

## Hogyan javítsuk a fröccsöntés gyártási képességét?

A fröccsöntési folyamat gyártóképességének javítása fontos a jó minőségű termék előállításának biztosításához. A kulcstényező a szerszámüreg tökéletes kitöltése és az optimális mennyiségű ömledék betáplálása az utónyomás végéig. A termékminőséget több tényező befolyásolja: a termék helyes kialakítása, az alapanyag kiválasztása, a fröccsszerszám tervezése és elkészítése, a megfelelő méretű és képességű fröccsöntőgép használata és végül az optimálishoz közeli fröccsparaméterek beállítása. E tényezők természetesen egymással is kölcsönhatásban állnak.

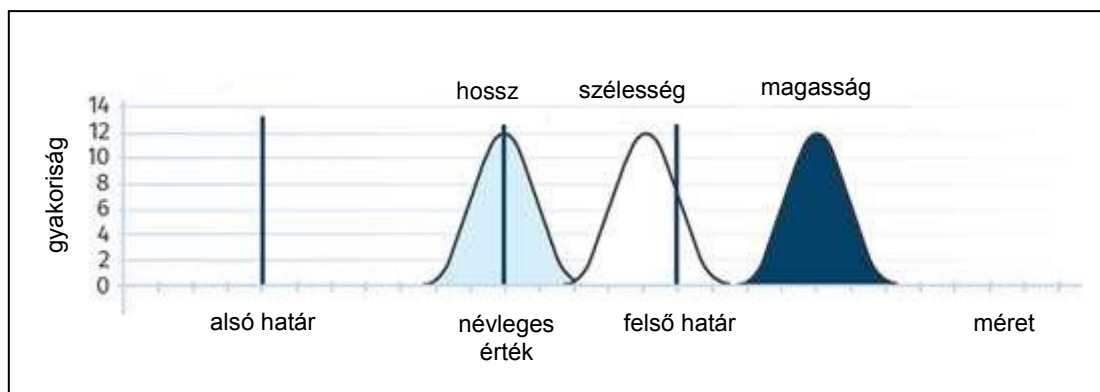
*Tárgyszavak: műanyag- feldolgozás; fröccsöntés; PP; ABS; PTV diagram.*

Egy fröccsöntési folyamat gyártási képességét a ciklusonként előállított darab méreteinek ingadozása határozza meg. Nagy gyártási képesség eléréséhez az szükséges, hogy az anyag zsugorodása minden ciklusnál azonos mértékű legyen. E tekintetben a *nyomás-hőmérséklet-térfogat (PTV) diagram* nagyon hasznos információkat szolgáltat.

### A PTV diagram és a termékméretetek összefüggései

Minden gyártási folyamatnál véletlen ingadozások lépnek fel, melyek hatását a termék tulajdonságai tükrözik. Ha például azt tapasztaljuk, hogy általában 20 perc kell a fröccsöntési folyamat beindításához, ez csak az átlagos időigényt jelenti, ami napról napra változhat, mondjuk 17–23 perc között. Az átlag körül mindig az értékek szóródását tapasztaljuk. E szóródás általában az ún. normál eloszlást követi, amely egy csúcserték (az átlag) mindkét oldalán szimmetrikusan csökkenő, harang alakot mutat.

Vegyük példaként azt az esetet, amikor egy olyan dobozt fröccsöntünk, amelynek minden oldala, vagyis hosszúsága, szélessége és magassága azonos, 13,0175 mm (5,125”) névleges méretű. A megengedhető méret toleranciaértéke legyen  $\pm 0,01524$  mm, vagyis az alsó tűréshatár 13,0022 mm, a felső pedig 13,0327 mm. A gyártószerszám próbájaként állítsunk elő 30 dobozt, amelyek mindegyikének megmérjük mindhárom méretét. A hosszúság átlaga 13,0175 mm, vagyis éppen a névleges érték lett, a szélességé 13,0302 mm, úgy, hogy a dobozok egy részénél ez meghaladta a felső toleranciahatárt. A magasság értékek átlaga viszont 13,0429 mm, úgy, hogy valamennyi doboznál értékük meghaladta a felső toleranciahatárt. Valamennyi méretnél az értékek egy 0,0102 mm tartományon belül ingadoztak (1. ábra).



