

Polimerek reológiája és szimulációs technikái (BMEGEPTNG02)



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR
POLIMERTECHNIKA TANSZÉK



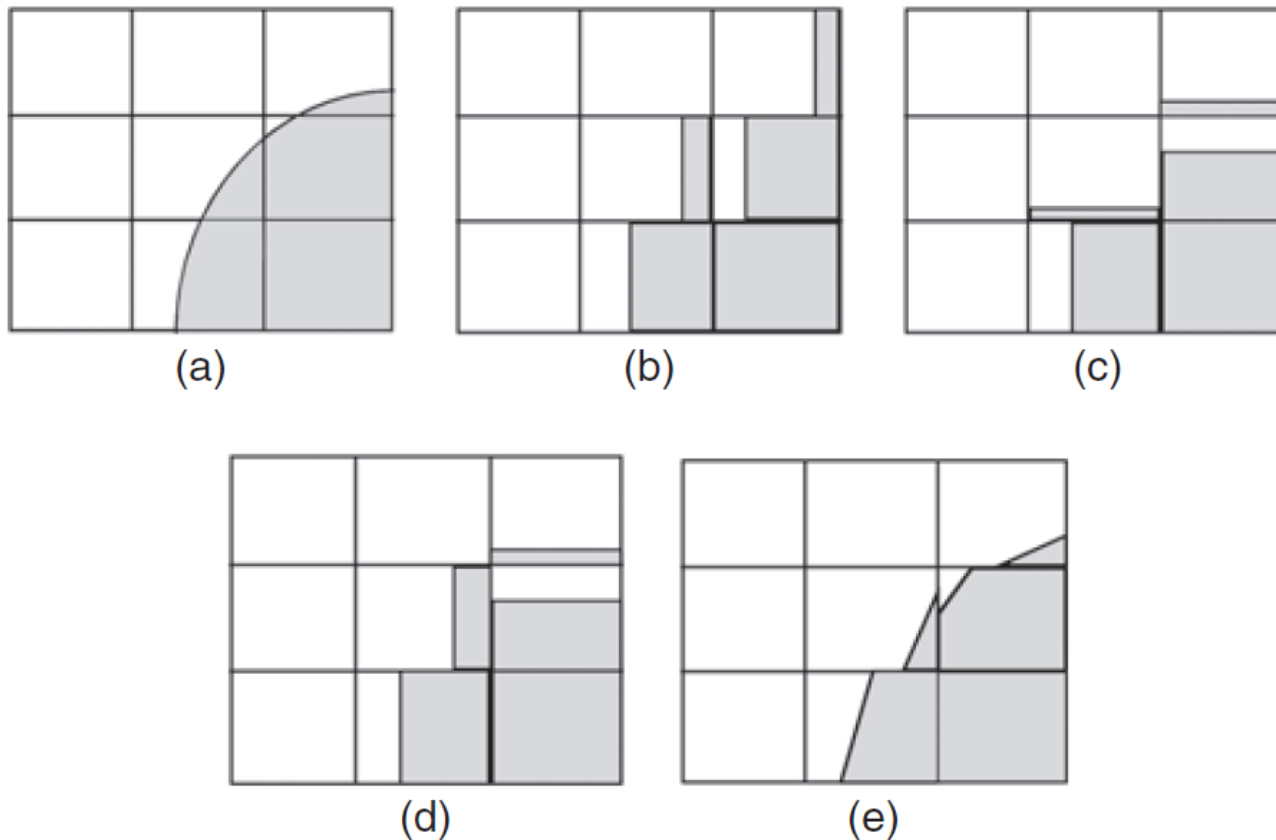
Szabó Ferenc

2023

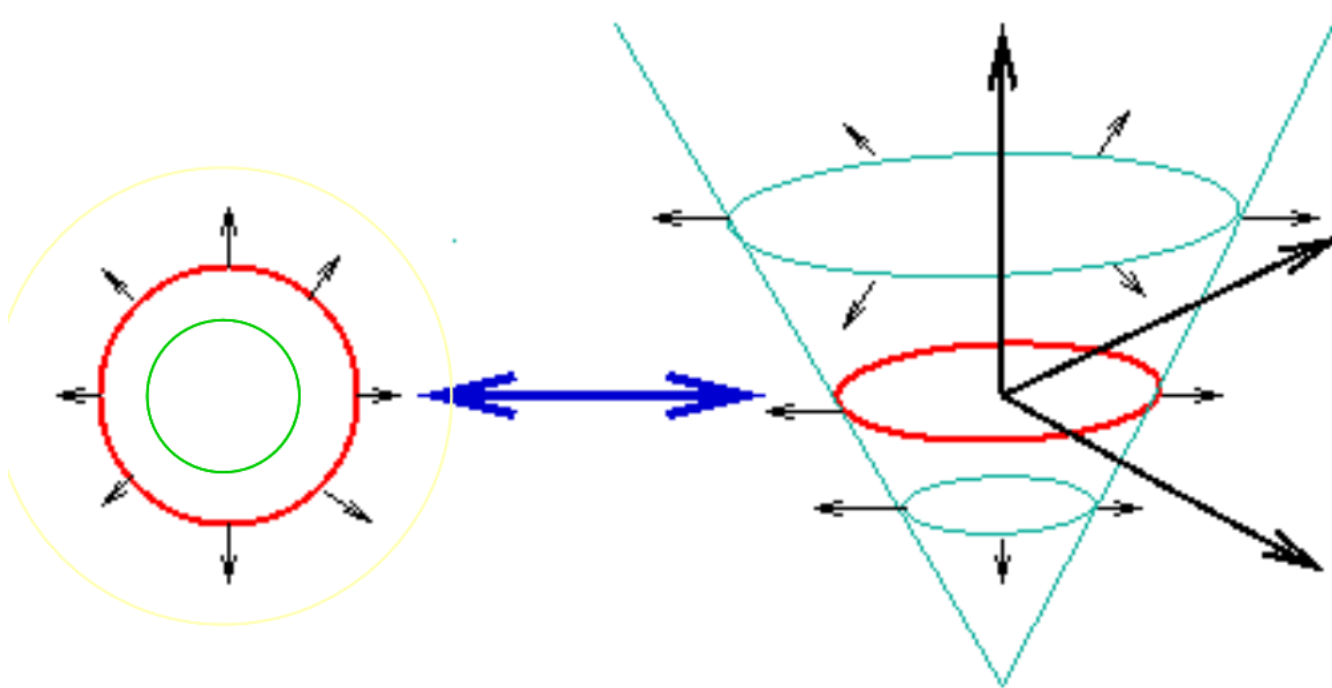
- **Reológiai probléma**
 - Ismeretlenek: $v_x, v_y, v_z, \eta, p, T, \rho$
 - ➔ **Megoldás:**
 - Impulzus egyenlet, 3 irányban
 - Folytonosság
 - Energia egyenlet
 - Reológiai állapotegyenlet
 - Fizikai állapotegyenlet
 - **Kezdeti feltételek**
 - **Peremfeltételek**
 - **Fröccsöntés ➔ Mozgó határfelületek problémája**

- **Jég olvadása, Stefan, 1889**
- **Lagrange-i megközelítéssel:**
 - Folyamatos újrarahálózást, hálófinomítást igényel
 - Nem túl elterjedt
 - Pl.: LINC
- **Euler-féle megközelítéssel**
 - Plusz változó szükséges a kitöltöttség leírására
 - Nem szükséges a háló folyamatos manipulálása
 - Jó numerikus stabilitás
 - Pl. MAC, FAN, SLIC, PLIC, VOF, Level set method
- **A határfelületeken a leíró egyenletek közelítése „speciális”**
 - Szakadás az anyagjellemzőkben (pl. viszkozitás, sűrűség)
 - Nem használható bármilyen diszkretizáció

- **Térfogat frakciók (F) leírása cellánként 0-1 értékkel**
- **Határfelület rekonstrukció a $0 < F < 1$ cellák esetében**

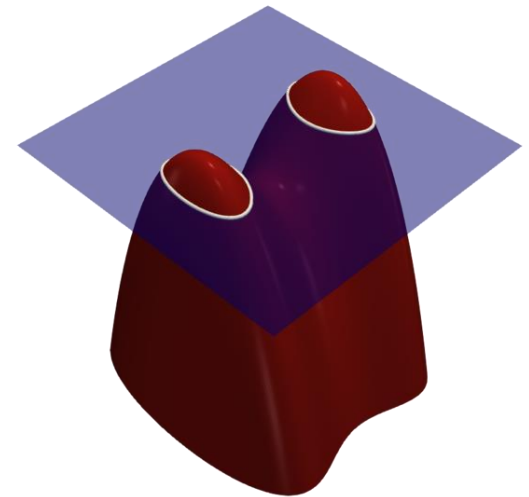
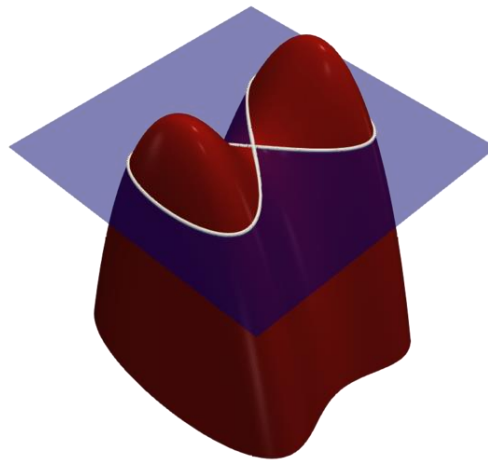
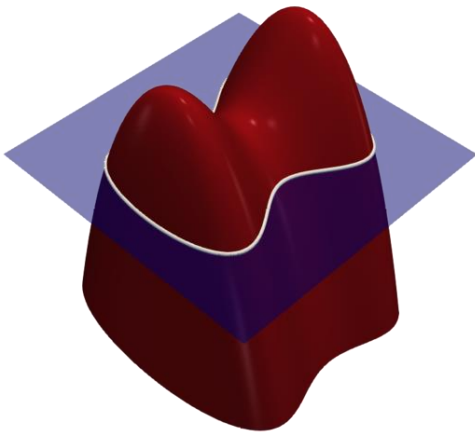
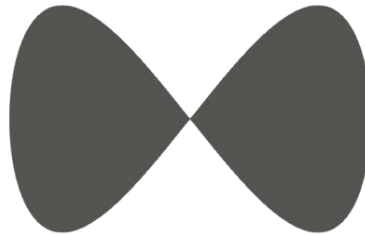
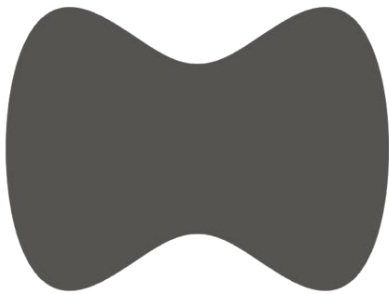


- Léptessük a problémát eggyel magasabb dimenzióba...



- Az aktuális határfelület a magasabb dimenziójú függvény egy megfelelő metszete

- Léptessük a problémát eggyel magasabb dimenzióba...



