

Polimerek reológiája és szimulációs technikái (BMEGEPTNG02)



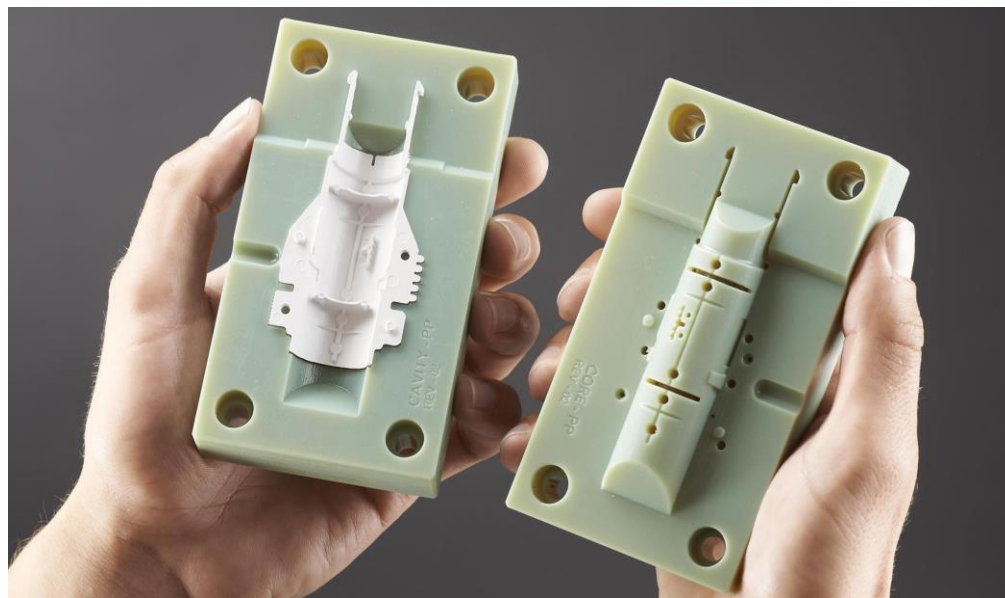
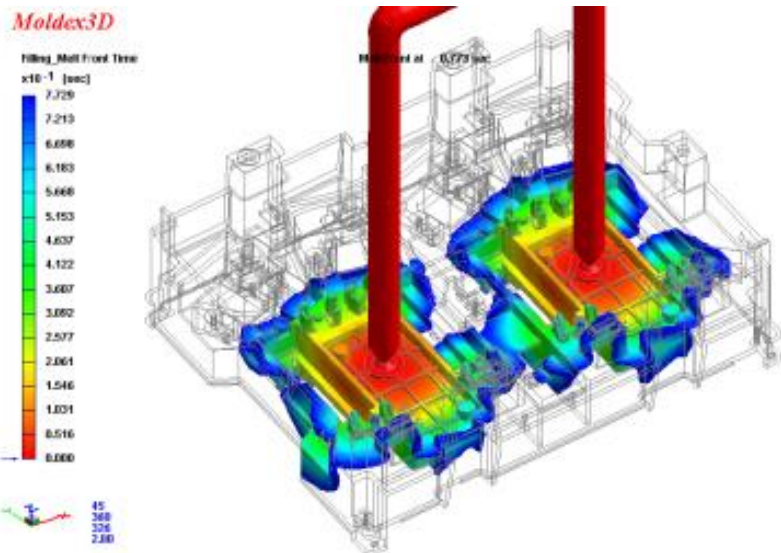
BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR
POLIMERTECHNIKA TANSZÉK



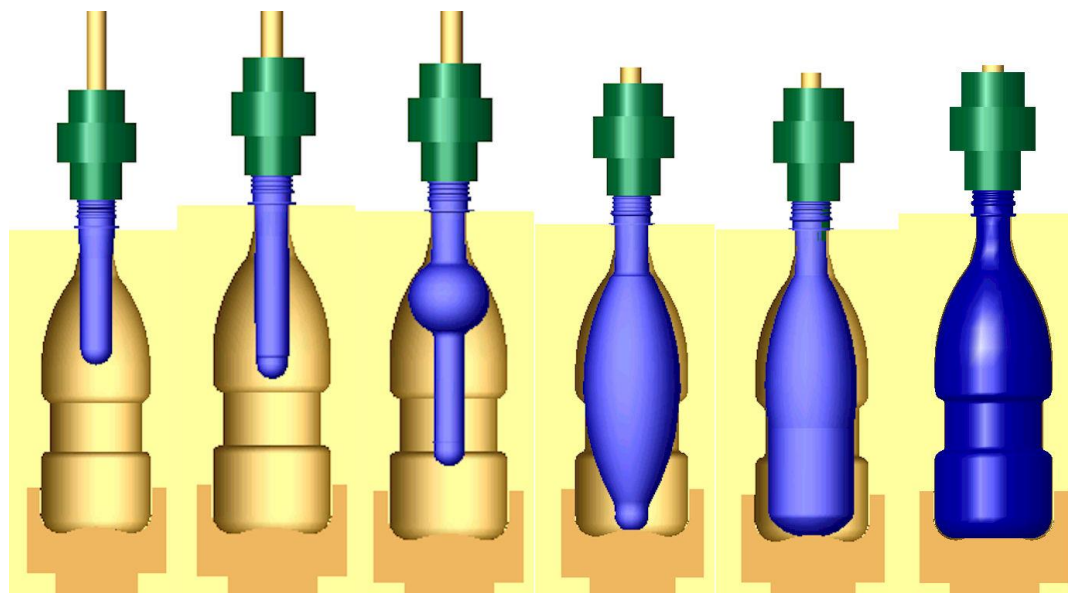
Szabó Ferenc

2023

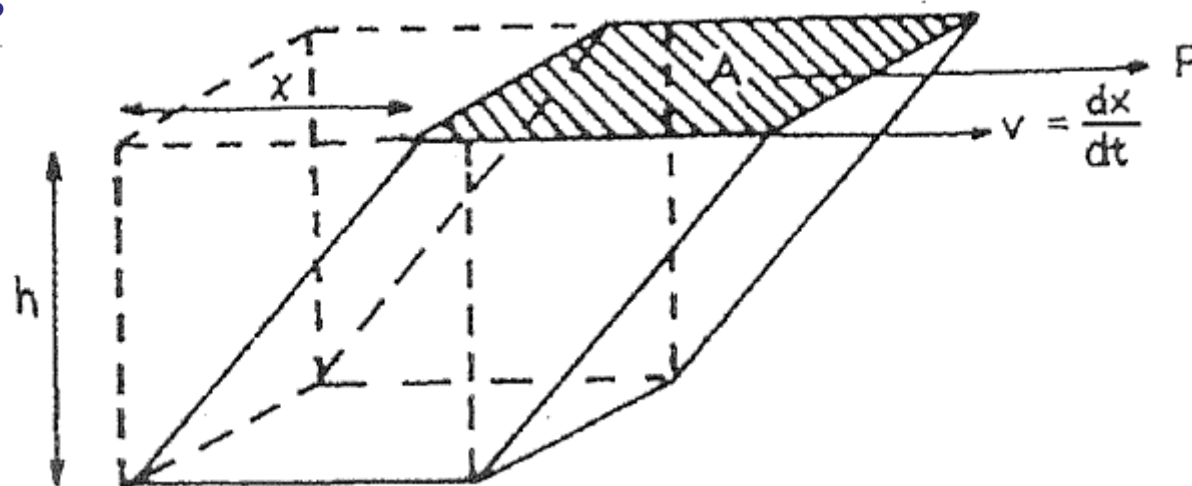
- **Térhálós anyagok feldolgozása**
- **Hőre lágyuló anyagok feldolgozása**
 - Nagyrészt folyadék(szerűbb) állapotban történik a feldolgozás
 - Fizikai és kémiai állapotváltozások (a kémiai általában kerülendő)
 - Fröccsöntés, extrúzió, melegalakítás, szálgyártás stb.
- **Megfigyelések, kísérleti eredmények → Modellek**
 - Anyagi viselkedés leírása
 - Információ gyűjtés eddig kísérletileg nem vizsgált szituációk esetében



- **Modellezés?**
 - Legyen matematikai!
 - Legyen általános
- **Mit nem ismerünk?**



- **Egyszerű nyírás**



- **Nyírófeszültség**

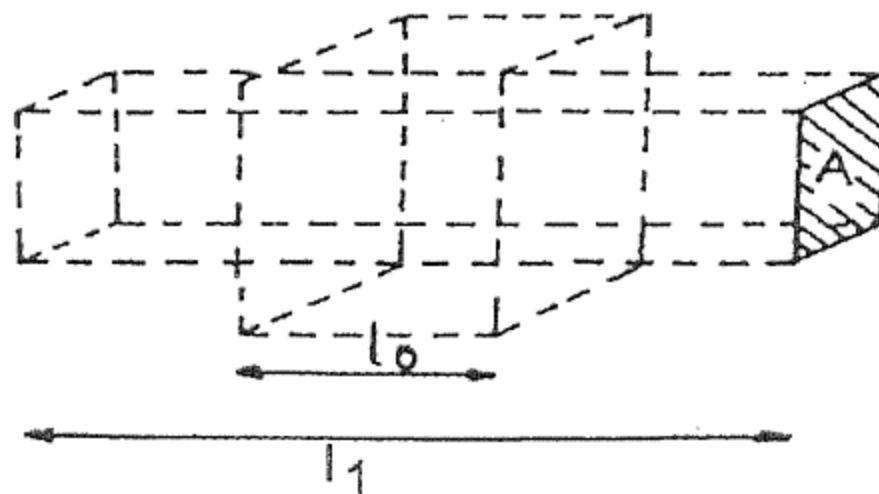
$$\tau = \frac{F}{A}$$

- **Deformáció** $\gamma = \frac{x}{h}$

- **Deformáció sebesség**

$$\dot{\gamma} = \frac{1}{h} \frac{dx}{dt}$$

- **Egyszerű nyújtás**



- **Húzófeszültség**

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

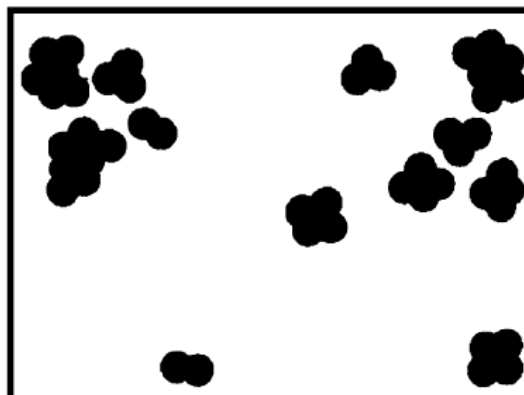
- **Deformáció**

$$\varepsilon = \int_{l_0}^{l_1} \frac{dl}{l} = \ln\left(\frac{l_1}{l_0}\right)$$

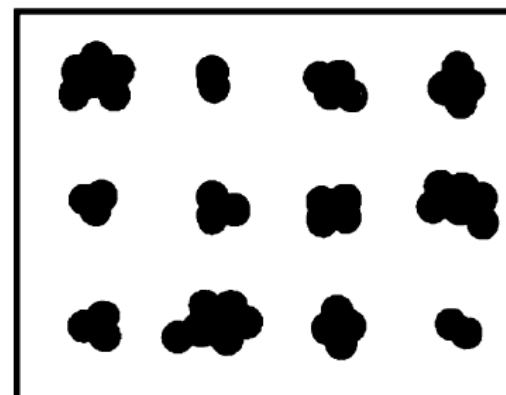
- **Deformáció sebesség**

$$\dot{\varepsilon} = \frac{d\varepsilon}{dt}$$

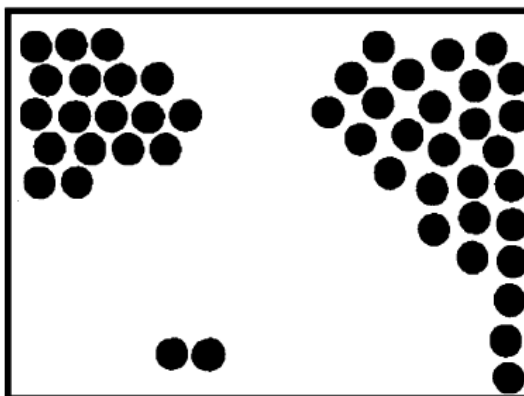
- Színezékek, erősítőanyagok, töltőanyagok, adalékok eloszlása
- Kohéziós (összetartó) erők vs. hidrodinamikai (szétválasztó) erők viszonya
- Kritikus feszültség érték



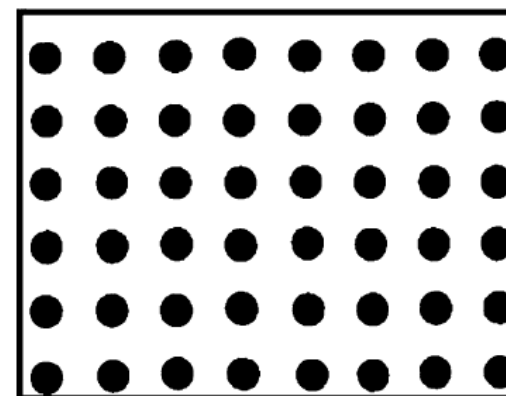
DISPERSION BAD; DISTRIBUTION BAD



DISPERSION BAD; DISTRIBUTION GOOD



DISPERSION GOOD; DISTRIBUTION BAD



DISPERSION GOOD; DISTRIBUTION GOOD



- **Newtoni közegek (méretcsökkentő keverése) esetében a felületi feszültséget kell legyőzni**
- **Definiáljuk a kapilláris számot és a viszkozitások arányát**

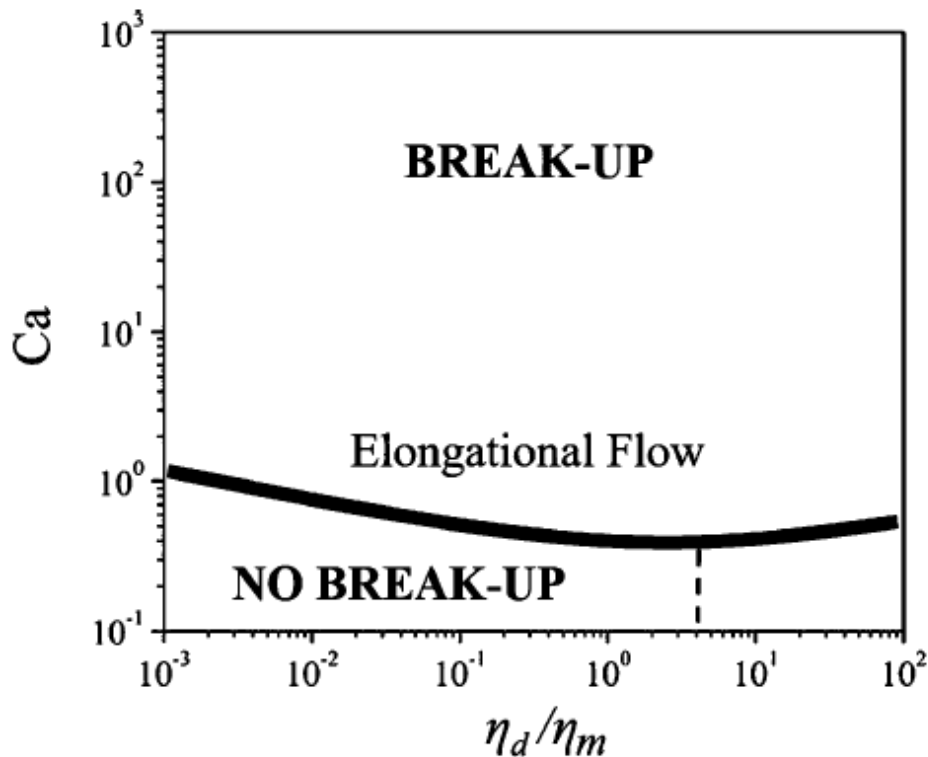
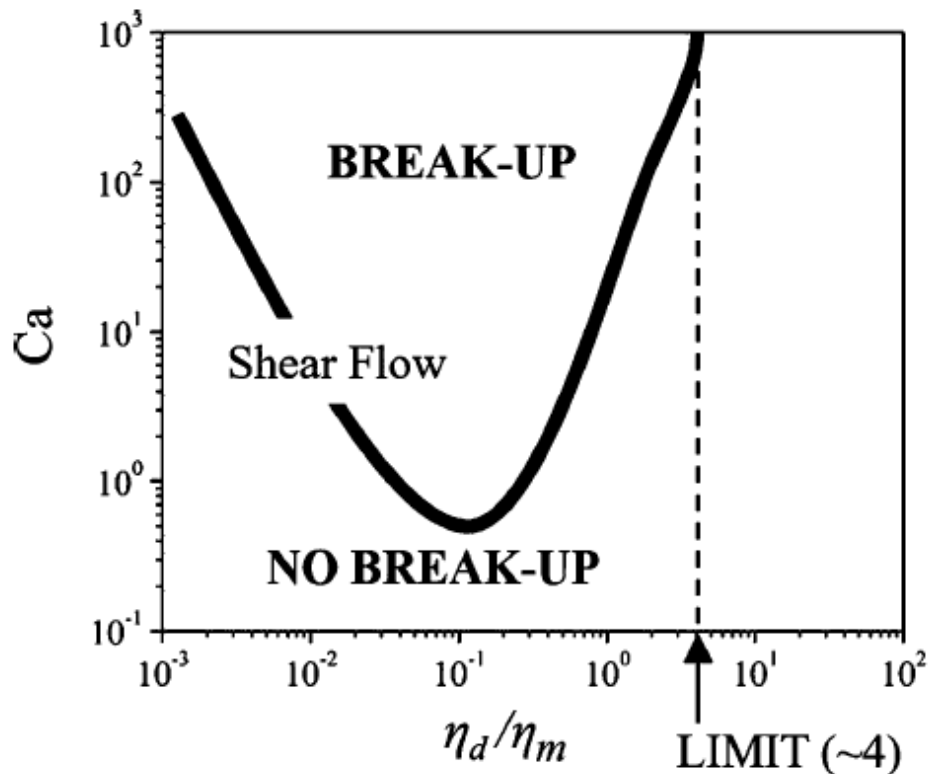
$$Ca = \frac{\tau R_d}{S} = \frac{\text{viscous stress} \times \text{drop radius}}{\text{interfacial tension}}$$

$$\frac{\eta_d}{\eta_m} = \frac{\text{viscosity of dispersed phase}}{\text{viscosity of matrix phase}}$$

- **Vizsgáljuk meg, hogy milyen esetekben tudunk keveredést elérni (Grace görbék)**



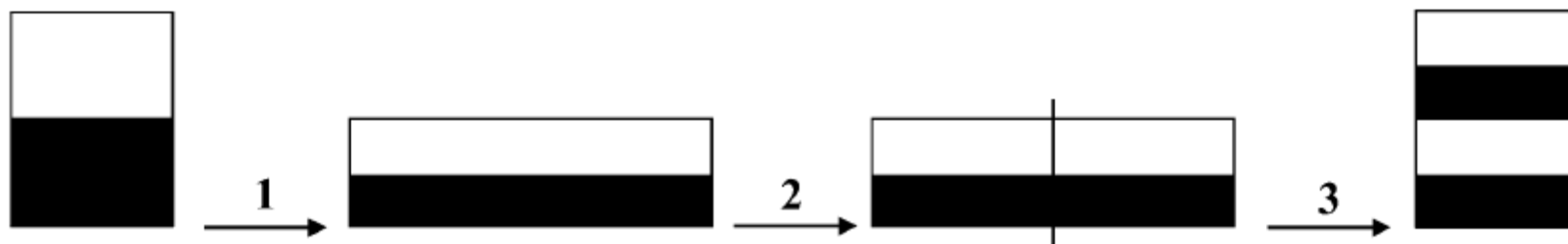
- Egyszerű nyírás és nyújtás



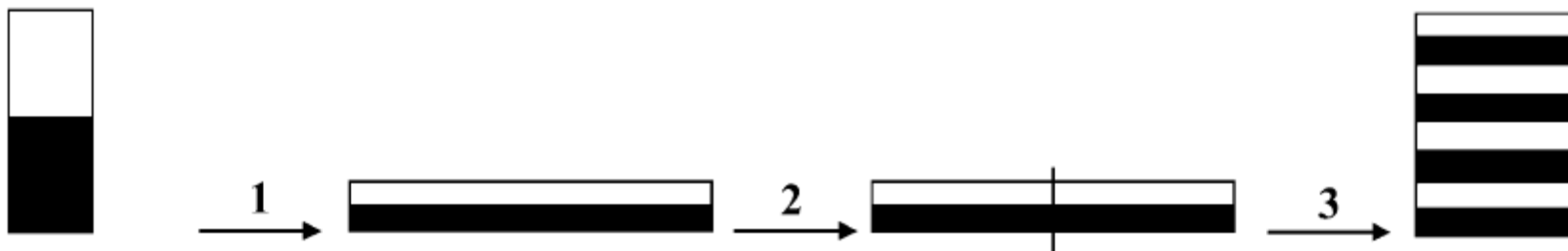
- Nyújtással szélesebb tartományban érhető el keverés (extruder, gyűrőelemek!)



