3D számítógépes geometria és alakzatrekonstrukció

17. 3D Szegmentálás

http://cg.iit.bme.hu/portal/node/312
https://www.vik.bme.hu/kepzes/targyak/VIIIMA01

Dr. Várady Tamás, Dr. Salvi Péter
BME, Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Irányítástechnika és Informatika Tanszék

Tartalom

- digitális alakzatrekonstrukció
- a szegmentálás célja és jelentősége
- lokális felületjellemzők becslése
- szegmentáló algoritmusok

    1. Tartománynövesztés
    2. Direkt szegmentáció
    3. Morse elmélet alapján

Tervezés és alakzatrekonstrukció

Számítógéppel segített tervezés (CAD)

Input: egyértelmű specifikáció

- pontos matematikai felületek
- jól definiált geometriai operációk

CAD modell: explicit határoló elemek és topológiai struktúra

Digitális alakzatrekonstrukció (DSR)

Input: nagyméretű mért ponthalmaz, zajos és hiányos

- határoló felületek típusa és nagysága ismeretlen
- a "létrehozó" operációk és a topológiai struktúra ismeretlen

Cél: az eredeti CAD modell rekonstruálása

Tervezés és alakzatrekonstrukció

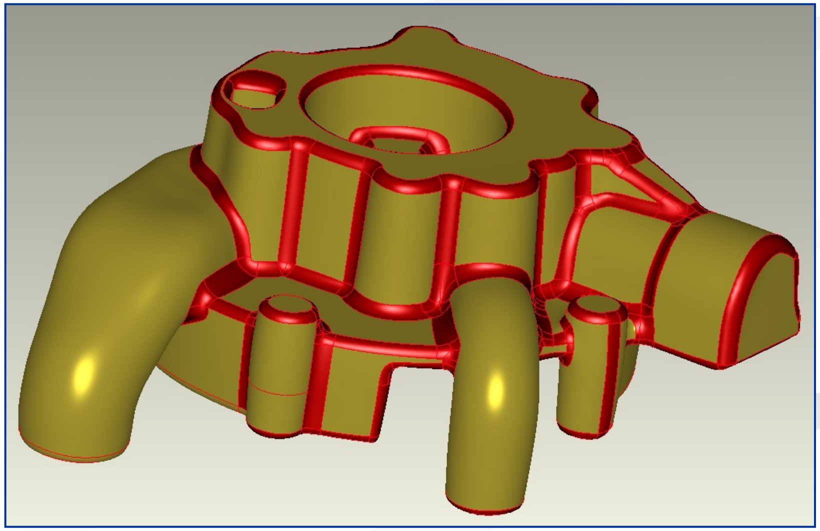
Gépipari alkatrészek struktúrája

Elsődleges (primary) felületek: funkcionális és esztétikai követelmények

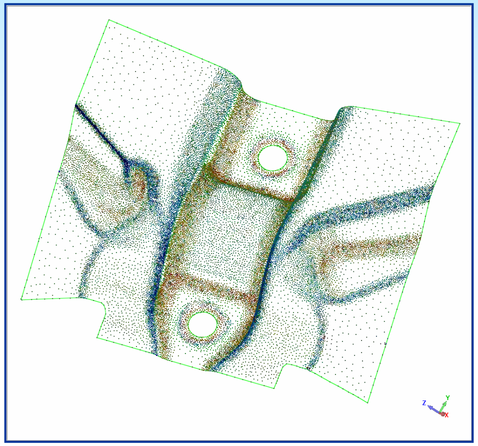
- szabályos (implicit) felületek - sík, henger, kúp, gömb...
- profilgörbék által meghatározott felületek - kihúzott- és forgásfelületek
- szabadformájú felületek

