

# RPPP Teorija Test I

## Prezentacija 1

### Uvod u e-Dizajn

Konvencionalni razvoj proizvoda se bazira na filozofiji:



Sekvencijalno izvršavanje procesa često dovodi do:

- Produžavanja vremena za realizaciju i
- Povišenih troškova razvoja

Predlaže se uvođenje e-Dizajn paradigme. Koriste se IT tehnologije za razvoj proizvoda, uključujući virtuelne prototipove (VP). E-Dizajn omogućava:

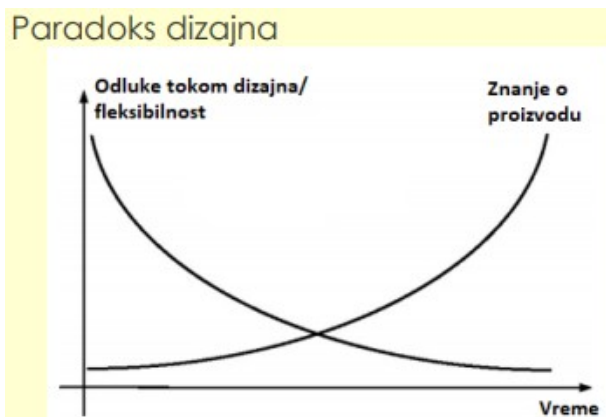
- Podršku multidisciplinarnim timovima
- Analizu performansi i pouzdanosti proizvoda
- Proračun troškova proizvodnje
- Donošenje odluka prilikom pravljenja kompromisa

e-Dizajn paradigma ima potencijal da:

- Skrati ciklus razvoja proizvoda
- Poveća kvalitet proizvoda
- Smanji troškove proizvodnje

3 koncepta za razvoj proizvoda:

1. Uvođenje performansi proizvoda, kvaliteta i troškova proizvodnje rano u razvojnem ciklusu
2. Podršku za donošenje odluka na osnovu kvantitativnih podataka o performansama
3. Korišćenje fizičkih prototipova za podršku pri verifikaciji dizajna i funkcionalnih prototipova



Paradoks dizajna se ogleda u tome da kada počinjemo sa razvojem nekog proizvoda, naše znanje o njemu je malo ali zato mogućnost promene bilo kojih komponenti je visoka i jeftina, dok kako sve više upozajemo proizvod i razvijamo ga, ta mogućnost promene opada i promene u kasnijim delovima će nas više koštati.

## Konvencionalni razvoj proizvoda

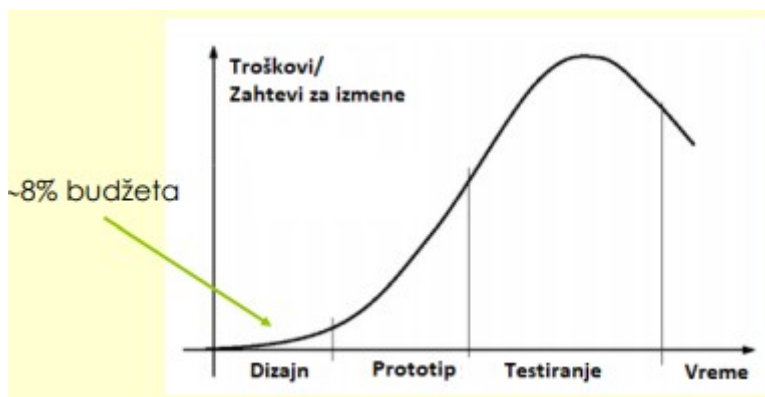
Performanse i pouzdanost proizvoda se mogu odrediti na osnovu fizičkih testova, što iziskuje:

- vreme
- novac

Proizvodnja prototipova obično uključuje planiranje proizvodnih procesa i izradu alata za male serije proizvoda.