- Eloszlató keverés, felületarányok, dagasztás analógiája



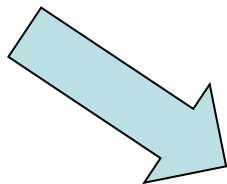
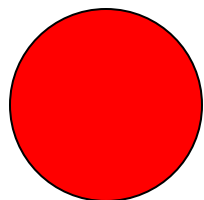
after n elements 2^n layers



cutting into four yields 4^n layers



- **Megfelelő balansz elérése, egyenletes kilépési sebesség**
 - **Megfelelő nyomásesés (a túlzottan kicsi és a nagy sem jó)**
 - **Pangó áramlás elkerülése**
 - **Túlzottan hideg és meleg zónák elkerülése**
 - **Ömledéktörés és cápabőrösödés kialakulásának hátráltatása**
 - **„Szakálképződés” kialakulásának elkerülése**
 - **Hegedési vonalak hatásának minimalizálása**
 - **Megfelelő tartózkodási idő elérése**
-
- **Mi a könnyebb? Extruder szerszámot tervezni, vagy egy meglévő működését optimalizálni?**



- **Tervezés tapasztalati úton**
- **Szimuláció ???**





- Normál irányú feszültségek, Weissenberg effektus:
<https://www.youtube.com/watch?v=XShuDxvkAog>



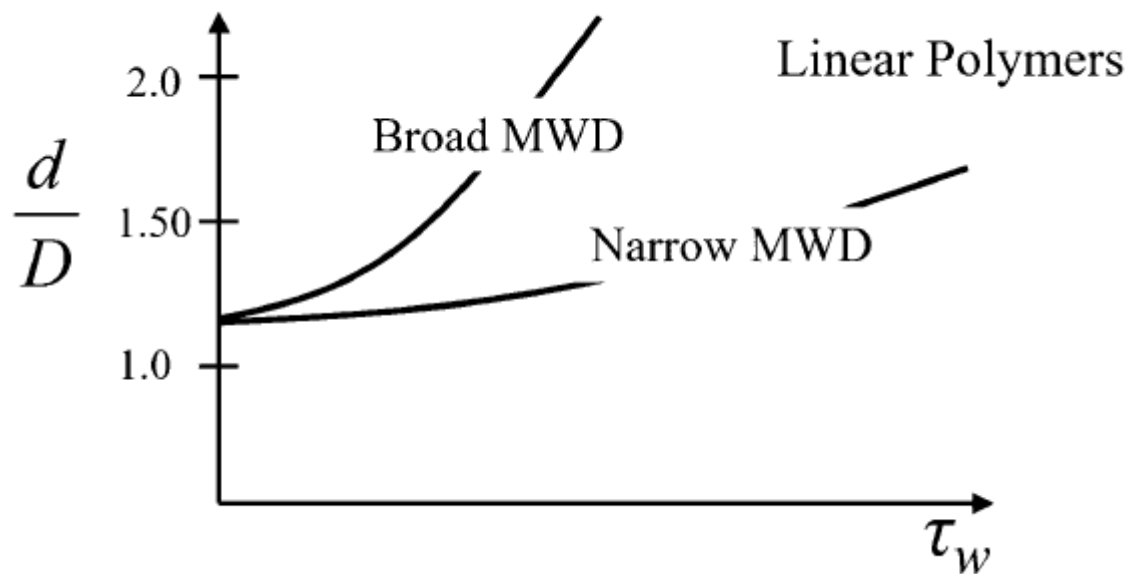
- **Megegyezik-e a szerszámból kilépő keresztmetszet a szerszám keresztmetszetével?**
- **Kör keresztmetszetre:**

$$N_{1w} = 2\tau_w \left(3 \left[\left(\frac{d}{D} \right)^4 + 2 \left(\frac{d}{D} \right)^{-2} - 3 \right] \right)^{1/2}$$

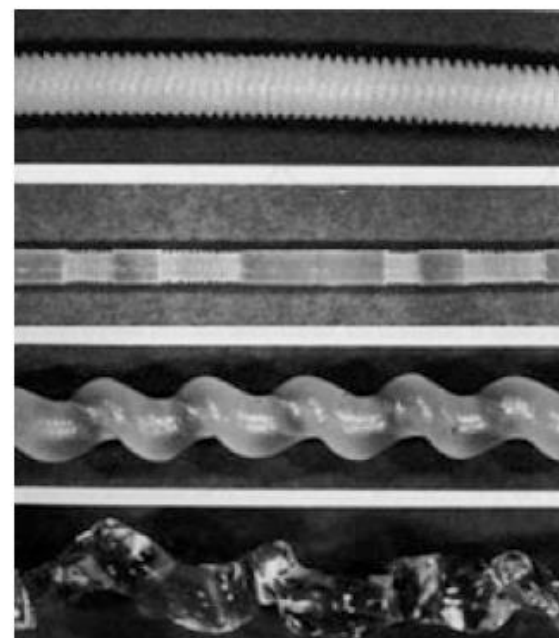
- **Vagy:**

$$N_{1w} = 2\sqrt{2}\tau_w \left[\left(\frac{d}{D} - 0.13 \right)^6 - 1 \right]^{1/2}$$

- **Vagy mérjük**



- **Kilépési anomáliák – cápabőr, ömledék törés**



HDPE

HDPE

PP

PP

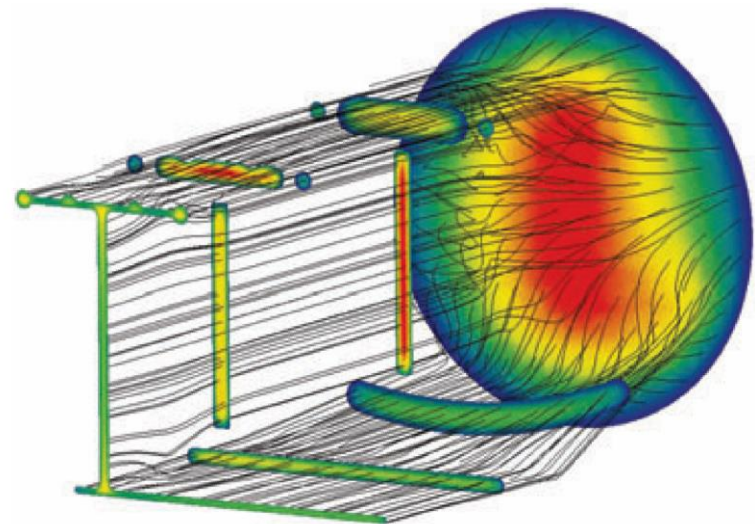
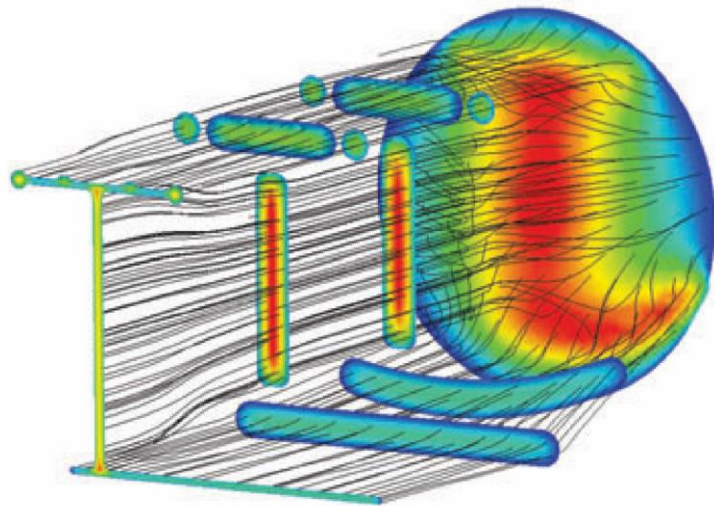
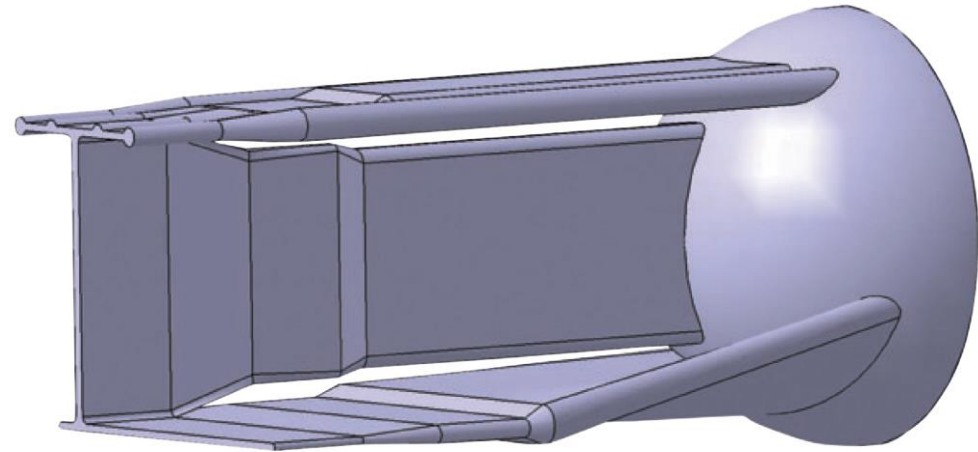
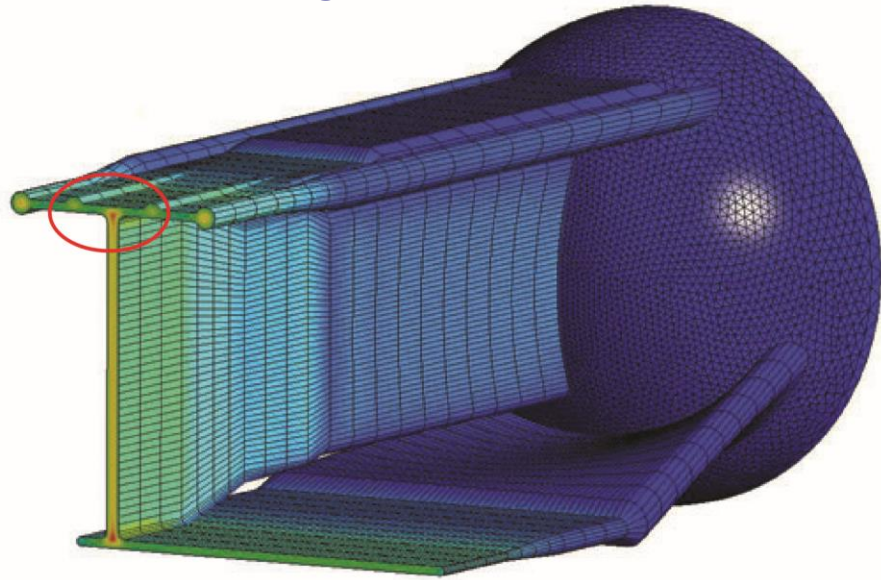


- **Kilépési anomáliák – cápabőr, ömledék törés**
 - Falmenti nyírófeszültségek túl nagyok
 - Nem igaz a tapadás törvénye, akadozva csúszás
 - Túlzottan nagy igénybevételt kap az ömledék (pl. hirtelen keresztmetszet változás miatt), ez meghaladja a szilárdsági értékeit
 - Instabillá válnak a belépési szakaszban kialakuló örvények
 - Elasztikus instabilitás a vasaló szakaszban, jellemzően ha

$$\frac{\text{Normal stress}}{\text{Shear stress}} = \frac{N_1}{2\tau_w} \geq \text{constant} \sim 10$$

- És az elhúzásról még nem is beszéltünk ...

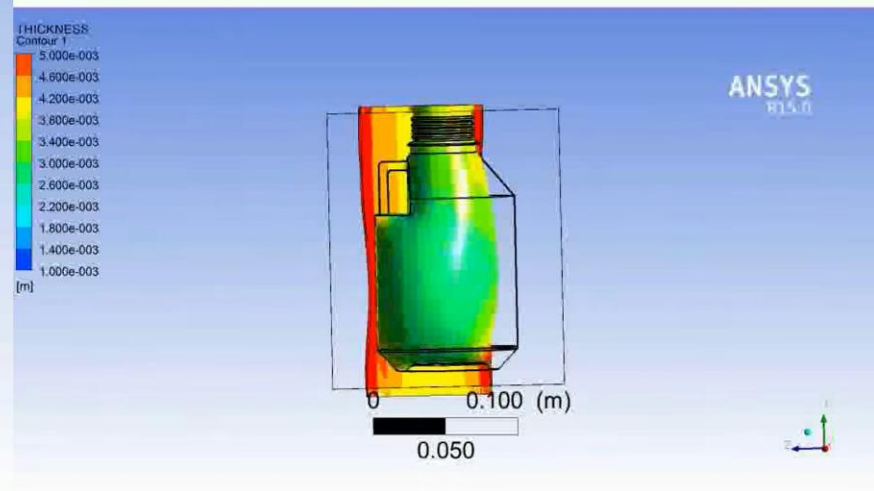
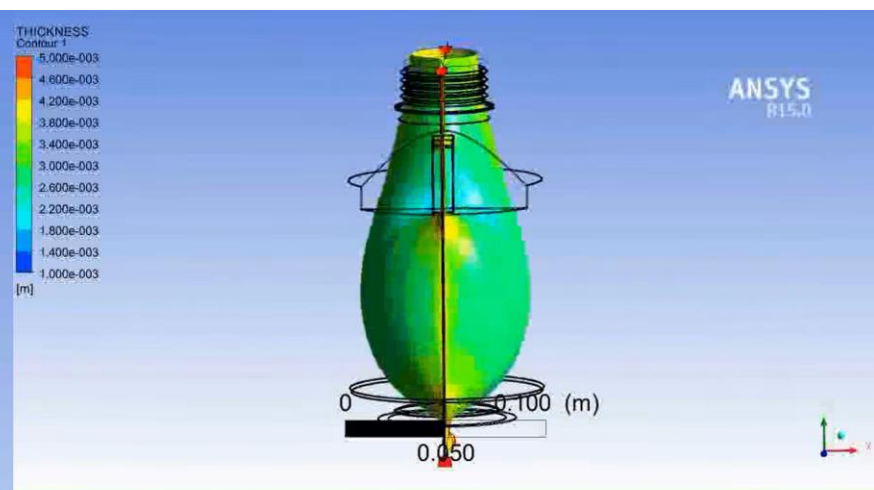
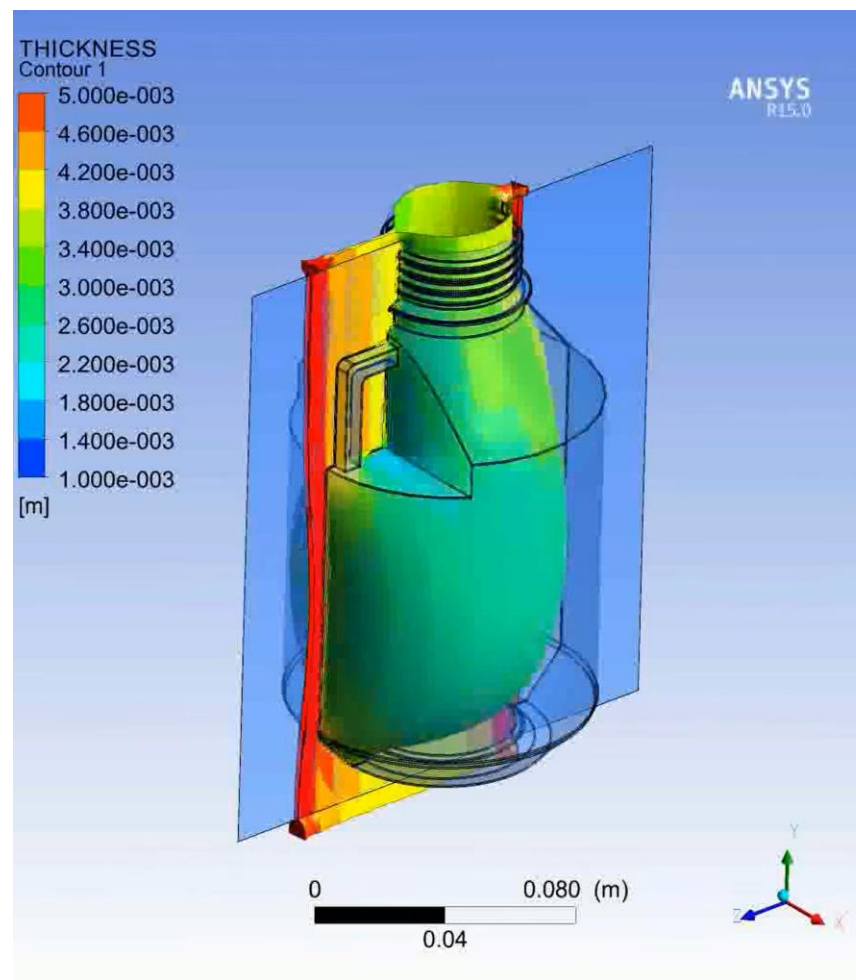
- **Sebességprofil**