Összekötő felületek: sima átmenetek biztosítása

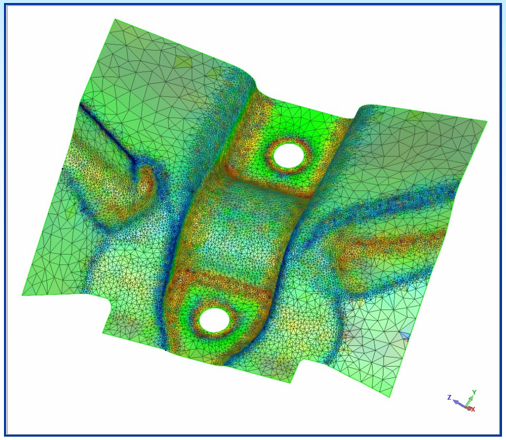
- lekerekítő felületek



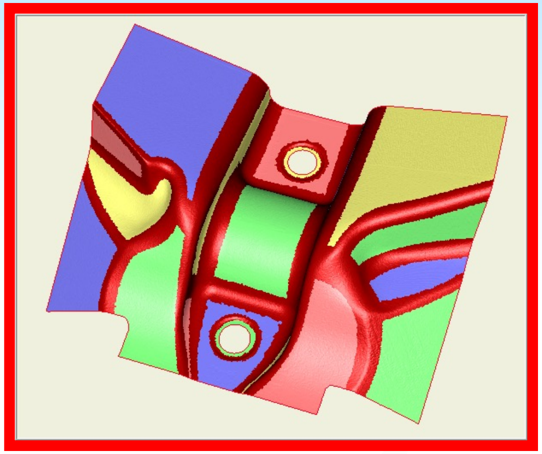
Az alakzatrekonstrukció lépései



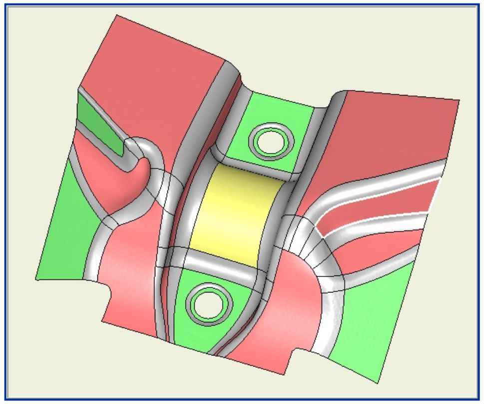
a. Pontfelhő



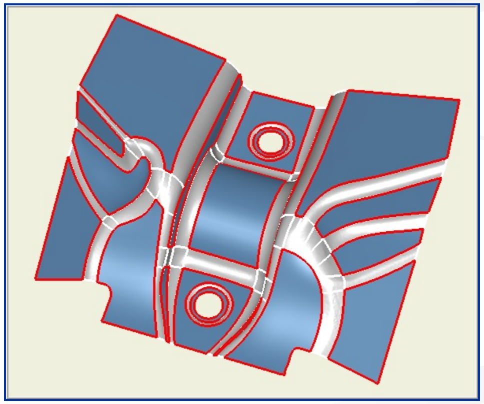
b. Háromszögháló



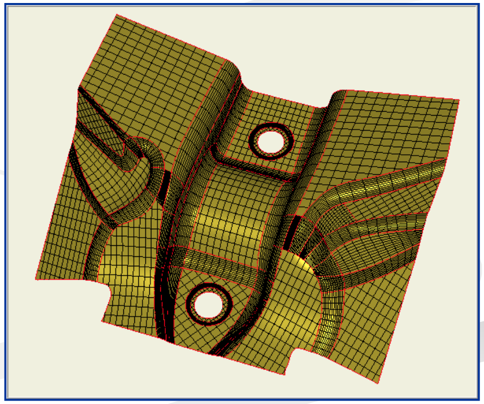
c. Szegmentálás → Tartományok



d. Osztályozás

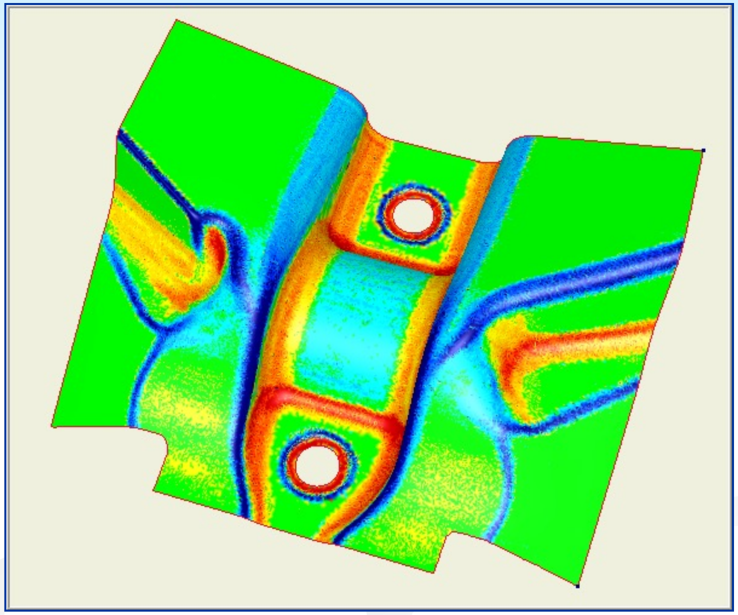


e. Elsődleges és összekötő felületek illesztése



f. CAD modell

3D szegmentálás$_1$

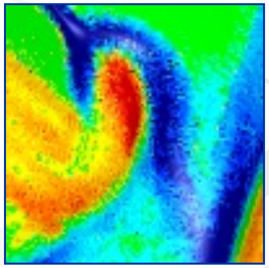


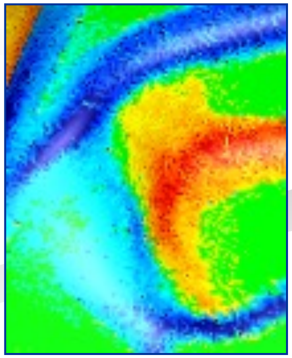
Input: nagyméretű háromszögháló

Cél: az objektum topológiai struktúrájának létrehozása

- különálló elsődleges tartományok
- elválasztó tartományok

- minden tartomány megfelel a CAD modell egy lapjának → automatikus felületosztályozás és illesztés





3D szegmentálás$_2$

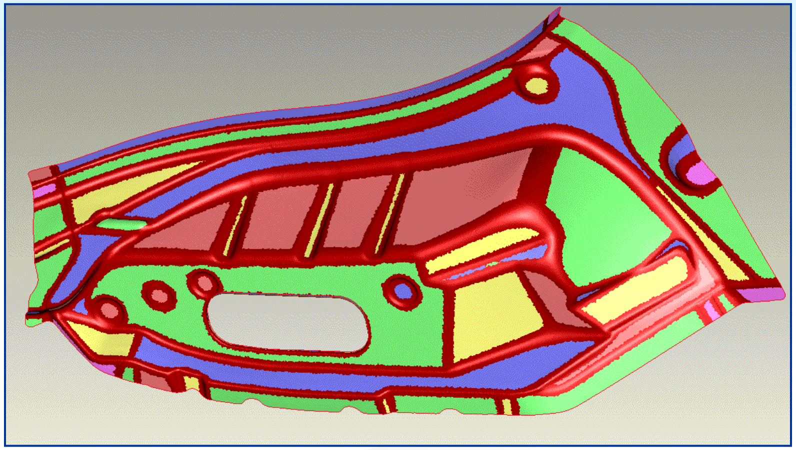
Bonyolult algoritmus:

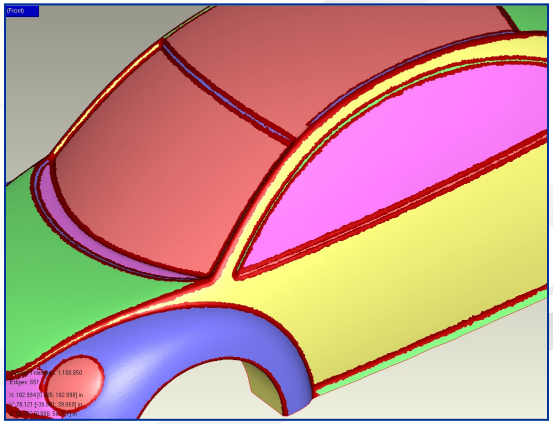
(i) a tartományok struktúrája ismeretlen
(ii) az illesztendő felületek típusa és kiterjedése ismeretlen

- tyúk - tojás probléma....
- megoldások:

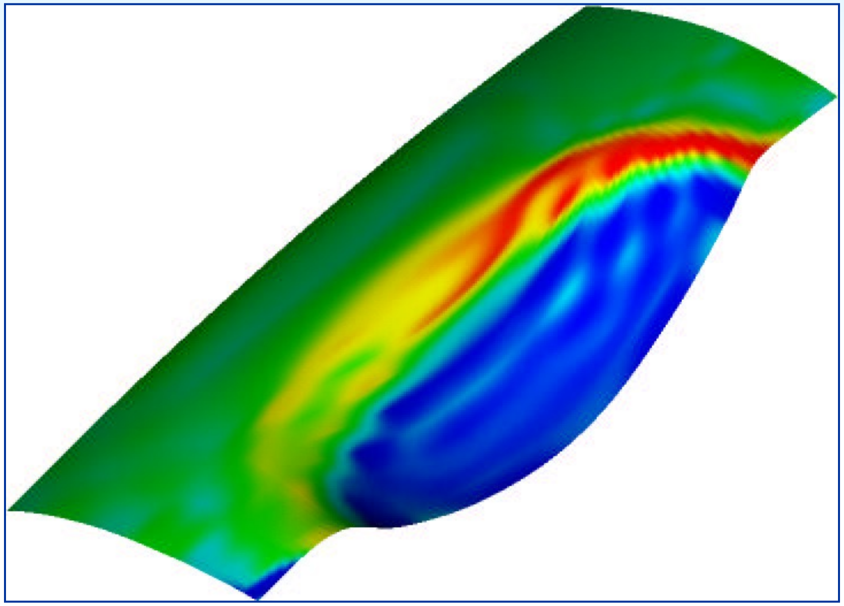
  (i) iteratív megoldás - tartománynövesztés
  (ii) rögzített felületkészlet
  - direkt szegmentáció
  (iii) automatikus eljárás
  - Morse hierarchikus szegmentáció

