

Bazaltszál-erősítésű fröccsöntött poliamid zsugorodásának vizsgálata  
Deák T., Kovács J. G., Szabó J. S.

Accepted for publication in Műanyag és Gumi  
Published in 2004

DOI:

# Bazaltszál-erősítésű fröccsöntött poliamid zsugorodásának vizsgálata

DEÁK TAMÁS\*

okleveles gépészmérnök

KOVÁCS JÓZSEF GÁBOR\*

egyetemi tanársegéd

SZABÓ JENŐ SÁNDOR\*

doktorandusz

## 1. Bevezetés

Az üvegszállal erősített poliamid nagyon elterjedt, különösen az elektromos- és autóiiparban. 30–40 tömeg% üvegszál tartalmú PA 6-ból, PA 66-ból, esetenként pedig PA 46-ból készül egyebek között a személygépkocsik motorjának hengerfejére szerelt levegő-bevezető, számos elektromos és elektronikus berendezés (pl. kismegszakítók, izzólámpák) és a legtöbb elektromos kéziszerszám burkolata, de az építőiparban is alkalmazták. A bazaltszál alkalmas lehet az üvegszál helyettesítésére e területeken. A bazaltszálat már régóta alkalmazták a jármű- és építőiparban mint hő- és hangszigetelő anyagot, de a polimerek erősítő anyagaként való felhasználására irányuló kísérletek csak a közelmúltban kezdődtek el.

A termék fröccsöntés utáni zsugorodása és vetemedése a technológia nem kívánt velejárója, amit számtalan módszerrel igyekeznek csökkenteni, ugyanakkor minden anyag esetében ismerni kell, hogy a termék méretpontosságát és minőségét szavatolni lehessen. A munka célja a bazaltszállal erősített fröccsöntött poliamid zsugorodásának és vetemedési hajlamának felmérése, a poliamid alapanyaggal, illetve egy kereskedelemben kapható üvegszálal anyaggal való összehasonlítása.

## 2. A bazalt és a bazaltszál

A bazalt vulkanikus eredetű felszíni kőzet. 1350 és 1700°C közötti hőmérsékleten olvad meg és hirtelen lehűtve majdnem teljesen amorf formában szilárdul meg. Átlagos sűrűsége 2,7 g/cm<sup>3</sup>. Régóta dolgozzák fel bazaltgyapottá hő- és hangszigetelési célból. Általánosan használják épületek tetőszerkezetének, ajtó és csövek szigetelésére. A bazaltszál kompozit-erősítőanyagként való alkalmazásának lehetősége először a Szovjetunióban merült fel a nyolcvanas évek elején. Ma Oroszországban és Ukrajnában állítják elő a legnagyobb mennyiségben a kimondottan erősítőanyagként szánt bazaltszálat. A bazalt kémiai összetétel szempontjából közeli rokonságban áll az üveggel (1. táblázat).

## 1. táblázat.

A bazalt, az E és az S üveg átlagos összetétele, tömegszázalékban [1]

Vegyület, %	E-üveg	S-üveg	Bazalt
SiO <sub>2</sub>	52–56	65	51,6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12–16	25	18,2
CaO	16–25	–	5,2
MgO	0–5	10	1,3
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5–10	–	–
Na <sub>2</sub> O	0,8	0,3	6,4
K <sub>2</sub> O	0,8	0,3	4,5
TiO <sub>2</sub>	–	–	1,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	–	–	4
FeO	–	–	2,1

A vizsgálatokhoz használt bazaltszálat a tapolcai TOPLAN KFT. gyártja. A svéd *Junkers* technológián alapuló módszer lényege, hogy a kb. 1580°C-os olvadékot három centrifugafejes, vízszintes tengelyű szálazóberendezésre folytatják. A fejekre tapadt láva egy része a centrifugális erő hatására lerepül és a fúvókákból rábocsátott nagysebességű levegőáramban a viszkózus folyadékból szálal húz. A szál a hirtelen hőmérséklet-változás hatására úgy szilárdul meg, hogy a szálak végein azok hosszától függően kisebb-nagyobb szálfejek (göböcsök) keletkeznek. A szálfejek nagy része ülepítéskor letörnek, azonban a kisebbek a szálakon maradnak [2].

