tačaka. Možemo koristiti dve strategije:

- polinom visokog stepena, ili
- više polinoma manjeg stepena.

Polinomi višeg stepena ponekad postaju talasasti, stoga se preferira drugi način dizajna krive.

23

CAD – osnove sistema

Spline

$$(1) \quad \vec{p}(t) = \vec{a}_3 \cdot t^3 + \vec{a}_2 \cdot t^2 + \vec{a}_1 \cdot t + \vec{a}_0$$

$$(2) \quad \vec{p}(0) = \vec{a}_0 \quad \vec{p}(1) = \vec{a}_3 + \vec{a}_2 + \vec{a}_1 + \vec{a}_0$$

$$\vec{p}'(0) = \vec{a}_1 \quad \vec{p}'(1) = 3 \cdot \vec{a}_3 + 2 \cdot \vec{a}_2 + \vec{a}_1$$

$$(3) \quad \vec{p}_i(0) = \vec{r}_i$$

$$\vec{p}_i(1) = \vec{r}_{i+1}$$

$$\vec{p}_i'(1) = \vec{p}_{i+1}'(0)$$

$$\vec{p}_i''(1) = \vec{p}_{i+1}''(0)$$

- Najjednostavniji polinom, koji ima konstantan drugi izvod je kubni splajn (1).
- Uslov je kontinuitet i jednakost $p(t)$ i $p'(t)$ u početnoj i krajnjoj tački (2).
- Parametri i -tog segmenata su prikazani sa (3), ali postoji više rezultata, jer je broj nepoznatih promenljivih veći od broja jednačina koje možemo postaviti.

24

CAD – osnove sistema

Bazieove krive



Svojstva

- Kriva prolazi kroz prvi i poslednji vrh poligona.
 - Vektor tangente u početnoj tački krive ima isti pravac kao i prvi segment poligona.
 - N-ti izvod krive u početnoj ili krajnjoj tački je određen prvim ili poslednjim ($n+1$) vrhovima.
1. Za komplikovanu predstavljanje oblika potrebne su Bezieove krive većeg stepena.
Javljaju se oscilacije u krivoj i povećava se računarsko opterećenje.
 2. Bilo koja kontrolna tačka krive utiče na oblik cele krive.
Izmena oblika krive lokalno je teška.

25

CAD – osnove sistema

B-spline

$$\vec{r}(t) = B_0(t) \cdot \vec{r}_0 + B_1(t) \cdot \vec{r}_1 + B_2(t) \cdot \vec{r}_2 + B_3(t) \cdot \vec{r}_3$$

Weights:

$$B_0(t) = \frac{(1-t)^3}{6}$$

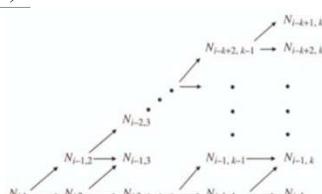
$$B_1(t) = \frac{1+3 \cdot (1-t) + 3 \cdot t \cdot (1-t)^2}{6}$$

$$B_2(t) = \frac{1+3 \cdot t + 3 \cdot (1-t) \cdot t^2}{6}$$

$$B_3(t) = \frac{t^3}{6}$$

B-spline karakteristike:

- kriva aproksimacija, ne prolazi kroz kontrolne tačke,
- redosled krive je nezavisan od broja kontrolnih tačaka,
- kontrolne tačke nemaju uticaja na ostale segmente,
- može se predstaviti veoma komplikovani oblik niskog reda,
- izmena krive lokalno je laka.



26

CAD – osnove sistema

NURBS (Nonuniform Rational B-Spline) Curve

$$\mathbf{P}(u) = \frac{\sum_{i=0}^n h_i \mathbf{P}_i N_{i,k}(u)}{\sum_{i=0}^n h_i N_{i,k}(u)}$$

B-spline : $\mathbf{P}(u) = \sum_{i=0}^n \mathbf{P}_i N_{i,k}(u)$

\mathbf{P}_i : Vektor položaja i -te kontrolne tačke

h_i : homogena koordinata

- Ako su sve homogene koordinate (h_i) 1, imenilac postaje 1
- B-spline kriva je poseban slučaj NURBS-a
- Bezieova kriva je poseban slučaj B-spline krive.

27

CAD – osnove sistema

Surfaces

Explicit definition:

$x=x(u,v)$

Implicit definition:

$f(x,y,z)=0$

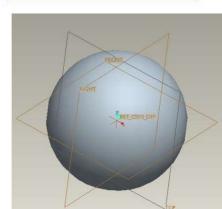
$y=y(u,v)$

$z=z(u,v)$

$u, v \in [0,1]$

Example: SPHERE

$x = x_o + R \cdot \cos 2\pi u \cdot \sin \pi v$



$y = y_o + R \cdot \sin 2\pi u \cdot \sin \pi v$

$z = z_o + R \cdot \cos \pi v$

$u, v \in [0,1]$

$(x - x_o)^2 + (y - y_o)^2 + (z - z_o)^2 - R^2 = 0$

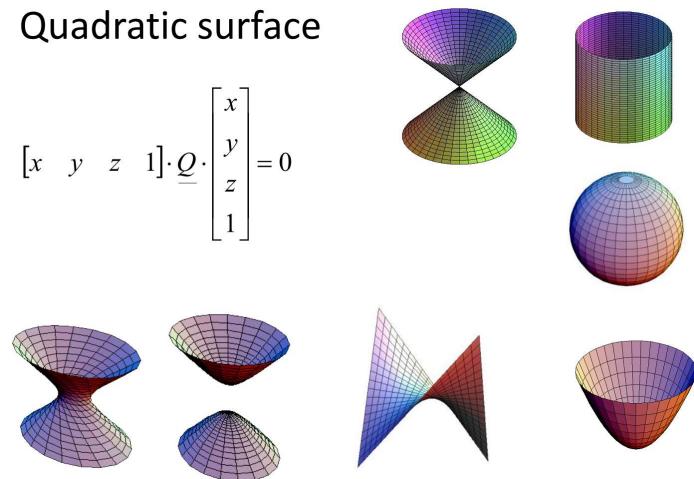
3D površine se mogu definisati eksplicitnom i implicitnom funkcijom, kao tačke ili krive. U slučaju eksplicitne definicije površine koriste se dva parametra (u, v). Njihove vrednosti su između 0 i 1.

28

CAD – osnove sistema

Quadratic surface

$$[x \ y \ z \ 1] \cdot Q \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = 0$$

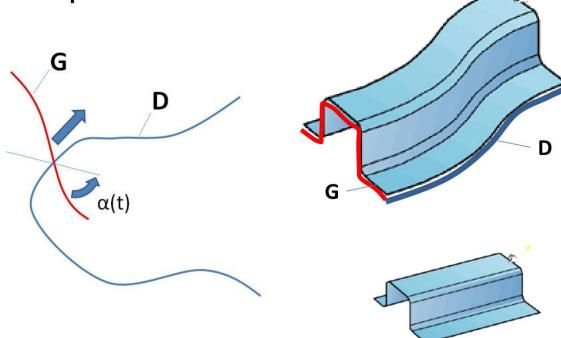


Ako su neki parametri kvadratni, površina se zove kvadratna površina. Ove površine se mogu opisati homogenim oblikom, gde je matrica K faktora konstantna u slučaju svake površine.

29

CAD – osnove sistema

Sweep surface



U slučaju vođene površine moraju se definisati dve krive.

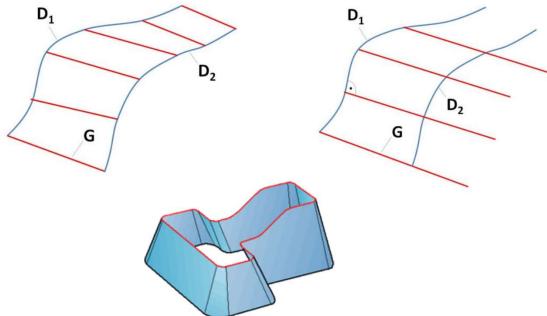
- Prva je otvorena ili zatvorena kriva (D).
- Druga kriva (G) vodiće se duž (D) sa stalnom tačkom kontakta između njih.
- Moguće je koristiti funkciju rotacije ($\alpha(t)$).

Ravan, sfera, cilindar, konus se mogu definisati kao vođene površine

30

CAD – osnove sistema

Ruled surface



Vođena površina je definisana sa tri 3D krivom. G kriva se prostire duž D1 krive i spaja se u D2. U prvom slučaju D1 i D2 su podeljeni na jednake segmente, a krajnje tačke ovih segmenata su povezane sa G.

U drugom slučaju G kriva se samo naslanja na D1, a G će biti paralelna u svakoj poziciji. Mogu se generisati i druge varijacije za ravnalu površinu primenom nekonstantne G krive.

31

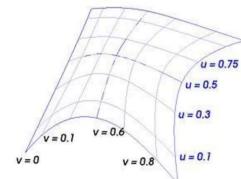
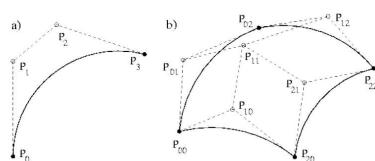
CAD – osnove sistema

Freeform surfaces

$$(1) \quad \vec{r}(u, v) \quad u, v \in [0, 1]$$

$$(2) \quad \vec{r}(u, v) = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \vec{r}_{ij} \cdot B_{ij}(u, v) \quad u, v \in [0, 1]$$

$$(3) \quad B_{ij}(u, v) = \binom{n}{i} \cdot u^i \cdot (1-u)^{n-i} \cdot \binom{m}{j} \cdot v^j \cdot (1-v)^{m-j}$$



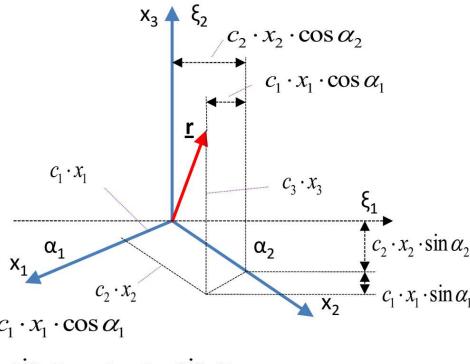
Za parametarski opis površine koriste se dve varijable (u, v), a površina je identifikovana težinskim funkcijama (1)(2), kao u slučaju krivih. Bezićeova površina koristi Bezićeove krive kao kontrolnu geometriju (3).

32

CAD – osnove sistema

Projection

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \end{bmatrix}$$



$$\xi_1 = c_2 \cdot x_2 \cdot \cos \alpha_2 - c_1 \cdot x_1 \cdot \cos \alpha_1$$

$$\xi_2 = c_3 \cdot x_3 - c_2 \cdot x_2 \cdot \sin \alpha_2 - c_1 \cdot x_1 \cdot \sin \alpha_1$$

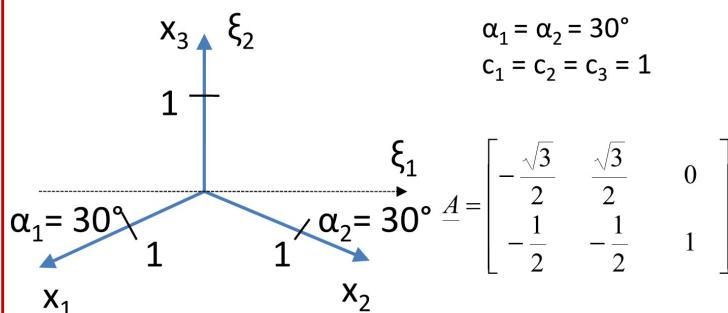
$$\begin{bmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -c_1 \cdot \cos \alpha_1 & c_2 \cdot \cos \alpha_2 & 0 \\ -c_1 \cdot \sin \alpha_1 & -c_2 \cdot \sin \alpha_2 & c_3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

Jezgro CAD sistema (kernel) izračunava vrednosti 2D koordinata (ρ) da bi prikazao 3D objekat (r). Veza između dva vektora se izračunava množenjem matrice ($\rho = A r$). A matrica je matrica projekcije.

33

CAD – osnove sistema

Isometric axonometry



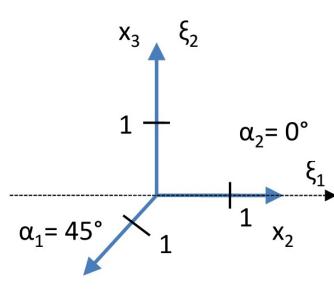
Postoje posebni skupovi c_i i α_i parametara, koji se često primenjuju u oblasti generisanja inženjerske slike.

Prvi se zove **izometrijska aksonometrija**, gde nema skaliranja ($c_i=1$), a položaj ose k_1 i k_2 je simetričan i uglovi su 30° u oba slučaja.

34

CAD – osnove sistema

Frontal axonometry



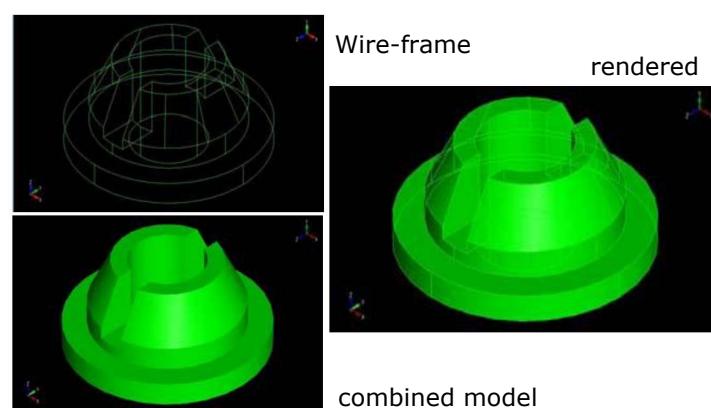
$$\begin{aligned}\alpha_1 &= 45^\circ \\ \alpha_2 &= 0^\circ \\ c_1 &= \frac{1}{2} \\ c_2 &= c_3 = 1\end{aligned}$$

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{\sqrt{2}}{4} & 1 & 0 \\ -\frac{\sqrt{2}}{4} & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

U slučaju frontalne aksonometrije, k_2 osa je jednaka osi ξ_1 , nema skaliranja u k_2 i k_3 osi, a mera u k_1 su samo polovina stvarnih vrednosti.

