

## Fröccsöntött termékek vetemedésének jellemzése újfajta módszerrel<sup>1</sup>

Tábi Tamás<sup>2</sup>

**Kulcsszavak:** zsugorodás, vetemedés, szálerősítés, töltőanyag  
**Keywords:** shrinkage, warping, fibre reinforcement, filler material

### Summary

**Warping characterization of the injection moulded parts by novel method.** In this study the nylon (PA6) filled with glass fibre and glass bead was examined for warping and shrinkage measurements. Sixteen different mixtures were made with various fibre and bend content. Shrinkage measurements were made on these composites in five different places. Three special warping parameters, and a holding pressure parameter were introduced to describe warping and shrinkage characteristics of the injection moulded part as a function of the holding pressure parameter. It was found out that the holding pressure decreased all the measured shrinkages, but it increased the warping parameter, because the shrinkage was uneven. Applying glass bends into the composites – which made the shrinkages more uniform – reduced this effect. The newly introduced warping parameters succeeded in quantifying and qualifying the extent of warping of the injection moulded part.

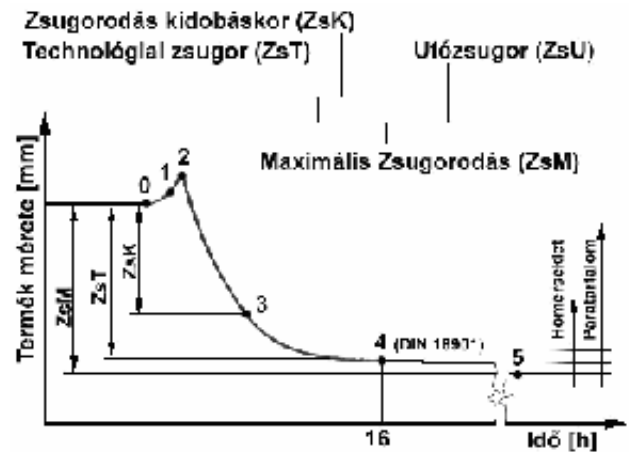
### Bevezetés

A hőre lágyuló polimerek egyik legfontosabb feldolgozási területe a fröccsöntés. A folyamat során az ömledék állapotban lévő polimer nagy nyomással és nagy sebességgel, zárt szerszámba való befröccsöntése, alakadása, alakrögzítése történik. A termelékeny fröccsöntési folyamat során azonban különböző hibák léphetnek fel, amelyeket okozhatja a rossz szerszámtervezés, vagy a nem megfelelő gépbeállítás. A zsugorodás nem minősül fröccsöntési hibának, mivel a technológiai folyamat velejárója, azonban az egyenetlen zsugorodás, és annak következménye a vetemedés már fröccsöntési hiba [1-4].

### Zsugorodás

Zsugorodás alatt a fröccstermék térfogatcsökkenését értjük a lehűlés folyamán. A termék egyik legfontosabb minőségi jellemzője a méretpontosság, amelyet az alapanyag és a fröccsöntött termék alakján kívül a fröccsöntési technológia is befolyásol. A műszaki haladás megköveteli, hogy a fröccsöntés során kialakított termékek méretpontossága egyre jobb legyen és a termék e tulajdonságát az idő előrehaladtával is képes legyen megtartani [2].

A zsugorodás időbeni lefutásánál megkülönböztethetünk technológiai és utózsugorodást (1. ábra).



1. ábra. A zsugorodás időbeni lefutása (a teljes zsugorodás a technológiai és az utózsugorodás összege) [5]

Fig. 1: The shrinkage as a function of time (the total shrinkage is the sum of technological and post-shrinkage) [5]

A technológiai zsugorodás alatt az MSZ EN ISO 294-4 szabvány szerint a 16-24 óráig hűlni hagyott termék méretváltozását értjük, az utózsugorodás alatt pedig a teljes és a technológiai zsugorodás különbségét.

