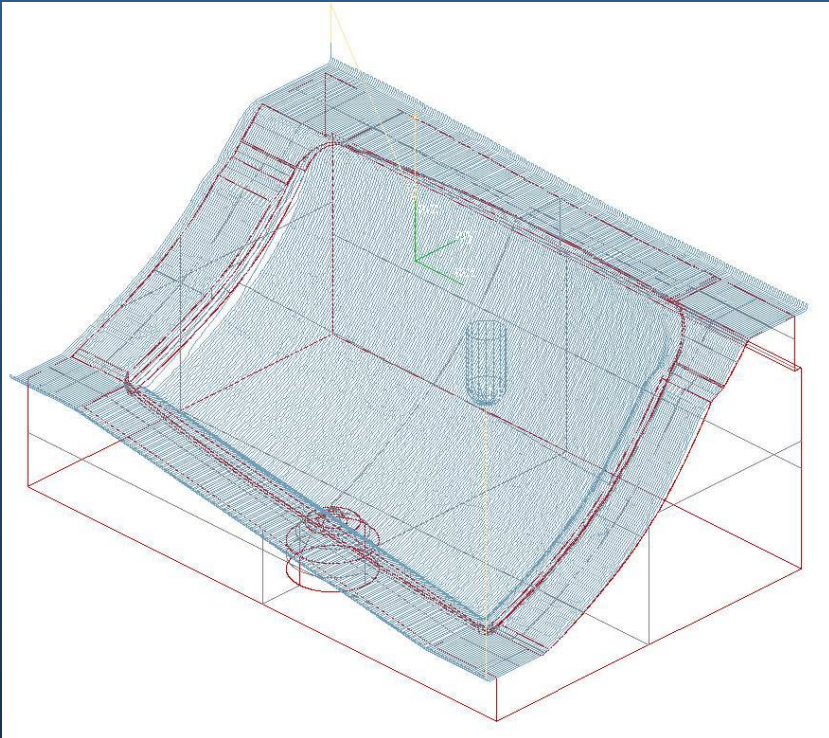
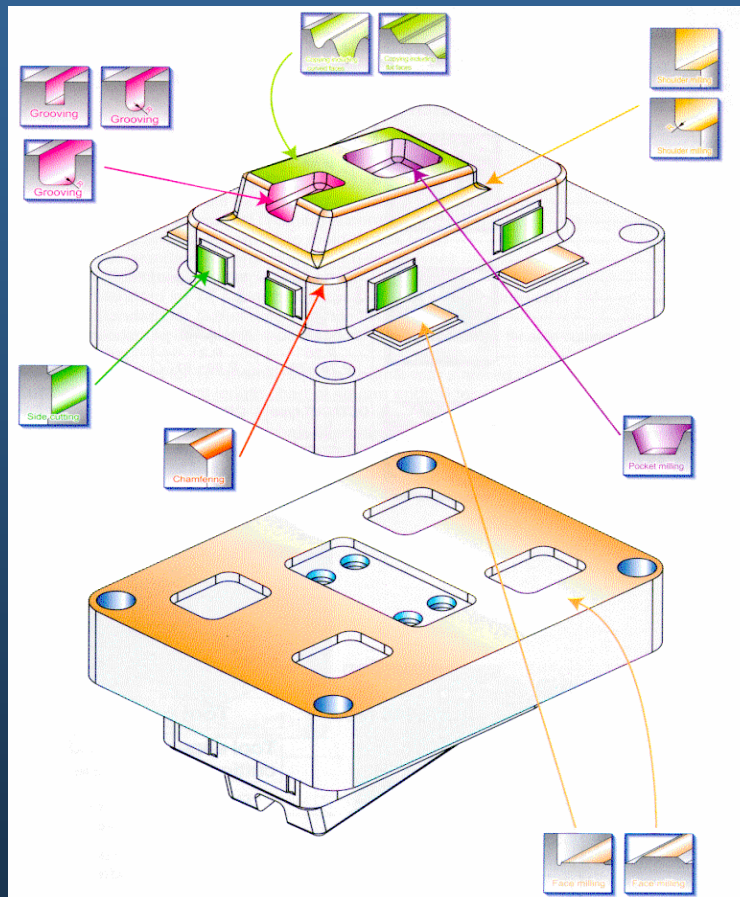


# CAM ALAPJAI



**Dr. Markos Sándor  
&  
Dr. Boór Ferenc  
BME GTT**

# Megmunkálási igények

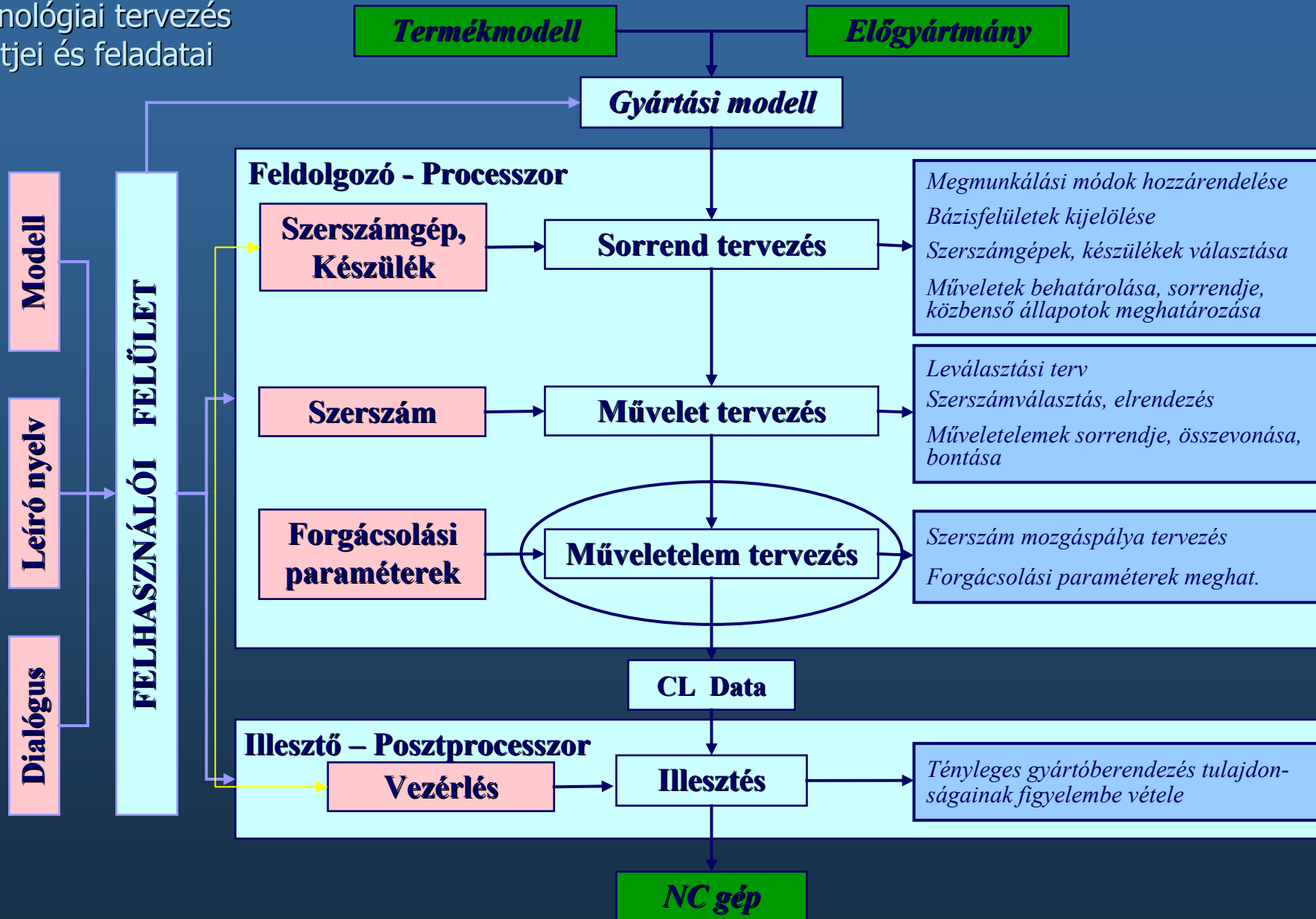


- Marás (sík, zseb, horony, kontúr, felület, menet, maradék...)
- Szikraforgácsolás (tömb, huzal, bolygó)
- Köszörülés (sík, henger, horony, menet, ...)
- Polírozás
- Felületkikészítés (szemcseszórás, "bőrözés")
- Bevonatolás

# Gyártási (megmunkálási) típus sorrendterv

SZAKASZ	MEGNEVEZES	JELLEMZOK
0	ELOGYARTMANY	
1	ELONAGYOLAS	IT >12; Ra >100
2	FESZULTSEGMENTESITES	
3	NAGYOLAS	IT >9; Ra >10
4	FELSIMITAS	IT >8; Ra >2.5
5	CEMENTALAS	
6	CEMENTALT RETEG ELTAVOLITASA	IT >8; Ra >2.5
7	EDZES, NEMESITES	
8	SIMITAS	IT >6; Ra >0,63
9	NITRIDALAS	
10	NITRIDALT RETEG EL	IT >6; Ra >0,63
11	FINOMMEGMUNKALAS	IT >4; Ra >0,16
12	BEVONATOLAS	
13	PRECIZIOS MEGMUNKALAS	IT >1 Ra >0,01
14	ULTRAPRECIZIOS	IT <1; Ra <0,01

Technológiai tervezés szintjei és feladatai



# CAM RENDSZEREK

ESPRIT	CAMWORKS	SURFCAM	SOLIDCAM
DELCAM	■ FEATURECAM	MASTERCAM	TEBIS
HYPERMILL	EDGECAM	WORKNC	GEOPACK MAZACAM
EZCAM	ALPHACAM	CIMATRON	ALASKACAM
VISICAM	TOPCAM	XNC	GIBBS

# 2-3D-s hibrid modellezés

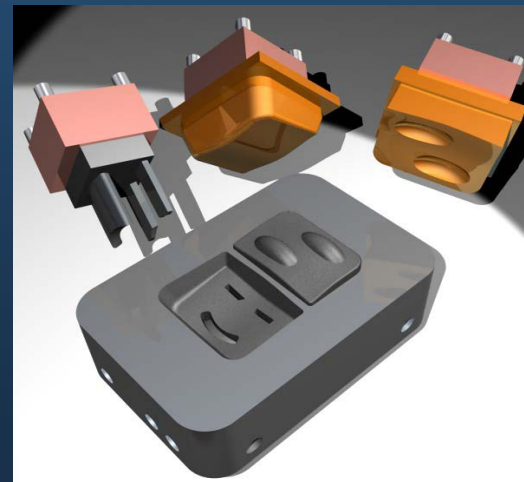
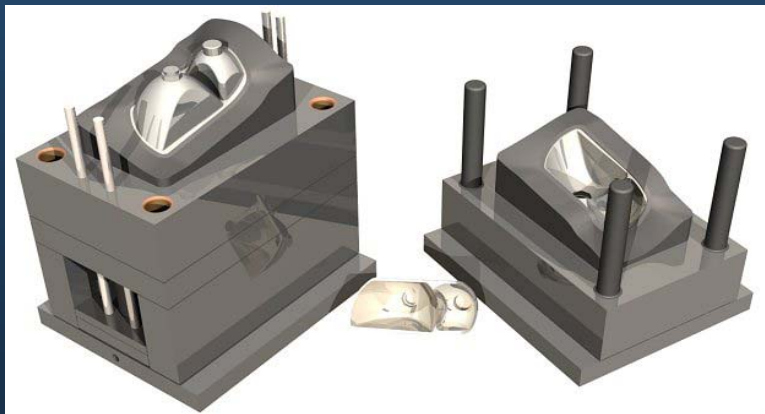
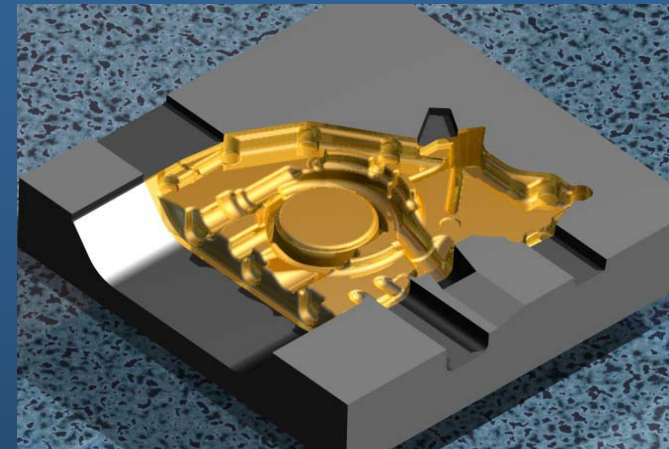
- Felület- és testmodellező alaprendszer
- Egyesíti a felület- és testmodellezés előnyeit
- Speciális modulok, például szerszámtervezők számára

■ Szerszámház tervezés: „Mold maker”

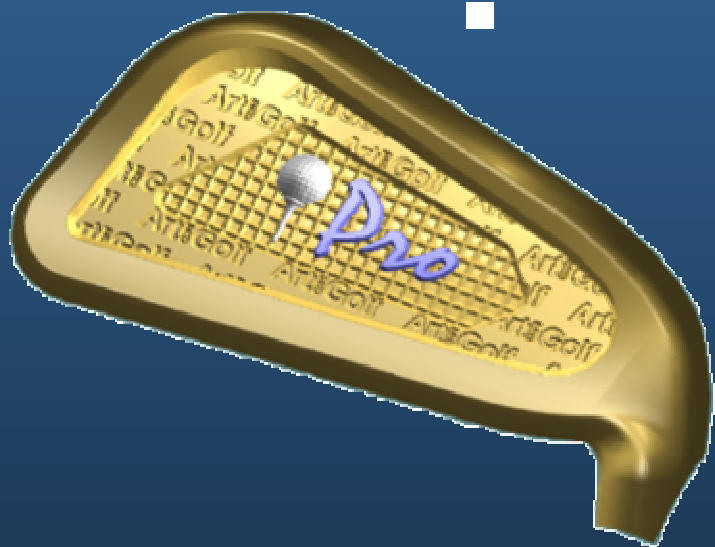
Elektróda tervezés: „Electrode”

Összeállítás: „Assembly”

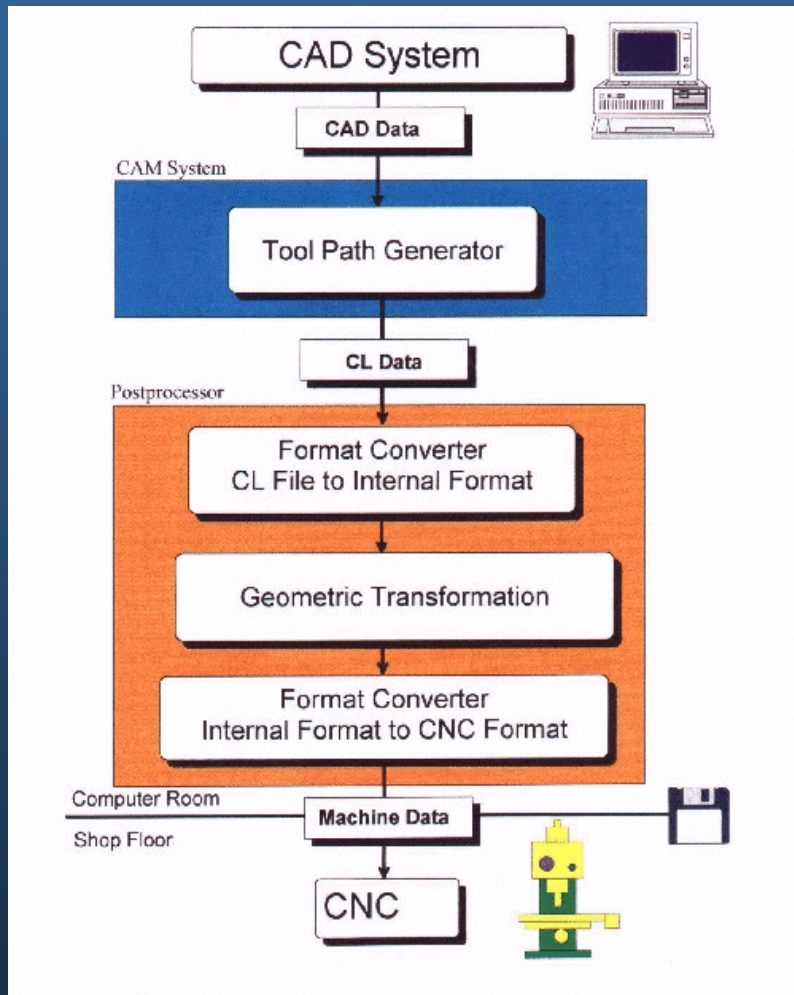
2D-s rajzolás: „Draft”



# ArtCAM: Művészeti gravírozás, domborművek (relief)



# CAM felépítés (struktúra), fejlesztési törekvések



CAM feladatok bővülése

Alakzat/Sajátosság (Feature) alapú szerszámpálya tervezés

Modell, NC program asszociativitás

Test/Térbeli (Solid) megmunkálás

Maradék nagyolás

HSM szerszámpályák

Pálya optimalálás, (Technológiai adatok)

Ellenőrzési funkció bővülése



# CAM modulok

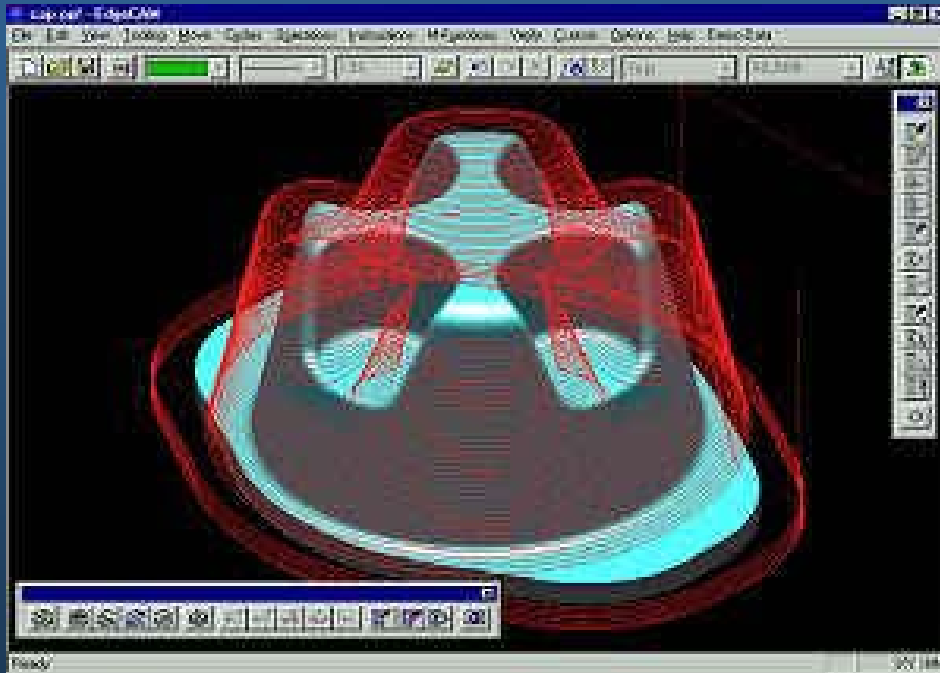
## NC megmunkálás programozása

- ← *esztergálás (turning)*
- ← **marás (milling)**
- ← **huzal szikraforgácsolás (wire)**
- ← *lemez megmunkálás (punch)*
- ← *lézer sugaras megmunkálás (laser beam)*
- ← *víz sugaras vágás (water jet)*
- ← *prototípus gyártás (rapid prototyping)*
- ← *mérés (measure)*
- ← ...