35

CAD – osnove sistema



Model pomaže u organizovanju i vizuelizaciji proizvoda i ciljeva ili aktivnosti prikaza visokog nivoa kvaliteta. Model je složen i integriran. To bi bila osnova analize.

Na slajdu se nalaze tri tipa prikaza istog modela. Model žičanog okvira (žičani), renderovani i realistični renderovani model.

36

CAD – osnove sistema

Određivanje nevidljivih površina

Algoritmi:

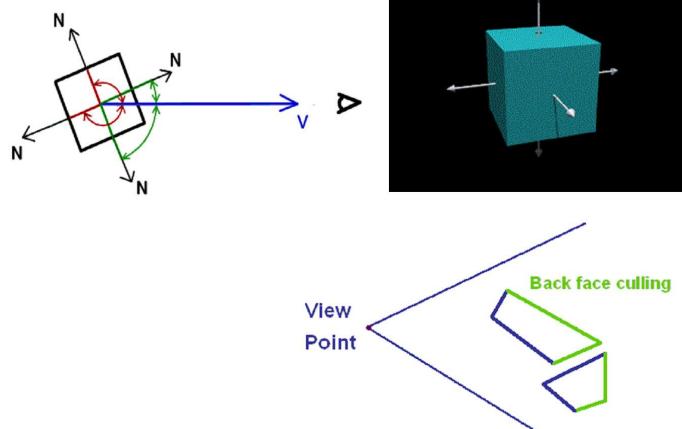
- Uklanjanje zadnje strane
- Z-bafer algoritam
- Praćenje zraka
- Rekursivno praćenje zraka

Određivanje nevidljive površine je proces kojim se utvrđuje koje su površine ili delovi površina vidljivi sa određene tačke gledišta. Algoritam za određivanje nevidljive površine je rešenje za problem vidljivosti. Analog za prikazivanje linija uklanjanja nevidljive linije. Određivanje nevidljive površine je neophodno da bi se slika pravilno prikazala. Radi tako da se ne može gledati kroz zidove u virtuelnoj stvarnosti.

37

CAD – osnove sistema

Back-face culling

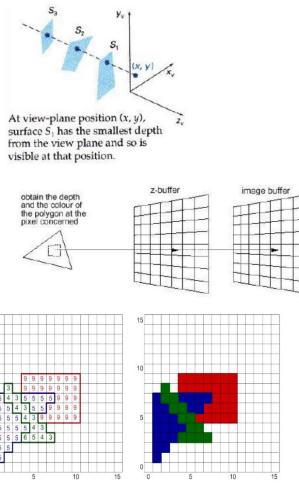


Izbacivanje zadnje strane određuje da li je poligon grafičkog objekta vidljiv. To je korak u grafičkom procesu koji testira da li se tačke u poligonom pojavljuju u smeru kazaljke na satu ili suprotno od kazaljke na satu kada se projektuju na ekran.

38

CAD – osnove sistema

Z-buffer algorithm

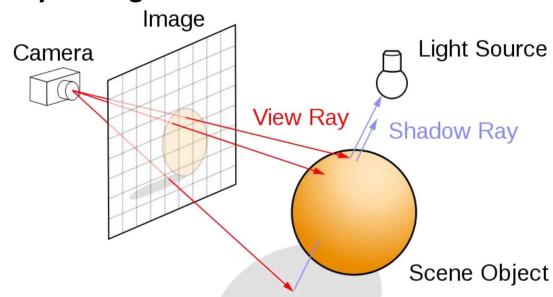


Z-baferovanje je upravljanje koordinatama dubine slike u 3D grafici. Obično se radi hardverski, ponekad u softveru. To je jedno od rešenja za problem vidljivosti. Predstavlja problem odlučivanja i prikazuje koji elementi scene su vidljivi, a koji skriveni.

39

CAD – osnove sistema

Ray-tracing

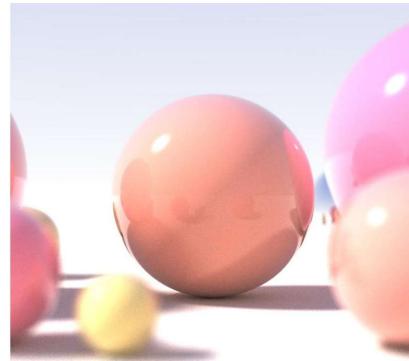


U kompjuterskoj grafici, tehnika praćenja zraka služi za generisanje slike praćenjem putanje svetlosti kroz piksele u ravni slike i simulacijom efekata njenih delova sa virtuelnim objektima. Tehnika je sposobna da proizvede veoma visok stepen vizuelnog realizma, obično veći od onog kod tipičnih metoda renderovanja linija skeniranja. Ovo čini praćenje zraka najpogodnijim za aplikacije u kojima se slika može prikazati polako pre vremena, kao što su fotografije i specijalni efekti na filmu i televiziji.

40

CAD – osnove sistema

The Recursive Ray Tracing Algorithm

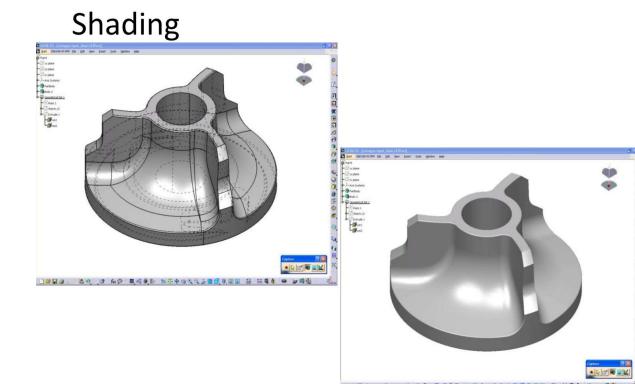


Praćenje zraka prati reflektovane i prelomljene zrake kroz scenu. Zraci su tanki, tako da razni šumovimogu da predstavljaju problem. Praćenje zraka se može koristiti kao osnovna tehnika za prikazivanje zapremine. To je rekurzivni algoritam. Koristi sekundarne zrake koji se rekurzivno prate za razliku od primarnih zraka.

41

CAD – osnove sistema

Shading

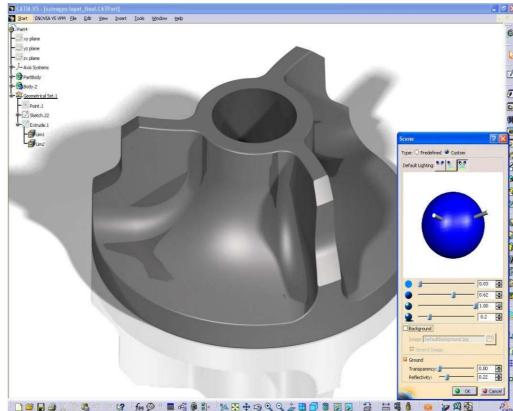


Senčenje se odnosi na predstavljanje percepcije dubine u 3D modelima ili ilustracija na osnovu nivoima tame i procesa promene boje, na osnovu njenog ugla prema svetlu i udaljenosti od svetla, da bi se stvorio fotorealistični efekat. Senčenje je deo procesa renderovanja. Senčenje menja boje lica (prednje strane) u 3D modelu na osnovu ugla površine prema izvoru svetlosti ili više izvora svetlosti.

42

CAD – osnove sistema

Lights

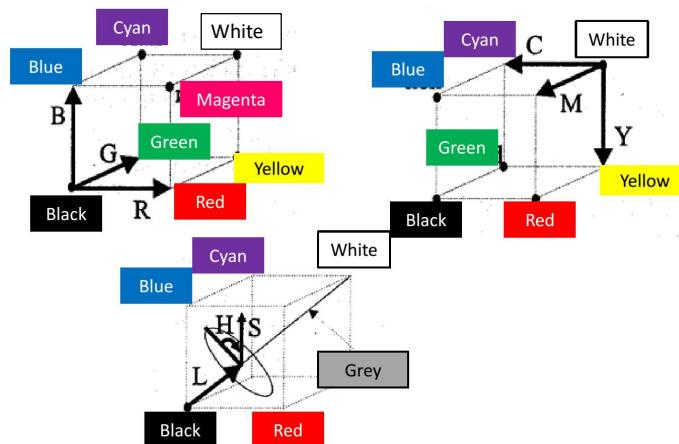


Osvetljenje tijela ima veliki broj funkcija za različite stilove. Najvažnije funkcije su pozicija izvora svjetlosti, čija je funkcija da obezperi usmereno svetlo i izbegavanje vizuelnog odsjaja. Neke su jednostavne i funkcionalne, a neke su same po sebi umetnička dela.

43

CAD – osnove sistema

Boje - sistemi kodiranja boja



44

CAD – osnove sistema

RGB (crvena, zelena, plava)

RGB model boja je aditivni model boja u kome se crvena, zelena i plava svetlost dodaju zajedno na različite načine da bi se reprodukovao širok spektar boja. Naziv modela potiče od inicijala tri aditivne primarne boje, crvene, zelene i plave.

CMI (cijan (C), magenta (M) i žuta (I))

Moguće je ostvariti veliki raspon boja uočenih kombinovanjem cijan, magenta i žutih providnih boja. Ovo su subtraktivne primarne boje. Često se dodaje četvrta crna da bi se poboljšala reprodukcija nekih tamnih boja.

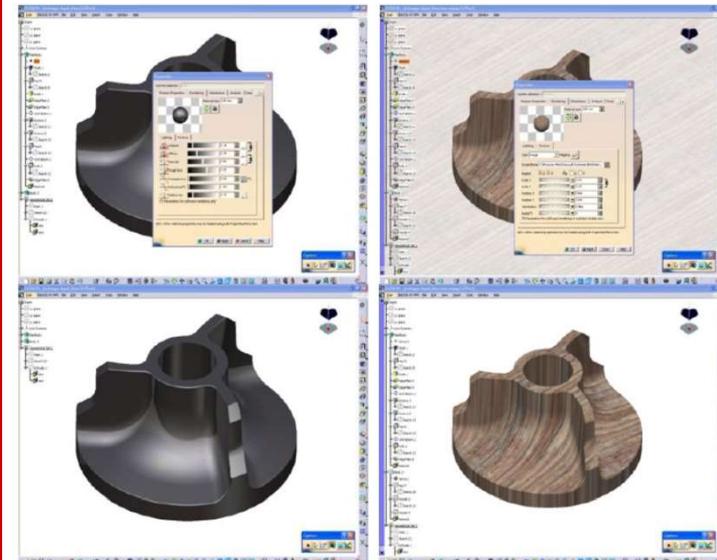
HLS

HSL je jedna od najčešćih cilindrično-koordinatnih reprezentacija tačaka u RGB modelu boja, koje uređuju geometriju RGB-a u pokušaju da budu intuitivnije i perceptivno relevantnije od reprezentacije kocke, ortogonalnog prikaza. HSL označava nijansu, zasićenost i svetlost.

45

CAD – osnove sistema

Teksture



46

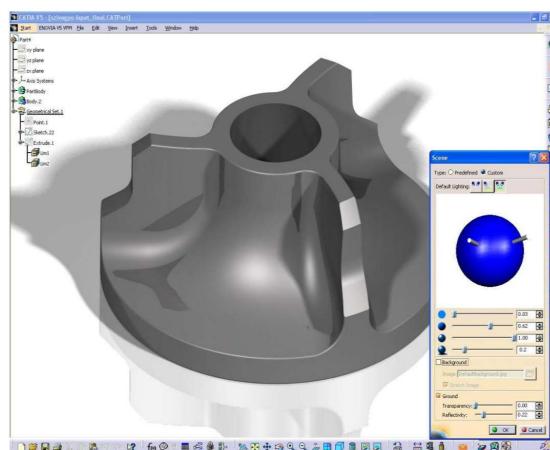
CAD – osnove sistema

U kompjuterskoj grafici, **filtriranje teksture ili uglačavanje** (izjednačavanje prelaza) teksture je metod koji se koristi za određivanje boje teksture za piksele mapirane na samoj teksturi (površini objekta na kome se primenjuje), koristeći boje obližnjih piksela teksture. Matematički gledano, filtriranje teksture je vrsta tzv. anti-aliasinga, filtrira visoke frekvencije iz ispune teksture. Omogućava da se tekstura primeni u mnogo različitih oblika, veličina i uglova, dok se minimizira zamućenje, svetlucanje i blokiranje.

47

CAD – osnove sistema

Rendered picture



Datoteka scene sadrži objekte u strogo definisanom jeziku ili strukturi podataka; sadržao bi geometriju, tačku gledišta, teksturu, osvetljenje i senčenje kao opis virtualne scene.

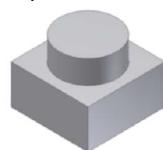
48

CAD – geometrijsko modelovanje

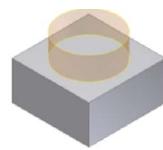
Geometrijsko modelovanje

Sa topološke tačke gledišta, sistemi geometrijskog modelovanja se mogu klasifikovati u dve osnovne grupe:

- **višestruki sistemi za modelovanje:** oni uključuju sisteme za modelovanje pogodne za modelovanje oblika koji se mogu preslikati u mnogostruktost 2D tačaka.
- **objekti jednostavne topologije** uopšte nisu realni; ne mogu se preslikati u mnogostruktost 2D tačaka. Ovo obično proizilazi iz činjenice da model uključuje osnovne jedinice različitih dimenzija (1D, 2D ili 3D) ili su one međusobno povezane unutar modela.