## 3. Fröccsöntött termékek zsugorodása

Zsugorodás alatt a fröccstermék térfogatcsökkenését értjük a lehűlés folyamán. Megkülönböztetjük a térfogati és a lineáris zsugorodást. A kettő közötti kapcsolat egyszerűen leírható. A teljes térfogatváltozás

$$\Delta V = V_C - V_T \quad (1)$$

ahol  $V_C$  a szerszámüreg,  $V_T$  pedig a fröccstermék térfogata. Ebből kifejezhető a térfogati zsugorodás

\*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék

$$S_V = \frac{\Delta V}{V_C} = \frac{V_C - V_T}{V_C} = 1 - \frac{V_T}{V_C} =$$

$$= 1 - \frac{L_x(1-S_x) \cdot L_y(1-S_y) \cdot L_z(1-S_z)}{L_x L_y L_z} \quad (2)$$

így

$$S_V = 1 - (1-S_x)(1-S_y)(1-S_z) \quad (3)$$

ahol  $S_V$  a térfogati zsugorodás,  $S_x$ ,  $S_y$  és  $S_z$  a lineáris zsugorodások,  $L_x$ ,  $L_y$  és  $L_z$  pedig a szerszámüreg méretei. Az  $S_i$  százalékos lineáris zsugorodás a szerszámüreg és a fröccstermék méretéből számítható ki:

$$S_i = \frac{L_C - L_i}{L_C} \cdot 100\% \quad (4)$$

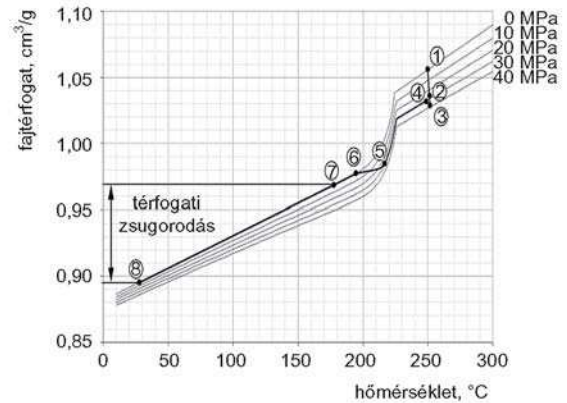
ahol  $L_C$  a szerszámüreg,  $L_i$  pedig a fröccstermék adott helyen mért mérete.

A zsugorodás több szabvány szerint határozható meg. Az MSZ EN ISO 294-4 és a DIN 16 901 különbséget tesz feldolgozási zsugorodás ( $S_M$ ), utózsugorodás ( $S_P$ ) és teljes zsugorodás ( $S_T$ ) között. A feldolgozási zsugorodást az MSZ EN ISO 294-4 szerint fröccsöntés után azonnal, a DIN 16 901 szerint 16 óra elteltével, az utózsugorodást pedig hosszabb idő után kell mérni. A teljes zsugorodás az előbbi kettő összege. Az utózsugorodás a fröccsöntést követően hosszú idő alatt bekövetkező méretváltozás, amely általában lassú, utólagos kristályosodás esetén lép fel. Néhány polimerben a kristályos szerkezet teljes kialakulása akár hónapokig is eltarthat.

A kristályos, hőre lágyuló műanyagok fajtérfogatának változása, ezáltal zsugorodása nagyobb, mint az amorf polimereké, amelynek magyarázata a molekuláris szerkezetben rejlik: a zsugorodás oka alapvetően a molekuláláncok közeledése a lehűlés során. A kristályos műanyagoknál a tömörebb elrendeződés következtében nagyobb a zsugorodás [3].