Továbbá, a termék szempontjából megkülönböztetünk lineáris és térfogati zsugorodást [4]. A térfogati zsugorodás felírható a lineáris zsugorodások segítségével:

$$S_V = 1 - (1 - S_x)(1 - S_y)(1 - S_z), \quad (1)$$

ahol  $S_V$  a térfogati zsugorodás,  $S_x$ ,  $S_y$ ,  $S_z$  a lineáris zsugorodások,  $L_x$ ,  $L_y$ ,  $L_z$  pedig a szerszámüreg méretei. Az  $S_i$  százalékos zsugorodást ki lehet számítani a fröccstermék és a szerszámüreg megfelelő méreteivel az alábbi módon:

$$S_i = \frac{L_C - L_i}{L_C} \cdot 100 (\%), \quad (2)$$

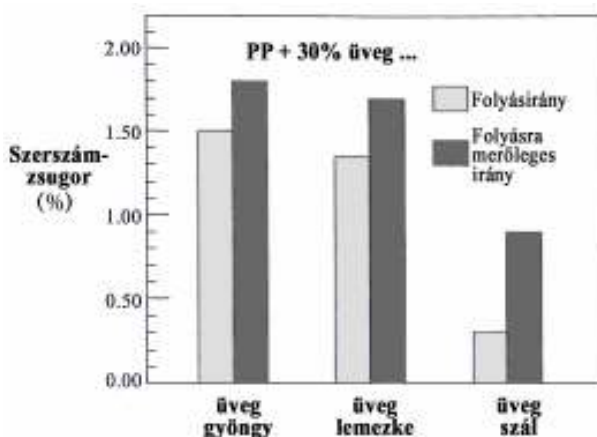
ahol az  $L_C$  a szerszámüreg, az  $L_i$  pedig a termék adott helyen mért mérete [3, 4].

A fröccstermékek zsugorodása a műszaki haladás ellenére még mindig problémát jelent a mérnökök számára, hiszen nem becsülhető pontosan előre a nagysága, illetve egy esetleges szerszámjavítás költsége nagy lehet. Ez egy olyan jellegű jelenség, amely „csak” csökkenthető, de a gyártás során meg nem szüntethető. A polimerek anyagszerkezetéből adódóan hűléskor csökken a térfogatuk, ami a gát lefagyásáig kiegyenlíthető, de utána a folyamatot tovább nem lehet befolyásolni és csak becsült értékek, mérések állnak rendelkezésre a szerszámot elhagyó termék méreteit illetően. Gondos szerszámtervezéssel a zsugorodás figyelembe vehető, azaz annyi nagyobb szerszáműreget tervez a konstruktőr, hogy a termék a kívánt méretekre zsugorodjon, ezzel közel méret pontos alkatrész készíthető.

## Vetemedés

Vetemedés a késztermék különböző helyein kialakult eltérő zsugorodások miatt jelentkező, az ideális (tervezett) alakhoz képest kialakult deformáció, ahol a termék síkja eltorzul, és kilép a síkból [4].

Szálerősített anyagok fröccsöntésbeli használatánál arra a megállapításra jutottak, hogy a folyásirányú zsugorodás nagymértékben lecsökken, így jelentős eltérést létrehozva a kereszt-, illetve folyásirányú zsugorodás arányában. Amíg a hosszirányú zsugorodás 0.5% alá csökkent, addig sok esetben a keresztirányú zsugorodás nem változott számottevően az erősítést megelőző állapothoz képest (2. ábra), ami a termék vetemedéséhez vezetett.



2. ábra. A szálerősítés és töltőanyag tartalom hatása a folyásirányú és arra merőleges zsugorodásra [6]

Fig. 2: The effect of the fibre reinforcement and filler material content on the in-flow and cross-flow shrinkages [6]

Kimutatható tehát, hogy a szálerősítés hatására a vetemedés nő az egyes folyásirányokban jelentkező relatív zsugorodáskülönbség miatt. Mindezek mellett az is megállapítható, hogy az erősítő-, illetve töltőanyag geometriájának szintén jelentős

hatása van a zsugorodások egyenletességére. Sanchagrín kimutatta, hogy PP-ben 30% üvegyöngy, üveglemezke, illetve üvegszál tartalom milyen hatással van a folyásirányú, illetve az arra merőleges irányú zsugorodásra [7]. Ezen túlmutató eredményeket nyújtott Galucci társaival végzett munkája, amiben a speciális keresztmetszetű és hibrid töltésű anyagok zsugorodás egyenletesebbé tevő hatását mutatták be, ezáltal csökkentették a próbatestek vetemedését [8].