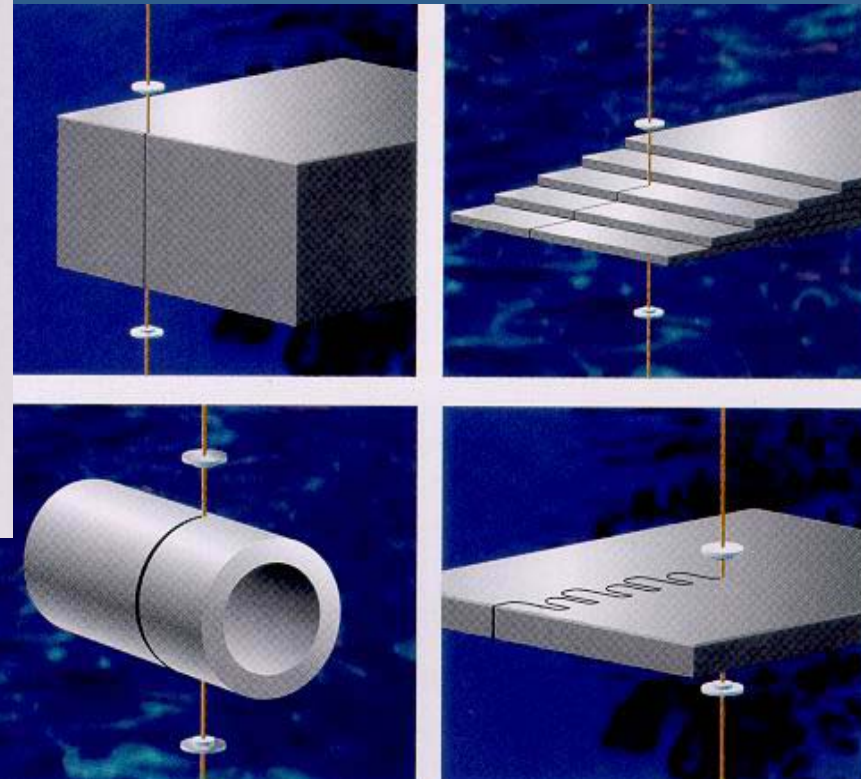
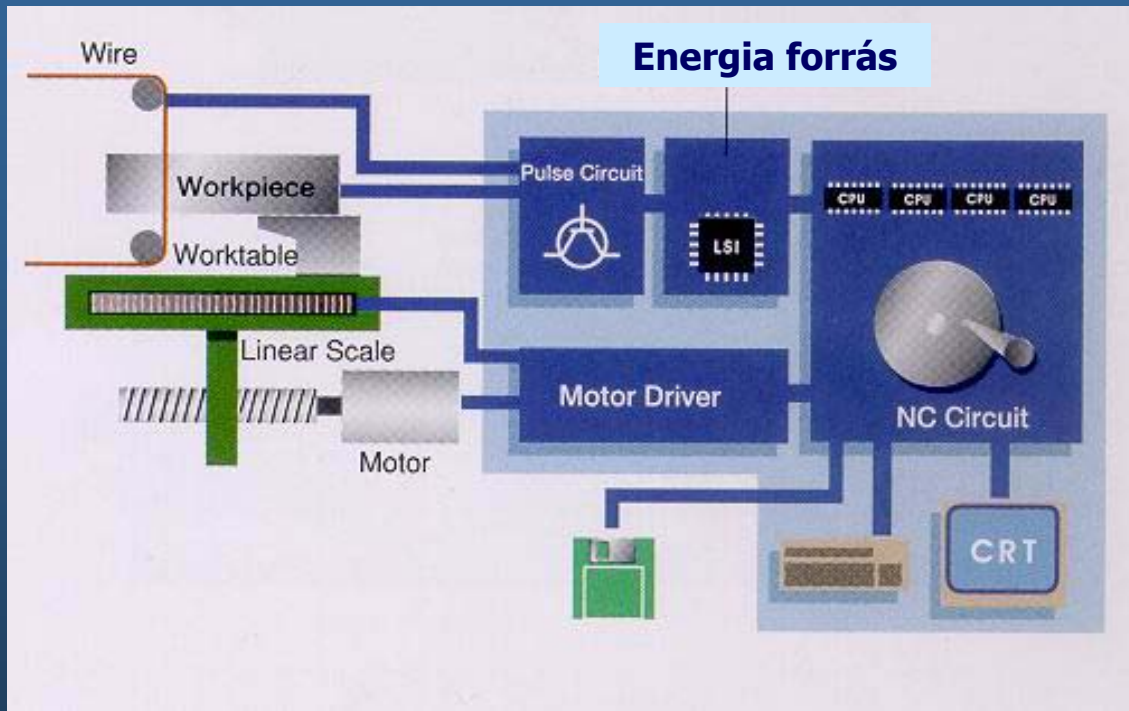
## NC megmunkálás kiszolgálása

- ← *alkatrész modellezés*
- ← *DNC kommunikáció*
- ← *posztprocesszor generátor*
- ← *programellenőrzés*
- ← *munkadarab anyagadatbázis*
- ← *szerszám adatbázis*
- ← *szerszámtervezés támogatás*
- ← *elektróda tervezés*
- ← *munkafolyamat (projekt) menedzselés*
- ← ...

# Marás 2, 3, 5D



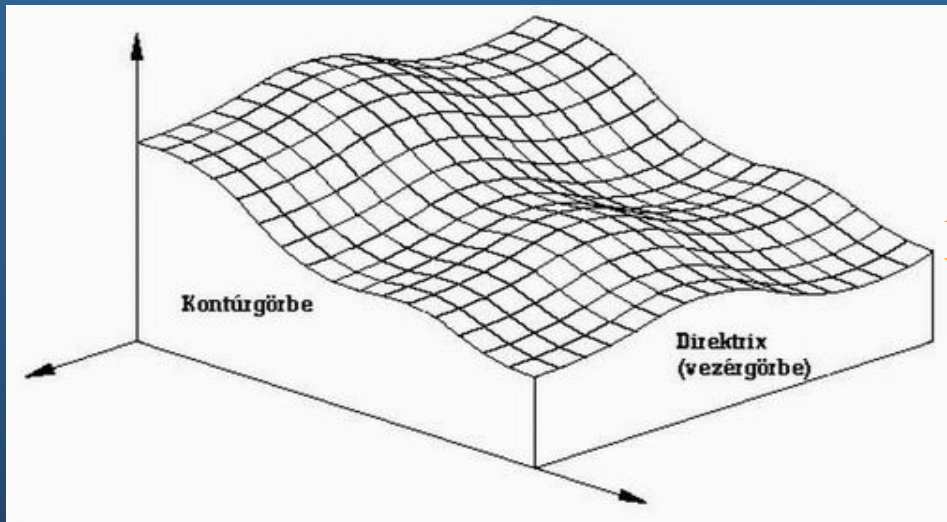
# Huzalelektródás szikraforgácsolás



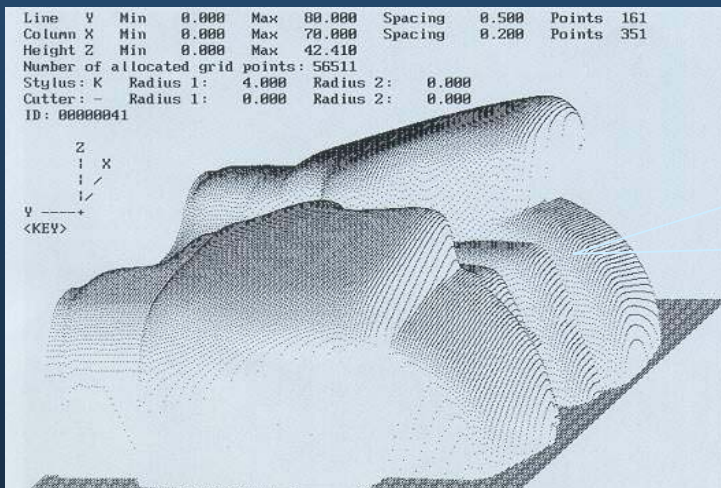
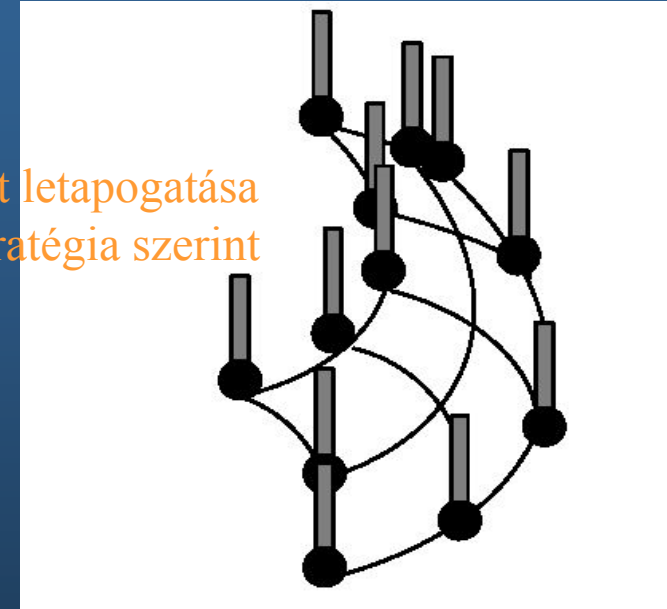
# CAM folyamat

- Beolvasás, Transzport
- Konvertálás (IGES, SAT, VDA-FS....)
- **Felületek javítása, kiegészítése, módosítása**
- Gép leírása (DNC), Poszt-processzor generálás
- **Modell anyagának megadása (anyagadatbázis)**
- Műveletek, műveletelemek sorrendje
- **Szerszám leírása, kiválasztása**
- Technológiai követelmények (megközelítés, belépés, korrekció, ..., kilépés)
- **Szerszám pálya generálás (2D, 3D,..5D )**
- **Szerszám pálya editálás** (*Transzformációk, kivágás, összekötés, új sorrend*)
- **Szerszám pálya ellenőrzés** (*Ütközésvizsgálat, szimuláció*)
- **Posztprocesszálás**
- Méretellenőrzés kiszolgálása
- Dokumentálás
- Archiválás

# Digitalizálás, másolás, rekonstrukció



A felület feltápolgatása  
választott stratégia szerint



A mért pontok:

- tapintógömb középpont koordináták
- normális meghatározása csak bizonyos esetekben

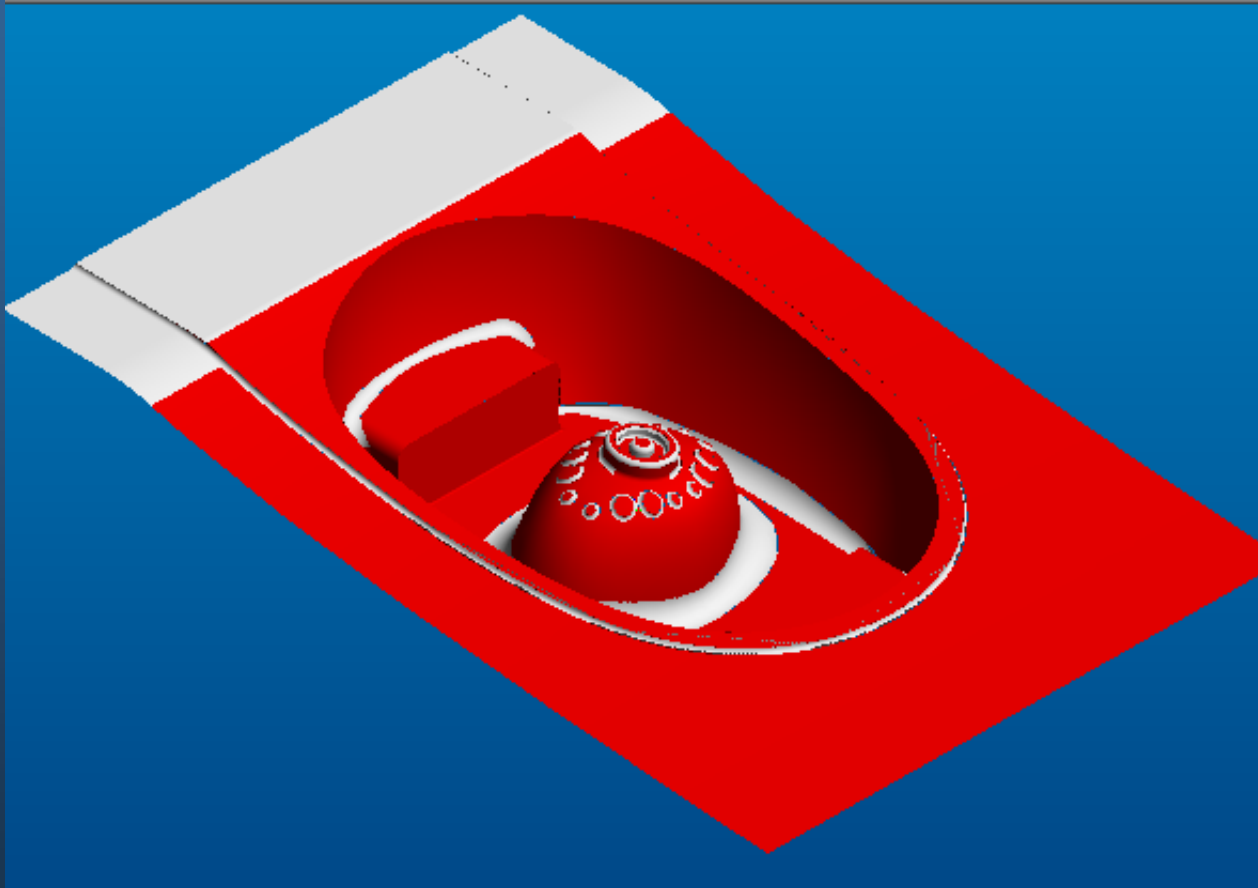
# MDB anyag adatbázis (forgácsolási adatok)

The screenshot displays three windows from a CAM software interface:

- Materials Window:** Shows a list of materials. The selected material is "Stainless steel - austenitic A5 >40%".
- Inserts Window:** Shows a list of tool inserts. The selected insert is "TPC 35 - Ball".
- Technology Assistant - Stainless steel - austenitic A5 >40% >...:** Shows cutting parameters for the selected material and insert.
 

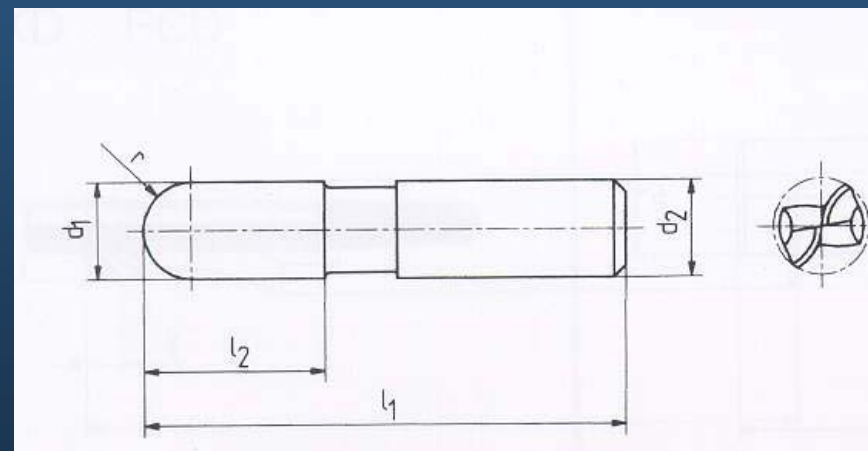
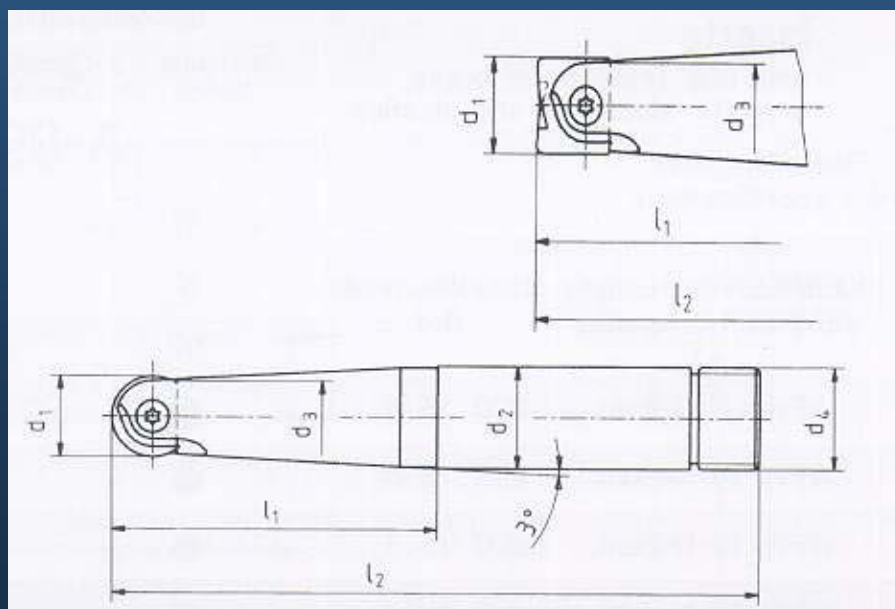
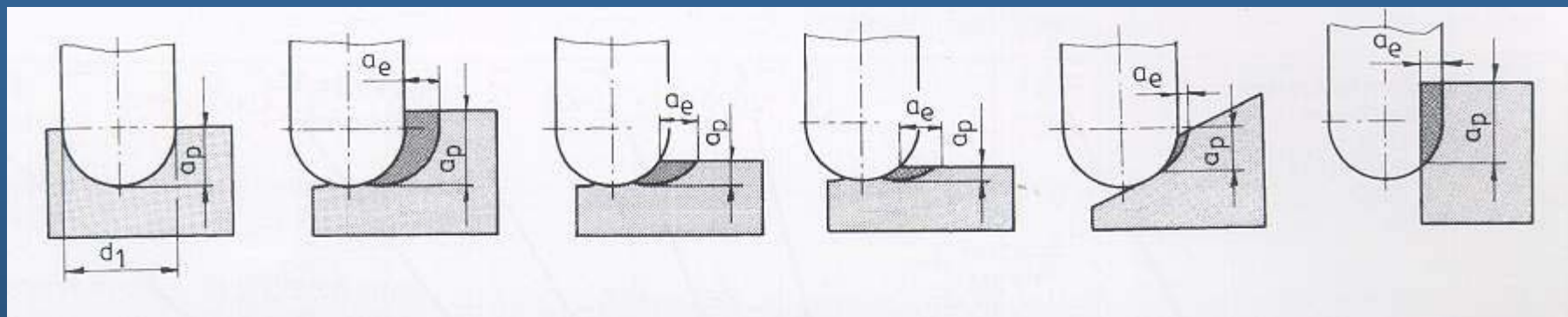
Parameter	Value	Unit
Insert	TPC 35 - Ball	
Material	Stainless steel - austenitic A5 >40%	
Depth of cut		
Diameter Range		
<b>General</b>		
Speed	120	m/min
Feed	0.18	mm/tooth
Plunge	0.09	mm/tooth
<b>Finish</b>		
Speed	120	m/min
Feed	0.18	mm/tooth
Plunge	0.09	mm/tooth

# Egy bemenet (input) példa



- Igs, Step, VDA-FS
- Felületmodell
- Jellemzően  
maradékanyag  
megmunkálás
- anyaga: edzett acél

# Marás, marószerszámok





# Szerszámleírás, szerszámadatbázis

The screenshot displays the ToolStore software interface, which is used for managing tool data. The main window shows a table of tool descriptions with columns for Tool Description, Diameter, and Flute Length. Below the table are various tool icons and unit selection buttons (Inches/Millimetres). To the right, a 'Select/Create Tools' dialog is open, showing a 3D model of a ball mill tool with its dimensions (Diameter: 0.5 in, Flute Length: 2.5 in, Tool Length: 4 in) and a list of tool parameters (Material: HSS, Number of Flutes: 2, Tool Number: 1, etc.).