1. ábra A 30 db 13,0175 mm élhosszúságú fröccsöntött doboz méreteinek eloszlása a toleranciahatárokhoz viszonyítva

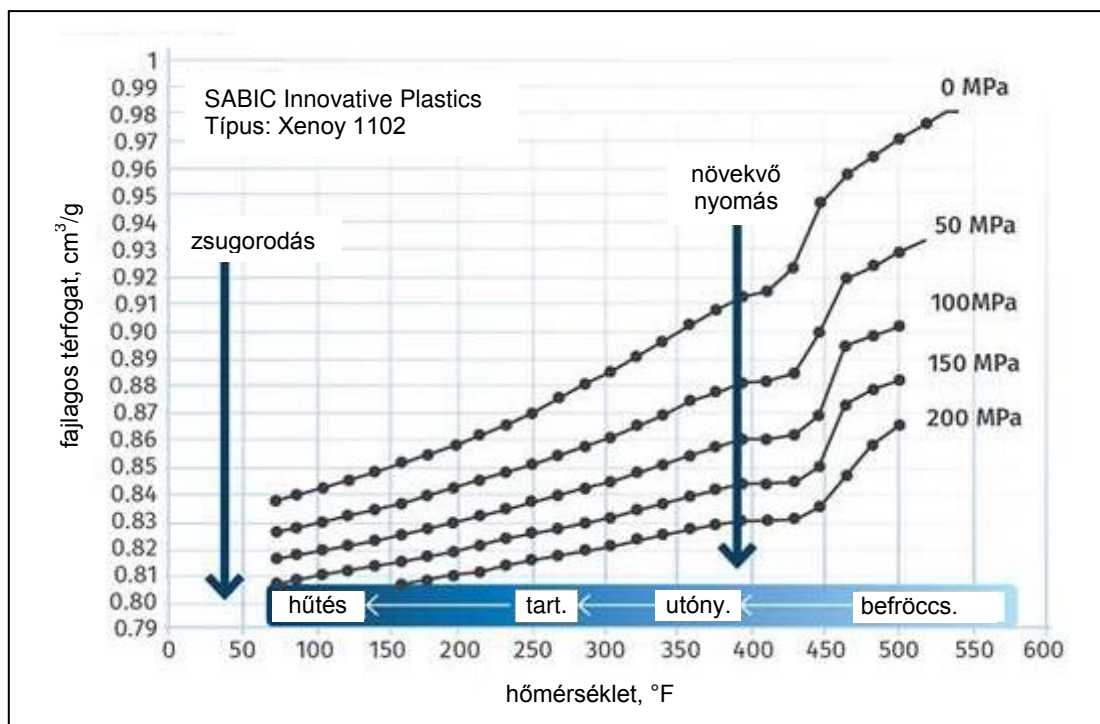
A gyártási képességet négy mutatószámmal szokás jellemezni: Pp, Ppk, Cp és Cpk. Ezek közül a Pp és a Ppk kisebb minta mennyiségre (pl. a 30 db-os kezdeti gyártás) vonatkoznak. A Cp és a Cpk értékek a gyártási folyamat hosszú időn át mutatott képességét jellemzi.

A Pp és a Cp a gyártási folyamat azon képességét jelzi, hogy ha a darabok méreteinek átlaga a névleges értéken van, mekkora hányaduk esik a toleranciahatárok közé. Tehát, ha a példában szereplő 30 darab méretszórása kisebb, mint a toleranciahatárok távolsága és az átlaguk megegyezik a névleges értékkel, akkor mind a 30 db megfelelő lesz. Példánkban a méretszórás értékek mindhárom méretnél egy 0,0102 mm tartományon belül ingadoztak, ami kisebb, mint a toleranciahatárok 0,0305 mm szélessége. Itt tehát a számított Pp érték mindegyik méretre magas lesz. Általában a  $Pp \geq 1,33$  Pp értékek a kívánatosak.