## Kísérletek

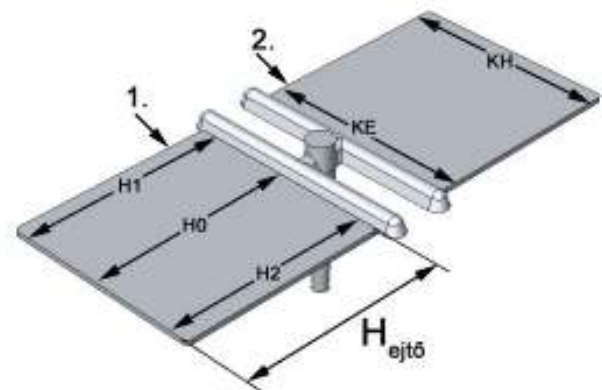
A kísérletek során 0, 10, 20, 30 tömegszázalék üvegszál tartalmú, 0, 1, 2, 3 tömegszázalék üvegyöngy tartalmú, és Durethan B 30 S típusú (gyártó: Lanxess, Németország) poliamid 6 (PA6) alapanyagú keverékeket állítottam össze.

A keveréket Brabender 814402 típusú kétcsigás extruderen kevertem be, 3 mm átmérőjű előgyártmányt készítettem, és granuláltam a Brabender 881203 típusú darálóval. Különleges (ejtősúlyos) próbatesteket fröccsöntöttem a keverékekből az Arburg Allrounder 420 C 1000-250 Advance típusú fröccsöntőgépen. A fröccsnyomás a szálerősítés-, és töltőanyag-tartalom függvényében változott, az utónyomás hatását pedig 200 és 1000 bar között vizsgáltam.

A fröccs-szerszámából kivett és lehűlt, különböző szál- és töltőanyag tartalmú próbatestek célszerűen megválasztott helyein (3. ábra) mértem a lineáris zsugorodásokat (a HK – hosszirányú zsugorodás közepén, a HSZ – hosszirányú zsugorodás a szélén, amit a H1 és H2 értékekkel definiáltam:

$$HSZ = \frac{H1 + H2}{2}, \quad (3)$$

továbbá a KE – keresztirányú zsugorodás elöl és a KH – keresztirányú zsugorodás hátul), majd a mért értékekből vetemedési paramétereket határoztam meg, amelyekkel az egyenetlen zsugorodást jellemeztem.



3. ábra. A fröccsöntött próbatest és a mért értékek  
Fig. 3: The injection moulded part and the measured lengths

Az általam bevezetett vetemedési tényezők a termék vetemedésének mértékét jellemzik. Ezekkel nyomon lehet követni (i) a hosszirányú zsugorodás helyfüggését (H0/HSZ), azaz az elosztó csatornától mért távolság zsugorodásra gyakorolt hatását, (ii) a zsugorodás nyomásfüggését (KE/KH), azaz a zsugorodás növekedését a gáttól távolodva, valamint (iii) a zsugorodás irányfüggését ( $K_{\text{átlag}}/H_{\text{átlag}}$ ), tehát a kereszt- és hosszirányú zsugorodások arányát:

$$K_{\text{átlag}} / H_{\text{átlag}} = \frac{KE + KH}{2} / \frac{H0 + HSZ}{2} \quad (4)$$

Ideális esetben a vetemedési tényezők értéke 1, amely egyenletes zsugorodásra, torzulásmentes termékre utal. Minél jobban eltér a számolt vetemedési tényező értéke az ideális 1-től, annál jobban torzult a termék.

Továbbá bevezettem egy nyomástényezőt ( $P_{\text{utó}}/P_{\text{befröccs}}$ ), amely az utónyomás és befröccsöntési nyomás hányadosa. Ezzel a nyomástényezővel az eltérő szál- és töltőanyag tartalom miatt eltérő fröccsnyomást igénylő termékek utónyomás függése vizsgálható.