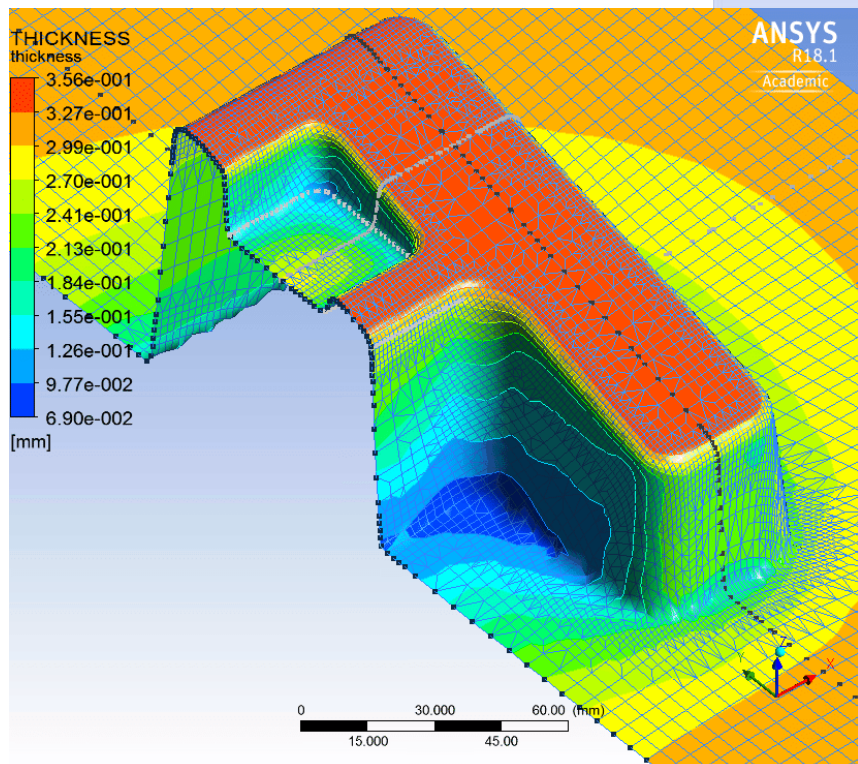
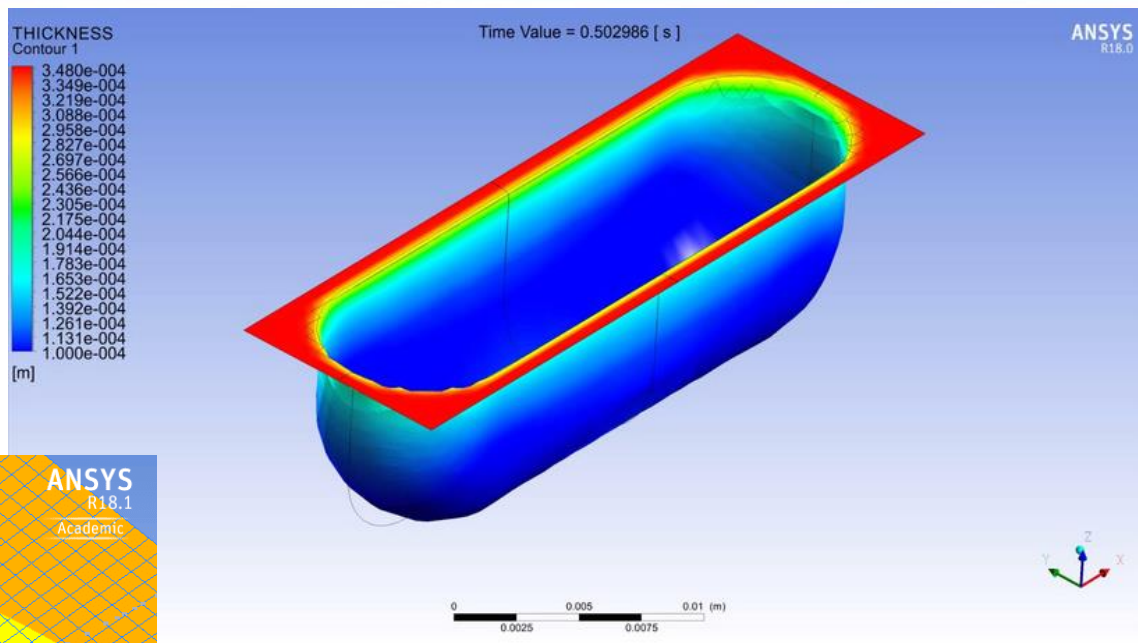


Fűvés szimuláció

- Falvastagságok, orientáció, visszazugózás stb.



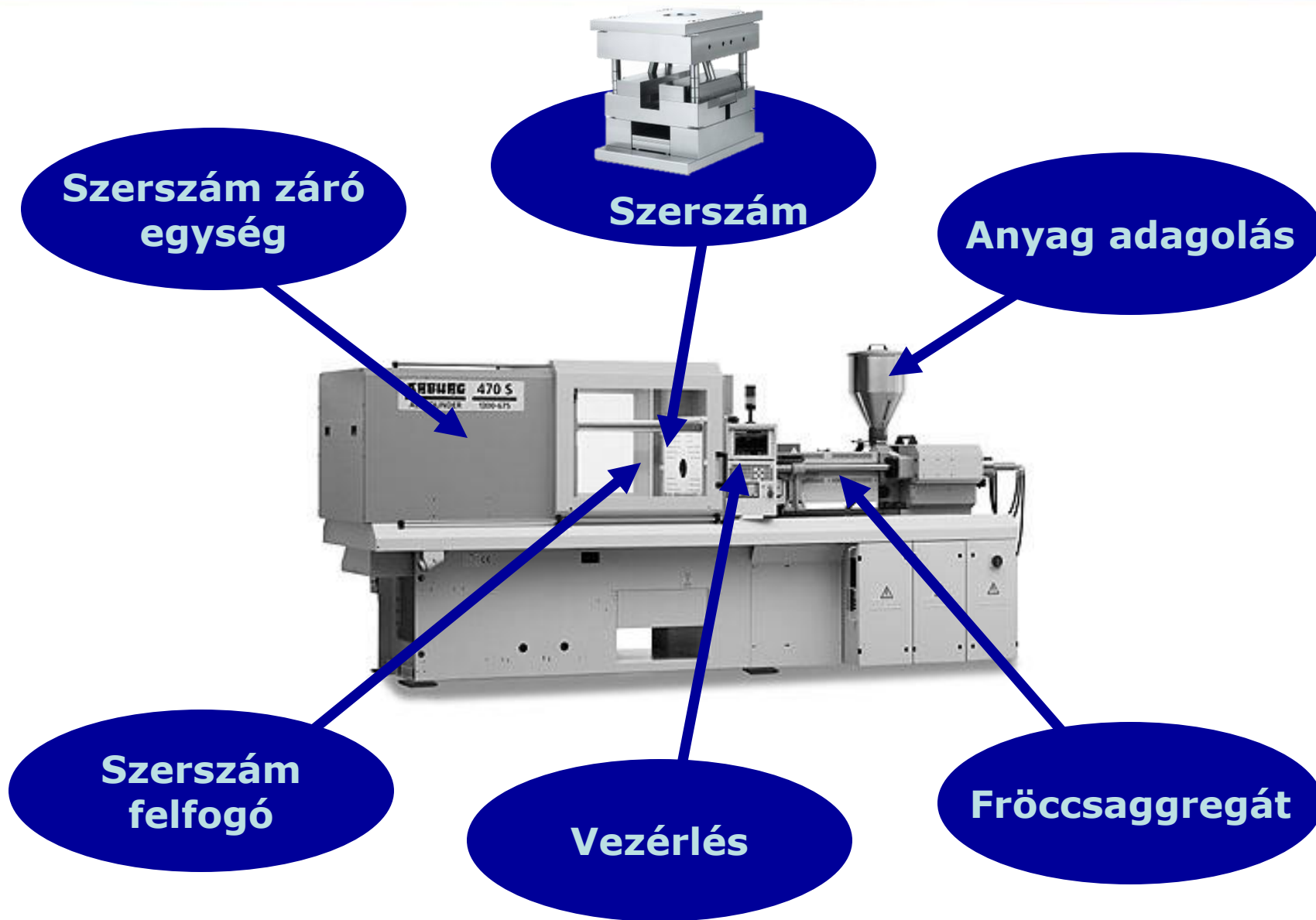
- Falvastagságok, orientáció, visszazugózás stb.



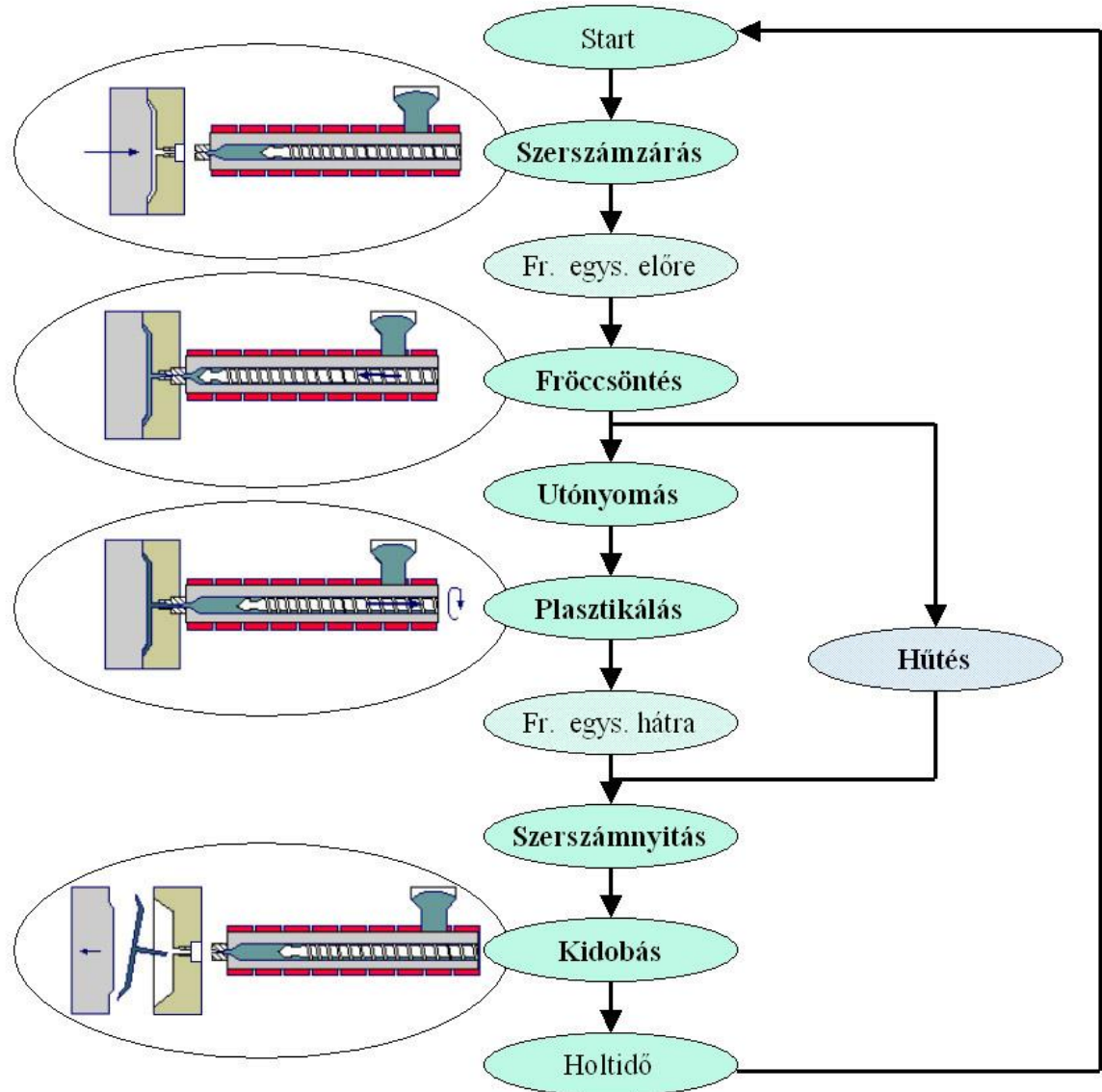
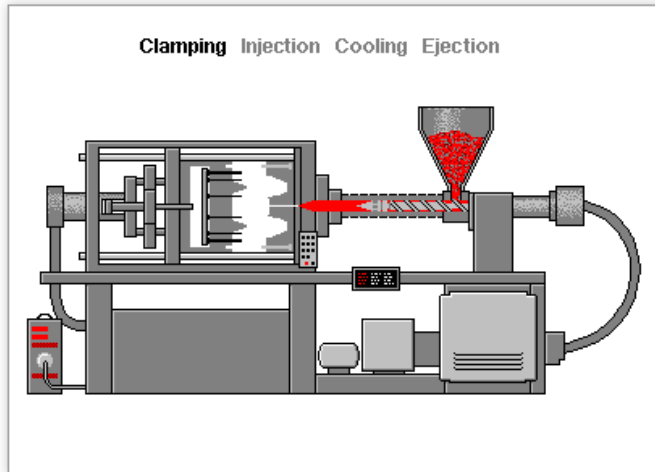


Fröcsöntés





Fröccsöntési ciklus a mechanikai mozgáselemek tükrében





A mozgáselemek időszükségletét jól jellemzik példaként egy fiktív, de „átlagos” termék fröccsöntésének részadatai:

szerszámzárás, aggregát zárás	1,5 s
befröccsöntés	1,2 s
utónyomás	3,5 s
hűtés	6,0 s
szerszámnyitás (+ beömlőcsövek levágása)	1,7 s
a késztermék kiemelése (robottal)	1,5 s
Teljes ciklusidő:	15,4 s

A fröccsöntőgépben lejátszódó folyamatokat a gép két fő részében: a **fröccsöntő (aggregát) egységben** és a **szerszámban** elemezhetjük.

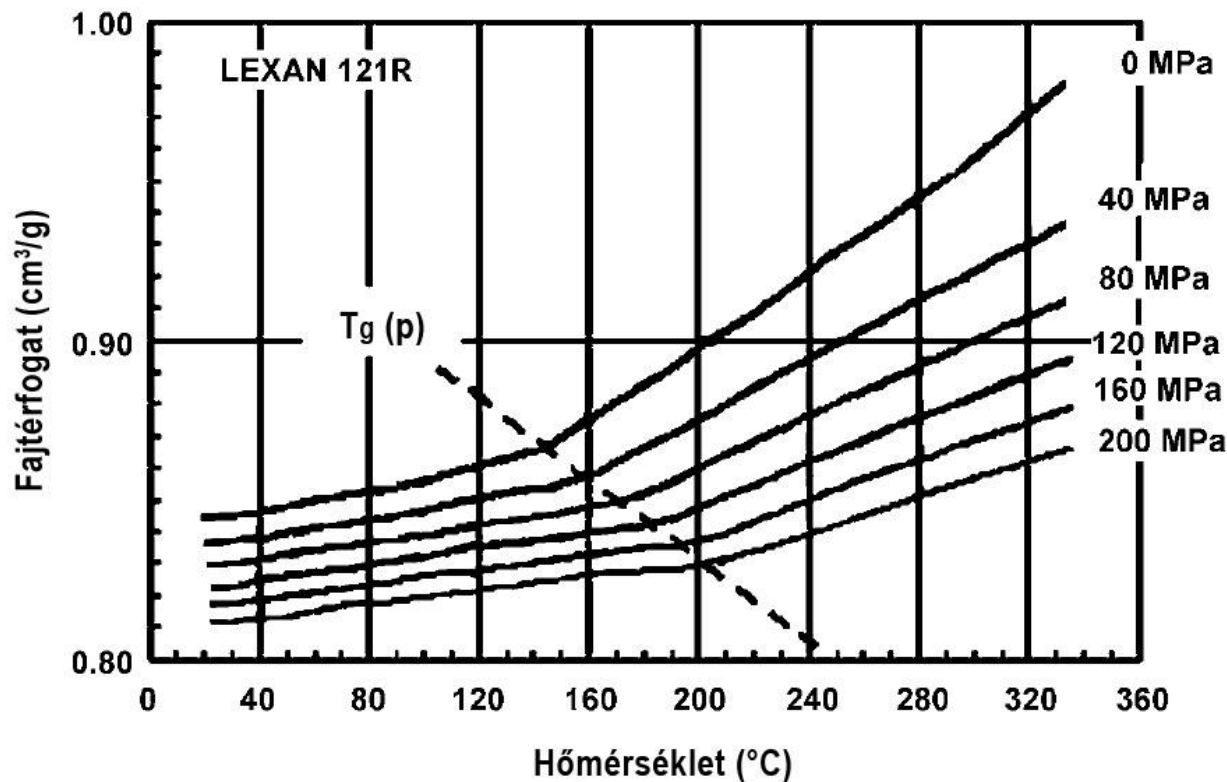
Az első géprészben, a fröccsöntőcsiga mentén lejátszódó reológiai folyamatok hasonlóak az extrudercsiga mentén már bemutatottakhoz.

A **szerszámban** lejátszódó folyamatokat legjobban a p , v , T állapotathatózók függvényében érthetjük meg. A polimerek fajlagos térfogatát a külső (hidrosztatikus) nyomás (p) és a hőmérséklet (T) nagymértékben befolyásolja.

A polimerek fajtérfogat-változása azonos nyomáson a hőmérséklet függvényében szilárd halmazállapotban is nagyobb mértékű, mint a többi szerkezeti anyag esetében: ez a nagyobb termikus dilatációs együtthatóban is megnyilvánul.

