

## 2.2 | A szimuláció mint a műanyag-feldolgozás segédeszköze

*Tárgyszavak: fröccsöntés; szimuláció; zsugorodás; vetemedés, előrejelzés; Cadmould; Moldflow; számítógépes program; PP, POM, ABS, magnézium fröccsöntése.*

A fröccsöntött tárgyak tervezésekor hasznos lehet a zsugorodás és vetemedés előrejelzése. Erre a célra különféle programokat lehet kapni, amelyek segítségével a teljes tulajdonságegyüttesből meg lehet „jósolni” az anyagból gyártott tárgyak méretét, deformációját és egyéb jellemzőit. Az anyagok viselkedését leíró és a modellekbe bevihető adatok száma egyre nagyobb, és egyre gazdagabb a tartalmuk. A program részét képező beépített és külső adatbankok ezzel a fejlődéssel nem mindig tartanak lépést. A mai szimulációs programok általában választás elé állítják az alkalmazót: használhatja valamelyik adatbankban őrzött anyag jellemzőit, vagy beviheti saját mérési eredményeit az általa feldolgozott anyagra vonatkozóan. Az első módszer egyszerű és gyors, de soha nem lehetünk biztosak abban, hogy a bevitt adatok tényleg megfelelnek-e az általunk használt anyagnak, és ez csökkenti a számított paraméterek megbízhatóságát is. A második módszer pénz- és időigényesebb, de csökkenti az eredmények bizonytalanságát. Előre azonban nem lehet tudni, hogy érdemes-e befektetni a szükséges munkát és energiát az új adat meghatározásába, vagy esetleg a mérési pontosságon belül lesz-e a számított értékek változása. Különösen ajánlatos az adatbankban található, legközelebbi helyettesítő anyag adatait használni akkor, ha. hőmérséklet- és nyomásfüggő komplex függvényeket kell igénybe venni.

### Gazdasági szempontok

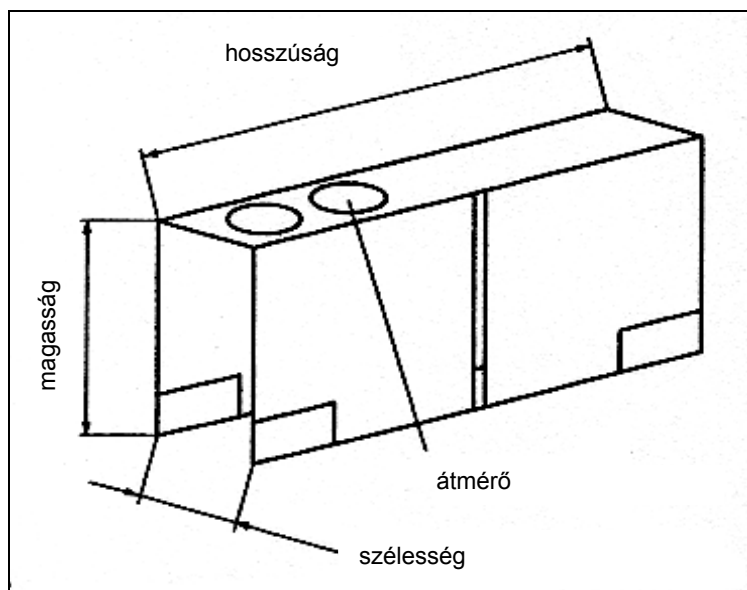
Gazdasági szempontból célszerű lenne, ha egy anyagcsalád tagjait valamilyenfajta „mesterfüggvénnyel” lehetne jellemezni. Megpróbálták felmérni, hogy mennyire járható ez az út. A komplex fizikai összefüggések és a nem mindig pontosan ismertett számítási módszerek miatt a számított értékek szórása nem mindig írható le a Gauss-féle eloszlásfüggvénnyel. Ezért könnyebb úgy vizsgálni a problémát, hogy két különböző geometriájú próbatestet szimulálnak különböző bemenő adatokkal, majd megvizsgálják ezek változásának hatását bizonyos számított paraméterekre, pl. a zsugorodásra vagy a vetemedésre. Az ilyen paraméterek szimulációját számos közleményben írták le, de az anyagjellemzők hatásának vizsgálata újdonságnak számít.