A zsugorodás három állapothatározó, a nyomás ( $p$ ), a fajtérfogat ( $v$ ) és a hőmérséklet ( $T$ ) függvényében vizsgálható. Az 1. ábrán a fröccsöntés folyamata követhető nyomon a termodinamikai állapothatározók függvényében, kristályos polimer esetén. A technológiai lépések a következők: 1–3: befröccsöntés, 3–4: átkapcsolás utónyomásra, 4–5: utónyomás, 5: lepecsételődés, 6–7: zsugorodás a termék kidobásáig, 6: légköri nyomás elérése, 7: a termék kidobása, 7–8: zsugorodás a szerszámon kívül. A függőleges tengelyen, amely a fajtérfogatot ábrázolja, a térfogati zsugorodás pontosan megfigyelhető.

A termék mérete az 6. pontban pontosan megegyezik a szerszámüreg méretével, a zsugorodás az 6–8. pontok közötti fajtérfogat-változásnak felel meg. Jól látható az utónyomás nagyságának és idejének lényeges szerepe. A

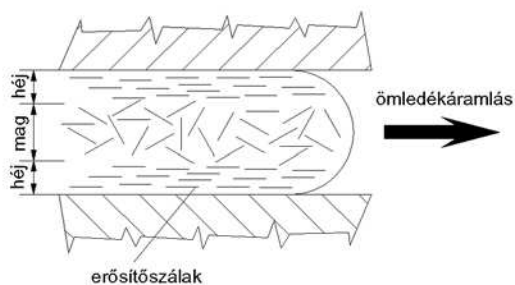


1. ábra. Kristályos poliamid-6 nyomás-fajtérfogat-hőmérséklet összefüggése

befröccsöntés során a nyomás eléri maximumát, miközben a hőmérséklet csak kis mértékben változik. Az utónyomás alatt közel izobár körülmények között hűl a termék, miközben a fajtérfogat csökkenését további ömledékmennyiségnek a szerszámüregbe juttatásával kompenzáljuk. A lepecsételődés után ez a lehetőség megszűnik, ettől kezdve a termék térfogatváltozás nélkül hűl a légköri nyomás eléréséig, majd kezdetét veszi a zsugorodás (6. pont), ami a szobahőmérséklet eléréséig tart.

A zsugorodás csökkentésének leghatásosabb módja a megfelelő alapanyag kiválasztása mellett az utónyomás nagyságának és idejének helyes beállítása. A vetemedés legfőbb oka a maradó feszültségek egyenlőtlensége vagy aszimmetriája. Noha számos tényező okozhatja a feszültségek egyenlőtlenségét, mint pl. a bonyolult geometria vagy az ömledéknomás különbségei, a vetemedés leggyakoribb előidézője az egyenetlen szerszámhűtés. Ugyanakkor sok esetben – különösen bonyolult alakú termékeknél – a differenciált szerszámtemperálás segít csökkenteni vagy megelőzni a vetemedést [4]. Ha tovább hűtjük a terméket a szerszámban, azaz alacsonyabb kidobási hőmérsékletet alkalmazunk, csökkenthető vagy megelőzhető a vetemedés, azonban a belső feszültségek ebben az esetben maradéktalanul rögzülnek a termékben, miáltal az merevebb és ridegebb lesz [5].

Különböző töltő- és erősítőanyagoknak a polimerbe keverése jelentősen csökkenti a zsugorodást, mivel ezeknek az – általában szerves – anyagoknak (pl. az üvegszálnak) a hőtágulási együtthatója töredéke a műanyagokénak, illetve nem összenyomhatók. A részecske vagy lemezke alakú töltőanyagok közelítőleg mennyiségükkel egyenes arányban csökkentik a zsugorodást és annak izotrop jellegét nem befolyásolják. Ezzel szemben a szálerősítésű műanyagok fröccsöntésénél meghatározó jelentőségű az orientáció és a mag-héj szerkezet kialakulása: a szerszámüreg kitöltése során az ömledék egy része a fal mellett gyorsan megdermed (ebből alakul ki a héj), míg a szerszám felületétől távolabb eső része las-