## Nedostaci konvencionalnog razvoja proizvoda

- Dizajn i proizvodnja su razdvojeni
- Tokom dizajna se ne razmatra pogodnost za proizvodnju (obično nakon testiranja)
- Nedostaci otkriveni tokom proizvodnje se teško otklanjaju, pa kao posledica toga povećavaju se troškovi proizvoda



## Predloženi prilazi

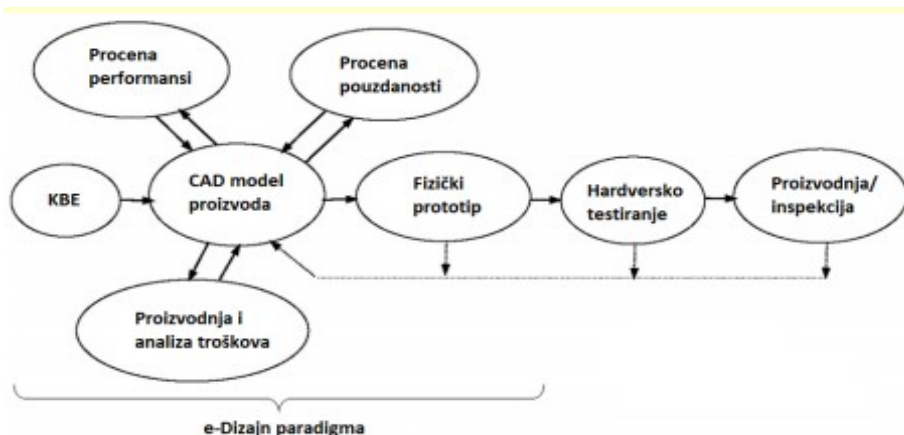
- Izrada virtuelnih prototipova (bazirano na simulacijama sa geometrijskim i fizičkim osobinama proizvoda)
- Konkurentno inženjerstvo (sa naglaskom na životni ciklus proizvoda i DFX)
- Integrisani razvoj proizvoda i procesa
- Six Sigma prilaz

Iako postoje brojni uspešni primeri kompanija, velika većina i dalje ne primenjuje ove prilaze (mala i srednja preduzeća). Koriste se komercijalna rešenja za podršku delova razvoja proizvoda.

## e-Dizajn paradigma

Ne zamenjuje nijedan od prilaza. Realizuje se pomoću konkurentnog inženjerstva kroz izradu virtuelnih i fizičkih prototipova sa sistematičnim i kvantitativnim metodama za donošenje odluka. Koristi DFM i DFMA prilaz. Proizvodna cena se određuje kroz virtuelne procese planiranja i simulacije.

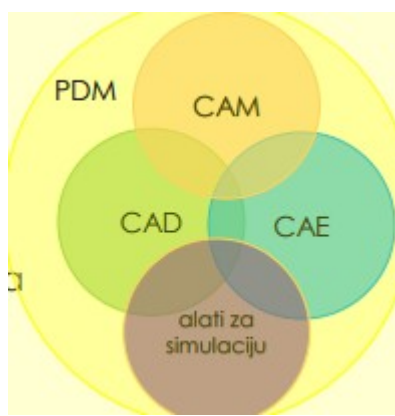
KBE – Knowledge based engineering



## ***e-Dizajn okruženje***

Tehnike za integraciju alata uključuju:

- Modele podataka o proizvodu
- Inženjerske poglede
- Menadžment procesa dizajna



## ***Glavni koncepti za razvoj proizvoda:***

1. Uvođenje performansi proizvoda, kvaliteta i cene proizvodnje u ranu fazu razvoja
2. Podrška za donošenje odluka kroz kvantitativne prilaze prilikom konceptualnog i detaljnog dizajna
3. Korišćenje fizičkih prototipova za testiranje i verifikaciju (rapid prototyping i CNC proizvodnja)

## ***Virtuelni prototipovi***

Predstavljaju “kičmu“ e-Dizajn paradigme. Sastoje se iz parametarskih CAD modela nad kojim se vrše simulacije. Koriste se CAD/CAE/CAM softveri i koriste se za donošenje odluka i pravljenje kompromisa prilikom dizajna.