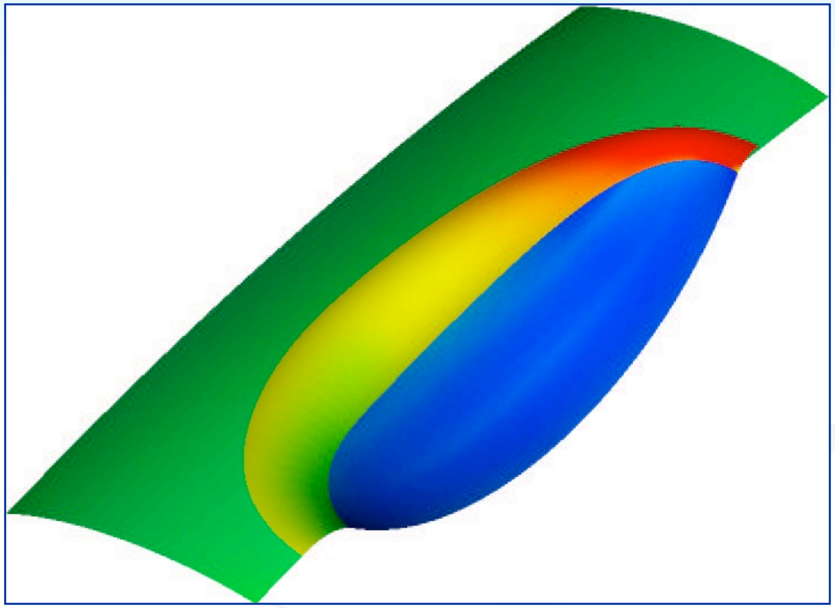
- rossz szegmentáció rontja a felületek minőségét





3D szegmentálás$_3$

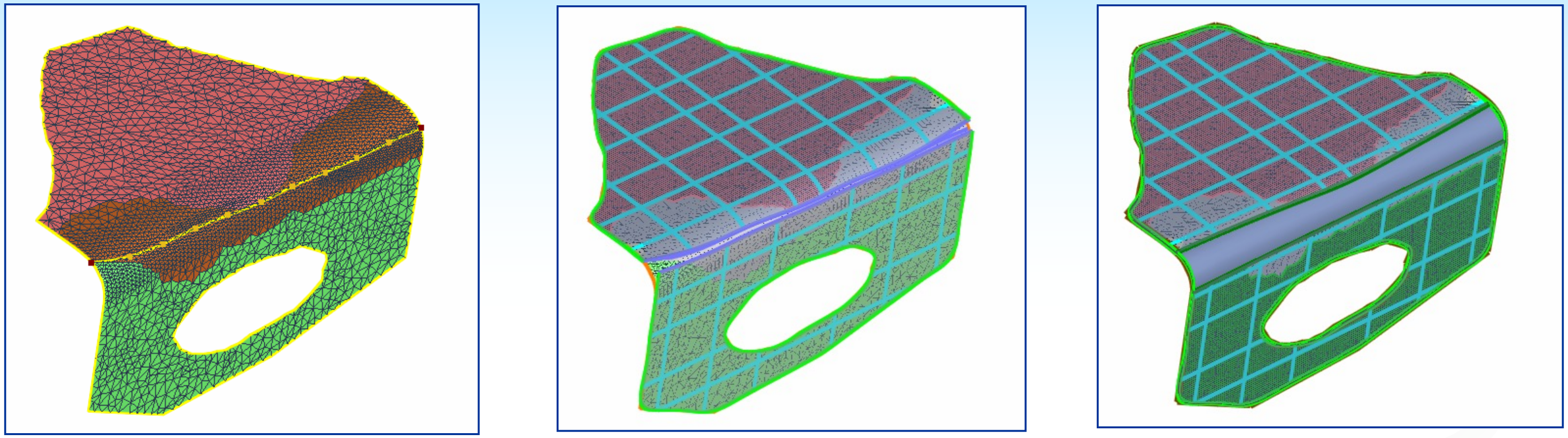




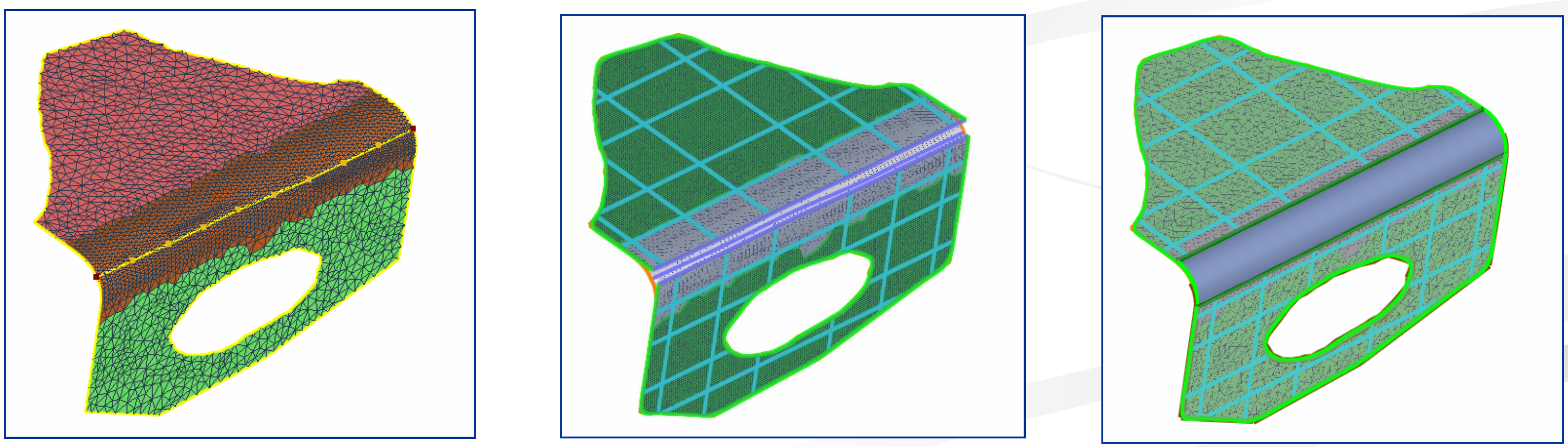
Egy felület, szegmentálás nélkül
→ gyenge felületminőség

Két szegmentált elsődleges felület
→ jó felületminőség

3D szegmentálás$_4$



Pontatlan szegmentálás



Pontos szegmentálás

Lokális felületi indikátorok$_1$

Cél:

(i) a felület lokális jellemzése különböző indikátorok segítségével
(ii) nagyobb összefüggő tartományok típusának beállítása

Iteratív eljárás:

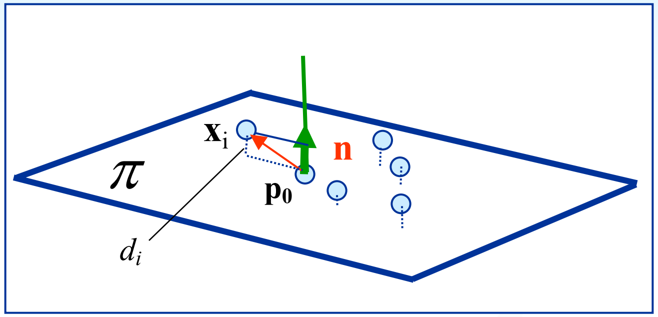
minimalizálunk és ellenőrizzük, hogy a hiba mértéke kisebb-e, mint egy küszöbérték