A Ppk és Cpk a folyamat azon képességét jelzik, hogy az a szerszám és az eljárás adott állapotában mennyire képes a sorozatgyártásnál megfelelő darabokat előállítani. A példánkban a doboz magasságának átlagos értéke 13,0429 mm, vagyis nagyobb, mint a felső toleranciahatár, ráadásul mind a 30 darabnál ez a helyzet. Ilyen esetben a Ppk értéke nagyon alacsony, mert ugyan a szórás elegendően kicsi, de az összes érték kívül esik az elfogadható tartományon, vagyis mindegyik doboz selejtnek minősül. A Ppk esetében is a  $Ppk \geq 1,33$  Pp értékek a kívánatosak. Példánknál a szórás csökkentésére irányuló intézkedések sürgősen szükségesek, de az átlag magasságot meg kell változtatni. Ezt a fröccsszerszám méreteinek módosításával érhetjük el (vagy esetleg a specifikáció módosításával).

Egy robotizált gyártási folyamatot a szakirodalomban megtalálható „Tudományos fröccsöntés” és a kísérlettervezési módszerek alkalmazásával állíthatunk be.

A 2. ábra egy tipikus PTV diagramot szemléltet. Látható, hogy a hőmérséklet emelkedésével a fajtérfogat nő (az anyag kitágul), a nyomás növekedésével viszont csökken (az ömledék összenyomódik). A fröccsöntési ciklus folyamán ezek a hatások különböző kombinációi érvényesülnek, ami a PTV diagramon is nyomon követhető.



2. ábra A nyomás-térfogat-hőmérséklet viszonyokat mutató tipikus PTV diagram (Zoller módszer)

A plasztikálás során a magas hőmérsékletű ömledék a torlónyomás hatására kissé összenyomódik, majd a befröccsöntésnél az ömledék nagy nyomással áramlik be a hideg szerszámüregbe. Ezt követően hűlni kezd és az ennek következtében lezajló összehúzódást az utónyomás során betáplált anyagmennyiséggel kompenzáljuk. A fröccsdarab teljes lehűlésekor állapíthatjuk meg a zsugorodás mértékét, ami (a szerszámüreg méretein túl) alapvetően meghatározza a darab méreteit. A zsugorodás jelensége is jól megfigyelhető a PTV diagramon.

A gyártási képesség szoros összefüggést mutat a darabok méreteinek változásaival, mégpedig a sorozatgyártás teljes időtartama során. Ahhoz, hogy magas szintű gyártási képességet érjünk el, az anyag zsugorodásának azonosnak kell lennie minden ciklus esetében, vagyis a PTV diagram hasonló lefutása szükséges a szerszámüregben.

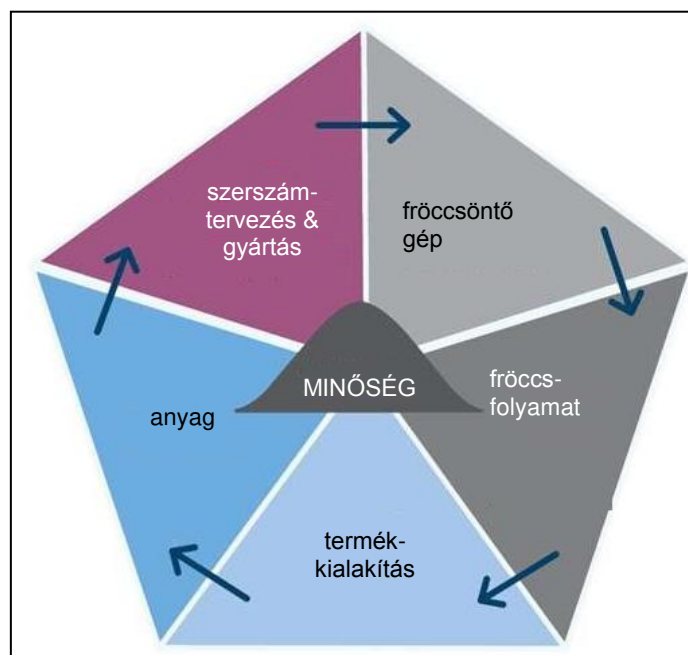
### A gyártási képesség öt alapvető támpillére