Tool Description	Diameter	Flute Length
12mm Endmill - long series	12	53
12mm Endmill - short series	12	26
16mm Solid Carbide Endmill - long	16	26
25mm Endmill	25	30
3mm ballnose	3	9
4mm Endmill	4	18
6mm Endmill - long series	6	53
6mm Endmill - short series	6	26
8mm Endmill - long series	8	53
8mm Endmill - short series	8	26
New Tool1	12	25

**Tool Creation Dialog Parameters:**

- Name: BallMill1
- Material: HSS
- Number of Flutes: 2
- Tool Number: 1
- Adjust Register: 0
- Cutcom Register: 0
- Zoffset: 0
- Diameter: 0.5 in
- Flute Length: 2.5 in
- Tool Length: 4 in

**Tool Creation Dialog Fields:**

- General: Tool Description (New Tool2), Comment, Tool Type (selected: Endmill)
- Units: Millimetres (selected)
- Jobs: <All Kit>
- Spindle Direction: (selected: Up)
- Turret Position: (empty)
- Tool Offset: (empty)
- Specification: (empty)
- Visible in list:

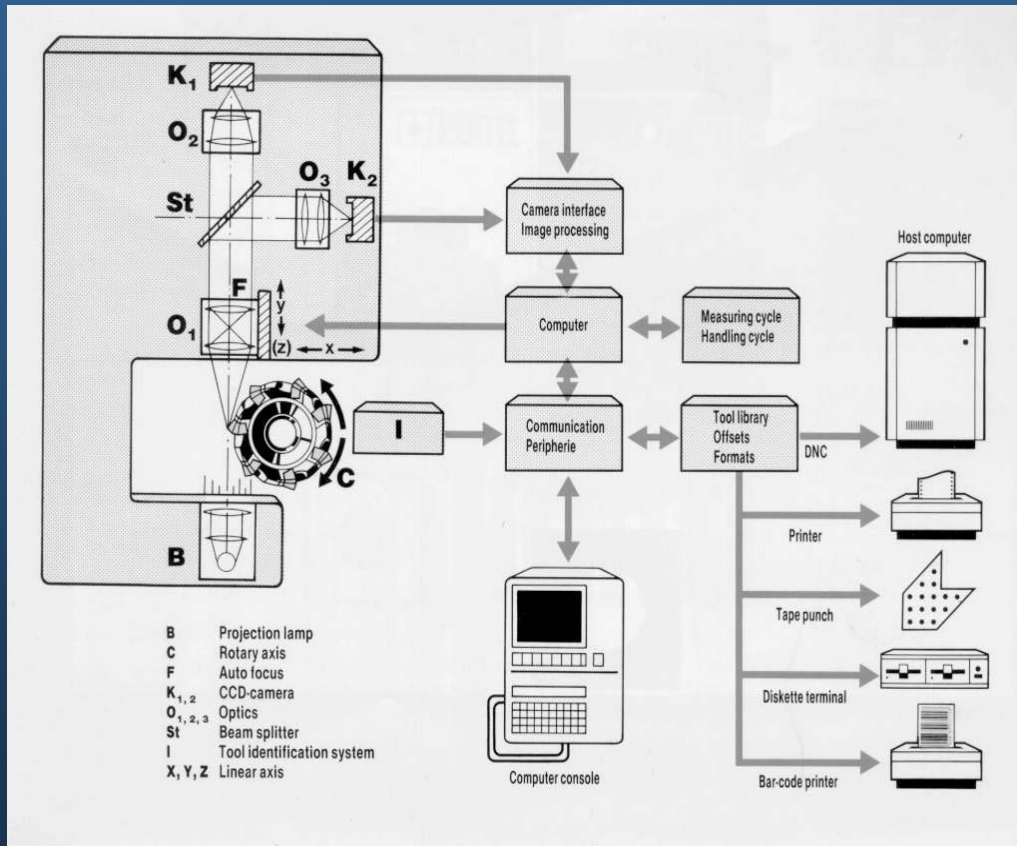
Feltöltés egyedileg

Gép vagy feladat (projekt) orientáltság

Adatbázis import

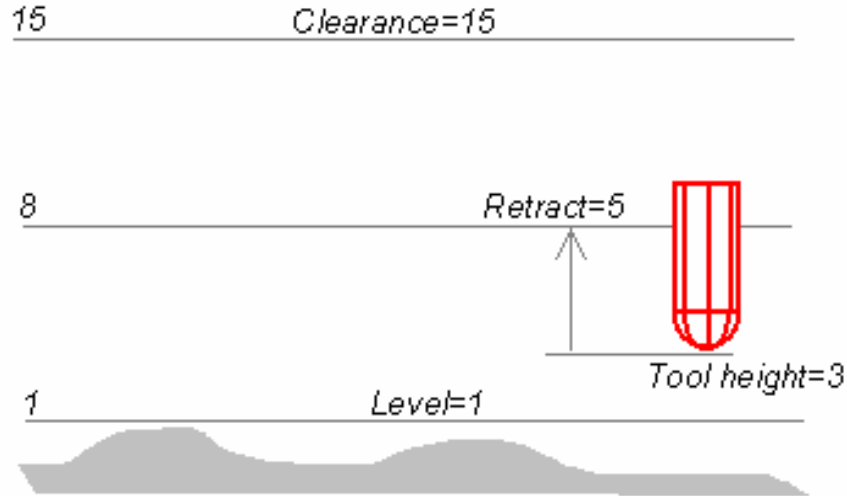
**BME GTT**

# Szerszámbemérés



# Megközelítési stratégiák

## és a megmunkálási szintek szerepe



Abszolút szintek:

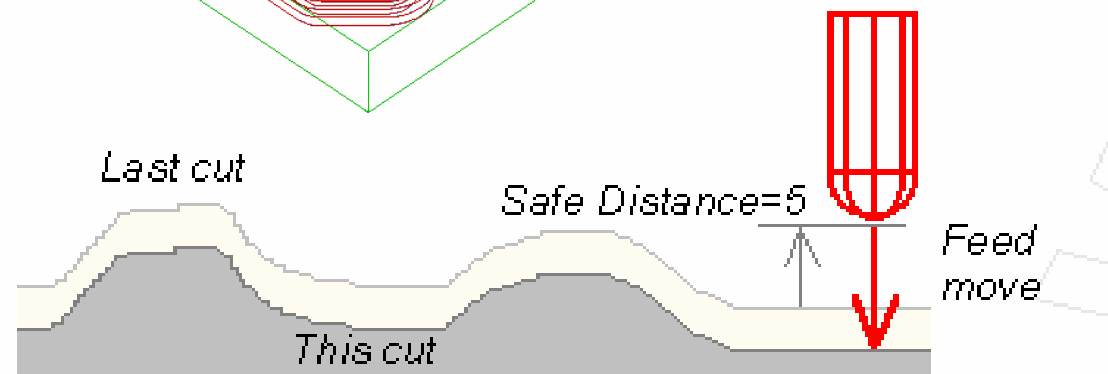
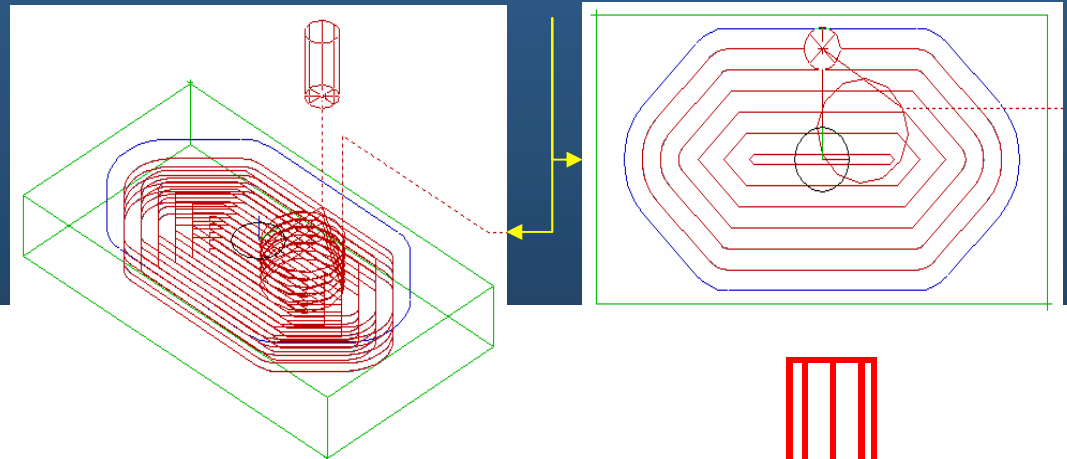
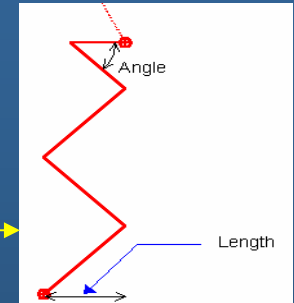
- Biztonsági sík (Clearance)
- Munkasík (Level)

Relatív szintek:

- Kiemelési sík (Retract)
- Biztonsági távolság (Safe distance)
- Megmunkálási mélység (Depth)

A szerszám típusától, kialakításától függően:

- fúrás, merítés, süllyesztés (plunge)
- egyirányú rézsű (fixed direction, ~ ramp)
- kétirányú, cikk-cakk rézsű (zig-zag ramp)
- csavarvonal, helikális rézsű (helical ramp)



# Megmunkálási dimenzió

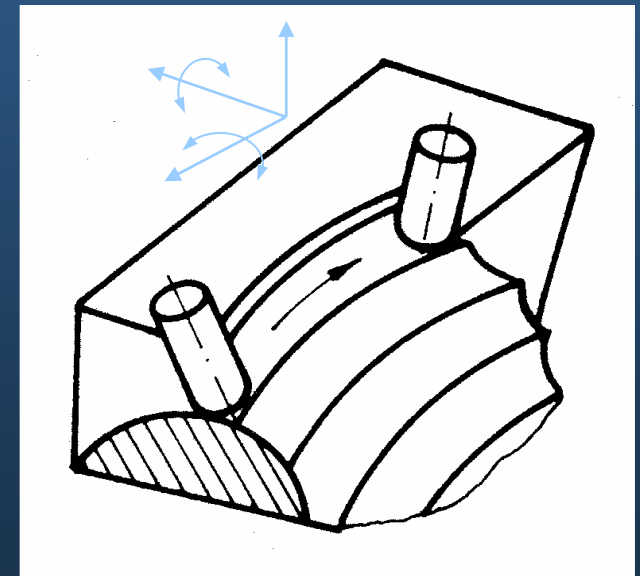
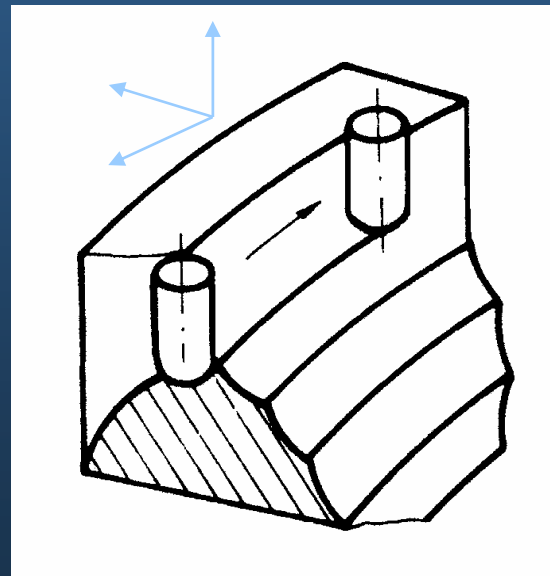
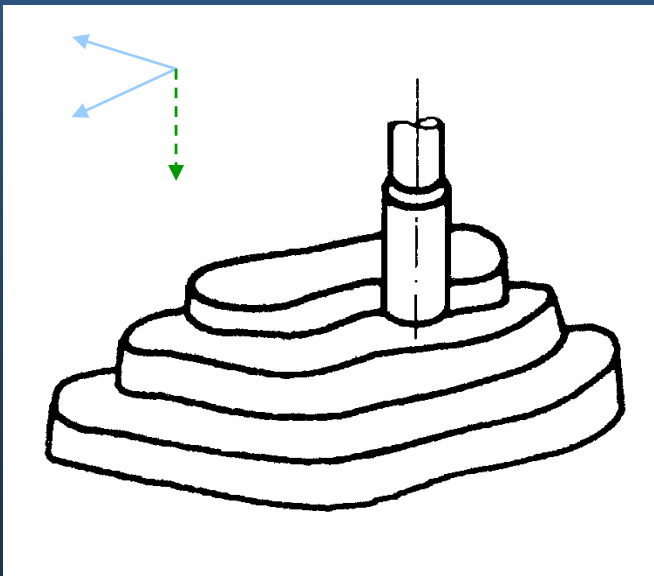
**egész D** : egyidejűleg vezérelt/-hető mozgás koordinátatengelyek száma  
( azonos időben végzett szinkronizált gépi tengely elmozdulások száma )

**fél D** : egy vagy több mozgás nem szinkronizált vagy nem egyidejűleg vezérelt/-hető  
( pl. csak fogásvétel vagy rétegváltás történik/-het egy kiválasztott tengely irányban)

2.5 D

3 D

5 D



*Alkalmazása*

- *bonyolultság jellemzője: technológiai dimenziószám, mint bonyolultsági fokmérő szám (pl. 2.5D-s marás)*
- *kapacitás definiálása: gépi dimenziószám, mint kapacitási fokmérőszám (pl. 4D-s v. tengelyes huzalos szikrácsológép)*

# Dimenzió csökkentő stratégiák (2.5D)

Z-merőleges (X-Y) v. -párhuzamos (Y-Z, Z-X)  
gépi síkokban végzett megmunkálások