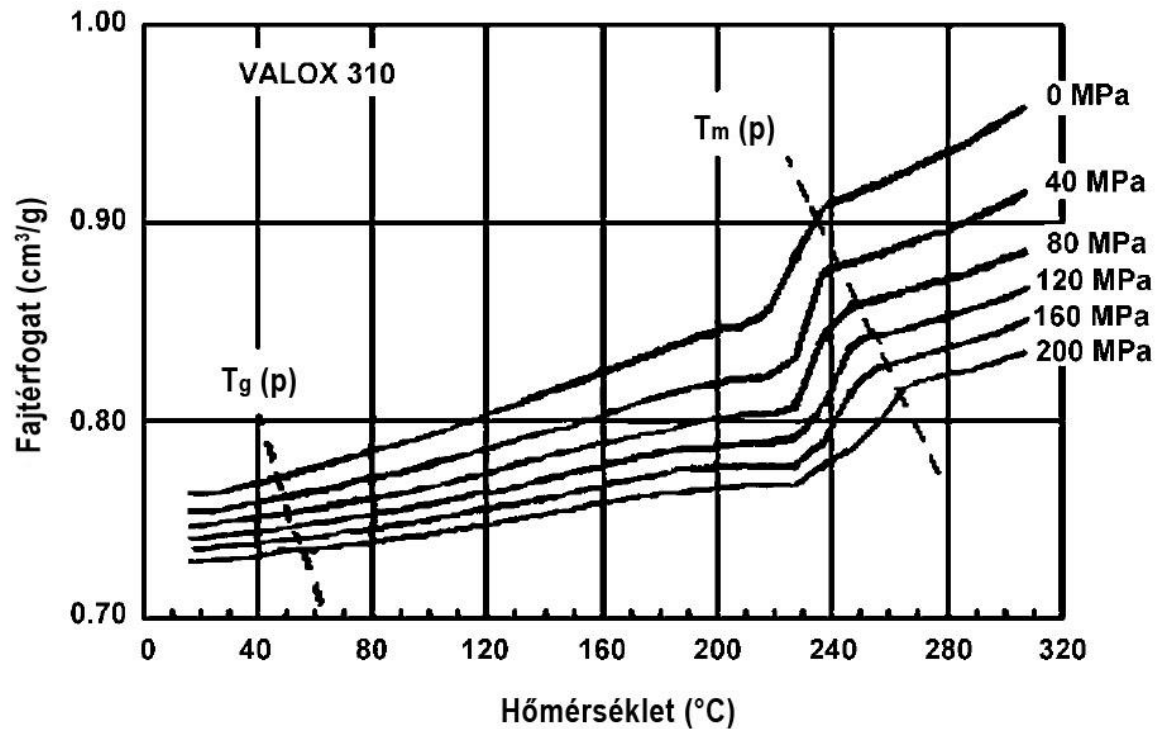
A polimer *ömladék* fajtérfogat-növekedése még nagyobb arányú a növekvő hőmérséklettel. A fajtérfogat - változás érzékenyen megmutatja a T_g **üvegesedési hőmérsékleti** átmeneteket és még inkább a T_m „**olvadási**” hőmérsékletet.

Fröccsöntés folyamata az állapotváltozók függvényében



Amorf hőre lágyuló polimer (PC) fajtérfogatának, hőmérsékletének és nyomásának összefüggése (pvT diagramja)

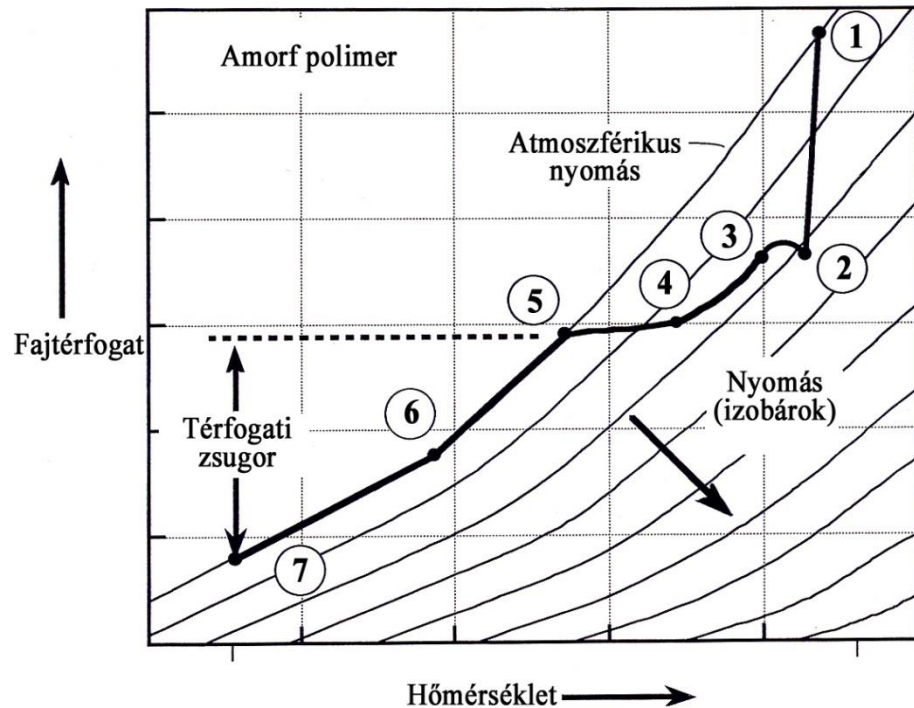
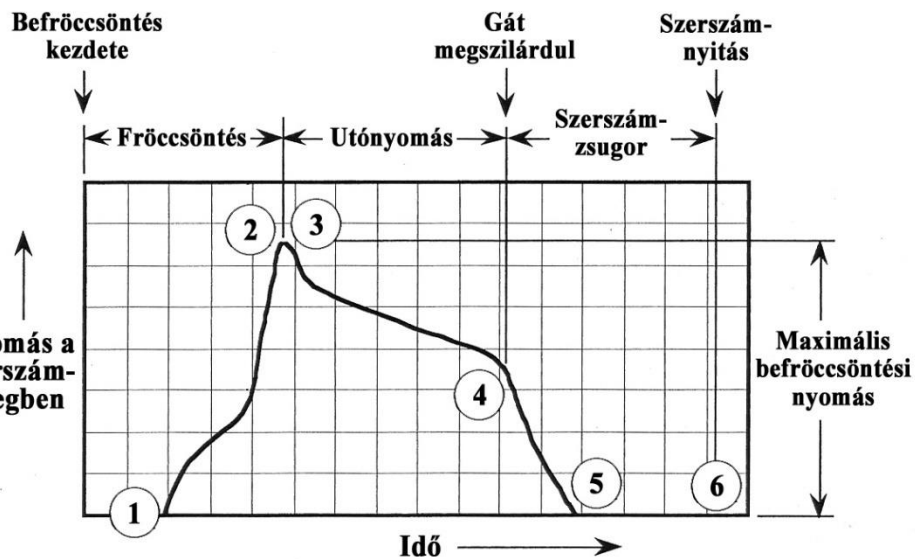
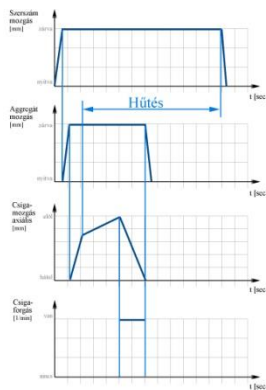
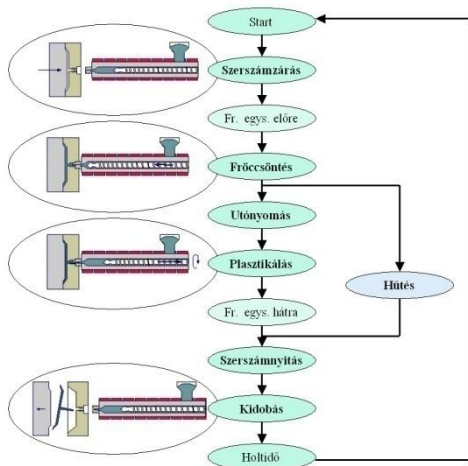
Fröccsöntés folyamata az állapotváltozók függvényében



Hőre lágyuló részben kristályos alapanyag (PBT) pvT diagramja

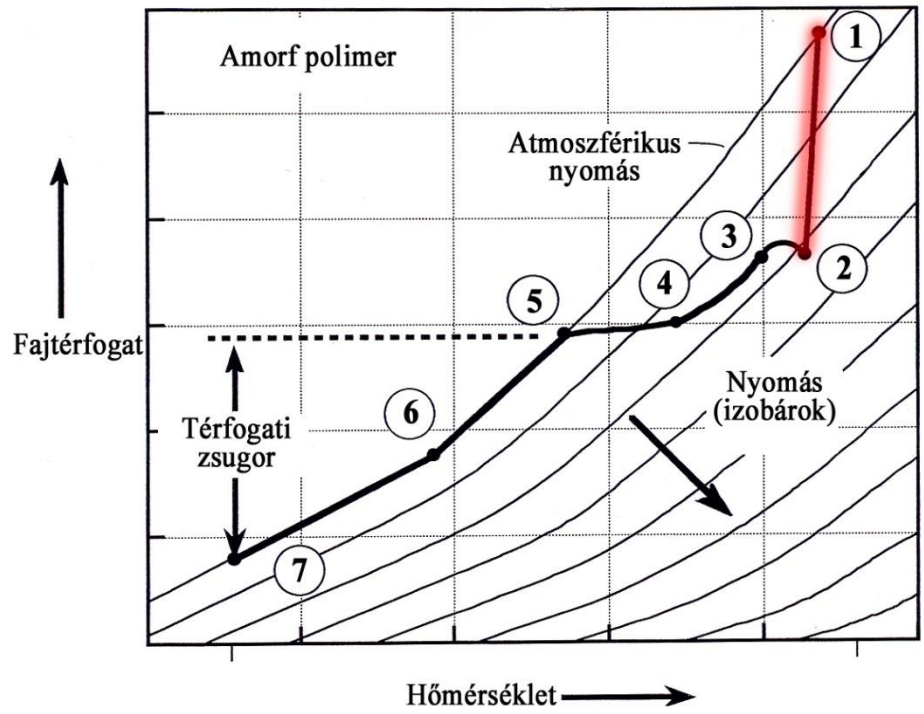
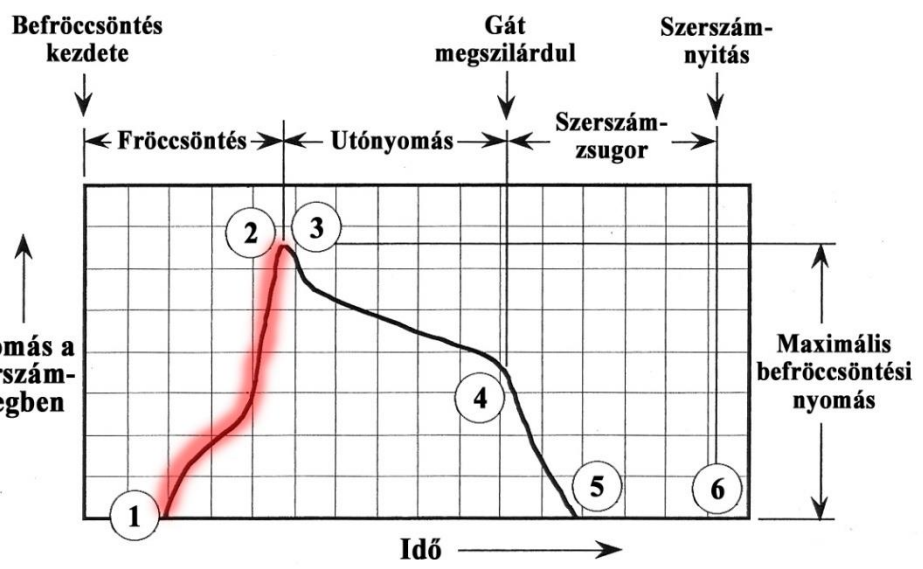
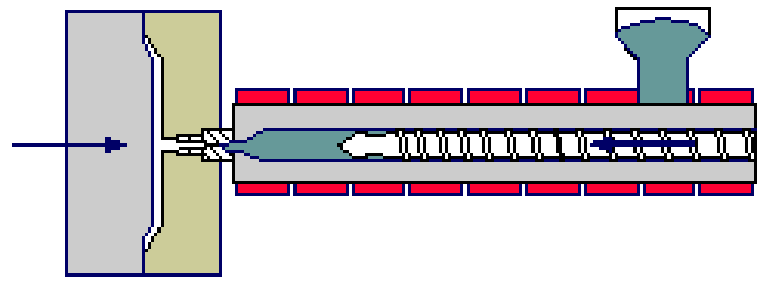
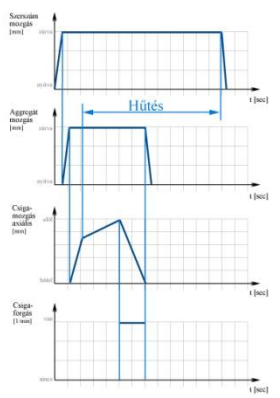
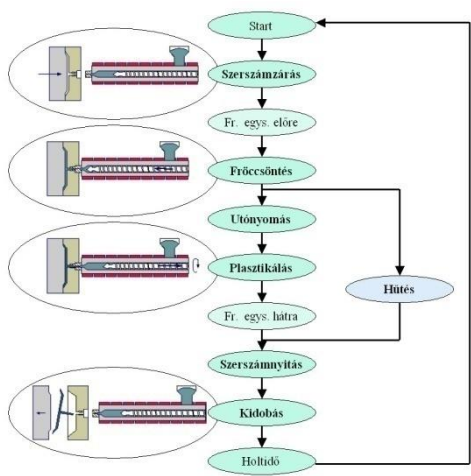


Fröccsöntés – ciklus



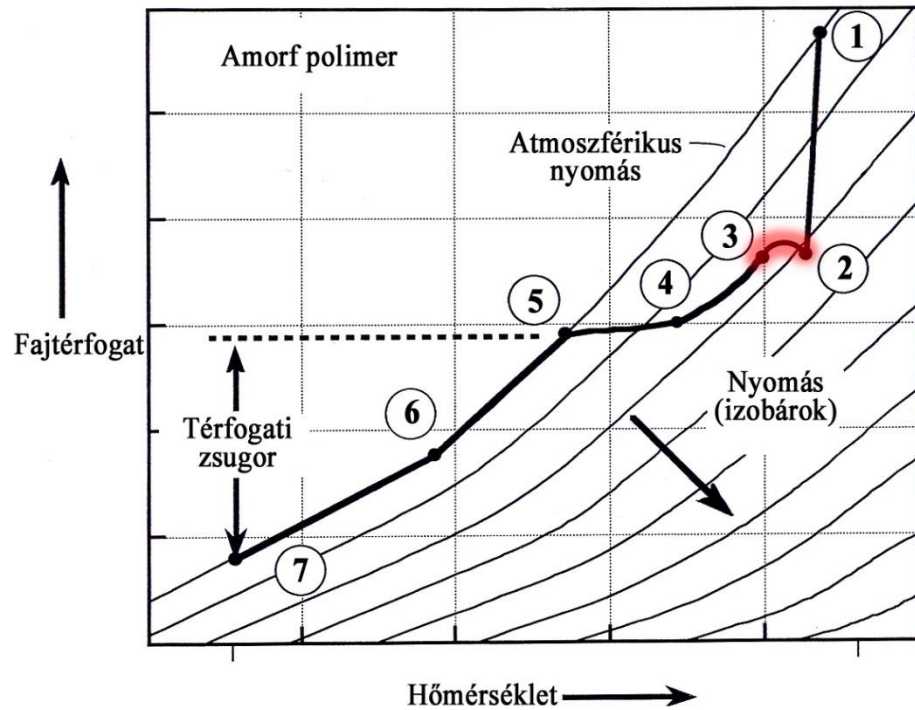
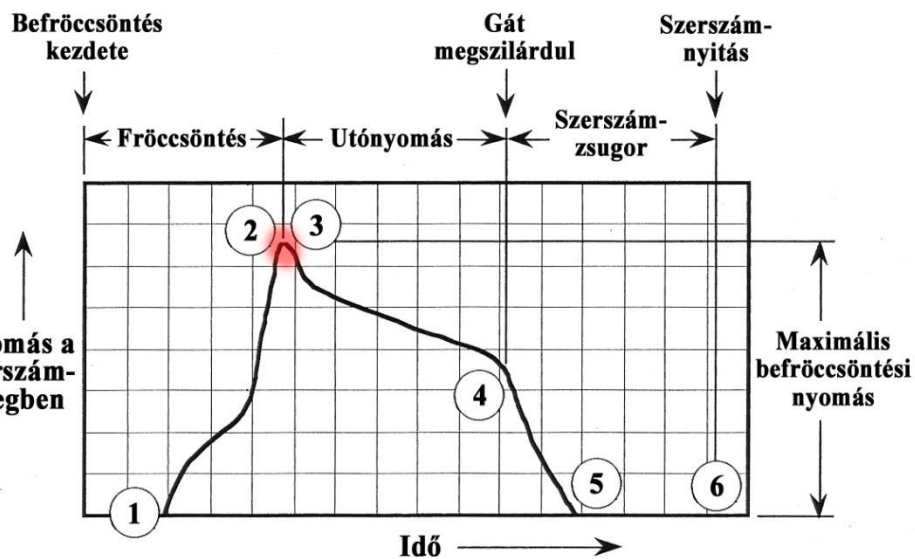
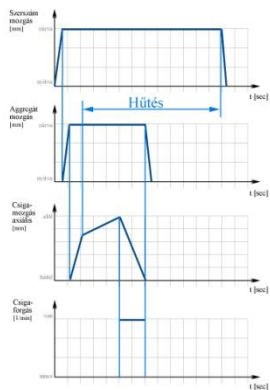
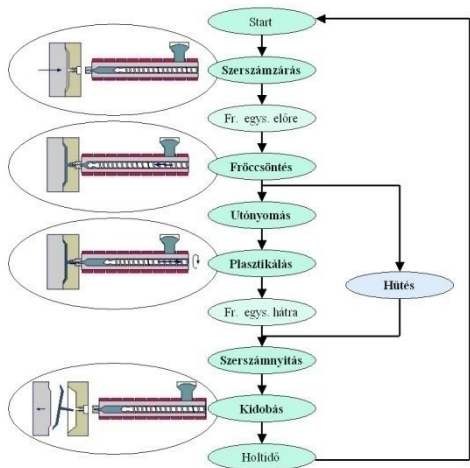