## A szimulációs program, a próbatest és az anyag hatása

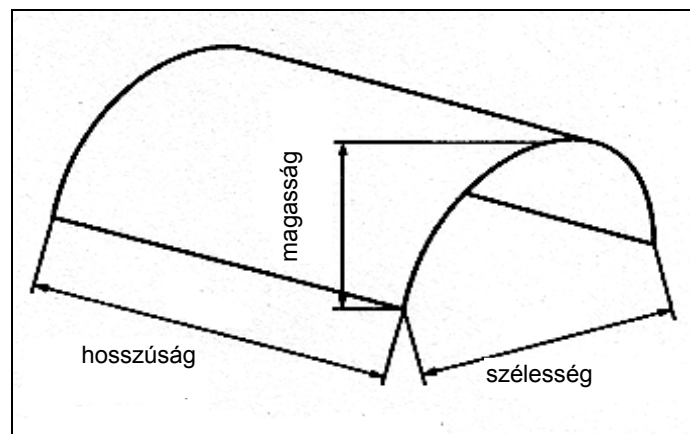
A számítógépes programok közül a Moldflow és a Cadmould programokat használták. A szimulációhoz a kiválasztott anyagok a következők voltak:

- polipropilén (PP, Stamylan P17M:10, DSM, Hollandia),
- poli(oxi-metilén) (POM, Delrin 107 NC-10, DuPont, Németország),
- akrilnitril-butadién-sztirol kopolimer (ABS, Novodur P2M, Bayer, Németország).

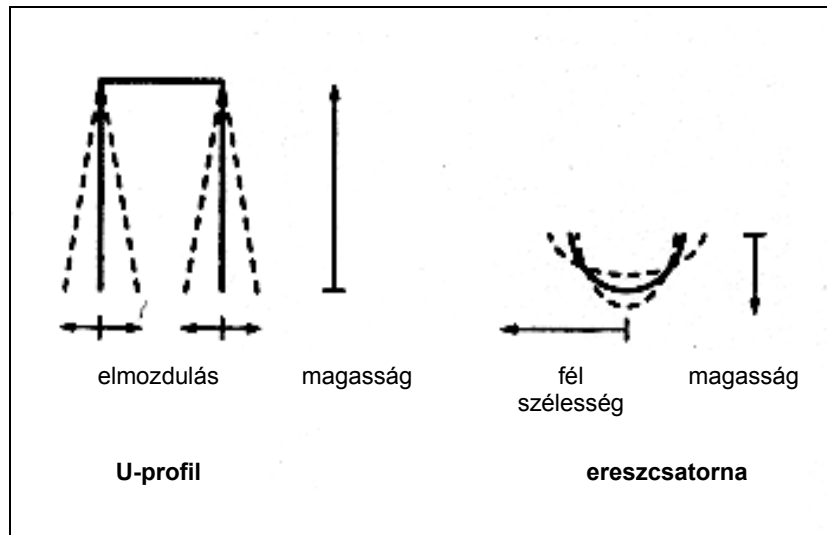
A zsugorodás és a vetemedés szimulációja feltételezi a szerszámfeltöltésre és utónyomási fázisra vonatkozó korábbi szimulációt, amelyekre az anyagjellemzők ugyancsak hatással vannak. A szimulált próbatestek formáját az 1. és 2. ábra mutatja.



1. ábra Az U-profil formájú szimulált próbatest



2. ábra Az ereszcatorna formájú szimulált próbatest



3. ábra A szimulált próbatestek vetemedése.  
 (A vastag vonalak jelzik az eredeti formát, a szaggott vonalak a deformált formát).

A kétféle próbatestnél jelentkező deformációkat (vetemedést) a 3. ábra mutatja vázlatosan. Az U-profilon jelentős az éldeformáció, a lefolyónál ilyen nincs. A zsugorodás (S) a méretekből (M, hosszúság, magasság, szélesség, átmérő stb.) számítható ki a következő módon:

$$S = \frac{100 \times [M_{(eredeti)} - M_{(deformált)}]}{M_{(eredeti)}}$$

Az U-profil vetemedése,

$$V_U = \frac{\text{(az oldalfal elmozdulása)}}{\text{(az oldalfal magassága)}} = \frac{\text{(elmozdulás)}}{\text{(deformálódott magasság)}}$$

az ereszcatorna vetemedése:

$$V_R = \frac{\text{(magasság - fél szélesség)}}{\text{(magasság)}}$$

A deformálatlan ereszcatorna magassága azonos a fél szélességgel, ezért ott a  $V_R$  érték nulla.