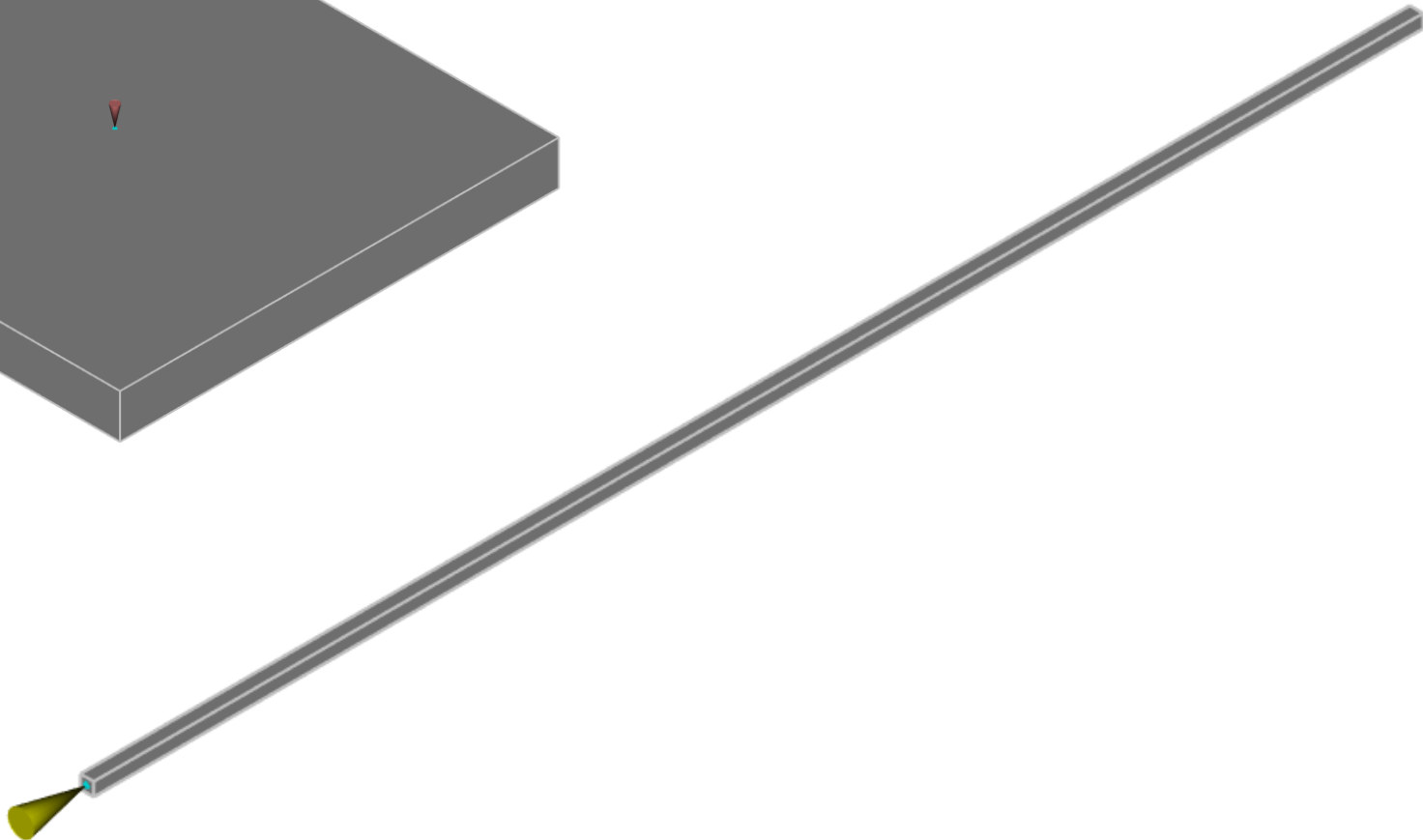
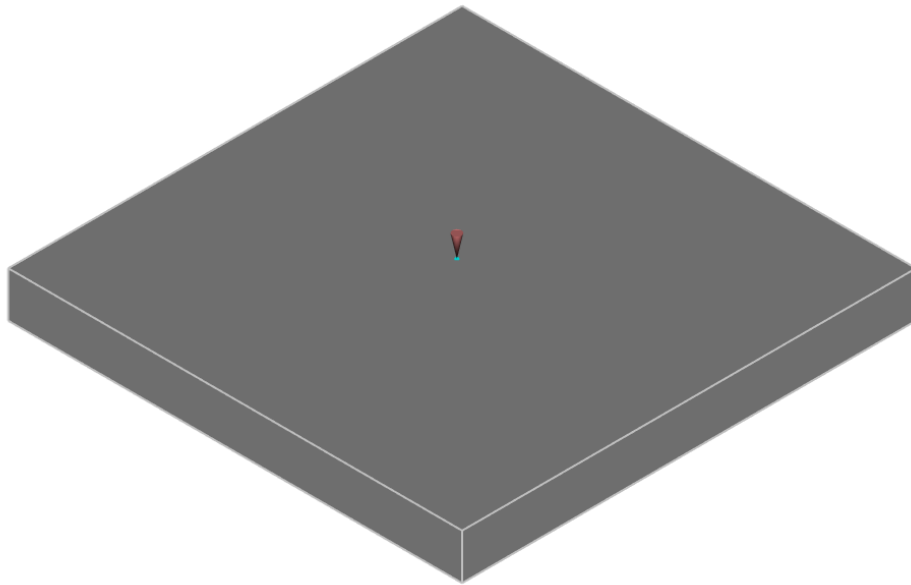
- Bonyolultabb esetekben is működik...

- Függvény definiálása, amely a csomópontok határfelülettől való távolságát előjelhelyesen írja le: $\phi(x,t)=\pm d$
 - A 0 távolság maga a határfelület
 - Pozitív távolságok $\rightarrow$ a pont a határfelületen belül található (ömledék)
 - Negatív távolságok $\rightarrow$ a pont a határfelületen kívül található (kitöltetlen)
- A ϕ megmaradási egyenlete, ha a sebességet Navier-Stokes egyenlet írja le

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \phi = 0$$

- Újra inicializálás: egy olyan új függvény keresése, amely kielégíti az első feltételt $\phi(x,0)=\phi_0$ mellett
- Általános lépések:
 - Folyamat indítása, fizikai változók értékének meghatározása t_n időpontra, kezdeti ϕ függvény meghatározása
 - Φ megmaradási egyenletének megoldása a t_{n+1} időpontra, új határfelület, ezt követően az első pont már nem teljesül
 - Újra inicializálás, $\phi_0=\phi(x,t_{n+1})$
 - Fizikai változók értékének számítása, majd idő léptetés

- Melyik esetben oldható meg kevesebb lépésből a kitöltési folyamat, ha a két termék térfogata és elemszámai azonosak?



- **2,5D jellemzői:**
 - Hele-Shaw áramlás feltételezése
 - Nincs nyomás változás a vastagság mentén
 - Lamináris áramlás
 - Hővezetés csak vastagság irányban történik
 - Az élek mentén leadott hő elhanyagolható
 - Az inerciából és gravitációból eredő hatások elhagyhatók

- **3D jellemzők:**
 - A Navier-Stokes egyenletet használja
 - Lamináris áramlás
 - 3D nyomás változás
 - Hővezetés minden irányban lehetséges
 - Az inerciából és gravitációból eredő hatások figyelembe vehetők

• Peremfeltételek:

- Az ömledék belépési pontja, térfogatárama
- Szerszámhőmérséklet eloszlás → Cool
- Hőátadás a folyamat során
- Sebesség a falnál 0 / megcsúszási feltétel
- Az ömledékfronton csak nyomás hathat
- Megszilárdulás:
 - Az anyag akkor szilárdul meg, ha hőmérséklete $< T_{trans}$
 - API, csak 3D

Wall slip parameters

×

Slip parameters

Critical shear stress (Tau_w)

0.1

MPa [0:1000]

Slip exponent (m)

1

[0:10000]

Slip coefficient (a)

1e-08

m/(Pa-s) [0:]

Temperature dependency (b)

0

1/K [0:10]

Pressure dependency (c)

0

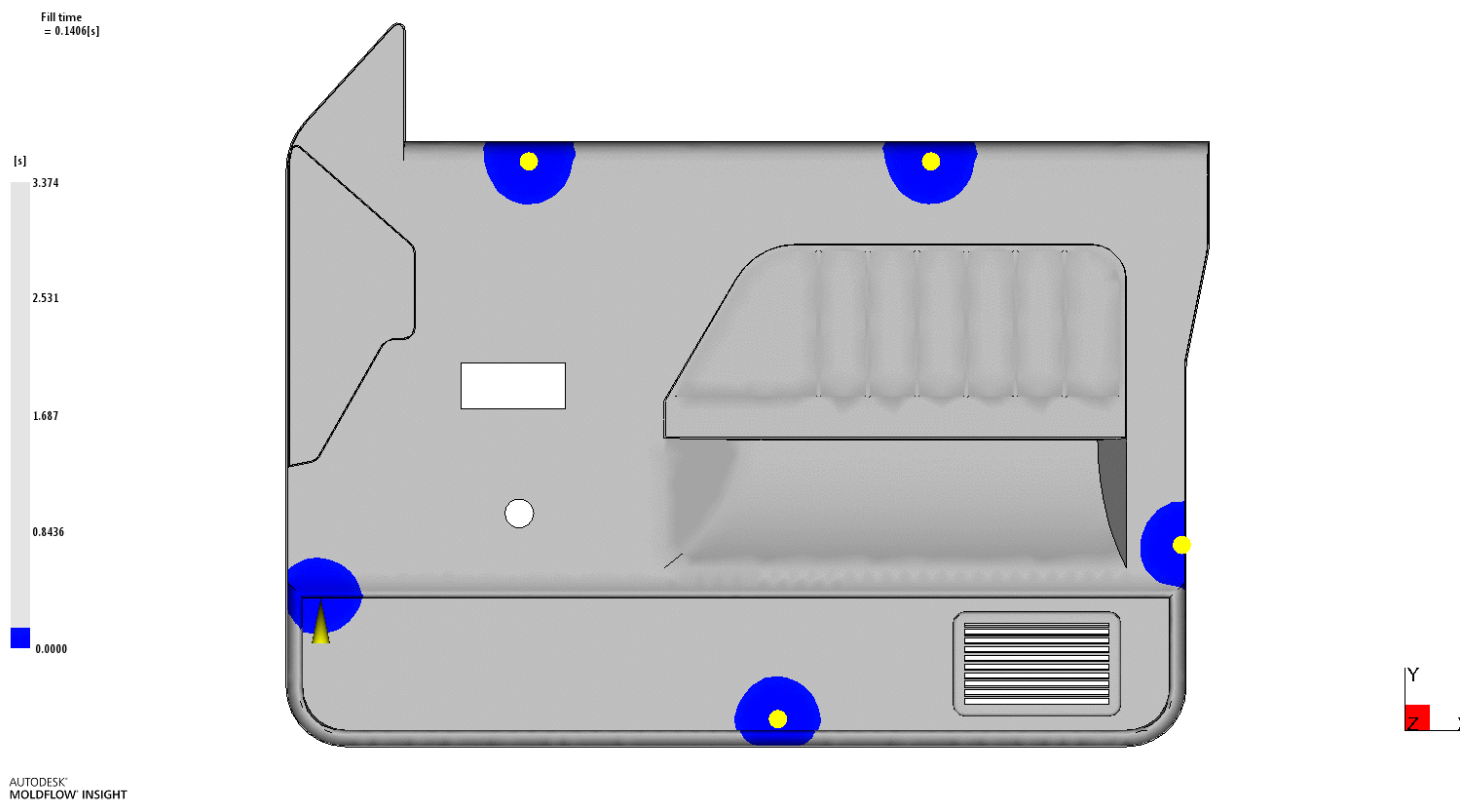
1/Pa [-0.0001:0.0001]

Mold-melt Heat Transfer Coefficient (HTC) values

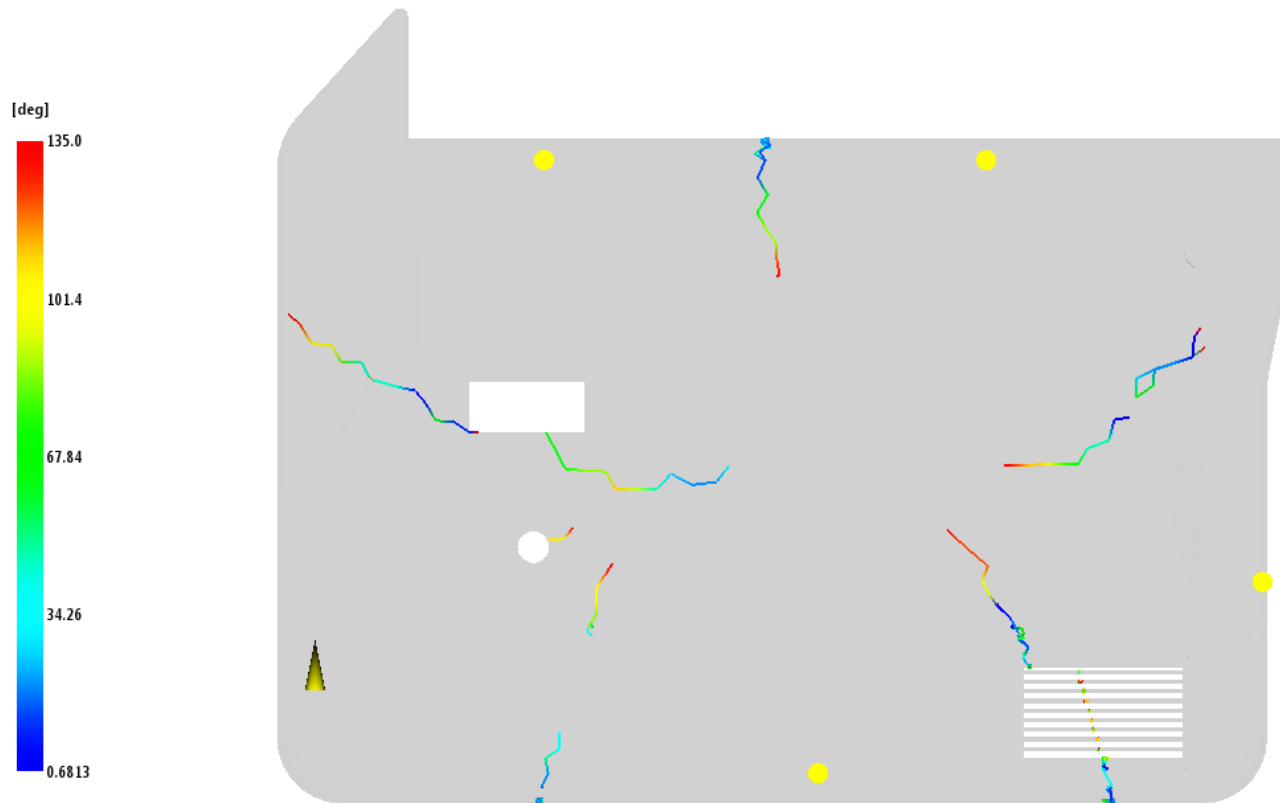
Filling	5000	W/m ² -C [0:]
Packing	2500	W/m ² -C [0:]
Detached	1250	W/m ² -C [0:]