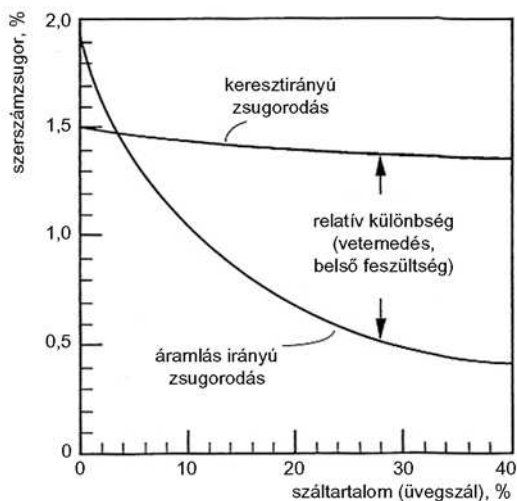


2. ábra. A mag-héj szerkezet kialakulása

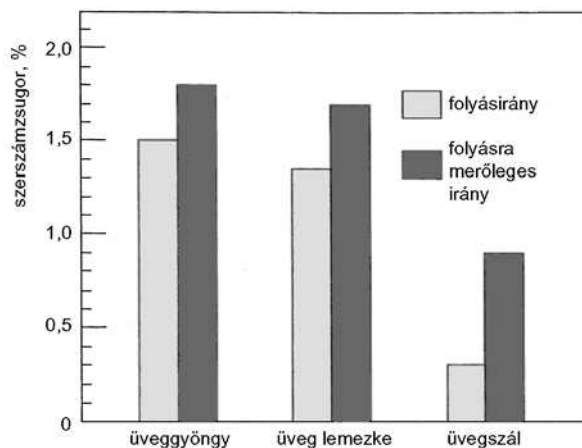
sabban, már a szerszámüreg teljes kitöltése után (ezt nevezük magnak) dermed meg [6]. A héjban az erősítőszálak a folyás irányába orientálódnak, míg a magban általában véletlenszerűen, esetenként a folyási irányra merőlegesen helyezkednek el (2. ábra). A szálorientációt a mag és a héj vastagságának aránya határozza meg. Minél nagyobb a befőröccsöntési sebesség, azaz minél gyorsabban áramlik az ömledék, annál kisebb lesz a héjvastagság, ennél fogva annál kisebb lesz az orientáció.

Erősítőszálak alkalmazásakor a hosszirányú (áramlás irányába eső) és keresztirányú (áramlás irányára merőleges) zsugorodás között jelentős a különbség. Ez annak köszönhető, hogy az erősítőszálak saját elhelyezkedésük irányában sokkal nagyobb mértékben csökkentik a zsugorodást, mint arra merőlegesen, a szálak jelentős része pedig az ömledékáramlás irányába orientálódik. A szál-tartalom növekedésével a hossz- és a keresztirányú zsugorodás eltérő módon változik, emiatt különbségük és egymáshoz viszonyított arányuk is fokozatosan növekszik (3. ábra). Az egyenlőtlen zsugorodás a szerszám tervezését is bonyolultabbá teszi, mivel megnehezíti a szerszámüreg méreteinek helyes megválasztását.

A hossz- és keresztirányú zsugorodás közötti különbség csökkentésének egyik lehetséges módja a töltő- és erősítőanyagokat egyaránt tartalmazó kompozitok alkal-



3. ábra. A szálerősítés hatása a zsugorodásra (üvegszállal erősített POM esetén)



4. ábra. A töltő- és az erősítőanyagok összehasonlítása PP+30% üvegszál esetén

mazása (4. ábra). E hibrid anyagok kompromisszumot jelentenek a zsugorodási és a mechanikai tulajdonságok között, és gyakran használják olyan termékek gyártására, amelyek méretpontosságával szemben fokozott követelményeket támasztanak [5].

#### 4. Kísérleti rész

A vizsgálatokhoz három különböző száltartalommal, kétféle bazaltszálat használva összesen hatféle alapanyagot állítottunk elő. A mátrix a BAYER AG által gyártott Durethan B30S márkajelű PA 6 volt. Erősítőanyagként a TOPLAN KFT. által gyártott bazaltszálat használtuk: egyrészt eredeti formájában, másrészt mosott állapotban. Ez utóbbi azt jelenti, hogy a szálhalmazt vízzel átmosva, a szálvégekről letört göböcsök nagy részét eltávolítottuk. A mosott bazaltszálás anyagok száltartalma nagyobb a göböcsök rovasára. A vizsgálatok fő célja a bazaltszál kimosás hatásának megállapítása volt. Noha ettől kedvező változások várhatók, a mosás időigényes technológia, ami jelentősen növeli a költségeket. Mindkét szálfajttával 30, 45 és 60 tömegszázalék szál tartalmú granulátumot készítettünk. A mosott bazaltszálat tartalmazó kompozitokat *T* (tisztított), a nem mosott bazaltszálat tartalmazó kompozitokat *N* (nem tisztított) jelöléssel láttuk el (2. táblázat).