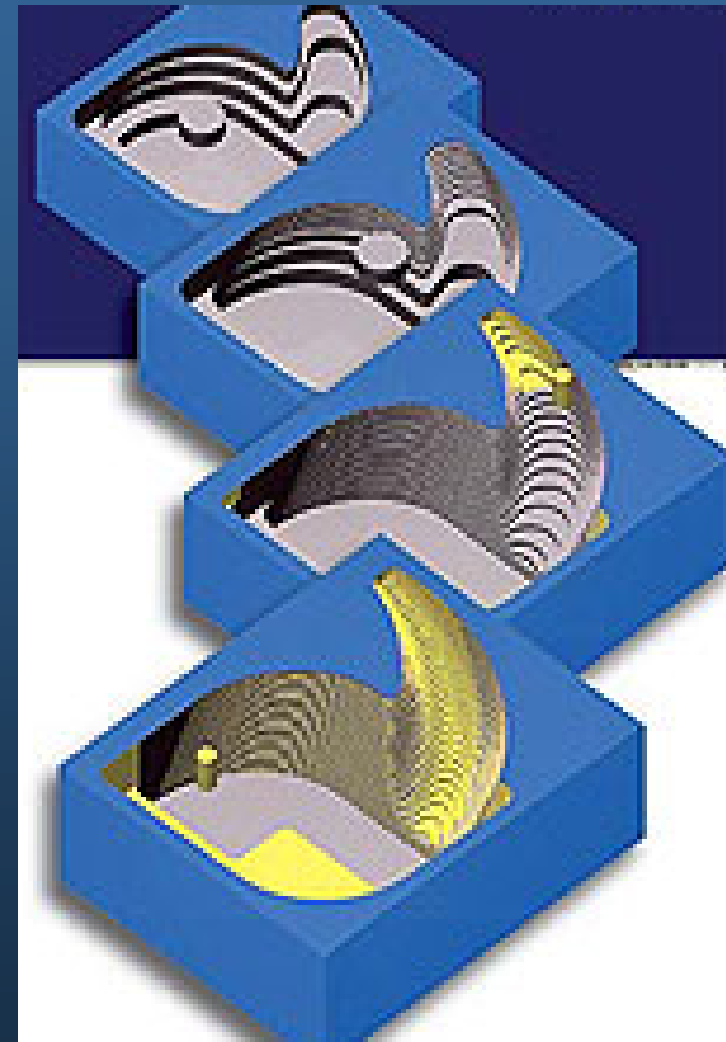
**Nagyolás (terasz) Z-rough**

**Maradék nagyolás (terasz)**  
rest-mill

**Elősimítás (kontúrozás) Z-finish**

**Simítás (kontúrozás) Z-finish<sub>1</sub>**  
párhuzamos „pásztázás” XY-lace)

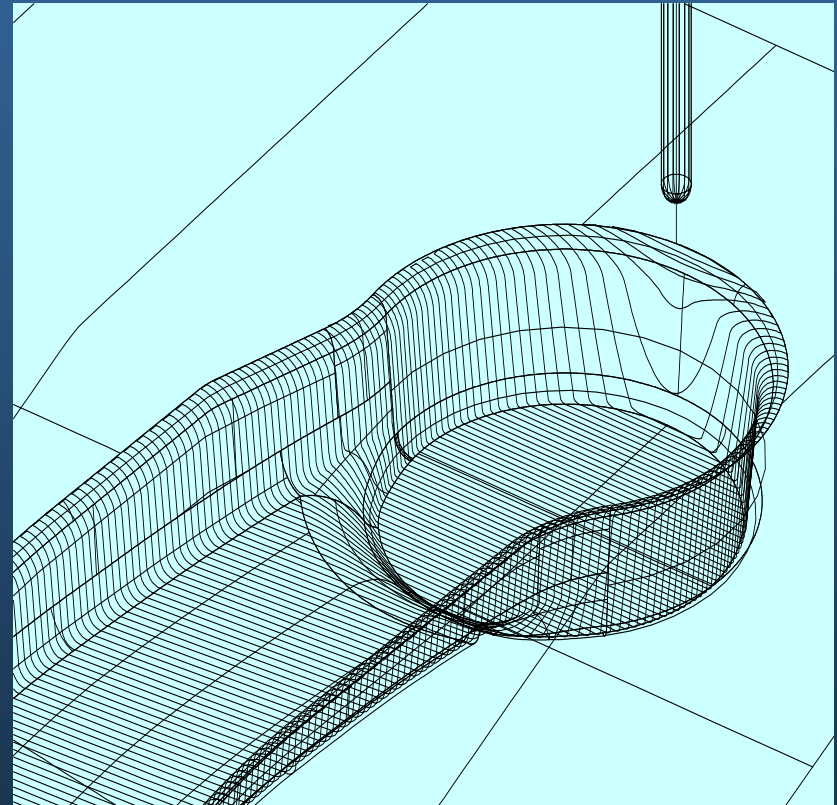
**Maradék simítás (2.5-3D)**



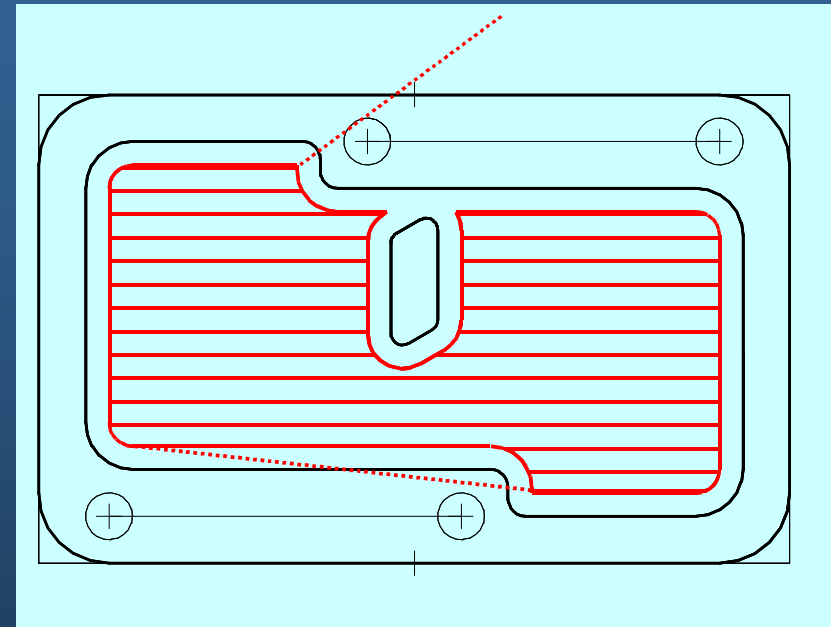
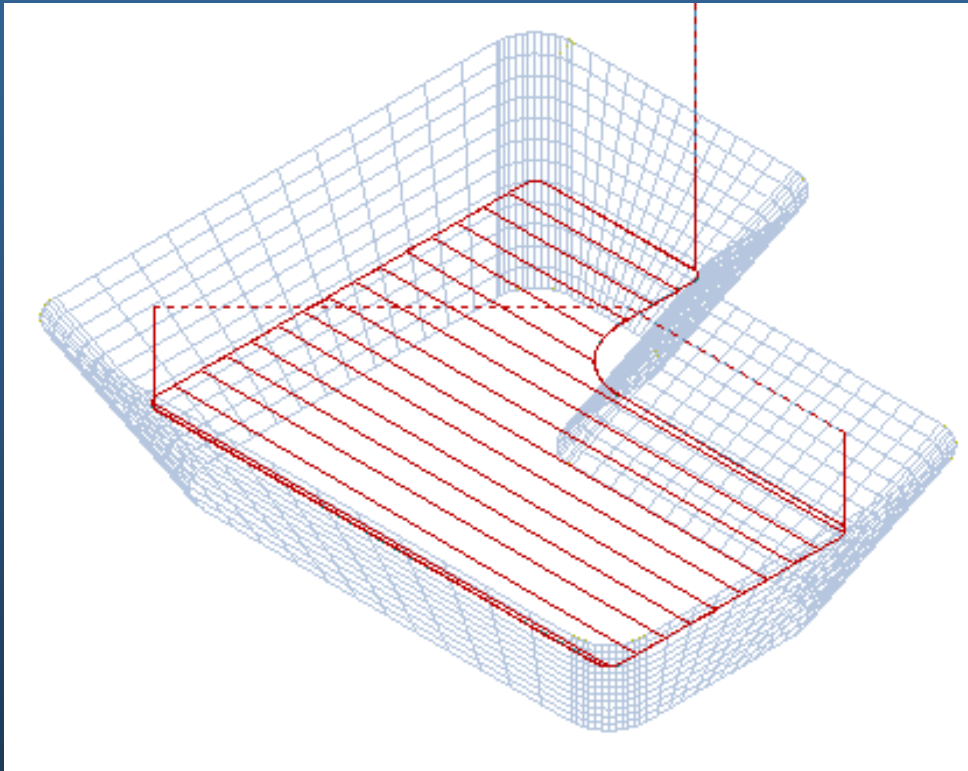
# Dimenzió csökkentő stratégiák (2.5D)

## Z-párhuzamos (z-x, y-z) gépi síkokban végzett megmunkálások

- Z~állandó (vízszinteshez) közeli felületek megmunkálására ■
- A szerszám pályák Z irányból nézve (felülnézet) egyenközű vagy állandó barázdamagasság szerint változó párhuzamos x- ill. y-egyenesek
- Pozitív, vagy negatív ráhagyás
- Egy lépésben több felület is megmunkálható
- Speciális technikák (interpoláció) gyorsmaráshoz
- Egyes rendszerekben csupán, mint az általános pásztázás (lásd: 3D-s mozgáspálya generálási stratégiák) speciális ( $0^\circ$  ill.  $90^\circ$ -os) beállításaként hívható
- Nagyolásra kiterjesztett verziója a többlépéses profil-, avagy Offset-megmunkálás

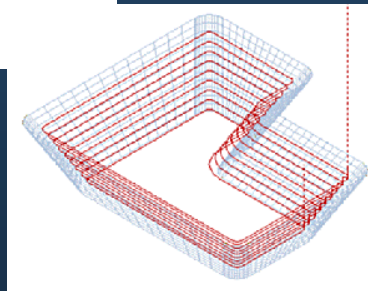


# Egy- és Kétirányú megmunkálás (Pásztázás)



## Beállítások :

- Egyirányú
  - Egy irányban vág kijelölése (Once cut)
  - Egyen- vagy ellenirányú főorsó forgás kijelölése
- Kétirányú
  - Optimális főorsó forgás választása



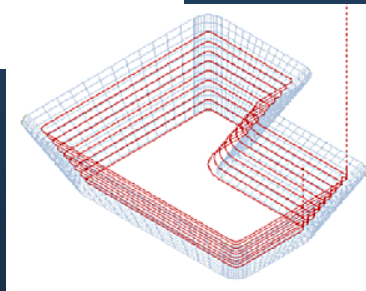
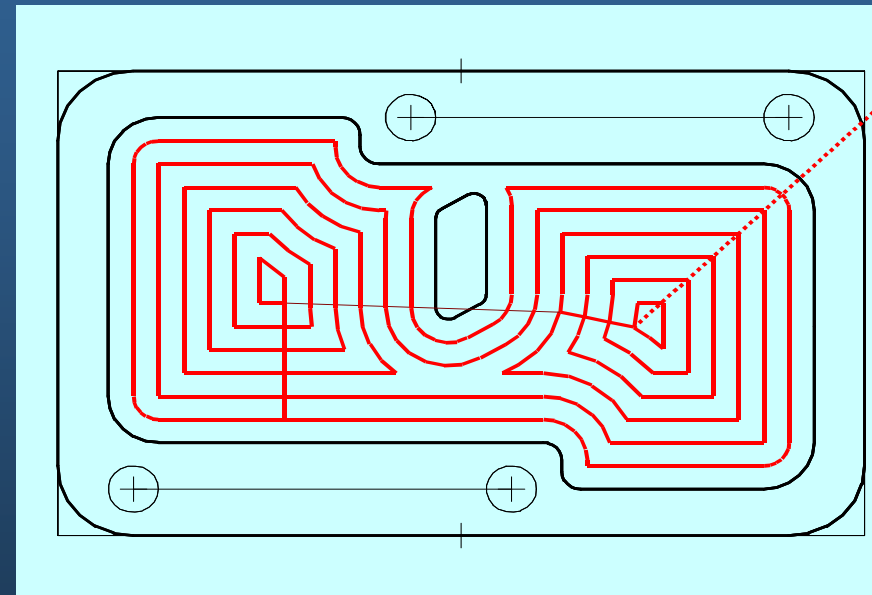
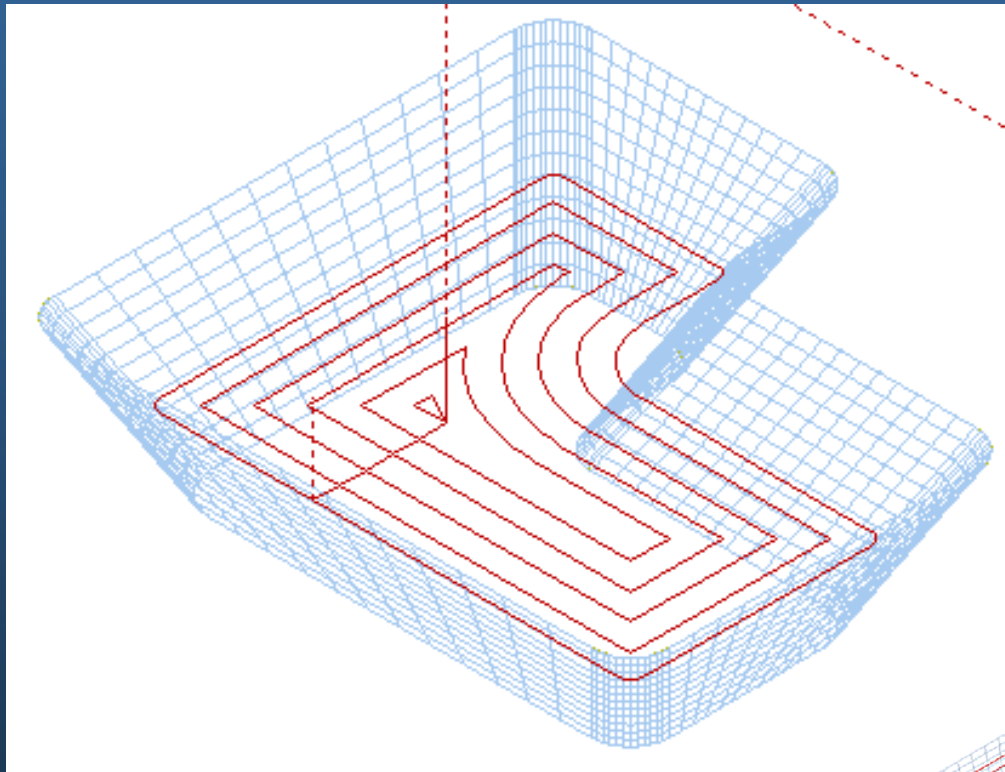
## Megnevezések nagyolásnál:

- Egy-, Kétirányú megmunkálás
- Cikk-Cakk (Zig-Zag)
- Pásztázás (Parallel Lace)

## Megnevezések simításnál:

- Kontúrozás (lásd alsó ábra)

# Váltakozó irányú megmunkálás



## Megnevezések :

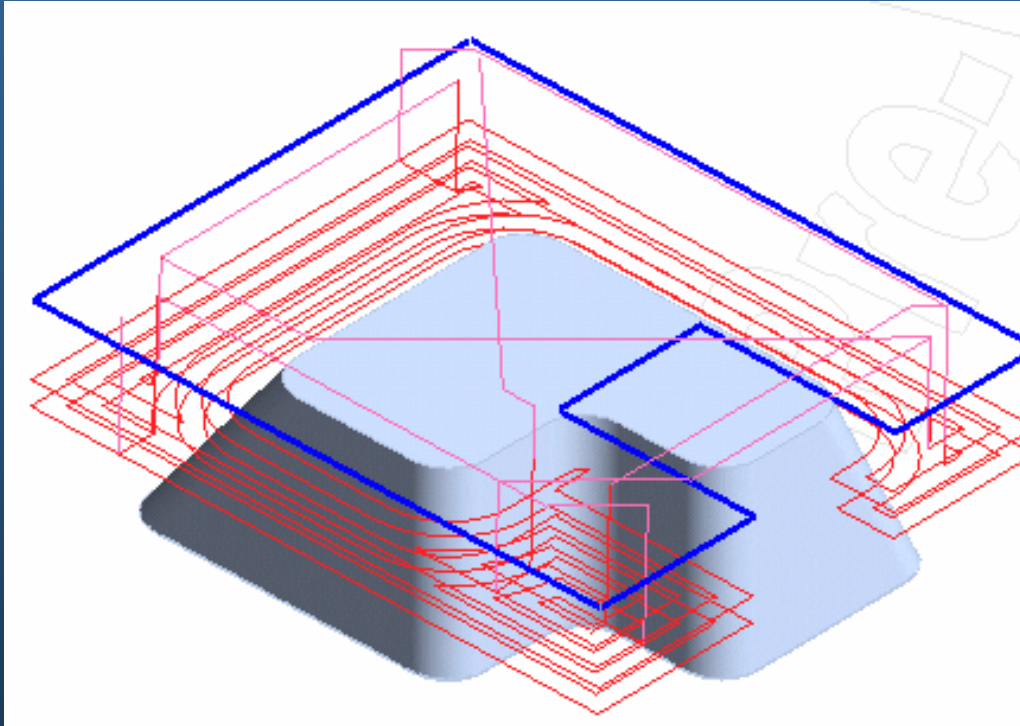
- Csigavonalas megmunkálás
- Cirkuláris megmunkálás (Meander)
- Területmarás (Area clear)



# Nagyolás és Simítás

## és a megmunkálási határgörbe szerepe

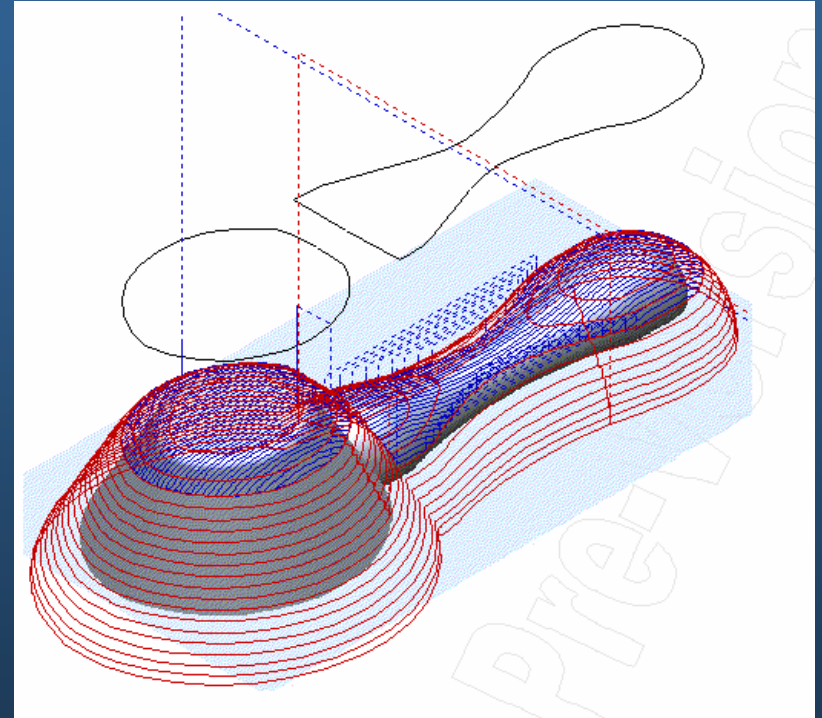
Ráhagyáskövető, -generáló stratégia: a pályák a ráhagyást rajzolják ki, a darabra csupán következtetni lehet a kihagyott térrész alapján)



### Nagyolás

- cirkuláris teraszolás

Felületkövető, -generáló stratégia: a pályák a felületet rajzolják ki, a ráhagyásról nem adnak felvilágosítást