- **Ömledékfront mozgása**
- **Ömledékfront hőmérséklete**
- **Hőmérséklet (átlagos, vagy keresztmetszet mentén)**
- **Nyírósebesség eloszlás**
- **Szerszámfanál ébredő nyírófeszültség**
- **Lefagyott réteg vastagságának alakulása**
- **Nyomás eloszlás**
- **Potenciális levegő bezáródások helyei**
- **Kidobási hőmérséklet eléréséhez szükséges idő**
- **Záróerő szükséglet (!csak a kitöltéshez)**
- **Orientáció**
- **Összecsapási hibák helye és szöge**

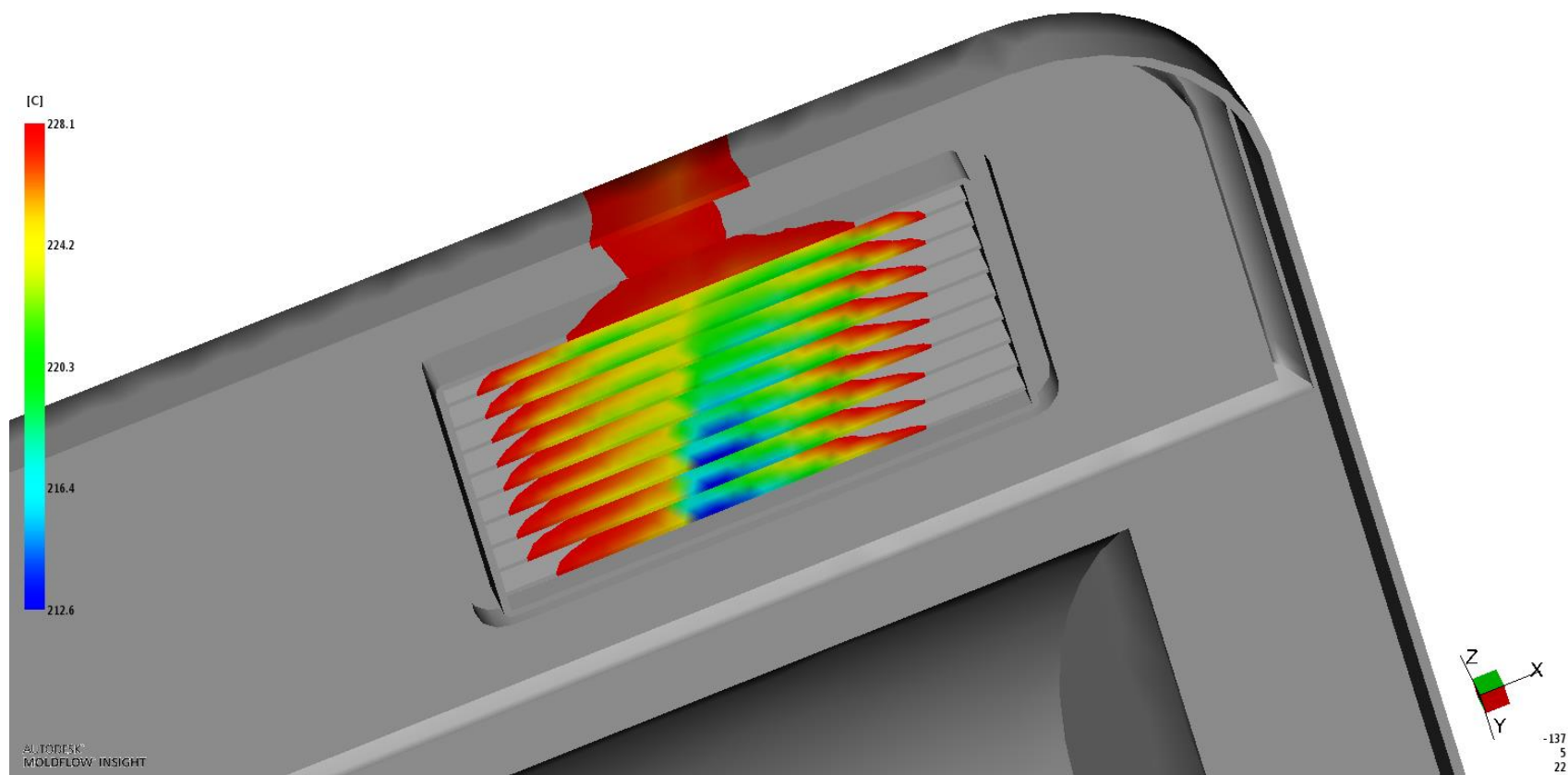
- Hiányos termék, hezitáció, egyenetlen töltődés, összecsapások, légbezáródás
- ➔ Gát pozíció megválasztása nem szerencsés csak a nyomásesésre alapozva...



- **Mechanika, esztétikai szempontok**
- ➔ **Lehet-e következtetni az összecsapási hibahely minőségére csak fill szimuláció alapján?**