Višestruki
kompleksni



Jednostavni
oblici

49

CAD – geometrijsko modelovanje

Sistemi višestrukog modelovanja

Sistemi višestrukog modelovanja (modelovanje više komponenata posebno) može se podeliti u dve dalje grupe na osnovu potrebnih informacija o osobinama oblika:

- Sistemi modelovanja objekata koji nisu pune zapremine uključuje:
 - modelovanje ivica dela (žičani modeli)
 - modelovanje površi
- Sistemi modelovanja objekata pune zapremine uključuje:
 - modelovanje plašta (tankozidih elemenata)
 - modelovanje solida

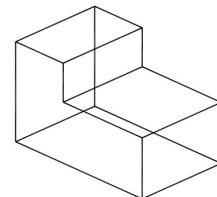
50

CAD – geometrijsko modelovanje

Linijsko modelovanje – žičani model

Žičani (linijski) model prikazuje ivice koje ograničavaju površine modelovanog objekta. Ove ivice se mogu sastojati od linija, lukova i krivih. Nedostaci ove metode modeliranja:

- sve ivice su prikazane na prikazanoj slici; vidljivost se ne može prikazati (primeniti);
- karakteristike zapremine i mase se ne mogu specificirati;
- prikazivanje podataka je dugotrajno i teško;
- nije pogodan za projektovanje oblika i preciziranje složenijih formi.



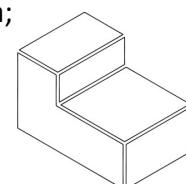
51

CAD – geometrijsko modelovanje

Modelovanje površi

Ovaj metod modelovanja ne upravlja topološkim informacijama. Beskontaktne površi na površinskom modelu prikazanom na donjoj slici imaju za cilj da ilustruju da su površi međusobno povezane samo na nivou "vidljivih". Karakteristike modelovanja površi su:

- model površi je pogodan za skrivene i zasjenjene prikaze;
- nije pogodan za izračunavanje zapreminskeh ili masenih karakteristika;
- nije pogodan za izradu numeričkih modela za inženjerske proračune.



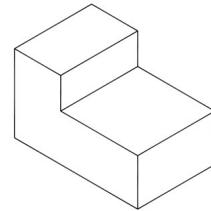
52

CAD – geometrijsko modelovanje

Modelovanje tankozidih elemenata

Modelovanje tankozidih elemenata metodološki koristi osnovnu pretpostavku da svaki fizički objekat ima mogućnost jednoznačno definisanih graničnih površina. Geometrijski, ova granična površina je plašt, koji je neprekidan i zatvara skup površinskih segmenata. Pored ostalih informacija, ovaj metod modelovanja takođe pruža sveobuhvatnu topološku karakterizaciju modela. Karakteristike modelovanja tankozidih elemenata su:

- model površi je pogodan za prikaze sakrivenih i zasenčenih segmenata;
- pogodno je za izračunavanje zapreminskih ili masenih karakteristika;
- pogodano je za prikazivanje dizajna tehnologije proizvodnje.



53

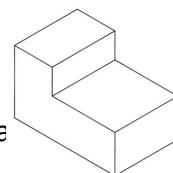
CAD – geometrijsko modelovanje

Solid modelovanje

Solid ili zapreminska modelovanje opisuje objekte kao konačne, zatvorene, regularne skupove tačaka. Solid model daje potpun, karakterističan i sažet opis objekta. Struktura podataka uključuje opise osnovnih jedinica koje uključuju osnovni materijal i njihove odnose. Solid modelovanje je mnogo jednostavnije od žičanog, površinskog ili modelovanja tankozidih delova.

Razvijene su mnoge varijante solid orijentisanih sistema za modelovanje:

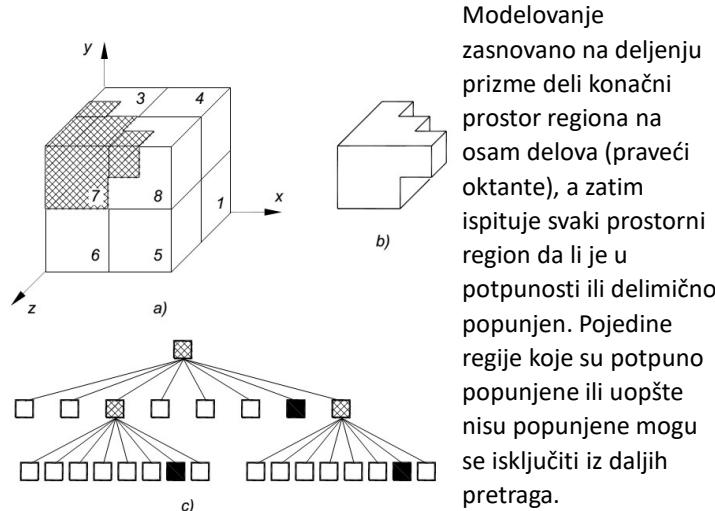
- **metode raščlanjivanja zapremine:**
 - modelovanje deljenjem prizme;
 - modelovanje deljenjem poluprostora
- **metode popunjavanja zapremine:**
 - modelovanje konačnim elementima (ćelijama);
 - modelovanje elementarnim solidima.



54

CAD – geometrijsko modelovanje

Solid modelovanje – metod deljenja prime



55

CAD – geometrijsko modelovanje

Oktanti koji su rezultat sledećeg nivoa razlaganja delimično popunjениh regiona čine treći nivo hijerarhijskog stabla gde se mora ponoviti postupak opisan ranije.

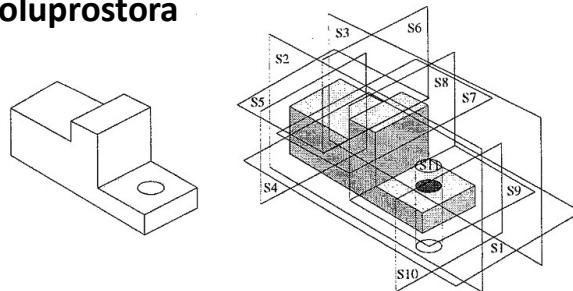
Ovaj metod, primenom tzv. hijerarhijske metode dekompozicije, može dati tačne opise u slučaju objekata razgraničenih na upravne ravni površina, a samo približni opisi u slučaju kosih i zakriviljenih površina. Na tačnost aproksimacije može uticati dubina preseka.

Prednosti postupka uključuju činjenicu da je izuzetno jednostavan za izražavanje algoritmima i da njegova primena ne zahteva posebne veštine korisnika.

56

CAD – geometrijsko modeliranje

Solid modelovanje – metod deljenja poluprostora

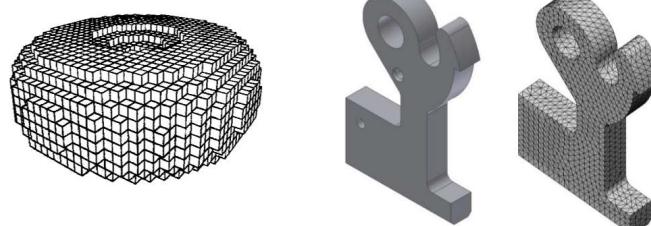


Modelovanje deljenjem poluprostora karakteriše činjenica da je zapremina koju zauzima objekat omeđena površinama beskonačnog proširenja koje dele prostor na dva regionala beskonačnog proširenja. Takve površine beskonačnog proširenja postavljaju se na površine objekta koji se modeluje, pod pretpostavkom da je polovina prostora na jednoj strani površine prazna, a druga ispunjena materijalom.

57

CAD – geometrijsko modelovanje

Solid modelovanje – primenom konačnih elemenata

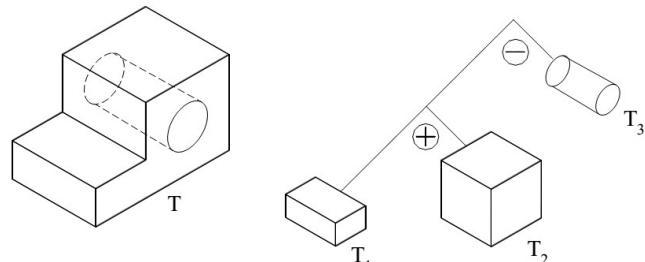


Kod modelovanja konačnim elementima, komponente se grade takozvanim izomorfnim elementima (ćelijama), koje su manje za nekoliko redova veličine od veličine komponente. Modelovanje konačnim elementima prvenstveno služi kao alat za modelovanje numeričkih postupaka (metode konačnih elemenata, metode graničnih elemenata). Slike iznad prikazuju modelovanje konačnim elementima, 3D geometrijski model komponente i njen model konačnih elemenata sastavljen od malih elemenata tetraedra.

58

CAD – geometrijsko modelovanje

Solid modelovanje – primenom elementarnih solida



Dve osnovne grupe alata za modelovanje čvrstih tela su elementarna geometrijska tela T_i i primena operacije kompozicije \otimes (\otimes je sumarna indikacija operacija kompozicije (operacija skupa)).

Kompleksno čvrsto telo T kao na slici je generisano dodavanjem primitiva T_1 i T_2 i oduzimanjem primitiva T_3 .

59

CAD – geometrijsko modelovanje

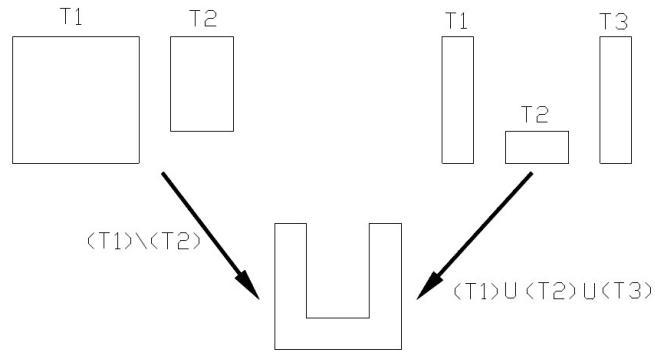
Prepostavke (ograničenja) - pri solid modelovanju

- objekat je čvrsti homogeni solid, što znači da ima konkretan i nepromenljiv oblik na koga prostorna lokacija ili položaj ne utiču;
- objekat homogeno ispunjava prostor koji zauzima, što znači da je unutrašnjost objekta unutar površina uvek povezana sa komplementarnošću modela;
- ekstenzija objekta je konačna, što znači da se model može mapirati za kompjuterski prikaz;
- objekat se može generisati kao kompozicija konačnog broja elementarnih čvrstih tela, što znači da se model objekta može memorisati u računaru;
- objekat se može modelovati i pomerati kao zatvoreni skup u smislu krutog solida.

60

CAD – geometrijsko modelovanje

Solid modelovanje – korišćenjem teorije skupova



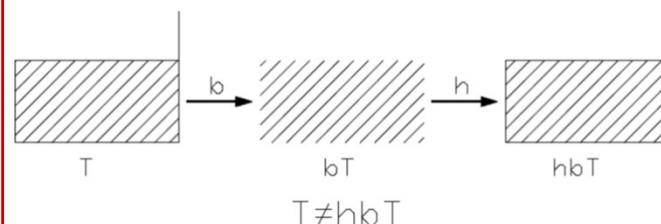
Ako su primitivi T_i regularni (oivićeni), objekat koji se dobije kao rezultat će biti jedinstven (jednoznačno definisan) objekat

61

CAD – geometrijsko modelovanje

Solid modelovanje – korišćenjem teorije skupova

$$T = hbT$$



Regioni T_i moraju biti zatvoreni i regularni. Na slici je prikazan primer regularnog regiona T ako se ispune primarni uslovi oivičenosti.

62

CAD – geometrijsko modelovanje

Alati za solid modelovanje

Skup alata za solid modelovanje uključuje sledeće:

- formiranje osnovnih geometrijskih primitiva;
- operacije spajanja (teorije skupova);
- manipulacija osnovnim primitivima i solid modelima;
- ilustracija.
- kreiranje solid primitiva

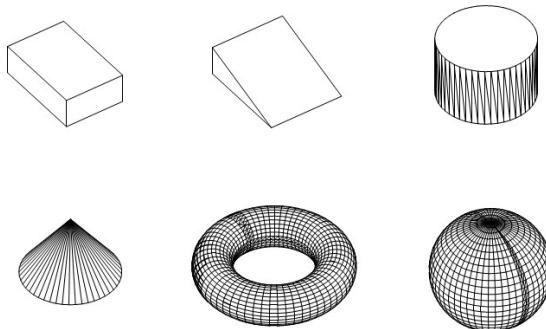
Elementarna geometrijska tela, takođe nazvana kao solid primitivi, mogu biti unapred definisana ili kreirana od strane korisnika. Unapred definisani solid primitivi uključuju:

- rectangle; -wedge; -cylinder;
- cone; -torus; -sphere.

63

CAD – geometrijsko modelovanje

Alati za solid modelovanje primenom osnovnih geometrijskih primitiva



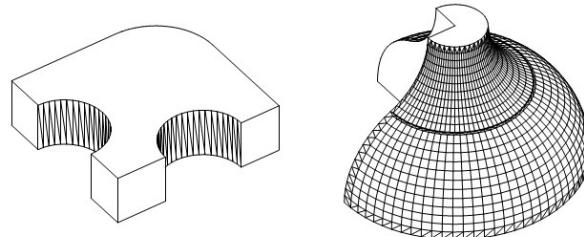
Osnovni geometrijski solid primitivi

Neki softverski sistemi mogu uključivati dodatne solidne primitive; na primer. konveksni luk, konkavni luk, itd.

64

CAD – geometrijsko modelovanje

Alati za solid modelovanje kreirani od strane korisnika (sketch based)



Korisnik kreira solid primitive:

- extrude; - revolve; - (sweep); - (loft).

Zajednička karakteristika solid primitiva koje kreiraju korisnici je da se mogu kreirati vođenim površinama.

65

CAD – geometrijsko modelovanje

Alati za solid modelovanje

Manipulacija solid primitivima i solid telima

Skup alata za modelovanje dela od punog (zapreminskeg) materijala uključuje manipulaciju solid telima i solid primitivima, kao što su:

- pomeranje; - kopija; - obrtanje; - ogledalo; - skaliranje; - pridruživanje; - brisanje; - itd.