## A jellemző értékek és függvényeik meghatározása

A kétféle szimulációs program eltérő bemenő adatokat kíván. Az 1. táblázatban leírt adatokból minden kiválasztott nyersanyag esetében két adatsor állt rendelkezésre (A és B adatsor). A többféle adatsor előfordulása egy adott nyersanyagtípus esetében mindennapos dolog, aminek több oka is lehet, pl.

- különböző adatforrások használata,
- eltérő módszerekkel vagy mérőberendezésekkel kapott adatok használata, a mérési értékek eltérő közelítése vagy kerekítése,
- kisebb eltérés az aktuális nyersanyag tulajdonságaiban,
- észre nem vett hiba.

Az A és B adatsorok közti különbséget olyanra választották, ami a gyakorlatban is előfordul. A számításokat egy kísérletterv szerint állították össze (2. táblázat).

1. táblázat

A kétféle program által megkívánt kiindulási adatok.

Adattípus és megjelenítési forma	Cadmould program	Moldflow program
Fajlagos térfogat (pvT) a nyomás és hőmérséklet függvényében	közelítés 13 ill. 10 együtthatóval	pvT 13 ill. 10 ponton korrigált mérési értékekből
Lineáris hőtágulási együttható	értékek a pvT adatokból számítva	nem szükséges
Ömledékviszkozitás a nyomás és a hőmérséklet függvényében	Carreau-WLF-közelítés 5 együtthatóval	6 egyedi érték korrigált mérési adatokból
Rugalmassági modulus a hőmérséklet függvényében	izotróp anyagok esetében 4 együtthatóval	1 érték
Poisson szám a hőmérséklet függvényében	izotróp anyagok esetében 4 együtthatóval	1 érték
Hővezető képesség, hőmérsékletfüggő értékek 1000 bar nyomáson	1 érték (az ömledék-tartományra átlagolva)	1 érték (az ömledék-tartományra átlagolva)
Fajlagos hőkapacitás	nem szükséges	1 érték (az ömledék-tartományra átlagolva)
Effektív hőmérséklet-vezető képesség	számítás a hővezető képességéből, sűrűségéből és a fajlagos hőkapacitásból	nem szükséges

## Ellentmondó eredmények

A zsugorodást és vetemedést PP-re, ABS-re és POM-ra számították ki. A 4. ábra a PP-re kapott értékeket mutatja. A számított adatok szórása bizonyos