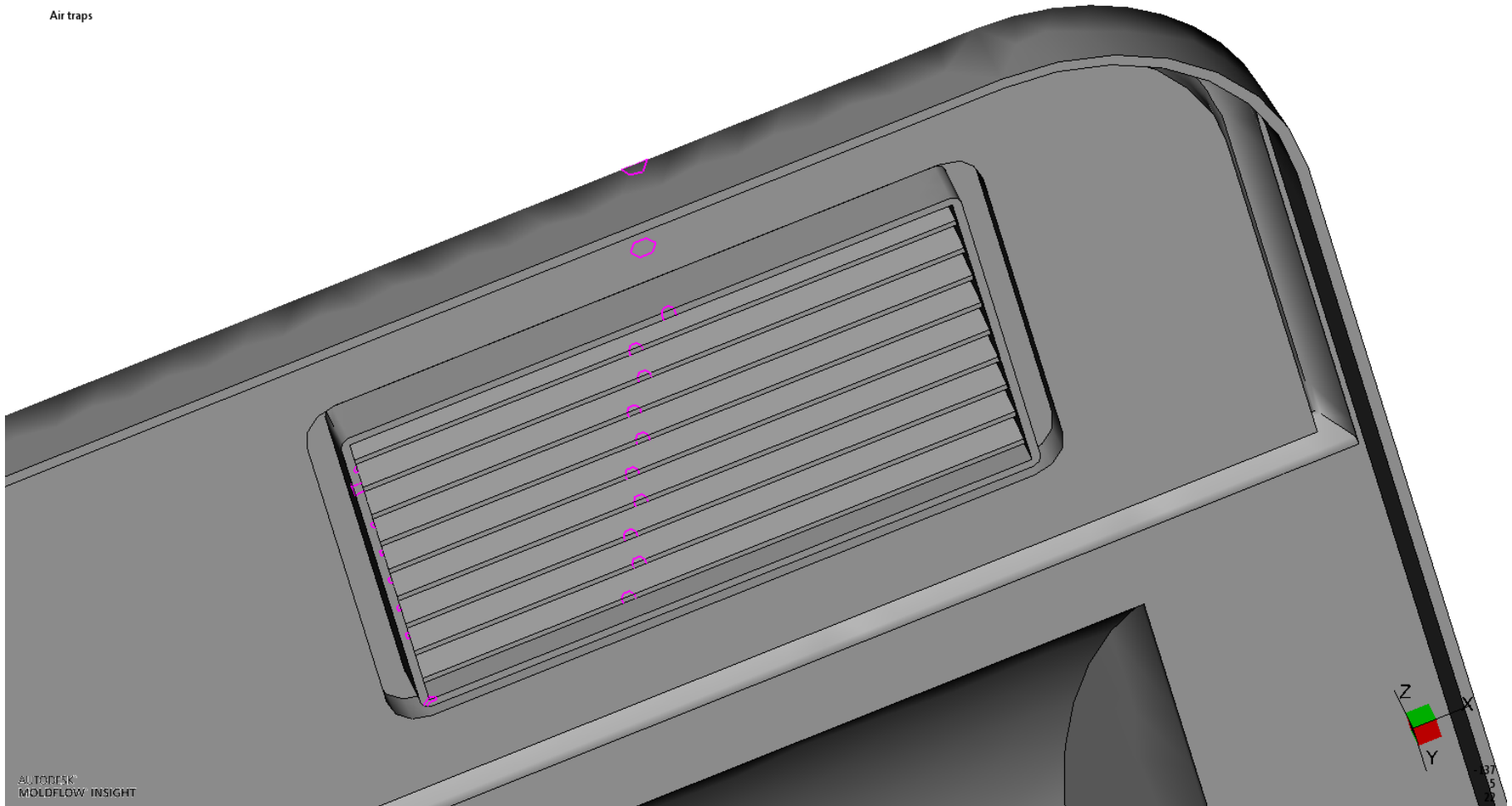


- Ömledékfront hőmérséklete
- ➔ Max. 2-5°C esés

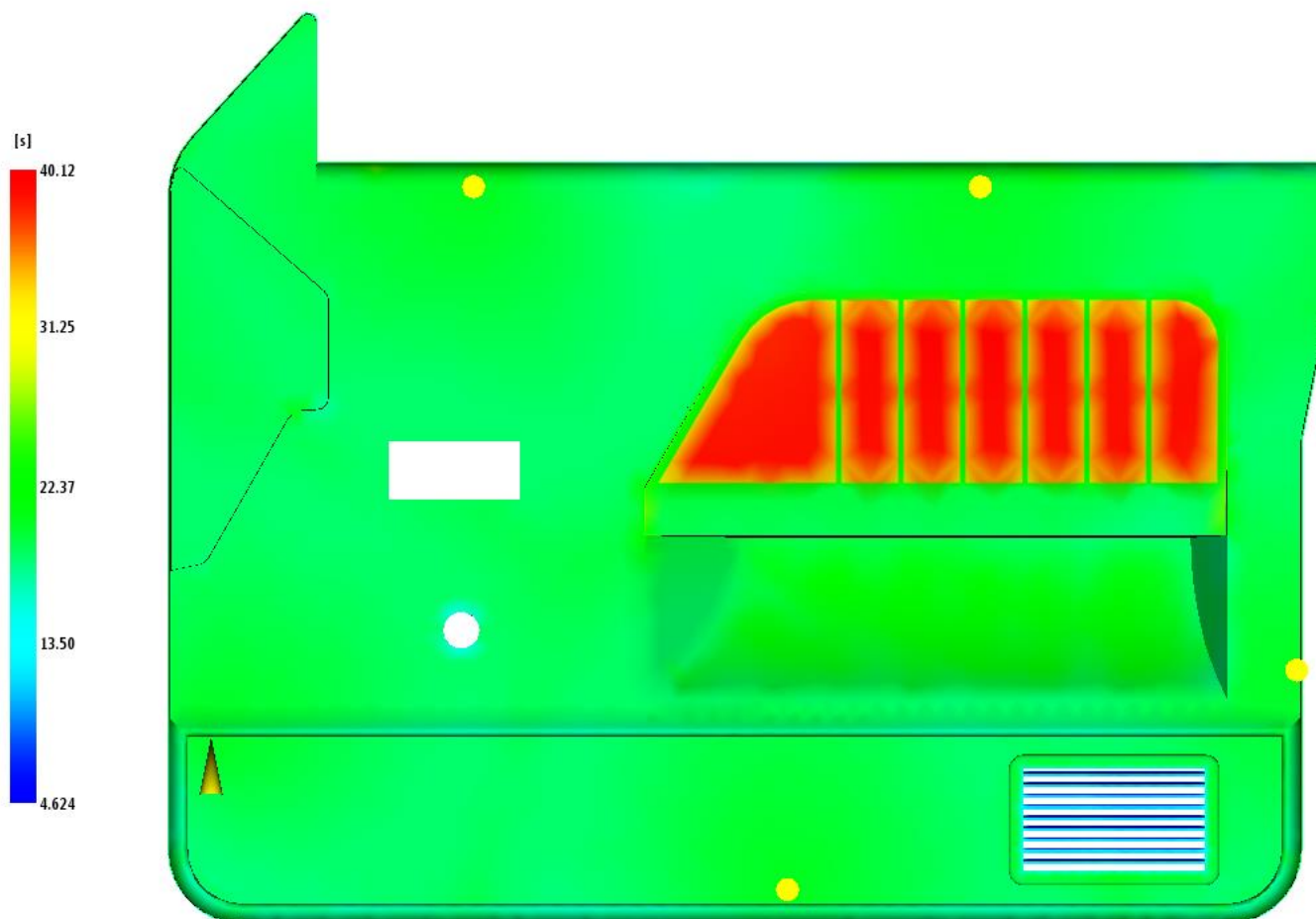


- Légbezáródás
- ➔ Gát áthelyezés, betétezés, kilökö elhelyezés

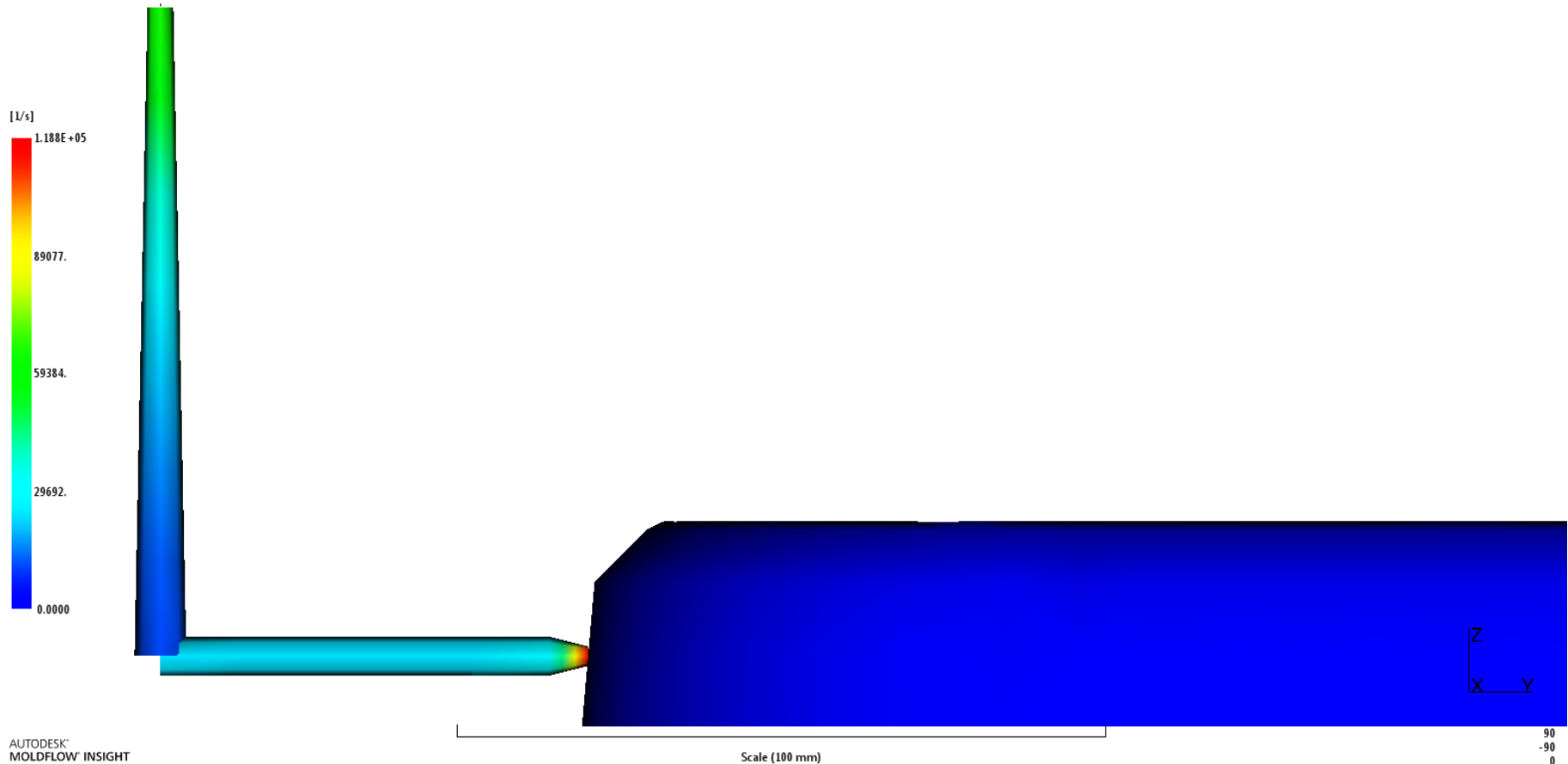
Air traps



- **Kidobási hőmérséklet eléréséhez szükséges hűtési idő**
- ➔ **Falvastagságok, szerszámhőmérséklet-eloszlás, ciklusidő**



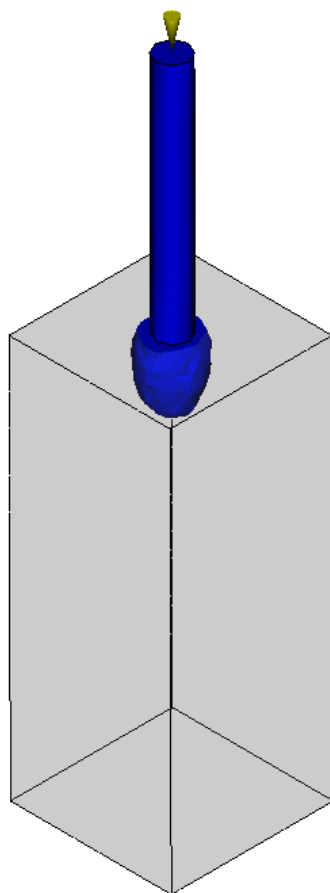
- Nyírósebesség eloszlás
- ➔ Degradáció, mechanikai tulajdonságok, beégési nyomok, befröccsöntési sebesség, gátak száma



Inercia nélkül

Fill time
= 0.0426[s]

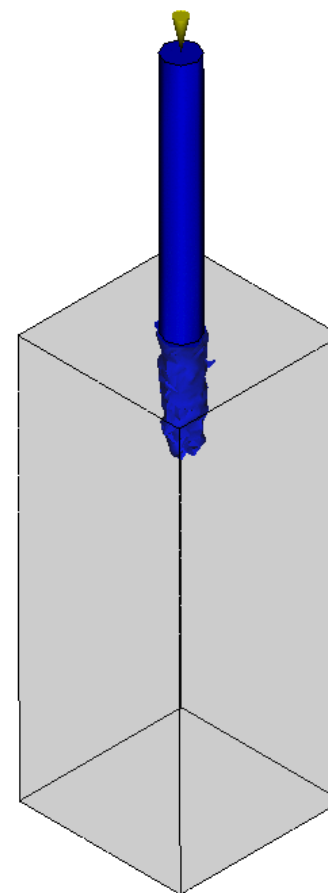
[s]
1.023
0.7669
0.5113
0.2556
0.0000



Inercia hatásával

Fill time
= 0.0426[s]

[s]
1.022
0.7662
0.5108
0.2554
0.0000

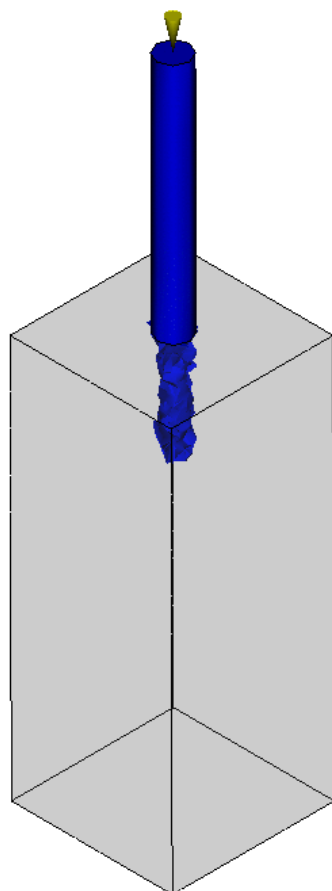
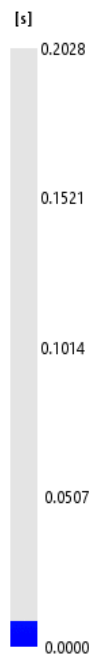




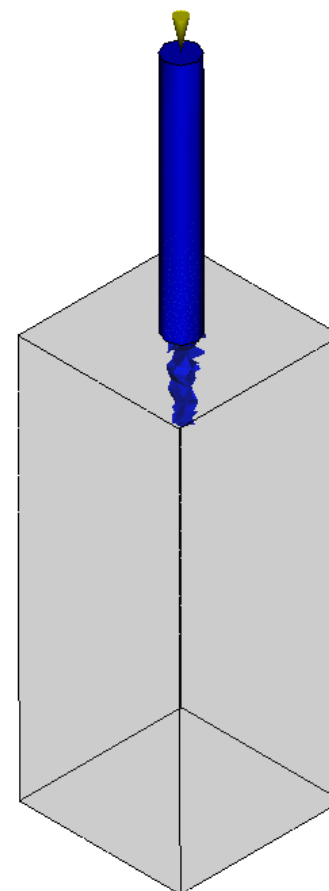
Inercia és sebesség hatása



Fill time
= 0.0085[s]

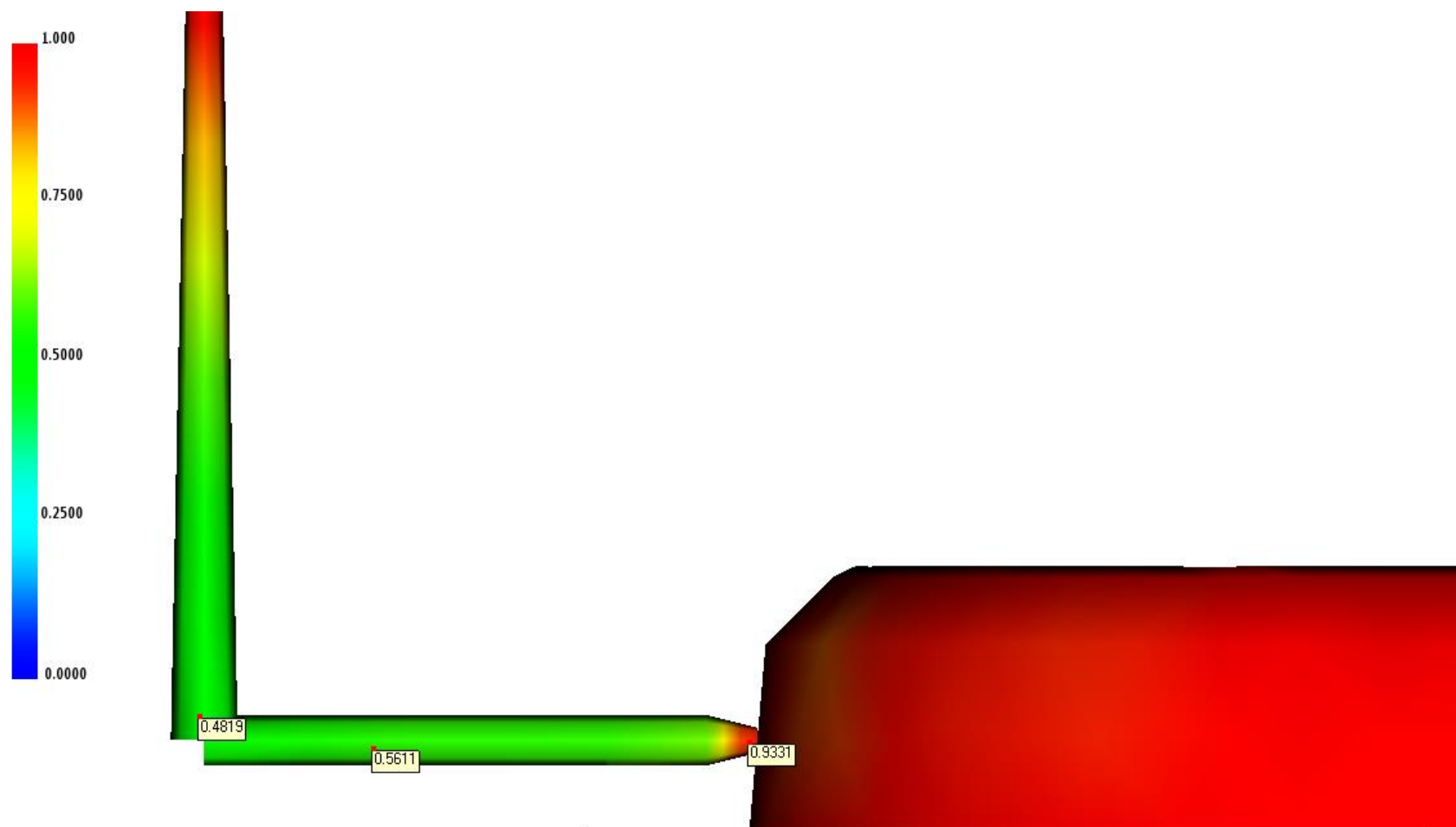


Fill time
= 0.0017[s]