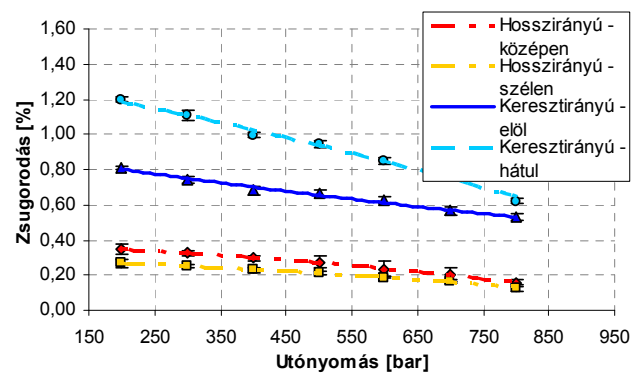
## Eredmények

Mivel a zsugorodás szempontjából a legjelentősebb technológiai paraméter az utónyomás, ezért a négy zsugorodási és a három, újonnan felállított vetemedési paraméter változását nyomon követtem az utónyomás függvényében. A töltő-, és erősítőanyagtól függetlenül majdnem minden esetben megállapítható volt, hogy az utónyomás növelése a hosszirányú zsugorodást egyenletesebbé, a nyomásesés okozta zsugorodásváltozást kisebbé tette. Sorrendben előbb a zsugorodásra, majd pedig a vetemedésre jellemző értékek változását mutatom be a 30 tömeg% üvegszál, 0 tömeg% üvegyöngy, és a 30 tömeg% üvegszál, 3 tömeg% üvegyöngy tartalmú kompozitoknál.

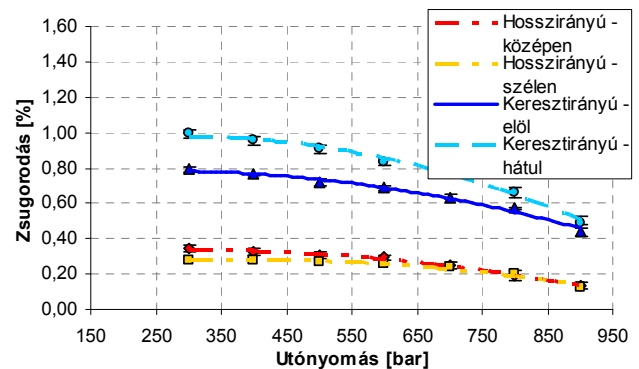
A 30 tömeg% üvegszál tartalom hatására a kompozit hosszirányú zsugorodása a keresztirányúhoz képest jelentősen lecsökkent (4. ábra), ezáltal a termék vetemedése nőtt.

A 30 tömeg% üvegszál tartalomhoz adagolt 3 tömeg% üvegyöngy hatására a kompozit zsugorodása egyenletesebb lett a keresztirányú zsugorodásának csökkenése révén (5. ábra), így a termék vetemedése is csökkent.

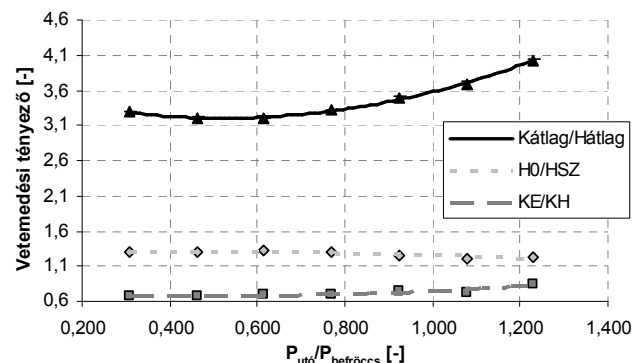
A PA6 alapanyagú 30 tömeg% üvegszál és 0 tömeg% üvegyöngy tartalmú kompozitra a 6. ábra szemlélteti a bevezetett vetemedési tényezők változását a nyomástényező függvényében. Az utónyomás hatására mind a H0/HSZ, mind pedig a KE/KH vetemedési tényezők az ideális 1 érték felé tartanak..



4. ábra. A 30 tömeg% üvegszál és 0 tömeg% üvegyöngy töltésű PA6 alapanyag zsugorodása  
Fig. 4: Shrinkage characteristics of PA6 base material with 30 m/m% glass fibre and 0 m/m% glass bend content



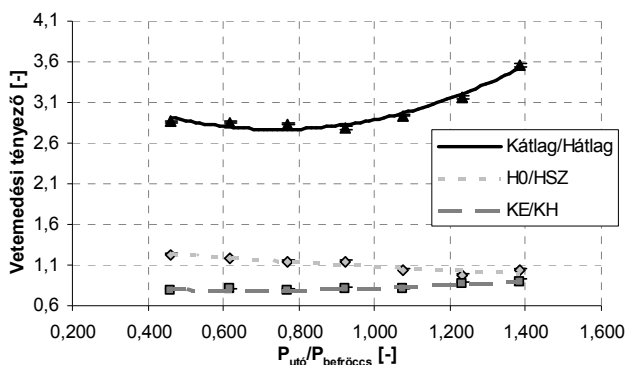
5. ábra. A 30 tömeg% üvegszál és 3 tömeg% üvegyöngy töltésű PA6 alapanyag zsugorodása  
Fig. 5: Shrinkage characteristics of PA6 base material with 30 m/m% glass fibre and 3 m/m% glass bend content