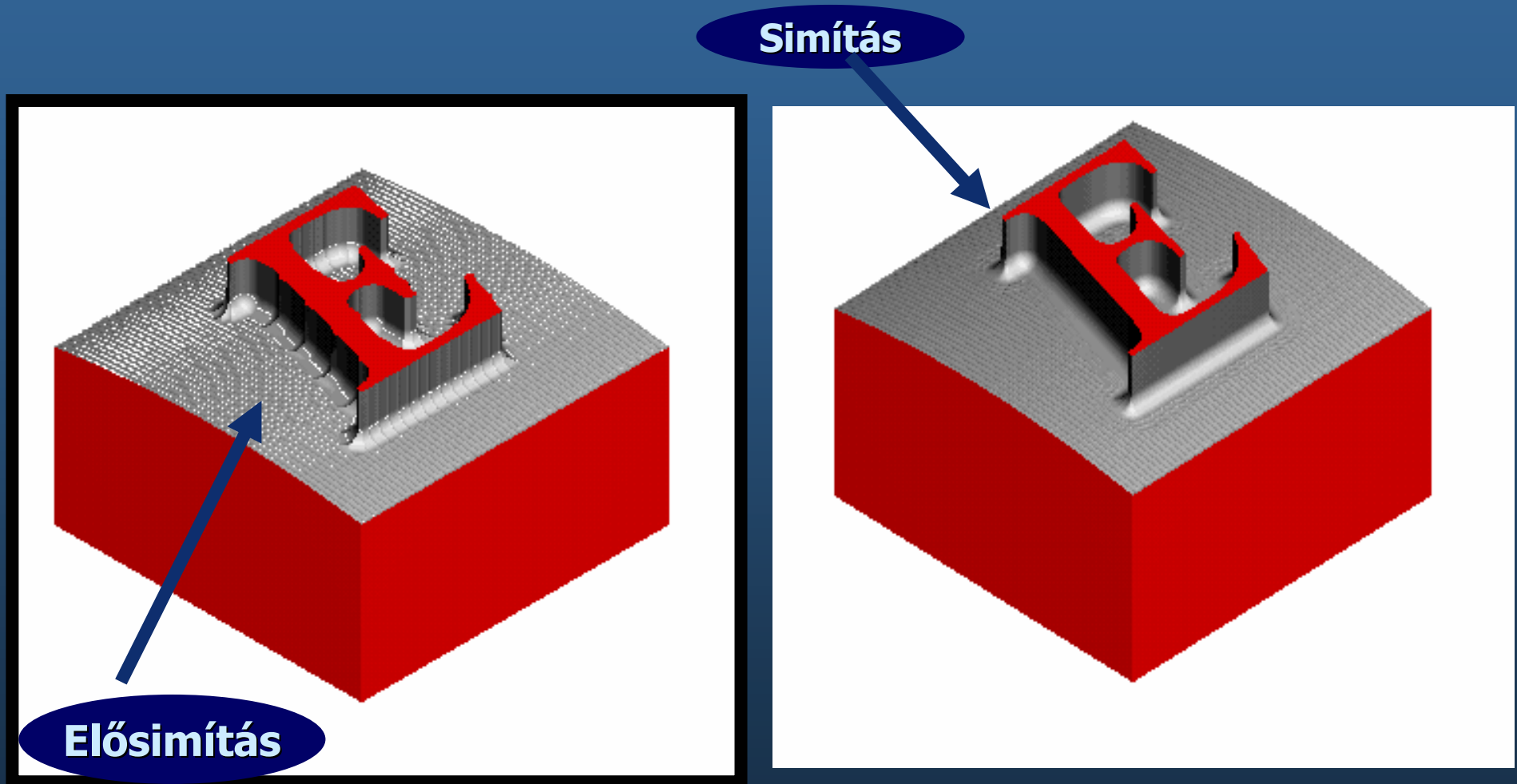


### Simítás

- kontúrozás a teljes felületen – piros
- pásztázás határgörbén belül – kék

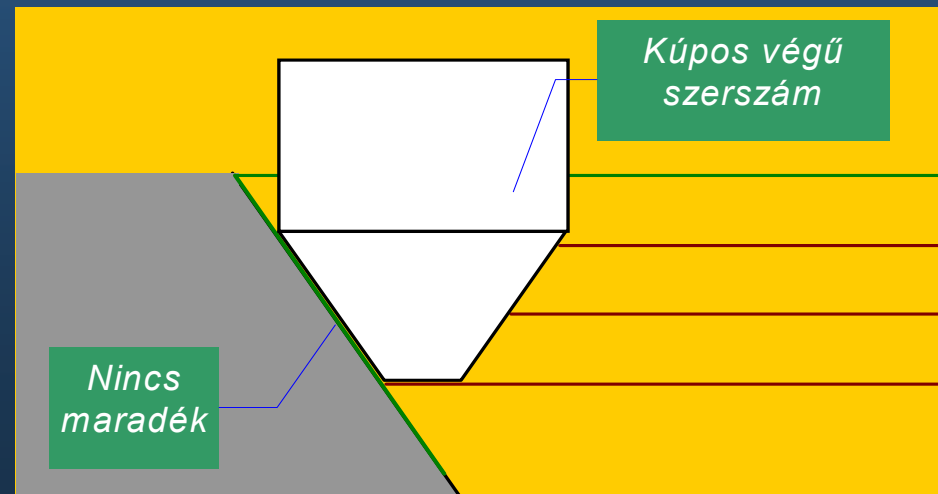
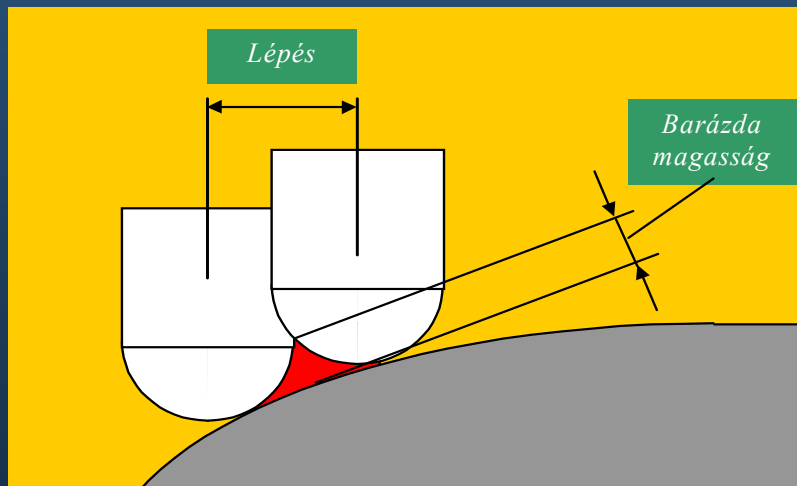
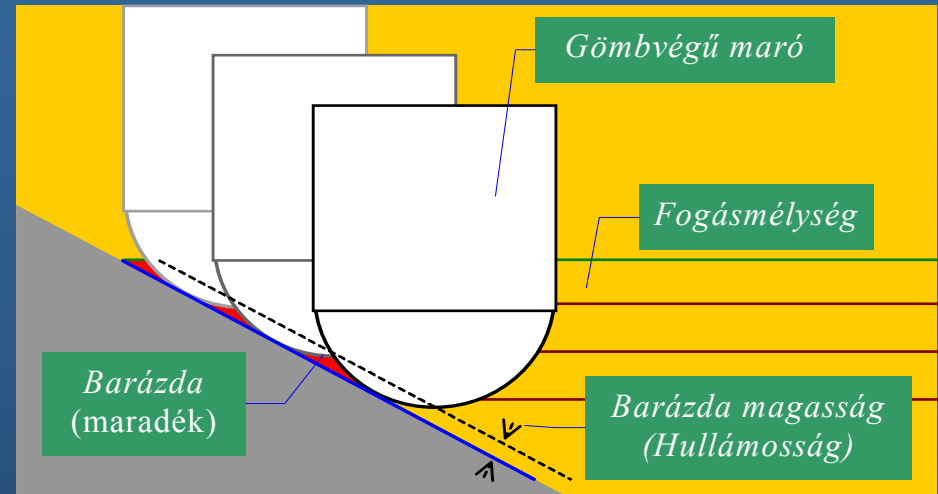
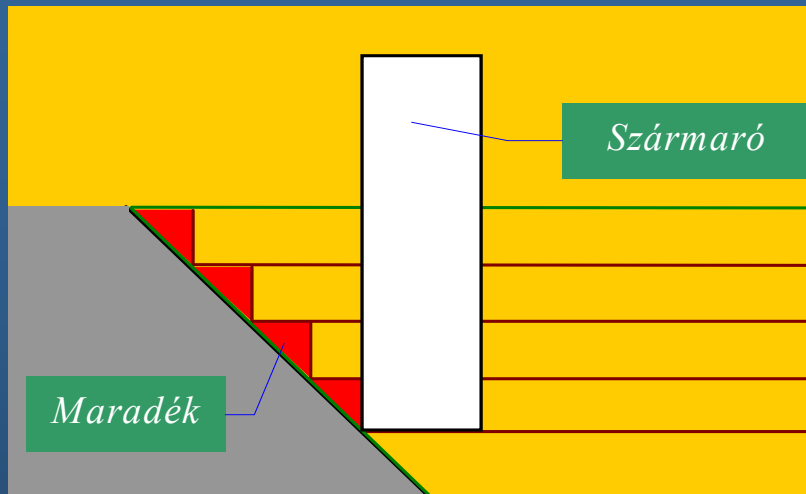
Határgörbén kívül nincsen mozgáspálya

# Simítás stratégiák



Felületkövető, -generáló stratégiák, mikor a ráhagyás alakja, mérete közvetlenül nem, viszont a generált felületre megengedett barázdáltság (felületi integritás) nagyban befolyásolja a generált szerszám pályákat.

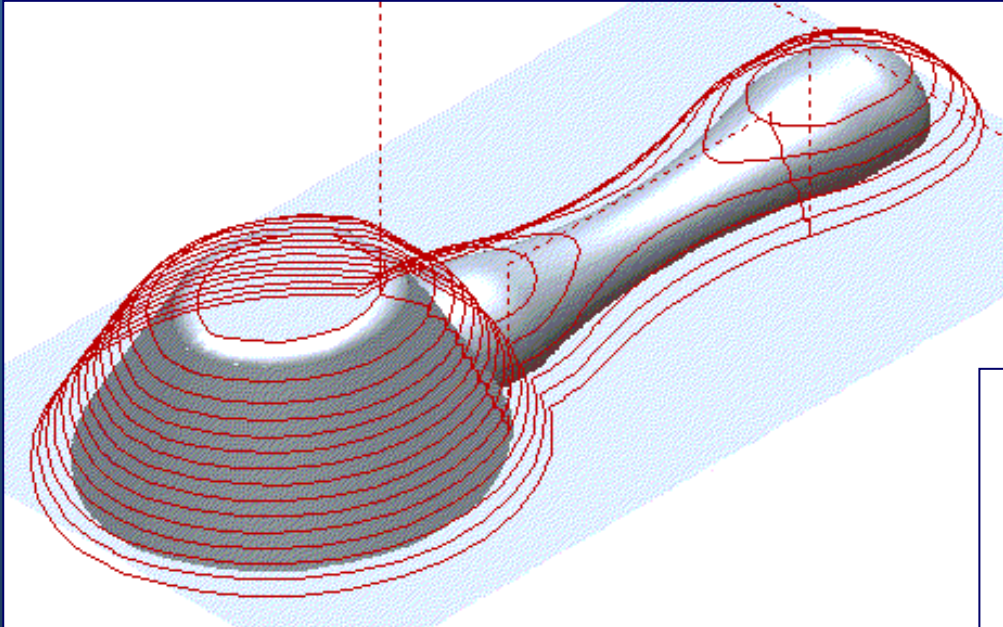
# Felületi integritás: barázdáltság



Megjegyzés: Nemcsak a barázda-keresztmetszet jellemzi a barázdáltságot! A barázdák szerszámtengely irányából nézve ugyancsak mutathatnak homogenitást avagy több-kevesebb inhomogenitást, mint az egy-, két- és változó irányú megmunkálási stratégia eredményei.

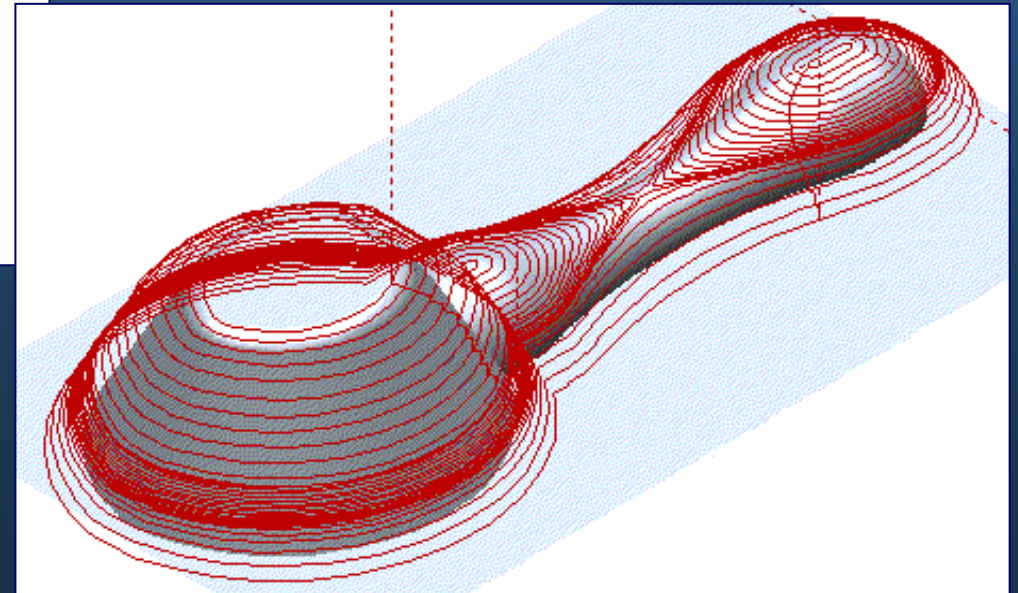
# 2.5D-s simítás – Kontúrozás

## Felületi minőség figyelembevétele fogásvételnél

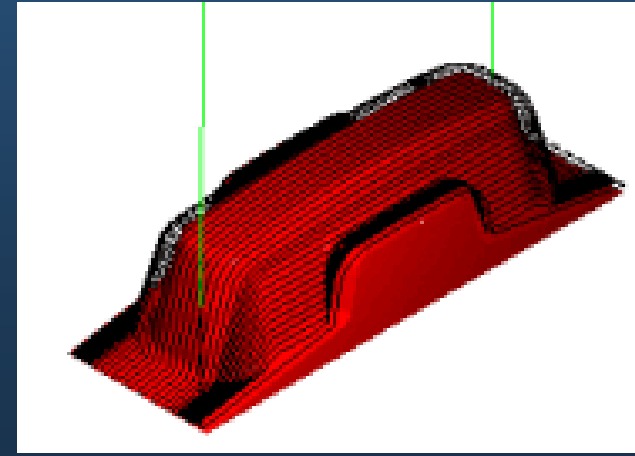
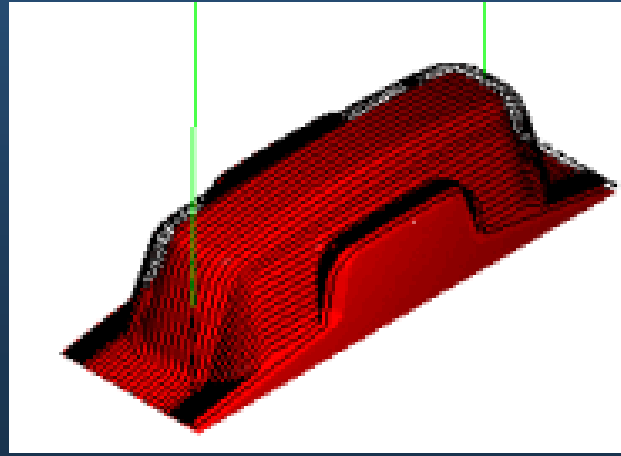
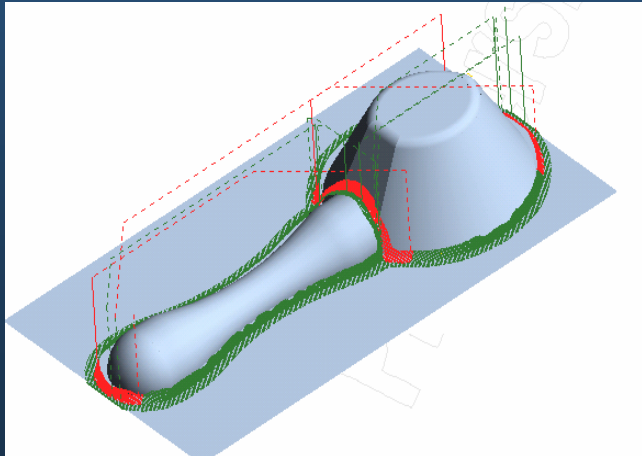
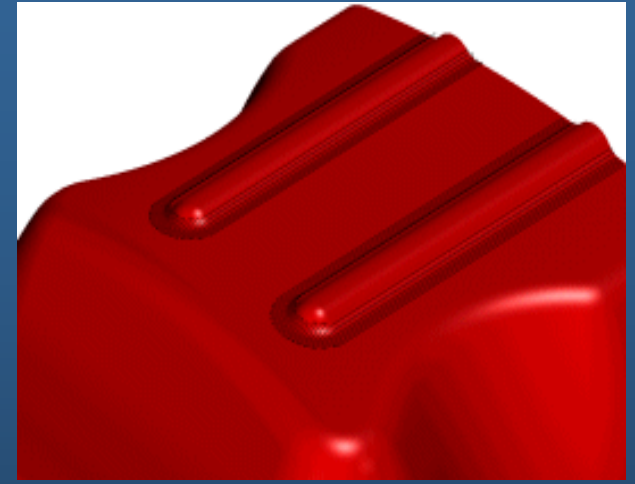
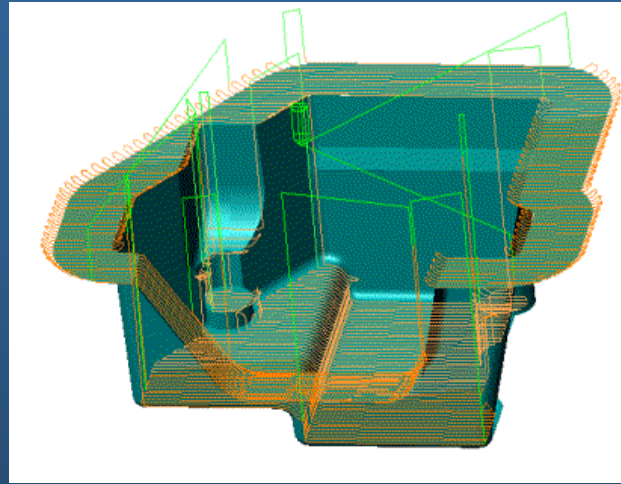
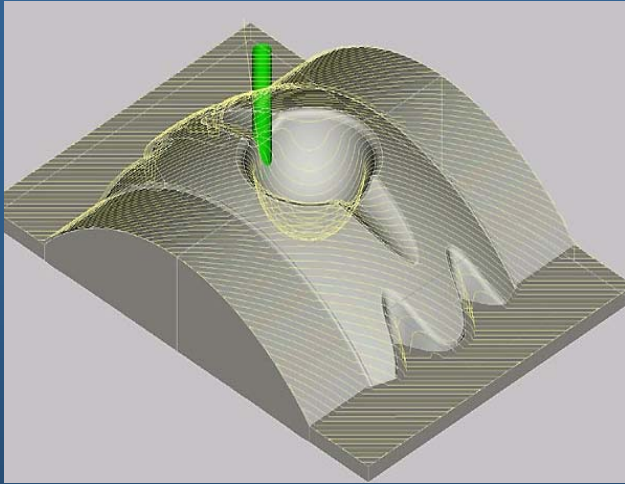


**Egyenletes fogásmélység,  
megmunkálási szintváltás**

**Fogásmélység, megmunkálási szintváltás  
állandó barázd méret mellett**

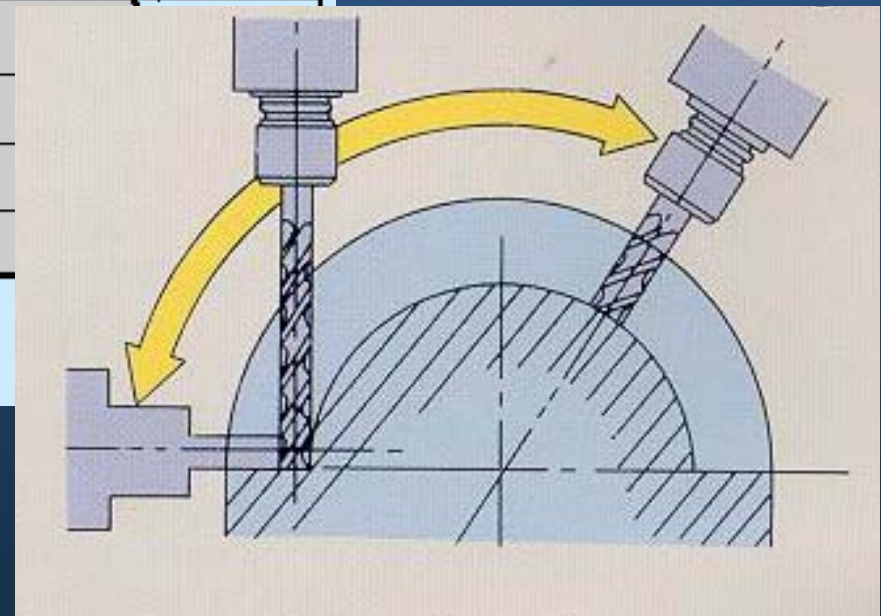
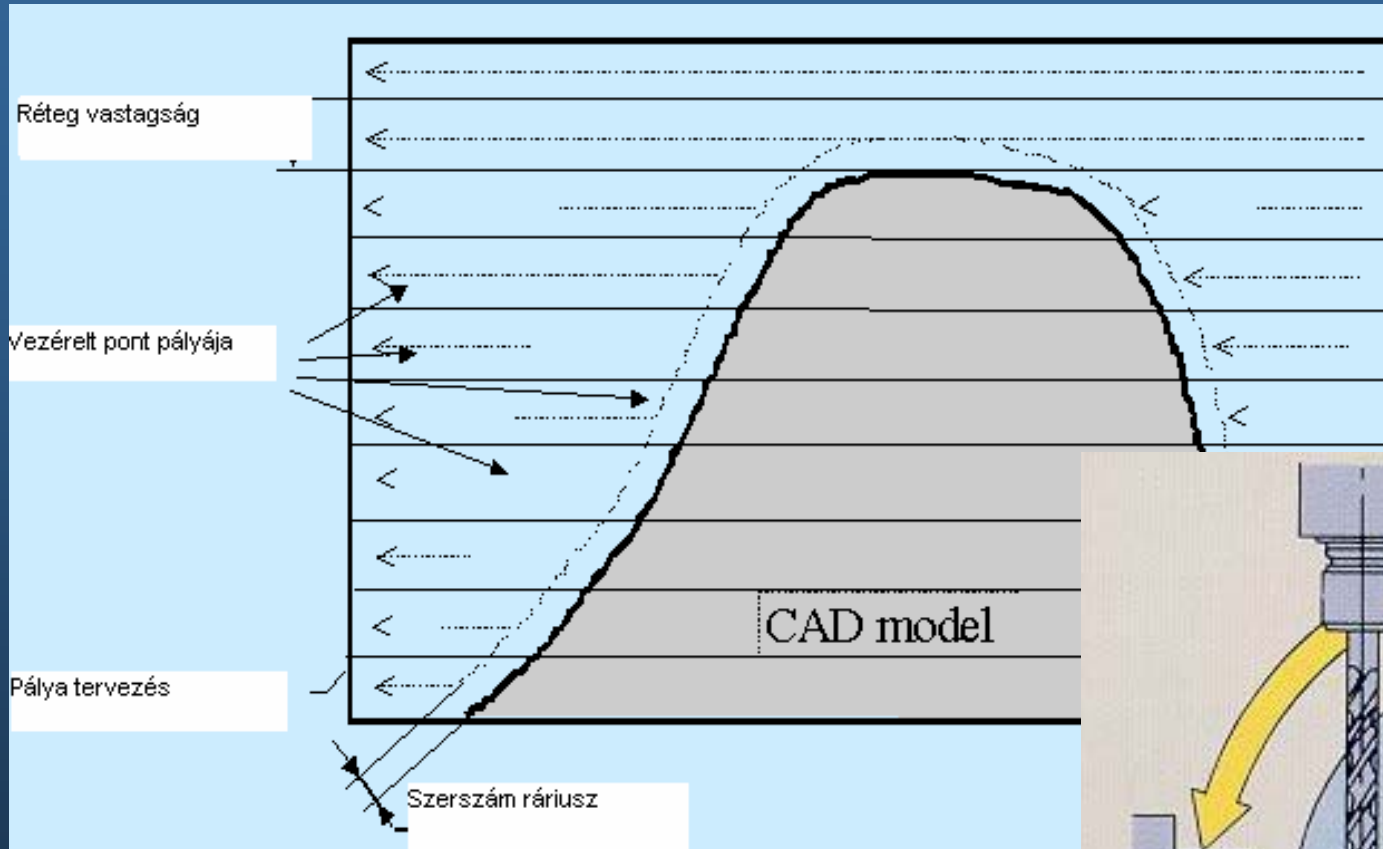