A PTV diagram vizsgálatából kiderült, hogy ha megfelelően nagy nyomást alkalmazunk a szerszámüreg megtöltése folyamán, akkor kisebb lesz a zsugorodás változása és így nagyobb gyártási képességet ( $C_p$ ) és sorozatgyártási képességet ( $C_{pk}$ ) eredményez. A cél az optimális súlyú fröccsdarabok előállítása.

Az optimális darabsúly elérése összefüggésben van a szerszámüreg kitöltésével és az utónyomás során bepakolt anyag mennyiségével, ezért az ezeket befolyásoló ösz-

szes tényezőt figyelembe kell vennünk. Szinté fontos, hogy a kidobásnál milyen hőmérsékletű a darab, mivel ez befolyásolja méretstabilitását.

Öt alapvetően fontos tényező, a fröccsöntés öt támpillére befolyásolja döntően a fröccstermék minőségét (3. ábra). Ezek mindegyikét figyelemmel kell kísérni és optimalizálni a gyártás megkezdése előtt. *A  $C_p$  és a  $C_{pk}$  értéke azt jelzi, mennyire képes a teljes folyamat jó minőségű darabokat gyártani. Minél magasabb értékeket kapunk, annál inkább alkalmas a gyártási folyamat megfelelő minőségű darabokat előállítani, azaz a selejt részarányát alacsony szinten tartani.* A fröccsparaméterek helyes beállítása csak az utolsó a támpillérek sorában, ezért gyakran a technológusra hárul a magas minőség ( $C_{pk}$ ) biztosításának teljes terhe, noha az eredményes gyártáshoz mind az öt támpillér átgondolása és optimalizálása szükséges.



3. ábra A jó termékminőség és reprodukálhatóság elérésének öt támpillére

A kitöltési folyamatban a szerszámüreg feltöltése zajlik le. Az utónyomás (bepakolás) időtartama alatt további műanyagömléket juttatunk be a szerszámüregbe, ez kompenzálja a kitöltés után azonnal beinduló zsugorodás hatását. A feladat az, hogy minél több anyagot juttassunk be, mielőtt az ömladék annyira lehül, hogy megszilárdulva ellehetetleníti további beáramlást. Az ömladék megszilárdulási hőmérséklete felett minél hosszabb ideig és minél nagyobb nyomáson áramlik be az anyag, annál nagyobb lesz a fröccsdarab súlya.

A nagyobb darabsúlyok elérésekor a szerszámüregbe jutott molekulák stabilizálódnak, és az egyes ciklusokban kapott darabsúlyok szórása csökken. A kisebb szórás javítja a gyártási képességet. A cél tehát az, hogy minél több anyagot juttassunk be a szerszámüregbe, de elkerüljük a túltöltést.

A fröccsöntési folyamat öt támpillérének van a legfontosabb szerepe a jó termék minőség biztosításánál, de ezeken felül még számos tényező befolyása érvényesül. A technológus feladata, hogy megkeresse azokat a beállításokat, amelyeknél optimális mennyiségű anyagot tud bejuttatni a szerszámüregbe. Az öt támpillér a következő:

#### *Az alkatrész kialakítása*

A legfontosabb szabályok egyike, hogy olyan folyási úthosszakat alkalmazzunk, amelyeknél az anyag megdermedése előtt nemcsak elérni képes a legtávolabb eső szerszámfalat, de folyékony marad az utónyomás ideje alatt történő további anyagbetáplálás ideje alatt is. Ezt az adott darab, különböző anyagokra eltérő nagyságú, hossz/vastagság (L/T) mutatószámával jellemezhetjük. Kis falvastagságok esetén általában nagyon nagy fröccsnyomást kell használnunk a darab kitöltéséhez, és gyakori probléma a kitöltési hiányosság. Az utónyomás során bekövetkező további anyagbetáplálás nem lesz konzisztens, ami a fajtérfogat változásait eredményezi. Ennek eredménye a darabok méreteinek ingadozása lesz, és ezáltal romlik a gyártási képesség értéke is. Fontos irányelv, hogy kerüljük el azt, hogy egy vagy több, a termék minősége szempontjából fontos méret a folyási út végén helyezkedjen el, ha hosszú folyási utat alkalmazunk. Ugyancsak problematikus, ha a beömlést a nagyobb falvastagságú részeket is tartalmazó darab egy vékony falú szakaszán helyezzük el.

#### *Alapanyag*

Ahogy az ömledék kitölti a szerszámüreget, azonnal hűlni kezd és térfogata csökken. E zsugorodásnak ciklusonként konzisztensnek kell maradnia, ha jó gyártási képességet akarunk elérni. Természetesen a nagyobb zsugorodást mutató anyagok nagyobb változásokat szenvednek, mint a kisebb zsugorodásúak. Például a polipropilén (PP) nagyobb ciklusonkénti variációt fog mutatni, mint az ABS, mivel a PP zsugorodása 1,5–2% vagy akár még nagyobb érték is lehet, míg az ABS-é 0,7–1,2%. Az adalék- és töltőanyagok szintén befolyásolhatják, általában csökkentik a zsugorodást. Ezért az alapanyag kiválasztása befolyásolja a gyártási képességet.

Jobb gyártási képesség eléréséhez válasszunk kis zsugorodású alapanyagot. Fontos, hogy figyelembe vegyünk a fröccsdarab nagyságát is. Minél nagyobb méretű a termék, annál nagyobb lesz a zsugorodás abszolút értéke. Ha egy anyag 1%-ot zsugorodik, akkor egy 25 mm-es darabnál a zsugorodás értéke 0,25 mm lesz, de egy 250 mm-es termékénél 2,5 mm. Ezért a 250 mm-es darabnál a méreteingadozás számértéke nagyobb lesz, mint a 25 mm-esnél. Ezért viszonylag könnyű magas  $C_p$  értékeket elérni a nagyon kis méretű fröccstermékeknél (mikrofröccsöntés).

#### *Szerszámkiképzés és -gyártás*

Itt a gyártási képesség szempontjából fontos tényezők közé tartozik a beömlés(ek) elhelyezése és típusa, a szellőztetés mértéke és a hűtőkörök kialakítása. Ne feledjük, hogy az L/T arány kritikus hatású a darab jó kitöltésére. A beömlést úgy kell elhelyezni, hogy az L/T ne közelítse meg az adott anyagra érvényes kritikus értéket, különben nagy ingadozásokra számíthatunk. Bizonyos esetekben a beömlés elhelyezé-

sét a darab esztétikai megjelenése, és/vagy a szerszám előállításának költsége határozza meg, de ez gyakran gyengébb gyártási képességet eredményez. A végfelhasználóval ezt a kérdést tisztázni kell.

A szerszám szellőzőrései arra szolgálnak, hogy a műanyagömladék által a szerszámüregből kiszorított levegő a környezetbe juthasson. Ha ezek száma, elhelyezkedése és/vagy méretezésük nem megfelelő, ez akadályozhatja a szerszámüreg kitöltését. Ennek következtében légzsákok, lunkerek, hiányos kitöltés és beégés léphet fel.

A terméknek a ciklus hűtési szakaszában eléggé le kell hűlnie ahhoz, hogy biztonságosan dobhassuk ki a szerszámból. A kidobási hőmérséklet alatt az anyag már megfelelően nagy mechanikai szilárdsággal rendelkezik és így nem deformálódik. De a polimer molekulák még elég sok energiával rendelkeznek ahhoz, hogy mozogjanak és igyekezzenek elérni a (termodinamikai) egyensúly közeli állapotot, mely folyamat az úgynevezett utózsugorodáshoz vezet. A darab egyenletes hűtésének (gondoljunk a vetemedésre) és a hatékony ciklusidők elérése érdekében hatékony szerszámhűtést kell kialakítanunk. Ezért a hűtőkörök helyes tervezése kritikus tényező.