2. táblázat.

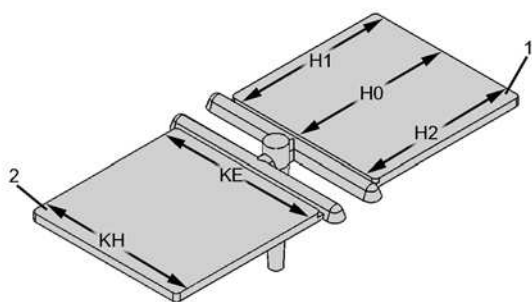
#### A bazaltszálás kompaundok fő adatai és jelölése

Sorszám	Bazaltszál tartalom, tömeg %	Bazaltszál típusa	Jelölés
1	30	tisztított	T 30
2	45	tisztított	T 45
3	60	tisztított	T 60
4	30	nem tisztított	N 30
5	45	nem tisztított	N 45
6	60	nem tisztított	N 60

A szálát BRABENDER *Plasti-Corder PL 2100* kétszi-  
gás keverőextruderrel vittük be a polimerbe. Összeha-  
sonlítás céljából az erősítetlen mátrixanyagból (jele:  
*PA6*) és az *MKV Ziamid B 3.30* márkanévű, 30% üveg-  
szálát tartalmazó (jele: *GF30*) PA 6-ból is fröccsöntöt-  
tünk próbatesteket. A extrudált anyagot BRABENDER tí-  
pusú granuláló berendezéssel daráltuk meg.

A zsugorodás mérésénél az EN ISO 294-4 szabvány  
előírásait vettük alapul. Eszerint a fröccsöntési zsugoro-  
dás ( $S_M$ ) a próbatest és az azt létrehozó szerszámüreg  
méretkülönbsége, amelyet a szerszámüreg méretének  
százalékában adunk meg a (4) összefüggéssel.

A granulátumból kétfészes szerszámban az 5. áb-  
rán látható négyzet alakú próbaplokat fröccsöntöttünk  
ARBURG 270 C 500-250 fröccsöntő gépen.



5. ábra. A zsugorodás méréshez használt próbatest és a mé-  
résí pontok

A szerszámüreg mérete 80,96×80,96×2,02 mm. A  
próbatestek méretét a fröccsöntés után egy órával öt he-  
lyen mértük: a keresztirányú méretet elől (a gát közelé-  
ben,  $K_E$ ) és hátul (a gáttól távolabb,  $K_H$ ), valamint a  
hosszirányú méretet középen ( $H_0$ ) és a próbatest két szé-  
lén ( $H_1$  és  $H_2$ ). Minden gépbeállítással 6 próbatestet  
fröccsöntöttünk.

A zsugorodást a szerszámüreg és a próbatest méreté-  
ből a (4) egyenlettel határoztuk meg, az alábbi értékeket,  
illetve azok átlagát és 95%-os konfidencia intervallumra  
vonatkozó szórását számítottuk ki:

keresztirányú zsugorodás elől ( $S_{KE}$ ),  
keresztirányú zsugorodás hátul ( $S_{KH}$ ),  
hosszirányú zsugorodás középen ( $S_{H0}$ ),  
hosszirányú zsugorodás a próbatest két szélén ( $S_{H1}$  és  
 $S_{H2}$ ),  
átlagos hosszirányú zsugorodás ( $S_H$  átlag),  
átlagos keresztirányú zsugorodás ( $S_K$  átlag),  
ahol

$$S_{H\text{átlag}} = \frac{S_{H0} + S_{H1} + S_{H2}}{3} \quad (5)$$

illetve

$$S_{K\text{átlag}} = \frac{S_{KE} + S_{KH}}{2} \quad (6)$$

Mivel az egyes anyagok között a viszkozitás és a fo-  
lyási tulajdonságok tekintetében igen nagy különbségek  
mutakoztak, különböző nyomással fröccsöntöttük azo-  
kat (3. táblázat), a többi paramétert változtatlanul hagy-  
tuk (4. táblázat). Az utónyomásokat a fröccsnyomás 75–  
80%-ára állítottuk be.