## ***Parametarski CAD modeli***

Model proizvoda se formira od konceptualnog dizajna i kreira se detaljan model, gde konceptualni model sadrži i podatke koji nisu CAD, pa tokom detaljnog razvoja podaci se ubacuju u CAD model.

## ***Modeli za analizu***

Modeli za Metodu Konačnih Elemenata (MKE) imaju blago geometrijsko odstupanje od CAD modela. Podržani su elementi oblika trougla i tetraedra. CAD modeli su:

- H-verzija mesha
- P-verzija mesha

## ***Analiza kretanja***

Vrste:

- kinematska analiza
- čvrsta tela
- fleksibilna tela
- inverzna dinamička analiza

## ***Analiza performansi***

Koriste se računarske simulacije – virtuelni prototipovi. Dobijaju se realistični odgovori na inženjerska pitanja. Potrebno je manje fizičkih testova i neke analize se ne mogu pouzdano simulirati (npr. sudar).

## ***Strukturna analiza***

Pro/MECHANICA podržava:

- linearnu statiku
- vibracije
- uvijanje
- zamor
- p-verzija mesh modela

ANSYS – MKE metoda – Nedavno razvijeni modeli za strukturnu analizu bez kreiranja mesh-a.

## ***Analiza zamora i fraktura***

Zamor i frakture se javljaju kod mehaničkih komponenti usled velikog broja ponavljanja mehaničkih radnji i/ili toplotnih opterećenja. MSC Fatigue je alat koji podržava analizu zamora za velike i za male cikluse ponavljanja, gde se takođe predviđa životni vek proizvoda.

## ***Procena pouzdanosti***

Pouzdanost se zasniva na verovatnoći da će da dođe do otkaza. Za analizu pouzdanosti jednog događaja, koristi se sledeći izraz:

$$g(x) = \Psi^u - \Psi(x)$$

gde je:

$\Psi$  – mera za performansu

$\Psi^u$  – gornja granica mere za performansu

$X$  – vektor nasumičnih promenljivih

Kada performansa proizvoda ne ispunjava zahtev tj. kada je  $\Psi^u \leq \Psi(X)$ , dolazi do otkaza.

## ***Virtuelna proizvodnja***

Odnosi se na:

- DFM – Design For Manufacturability
- DFMA – Design For Manufacturing and Assembly

Koriste se za virtuelnu proizvodnju i sklapanje putem simulacija.

### Prednosti:

- Izračunava se vreme obrade
- Kreira se animacija gde se vidi putanja kretanja alata
- Generiše se CNC kod

### Nedostaci:

- Nemogućnost simulacije parametara kao što su: potrošnja el. energije, temperatura materijala prilikom obrade, životni vek alata

## ***Studija parametara***

Unose se dizajnerske promenljive kako bi se istražile različite dizajnerske alternative. Studije su jednostavne i lako se koriste, mora postojati mapiranje između CAD i simulacionog modela i za to se koriste tabela sa definisanim vrednostima parametara i odgovarajućim formulama.

## ***Fizički prototipovi se prave:***

- Metodom izrade rapidnih prototipova (RP)
- Numerički kontrolisanim mašinama (CNC)

### Rapid prototyping

Aditivni proces izgradnje modela korišćenjem poprečnih preseka dobijenih od 3D CAD modela. Svaki naredni sloj se dodaje na prethodni dok se ne završi ceo model. Mogu se kreirati delovi sa malim internim šupljinama i kompleksnom geometrijom pa čak u nekim slučajevima je moguće napraviti i pokretni sklop.

Osobine:

- Automatsko generisanje slojeva na osnovu 3D CAD modela
- Nema potrebe za izradom alata ili kalupa
- Nema potrebe za planiranjem procesa proizvodnje
- Relativno kratko vreme izrade fizičkih modela

### CNC proizvodnja

U virtuelnom okruženju je moguće simulirati procese struganja, glodanja i bušenja i prilikom simulacija, generišu se putanje alata, vizualizuju i simuliraju se mašinske operacije i vrši se procena vremena obrade. Generisane putanje alata se mogu konvertovati u CNC kod (M-kodovi i G-kodovi)

## Prezentacija 2

### **Geometrijsko modelovanje**

Razvoj proizvoda se započinje CAD modelom i taj CAD model mora biti parametarski.