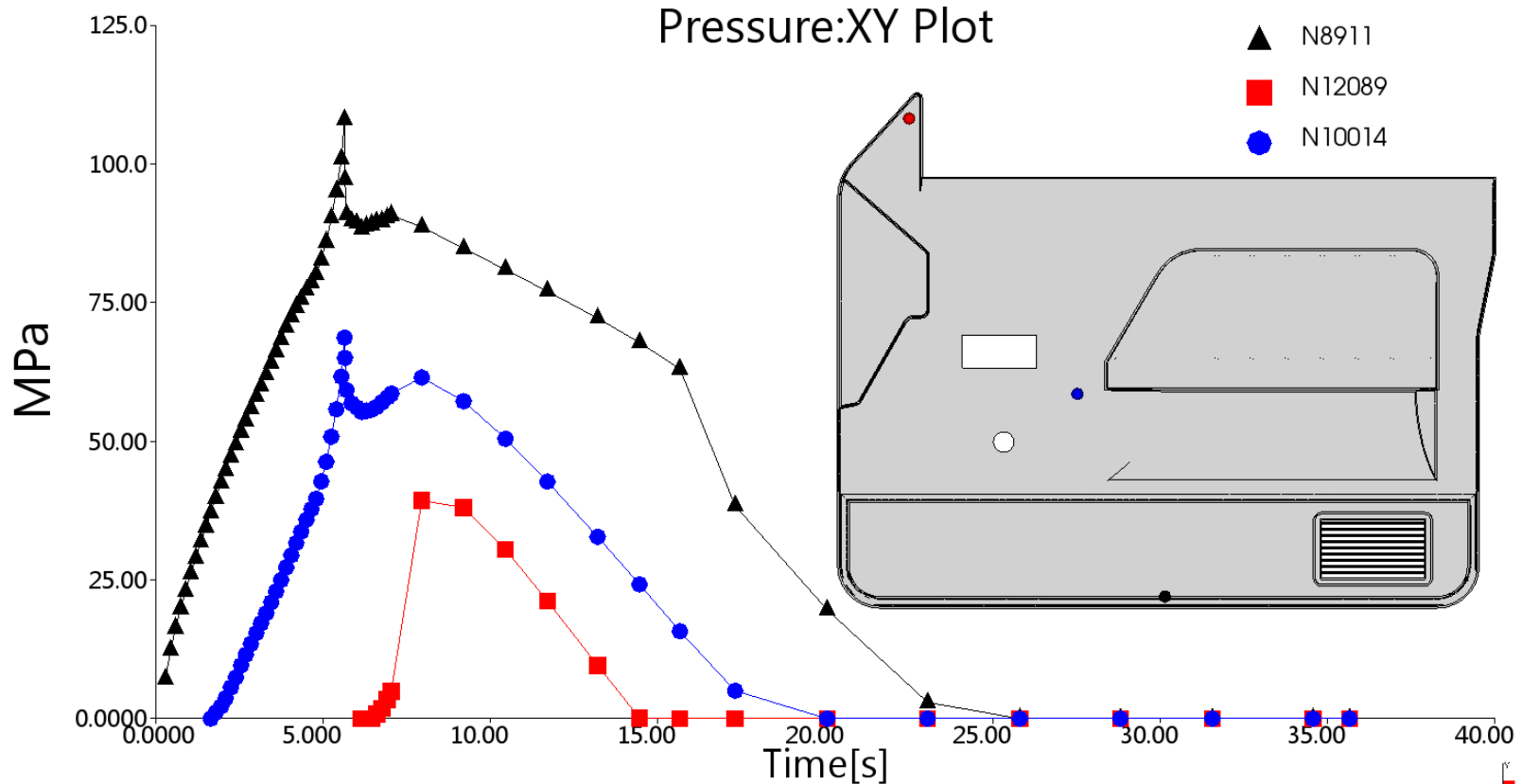


- **Nyomásfokozás, utónyomás leírása**
- **Nyomás eloszlás**
- **Hőmérséklet (átlagos, vagy keresztmetszet mentén)**
- **Nyírósebesség eloszlás**
- **Szerszámfanál ébredő nyírófeszültség**
- **Lefagyott réteg vastagságának alakulása**
- **Záróerő szükséglet**
- **Összeecsapási hibák minősítése – nyomás, idő**
- **Fajtérfogat változás**
- **Szerszám és betét deformáció**

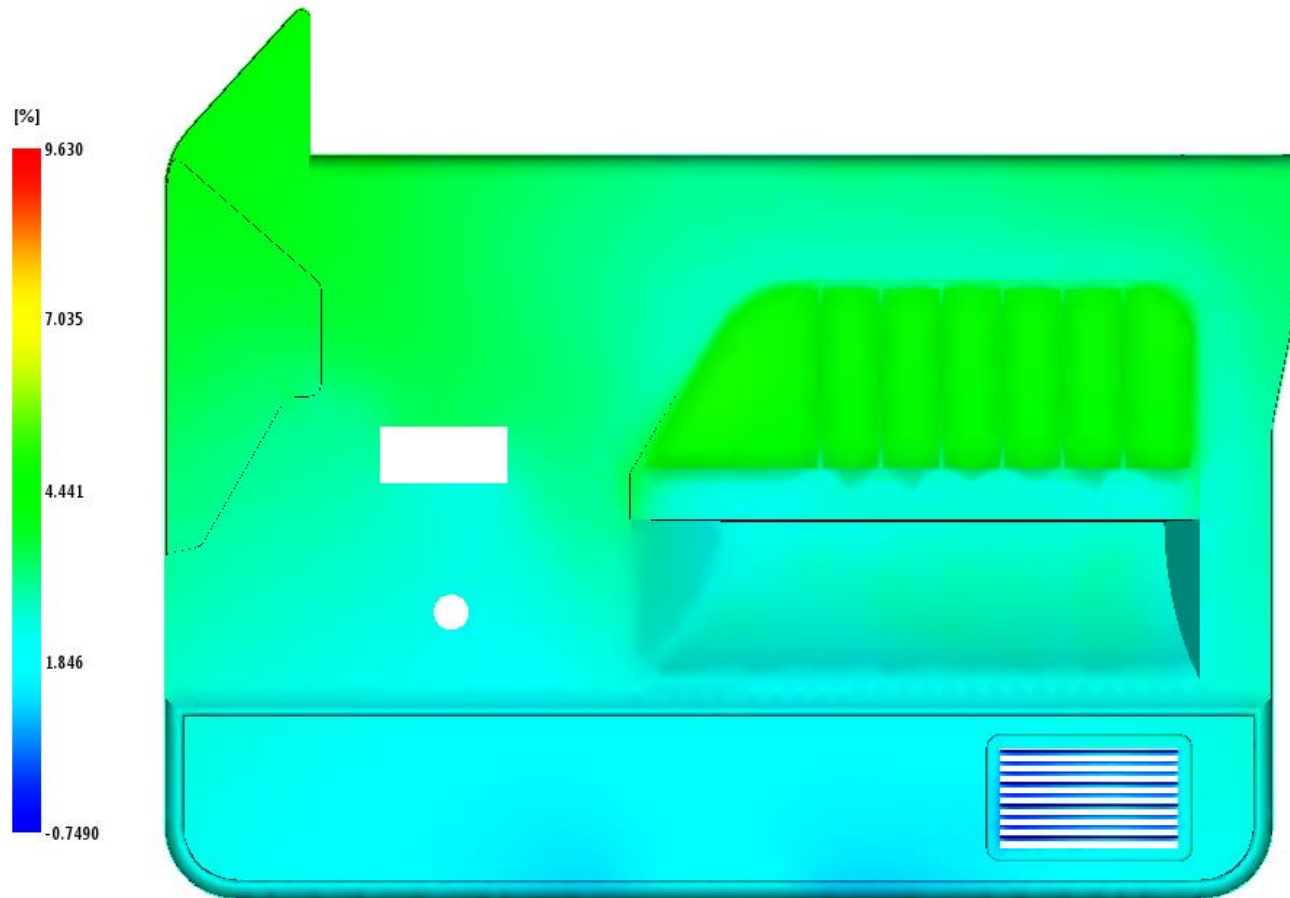
- Lefagyott réteg vastagsága
- ➔ Utónyomási idő, elosztócsatorna méretezés



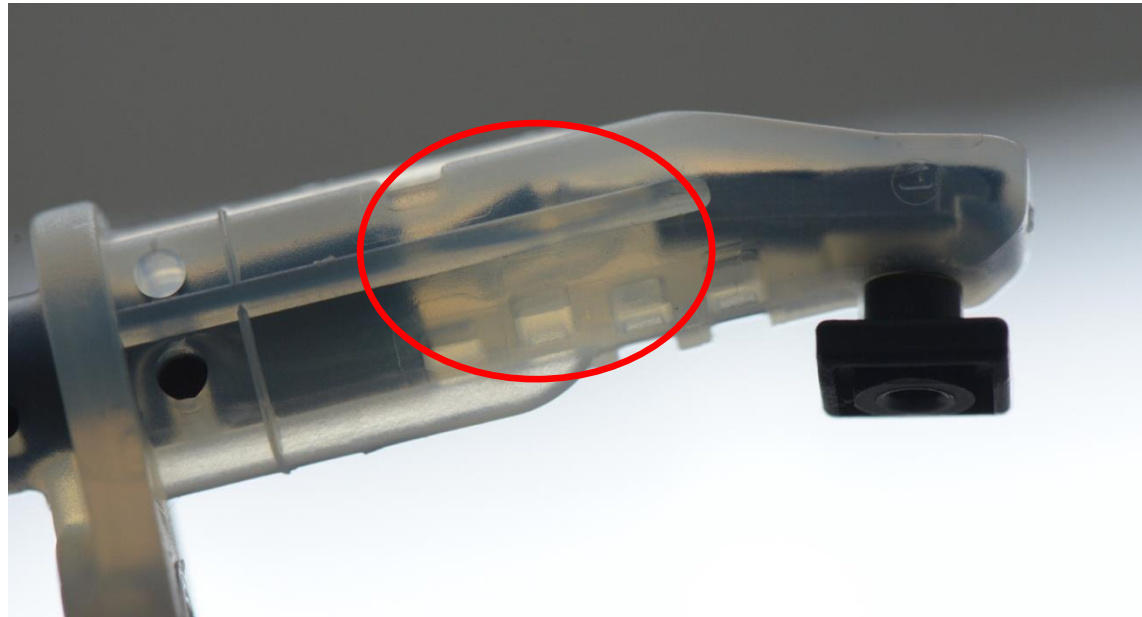
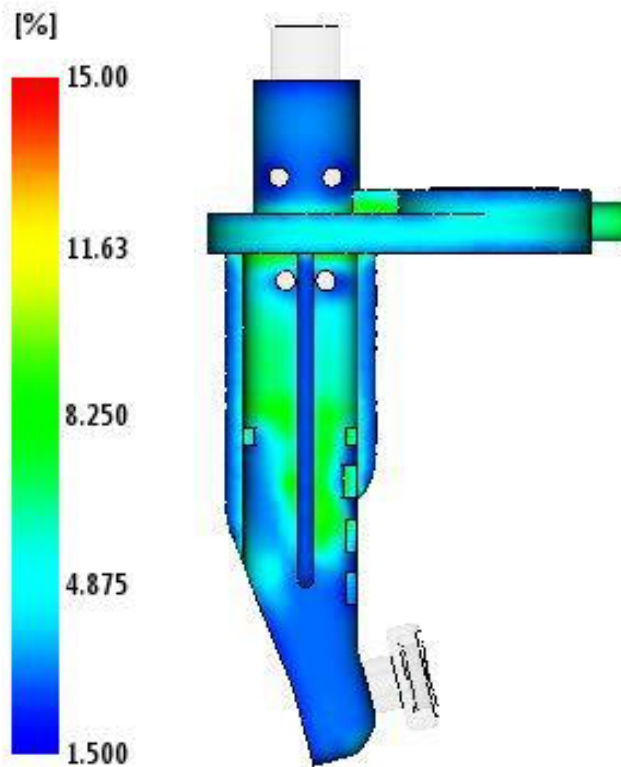
- **Nyomáslefutások**
- ➔ **Zsugorodás, vetemedés, összecsapások minősítése, nyomásesések, záróerő szükséglet**