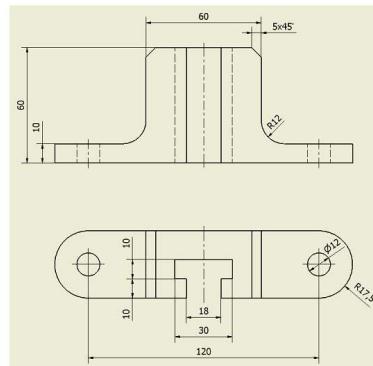
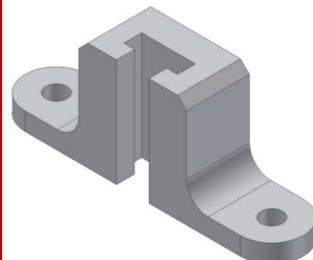
Postupci za ilustraciju (prikazivanje)

- žičani prikaz;
- sakrivanje nevidljivih površina;
- senka.

66

CAD – geometrijsko modelovanje

Primer proizvoda urađenog solid modelovanjem

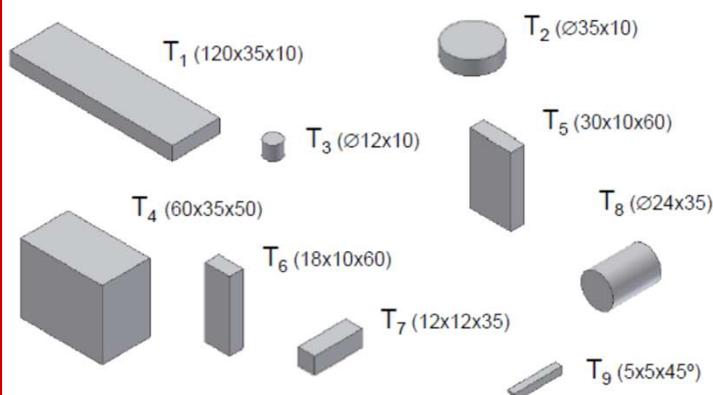


U praksi, proces solid modelovanja sastoji se od definisanja osnovnih geometrijskih elemenata (primitiva), podešavanja dimenzija, transformacije u odgovarajuću poziciju i primene generalizovanog skup operacija. Prednost kombinovanja elementarnih solida i materijala (određenih vrsta) je u tome što se obezbeđuje verodostojnost za proizvedeni model.

67

CAD – geometrijsko modelovanje

Solid primitivi potrebni za dizajn dela

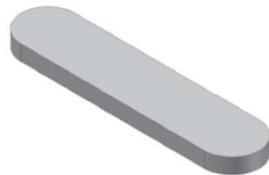


68

CAD – geometrijsko modelovanje

Dizajniranje proizvoda korak 1/4

$$T^1 = ((T_1) \cup T_2) \cup T_2$$

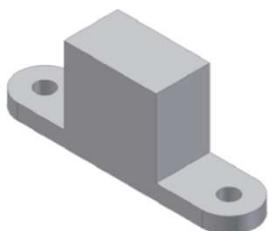


$$T^2 = ((T^1) / T_3) / T_3$$

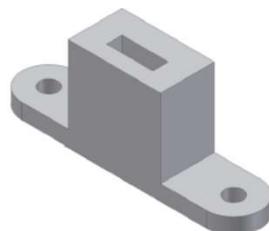


Dizajniranje proizvoda korak 2/4

$$T^3 = (T^2) \cup T_4$$



$$T^4 = ((T^3) / T_5)$$

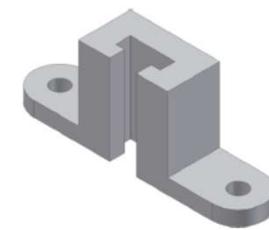


69

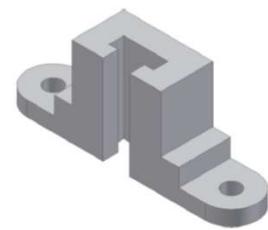
CAD – geometrijsko modelovanje

Dizajniranje proizvoda korak 3/4

$$T^5 = ((T^4) / T_6)$$

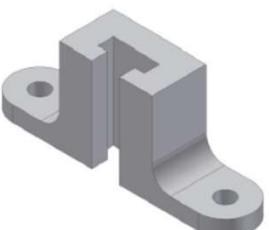


$$T^6 = (((T^5) \cup T_7) \cup T_7)$$

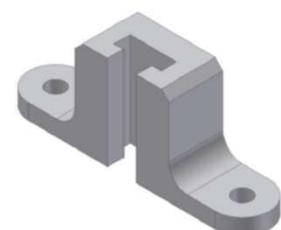


Dizajniranje proizvoda korak 4/4

$$T^7 = (((T^6) / T_8) / T_8)$$



$$T^8 = (((T^7) / T_9) / T_9)$$



70

CAD – geometrijsko modelovanje

Ograničenja solid modelovanja

Primenom solidnog modelovanja postignuti su značajni rezultati u 3D geometrijskom modelovanju; međutim, ograničenja su postala očigledna već 1980-ih; značajnijih poboljšanja nije bilo do danas. Neka od ograničenja su sledeća:

1. Komercijalno dostupni sistemi za modelovanje pružaju samo osnovne tehnike nižeg nivoa modeliranja nego što bi to bilo potrebno u inženjerskoj praksi.
2. Sistemi geometrijskog modelovanja ne podržava inženjersko razmišljanje, što znači da se konačni model proizvodi iz teorijske skice kroz kontinuirane modifikacije. Stoga je tradicionalno geometrijsko modelovanje pre rekonstrukcija nego stvarni dizajn.
3. Sistemi geometrijskog modelovanja ne daje sveobuhvatan opis modelovanog objekta. Dakle, oni ne pružaju informacije o mikrogeometriji, materijalima i fizičkim karakteristikama, a sve je to važno za rad, proizvodnju, kontrolu itd.

71

CAD – geometrijsko modelovanje

Ograničenja solid modelovanja

Otklanjanje navedenih nedostataka zahtevalo je razvoj sistema bliskih inženjerskom razmišljanju kako po sadržaju tako i po rukovanju.

U toku modelovanja, ovi sistemi moraju biti u stanju da opišu procese koji se odnose na objekte kao i spoljne uslove, tako da moraju da upravljaju svim informacijama koje karakterišu ceo životni vek proizvoda.

Da bi se integrisale inženjerske aktivnosti, treba uzeti u obzir model proizvoda umesto geometrijskih modela. Ovo je omogućeno dizajnom zasnovanim na karakteristikama proizvoda.

72

CAD – geometrijsko modelovanje

Modelovanje bazirano na kreiranju oblika od strane korisnika (sketch based)

Oblici definisani geometrijskom formom, označeni su kao obeležja (featuresa).

Slično objektima, procesi takođe imaju kvalitativne i kvantitativne karakteristike; nazivaju se osobinama procesa. Prirodni i naučni zakoni na osnovu kojih se bazira rad proizvoda nazivaju se osnovnim svojstvima. Osobine, obeležja, (features) se mogu tumačiti prema tri pristupa:

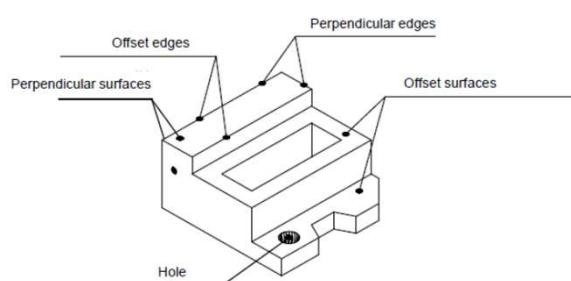
- geometrijska interpretacija;
- aplikativno orijentisana interpretacija;
- ontološka interpretacija.

73

CAD – geometrijsko modelovanje

Geometrijska interpretacija

Prema geometrijskom tumačenju, obeležja se mogu smatrati skupom informacija koje sadrže logičku povezanost: tačaka, ivica i površina komponente.

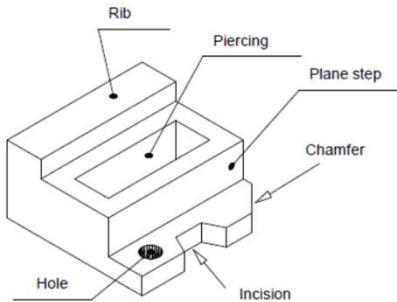


74

CAD – geometrijsko modelovanje

Geometrijska interpretacija - “feature”

Drugi način geometrijske interpretacije je da se pitanja primene uzmu u obzir: “feature” je osnovna geometrijska jedinica koja čini onu datu oblast modelovanog objekta koja je od značaja za realizaciju proizvoda.



75

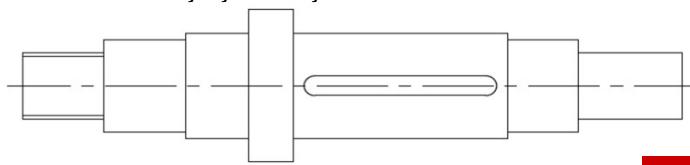
CAD – geometrijsko modelovanje

Semantička interpretacija - “feature”

Napredniji alati za modelovanje geometrijskih karakteristika već omogućavaju upravljanje osnovnim informacijama a ne samo “features”, što predstavlja prvi korak ka semantičkoj orientaciji. Prema semantičkoj interpretaciji obeležja “feature”, se mogu klasifikovati na:

- generativne,
- modifikacione,
- nezavisne i
- prirodne oblike kao tipove obeležja “features”.

Generativni oblik stvara formu i ima zatvorenu konturu koja je potrebna za obavljanje funkcije. Takođe se naziva noseći oblik.

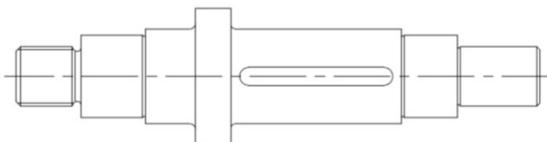


76

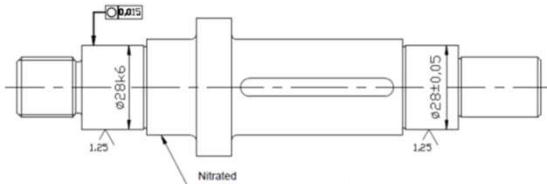
CAD – geometrijsko modelovanje

Semantička interpretacija - “feature”

Modifikacioni oblici, modifikuju karakteristike nosača na osnovu zahteva proizvodnje, upotrebe, snage itd.



Nezavisni oblici povezani su sa nominalnim oblikom, prouzrokujući samo njegovu sekundarnu modifikaciju. Ovu modifikaciju ne prati geometrija, uključene su samo tehničke specifikacije. Takvi nezavisni oblici uključuju toleranciju dimenzija, hrapavost površine, kvalitet površinske obrade itd.

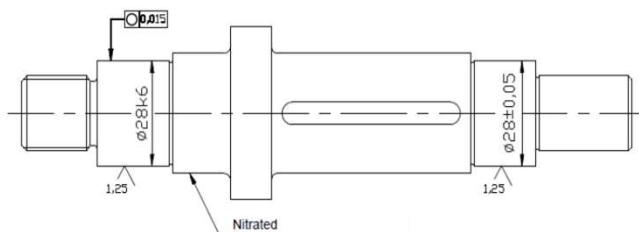


77

CAD – geometrijsko modelovanje

Semantička interpretacija - “feature”

Prirodni oblici po svojoj suštini nisu direktno povezani sa geometrijom; tretiraju se samo kao atributi. Oni uključuju kvalitet materijala, zahteve termičke obrade itd.



Materijal A60

Ontološka interpretacija obeležja je trenutno u fazi istraživanja. U ontološkom tumačenju, ona čine najviše osnovne jedinice obeležja i jezika za opisivanje proizvoda.

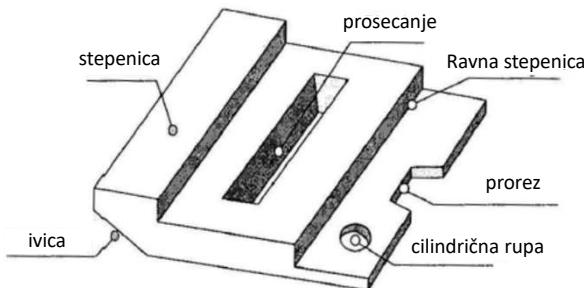
78

CAD – geometrijsko modelovanje

Aplikativno orijentisana interpretacija

Obeležja proizvodne tehnologije dela

Površine koje treba oblikovati i odvojiti rotacionim alatom za rezanje su opisane karakteristikama proizvodne tehnologije. Karakteristike proizvodne tehnologije obično se mogu izvesti direktno iz karakteristika dizajna dela.



79

CAD – geometrijsko modelovanje

Aplikativno orijentisana interpretacija

Obeležja analize dela

Obeležja analize su povezane sa idealizacijom geometrijskog modela koji se koristi kao osnova za testove krutosti, sa kriterijumima podrške i opterećenja modela. Shodno tome, postoje:

- zamene karakteristike;
- karakteristike posrednog uticaja.

80

CAD – geometrijsko modelovanje

Aplikativno orijentisana interpretacija

Obeležja instaliranja (korišćenja dela)

Odnosi montaže i kvalitet povezivanja komponenti i delova mogu se okarakterisati karakteristikama ugradnje. Ovi uključuju:

- karakteristike u direktnoj vezi; (ove komponente su u kontaktu ili u specifičnom geometrijskom odnosu jedna sa drugom duž svojih površina, ivica ili karakterističnih tačaka).
- karakteristike sa indirektnim uticajem; (oni opisuju inkluziju ili prostorni odnos koji proizlazi iz strukture uređenja).
- karakteristike koje opisuju upravljivost; (izražavaju moguće oblike povezivanja alata za pričvršćivanje, ugradnju i podršku).

81

CAD – modelovanje komponenti

Komponento modelovanje

U toku projektovanja, prvo bitno zamišljeni oblik često mora biti modifikovan nekoliko puta pre nego što se postigne konačni oblik. Ovo je neophodno zato što postoje kriterijumi za funkciju, snagu, kvalitet, proizvodnju, ugradnju, za formu itd., koji se mogu primeniti i proveravati samo odvojeno – ili u najboljem slučaju paralelno. Danas su CAD sistemi već potrelni za podršku interaktivnoj proizvodnji modifikacija dizajna. Prema dosadašnjim iskustvima, ovo očekivanje ispunjavaju softveri sa obeležjima zasnovanim i određenim geometrijskim i dimenzionalnim ograničenjima.