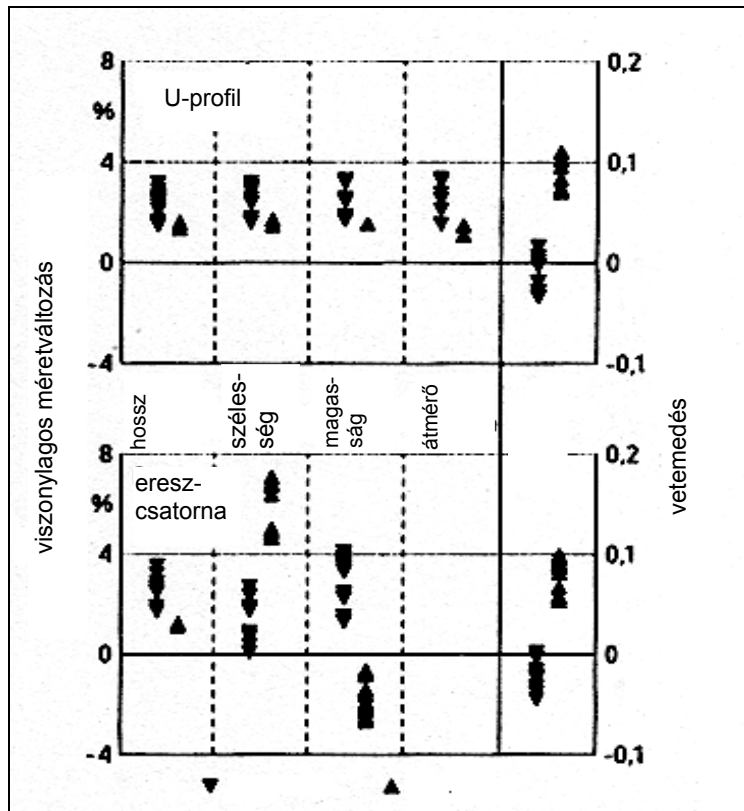
adatoknál és anyagtípusoknál ill. programoknál jelentős. Ez arra utal, hogy az ilyen adatok számításakor a helyettesítő adatok használata adott esetben félrevezető lehet. Az is kevésbé biztató és nehezen magyarázható tény, hogy a kétféle program is eltérő eredményeket ad, néha még előjelben vagy tendenciában is. Kérdés, hogy csökkenthető-e a bizonytalanság, ha egyetlen adatsort használunk? Ennek felderítésére összehasonlították azokat a számított adatsorokat, amelyben lépésenként cserélték ki az A adatsort B-re (5. és 6. ábra a PP fröccsanyagra). Az átmenet az egyik adatkészletből a másikba nem monoton, mert az egyes változtatott adatok nem egyformán és nem is mindig egy irányban befolyásolják a végeredményt. (Az ABS és a POM fröccsanyagok esetében kvalitatíve hasonló eredményt kaptak).

2. táblázat

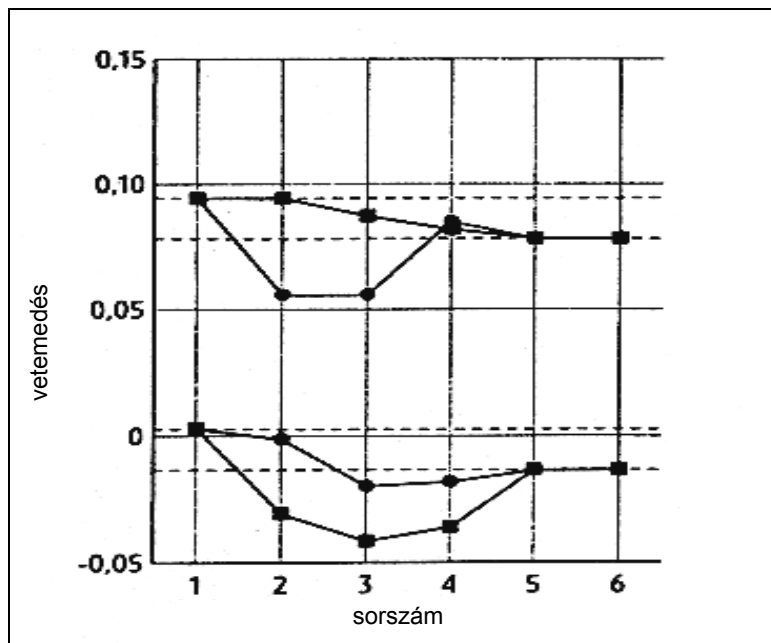
Az anyagjellemzők megadása (A és B adatsor)  
egy kísérletterv szerint

Sorszám és jel az 5. és 6. ábrán		pVT	Viszkozitás	Rugalmissági modulus	Poisson szám	Hővezető képesség, fajhő
■	●					
1	1	A	A	A	A	A
2		A	A	B	A	A
3		A	A	B	A	B
4		A	A	B	B	B
	2	B	A	A	A	A
	3	B	A	B	A	A
	4	B	A	B	A	B
5	5	B	A	B	B	B
6	6	B	B	B	B	B