# 3D-s mozgáspálya generálási stratégiák



Felület pásztázás; azaz párhuzamos megmunkálás nem gépi síkokban (Surface lace)

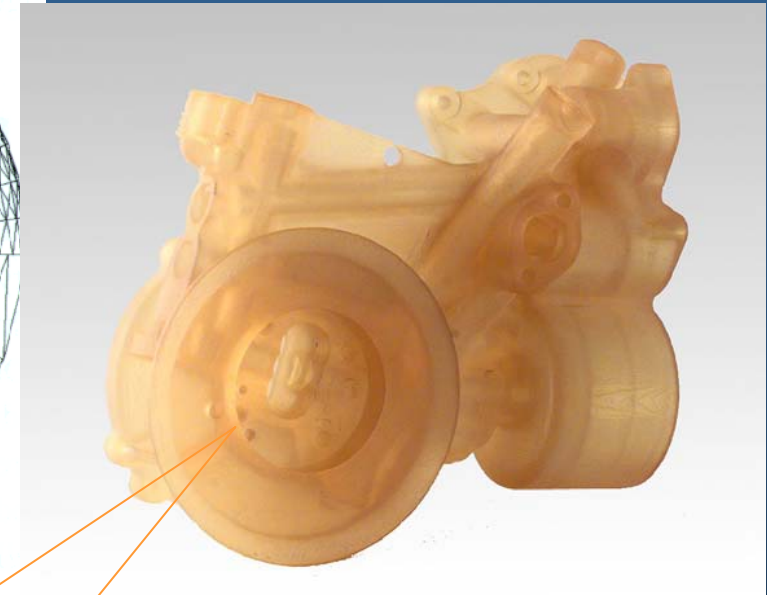
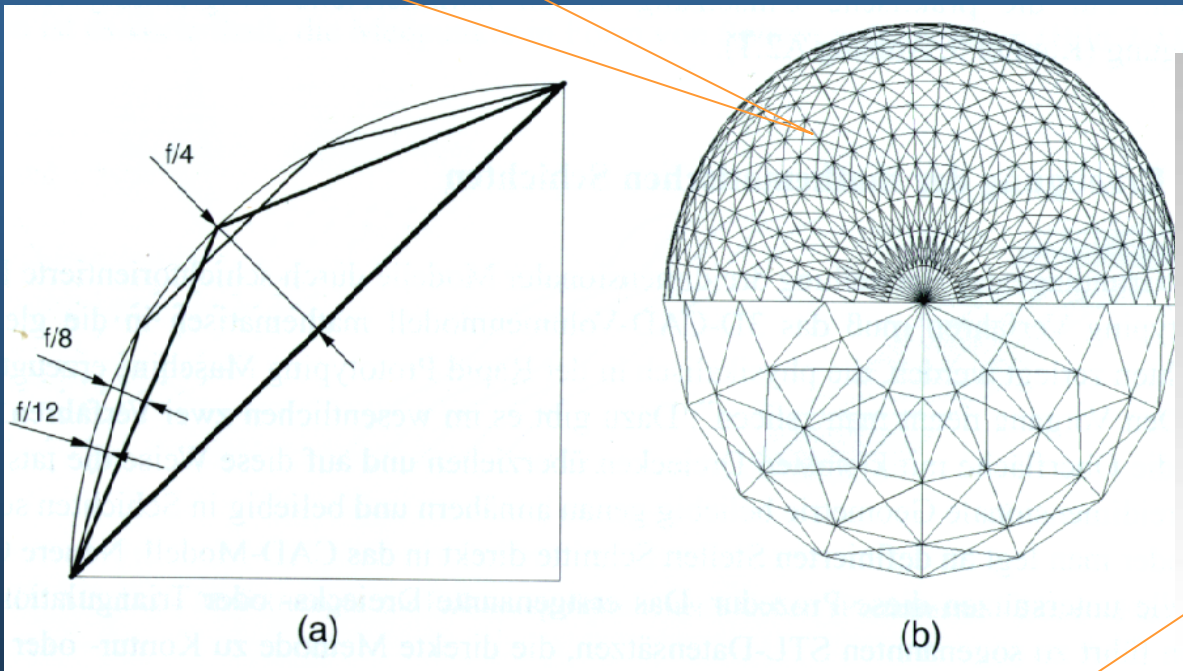
# Alkatrészmodell és szerszámpályák



**Egyenközű görbe**  
**Szerszámtengely - normális**

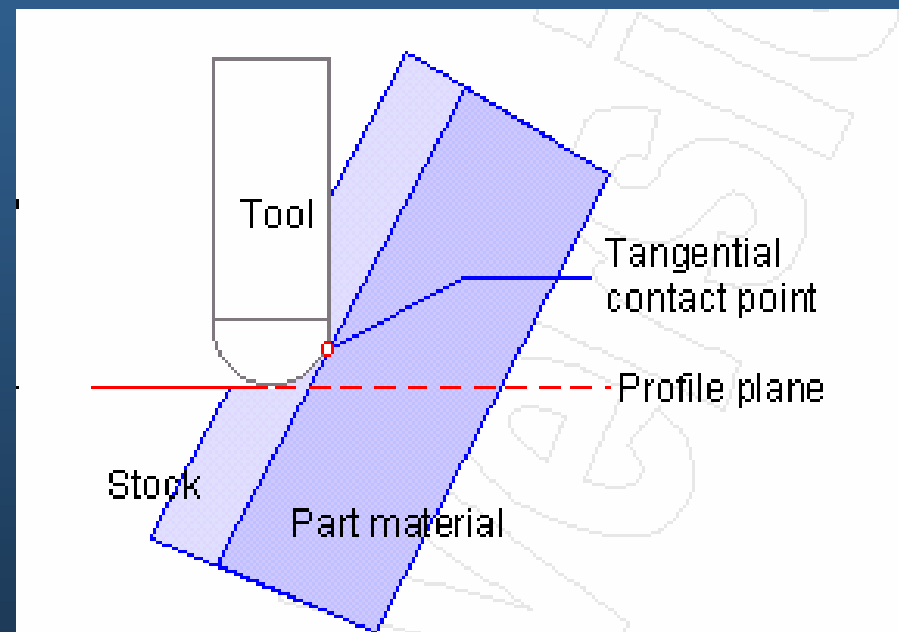
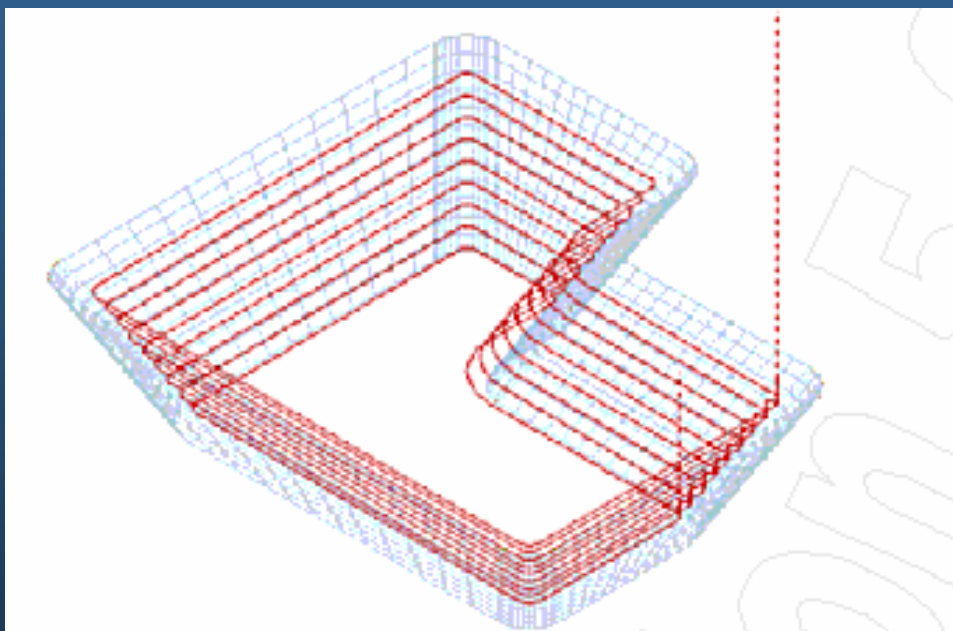
# A háromszögelés „triangulation” elve

A rétegeképítés alapja a „VOXEL”  
geometria



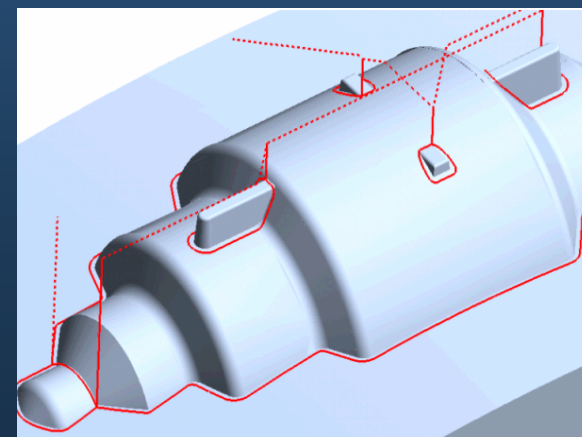
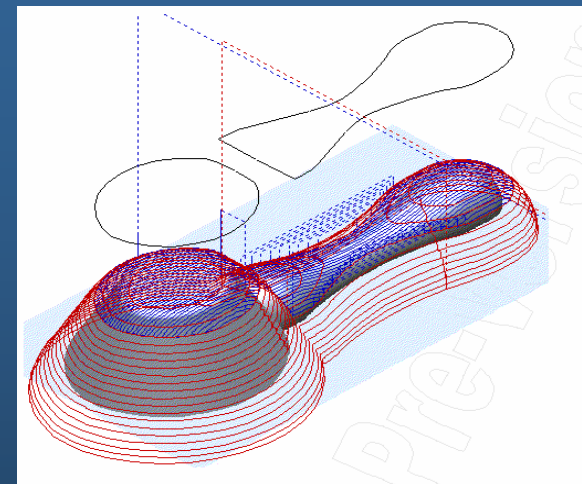
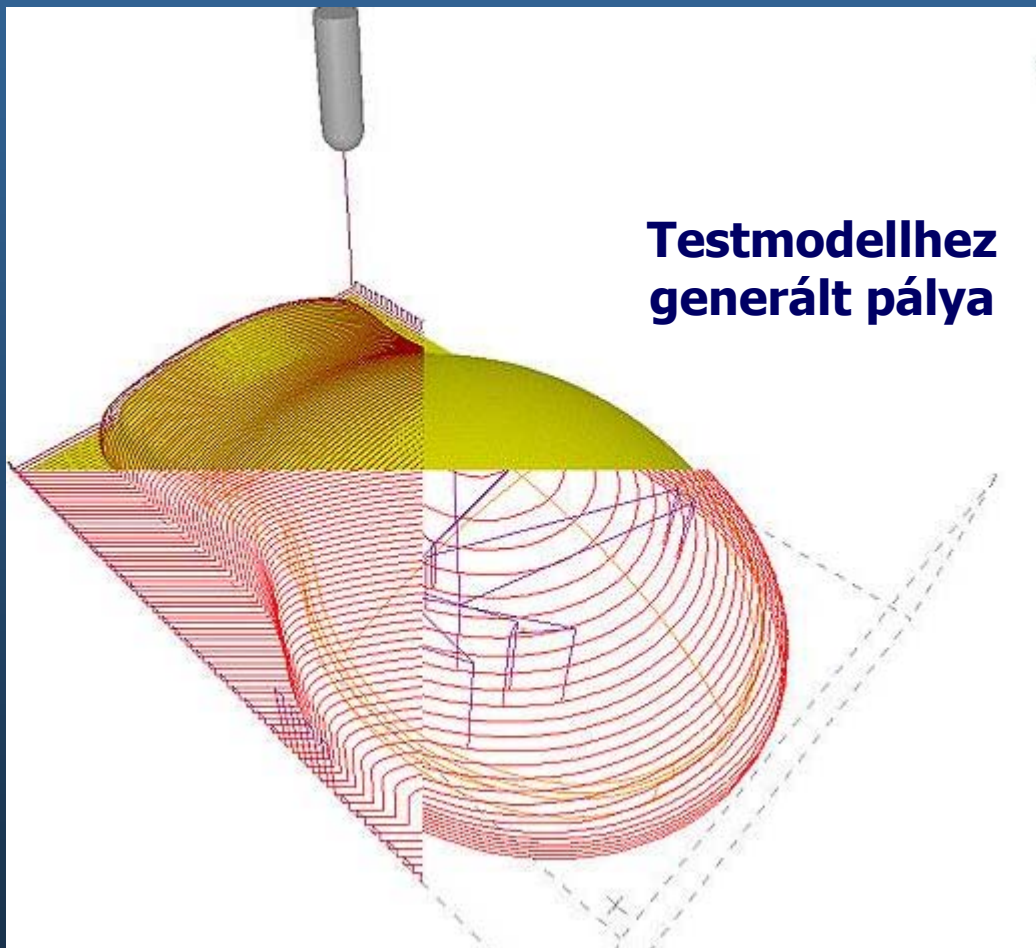
Anyaga eljárástól függően lehet  
műanyag, fém, papír, ..