Svi 3D sistemi za modeliranje koji su danas dostupni su alati za parametarsko modeliranje zasnovani na obeležjima "features". Najpoznatiji i najrasprostranjeniji softveri za parametarsko projektovanje zasnovani na kreiranju obeležja su: Mechanical Desktop, Inventor, Solid Works, Solid Edge, Pro Engineer, Catia, NXs i IDEAS. Komponentno modeliranje je osnovni modul svakog sistema.

82

CAD – modelovanje komponenti

Komponento modelovanje

Svi 3D sistemi za modelovanje koji su danas dostupni su alati za parametarsko modelovanje zasnovani na obeležjima.

Komponentno modelovanje je osnovni modul svakog sistema.

Glavne radne faze modelovanja komponenti:

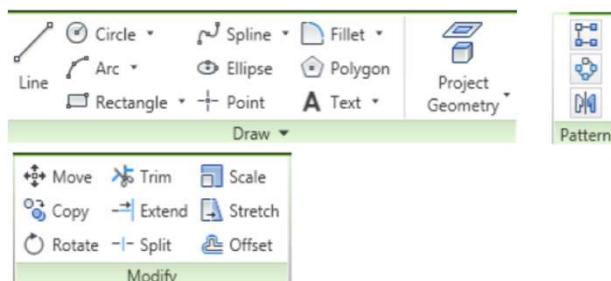
- **izrada skice**, definišući joj geometrijska i dimenzionalna ograničenja;
- **kreiranje baze i nadogradnje** karakteristika dodavanjem ili uklanjanjem materijala;
- **modifikovanje komponenti** po potrebi; pridruženi materijal i sve druge atributne informacije.

83

CAD – modelovanje komponenti

Komponento modelovanje - izrada skice

Skiciranje je u dvodimenzionalnom prostoru. Komande za crtanje i uređivanje poznate su iz 2D modelovanja i dostupne su za kreiranje skice.



Elementi crteža, skice su povezani geometrijskim ograničenjima. Uobičajena geometrijska ograničenja uključuju:

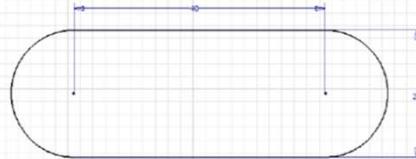


84

CAD – modelovanje komponenti

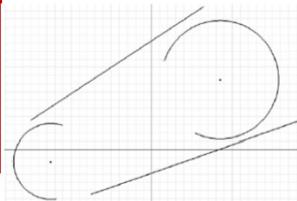
Komponento modelovanje - izrada skice

Primer za primenu geometrijskih i dimenzionalnih ograničenja na skici, **korak (1/4)**. Zadatak: dovršiti nacrt prikazan na slici.

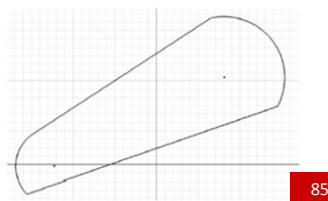


korak (2/4)

Koristiti komande za crtanje pri crtanju skice koja je barem topološki slična formi koju treba kreirati.



Kombinovanje krajnje tačke krivih, koristeći **koincident** ograničenje.



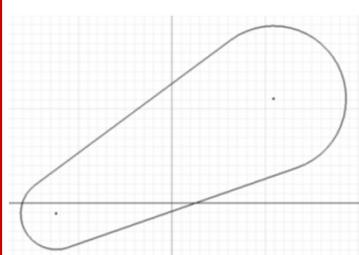
85

CAD – modelovanje komponenti

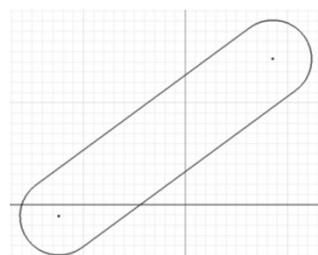
Komponento modelovanje - izrada skice

korak (3/4)

Ograničenje tangente se koristi tako da se prave linije i krive dodiruju.



Ograničenje pomeranja možemo specificirati tako da dve prave treba da budu paralelne.



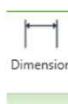
86

CAD – modelovanje komponenti

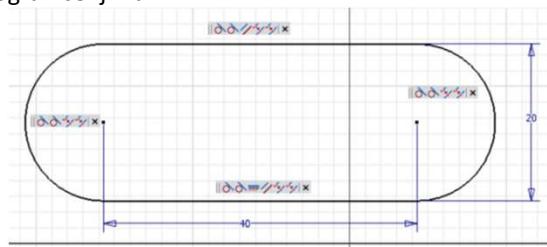
Komponento modelovanje - izrada skice

korak (4/4)

Slika može biti horizontalna pomoću horizontalnog ograničenja.



Skica se može definisati dimenzionim ograničenjima.



87

CAD – modelovanje komponenti

Komponento modelovanje – kreiranje obeležja

Obeležja se mogu klasifikovati u tri osnovne grupe:

- Obeležja zasnovane na skici;
- Lokacijska obeležja;
- Radna obeležja.

Obeležja bazirana (način kreiranja) na skici mogu se generisati na osnovu prikaza prethodno kreiranih skica. Obeležje koje je prvo kreirano – takozvano osnovno obeležje – može biti zasnovana samo na skici.



88

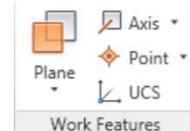
CAD – modelovanje komponenti

Komponento modelovanje – kreiranje obeležja

Elementi formi koji se često ponavljaju u dizajnu – rupa, radius, obaranje ivica, itd. – mogu se kreirati bez skice: oni se nazivaju **lokacionim** obeležjima.



Modeliranje je poboljšano **radnim** obeležjima.



Komande Unija, razlika i presek služe za izvršavanje združenih “skupnih” operacija između obeležja



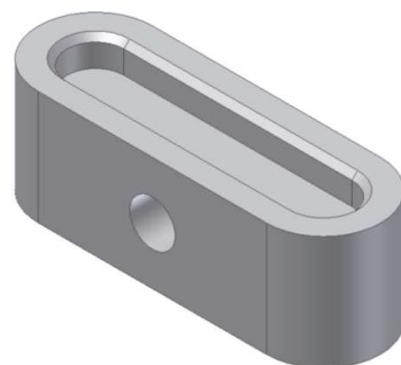
89

CAD – modelovanje komponenti

Komponento modelovanje – kreiranje obeležja

Zadatak: izraditi komponentu ispod koristeći skicu napravljenu ranije.

Korak: 1/4



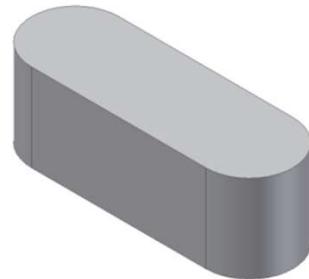
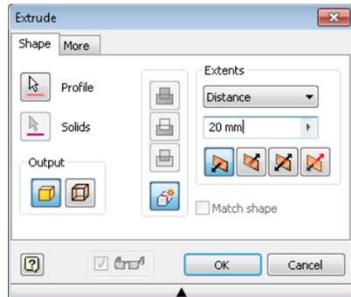
90

CAD – modelovanje komponenti

Komponento modelovanje – kreiranje obeležja

Kreirati osnovno obeležje. Ekstrudirati profil 20 mm nagore koristeći komandu **Extrude**.

Korak 2/4



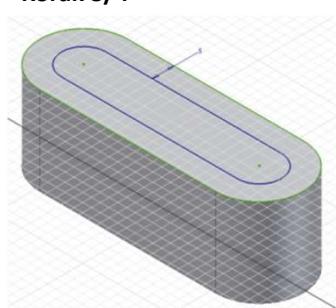
91

CAD – modelovanje komponenti

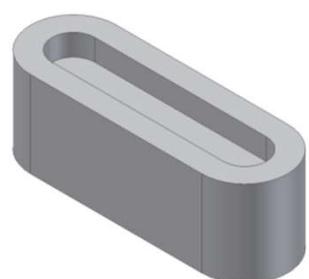
Komponento modelovanje – kreiranje obeležja

Napravite skicu udubljenja.

Korak 3/4



Ekstrudirati profil u režimu oduzimanja, razlika, materijala.



92

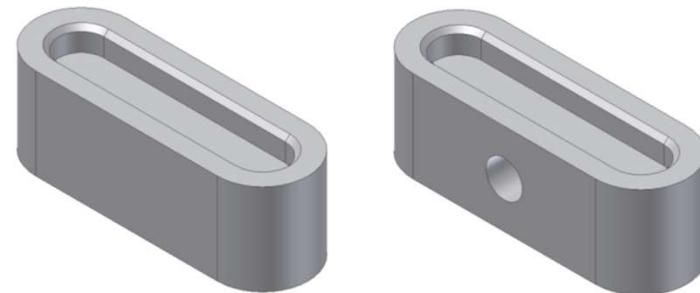
CAD – modelovanje komponenti

Komponento modelovanje – kreiranje obeležja

Korak 4/4

Kreirati oborenu ivicu od
1x45° kao lokaciono obeležje.

Kreirati rupu φ8 kao lokacioni
element.



93

CAD – modelovanje komponenti

Komponento modelovanje – kreiranje obeležja



Kreiranje obeležja
komandom za obrtanje
“Revolve”

Kreiranje obeležja
komandom za vođenje
“Sweep”

94

CAD – modelovanje komponenti

Komponento modelovanje – **kreiranje obeležja**



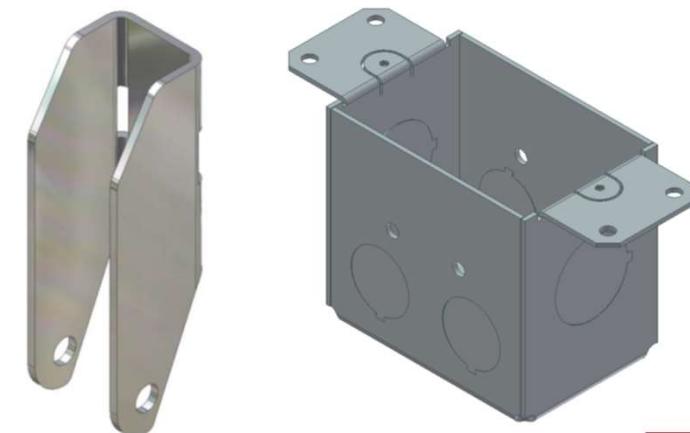
Kreiranje obeležja
komandom "Loft"



95

CAD – modelovanje komponenti

Komponento modelovanje – **kreiranje obeležja**



96



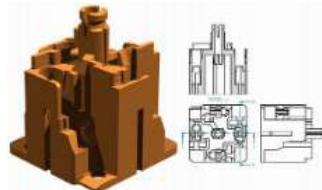
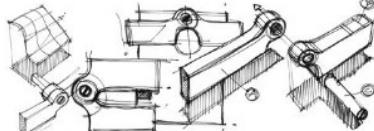
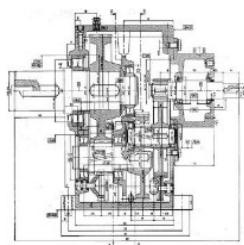
Sadržaj

1. Uvod u projektovanje 2D crteža (tehničke dokumentacije)
2. CAD podrška generisanju 2D crteža
3. Inženjerski crtež

2D crtež dela - uvod

Predstavljanje dela

- govorno
- tekstualno
- slobodoručna skica
- inženjerski crtež
- CAD model



Postoji nekoliko mogućnosti za opisivanje geometrije mašinskih delova. Pored govora, tekstualnog opisa i skice slobodnom rukom, tipičan način je inženjerski crtež. Osnove inženjerskog crteža se konstantno primenjuju u poslednjih sto godina, ali CAD sistemi su dodali mnogo mogućnosti za njihovo generisanje i proširenje njihovog sadržaja.

3

2D crtež dela - uvod

U CAD sistemu inženjer kreira 3D virtualni model dela, a može da kreira i sklop koristeći više delova.

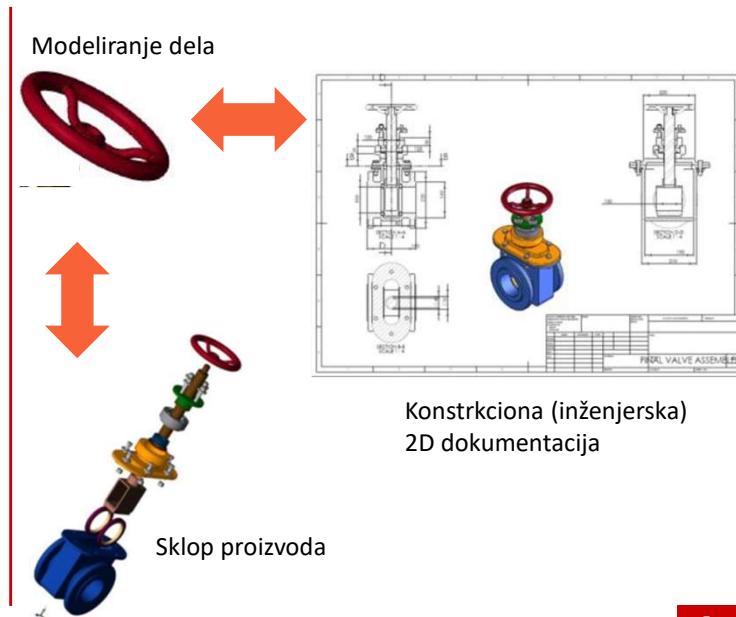
Inženjerski crtež dela će se generisati na osnovu ovog modela, tako da je prostor 3D dizajna virtualni prostor, a ne crteža. Da bi se generisao crtež, uvodimo neke definicije u virtualni prostor, kao što su pravci pogleda, preseke i sadržaj tabele sa parametrima. Zbog asocijativnosti 2D crtež će pokazati stvarno stanje modela.