CAD softveri koriste geometrijski kernel za modelovanje. Geometrija se formira kao kombinacija objekata koji se kreiraju od 2D skice koja se „izvlači“.

Pre modelovanja u CAD alatu neophodno je steći osnovno znanje gde je fokus na:

- Krivama
- Površinama
- Geometrijskim transformacijama

#### Vrste kriva i površina:

- Hermitova kriva
- Coons patch
- Bézier-ove krive i površine
- B-spline krive i površine
- Neuniformne B-spline krive i površine (NURB)

Geometrijsko modelovanje - predstavlja granu primenjene matematike koja proučava metode i algoritme za matematičko opisivanje oblika koji čine geometriju objekata. Najčešće se primenjuje za CAD/CAM sisteme, zabavu, animacije, multimediju. U CAD/CAM sistemima se pre modela kreiraju krive i površine.

#### Linija

$$P(u) = [P_x(u), P_y(u), P_z(u)]_{1 \times 3} = (1-u)P_0 + uP_1$$
$$P_0 = [P_{0x}, P_{0y}, P_{0z}]_{1 \times 3} \quad P_1 = [P_{1x}, P_{1y}, P_{1z}]_{1 \times 3}$$

Spline krive – 3 tačke – Parametarska jednačina:

$$B^s(u) = [2u^2 - 3u + 1, -4u^2 + 4u, 2u^2 - u] \begin{bmatrix} P_0 \\ P_1 \\ P_2 \end{bmatrix}$$

Spline krive – 2 tačke i vektor – Parametarska jednačina:

$$B^v(u) = [u^2 - 2u + 1, -u^2 + 2u, u^2 - u] \begin{bmatrix} P_0 \\ P_1 \\ P_{1u} \end{bmatrix}$$

Bezierova kriva – Jedna od najčešće korišćenih kriva za geometrijsko modelovanje, definisana je sa kontrolnim tačkama koja se ne moraju nalaziti na krivi:

$$P(u) = [u^2 \ u \ 1] \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 2 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_0 \\ P_1 \\ P_2 \end{bmatrix}$$

Kubne krive definisane sa 4 tačke:

- 4 odvojene tačke (spline kriva)
- 2 tačke i 2 vektora (Hermitova kubna kriva)
- 4 kontrolne tačke (Bezierova kriva)

### Karakteristike parametarskih kriva

- Dodavanjem kontrolnih tačaka, povećava se stepen polinoma (3 tačke formiraju kvadratnu krivu, 4 tačke formiraju kubnu krivu, itd.)
- Povećanjem stepena polinoma javlja se mogućnost oscilovanja krive što je nepoželjno u geometrijskom modelovanju
- Pomeranjem dela krive, menja se oblik cele krive (globalna kontrola)

### B-spline krive

- Na jednostavan način se kreiraju kompleksne krive
- Broj kontrolnih tačaka i stepen polinoma se definišu odvojeno
- Pomeranjem dela krive pomera se samo taj deo (lokalna kontrola)
- Krive su glatke

### NURB krive

Pogodne za reprezentaciju kruga

### Parametarske površine

Površine u prostoru  $R^3$  definisane jednačinama sa 2 parametra (u,w).

## **CAD generisane površine**

### Cilindrične površine

Kreiraju se tako što prava linija klizi po krivi ili kada se kriva izvlači po pravoj liniji. Prava linija je uvek normalna u odnosu na ravan u kojoj je kriva.

### Zavojne površine (ruled surface)

Površine ograničene sa 2 krive za putanju i pravom linijom koja prolazi kroz krajeve kriva pri čemu krive za putanju ne moraju biti koplanarne.

### Loft površine

Kreiraju se korišćenjem više od 2 profila za skicu koji se zatim spajaju.