3. táblázat.

Az egyes anyagfajtákhoz alkalmazott nyomásértékek

Anyagtípus	Fröccsnyomás, MPa	Utónyomás, MPa
N 30	50	40
N 45	65	50
N 60	80	60
T 30	50	40
T 45	65	50
T 60	80	60
PA 6	40	30
GF	65	50

4. táblázat.

A fröccsöntő gépen beállított főbb paraméterek

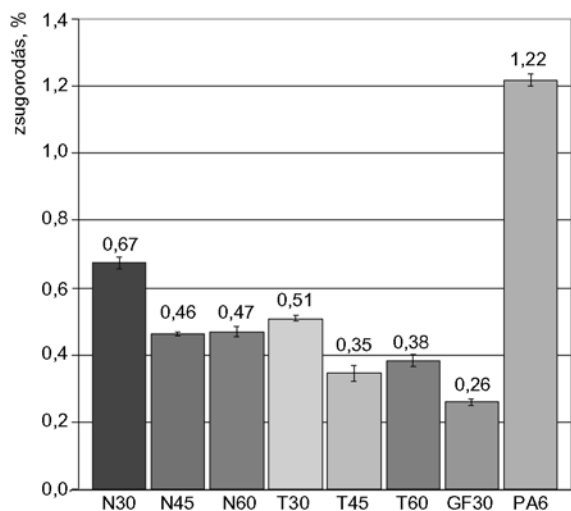
Adag térfogat	47 cm <sup>3</sup>
Utónyomás ideje	20 s
Ömledékhőmérséklet	260°C
Szerszámhőmérséklet	60°C
Hűtési idő	20 s

A 6. és 7. ábrán az átlagos hossz- és keresztirányú  
zsugorodást ( $S_{H\text{átlag}}$  és  $S_{K\text{átlag}}$ ) hasonlítottuk össze.

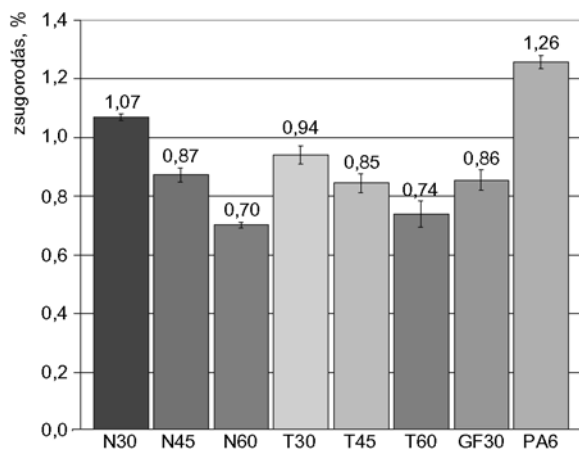
Mind a bazalt-, mind az üveg erősítőszálak jelentős  
mértékben csökkentik a zsugorodást az erősítetlen poli-  
amidhoz képest. Általában minél nagyobb a száltartar-  
alom, annál kisebb a zsugorodás, ez alól kivétel a 60% ba-  
zaltszálás anyag, amelynek hosszirányú zsugorodása  
nagyon megközelíti a 45%-osét. Ennek alapvetően két  
oka lehet: a 60%-os rendszer „túltelített”, ami károsan  
befolyásolja a mag-héj szerkezet kialakulását, ezen ke-  
resztül az orientációt, illetve a szál-szál kölcsönhatások  
miatt olyan fokú a száltöredezés, hogy a legrövidebb  
szálak inkább töltőanyagként viselkednek.