Kreiranje (2D dokumentacija) crteža dela

- Na osnovu 3D CAD modela
- Pripremama u prostoru modela
 - definisanje pravaca prikaza
 - definisane ravni preseka
 - podešavanje tabele parametara

4

2D crtež dela - uvod



5

2D crtež dela - uvod

Mogućnosti podrške CAD sistema u oblasti izrade inženjerskog crteža:

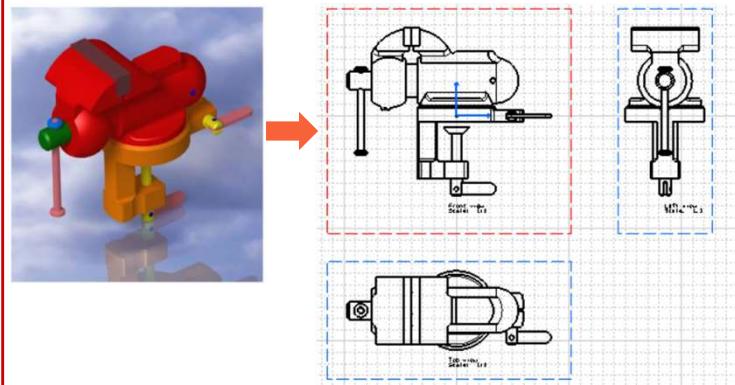
- najkorisniji je automatsko generisanje pogleda na osnovu CAD modela. Dizajner se mora fokusirati samo na 3D model, pravi i potpuni prikaz crteža je zadatak CAD sistema.
- Nema linija koje nedostaju, nema loše projekcije.
- Možemo da generišemo ne samo konvencionalni prikaz, već i aksonometrijski prikaz, što je veoma korisno za tumačenje crteža.

6

CAD podrška generisanju 2D crtež dela

CAD podrška

- Automatsko generisanje pogleda iz CAD modela
- Aksonometrijski pogledi

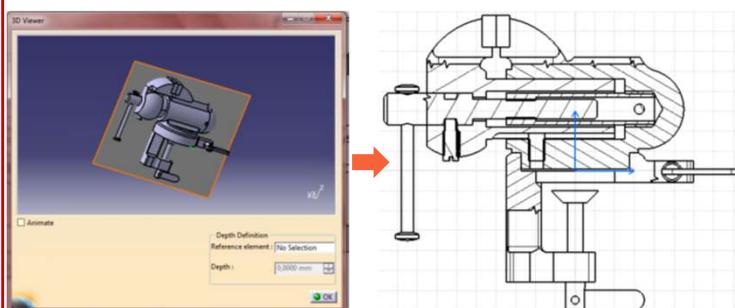


7

CAD podrška generisanju 2D crtež dela

CAD podrška

- Automatsko generisanje preseka
- Automatsko šrafiranje

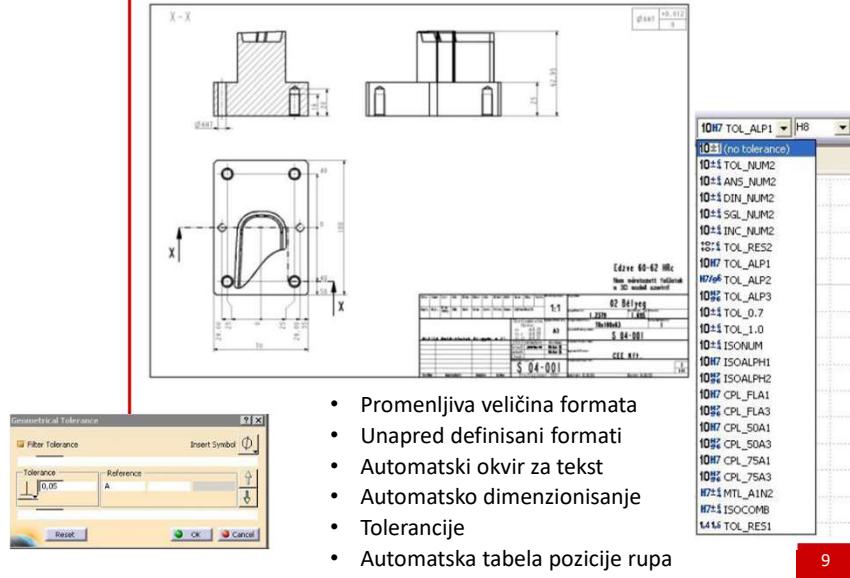


Možemo da generišemo sekcije, a šrafiranje će se generisati automatski. Naravno, potrebno je određeno podešavanje da bi se podesio estetski ugao šrafure i gustina ili delovi koji nisu vidljivi ili ne isečeni.

8

CAD podrška generisanju 2D crtež dela

CAD podrška



9

CAD podrška generisanju 2D crtež dela

Format crteža možemo promeniti tokom crtanja, pa ako je prvi izbor premali ili prevelik, možemo ga povećati ili smanjiti. Položaj prikaza je takođe promenljiv i projektovani pogledi će se pomerati sa glavnim pogledom. Možemo da definišemo posebne formate crteža sa okvirom i sastavnicom, kao i njenim rasporedom, a sastavnica će se popuniti na osnovu tabele parametara 3D modela. Dakle, osnovni podaci će biti definisani samo na jednom mestu. Za dimenzionisanje je potrebno dosta vremena u procesu crtanja, ali CAD sistemi obezbeđuju automatsko dimenzionisanje. Sistem će prikazati dimenzije u izabranim prikazima. Ali sistem može da iscrta samo one dimenzije koje su definisane tokom procesa modeliranja u izabranoj ravni prikaza. Efikasna primena ove funkcije zahteva dosta vežbe i predviđanja tokom modeliranja.

10

CAD podrška generisanju 2D crtež dela

Definisanje tolerancija se takođe može podesiti automatski. CAD sistemi mogu da menjaju formate tolerancija, možemo ih definisati ISO oznakama, ili granicama, kao i gornjim i donjim vrednostima odstupanja tolerancijskog polja itd.

Na osnovu CAD modela možemo kreirati tabelu položaja rupa za proizvodnju. Dakle, projekcije ne bi trebalo da prikazuju položaj rupa sa prečnicima i dužinama, za šta je potrebno vreme, automatski će se izvršiti pošto je crteže asocijativan na model.

Crtež sklopa se može generisati iz modela sklopa kao u slučaju modela dela i crteža. Proces i mogućnosti su isti.

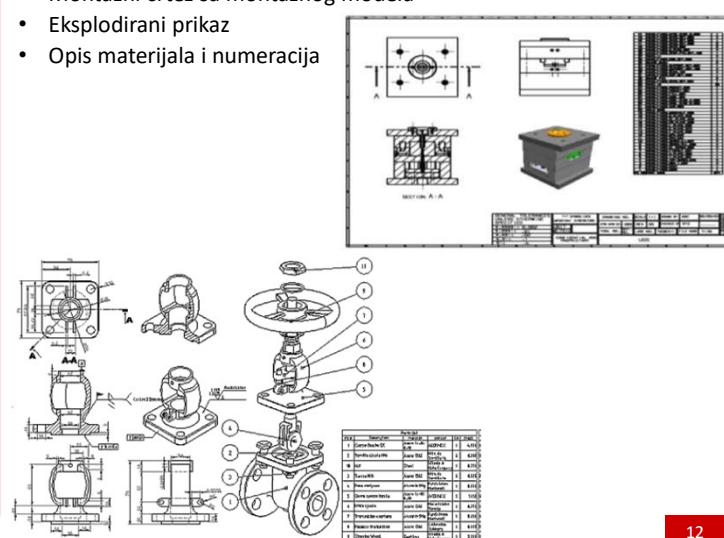
Eksplodirani prikaz se može generisati iz proizvoljnog prikaza, što olakšava razumevanje dizajna. Opis materijala sadrži spisak elemenata i bitne podatke o njima. Može generisan automatski iz modela sklopa na osnovu lista podataka modela.

11

CAD podrška generisanju 2D crtež dela

CAD podrška

- Montažni crtež sa montažnog modela
- Eksplodirani prikaz
- Opis materijala i numeracija



12

CAD podrška generisanju 2D crtež dela

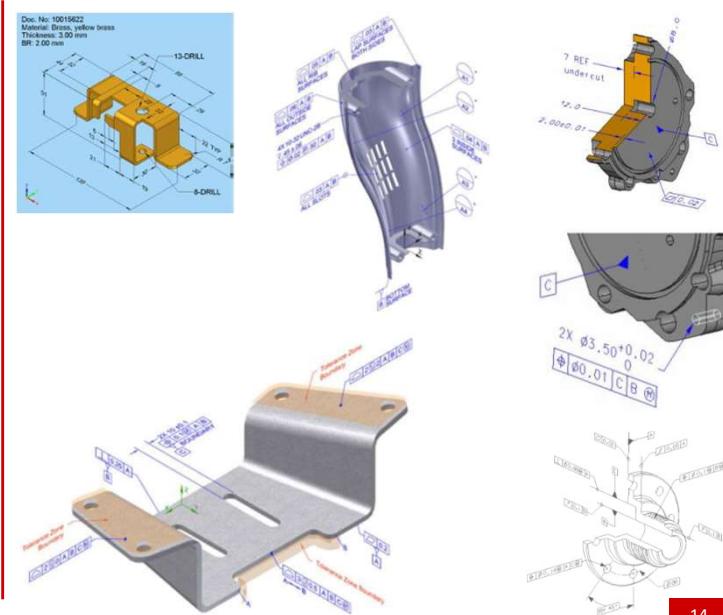
3D crtež

- ASME I14.41-2003
- Nema papirnog dokumenta
- Specijalni simboli
- Interaktivni dokument

CAD sistemi su uspostavili mogućnost kreiranja novog oblika inženjerskog crteža. 3D crtež obezbeđuje dokumentaciju bez papira, tako da postoji samo elektronski format. Ideja je potekla od Tojote, a detalji su dokumentovani u standardu ASME I14.41-2003. Najznačajniji CAD sistemi podržavaju primenu ovog standarda. 3D crtež je elektronski interaktivni dokument, korisnik može da rotira, zumira, postavlja različite poglede i preseke.

13

CAD podrška generisanju 2D crtež dela

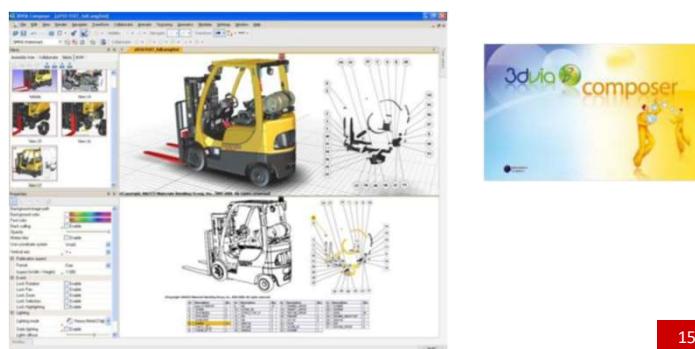


14

CAD podrška generisanju 2D crtež dela

Interaktivni dokument

Interaktivna dokumentacija ima sve veću ulogu u oblasti inženjerske saradnje (kolaborativnog inženjerstva). Ovi alati, poput "3D via Composer", obezbeđuju mnogo mogućnosti za definisanje različitih pogleda, eksplodiranih prikaza, sakrivanja segmenata, kreiranja beleški itd. Generisani fajl ne zahteva CAD sistem za pregled, već samo view-er, a veličina datoteke je veoma mala. Korisnik može da meri dimenzije u modelu, ali ne može da menja ili kopira geometriju.

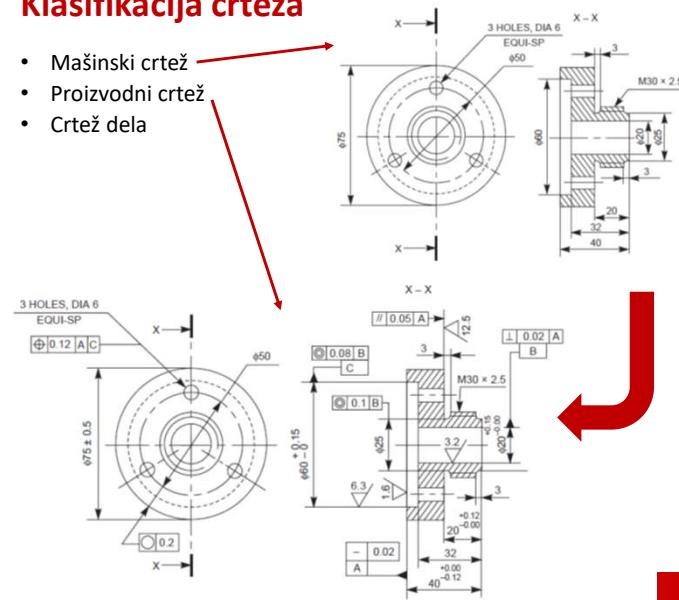


15

Inženjerski crteži

Klasifikacija crteža

- Mašinski crtež
- Proizvodni crtež
- Crtež dela



16

Inženjerski crteži

Crteži se mogu klasifikovati kao mašinski crtež, radionički crtež, crtež dela, montažni crtež itd. Mašinsko crtanje se odnosi na mašinske delove ili komponente proizvoda. **Mašinski crtež** predstavljen je kroz više ortografskih prikaza, tako da se veličina i oblik komponente u potpunosti mogu razumeti. Crteži delova i montažni crteži pripadaju ovoj klasifikaciji.

Radionički (proizvodni, radni) crtež, treba da obezbedi sve dimenzijske, granice i posebne procese završne obrade kao što su termička obrada, brušenje, honovanje, završna obrada, itd., kako bi se radnik u proizvodnji vodio do izrade komponente. Treba navesti i materijal koji se koristi za proizvod, broj delova potrebnih za sklopljenu jedinicu itd.