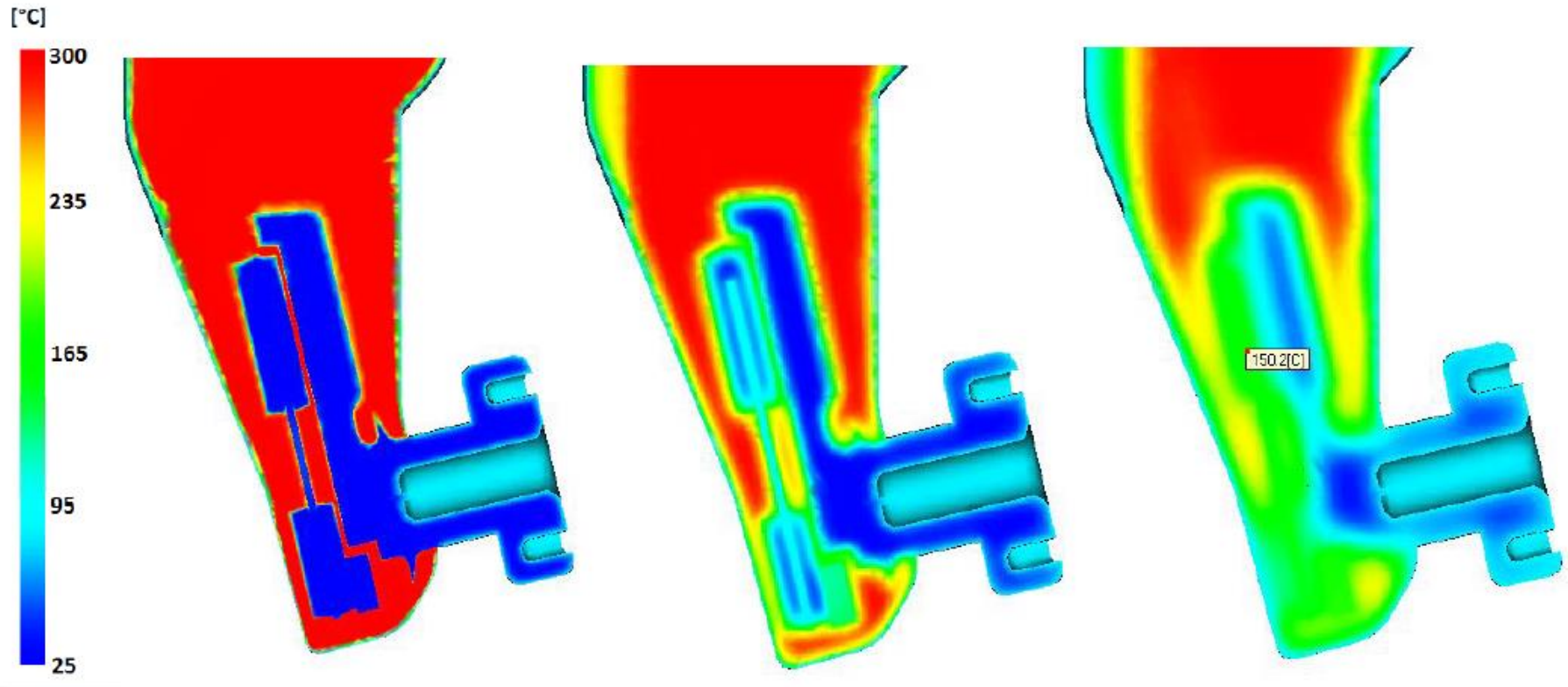
- Térfogati zsugorodás
- ➔ Beszívódás, lunker képződés, „túlkompenzált” helyek, belső feszí



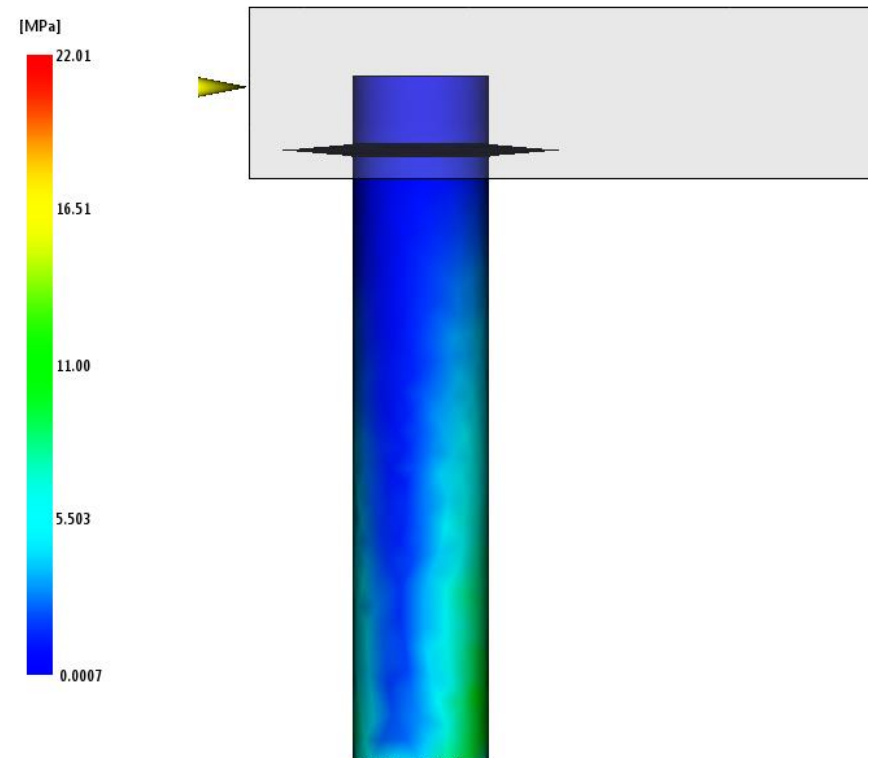
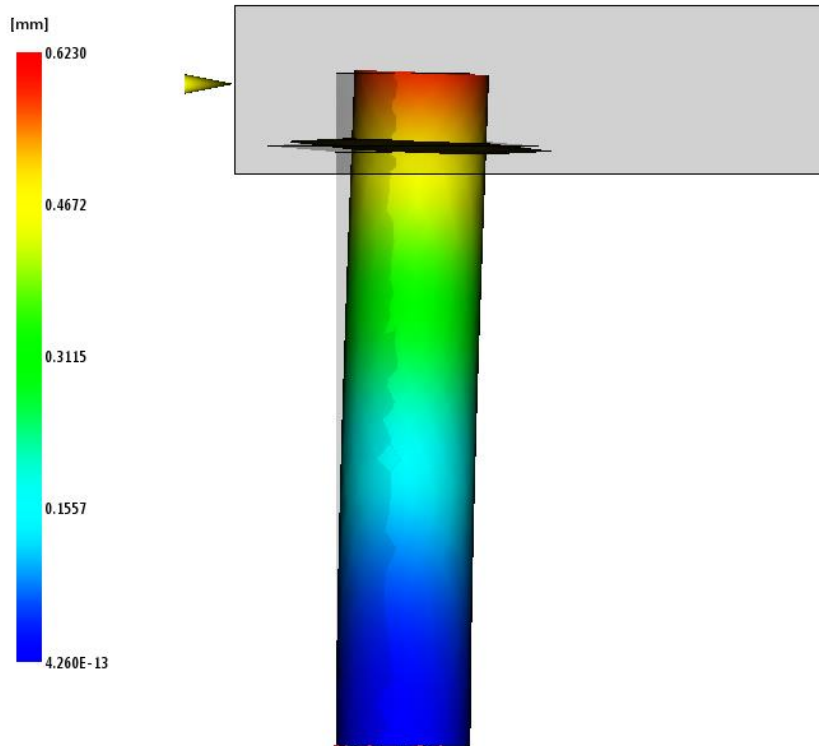
- Térfogati zsugorodás
- ➔ Beszívódás, lunker képződés, „túlkompenzált” helyek, belső feszültség

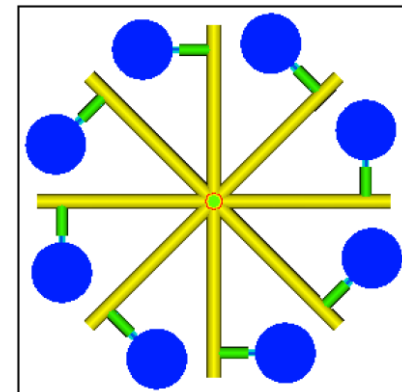
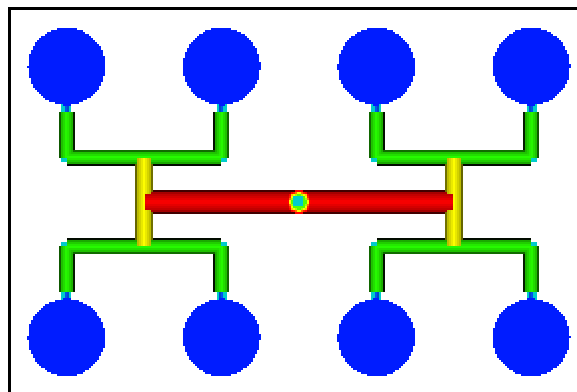
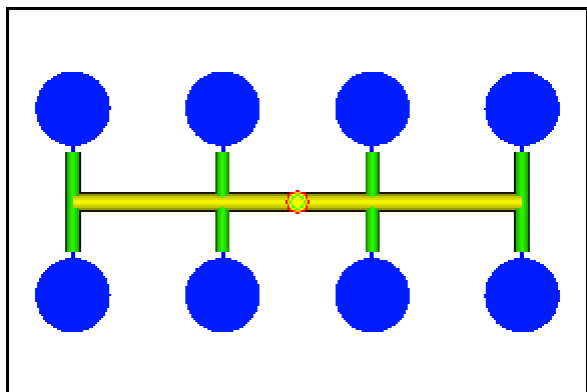


- Hőmérséklet lefutás
- ➔ Beszívódás, lunker képződés, betétek átmelegedése, inzerit beolvadás stb.