Fröccsöntés – befröccsöntés



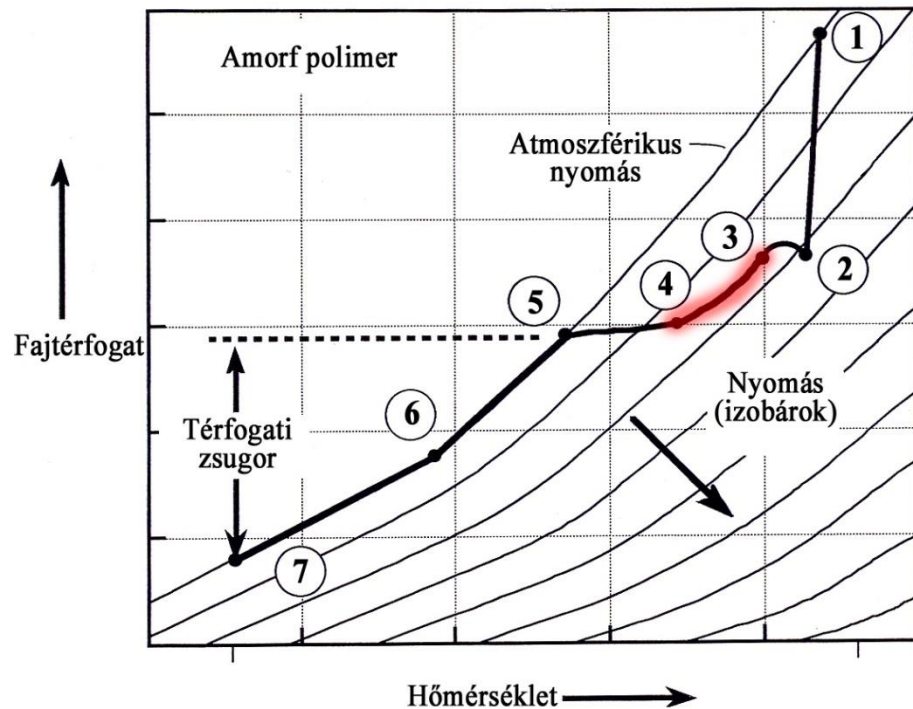
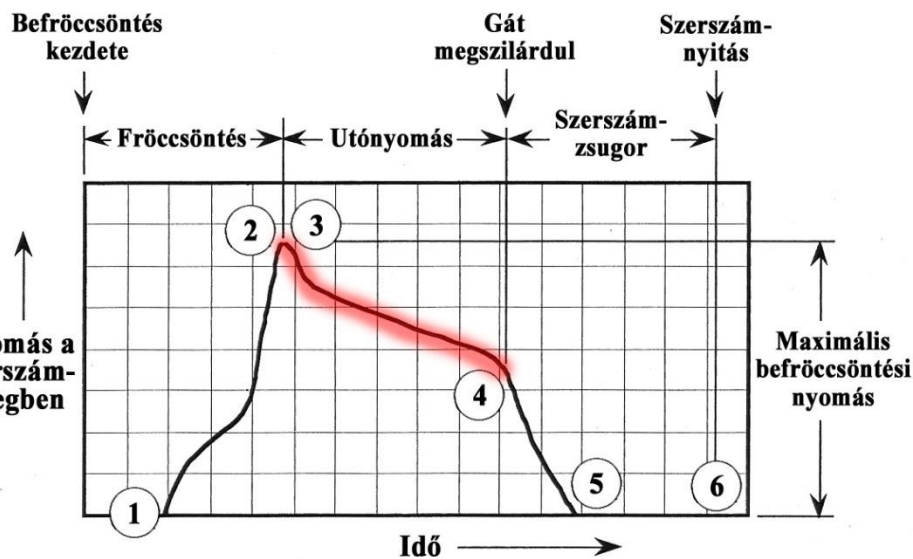
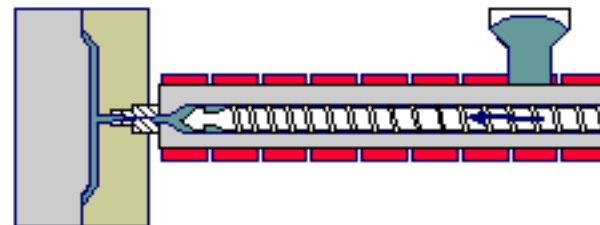
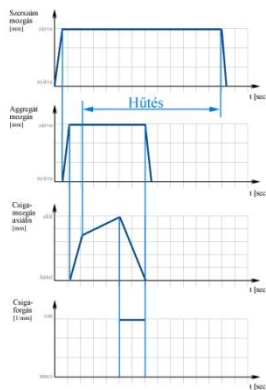
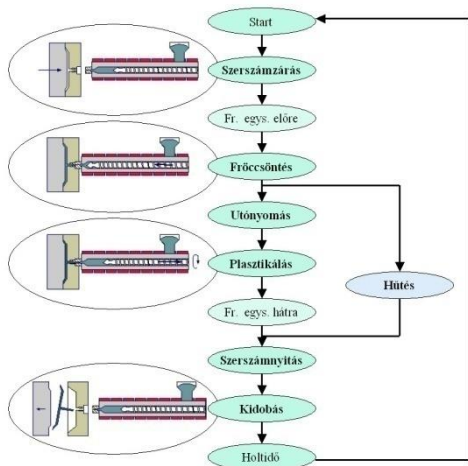


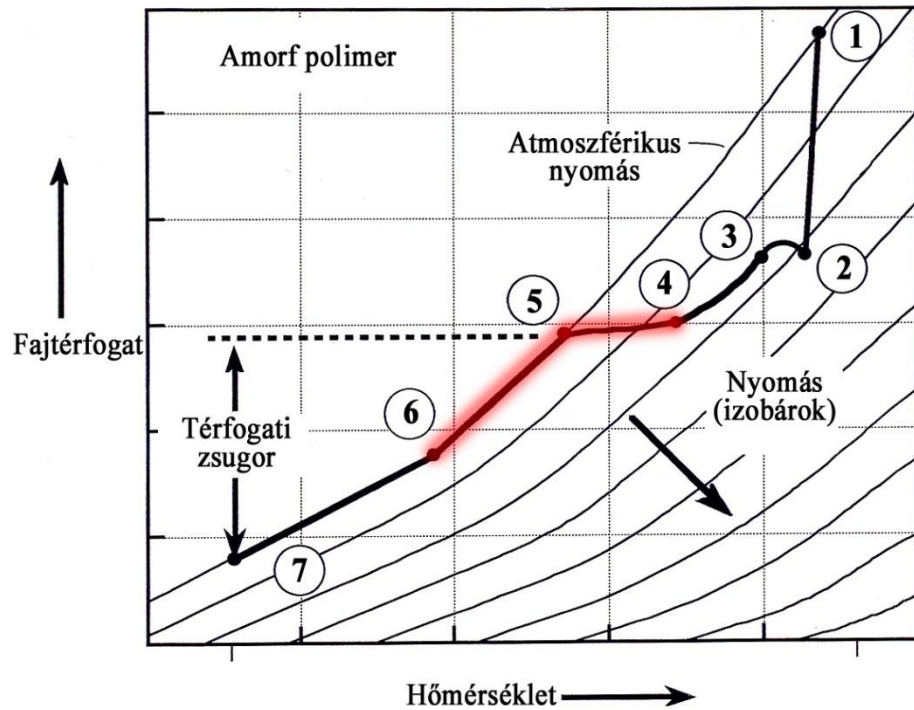
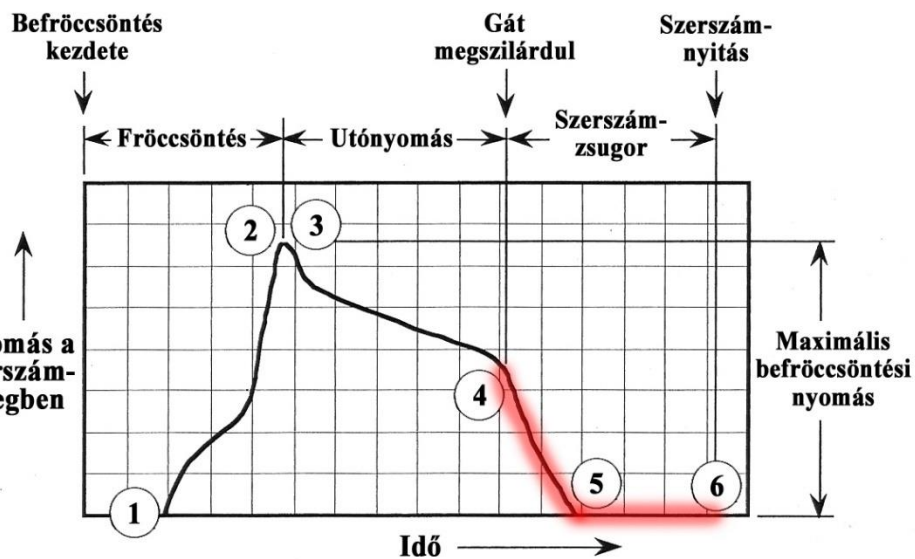
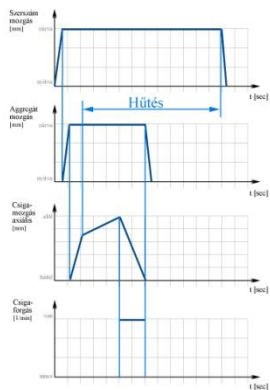
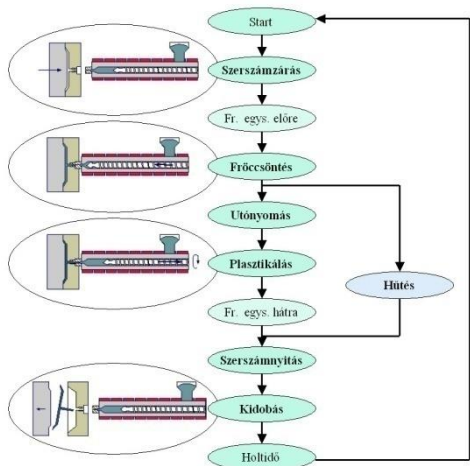
Fröccsöntés – átkapcsolás





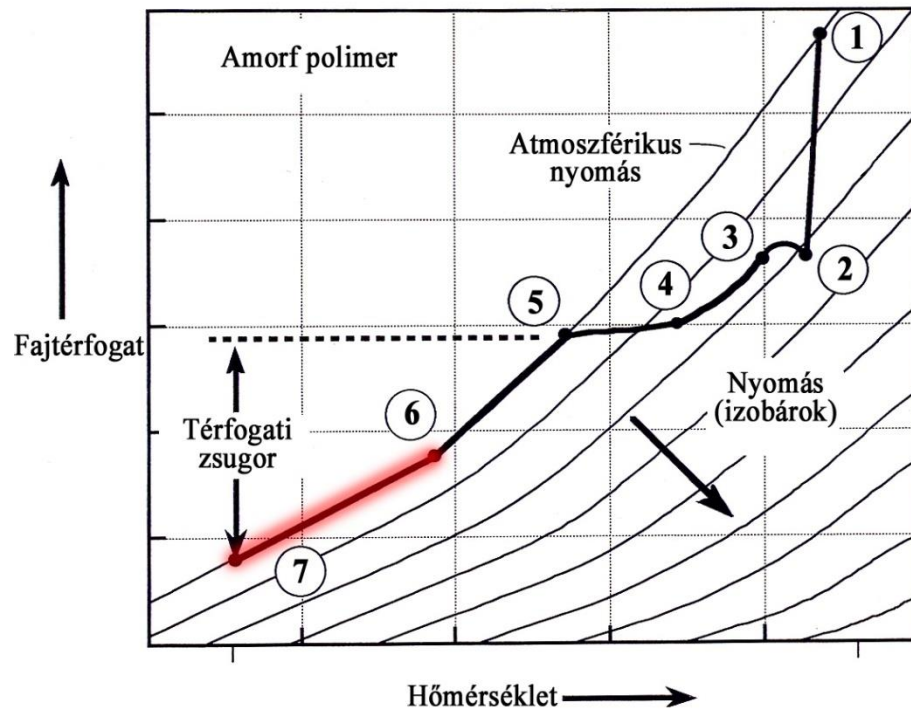
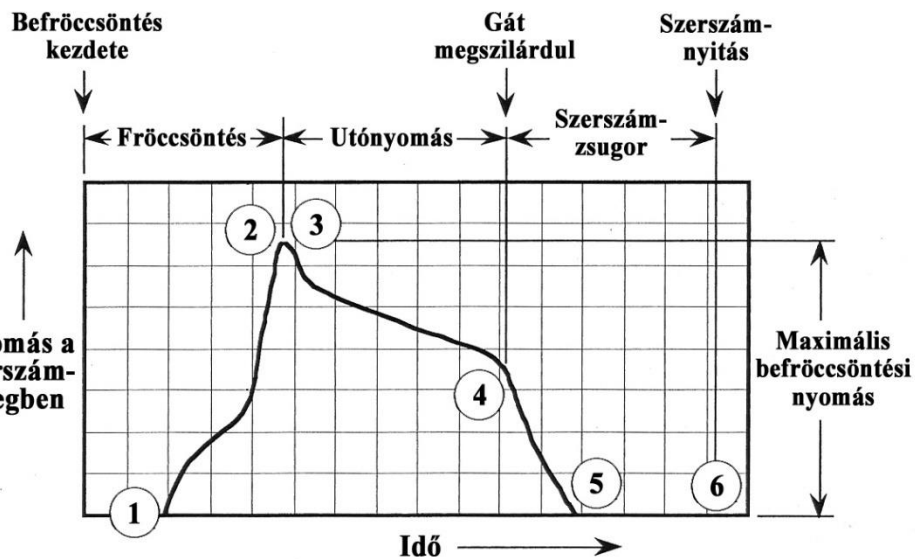
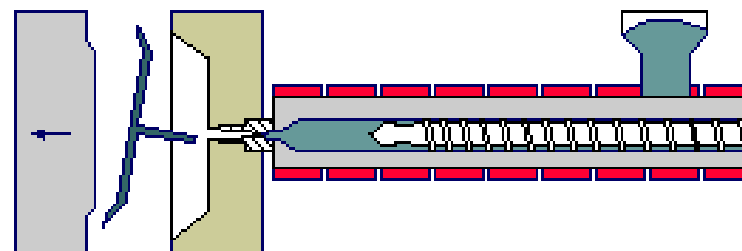
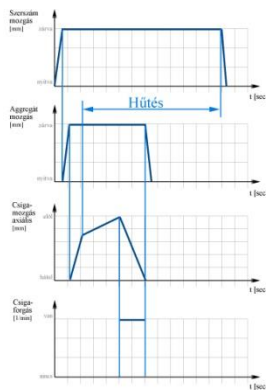
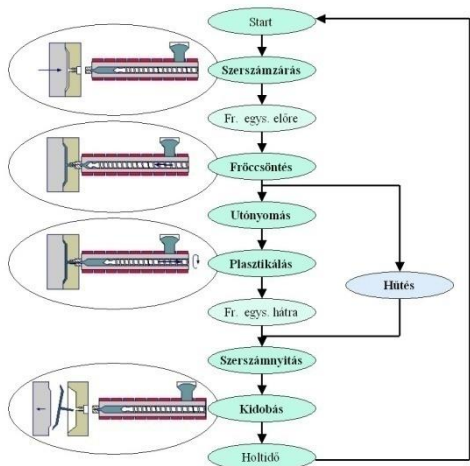
Fröccsöntés – utónyomás





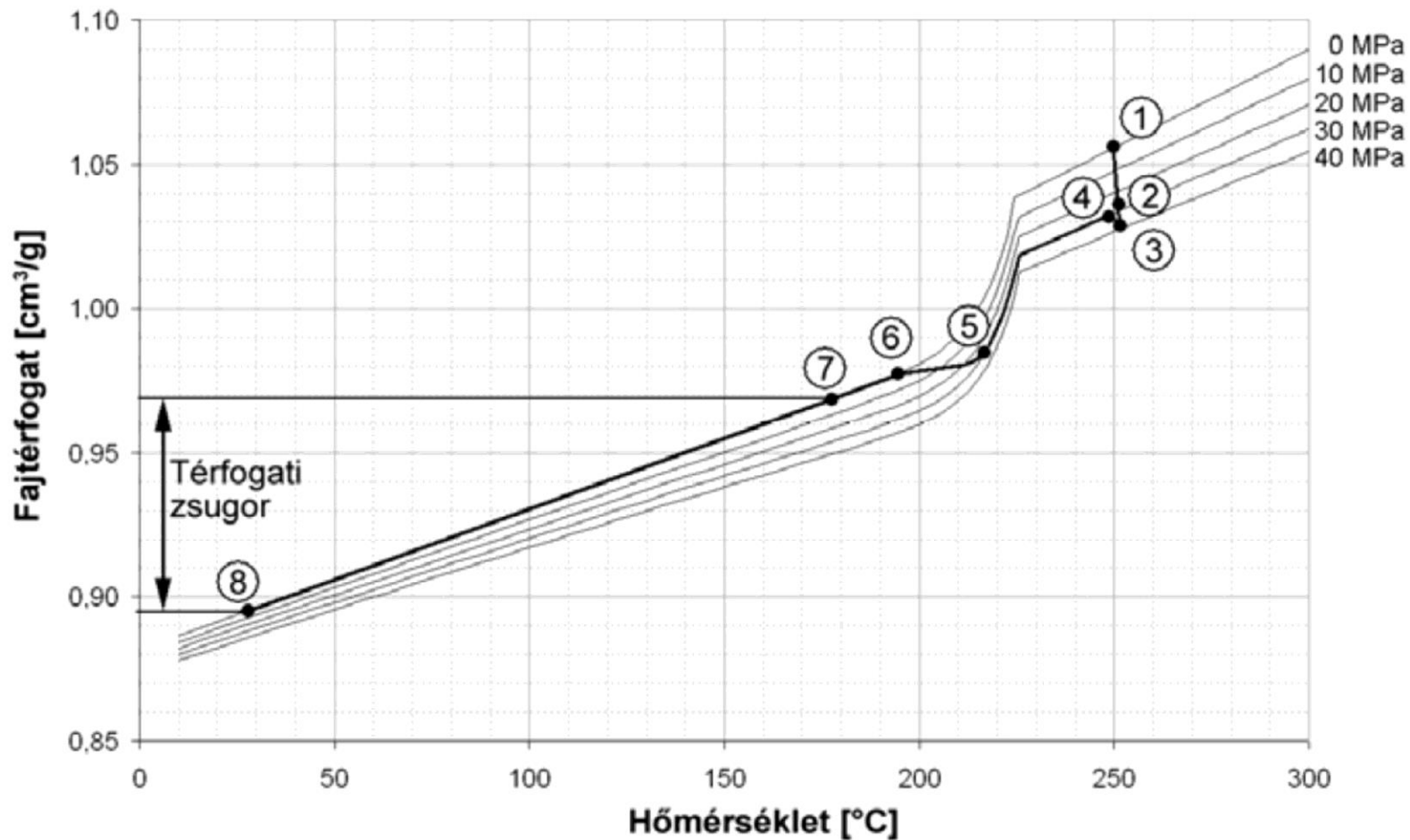


Fröccsöntés – kidobás





Fröccsöntés – pvT ciklus (PA6)