Korábbi anyag:

normálvektorok és görbületek becslése háromszögháló alapján

Lokális felületi indikátorok$_2$

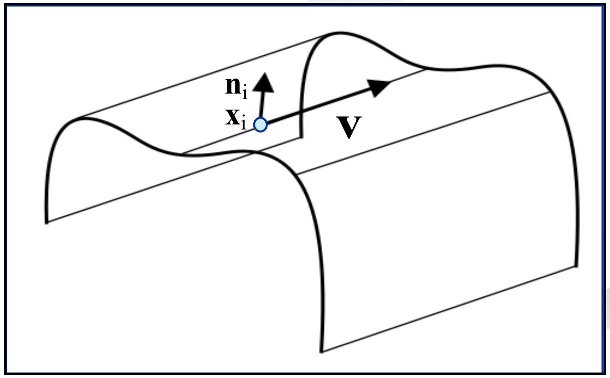
Síklapúság (planarity): legjobban illeszkedő sík meghatározása



távolságok:

$$\sum_{\mathbf{x}_i \in P} d_i^{\,2} = \sum_{\mathbf{x}_i \in P} \left(\mathbf{n}, (\mathbf{x}_i - \mathbf{p}_0)\right)^2 = \min$$

Transzlációs indikátor: a legjobban illeszkedő irány meghatározása



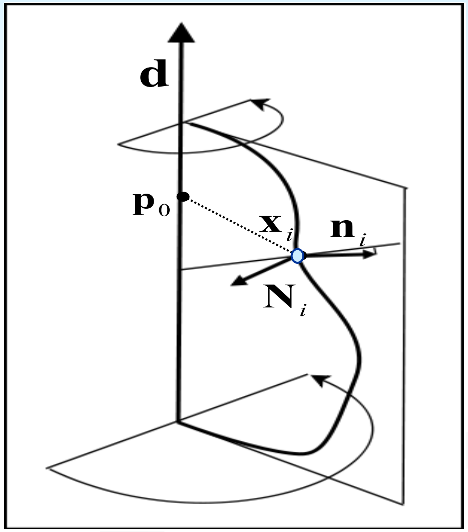
merőleges szögek:

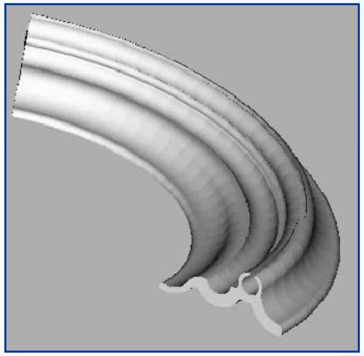
$$\sum_{\mathbf{n}_i \in N} \cos^2 \alpha_i = \sum_{\mathbf{n}_i \in N} \left(\mathbf{n}_i, \mathbf{v}\right)^2 = \min$$

Hibamérték: a minimalizált kifejezés, normalizálva

Lokális felületi indikátorok$_3$

Rotációs indikátor: a legjobban illeszkedő tengely meghatározása





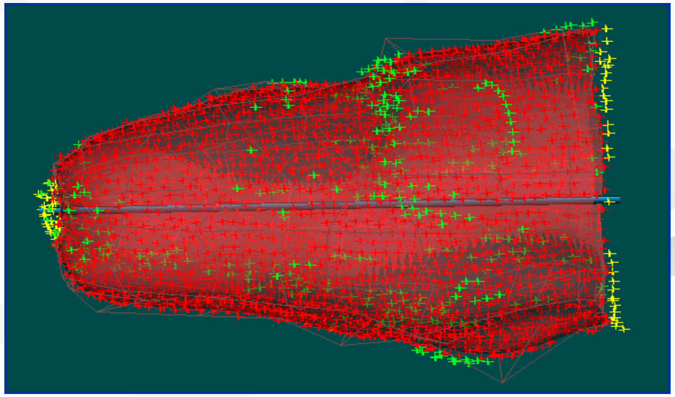
- tengely körül forgó sík normálisa:

$$\mathbf{N}_i = \mathbf{d} \times (\mathbf{x}_i - \mathbf{p}_0)$$

- szögeltérés: n_i kihajlása az x_i-t tartalmazó forgó síkból:

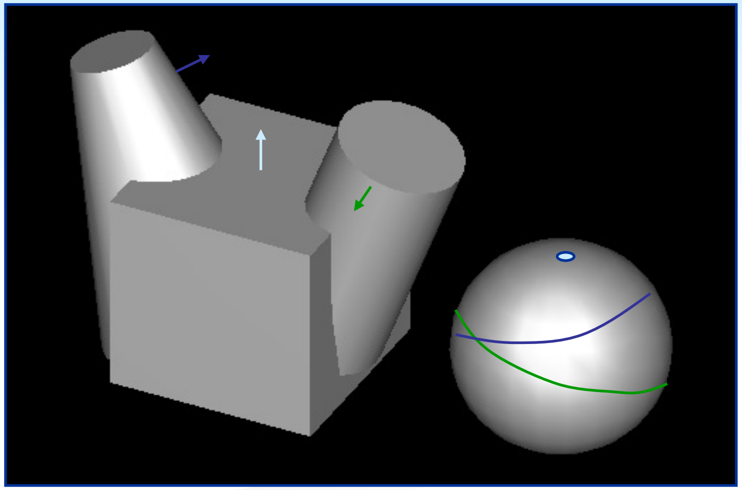
$$\sum_{\mathbf{n}_i \in N} \cos^2 \alpha_i = \sum_{\mathbf{n}_i \in N} (\mathbf{n}_i, \mathbf{N}_i)^2 = \min$$

- meghatározandó a tengelyirány és egy tengelypont: $\mathbf{d}, \mathbf{p}_0$



(klasszikus geometria - Plücker koordináták, sajátérték probléma)

Lokális felületi indikátorok$_4$



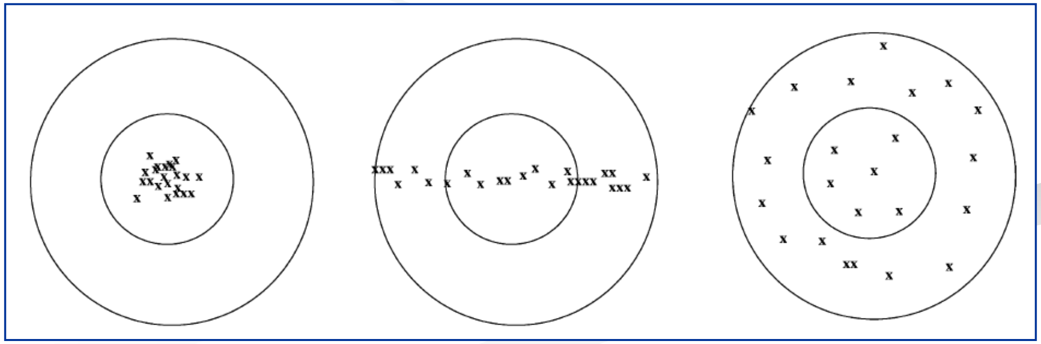
Gauss-gömb

- egység normálvektorok leképzése
- sík → pontcsomó (cluster)
- transzlációs felület → főkör
- döntött (kúp) felület → mellékkör

Dimenzió indikátor

- a pontok eloszlását méri egy adott környezetben
- két koncentrikus gömb, sugarak: $\rho, 2\rho$
- pontok száma: k_1, k_2

$$D = \log_2 \frac{|\{k_2 : \|n_i - n\| < 2\rho|}{|\{k_1 : \|n_i - n\| < \rho|}$$