6. ábra. A 30 tömeg% üvegszál és 0 tömeg% üvegyöngy töltésű PA6 alapanyag vetemedési tényezőinek változása  
Fig. 6: Warping characteristics of PA6 base material with 30 m/m% glass fibre and 0 m/m% glass bend content

Az ideális 1-et akkor érnék el a vetemedési tényezők, ha a 4. ábra diagramján a hossz- és a keresztirányú zsugorodások görbéi érintenék egymást. A hosszirányú zsugorodások jobban lecsökkennek, mint a keresztirányúak, ezáltal a termék  $K_{\text{átleg}}/H_{\text{átleg}}$  vetemedési tényezője jelentősen nő.

A 30 tömeg% üvegszál tartalomhoz adagolt 3 tömeg% üvegyöngy hatására a  $K_{\text{átleg}}/H_{\text{átleg}}$  vetemedési tényező jelentősen csökkent, a másik két vetemedési tényező viszont alig (7. ábra). A termék kereszt- és hosszirányú zsugorodásai az üvegyöngy tartalom hatására egyenletesebbek lettek, amit a  $K_{\text{átleg}}/H_{\text{átleg}}$  újfajta vetemedési tényező csökkenése ki is mutatott.



7. ábra. A 30 tömeg% üvegszál és 3 tömeg% üvegyöngy töltésű PA6 alapanyag vetemedési tényezői

Fig. 7: Warping characteristics of PA6 base material with 30 m/m% glass fibre and 3 m/m% glass bend content

## Összegzés

Munkámban 16 különböző üvegszál és üvegyöngy tartalmú poliamid keverékből fröccsöntött kompozit lapok zsugorodását és vetemedését vizsgáltam mérve öt különböző helyen a lapok méreteit. Ezekből az adatokból zsugorodási értékeket számítottam, továbbá bevezettem három, speciális vetemedési paramétert, illetve egy nyomástényezőt, amelynek segítségével vizsgálható volt az eltérő fröccsnyomást igénylő keverékek utónyomás függése.

Bemutattam a zsugorodást és vetemedést diagramokban és vizsgáltam a szálerősítés és a töltőanyag adagolásának hatását. Megállapítottam, hogy az utónyomás az összes mért zsugorodási értéket csökkentette, de egyenetlenül, ezért megnövelte a vetemedési hajlamot. Szálerősítés hatására a hosszirányú zsugorodások jelentősebben csökkentek mint a keresztirányúakat, ezért megnőtt a vetemedési hajlam. Ha az üvegszál mellé üvegyöngyöt is adagoltunk töltőanyagként az alapanyagba, akkor az üvegyöngy hatására arányosan lecsökkent a kereszt- és hosszirányú zsugorodás, így az ezek hányadosából képzett vetemedési paraméter is csökkent. Ezeket a hatásokat az általam bevezetett újfajta vetemedési tényezők jól számszerűsítették, és ezáltal követhetővé, minősíthetővé tették.

## Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani az Arburg Hungária Kft-nek, hogy rendelkezésünkre bocsátotta az Arburg Allrounder 420C típusú fröccsöntőgépet, valamint az Anton Kft-nek a cserélhető betétes fröccsöntő szerszámért.

## Irodalom

1. Czvikovszky T., Nagy P., Gaál J.: A polimertechnika alapjai, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2000
2. Dunai A., Macskási L.: Műanyagok fröccsöntése, Lexica Kft., Budapest, 2003
3. Sors L., Bardócz L., Radnóti I.: Műanyagalkító szerszámok – Második bővített és átdolgozott kiadás, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1977
4. Robert A. Malloy: Plastic Part Design for Injection Molding, Hanser Publishers, Munich, 1994
5. G. Menges, W. Michaeli, P. Mohren: How to Make Injection Molds, Hanser Publishers, Munich, 1998.
6. Kovács J. G.: Szálerősített fröccsöntés (Előadásvázlat és ábragyűjtemény) Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2003
7. Sanschagrin, B.: SPE Annual Technical Conference, 35, 1051, 1989
8. R. Galucci, et al.: Plastics Engineering, 49 (5), 23, 1993