Hűtési idő számítása

$$t_{\text{hűtés}} = \frac{s^2}{\pi^2 a_{\text{eff}}} \cdot \ln \left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{T_{\text{öml}} - T_{\text{szersz}}}{T_{\text{kidobás}} - T_{\text{szersz}}} \right)$$

t = hűtési idő [s]

s = falvastagság [mm]

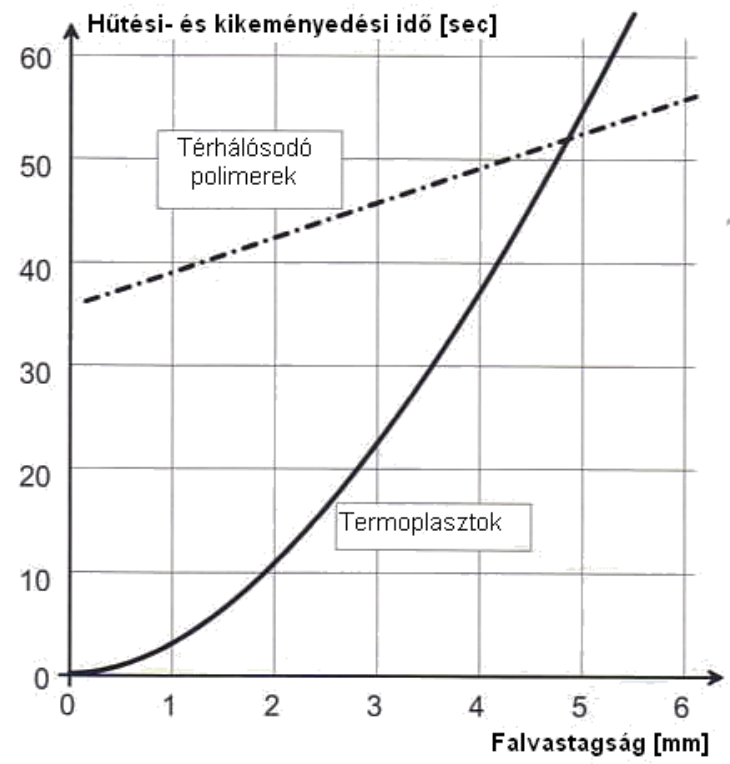
a_{eff} = effektív hővezetési tényező [mm^2/s]

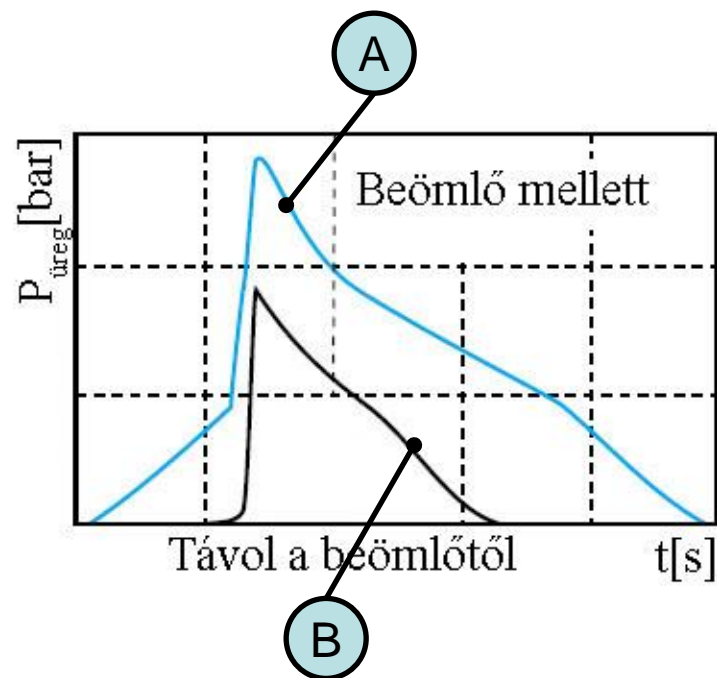
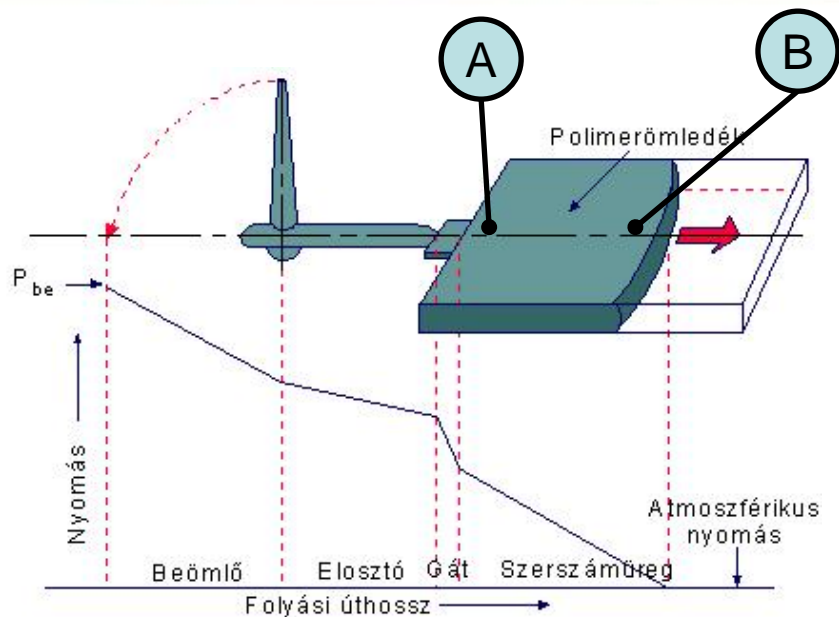
$a_{\text{eff}} = \lambda / (\rho c_p)$ (tartomány: $0.11 - 0.17 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$)

$T_{\text{öml}}$ = anyaghőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]

T_{szersz} = szerszám hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]

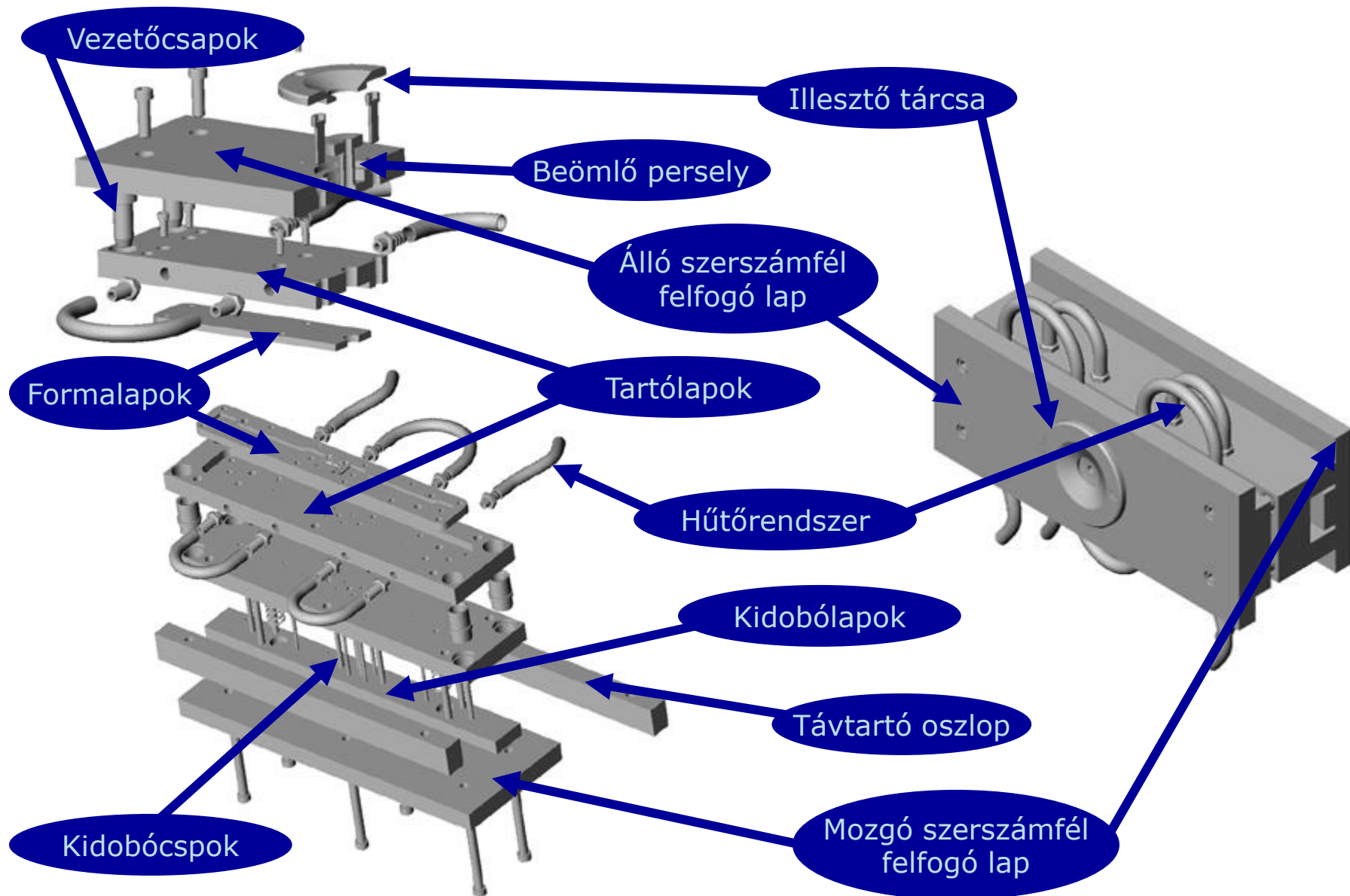
$T_{\text{kidobás}}$ = max. kidobási hőmérséklet a termék közepén [$^{\circ}\text{C}$]

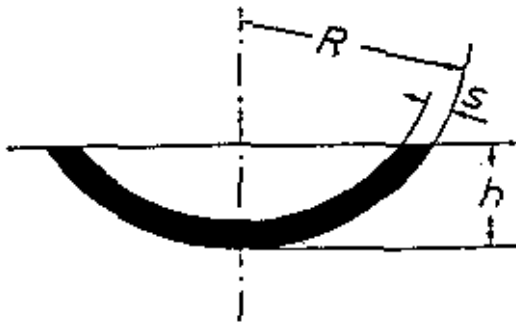






Szerszám felépítése



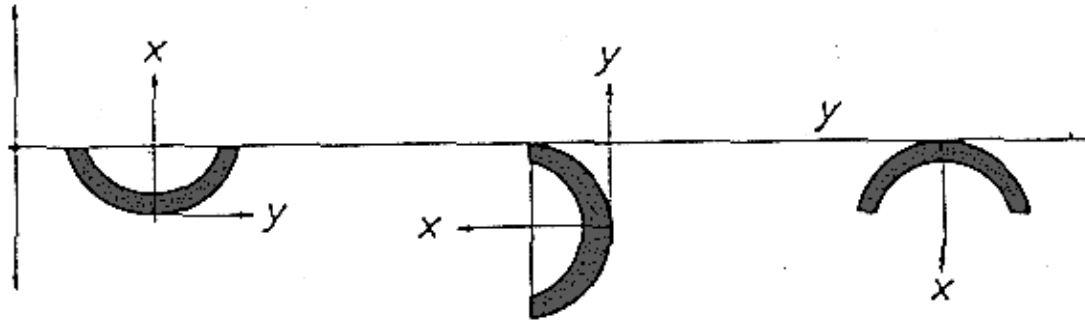


$R = 20 \text{ mm}$
 $h = 8 \text{ mm}$
 $s = 2 \text{ mm}$

PS

- **Fröccstermék:**
 - Méretek
 - Anyag
 - Rajz

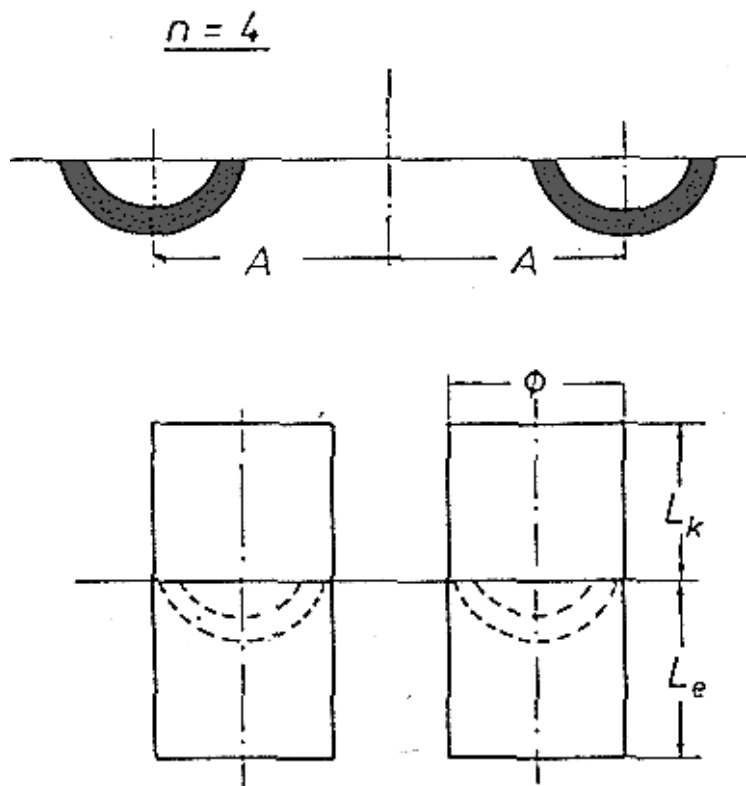
- **Anyagjellemzők meghatározása**



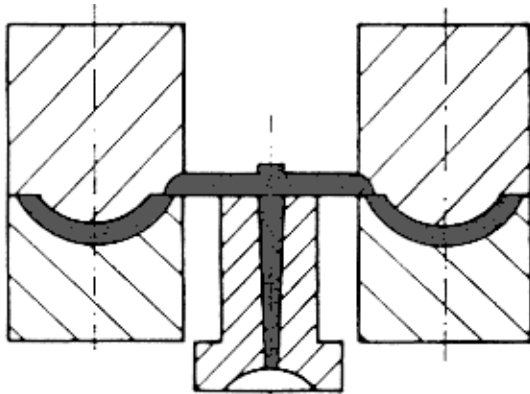
- **Fészek osztósíkhhoz viszonyított elhelyezkedése**



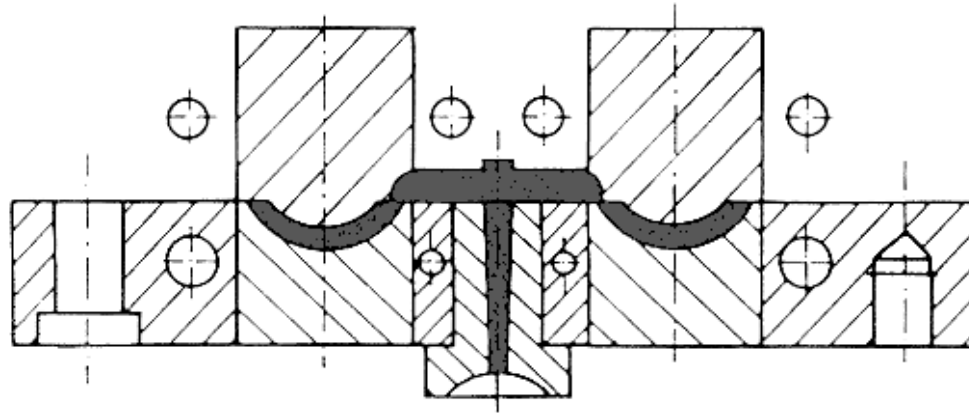
- **Formaüreg alakja**
- **Mag alakja**



- Fészekszám meghatározása
- Fészek elrendezése
- Formaüreg (egységbetét) méretek

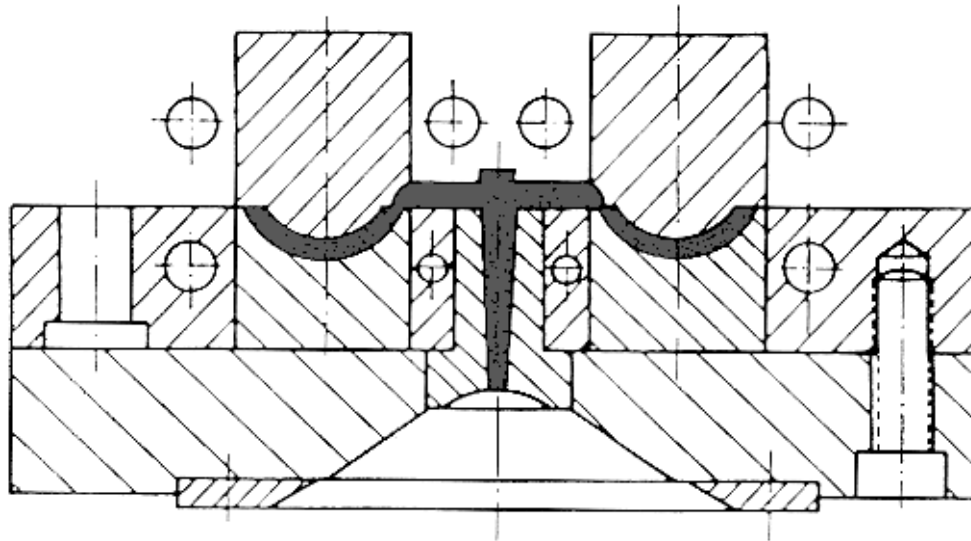


- **Beömlő és elosztó rendszer**
 - (hideg, forró, fűtött)
 - beömlő (geometria, persely)
 - elosztócsorna (geometria)
 - gát (!)