D ~ 0 D ~ 1 D ~ 2

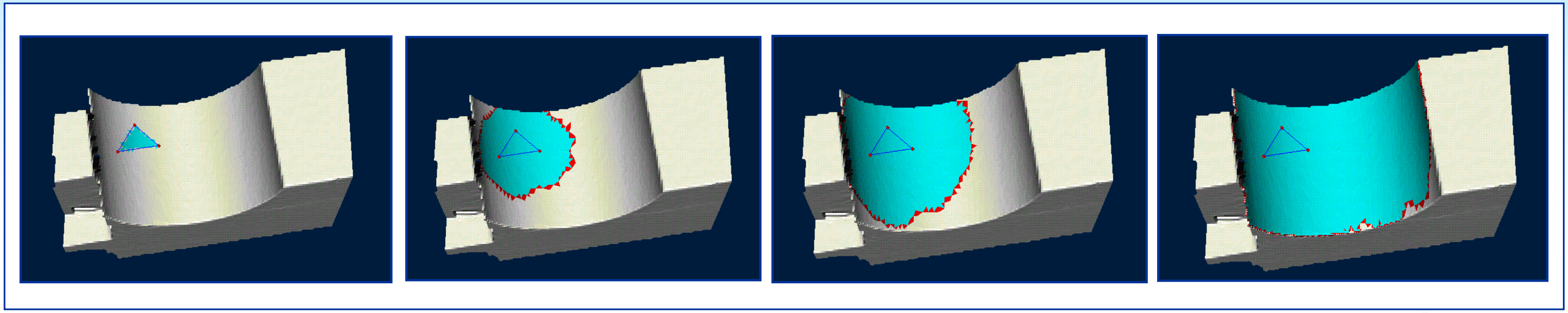
Tartománynövesztés$_1$

"bottom-up" algoritmus:

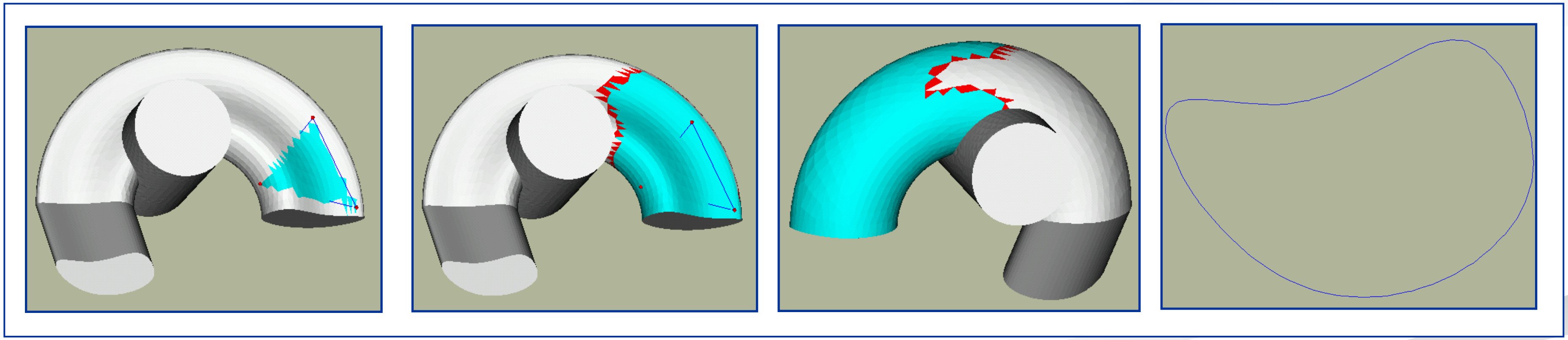
1. magpontok (seed points) generálása
2. hipotézis felállítása és lokális felületillesztés
   - → egyszerű felületek
   - → profil alapú felületek
   - → szabadformájú felületek
3. lokális hízlalás, feltéve, hogy a pontok tolerancián belül maradnak
4. újraillesztés

5. a tartományok egyesítése (ha lehetséges)

Tartománynövesztés$_2$



Hengerfelület növesztése



Forgásfelület és profilgörbe együttes növesztése

Tartománynövesztés$_3$

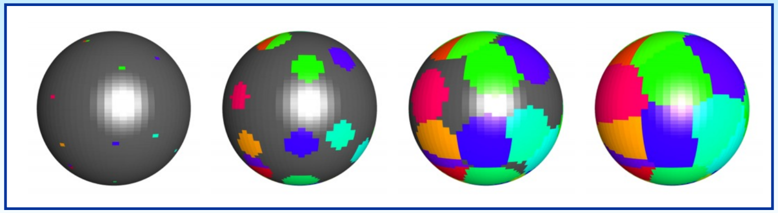
Problémák

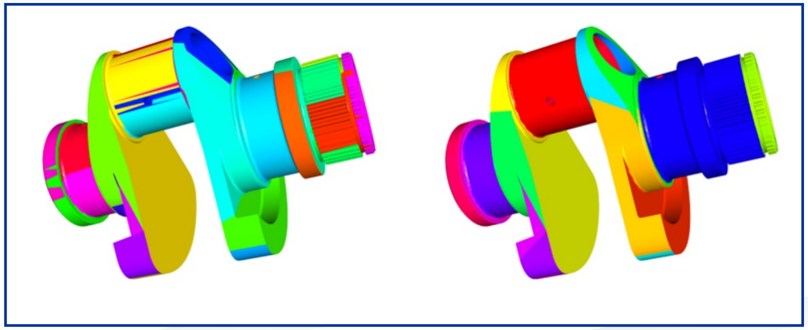
(i) jó “magpontok” generálása és "helyes" hipotézis felállítása