A 30% üvegszálás PA zsugorodása a 45% bazaltszál  
tartalmazóhoz áll közelebb, nem pedig a 30% bazaltszá-  
lához. A hasonlóság a hosszirányú zsugorodásnál is  
egyértelmű, ugyanakkor keresztirányban szinte meg-  
egyeznek a 45% bazaltszálás és az üvegszálás PA zsu-  
gorodása. Ez összhangban van az ásványi töltőanyagokkal  
kevert hibrid kompozitok viselkedésével: az ilyen töltő-  
anyagok egyenletesebbé teszik a zsugorodást, de nem  
csökkentik olyan mértékben, mint az erősítőszálak.

A szálerősített fröccsöntött termékeknél a szálak ori-



6. ábra. A vizsgált anyagok átlagos hosszirányú zsugorodása ( $S_{Hátlag}$ )



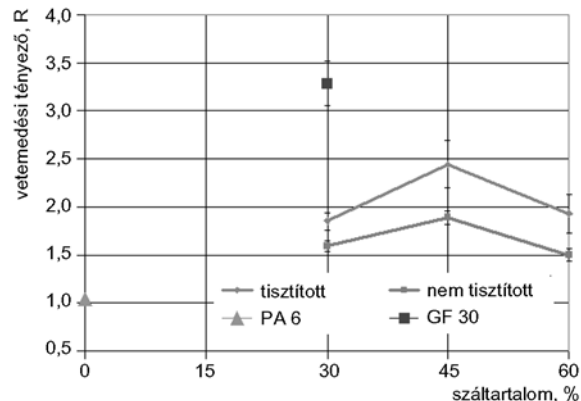
7. ábra. A vizsgált anyagok átlagos keresztirányú zsugorodása ( $S_{Kátlag}$ )

entációja miatt a keresztirányú zsugorodás nagyobb, mint a hosszirányú. Minél nagyobb a kettő különbsége, annál nagyobb a valószínűsége annak, hogy az egyenlőtlen zsugorodás miatt a termék vetemedni fog, vagy belső feszültségek jönnek létre benne. Az anyagok vetemedési hajlamának összehasonlítása érdekében bevezettük a vetemedési tényezőt ( $R$ ), ami az átlagos kereszt- és hosszirányú zsugorodás hányadosa:

$$R = \frac{S_{Kátlag}}{S_{Hátlag}} \quad (7)$$

Ha  $R=1$ , akkor a termék izotrop módon zsugorodik. A vetemedési tényezőt a száltartalom függvényében ábráztuk a 8. ábrán. A diagramon az erősítetlen és az üvegszálal poliamidot csupán egy-egy pont jelképezi. A zsugorodás és az  $R$  értékeket az 5. táblázatban foglaltuk össze.

A vetemedési tényező nem nő a száltartalommal, ha-



8. ábra. A vizsgált anyagok vetemedési tényezője

### 5. táblázat.

#### A zsugorodások és a vetemedési tényező

Anyag típusa	$S_{Hátlag}$ , %	$S_{Kátlag}$ , %	R
T 30	0,51±0,01	0,94±0,03	1,85±0,09
T 45	0,35±0,02	0,85±0,03	2,44±0,25
T 60	0,38±0,02	0,74±0,04	1,93±0,2
N 30	0,67±0,02	1,07±0,01	1,59±0,05
N 45	0,46±0,01	0,87±0,02	1,89±0,07
N 60	0,47±0,02	0,70±0,01	1,50±0,07
PA 6	1,22±0,02	1,26±0,02	1,03±0,03
GF	0,26±0,01	0,86±0,03	3,29±0,23

nem 45%-nál elérve maximumát, 60%-nál ismét kisebb értéket vesz fel. Ez azt jelenti, hogy a 30 és a 60%-os érték között megtörik a hossz- és keresztirányú zsugorodás közötti különbségnek a tapasztalatok szerint folyamatosan növekvő tendenciája. Ennek oka a 60%-os rendszer már említett túltelítettsége. A nem tisztított bazaltszállal erősített PA vetemedési hajlama kisebb, mint a tisztítotté, a nagyobb mennyiségű göbölcsnek (azaz töltőanyag-nak) köszönhetően. Az erősítetlen PA vetemedési tényezője közelítőleg 1. Az üvegszálal poliamid  $R$  tényezője ezzel szemben nagyon nagy, ami annak köszönhető, hogy kizárólag szálakkal van töltve, így azok zavartalanul fejthetik ki orientáló hatásukat.