# A szerszám relatív helyzete



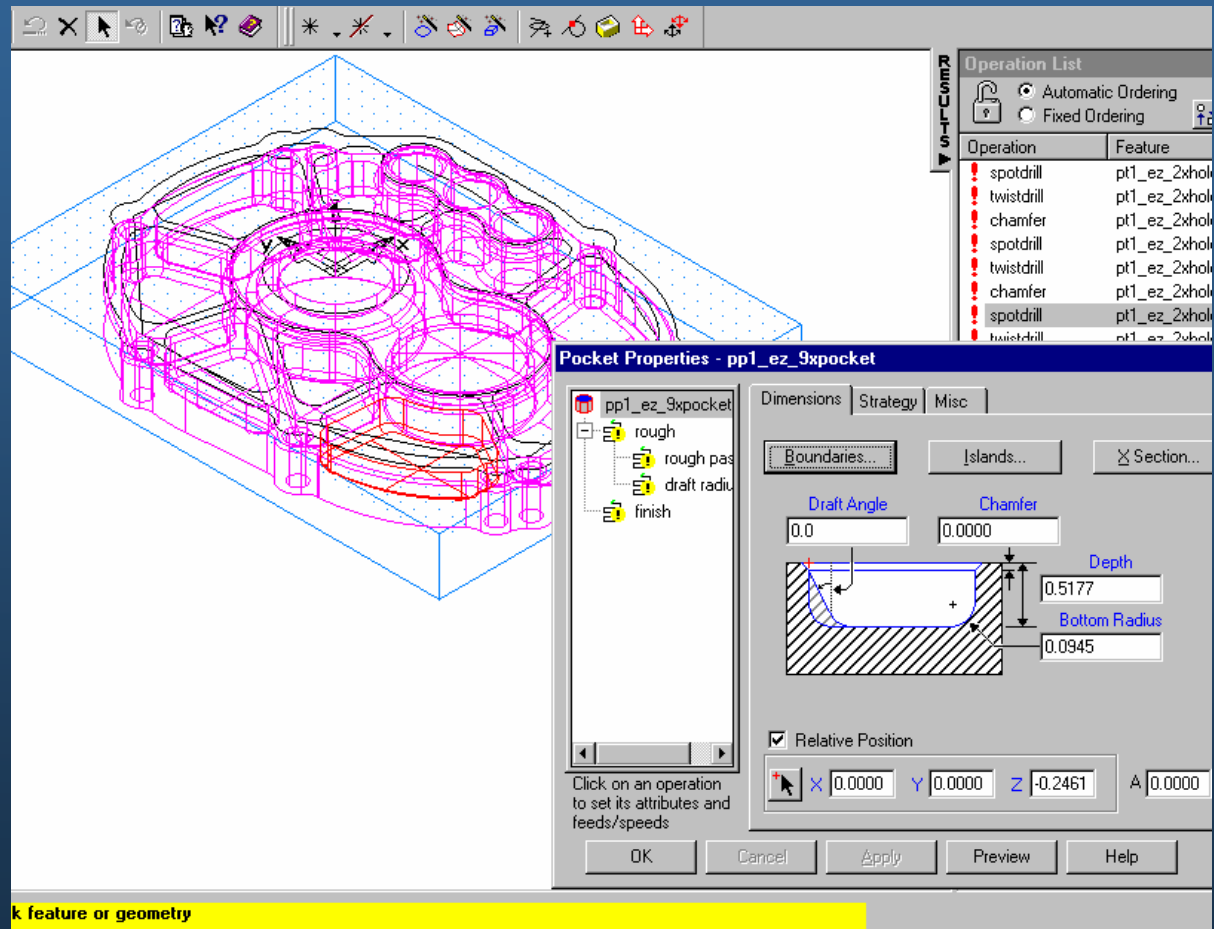


# Szerszámpálya generálás, megjelenítés

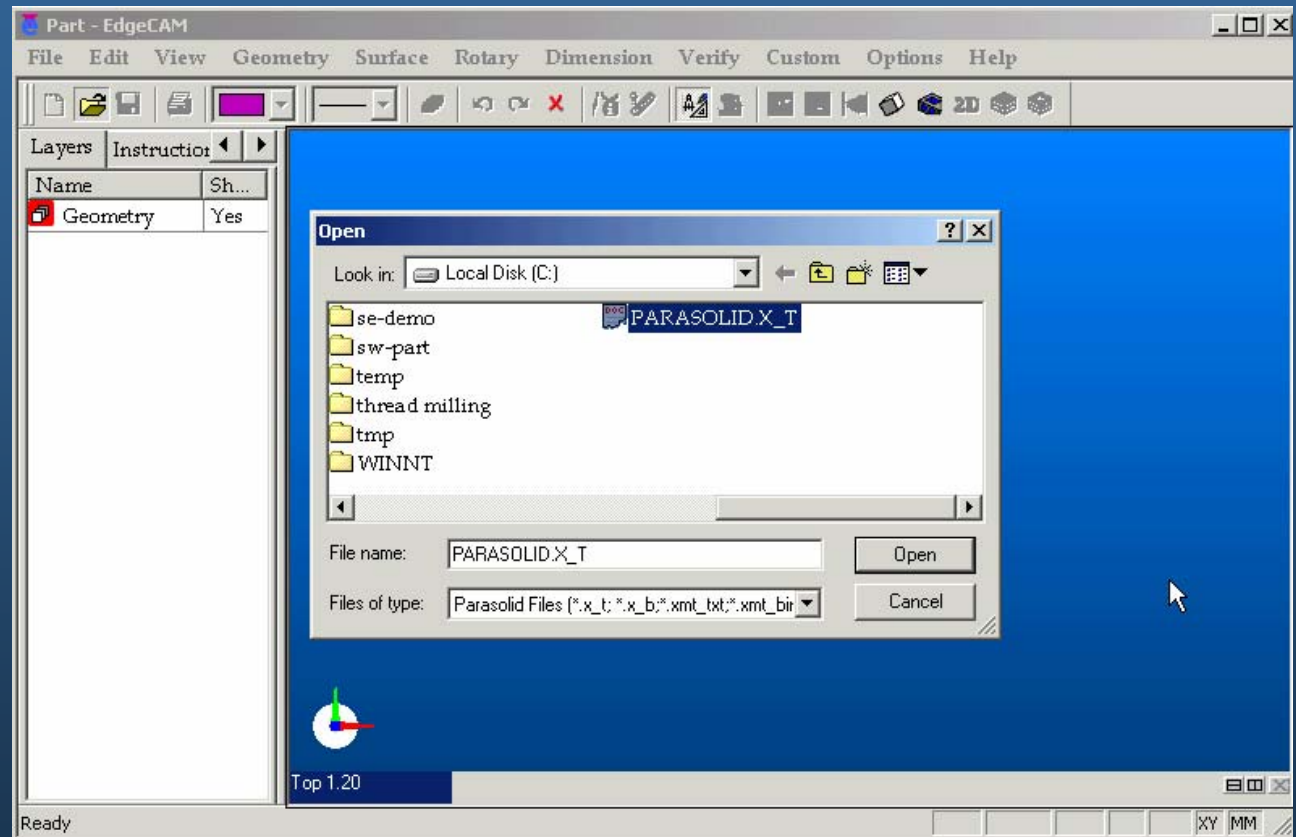
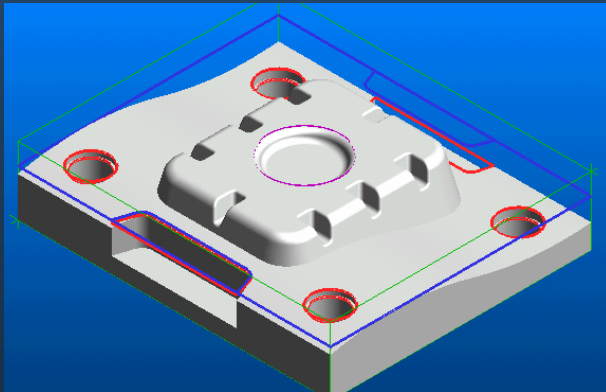


# Alakzat sajátosság (feature) alapú pálya tervezés

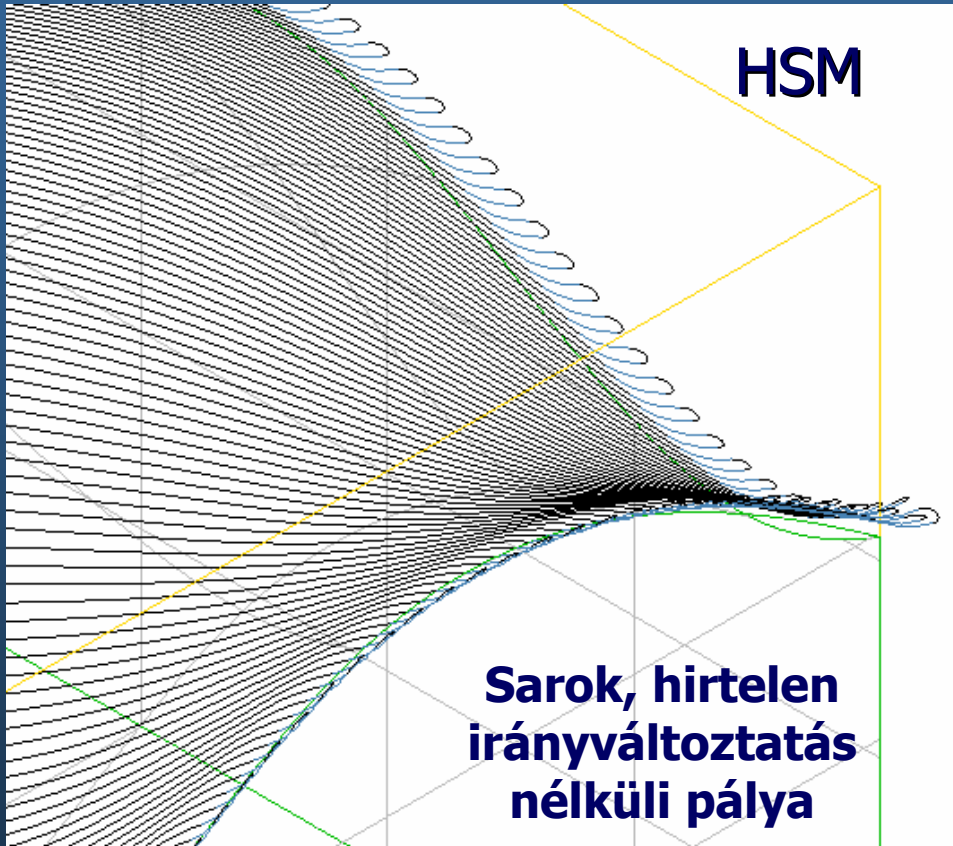
- Alaksajátosságok felismerése, azonosítása
- Felület csoportok kijelölése
- Automatikus szerszámválasztás
- Szerszám pálya generálás
- Szerszám pálya editálás
- Asszociativitás megmarad



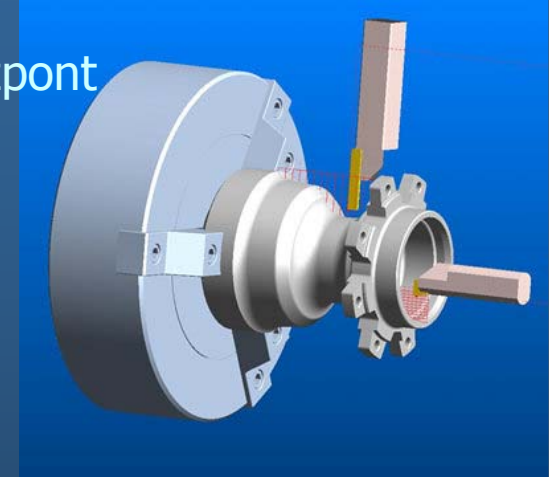
# CAD modelleken azonosított alakzat (feature)



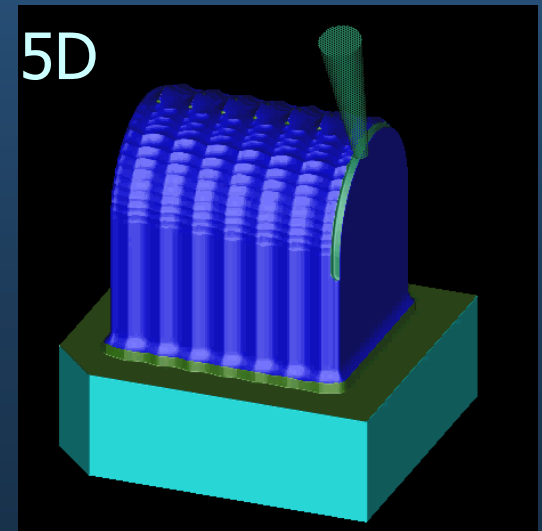
# Speciális szerszámpályák



Esztergaközpont

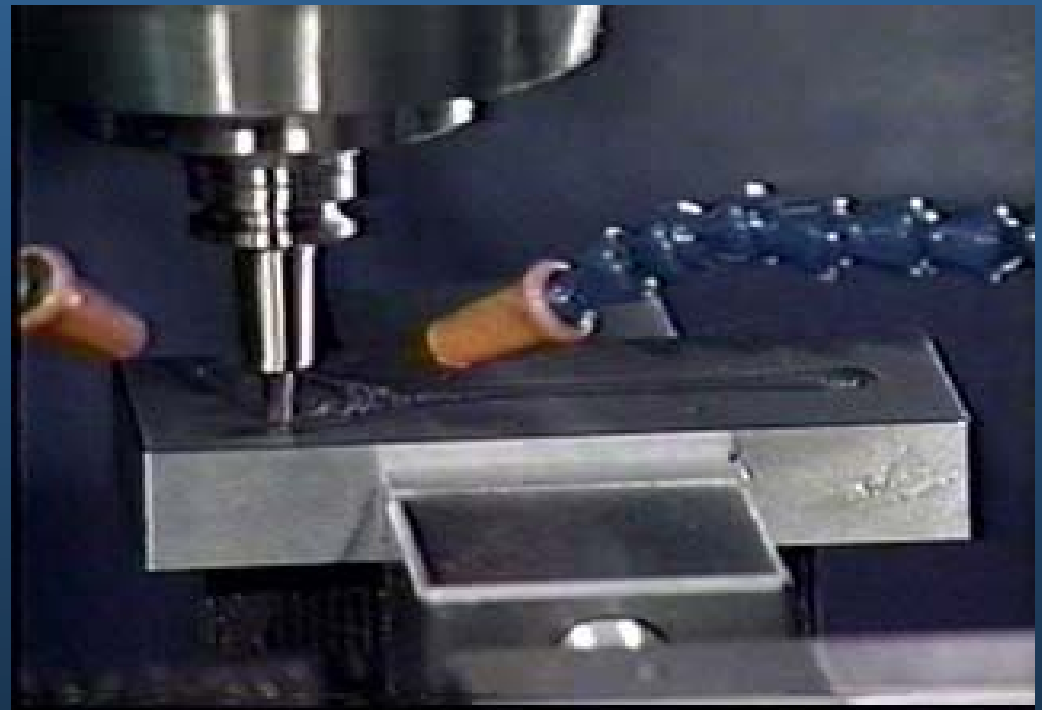


5D



# HSM megmunkálás

- - **Levegő vagy nitrogén hűtőközeg**
  - **Mikroszemcsés keményfém vagy CBN szerszámanyag**
  - **Spline interpoláció**
  - **Előrettekintési funkció**
  - **Programellátás**



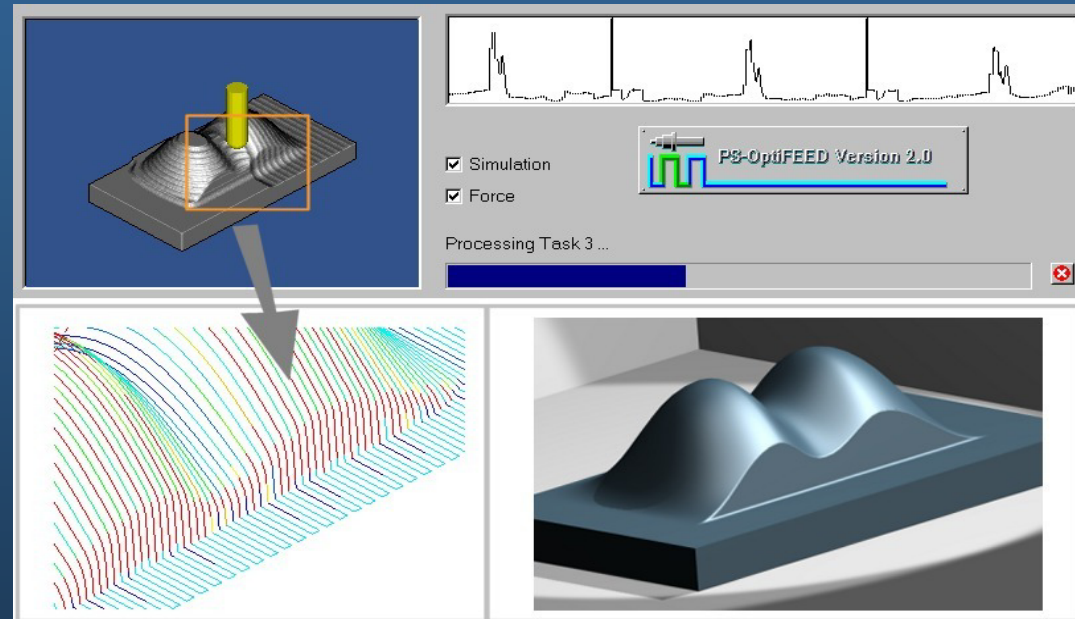
Dupla kattintás a képre a videó indításához

# Előtolás optimalizálása

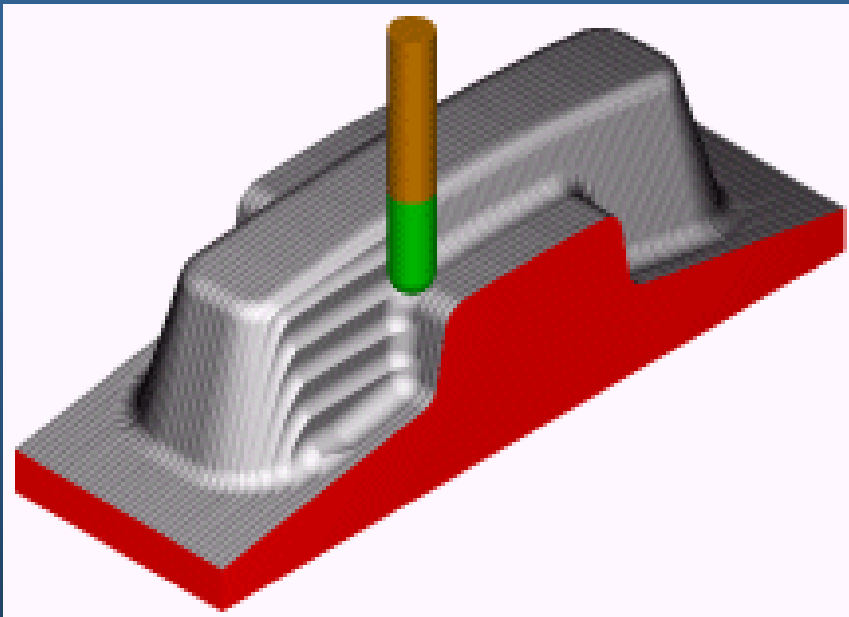
Az „*OptiFeed*” opció az aktuálisan leválasztott anyag térfogatának (vastagságának) függvényében csökkenti vagy növeli az előtolás nagyságát.

Eredmény:

- Egyenletesebb szerszámterhelés
- Jobb minőségű forgácsolt felület
- Gépi főidő csökkenése

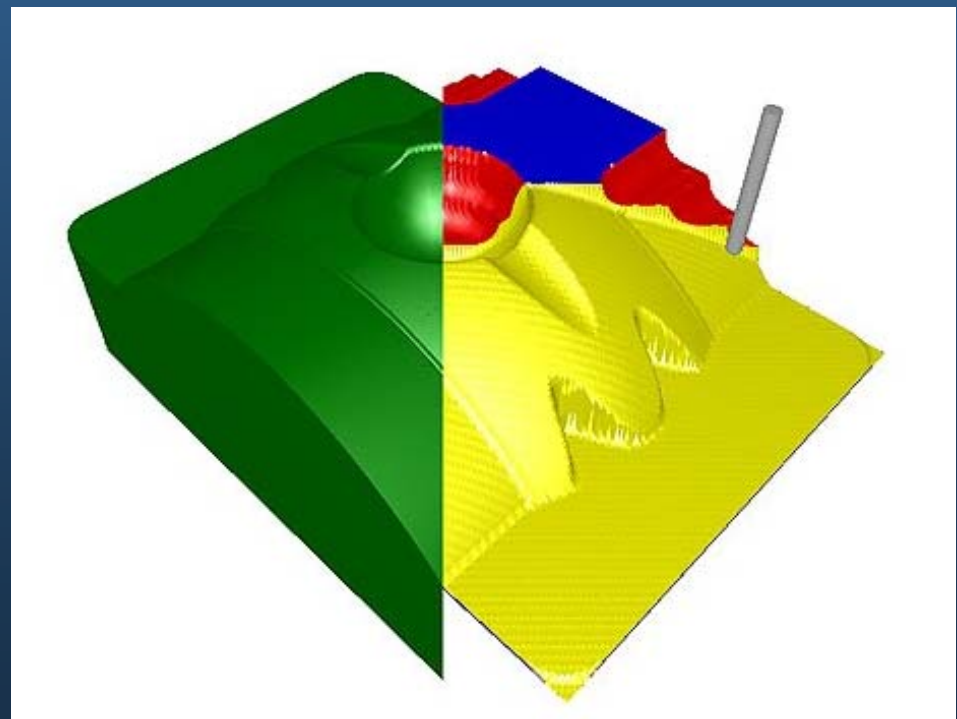


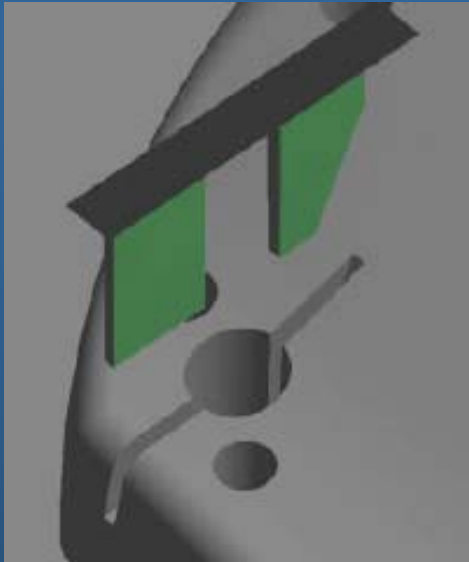
# Anyagleválasztás, szerszámpálya ellenőrzése



- Csak geometriai viszonyok ellenőrzése
- Színkódok alkalmazása az előző műveletelem nyomainak eltávolítása céljából
- Forgácsleválasztás ellenőrzése nincs