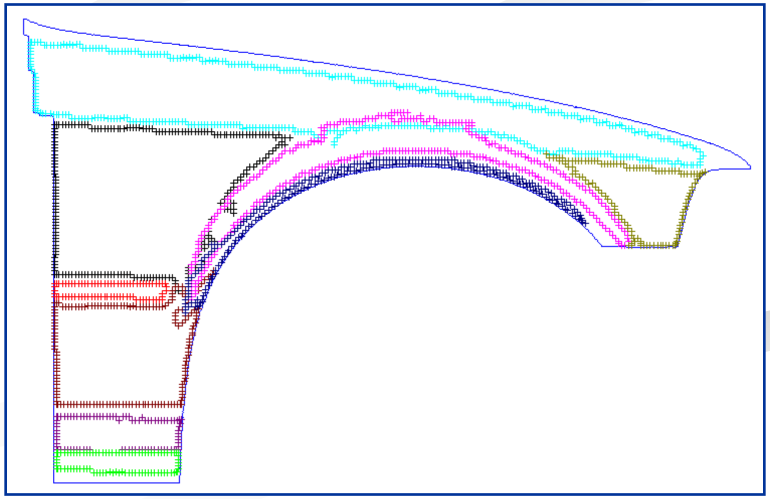
(ii) "cikk- cakk"- os tartomány-határok

(iii) iteratív módszer - hatékonyság, megbízhatóság

szabályos felületekre - OK
szabadformájú felületekre - kétséges







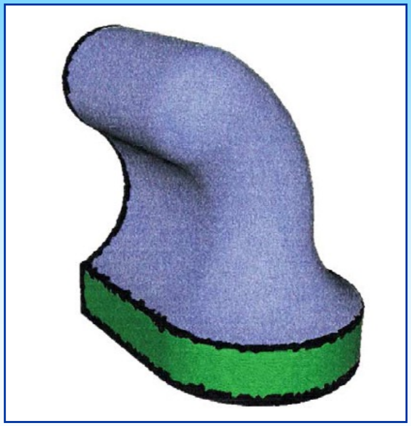
Direkt szegmentáció$_1$

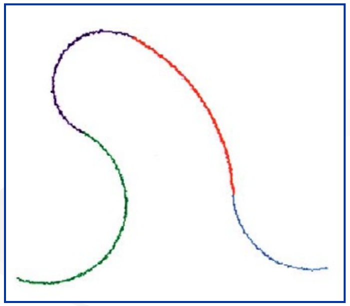
- egyszerűbb objektumok szegmentálására (top-down)
- feltételezés:
  - aránylag nagy elsődleges felületek
    - síkok, hengerek, kúpok, gömbök, tórusz felületek
    - kihúzott és forgásfelületek
  - éles élek vagy aránylag kicsi lekerekítések
- a struktúra meghatározható egy adott szekvencia szerint
- lokális normálvektor becslés
- globális szűrés síklapúság szerint - szétbontás az élek és a kis lekerekítések mentén→ ezután már csak sima tartományokat szegmentálunk
- hierarchikus szegmentálás
  - egyszerű tartományok leválasztása, felületi paraméterek meghatározása
  - összetett tartományok - szétválasztás egyszerűbb tartományokra

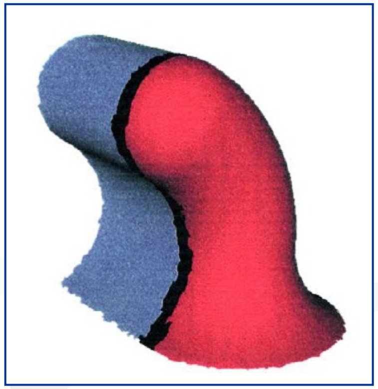
Direkt szegmentáció$_2$

<u>Hierarchikus szekvencia:</u>

1. egyszerű tartomány
    1.1. sík vagy 1.2. gömb - ?
2. egyszerű transzlációs (kihúzott) tartomány - ?
    2.1 henger -?
    2.2. kör-egyenes profil - ?
    2.3. szabadformájú profil -?
3. egyszerű forgásfelület - ?
    3.1. kúp - ?, 3.2. tórusz - ?
    3.3. kör-egyenes profil - ?
    3.4. szabadformájú profil -?
4. összetett tartomány - ?
    4.1. belső síkok és transzlációs tartományok leválasztása
    4.2. lokális rotációs tartományok
5. minden, ami megmarad - egyszerű szabadformájú







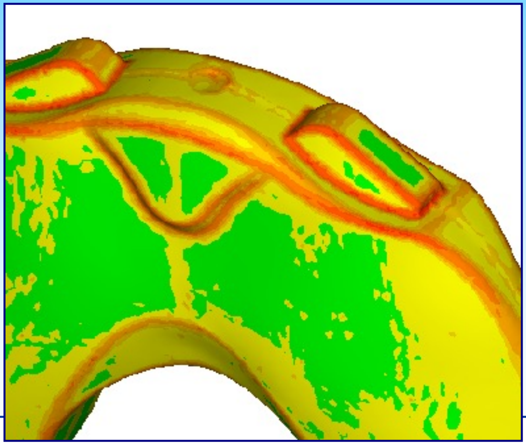
Morse szegmentáció$_1$

- Morse elmélet: 2D-s sokaságokon értelmezett folytonos függvények analízise
- Kombinatorikus Morse elmélet: háromszöghálón értelmezett skalár függvény, valamilyen lokálisan becsült felületi tulajdonság lineáris approximációja
- Felülettípustól független szegmentáló módszer!!!
- M: 2D sokaság; f: $M \rightarrow R$;

  gradiens: $$\nabla f(p) = \left(\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y}, \frac{\partial f}{\partial z} \right)$$

- vektortér
  - egy p pont kritikus, ha $\nabla f(p) = 0$, egyébként közönséges
  - háromfajta kritikus pont: minimum (m), nyeregpont (s), maximum (M)
  - integrál görbék – a lokális gradiens mentén, az egyik kritikus ponttól a másikba futnak

Morse szegmentáció$_2$



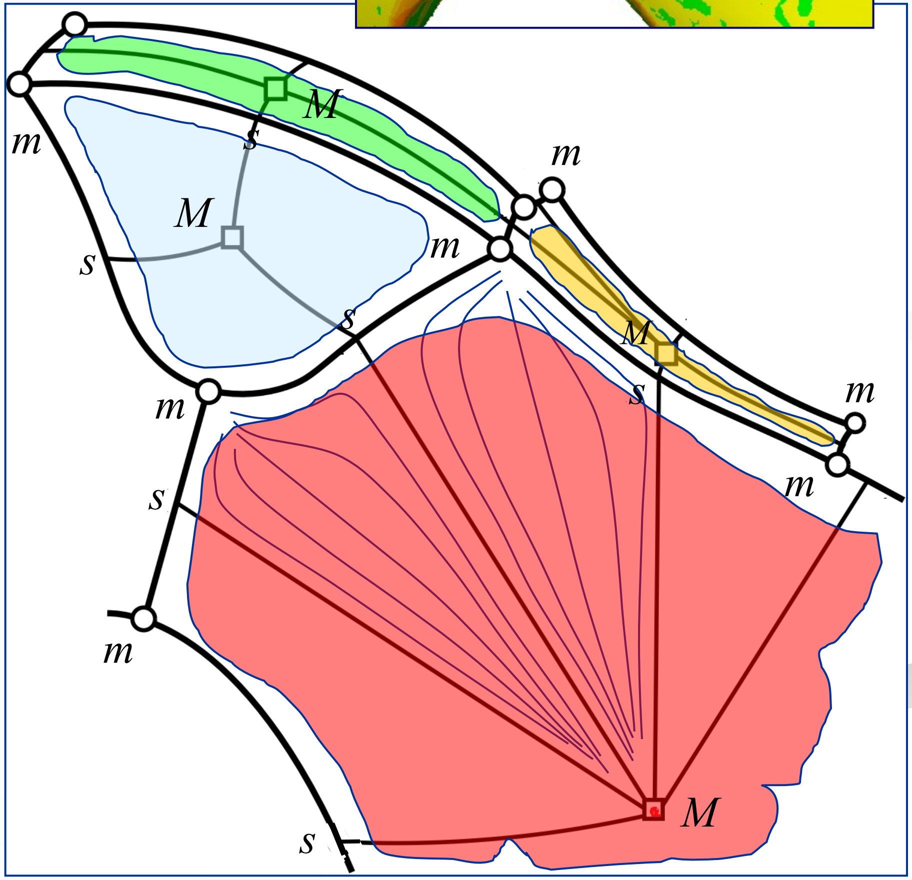
<u>Morse komplex:</u>

(i) maximum (M) :

topológiailag nyitott körlap; leszálló sokaság *D(x):* az összes integrál görbe, amely *M*-ből kifut