### Površine dobijene rotacijom

Kreiraju se tako što se profil skice rotira oko ose opisujući površinu.

### Sweep površine

Kreira se tako što se profil krive  $P(u)$  pusti da klizi po putanji krive  $Q(w)$  praveći površinu  $S(u,w)$ , pri čemu su profil i putanja u međusobno normalnim ravnima.

## **Geometrijske transformacije**

### Vrste transformacija:

- Euklidske transformacije
- Afine transformacije

## ***Euklidske transformacije***

Vrste:

- Translacija
- Rotacija
- Preslikavanje u ogledalu

Osobine:

- Ne menjaju dužine i uglove
- Ne menjaju oblik
- Menja se samo položaj i orijentacije

## ***Afine transformacije***

Vrste:

- Kontrakcija
- Rotacija
- Ekspanzija
- Smicanje
- Dilatacija
- Translacija
- Refleksija
- Skaliranje

Osobine:

- Čuvaju kolinearnost
- Čuvaju dužinske odnose
- Čuvaju proporcije linija
- Ne čuvaju nužno uglove i dužine

## ***Homogene koordinate***

Svaka tačka u 2D Dekartovom sistemu ima odgovarajući set homogenih koordinata u 3D prostoru za projekciju. Geometrijske transformacije se lakše izvode sa homogenim koordinatama nego sa Dekartovim koordinatama i koristi se matrica za transformaciju sa homogenim koordinatama.

Matrica za transformaciju sa homogenim koordinatama:

$$T = \begin{bmatrix} A & B & C & M \\ D & E & F & N \\ G & H & I & O \\ J & K & L & S \end{bmatrix}$$

3x3 matrica definiše skaliranje i rotaciju:

$$\begin{bmatrix} A & B & C \\ D & E & F \\ G & H & I \end{bmatrix}$$

1x3 vektor definiše translaciju:

$$\begin{bmatrix} M \\ N \\ O \end{bmatrix}$$

Skalar S definiše globalno skaliranje

1x3 vektor je obično postavljen na [0, 0, 0]

$$\begin{bmatrix} J & K & L \end{bmatrix}$$

### Skaliranje

Matrica za transformaciju gde su A, E i I faktori za skaliranje duž x,y i z koordinata respektivno.

$$\mathbf{T}_s = \begin{bmatrix} A & 0 & 0 & 0 \\ 0 & E & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

### Translacija

Matrica za transformaciju gde su M, N i O faktori za translaciju duž x,y i z osa respektivno.

$$\mathbf{T}_t = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & M \\ 0 & 1 & 0 & N \\ 0 & 0 & 1 & O \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

### Rotacija

Matrica za rotaciju tačke P oko z-ose

$$\mathbf{T}_{rz} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Matrica za rotaciju tačke P oko y-ose

$$\mathbf{T}_{ry} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Matrica za rotaciju tačke P oko x-ose

$$\mathbf{T}_{rx} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

## Prezentacija 3

### ***Modelovanje čvrstih tela***

#### Tehnike modelovanja čvrstih tela:

- CSG – Constructive Solid Geometry
- B-rep – Boundary representation

#### Osnovne metode za reprezentaciju čvrstih tela:

1. Žičani modeli
2. Površinski modeli
3. Čvrsta tela

### ***Žičani modeli***

Prvi oblik reprezentacije fizičkih objekata, predstavlja oblik sa karakterističnim krivama (linije, lukovi, krive...) i tačkama. Prednosti:

- Jednostavan unos od strane korisnika
- Relativno jednostavna implementacija u CAD softveru

Mane:

- Dvosmislen prikaz
- Ne mogu se izračunati podaci o masi
- Ne podržava generisanje mesh modela za MKE analizu
- Nijedan CAD alat ne koristi samo žičani model za prikaz, već samo kao dodatnu opciju



### **Površinski modeli**

Beskonačno tanak omotač razvučen preko žičanog modela. Sadrži informacije o površinama i ivicama. Metode za modelovanje su:

- extrude,
- sweep,
- loft i
- revolve

Ne smeju imati otvore na spojevima površina i bez „visećih“ linija i površina i koriste se za kompleksno modelovanje.