- **Temperáló rendszer megválasztása**
 - csatorna elrendezés
 - méretezés

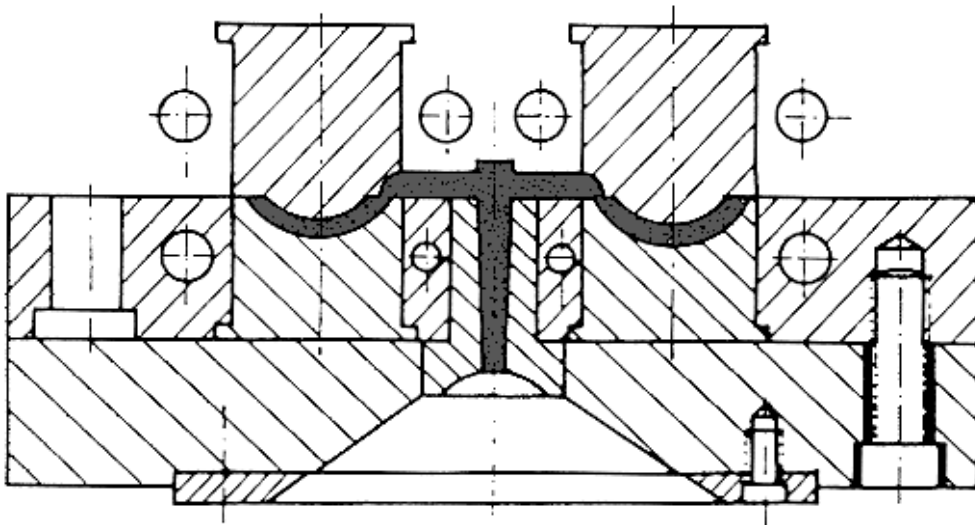
- **Formalap kiválasztás**



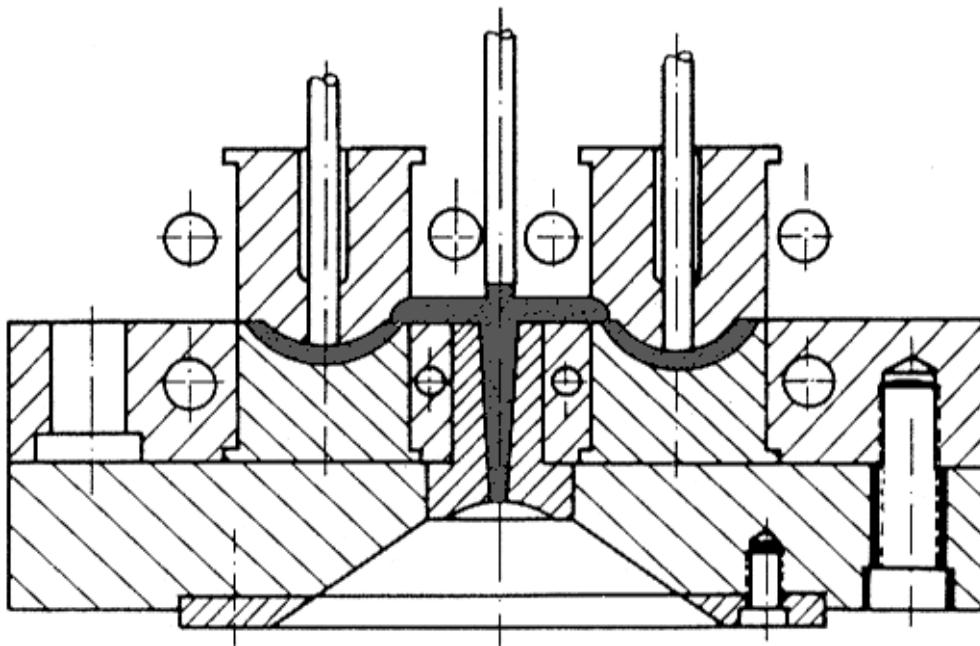
- **Felfogólap**
 - méretek, furatok elhelyezése

- **Központosító gyűrű (illesztő tárcsa)**

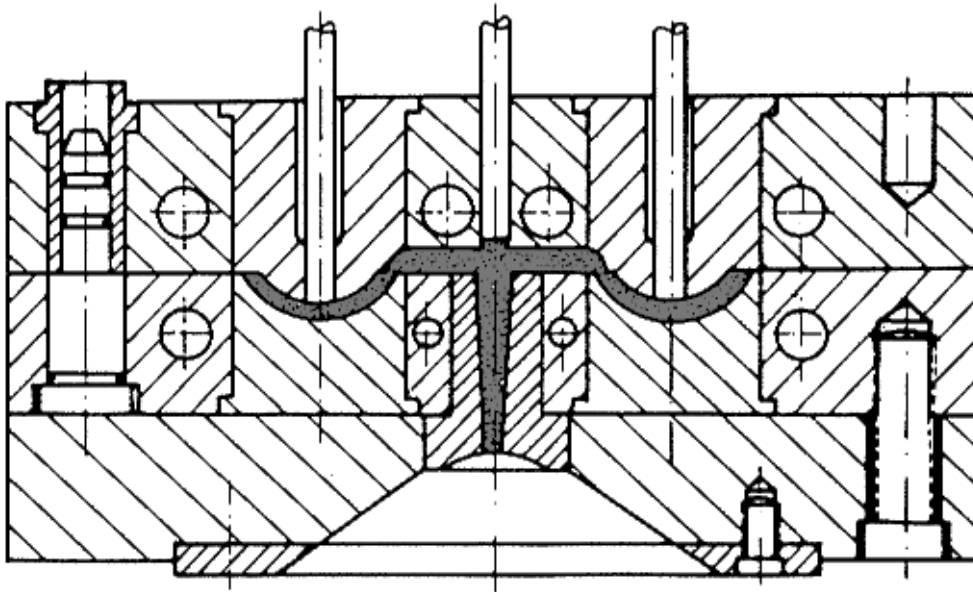
- **Rögzítések**
 - **Formalap**
 - **Felfogólap**
 - **Beömlő persely**
 - **Illesztő tárcsa**
 - **Formaüreg**
 - **Mag**



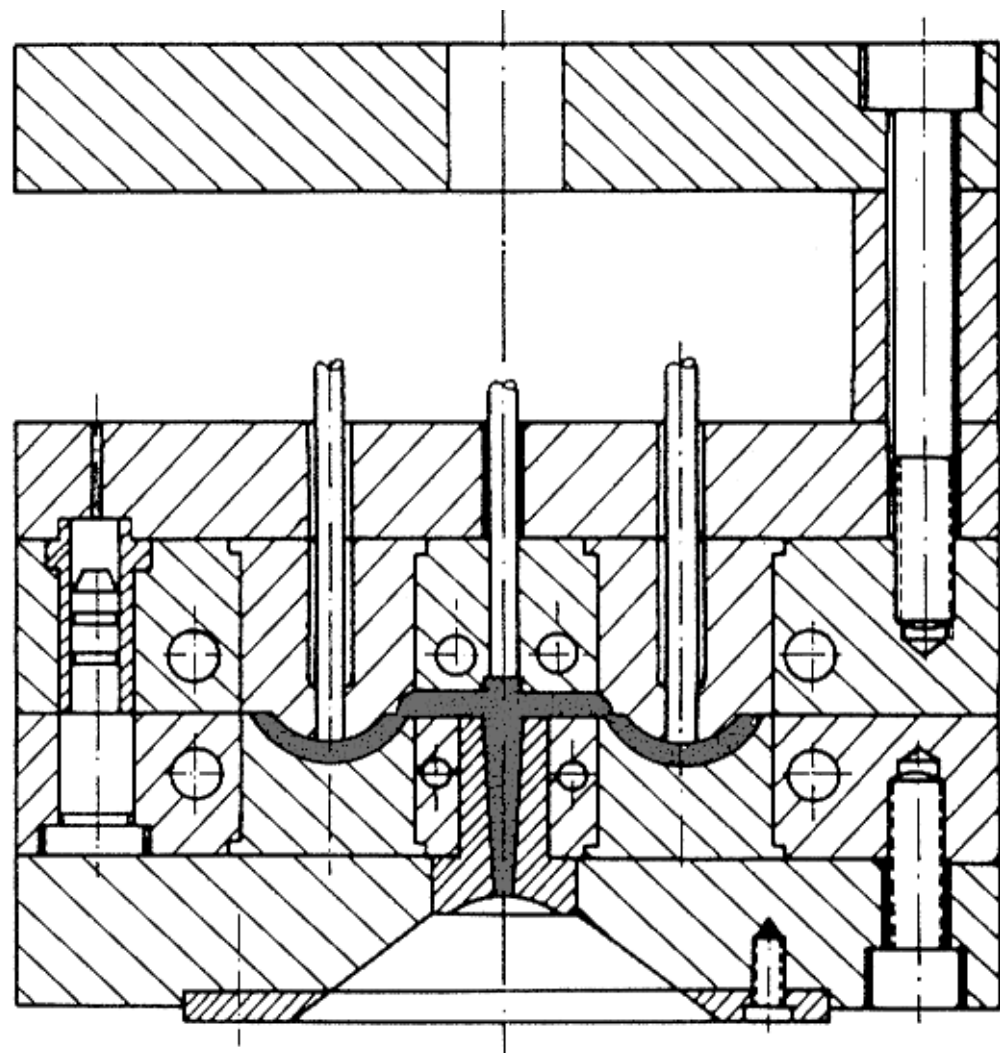
„Beömlő oldal (álló szerszámfél) kész!”



- **Kidobási pontok meghatározása**
- **Kidobók meghatározása**

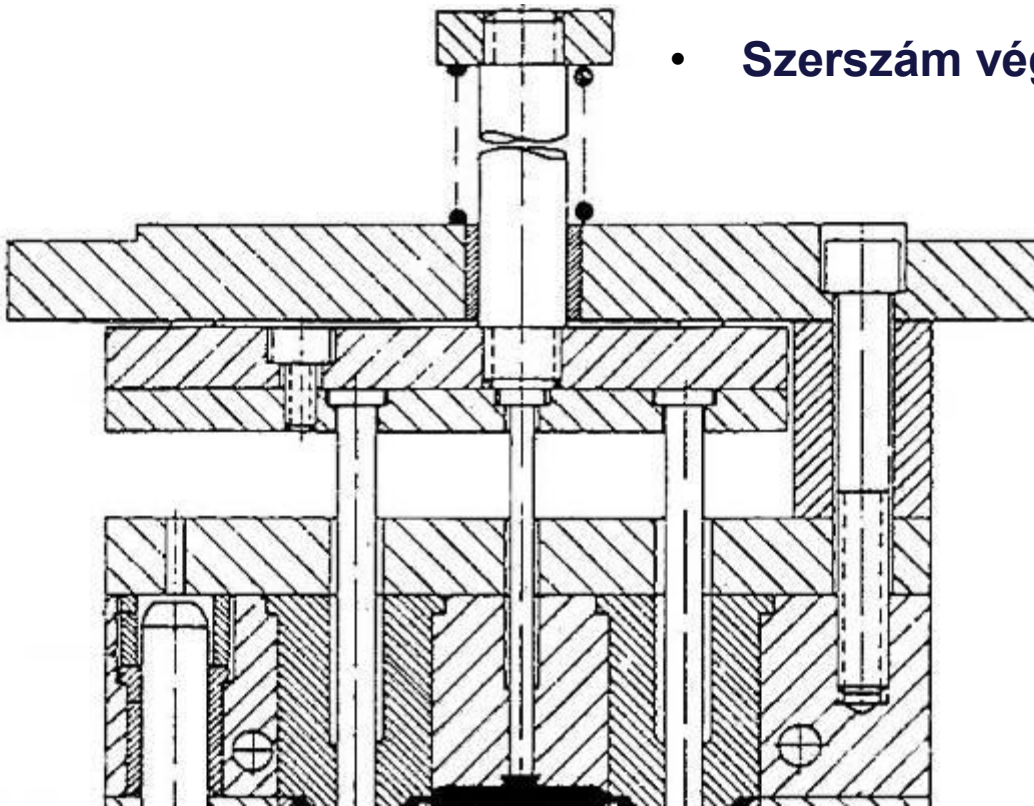


- **Mozgófél
formalapjának
meghatározása**
- **Vezetőpersely**
- **Vezetőoszlop**



- **Kidobási útból a távtartó (betétléc) méretének meghatározása**
- **Felfogólap kiválasztása**

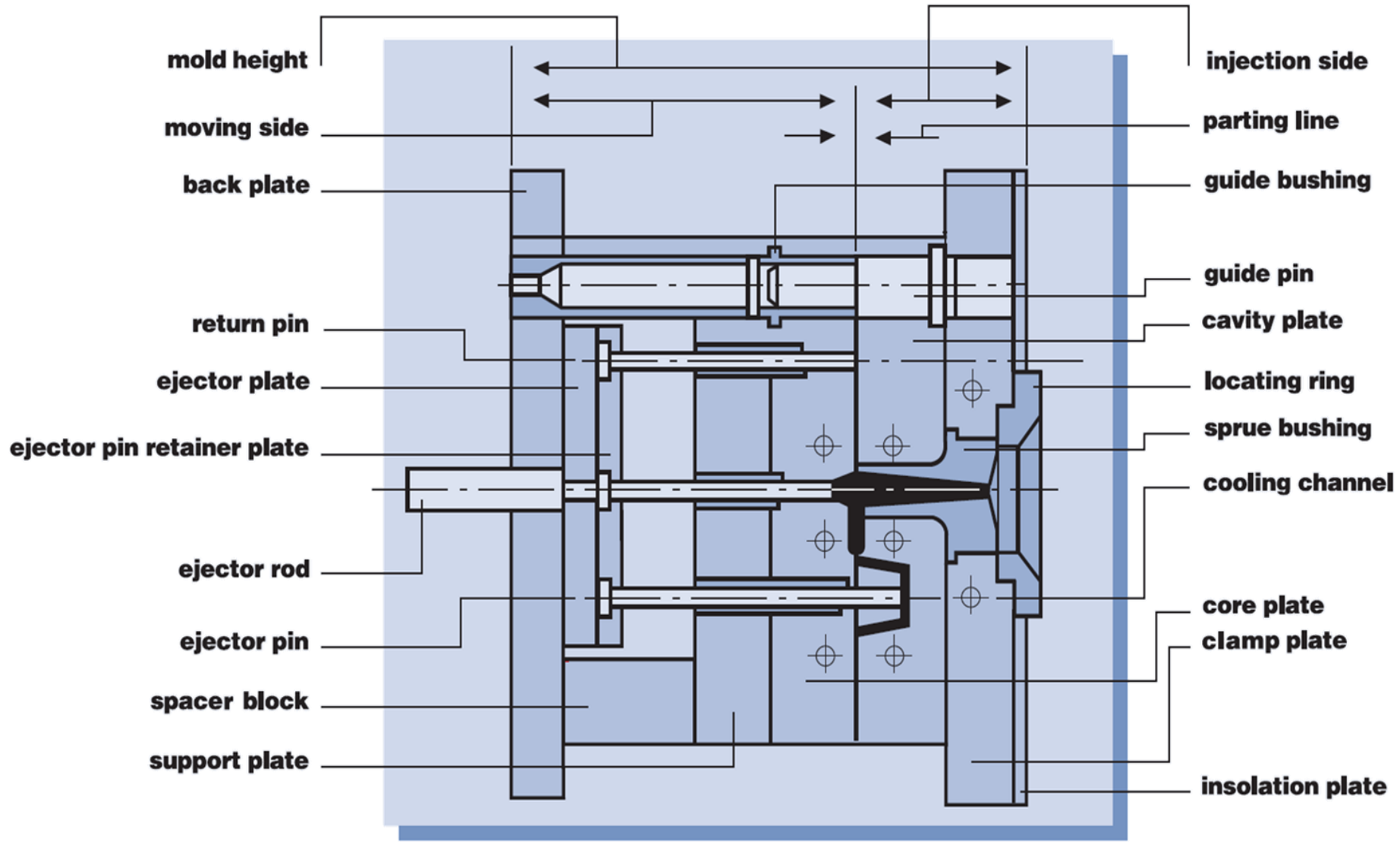
- **Kidobólapok megadása**
 - kialakítás, méretek, rögzítés
- **Kidobó működtető elemei**
 - visszahúzó, visszatoló
- **Szerszám végleges összeszerelése**



„Fröccsszerszám kész!”

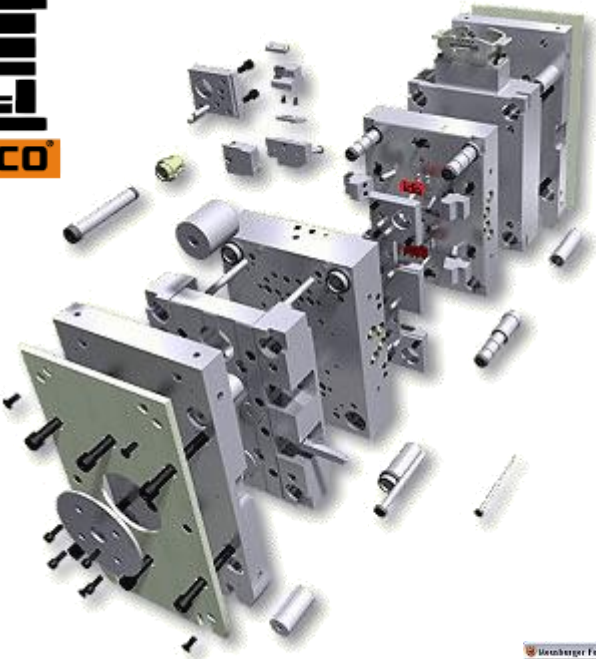


Standard injection mold





HASCO / Meusburger / ... – normáliák



HASCO 3D-Normalienmodul R3/2010

 Produktsuche (Nummer)	K- Eckig 	K- Rund 	Baugruppen
A5710 (Summenzähler) A5712 (Mengen-Zähler) A5714 (Summen-Mengen-Zähler) A5716 (Umverzähler) H100 (Heilicana-Verteiler) H102 (Heilicana-Verteiler) H104 (Heilicana-Verteiler) H106 (Heilicana-Verteiler) H108 (Heilicana-Verteiler) H110 (Heilicana-Verteiler) H112 (Heilicana-Verteiler) H114 (Heilicana-Verteiler) H116 (Heilicana-Verteiler) H118 (Heilicana-Verteiler) H120 (Heilicana-Verteiler) H122 (Heilicana-Verteiler) H124 (Heilicana-Verteiler) H126 (Heilicana-Verteiler) H128 (Heilicana-Verteiler) H130 (Heilicana-Verteiler) H132 (Heilicana-Verteiler) H134 (Heilicana-Verteiler) H136 (Heilicana-Verteiler) H138 (Heilicana-Verteiler) H140 (Heilicana-Verteiler) H142 (Heilicana-Verteiler) H144 (Heilicana-Verteiler) H146 (Heilicana-Verteiler) H148 (Heilicana-Verteiler) H150 (Heilicana-Verteiler) H152 (Heilicana-Verteiler) H154 (Heilicana-Verteiler) H156 (Heilicana-Verteiler) H158 (Heilicana-Verteiler) H160 (Heilicana-Verteiler) H162 (Heilicana-Verteiler) H164 (Heilicana-Verteiler) H166 (Heilicana-Verteiler) H168 (Heilicana-Verteiler) H170 (Heilicana-Verteiler)	Werkzeugaufbau eckig 	Z - Normalein 	Angessen

Hydromatlen Inch / Metrisch

Benennung

Numero

Kleines Fenster

Zurück Abbrechen

Hilfe Info...