(ii) nyeregpont (s): két görbeív

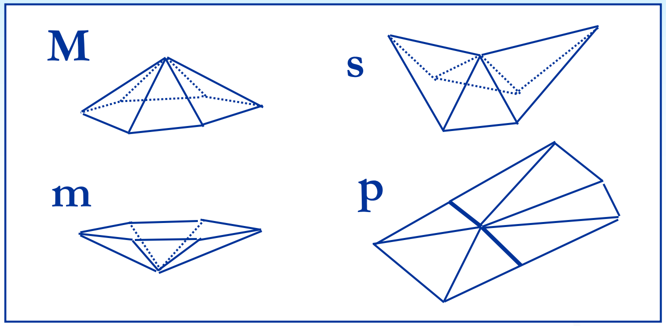
(iii) minimum (m): egy pont



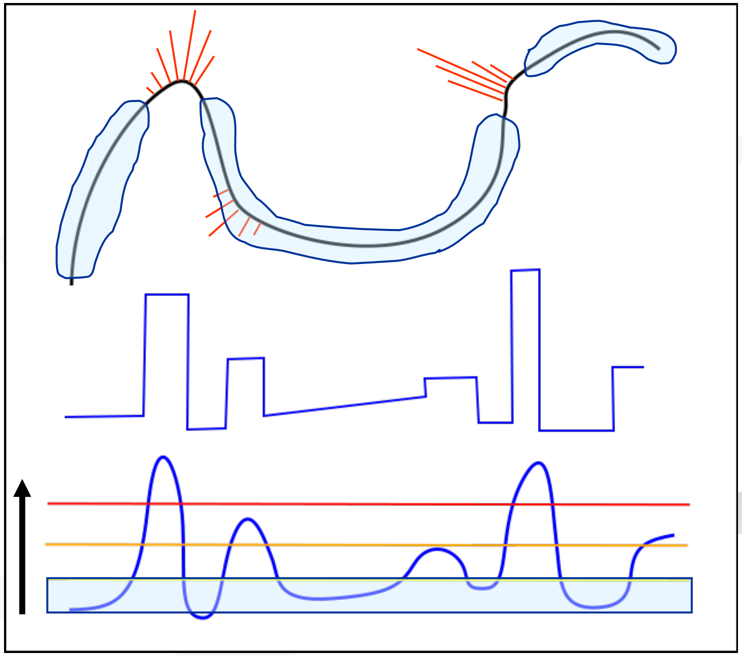
Morse szegmentáció$_3$

Cél: a Morse elmélet alkalmazása zajos háromszöghálók szegmentálására

- leszálló sokaságok létrehozása
- összevonás (egyszerűsítés)

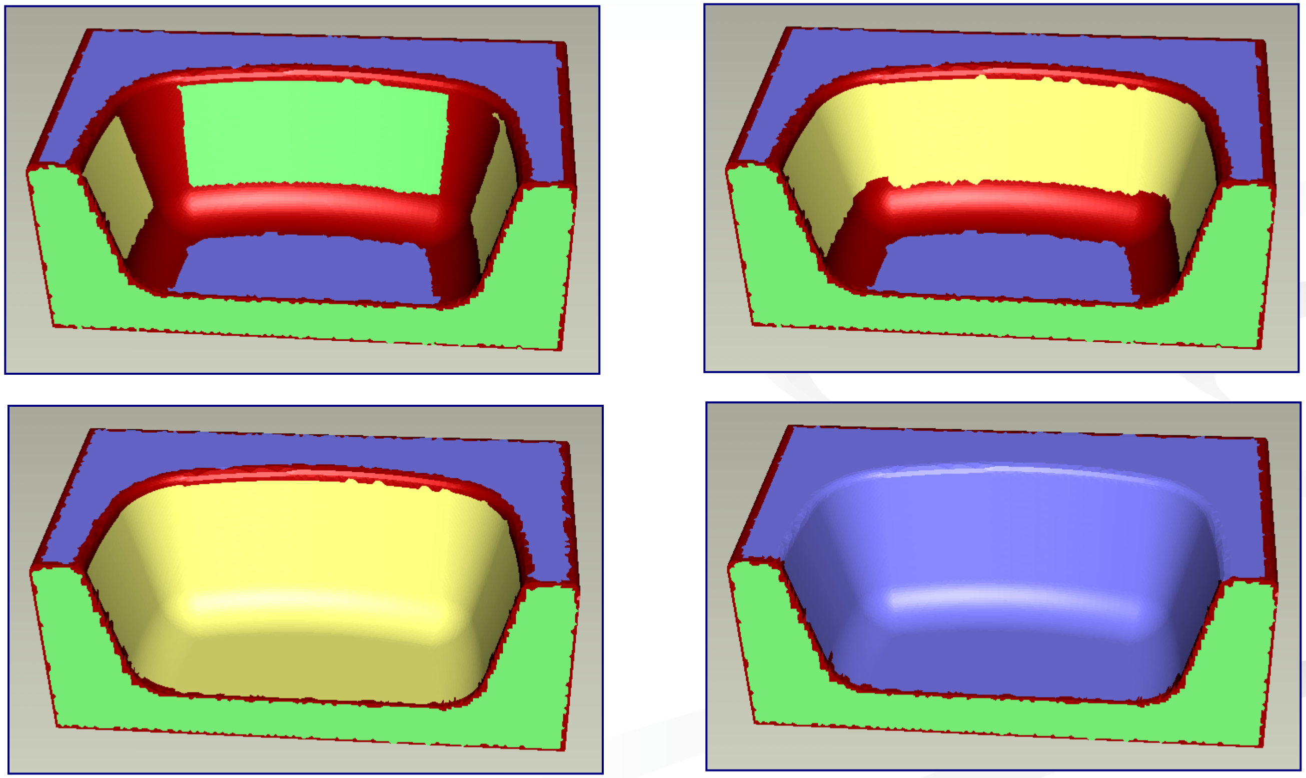


1. indikátor függvény - szétválasztja az erősen, illetve kevésbé görbült részeket
2. kritikus pontok becslése - a lokális háromszöglegyező alapján
3. alapséma szemléltetése: tavak és gátak elárasztása (watershed algoritmus)
4. kis tartományok összevonása = a struktúra egyszerűsítése
5. kritikus pont-párok szekvenciális kiiktatása:
    - minimum és nyeregpont
    - nyeregpont és maximum