Prednosti:

- Prikaz kompleksnih površina
- Podržavaju generisanje putanja za NC
- Koriste se za MKE analize
- Podržavaju STL (stereolithography) modele za 3D štampanje

Mane:

- Podaci o masi i zapremini se teško računaju
- Nema matematičke reprezentacije objekata

### **Čvrsta tela**

Sadrže informacije o ivicama, površinama i unutrašnjosti dela, takođe matematički su opisani sa dodatnim informacijama o tome šta je unutrašnjost, spoljašnjost i koje su granične površine. Prilikom kreiranja koriste se primitivi, Bulove operacije i operacije za izvlačenje (extrude, revolve, sweep, loft).

Primitivi – osnovni objekti sa jednostavnim površinama (CSG metoda).

Parametarsko modelovanje koristi parametre za kontrolu geometrijskog oblika čvrstog tela, parametri su dimenzije na 2D skicama, dimenzije na 3D modelima i korisničke promenljive u jednačinama.

Prednosti:

- Najbolji način za predstavljanje fizičkih objekata
- Podržava generisanje putanja za NC
- Koristi se za MKE analize
- Pogodni su za analizu podataka o masi i zapremini
- Podržavaju proveru kolizije i interferencije

Mane:

- Zahtevaju više računarskih resursa

### **CSG metoda modelovanja**

Podržava konstruisanje čvrstih tela korišćenjem operacija nad primitivima. CSG čuva informacije o:

- Operacijama
- Primitivima

Komponente CSG metode:

1. Primitivi i instance
2. Bulove operacije
3. CSG stablo

### Primitivi i instance

Primitivi su osnovni geometrijski oblici. Svaki primitiv se čuva sa setom parametara. Instanca je skalirana i/ili transformisana replika originala, pri čemu skaliranje može biti uniformno ili neuniformno.

### Bulove operacije

CSG prilaz koristi primitive za kreiranje složenih objekata. Primitivi koji se koriste za operacije se nazivaju operandi. Bulove operacije:

1. Unija
2. Razlika
3. Presek

### CSG stablo

Model koji definiše kako se primitivi kombinuju za kreiranje konačnog modela.

Sastoji se iz:

- Korena
- Grana (Bulove operacije)
- Listova (primitivi)

U nekim slučajevima se ne mogu dobiti analitički oblici krive, te je potrebno koristiti metodu aproksimacije. Postupak za kreiranje krive preseka:

1. Fiksirati vrednost parametra  $u$  na površini  $P(u,v)$
2. Izračunati tačke preseka
3. Ponavljati korake 1-2 koliko je potrebno puta

### **B-rep**

Model predstavlja čvrsto telo koje se dobija spajanjem (lepljenjem) površina koje čine granice čvrstog tela, pri čemu je telo ograničeno površinama, površine su ograničene ivicama, a ivice su ograničene temenima. Hijerarhija od 4 nivoa geometrijskih entiteta:

1. Zapremina
2. Površina
3. Ivica
4. Teme

Površine, ivice i temena određuju način na koji su povezani entiteti.

Osobine:

- Svi entiteti su eksplicitno definisani i spremni za prikaz
- Zahtevaju veliku bazu podataka
- Manje intuitivna metoda u odnosu na CSG
- B-rep topologija se mora proveriti da li je validno definisana od strane dizajnera

Model je validan ukoliko se na bilo koju granicu može postaviti beskonačno mala sfera, takva da je jedan deo unutar, a drugi van objekta, ili pomoću Euler-Poincare-ovog zakona.

$$v - e + f = 2(s - h) + r$$

- B-rep je fleksibilniji od CSG metode
- Pogodniji je za CAD sisteme
- Podržava operacije: izvlačenja, obaranja ivica, kreiranje školjki (shell)...
- Većina CAD sistema danas podržava i B-rep i CSG metodu modelovanja čvrstih tela