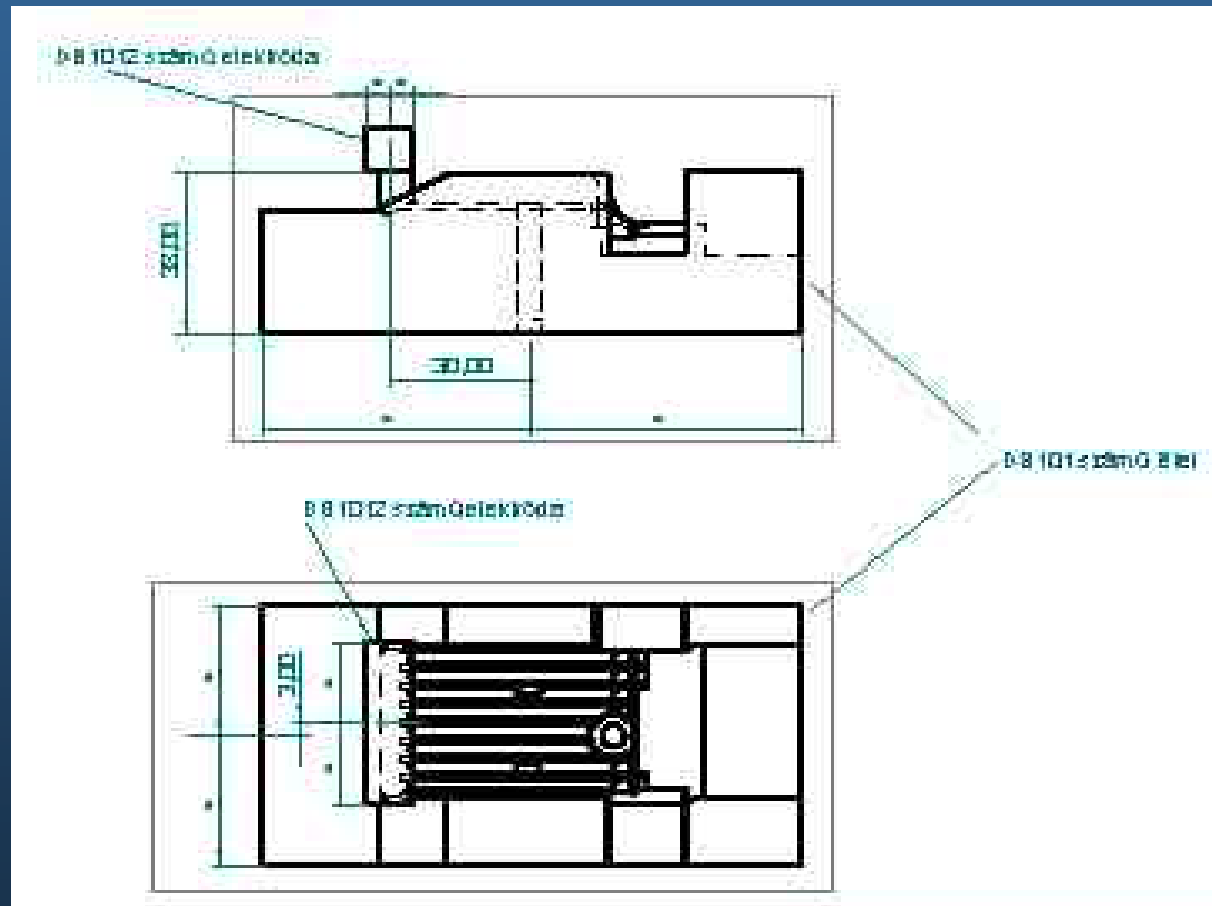
- Egy-egy műveletelem által eltávolított rétegvastagság ellenőrzése
- Összevetés a kész darab geometriájával





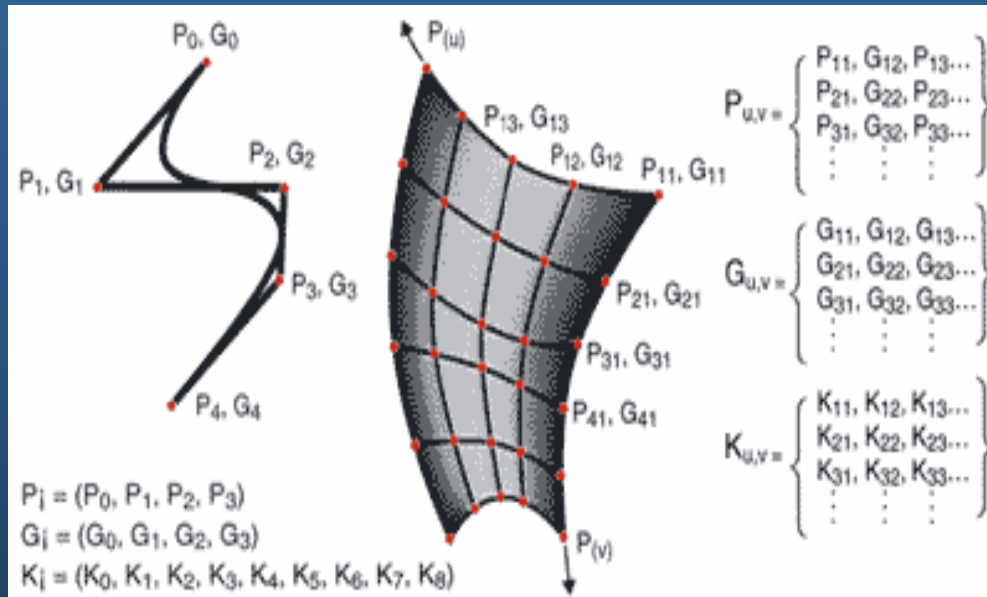
# Elektródatervezés

- **Elektródák felépítése hibrid (test és felület) modellezés alkalmazásával**
- **Szikraköz miatti profil eltolás (offset) képzés**
- **Elektróda elrendezésről egyszerű módon rajzkészítés**



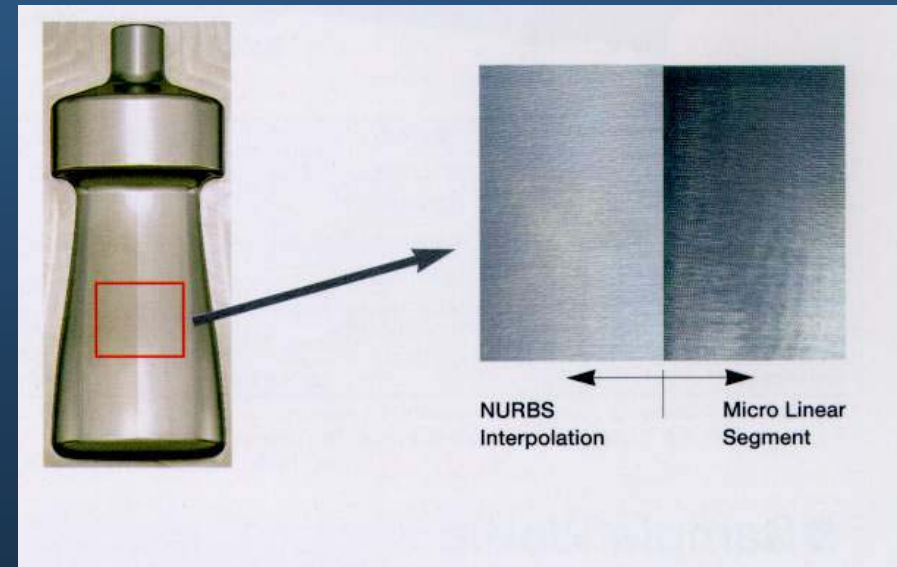


# NURBS interpoláció

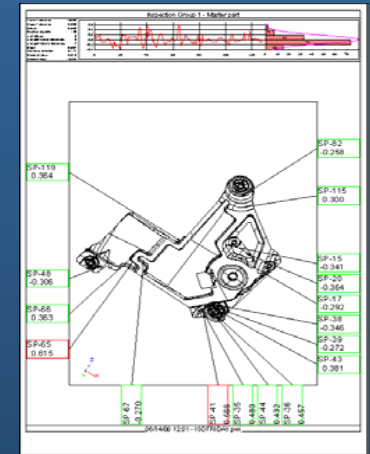
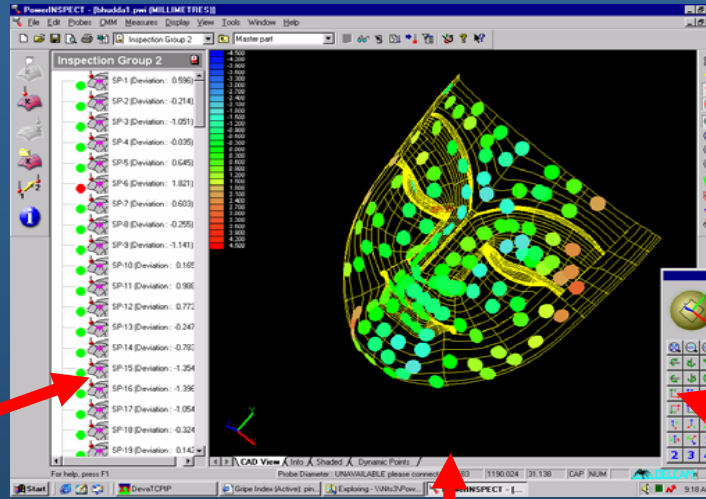


- CAM rendszerben spline (NURBS) interpoláció  
- UG, EdgeCam
- Transzformálás a vezérlésben

- NC program hossza lecsökken
- Felület minősége javul
- Megmunkálás pontossága jobb lesz

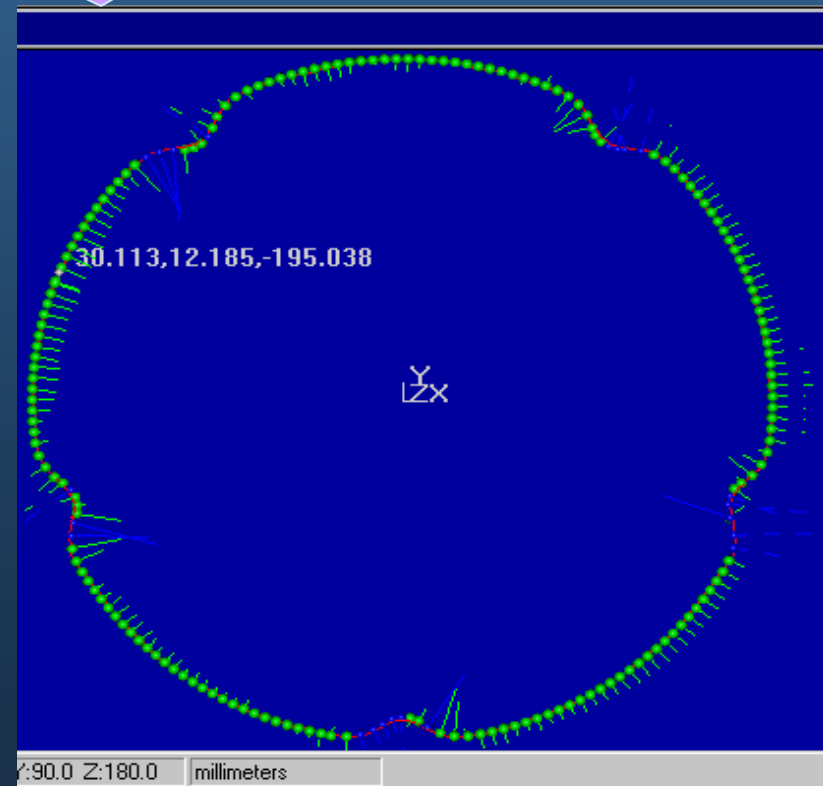
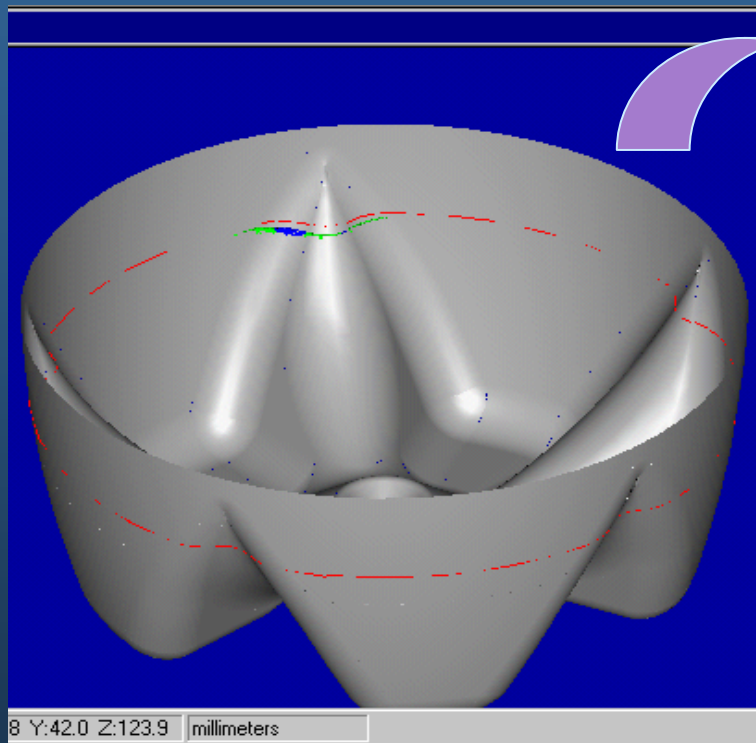


# Mérés 3D-s modell alapján



# Metszet generálás, mérés

Z-re merőleges síkkal metszve

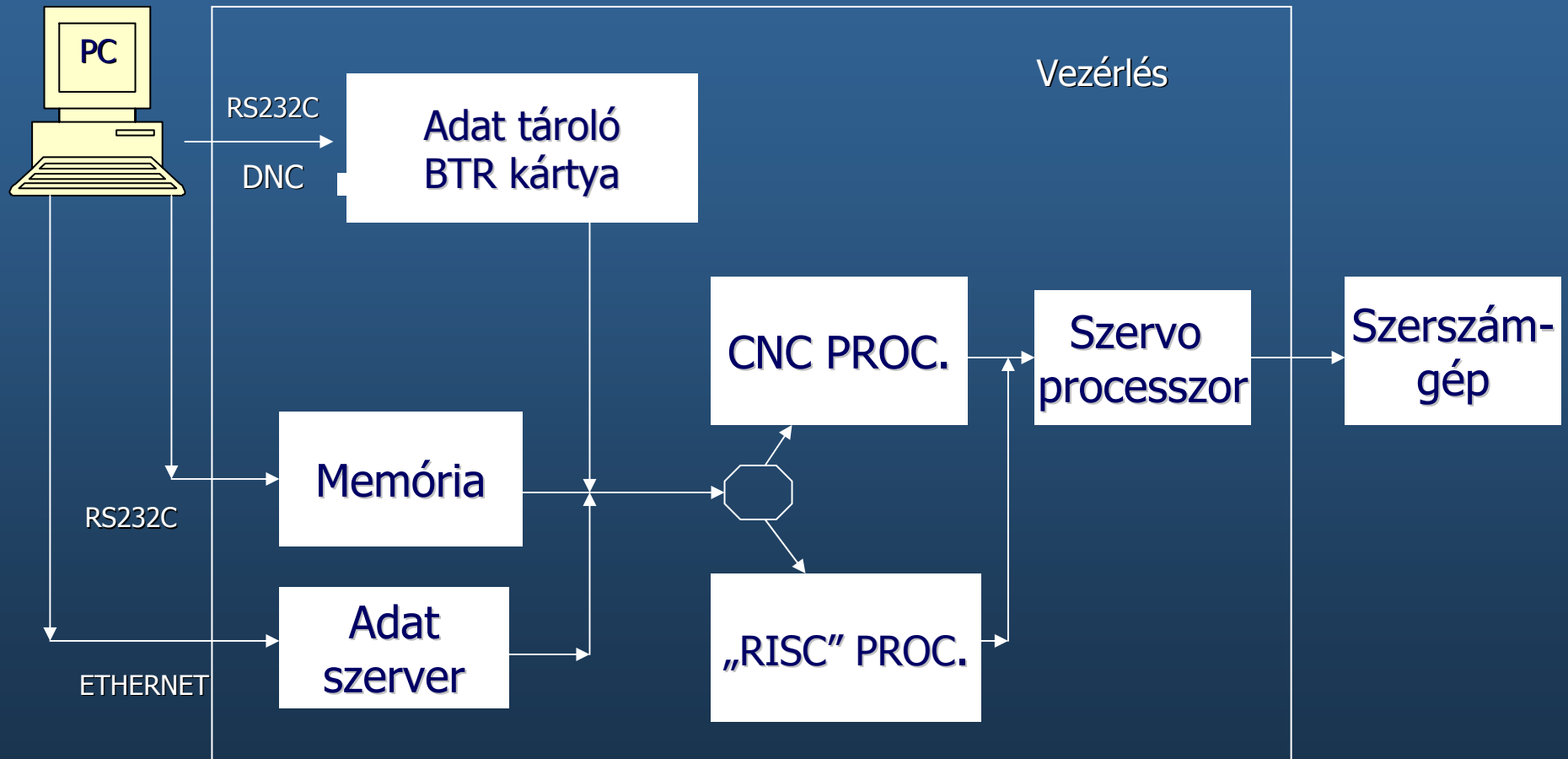


# Illesztés

Közbenső felületek, formátumok, interfészek, poszt-processzálás

→	CAD	Munkadarab geometria (Besier görbék, NURBS felületek), analitikus felületekkel való helyettesítés, hálózás. <b>IGES, VDA-FS, SAT, STEP</b>
→	CAM <sup>■</sup>	Szerszámpálya generálása, szerszám mozgáspályát leíró <b>CLDATA</b> file létrehozása. Általános térbeli mozgás, lineáris egyenes vagy spline interpoláció
→	POST-PROC	Alkatrész-program, <b>NC file</b> generálása, CAM file átalakítása egy adott vezérlésnek megfelelően.
→	CNC	CNC program végrehajtása, memóriába töltés vagy DNC (RS232C vagy Ethernet) révén
→	CAQ	Méretellenőrzés minősítés, <b>(DMIS)</b> mérési adatok regisztrálása és visszacsatolása CAD-be

# Vezérlés, NC programellátás



# NC program, -fordítás

```

G00 Z.1
N0070 X-1.75 Y-.75
N0080 G01 Z-.2421 F10.
N0090 X-1.6953 Z-.2358
N0100 G05 F10000
N0110 G06.2 P4 K0. X-1.6953 Y-.75 Z-.2358 F10.
N0120 K0. X-1.6544 Z-.2313
N0130 K0. X-1.5752 Z-.2225
N0140 K0. X-1.4053 Z-.2067
N0150 K.0313 X-1.3031 Z-.1982
N0160 K.0781 X-1.1215 Z-.1847
N0170 K.125 X-.9227 Z-.1758
N0180 K.1563 X-.8082 Z-.1672
N0190 K.2188 X-.614 Z-.1593
N0200 K.2656 X-.4354 Z-.1541
N0210 K.3125 X-.248 Z-.1506
N0220 K.375 X-.0656 Z-.1489
N0230 K.4219 X.102 Z-.1492

```

Start NURBS (G06.2)

Order=4 (P)

Knot Vector (K)

Control Points (X,Y,Z)

```

#100 G0 X224.0 Y112.0
#110 Z200.0 M7
#120 X45.9 Y-52.625 F2000.0
#130 Z56.496
#140 G1 X46.231 Y-52.294 Z56.188
#150 X46.585 Y-51.94 Z55.935
#160 X46.956 Y-51.569 Z55.738
#170 X47.341 Y-51.184 Z55.602
#180 X47.734 Y-50.791 Z55.528
#190 X48.13 Y-50.395 Z55.517
#200 X48.525 Y-50.0 Z55.568
#210 X48.771 Y-49.754 Z55.62
#220 X49.017 Y-49.508 Z55.65
#230 X49.262 Y-49.262 Z55.661
#240 X49.508 Y-49.017 Z55.653
#250 X50.0 Y-48.525 Z55.608
#260 X50.396 Y-48.128 Z55.603
#270 X50.791 Y-47.734 Z55.661
#280 X51.178 Y-47.347 Z55.78
#290 X51.554 Y-46.971 Z55.961
#300 X51.912 Y-46.613 Z56.2
#310 X52.25 Y-46.275 Z56.494
#320 X52.562 Y-45.963 Z56.839
#330 X52.679 Y-45.823 Z56.966
#340 X52.778 Y-45.666 Z57.068

```



SPLINE-OK ?

EGYENESEK, KÖRÖK ?

# IRODALOM:



Dr. Horváth M., Dr. Markos S.: Számítógéppel integrált gyártás, LSI 1996

Jose Balic: Contribution to Integrated Manufacturing, DAAAM Publishing Vienna, 1999