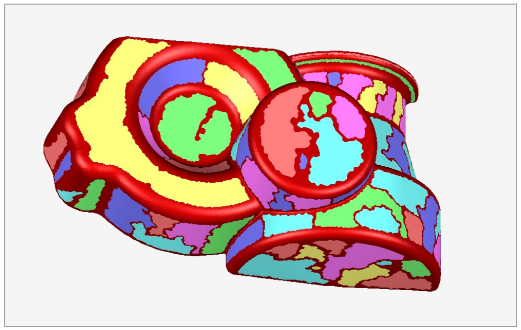
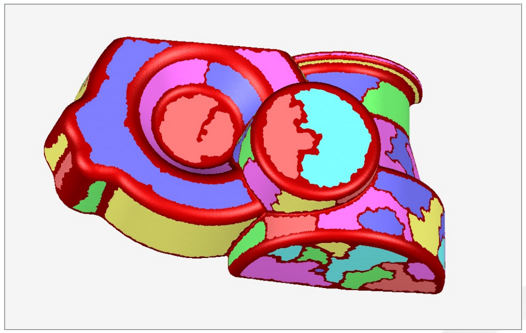
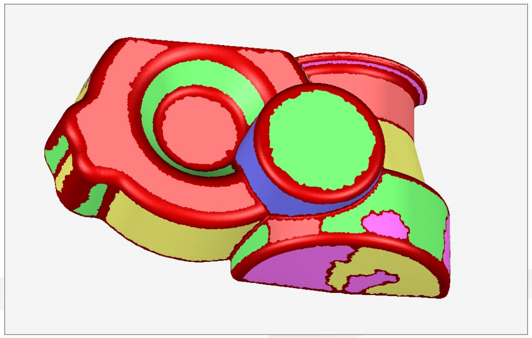
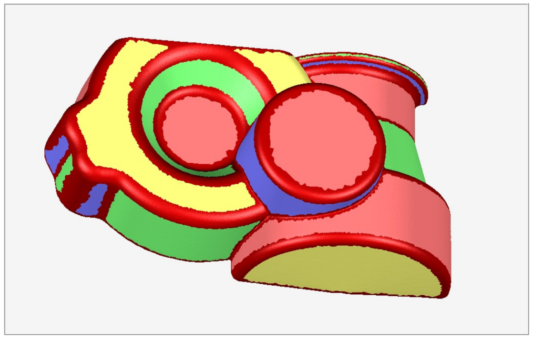
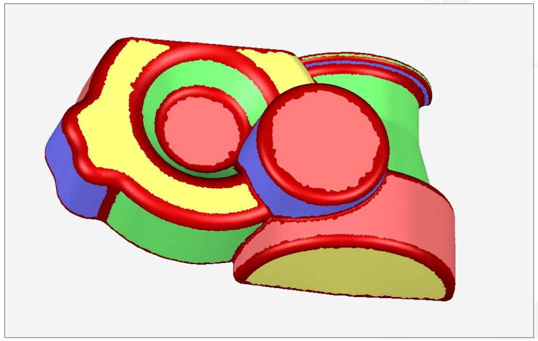
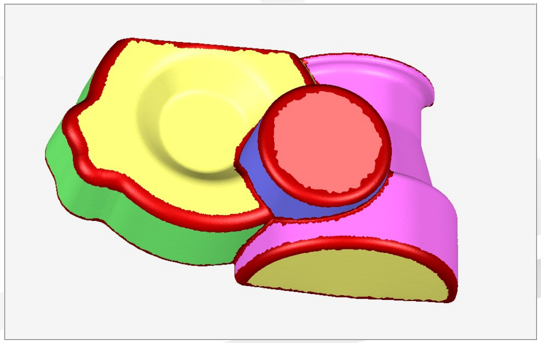
Morse szegmentáció$_4$

- sokfajta egyszerűsítési stratégia létezik
- perzisztencia mérték: jelzi, hogy egy pont perturbáláskor eltűnik-e
- mindegyik egyszerűsített struktúra konzisztens topológiai értelemben
- hierarchikus reprezentáció

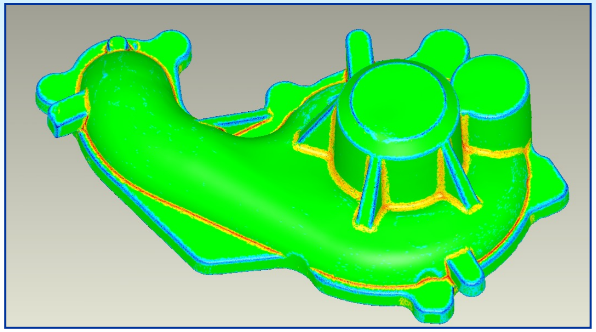


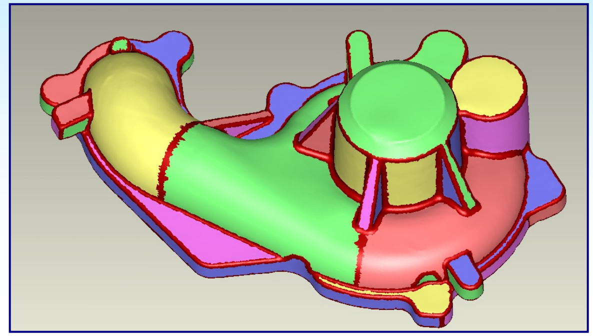
Morse szegmentáció$_5$

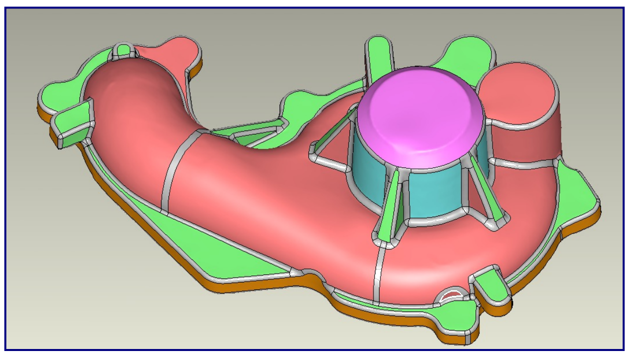
Az algoritmus szemléltetése:
(5. kép. automatikus, 6. kép: kézzel javított szegmentáció)

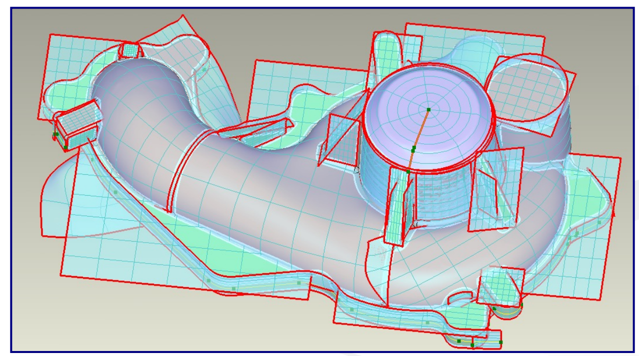







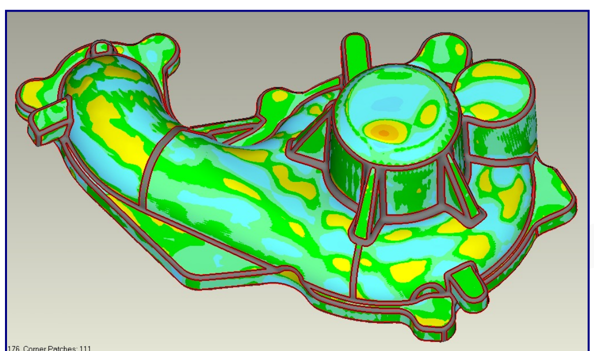
3D szegmentálás

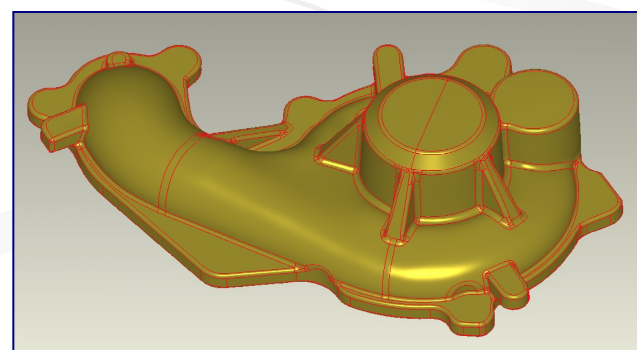












Összefoglaló

- a szegmentálás a digitális alakzatrekonstrukció legkritikusabb része
- cél: a háromszögháló particionálása elsődleges tartományokra
- lokális felületjellemezők alapján
- algoritmusok
  - (i) tartomány növesztés
  - (ii) direkt szegmentáció
  - (iii) Morse szegmentáció
- További algoritmusok:
  - RANSAC / GlobFit
  - k-means alapú tartománynövesztés
  - Véletlen séták
  - Exponenciális energia stb.