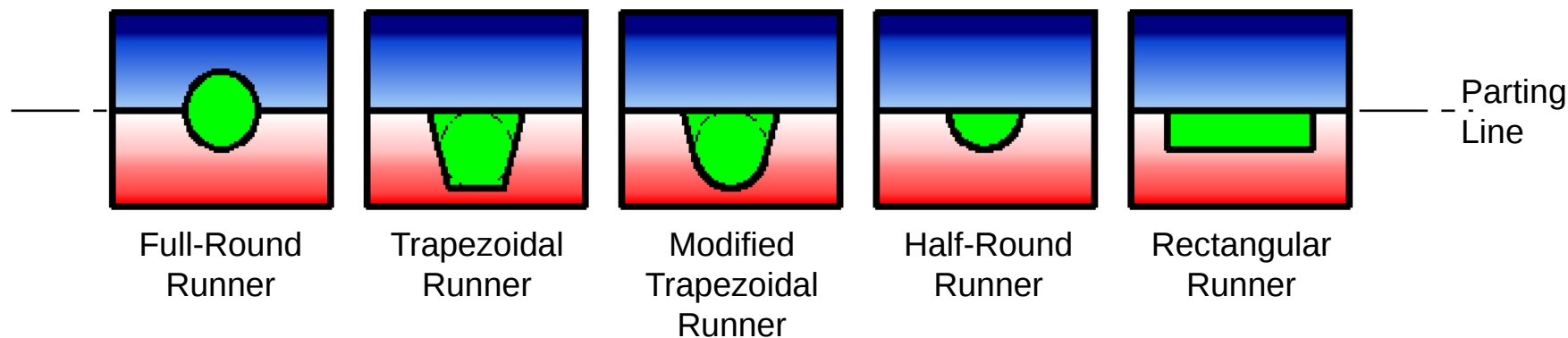


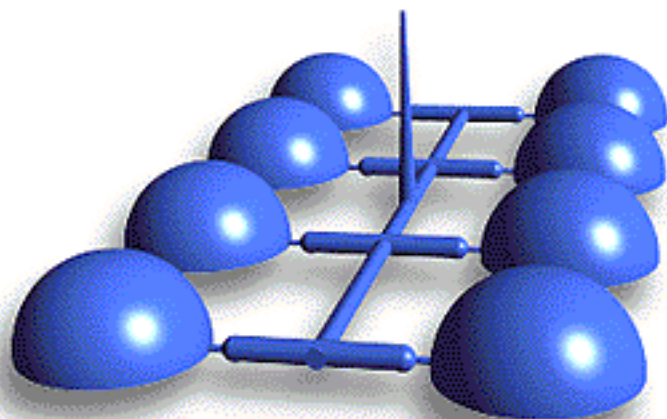
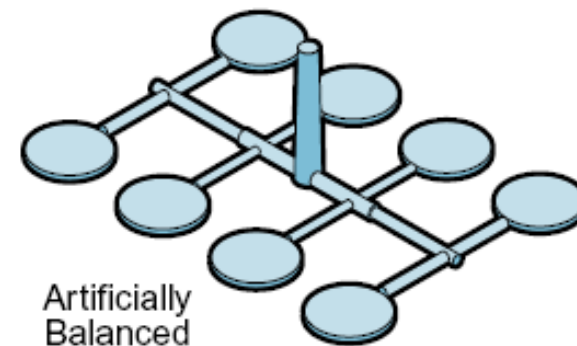
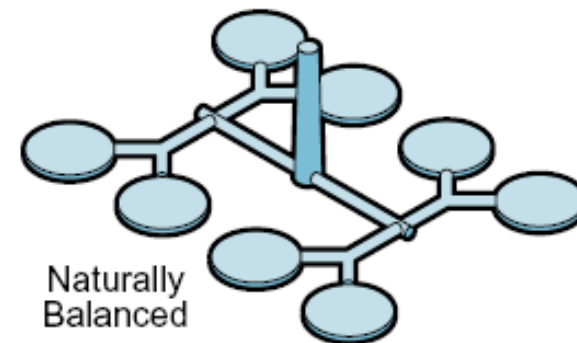
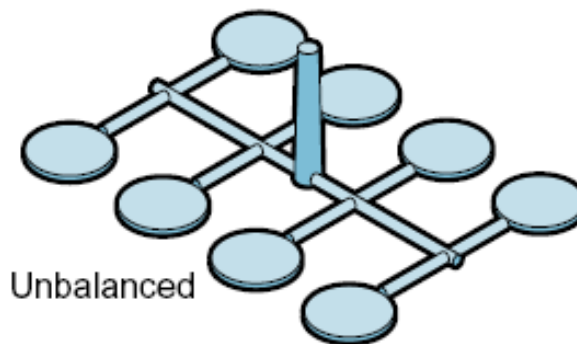
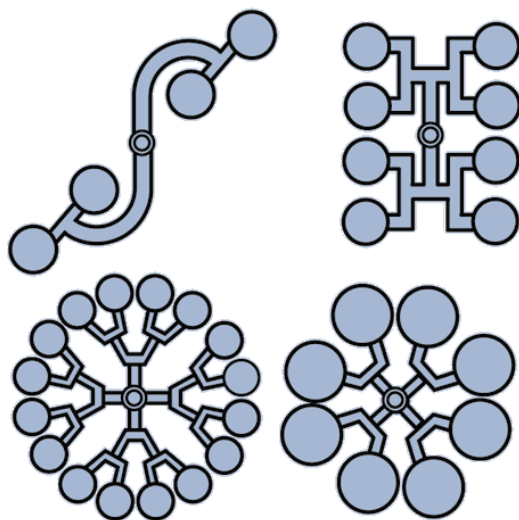
- **Betétek elmozdulása**
- ➔ **Egyenetlen falvastagság, betét törése, idő előtti fáradásos törések**

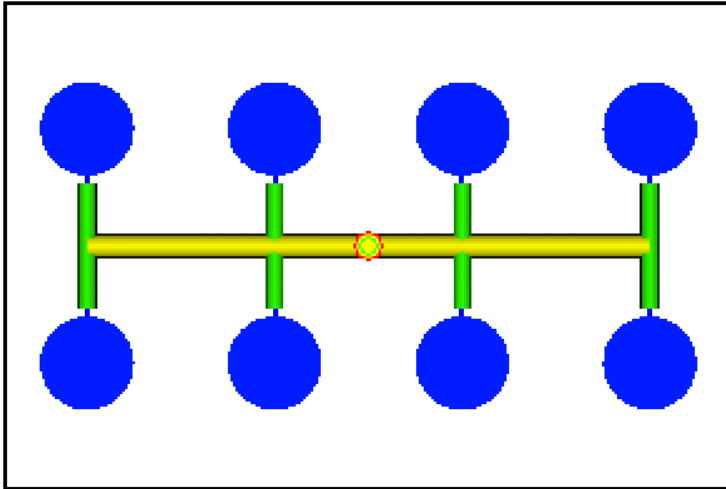




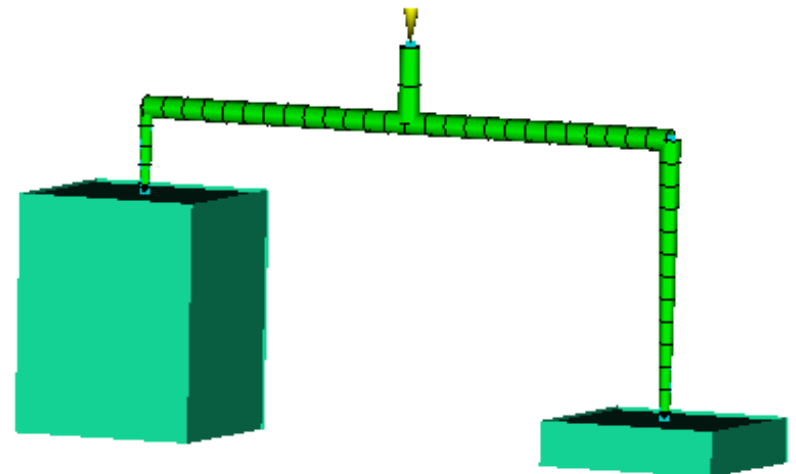
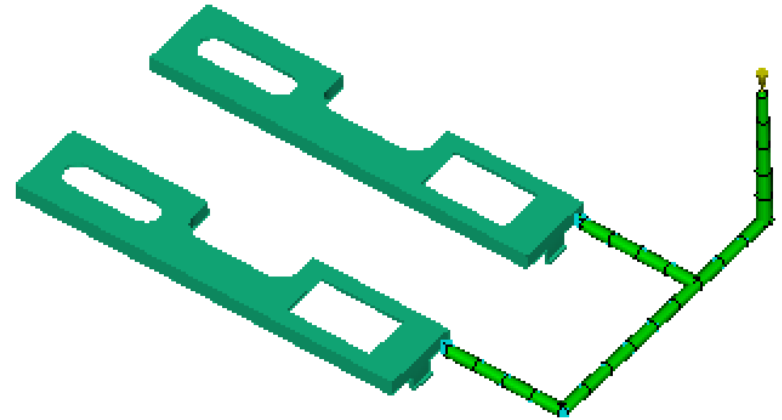
Best results