A hűtőkör átmérők, távolságuk a szerszámüreg falától és egymástól, olyan legyen, hogy amikor a darabot kidobjuk, ne maradjanak forró pontok, amelyek inkonzisztens zsugorodást és vetemedést okoznak, lerontva az egész fröccsöntési folyamat stabilitását. A hűtési idő függ a szerszámüregből történő hőelvonás sebességétől. A rövid ciklusidő eléréséhez a gyártók igyekeznek lerövidíteni a hűtési időt. Ezáltal megfelelő méretű termékeket kaphatnak, de a méretek szórása jóval nagyobb lehet, ami csökkenti a gyártási képességet.

### *A fröccsöntő gép*

A műanyagömladék nem degradálódhat és homogénnek kell lennie. Ennek elérésében a fröccshenger és a csiga fontos szerepet játszik. Olyan csigahengert használjunk, hogy abban az anyag elég hosszú ideig tartózkodjon ahhoz, hogy teljes mértékben megolvadjon, de még ne degradálódjon. A hengertérfogat használatának százalékban kifejezett alsó értéke 15–20% körüli, felső értéke pedig 70–80% legyen. Minél kisebb ez az érték, a hosszú tartózkodási idő következtében annál nagyobb a degradáció veszélye, különösen a hőérzékeny polimerek és a hosszú ciklusidők esetében. A csiga forgásából származó nyírás is célszerű minimalizálni. Minél magasabb a nyírás, annál inkább kell homogenitási problémákra számítani. E tényezők befolyásolják az ömladék konzisztens voltát és ezen keresztül a gyártási képességet. Tehát a csigahenger méretének kiválasztása fontos. Ugyanakkor a fröccsöntési folyamatot nem határolhatja be az adott csigahengerrel elérhető legnagyobb nyomás értéke.

### *A fröccsparaméterek beállítása*

Ahogy azt az előzőekben kifejtettük, az ömladék optimális mennyiségének bejuttatása a szerszámüregbe adja a legjobb gyártási képességet. A fenti négy támpillér helyes alkalmazása ezt segíti elő. A gyártástechnológusnak nem szabad veszélyeztetni a termék méreteit, ha jó gyártási képességet akar elérni. Más szóval, nem elegendő

mennyiségű ömledék betáplálás esetén is esetleg megfelelő méretű terméket kaphatunk, de a Cp értéke nem lesz elég magas.

## A támpillérek összekapcsolása

Az öt támpillérhez kapcsolódó fenti okok mellett számos más tényező játszik még szerepet a termék minőségének alakításában. Ilyen például a feldolgozási folyamatok: ez főleg a termék és a szerszám kialakításának, illetve a szerszám elkészítésének függvénye. Minél szélesebb ez a technológiai ablak, annál robosztusabb a folyamat és annál nagyobb a gyártási képesség. A feldolgozási ablak szűkülésének vezető oka a sorjaképződés az utónyomás során, amikor az anyag betápláláshoz alkalmazott nyomás meghaladja az optimumhoz szükséges mértéket. Ez azt jelezheti, hogy a szerszám zárása nem kielégítő, vagy pedig azt, hogy a darab egy vagy több része túl vastag falú, ami túl nagy nyomást igényel. Ha a gép záróereje nem elég nagy, sorja fog képződni, mielőtt az optimális mennyiségű anyagot betáplálhattuk volna a szerszámüregbe. Ilyenkor a technológus visszavesz az utónyomásból, ami ingadozó termékminőséget eredményez.