Setup Stückliste

Stücklistendatei
projet_kem.hof

.....

.....

.....



Meusburger Formmaschinen Online - Illicitia Firenze

Mit: Me / St

Einbauelement

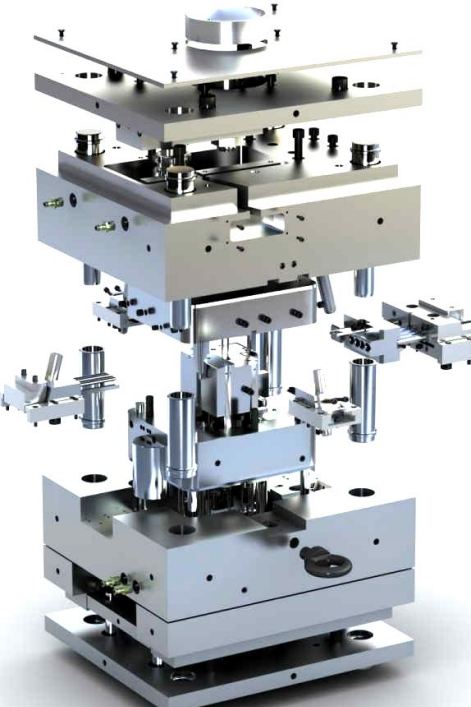
IT	35	9	2,5	25	12	12	12		MM	Me	Me	St	DW	DW
E 1300	100								50	E 133012 x 100 / 35	41,30		41,30	
E 1302	80								56	E 133012 x 100 / 35	41,30		41,30	
E 1304	40								56	E 133012 x 100 / 35	41,30		41,30	
E 1306	80								60	E 133012 x 100 / 35	41,30		41,30	
E 1308	40								60	E 133012 x 100 / 35	41,30		41,30	
E 1310	160								60	E 133012 x 100 / 35	41,30		41,30	

t max = 150°C

Stückliste

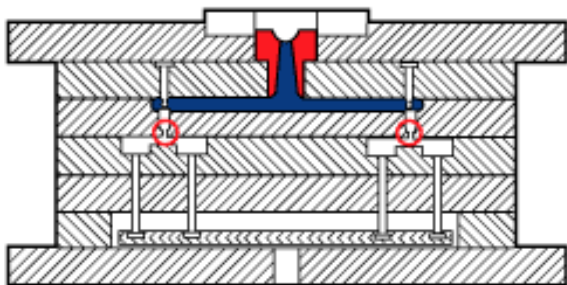
#1	#2	Stk	Stk	Stk
01	10	20000	20	10
02	10	20000	20	10
03	10	20000	20	10
04	10	20000	20	10
05	10	20000	20	10
06	10	20000	20	10
07	10	20000	20	10
08	10	20000	20	10
09	10	20000	20	10
10	10	20000	20	10

Übertragung



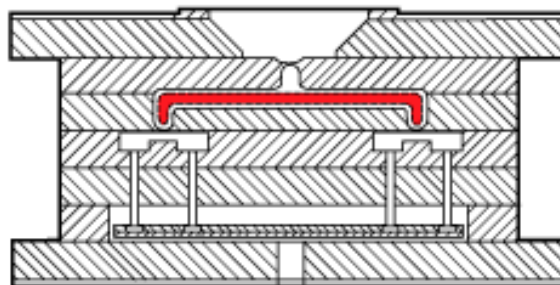


Hideg csatornás szerszám



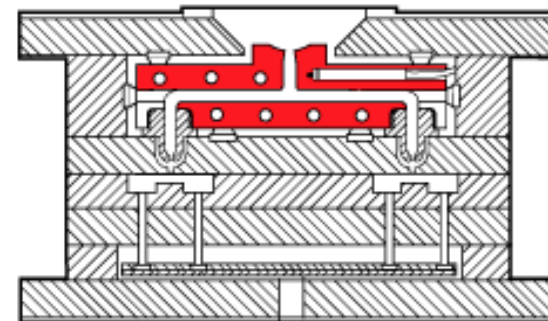
beömlő-persely ■ elosztó ■ gát ○

Szigetelt csatornás szerszám



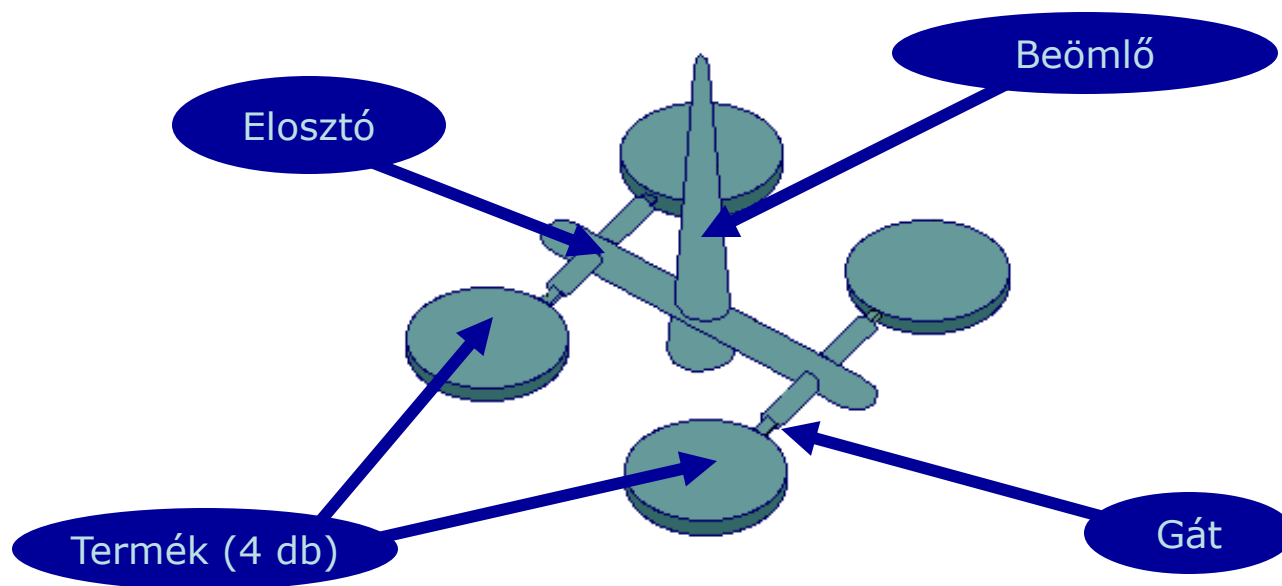
szigetelt
elosztócsatorna ■

Fűtött csatornás szerszám



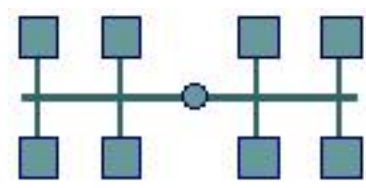
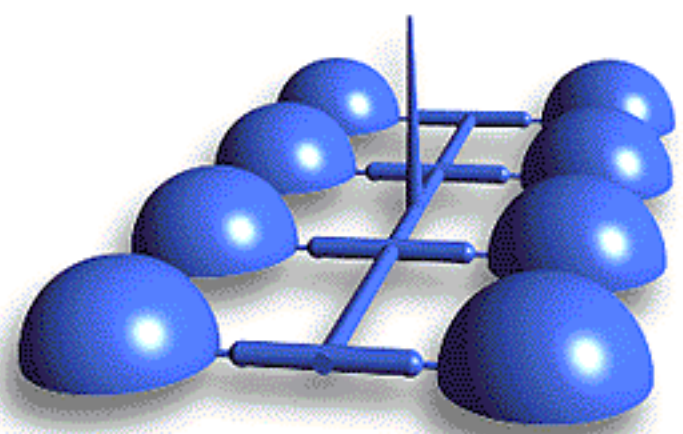
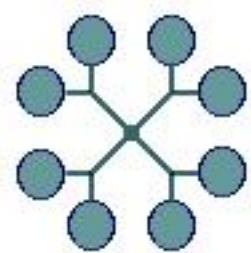
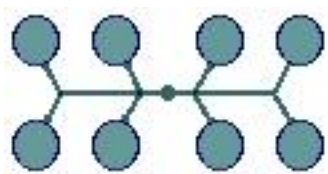
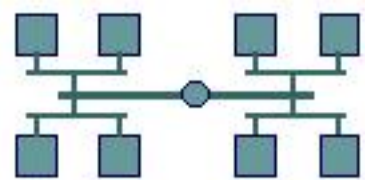
fűtött
elosztócsatorna ■

- **Főbb részei a szerszámnak („a polimer útja szerint”):**
 - **beömlő csatorna**
 - **elosztó csatornák (több fészkes szerszám esetén)**
 - **Gát**
 - **Melyik elem mekkora legyen?**

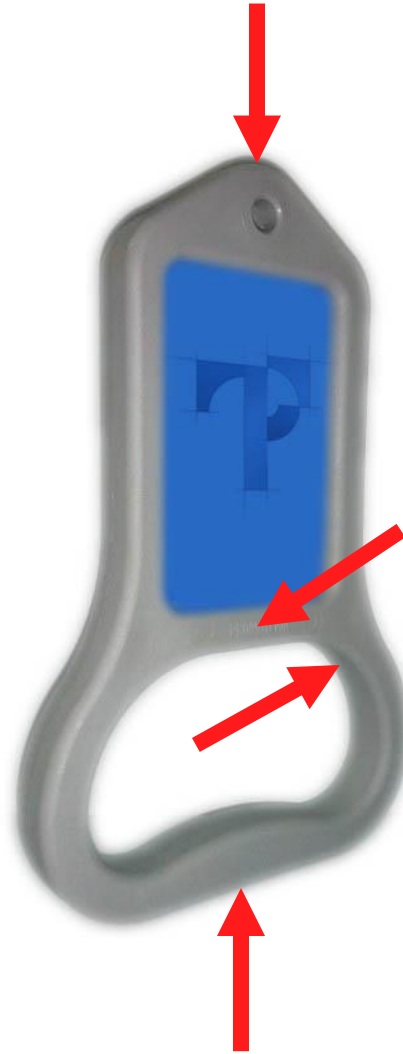
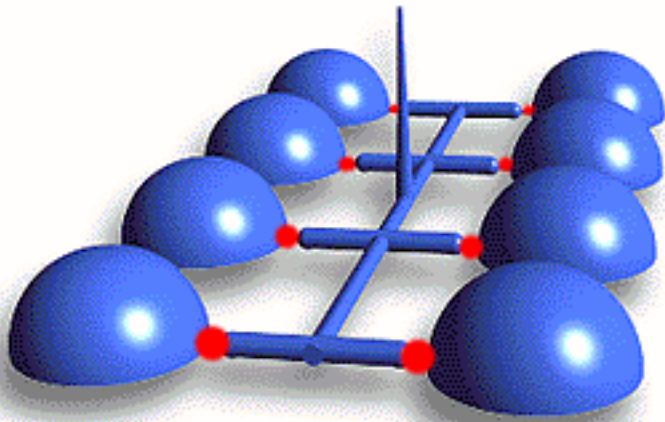




Elosztórendszerek

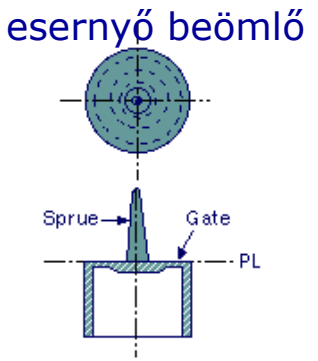
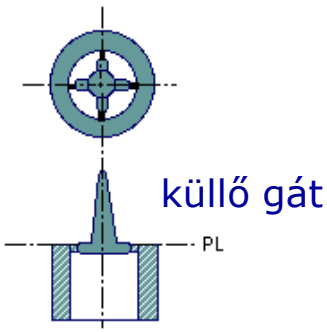
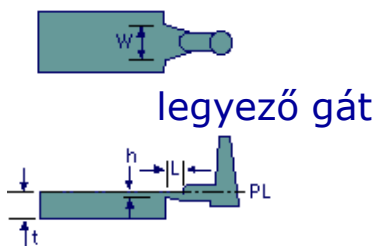
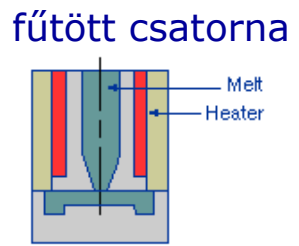
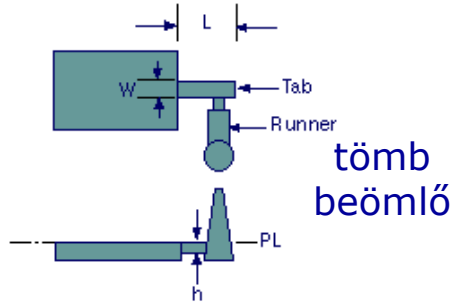
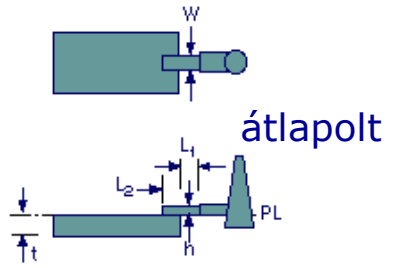
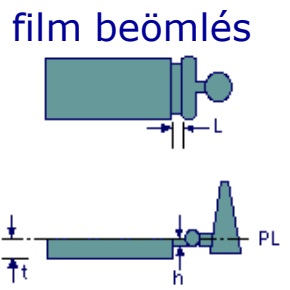
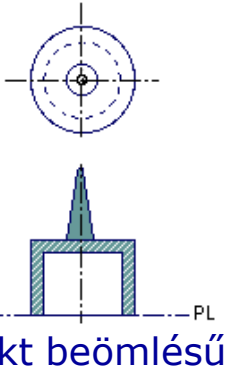
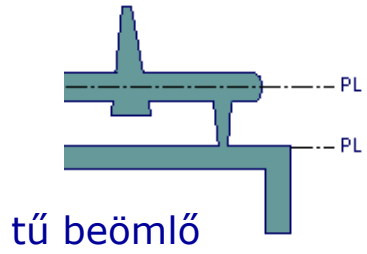
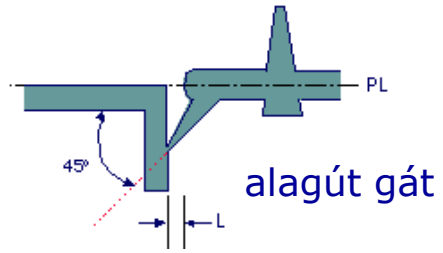
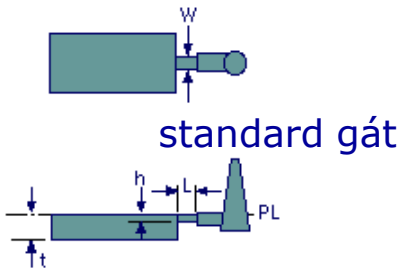
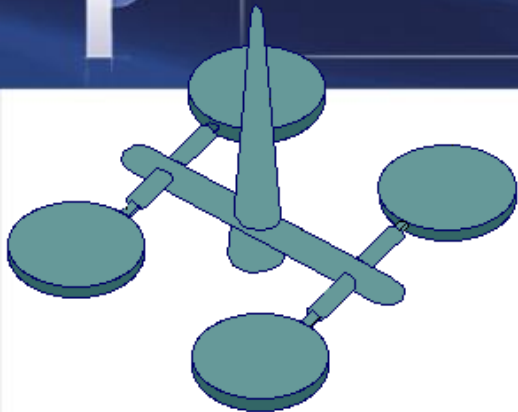


Honnan kell bejuttatni az anyagot a termékbe?
(Gát helye!)



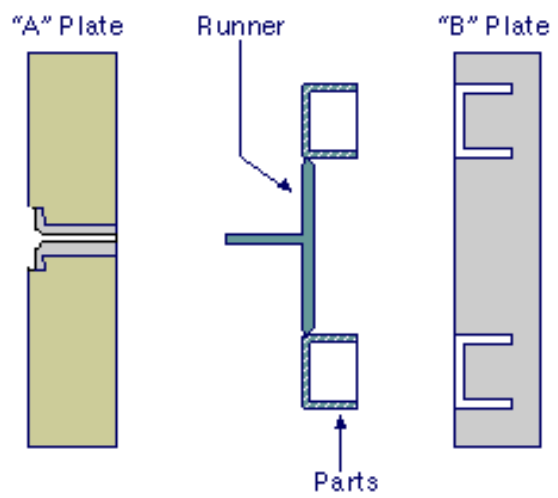


Gát típusa (geometriája)

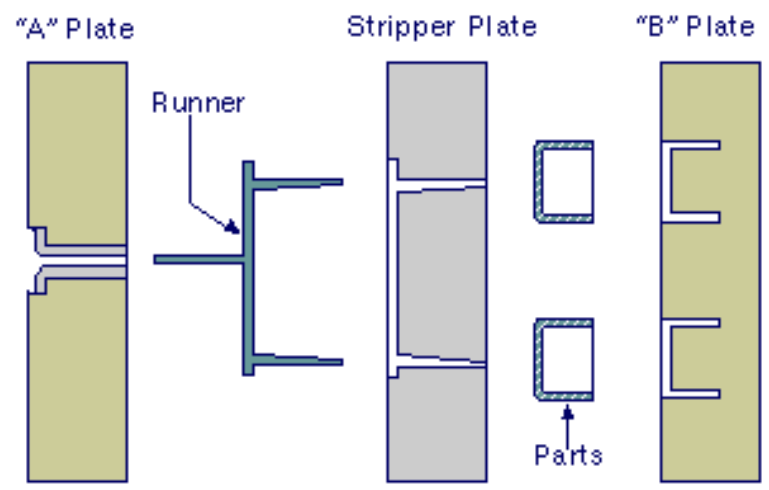




2 vagy 3 lapos szerszám



Kétlapos szerszám



Háromlapos szerszám



Fűtőcsatornás szerszám