## ***Parametarsko modelovanje na bazi Feature-a***

Moderni CAD softveri koriste ovu metodologiju gde korisnik interaktivno kreira čvrste modele, koriste se feature-i umesto tačaka, linija i kriva. Parametarski model omogućava da se izmenom nekoliko parametara regeneriše celokupan model. Termin „feature“ ima različita značenja u različitim inženjerskim disciplinama:

- CAD – geometrijski oblik i informacije o obliku
- CAM – informacije o modelu koje su potrebne za generisanje putanje CNC mašina
- Montaža – metod spajanja povezanih komponenti

### Feature-i u CAD-u

Sve što doprinosi konstruisanju čvrstog tela naziva se feature - individualni oblici koji se kombinuju da bi se kreirao konačni model. Postoji 5 grupa feature-a:

- Konstrukcioni feature-i
- Feature-i oblika
- Pick-and-place feature-i
- Ogledalo i šabloni
- Feature-i zadebljanja

### Konstrukcioni (datum) feature-i:

Pomoćni koordinatni sistemi, ravni, ose i tačke

### Feature-i oblika:

- Extrude
- Sweep
- Revolve
- Loft

### Pick-and-place feature-i:

- Chamfer,
- Fillet,
- Hole

### Ogledalo i šabloni:

Ogledalo: preslikava feature u odnosu na osu.

Šabloni: kopiranje osnovnog feature-a. Može biti linearno, kružno i duž krive

Pojedini CAD sistemi nude alate za inteligentno skiciranje prilikom kojih se automatski dodaju relacije.

## ***Variaciono modelovanje***

1. Najpre se identifikuju karakteristične tačke (temena) na profilu skice
2. Kreira se sistem jednačina sa relacijama i dimenzijama definisanim na skici
3. Sistem jednačina se rešava da bi se utvrdili položaji karakterističnih tačaka
4. Broj jednačina mora biti jednak broju nepoznatih da bi rešenje bilo jedinstveno (potpuno definisana skica)

## ***Veza „roditelj-dete“***

Kada je skica završena, može se izvesti neka od extrude operacija. Prvo čvrsto telo koje se formira se naziva bazni feature, a preostali feature-i se dodaju na bazni. U zavisnosti od redosleda dodavanja featurea, kreiraju se veze „roditelj-dete“. Izmene napravljene na roditeljskom delu se propagiraju na sve veze „dete“ prilikom ažuriranja modela. Operacije brisanja i sakrivanja utiču na veze „dete“ i poželjno je da model ima što manje veza „roditelje-dete“.

### ***Parametarsko modelovanje***

Za razliku od variacionog modelovanja, parametarsko modelovanje koristi prilaz jednosmernog dodeljivanja:

$$d_0 = d_1 \times 2$$

pri čemu je

$d_0$  : zavisni parametar

$d_1$  : nezavisni parametar koji se može slobodno menjati

Jednačine se rešavaju sekvencijalno i svaka dodeljena vrednost se računa kao funkcija prethodno dodeljene vrednosti, zove se i proceduralno modelovanje.

### ***Proces ažuriranja modela u CAD-u***

Za svaki feature, CAD sistem radi sledeće:

1. Uzima vrednosti dimenzija koje je korisnik uneo (variaciono modelovanje) i rešava sistem jednačina za nove vrednosti
2. Ažurira feature-e na skici koristeći skicu i izvodi operacije extrude/revolve/sweep /loft
3. Ukoliko feature ne može da se ažurira, izbacuje poruku sa greškom
4. Identifikacija problematičnog feature-a
5. Pronalaženje svih veza tipa „dete“ i njihovo ažuriranje
6. Ponavljanje koraka 1-5 dok se ne ažuriraju svi feature-i

### ***Kerneli za geometrijsko modelovanje***

Kerneli su biblioteke ključnih matematičkih funkcija koje definišu i skladište informacije o 3D objektima i svi CAD sistemi poseduju neki kernel. Kerneli omogućavaju izračunavanje i prikazivanje 3D objekata, uključujući i 2D skice na osnovu 3D geometrije. Kerneli mogu biti:

- Licencirani (ACIS, Parasolid)
- Vlasnički (Granit One)

2 sloja informacija prilikom rada u CAD alatu:

- Prvi sloj čini interakcija korisnika sa CAD sistemom
- Dodaju se informacije o Bulovim operacijama i prosleđuju se kernelu koji skladišti podatke i vrši prikaz modela

### ***Razvijanje plana za modelovanje***

Jedan od ciljeva za modelovanje čvrstih tela je da se isplanira design intent - izmenom nekoliko dimenzija ažurira se celokupan model. Plan za modelovanje treba da sadrži:

1. Feature-e i sekvencu njihovog kreiranja
2. Skicu za svaki feature
3. Jednačine između dimenzija

## **Prezentacija 4**

### ***Modelovanje sklopova***

Pozicioniranjem delova relativno jedan u odnosu na drugi, delovi dolaze u kontakt putem površina, ivica ili temena, kod čvrstih tela ne može da dođe do deformisanja ili prodiranja jednog tela u drugo i sklapanjem se ograničava međusobno relativno kretanje delova.

3 parametra su potrebna za određivanje lokacije i 3 parametra za određivanje orijentacije, pa čvrsto telo u prostoru ima 6 stepeni slobode. Dodavanjem ograničenja oduzimaju se stepeni slobode.

Sklopovi u CAD-u se kreiraju određivanjem relativne lokacije i orijentacije delova.

### Sklopovi mogu biti:

- Statični (potpuno ograničeni delovi)
- Pokretni (delimično ograničeni delovi)

### Dve vrste relacija u sklopovima:

- Geometrijska ograničenja (višestruka, najčešće statična)
- Ograničenja spojeva (relativno kretanje između delova-kinematski spojevi)

Pojedini CAD sistemi omogućavaju ispitivanje sklopova gde se

- Kinematske analize mogu vršiti direktno pomeranjem delova
- Kod drugih je potrebno sklop konvertovati u kinematski model kako bi se analizirala kretanja

## **Geometrijska ograničenja**

### Geometrijski elementi koji se koriste prilikom dodavanja ograničenja:

- Tačke
- Ivice
- Površine
- Ose (cilindara i rupa)

### Vrste geometrijskih ograničenja:

- Koincidentno
- Odstojanje (offset)
- Koncentričnost
- Ugao
- Paralelnost
- Poravnanje

Prvi deo koji se postavlja u sklop je uvek fiksiran i on služi kao baza za sklapanje sa ostalim delovima, gde svi ostali delovi koji se ubacuju inicijalno imaju svih 6 stepeni slobode.

## **Kinematski spojevi**

U CAD sistemima se spojevi mogu kreirati na dva načina:

- Dodavanjem ograničenja između delova
- Definisanjem kinematskih spojeva između delova – kinematski spojevi su veze između 2 komponente takve da ograničavaju njihovo relativno kretanje

2 vrste kinematskih spojeva:

- niži i
- viši parovi

## **Tehnike za modelovanje sklopova**

U CAD-u sklopovi se kreiraju definisanjem ograničenja između delova gde se ograničenja najčešće definišu sekvencijalno, korišćenjem 2 dela i na ovaj način se koristi manji broj relacija, u odnosu na simultano.

Koristi se matrica za transformaciju.

Koincidentno ograničenje ( Dve površine koje se dodiruju ) ima 2 vrste poravnanja:

- Aligned
- Antialigned

Koncentrično ograničenje ( Između dve kružne površine )

### ***Analiza stepeni slobode***

Relativni položaj delova se definiše geometrijskim ograničenjima između delova sklopa.

Ograničenja se definišu između istih tipova entiteta pri čemu svako ograničenje sadrži vektore pravca koji se nazivaju glavnim vektorima, ako su glavni vektori koji istog smera kreiraju aligned koincidentno ograničenje, a ako su glavni vektori suprotnog smera kreiraju antialigned koincidentno ograničenje.