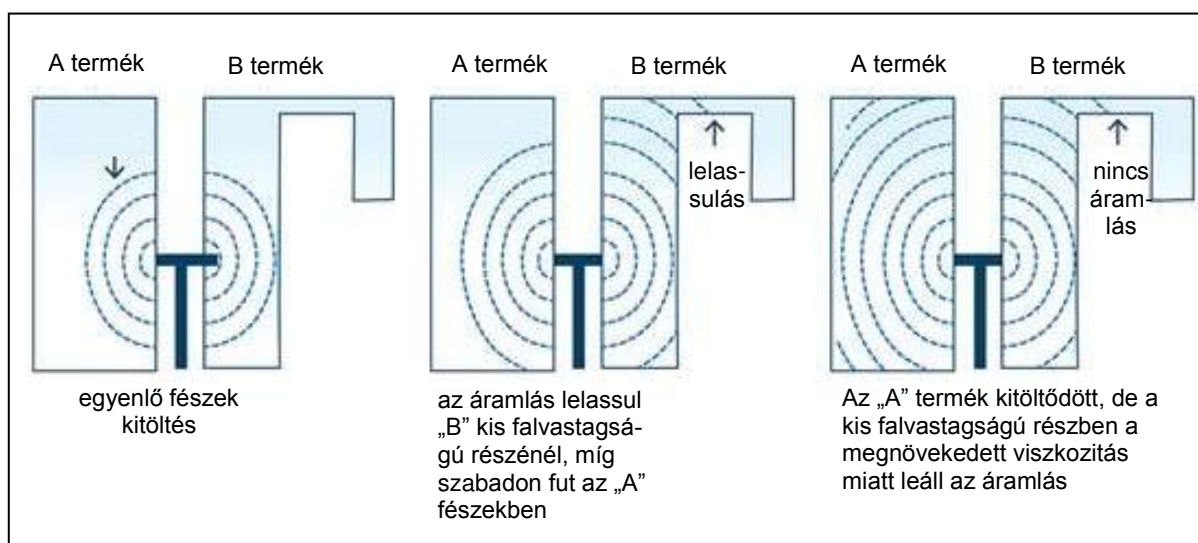
Ha nyomás által behatárolt folyamattal állunk szemben, az lehet a termék, vagy a szerszám kialakításának, vagy pedig a nem megfelelő fröccsgép használatának az eredménye. Ilyen esetben nem lehet megfelelően kitölteni a szerszámüregét, illetve az utónyomás során elegendő plusz anyagot betáplálni. Egy alacsony L/T határral rendelkező alapanyag használata is nyomás által behatárolt folyamathoz vezethet. A feldolgozók általában azt ajánlják, hogy kis viszkozitású anyagot használjunk, mivel ez kisebb nyomásoknál is segíti a darab kitöltését. Ha a termék kialakításánál kis falvastagságú részeket is használunk, ez is a nagyobb nyomásigény irányába hat, vagyis nyomás által korlátozott folyamatot eredményez. *A beömlést ott kell elhelyezni, ahol az anyag könnyebben jut el a szerszámüreg végeibe, teljes kitöltést eredményezve.* Néha a vékony falú termékek 2000 bar ömledéknomás használatát igénylik, és ezért nagy nyomásra képes fröccsgépet kell választanunk.

A fentiekén kívül még számos egyéb tényező is befolyásolhatja a termék minőségét és a gyártási képességet. Minden esetben fontos a holisztikus (a rendszerre vagy annak egy vetületére kiterjedő) megközelítési mód alkalmazása, a rutin módszerek fenntartások nélküli használatának elkerülése. További kérdés a többfészkes szerszámok esetében a különböző fészkek gyártási képességének vizsgálata.