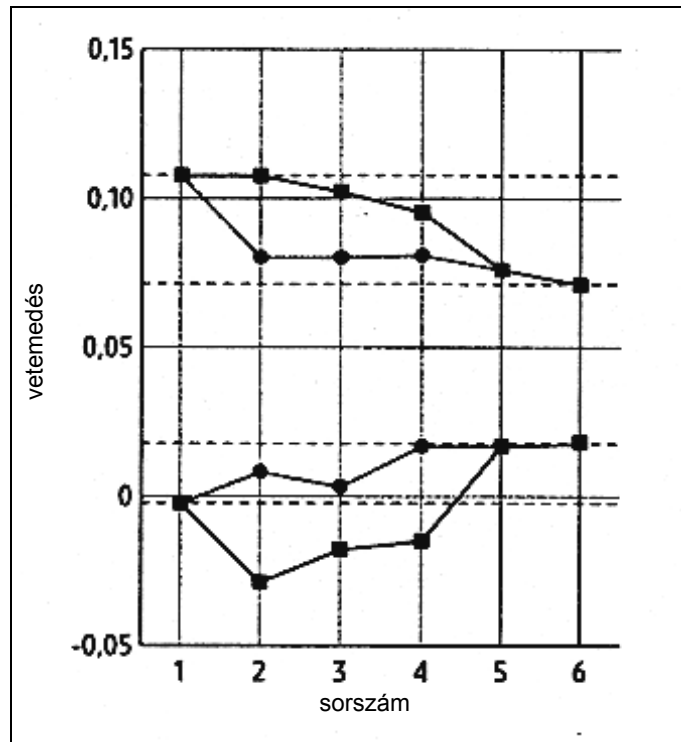
A szimulációs eredményekből azt a következtetést lehet levonni, hogy nem célszerű generikus adatokat használni egy egész anyagcsaládra, inkább minden anyagra a lehető legpontosabban meghatározott saját adatokat kell alkalmazni, ha pontos összehasonlítást akarunk tenni az anyagcsalád tagjai vagy akár különböző anyagtípusok között. Ezeket az adatokat kísérleti úton kell meghatározni. Az egyik felhasználó véleménye szerint, ha valaki az anyagjellemzők meghatározásán akar spórolni, akkor jobb, ha eltekint az egész szimulációtól.



4. ábra A két programmal PP fröccsanyagra számított zsugorodási és vetemedési értékek



5. ábra Az anyagjellemzők lépésenkénti változtatása a 2. táblázat szerint a PP-ből készített U-profil vetemedésének számításakor



6. ábra Az anyagjellemzők lépésenkénti változtatása a 2. táblázat szerint a PP-ből készített ereszcatorna vetemedésének számításakor

### A magnézium fröccsöntésének szimulációja

Ma az igényesebb elektronikai termékek (notebook, mobiltelefon, LCD-vetítő, fényképezőgép) háza egyre gyakrabban készül magnéziumötvözetből. Ennek előnye a műanyagból vagy alumíniumból készülő házakkal szemben

- a jó hőállóság,
- az elektromágneses árnyékolóképesség,
- az antisztatikus viselkedés,
- a nagy szilárdság,
- az újrafeldolgozhatóság.

A magnéziumból készült darabokat az autóipar is szívesen alkalmazza azok kis sűrűsége miatt. A termékeket gyakran fröccsöntéssel állítják elő, amelyre vonatkozóan jóval kevesebb tapasztalat áll rendelkezésre, mint a műanyagok fröccsöntéséről.

A Cadceus Nihon Unisys Ltd. cég olyan szimulációs programot kínál, amelynek segítségével a szerszámok feltöltése, hűlése, az öntvény szilárdulása szimulálható. Ennek használatával elkerülhetők a légzárványok és az olvadék által rosszul kitöltött szerszámrészek, megtervezhetők a feltöltési csatornák, elkerülhető az egyenetlen hőmérséklet-eloszlás a lehűlés során, és meg lehet becsülni a hűlési időt.

A vékony falú termékeket nehezebb szimulálni, mint a vastag falúakat. A számításigényes véges elemes módszerekkel szemben ez a program héj-elemeket és nemortogonális hálót alkalmaz a gyors és megbízható számítás érdekében. A program adatcserére képes CAD-rendszerekkel és más véges elemes programokkal.

**(Bánhegyiné Dr. Tóth Ágnes)**

Endert, S., Gaitzsch, E., Wendisch, P.: Simulation mit variierten Stoffdaten. = Kunststoffe, 92 k. 4. sz. 2002. p. 66–69.

Spritzgiessen von dünnwandigen und grossen Magnesiumteilen simulieren. = Kunststoffe, 92. k. 4. sz. 2002. p. 76.