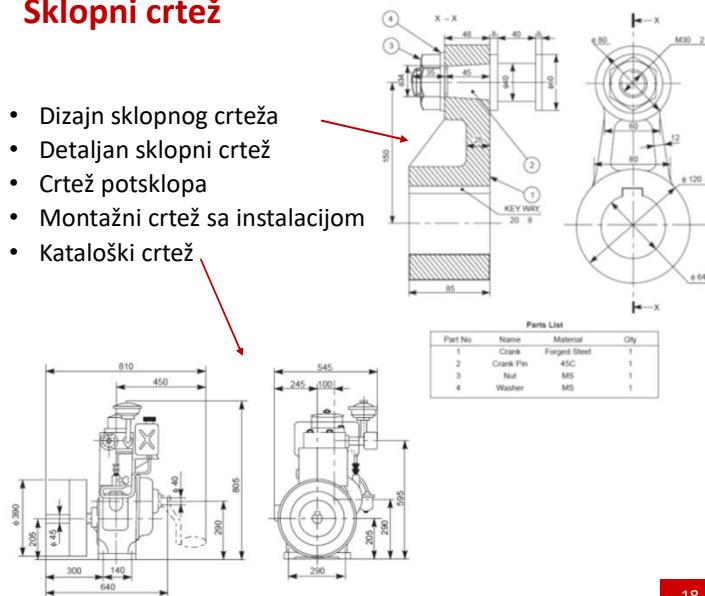
Crtež dela ili komponente je detaljan crtež komponente kako bi se olakšala njena proizvodnja. Svi principi ortografskih projekcija i tehnika grafičkog predstavljanja moraju se poštovati da bi se detalji preneli na deo crteža. Crtež dela sa detaljima vezanim za proizvodnju se naziva radioničkim ili proizvodnim crtežom.

17

Inženjerski crteži

Sklopni crtež

- Dizajn sklopog crteža
- Detaljan sklopni crtež
- Crtež potsklopa
- Montažni crtež sa instalacijom
- Kataloški crtež



18

Inženjerski crteži

Sklopni crtež: Prikazuje delove mašine na njihovim radnim mestima. Postoji nekoliko vrsta takvih crteža.

Dizajn sklopog crteža: Kada se mašina dizajnira, prvo se crta crtež sklopa ili raspored dizajna kako bi se jasno vizualizovale performanse, oblik i pozicije različitih delova koji čine mašinu.

Detaljni sklopni crtež: Obično se pravi za jednostavne mašine, sastoji se od relativno manjeg broja jednostavnih delova. Sve dimenzije i informacije potrebne za konstrukciju takvih delova i montažu delova dati su direktno na montažnom crtežu. Odvojeni prikazi određenih delova sa uvećanjima, koji pokazuju spajanje delova zajedno, mogu se takođe nacrtati kao dodatak običnom montažnom crtežu.

Crtež potsklopa: Crtež potsklopa je montažni crtež grupe povezanih delova, koji čine deo u složenijoj mašini.

19

Inženjerski crteži

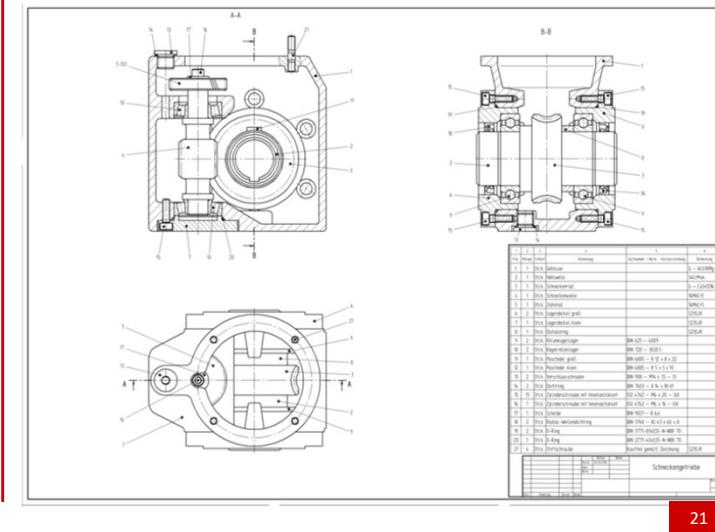
Montažni crtež: Na ovom crtežu su naznačene lokacije i dimenzije nekoliko važnih delova i ukupne dimenzije sklopljene jedinice. Ovaj crtež pruža korisne informacije za sastavljanje mašine, jer ovaj crtež pokazuje sve delove mašine na njihovom ispravnom radnom položaju.

Kataloški crtež: Za kataloge preduzeća izrađuju se posebni montažni crteži. Ovi crteži prikazuju samo relevantne detalje i dimenzije koje bi interesovale potencijalnog kupca.

20

Inženjerski crteži

Na **sklopnom crtežu** je prikazano sklapanje delova. Vizualizira izgled mašine, dimenzije spojnih elemenata. Delovi su označeni brojevima, a naziv i materijal prikazuje njihove osnovne podatke.

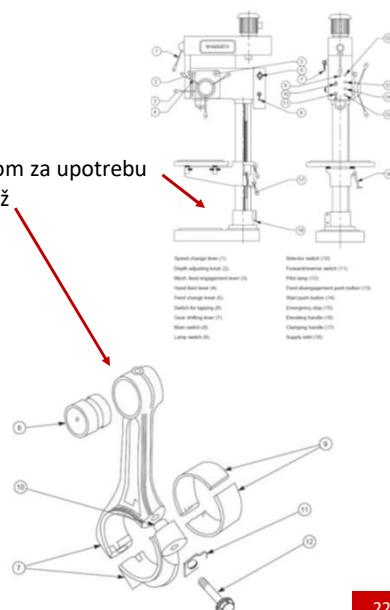
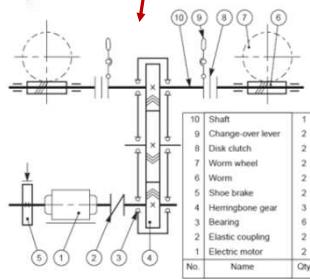


21

Inženjerski crteži

Montažni crtež

- Montažni crtež sa uputstvom za upotrebu
 - Eksplodirani montažni crtež
 - Šematski montažni crtež



22

Inženjerski crteži

Montažni crtež sa uputstvom za upotrebu: Ovi crteži u obliku montažnih crteža se koriste kada se mašina, otpremila u sastavljenom stanju, služi kako bi se proverili svi delovi pre ponovnog sastavljanja i ugradnje na drugom mestu. Ovi crteži imaju svaku komponentu numerisanu u sklopu.

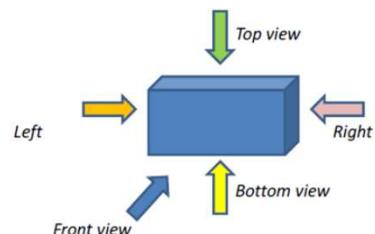
Eksplodirani montažni crtež: U nekim slučajevima, eksplodirani slikovni prikazi se isporučuju kako bi se ispunili zahtevi uputstva za upotrebu. Ovi crteži uglavnom nalaze mesto u delu sa spiskom delova u uputstvu kompanije.

Šematski montažni crtež: Veoma je teško razumeti principe rada komplikovanih mašina, samo iz montažnih crteža. Šematski prikaz proizvoda olakšava razumevanje njegovog principa rada. To je pojednostavljena ilustracija maštine ili sistema, koja zamenjuje sve elemente njihovim odgovarajućim konvencionalnim (šematskim) prikazima.

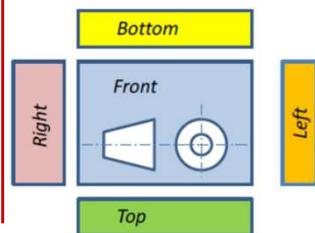
23

Inženjerski crteži

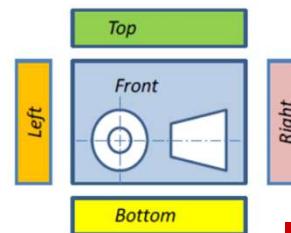
Projekcije



ISO prikaz projekcija (evropski)



ANSI prikaz projekcija (USA, Japan)



24

Inženjerski crteži

Projekcije

Projekcija se može dobiti posmatranjem objekta iz vidne tačke i praćenjem u pravilnom redosledu tačaka preseka između zraka vida i ravni na koju se objekat projektuje. Projekcija se naziva ortografska projekcija kada se zamišlja da se tačka gledišta nalazi u beskonačnosti tako da su vidni zraci međusobno paralelni i sekut ravan projekcije pod pravim uglom u odnosu na nju. Objekat pozicioniran u prostoru može se zamisliti kao okružen sa šest međusobno okomitih ravnih. Dakle, za bilo koji objekat može se dobiti šest različitih pogleda posmatranjem u šest pravaca, normalnih na ove ravni.

25

Inženjerski crteži

Projekcije

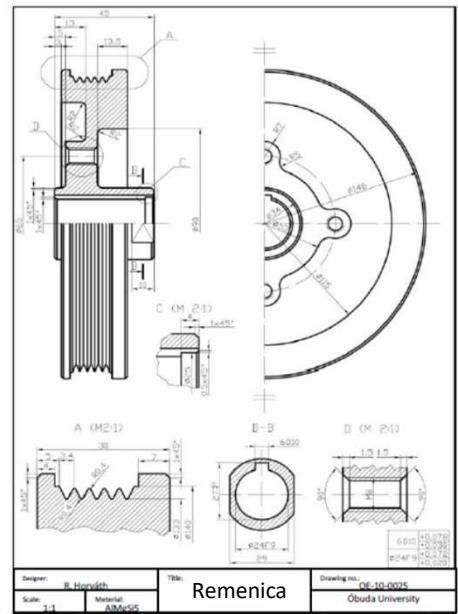
Objekat u inženjerskom crtežu se vizualizuje minimalnim brojem prikaza. Pogled spreda sadrži mnogo informacija. Veličina lista se bira tako da ga najbolje popunjava. Neće biti prazan ili natrpan. Skala crteža treba da bude u skladu sa veličinom lista i vidljivošću.

Neka pravila o pregledima:

- Minimalni broj pregleda
- Jasnoća
- Vidljivost
- Pogled spreda sadrži mnogo informacija.
- Aksonometrijski pogled podržava tumačenje.
- Iskoristite ceo prostor.
- Ne sme biti pretrpan.

26

Inženjerski crteži

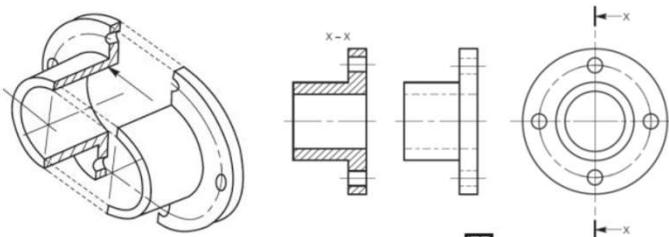


27

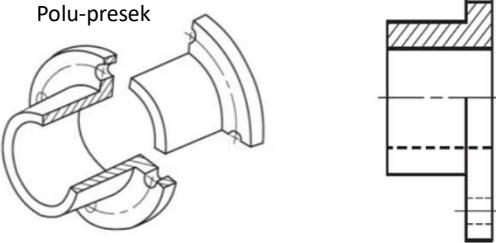
Inženjerski crteži

Preseci, polu-preseci

Presek



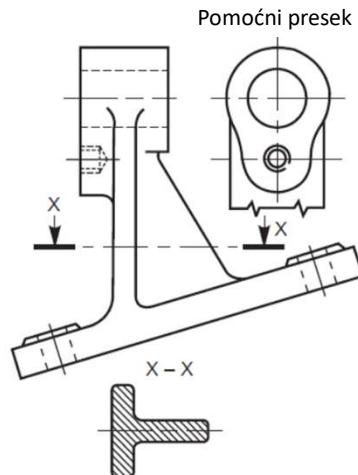
Polu-presek



28

Inženjerski crteži

Pomoćni preseci



29

Inženjerski crteži

Detalji dela ili sklopa mogu biti predstavljeni presecima, polu-presecima ili pomoćnim presecima.

Presek koji se dobija pretpostavkom podrazumeva da je objekat potpuno presečen sa ravni naziva se celi presek ili presek. Pogled sa presecima pruža sve unutrašnje detalje, bolje od pogled bez preseka sa isprekidanim linijama za unutrašnje detalje. Ravan sečenja je predstavljena njenim tragom u pogledu sa prednje strane, a smer gledanja za dobijanje preseka prikazan je strelicama.

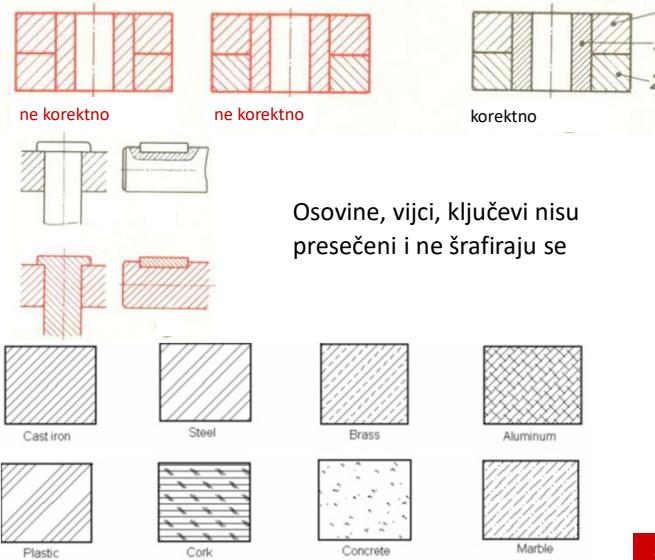
Za simetrične objekte preferira se **polu-presek**. Za polovinu preseka, presečna ravan uklanja samo jednu četvrtinu objekta. Za simetričan objekat, polovina preseka se koristi za označavanje detalja unutrašnjosti i eksterijera u istom pogledu. A središnja linija se koristi za razdvajanje polovine polu sekcije.

Pomoći preseci se mogu koristiti za dopunu glavnih pogleda koji se koriste u ortografskim projekcijama. Pogled na preseku projektovan na pomoćnu ravan, nagnut u odnosu na glavne ravne projekcije, pokazuje oblike poprečnog preseka dela kao što su krakovi, rebra i tako dalje.