Zsugorodás szempontjából a 60% bazaltszálal kompozit a legjobb, mivel kismértékű és egyenes a zsugorodása, azonban számos probléma merült fel a felületi minőséggel kapcsolatban a nagy száltartalom következtében. A próbatetek felülete gyakran egyenetlen, érdes, különösen a gáttól távolabb eső részen. Emellett fehér vagy szürke színű, a fa erezetére emlékeztető fátyolosság is megfigyelhető. A 60%-os bazaltszálal erősítésű kompozit túltelített, gyakorlati felhasználásra alkalmatlan. A 30 és 45%-os bazaltszálal kompozitok közül egyértelműen a 45%-os jobb, mivel kereszt- és hosszirányú zsugorodása kisebb. A 45%-os vetemedési tényezője nagyobb, de a különbség nem jelentős. A bazaltszálal ki-mosása a zsugorodásra minden esetben kedvező hatást

gyakorol, így összességében megállapítható, hogy a bazaltszálás kompozitok közül zsugorodás szempontjából a T 45 a legjobb. Az üvegszálás kompozittal szemben a bazaltszál előnye az egyenletesebb zsugorodás, azaz a kisebb vetemedési tényező. A bazaltszálás anyagok közül a T 45 jelű zsugorodása áll legközelebb az üvegszálashoz.

## 5. Összefoglalás

Bazaltszállal erősített fröccsöntött PA 6-ot és egy, az iparban alkalmazott üvegszálás kompozitot hasonlítottunk össze. A bazaltszálak gyártási technológiából fakadó sajátos tulajdonsága, hogy a szálak végén apró gömbök, ún. göböcsök keletkeznek, amelyek egy része a feldolgozás során letörnek a szálvégekről. A göböcsök töltőanyagként viselkedve a kompozit zsugorodását és mechanikai tulajdonságait is befolyásolják. Három különböző száltartalmú (30, 45 és 60 tömeg%), kétféle (mossott és nyers) bazaltszál felhasználásával készült hatféle alapanyagot vizsgáltunk. Megállapítottuk, hogy a bazaltszál az üvegszálhoz hasonlóan jelentősen csökkenti a zsugorodást, ugyanakkor a vetemedési hajlamot az üvegszálnál sokkal hatékonyabban mérsékli.

*Köszönetünket fejezzük ki a fröccsöntő gépet rendelkezésre bocsátó ARBURG HUNGÁRIA KFT-nek, a próbatest szerszámot készítő ANTON KFT-nek, valamint az alapanyagokat biztosító TOPLAN KFT-nek és a BAYER cégnek.*

## Irodalomjegyzék

- [1] Militky, J.; Kovacic, V.: Ultimate Mechanical Properties of Basalt Filaments, *Textile Res. J.*, 4, 225–229 (1996).
- [2] Czigány, T.; Marosi, Gy.; Macskási, L.; Holzbauer, T.; Somos, B.; Kriskóné Szabó, E.; Zubonyai, F.: Bazaltszál-erősítésű polimer kompozit szerkezeti anyag kifejlesztése, *Műanyag és Gumi*, 5, 139–144 (2003).
- [3] Malloy, R. A.: *Plastic Part Design for Injection Molding*, Carl Hanser Verlag, München, 1994.
- [4] Chang, T.: Shrinkage behaviour and optimization of injection molded parts studied by the Taguchi method, *Polymer Engineering and Science*, 41, 703–710 (2001).
- [5] Relling, M.; Belina K.; McCrindle, R.: Fröccsöntési paraméterek hatása izotaktikus polipropilén hosszú idejű zsugorodására, *Műanyag és Gumi*, 3, 71–73 (2003).
- [6] Akay, M.; Ozden, S.: Prediction of process-induced warpage in injection molded thermoplastics, *Polymer Engineering and Science*, 36, 1839–1846 (1996).