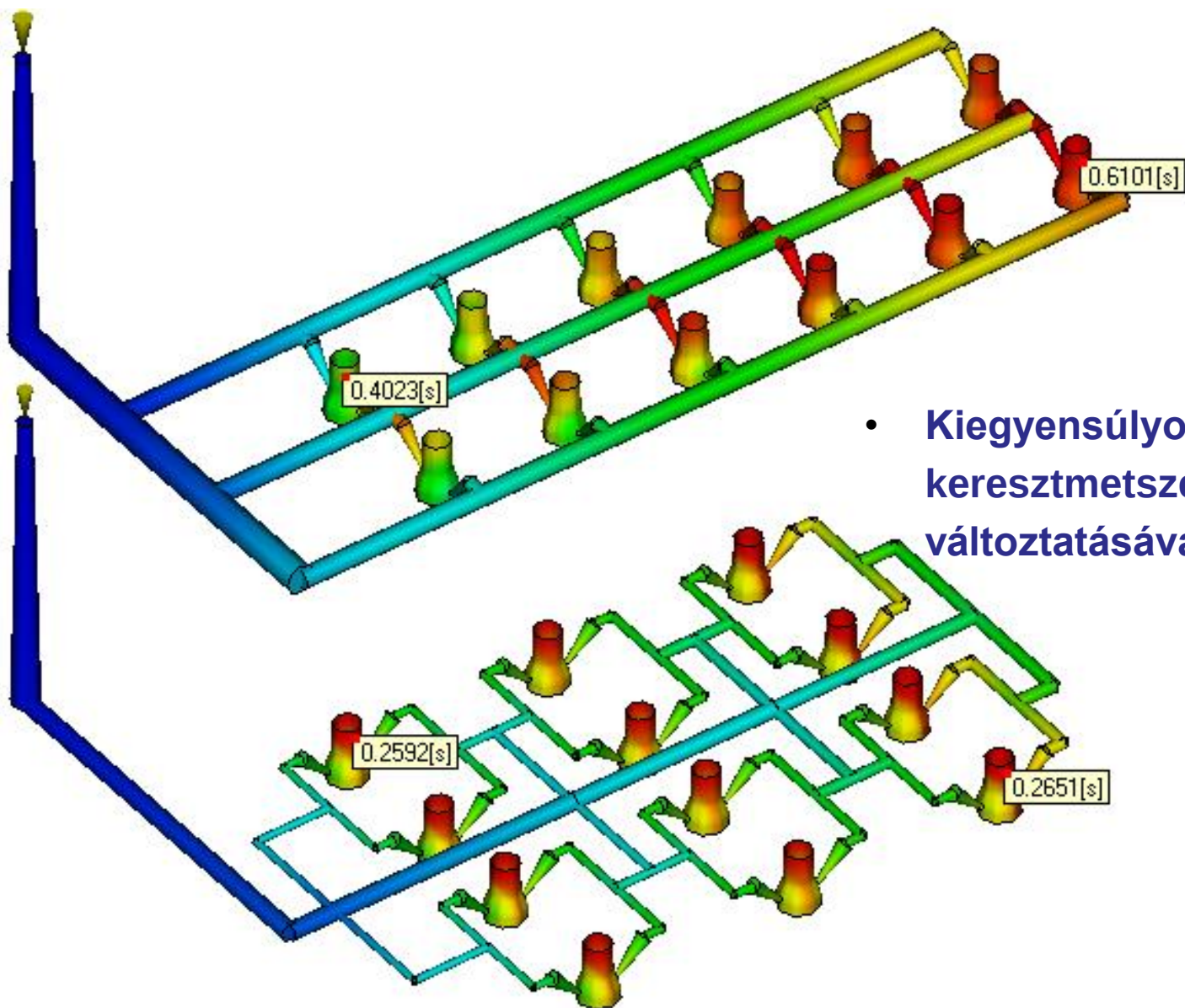






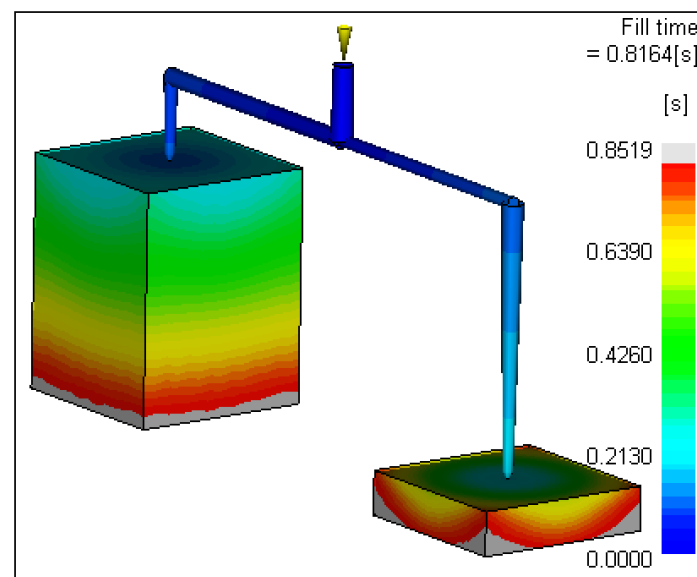
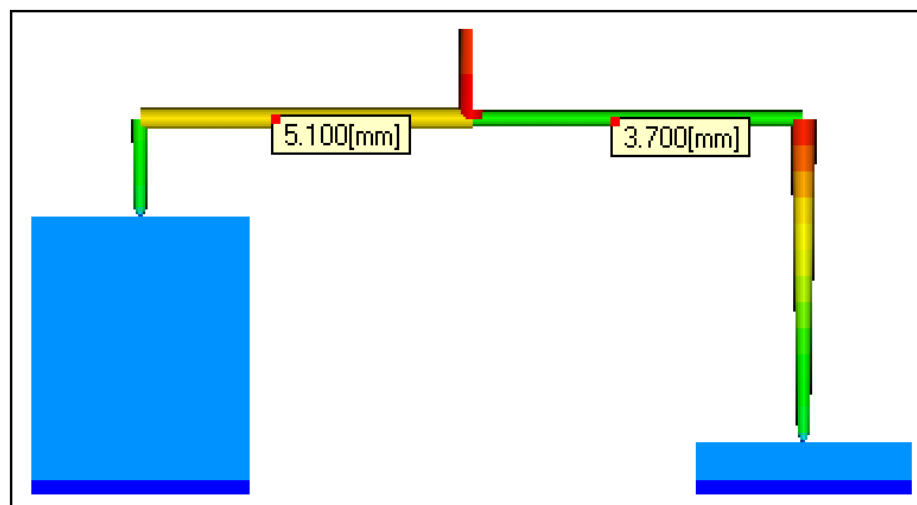
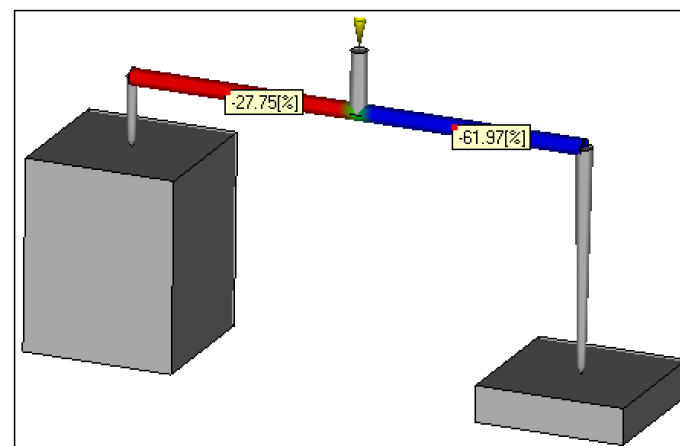
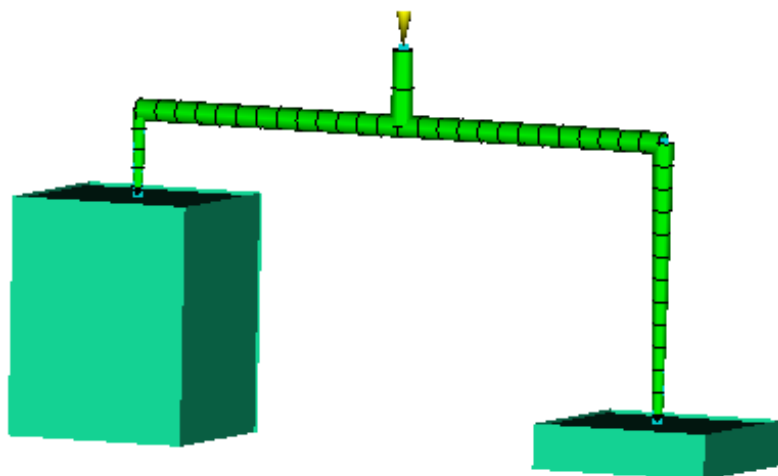
- Egyenetlen kitöltődés
- Eltérő utónyomási profil
- Eltérő méretek
- Különböző minőségi mutatók



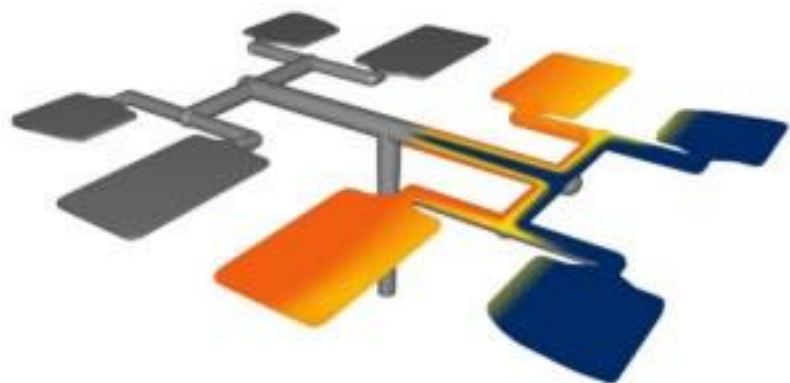


- Kiegyensúlyozás a csatorna keresztmetszetek változtatásával

- Kiegyensúlyozás a csatorna keresztmetszetek változtatásával

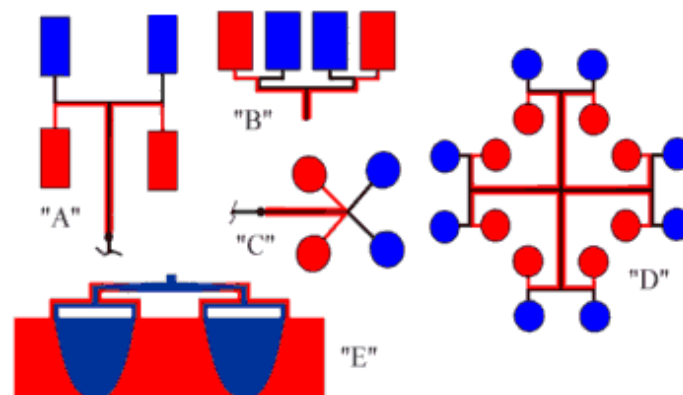
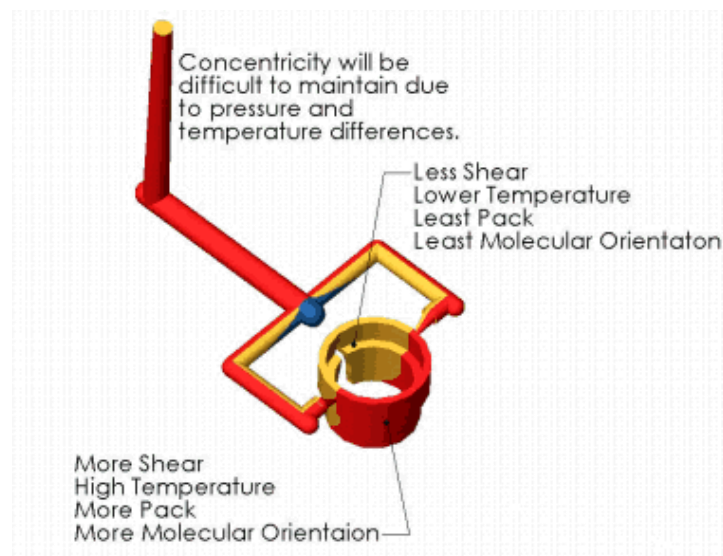
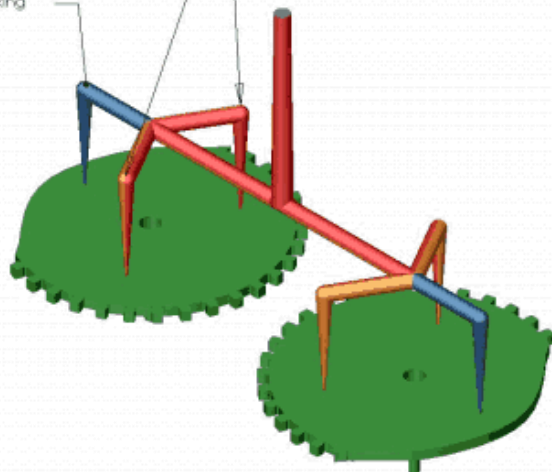


- Geometriailag kiegyensúlyozott rendszerek? – Shear heating**



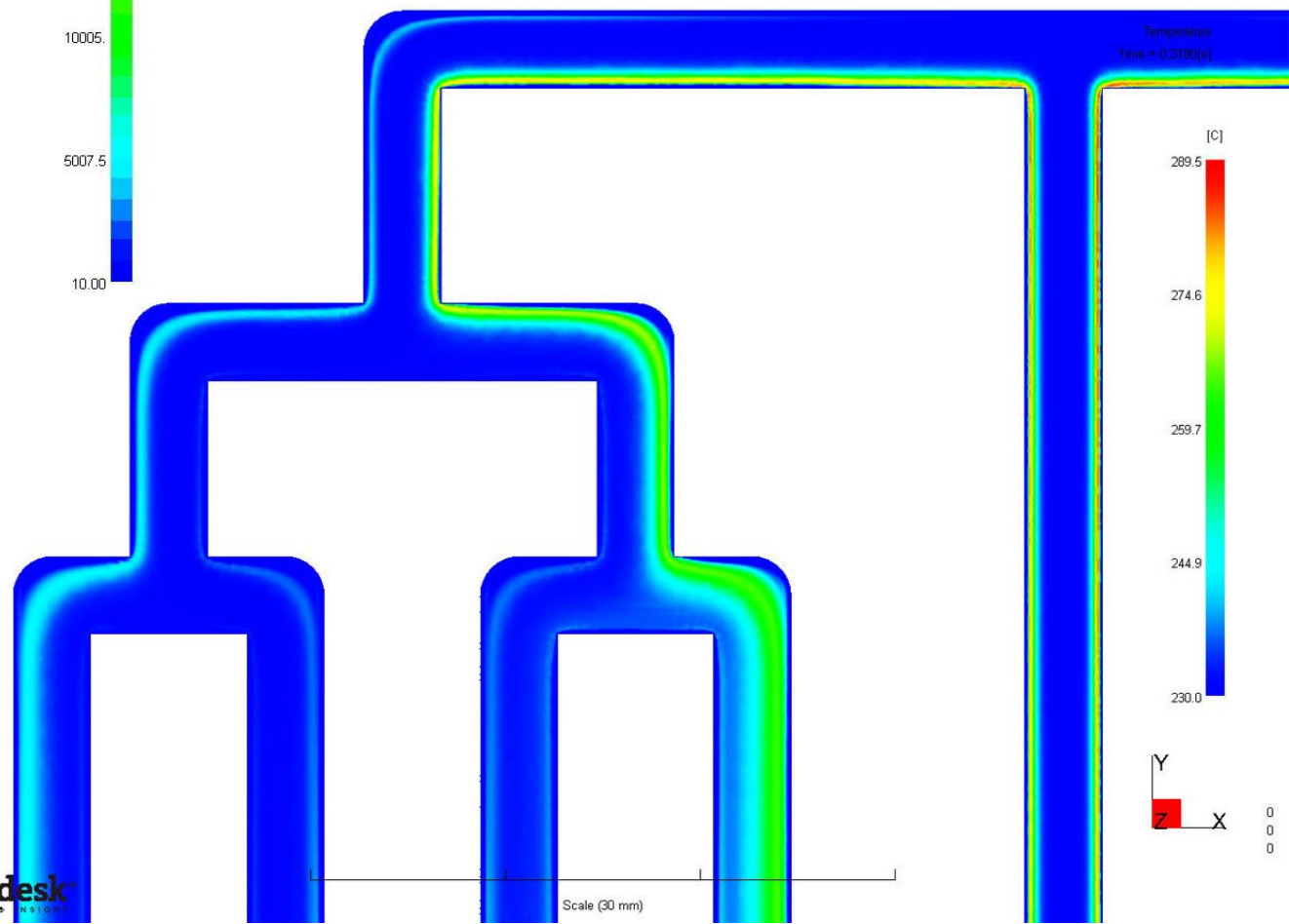
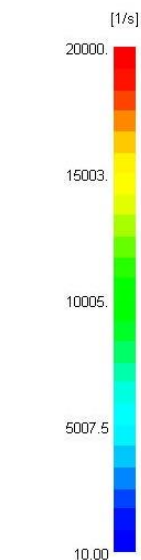
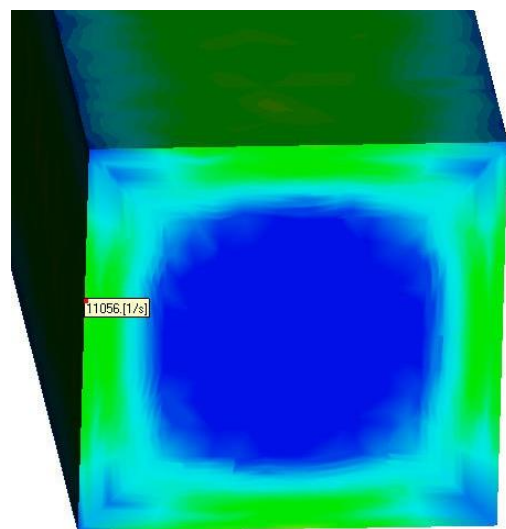
Flow 1 - fills first
Highest temperature material
Lowest viscosity
Most amount of packing

Flow 2 - fills last
Lowest temperature material
Highest viscosity
Least amount of packing

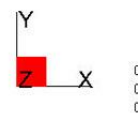




Szimulációk – Elosztócsatorna balance



Temperature
Time = 0.2100[s]



- Geometriailag kiegyensúlyozott rendszerek? – Shear heating