## A „bizonytalankodási effektus”

Ha a többfészkes szerszámban eltérő geometriájú alkatrészeket fröccsöntünk, az egyes fészkek kitöltése általában nem lesz egyenletes. Ennek sematikus bemutatását a 4. ábra szolgálja. Itt az „A” egy termék egyenletes falvastagságú téglatest, a „B” termék azonban egy vékony falú részt is tartalmaz. Mindkettő egy-egy beömléssel rendelkezik. A befröccsöntésnél kezdetben mindkét fészket egyenlő mértékben, akadálytalanul töltődik fel. Ahogyan azonban az ömledék jobban kitölti a fészkeket, eléri a „B”

termék vékony falú szakaszát, ahol az áramlás egyenletes folytatódásához nagyobb nyomásra lenne szükség. Ugyanakkor az egyenletesen nagy falvastagságú „A” terméknel nincs szükség nyomásnövekedésre, ezért az ömledék nagyobb része erre fog áramlani. Így az áramlási front a „B” termék vékony falú részénél lelassul, ezért viszkozitása megnő, le is hűl, és így viszkozitása tovább nő, ez pedig további lassulást okoz. Amikor az „A” termék fészke teljesen kitöltődött, az ömledék áramlása újra a „B” termék fészke felé irányul, azonban így már kétségessé válik, hogy (a viszkozitástól függően) képes lesz-e teljesen kitölteni azt. Tehát az „A” termék szerszámfészke- nek kitöltése egyenletes áramlás mellett viszonylag gyorsan teljesen kitöltődik, míg a „B” termék esetében a kezdeti egyenletes áramlási profil a vékony falú rész elérésekor lelassul, és/vagy teljesen leáll, majd újra indul. Ezt a jelenséget nevezzük bizonytalan- kodási effektusnak.



4. ábra A „bizonytalan-  
kodási effektus” sematikus  
ábrázolása

A bizonytalan-  
kodási effektus károsan befolyásolja a termék megjelenését, folyási nyomokat okoz, a vastag falú részeken beszívódásokat hoz létre, sőt mérettartási problémákat is okozhat. Vagyis rontja a gyártási képességet. A 4. ábrán bemutatott termékek esetében egy 30 ciklusos kísérlet során lemérték a darabok és az elosztó csatorna súlyát. Az elosztó csatorna súlyingadozása 0,008 g volt, az „A” terméké 0,113 g, a „B” terméké 0,114 g. Ha azonban az „A” és „B” termékek súlyát ciklusonként együttesen mérték le, együttes súlyuk ingadozása 0,086 g-ra csökkent. Ez azt sugallja, hogy a fröccsöntő gép minden ciklusban következetesen azonos mennyiségű anyagot juttatott be a szerszámba. Azonban, mivel az egyes fészek nem voltak azonos geometriájúak, feltehetően a bizonytalan-  
kodási effektus lépett fel az áramlásnál, eltérő kitöltési mintázatot eredményezve. Azt lehetett megfigyelni, hogy nem szisztematikusan az egyik fészek töltődött fel először, hanem ez véletlenszerűen oszlott meg. A gép anyagpárnája

a kísérlet során állandó maradt. Azt is megfigyelhettük, hogy ha az utónyomás értékét növeltük, akkor a súlyingadozás mértéke csökkent.

*A gyártási képesség mérése számos iparágban standard elvárás.* A fenti adatokból nyilvánvaló, hogy hiába rendelkezünk a világ legjobb fröccsöntő gépével, a megfelelő folyamat kialakítási eljárás alkalmazása nélkül gyenge gyártási képességet fogunk tapasztalni. Itt az optimális szerszámkitöltés szükségességére mutattunk rá, ami elengedhetetlen a konzisztens (belső ellentmondásoktól mentes) gyártás biztosításához. Ne feledkezzünk meg azonban arról sem, hogy az utónyomás végén szükség van beömlés lepecsételődére is.

Összeállította: Dr. Füzes László

Kulkarni S.: Improving Molding Process Capability: Understanding the PTV Graph, Part 1 = [www.ptonline.com](http://www.ptonline.com), 2018. May.

Kulkarni S.: Improving Molding Process Capability: The Role of the Five Essential Pillars, Part 2 = [www.ptonline.com](http://www.ptonline.com), 2018. May.

Kulkarni S.: Process Capability and the 'Hesitation Effect', Part 3. = [www.ptonline.com](http://www.ptonline.com), 2019. January.