30

Inženjerski crteži

Šrafura



31

Inženjerski crteži

Šrafiranje se obično koristi za prikaz oblasti preseka. Najjednostavniji oblik šrafiranja mogu biti neprekidne tanke linije pod pogodnim uglom, poželjno 45° , u odnosu na glavne obrise ili linije simetrije preseka. Odvojene oblasti preseka iste komponente moraju biti šrafirane na identičan način.

Šrafiranje susednih komponenti vrši se u različitim pravcima ili razmacima. U slučaju velikih površina, šrafiranje može biti ograničeno na zonu. Kada su preseci istog dela u paralelnim ravnima prikazani jedan pored drugog, šrafura mora biti identična, ali može biti pomerena duž linije razdvajanja između preseka. Šrafiranje treba prekinuti kada nije moguće postaviti natpis van šrafirane površine.

Neka pravila o prikazima preseka:

- Jedan smer šrafiranja znači isti deo
- Osovine, vijci, ključevi koji nisu presečeni i ne šrafiraju se
- Granica preseka je odvojena linija

Obrazac šrafure karakteriše vrstu materijala:

- Metal: 45° kontinuirana linija
- Plastika, guma: 3 linije pod 45°

32

Inženjerski crteži

Tekstualne informacije (sastavnica)

Tekstualne informacije

- Naslovni blok (naslov, ID broj, ime dizajnera, materijal, razmera, težina, ukupna veličina, veličina lista itd.)
- Ime CAD datoteke
- Oboren ugao i ivica
- Opšte tolerancije
- Hrapavost
- Debljina zida
- Urezivanje teksta u površinu
- Zahtevi za testiranje
- Podaci o modifikaciji

33

Inženjerski crteži

Naslovni blok treba da leži u prostoru za crtanje tako da se njegova lokacija, koja sadrži identifikaciju crteža, nalazi u donjem desnom uglu. Ovo se mora poštovati, kako za orientaciju papira postavljenog horizontalno ili vertikalno. Smer gledanja naslovnog bloka treba uopšteno odgovarati onom na crtežu. Naslovni blok može imati maksimalnu dužinu od 170 mm.

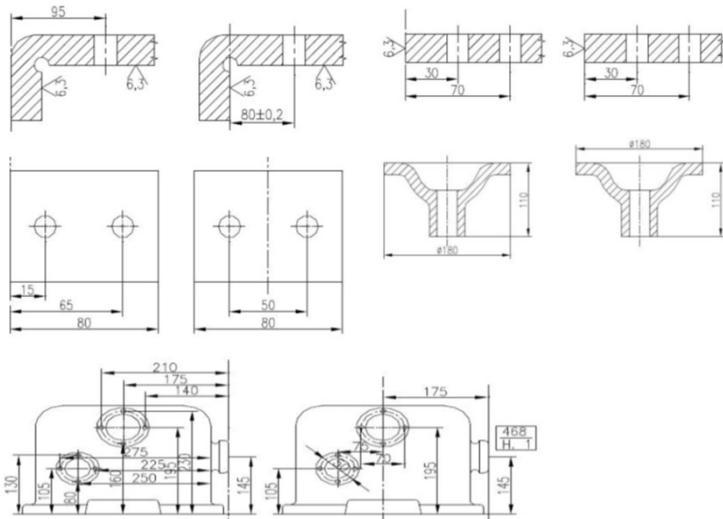
Tipičan naslovni blok koji pruža sledeće informacije:

- Naziv crteža
- Broj lista/listova
- Razmara
- Simbol, koji označava način projekcije
- Naziv firme
- Inicijali osobe koja je nacrtala, proverila i odobrila.

34

Inženjerski crteži

Pravila dimenzionisanja



35

Inženjerski crteži

Pravila dimenzionisanja

Kada je sistem dimenzija definisan, dizajner mora da prati neka pravila i direktive. Neke važne smernice dimenzionisanja su sledeće:

- Jasnoća
- Čitljivost
- Estetika
- Iste karakteristike u istom prikazu
- Sve samo jednom
- Dizajn, proizvodnja i merenje

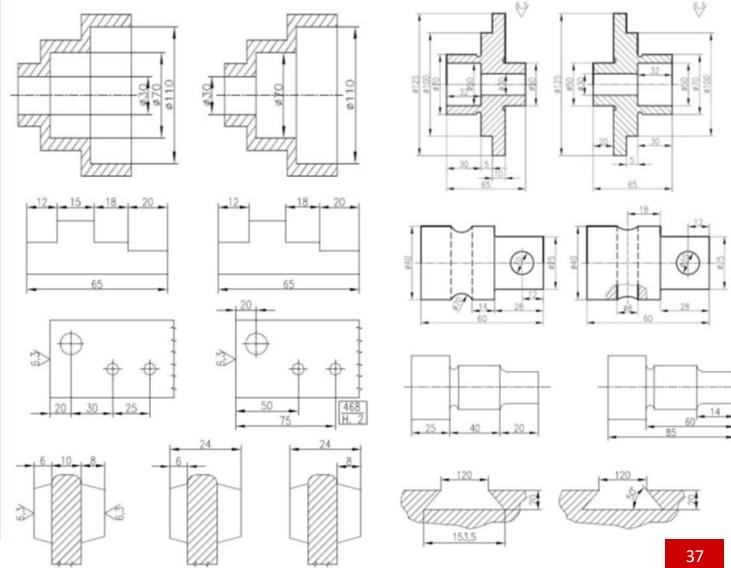
Na slikama su prikazani primeri:

- Korišćenja proizvoljne površine kao podlage.
- Korišćenje simetričnog dimenzionisanja, ako je deo simetričan
- Izbegavanja lanca dimenzionisanja koji uzrokuje toleranciju
- Korišćenje lokalne osnovne elementa
- Postavljanje dimenzionih linija blizu površine
- Korišćenje što kraće liniju projekcije
- Izbegavanje suvišnog dimenzionisanja (predimenzionisanja)
- Izbegavanje tolerancija zbog dimenzionisanja lanca

36

Inženjerski crteži

Pravila dimenzionisanja



37

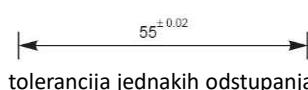
Inženjerski crteži

Tolerancije

Tolerancija = priznata greška

• Veličina

- Opšta tolerancija
- Sa ograničenjima
- Odgovara IT polju



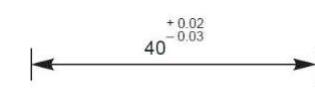
tolerancija jednakih odstupanja

• Oblika

• Položaja

Jednostrana tolerancija sa nultom odstupanjem u jednom pravcu

Maksimalna i minimalna veličina
je direktno naznačena



tolerancija nejednakih odstupanja

38

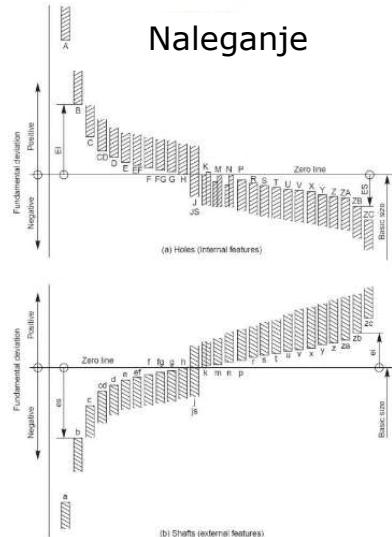
Inženjerski crteži

Naleganja

ISO definicija naleganja koja definiše odnose osovine i rupe. Oznaka ISO, kao Ø120H8, pokazuje

- Vrsta predmeta: veliko slovo (H) označava rupu, malo slovo (h) označava osovinu.
 - Položaj zone tolerancije (vidi sliku), i
 - Širina zone tolerancije.

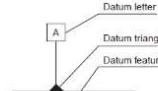
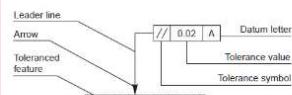
Preporučeni parovi
tolerancija u slučaju različitih
primena navedeni su u
inženjerskim priručnicima



39

Inženjerski crteži

Tolerancije oblika i položaja



	<i>Characteristics to be tolerated</i>	<i>Symbols</i>
Form of single features	Straightness	—
	Flatness	□
	Circularity (roundness)	○
	Cylindricity	◎
	Profile of any line	⌒
	Profile of any surface	⌓
Orientation of related features	Parallelism	//
	Perpendicularity (squareness)	⊥
	Angularity	∠
Position of related features	Position	⊕
	Concentricity and coaxiality	○○
	Symmetry	≡
	Run-out	↗

Odstupanja oblika su odstupanja stvarnog stanja osobina oblika (površina, linija) od geometrijski idealnog oblika. Geometrijska tolerancija se definije kao najveće dozvoljeno ukupno ostanjanje oblika ili položaja neke karakteristike dela.

4

Inženjerski crteži

Zadatak geometrijskih tolerancija su:

- da navede potrebnu tačnost u kontroli oblika obeležja,
- da obezbedi pravilno funkcionalno pozicioniranje obeležja,
- da obezbedi zamenljivost komponenti, i
- da olakša montažu komponenata koje se spajaju.

Tolerancija oblika može biti:

- Pravost
- Ravnost
- Zaobljenost
- Cilindričnost
- Profil bilo koje površine

Tolerancija položaja može biti

- Paralelnost
- Normalnost
- Ugaonost
- Položaj
- Koncentričnost i koaksijalnost
- Simetrija

U slučaju tolerancije položaja, mora se definisati referentna površina.

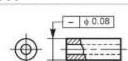
Vrednost tolerancije se dodaje u milimetrima.

41

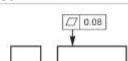
Inženjerski crteži

Tolerancije oblika i položaja

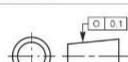
1. pravost



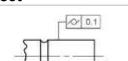
2. ravnost



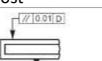
3. kružnost



4. kružnost



5. paralelnost



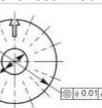
6. normalnost



7. ugaonost



8. Koncentričnost i koaksijalnost



9. simetričnost



10. Radijalno bacanje



11. Aksijalno bacanje



42

Inženjerski crteži

Kvalitet obrađene površine



U praksi nije moguće postići geometrijski idealnu površinu komponente, pa stoga i radionički crteži komponenti moraju sadržati i podatke o dozvoljenim površinskim uslovima.

43

Inženjerski crteži

Kvalitet obrađene površine

Komponente, delovi, koje su predmet mašinske obrade, kada se pregledaju pod uvećanjem, imajuće neke sitne nepravilnosti. Stvarno stanje površine zavisće od izabranog procesa završne obrade. Na svojstva i performanse mašinskih komponenti utiče stepen hrapavosti različitih površina. Što je veća glatkoća površine, to je veća čvrstoća na zamor i otpornost na koroziju. Trenje između delova koji se spajaju je takođe smanjeno zbog bolje završne obrade površine.

Navedena tekstura površine treba se uraditi:

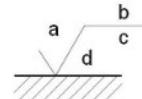
- može se dobiti bilo kojom postupkom proizvodnje.
- mora se dobiti uklanjanjem materijala mašinskom obradom.
- mora se dobiti bez uklanjanja materijala

44

Inženjerski crteži

Vrednost hrapavosti površine uopšteno se označava sa Ra, ali mora se napisati pre brojčane vrednosti koja je u mikronima. Pravac polaganja, koji karakteriše optičku teksturu površine, može se označiti, kao što je prikazano u tabeli. Veoma je važno da se sinhronizuje sa tehnologijom proizvodnje.

Kvalitet obrađene površine



- a – Ra u μm
b – tehnologija proizvodnje
c – dužina uzorkovanja
d – pravci polaganja (vidi tabelu)

simbol	interpretacija
=	Paralelno ravni projekcije pogleda u kojoj se simbol koristi
⊥	Normalno ravni projekcije pogleda u kojoj se simbol koristi
X	Ukršteno u dva pravca projekcije pogleda u kojoj se simbol koristi
M	U više pravaca
C	Aproksimativno kružno u pravcu projekcije pogleda u kojoj se simbol koristi
R	Aproksimativno radijalno u pravcu projekcije pogleda u kojoj se simbol koristi

45

Inženjerski crteži

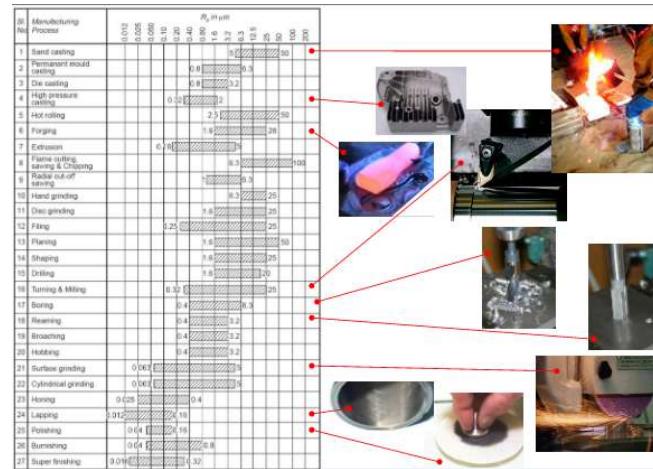
Drugi parametri



Primenom konvencionalnih parametara hrapavosti površine možemo okarakterisati kvalitet površine pomoću nekoliko drugih parametara hrapavosti i neravnina, a na osnovu skenirane površine možemo definisati još nekoliko parametara 3D hrapavosti površine. Ovi parametri su dobri za upoređivanje ili klasifikaciju površina, ali generalno ne možemo da ih koristimo u fazi projektovanja, jer veza između parametara hrapavosti površine i parametara proizvodnog procesa nije poznata do detalja.

46

Inženjerski crteži



Rezultat različitih proizvodnih tehnologija je različit kvalitet površine, tako da dizajner treba da uzme u obzir proizvodnu tačku gledišta prilikom identifikacije zahtevanog kvaliteta površine. Kvalitet površine se može promeniti podešavanjem parametara tehnologije, ali su mogućnosti promene veoma male

47

Inženjerski crteži

48

Inženjerski crteži



49

Inženjerski crteži



50

Inženjerski crteži

51