Hatékony energiafelhasználás = kisebb darabköltség

A fröccsöntő üzemekben ma a fő törekvés az energia minél hatékonyabb felhasználása és a termelékenység növelése, azaz az egy darabra jutó gyártási költség csökkentése. Ennek alapjait a gyártás-előkészítéskor kell megteremteni, de a futó gyártáson is mindig lehet javítani. A gépgyártók és az alapanyaggyártók igyekeznek a műanyag-feldolgozók igényeit e tekintetben is kielégíteni.

Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; fröccsöntés; energiahatékonyság; darabköltség; gyártás-előkészítés; folyamatoptimálás; alapanyag-választás; ciklusidő.

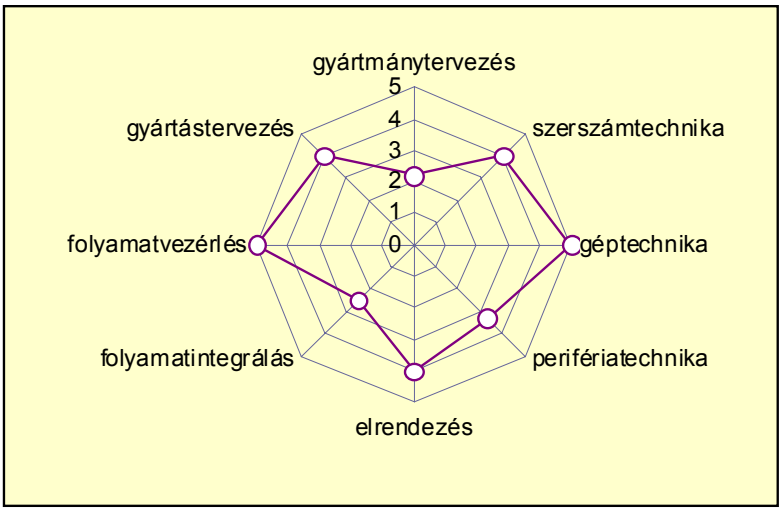
A műanyag-feldolgozó üzemek elmúlt időszakban legfontosabb célja az energia hatékonyabb felhasználása, mert ezáltal tudnak olcsóbban termelni és helytállni az élesedő gazdasági versenyben. A gépgyártók és az alapanyag-ellátók sokféle megoldást kínálnak ennek a célnak az elérésére, és az új beruházásoknál a feldolgozók élnek is a felajánlott lehetőségekkel. A feldolgozóüzemben azonban sokszor nem gondolnak arra, hogy apró lépésekkel, nagyobb beruházás nélkül is lehet időt, energiát és pénzt megtakarítani, és hogy a sok kicsi sokra megy. A következőkben bemutatjuk, hogy *hogyan lehet már a gyártás-előkészítéskor „betervezni" az energia jobb hatásfokú felhasználását, és hogyan lehet gyártás közben nagyobb odafigyeléssel takarékosabban dolgozni.* Bemutatjuk azt is, hogy milyen lehetőségeket rejt magában a jó anyagválasztás.

Optimálás a gyártás-előkészítésben

A műanyag-feldolgozás (jelen esetben a fröccsöntés) előkészítésének teljes értékteremtő láncolatában – amely a gyártmány tervezésével kezdődik, a szerszámtechnika, a géptechnika, az alapanyagok, a kisegítő eszközök meghatározásával és kiválasztásával, azok elrendezésével folytatódik, majd a gyártási folyamat egyes lépéseinek lehetséges integrálásával, a folyamatvezérlés megoldásával és a gyártástervezéssel fejeződik be – minden egyes láncszemben az optimális megoldást kell keresni. A gyártás-előkészítés egyes lépéseinek kihatását a termék darabköltségére az *1. ábra* érzékelteti.

Az energia hatékony felhasználását és a ciklusidő rövidségét már a *gyártmány tervezésekor* előnyösen lehet befolyásolni. Minimalizálni lehet a lépések számát, csökkenteni lehet a tűrést; anyagot, hűtési időt, ezáltal energiát és ciklusidőt lehet megtakarítani kisebb falvastagsággal. Lényegében itt dől el az anyagválasztás is, ami erősen befolyásolja az egész feldolgozás energiaigényét, *a különböző műanyagok megömlesz-*

téséhez ugyanis nagyon eltérő fajlagos energia szükséges. A későbbiekben erről részletesen szó esik majd.



1. ábra A gyártás-előkészítés egyes lépéseinek kihatása a darabköltségre

A *fröccsöntő szerszámok* energiahatékonyságát alapvetően a szigetelés, a hűtés és a fűtött vagy hideg beömlőcsatorna határozza meg. A fűtött szerszám szigetelésének és a kontúrközeli hűtésnek a pozitív hatását az energiafelhasználásra és a ciklusidőre minden szerszámtervező ismeri. A szerszám hőmérséklet-szabályozását is célszerű a szerszámhoz minél közelebb vinni. A hűtővíznek gyakran sem a hőmérséklete, sem a mennyisége nincs összehangolva a feladattal, ezért itt legtöbbször lehetséges az optimálás. Ha a hűtővíz hőmérséklete a fröccsöntés folyamatának megzavarása nélkül növelhető, minden °C-emeléssel jelentős üzemi költség takarítható meg.

A fröccsöntő üzem legfontosabb eszköze a *fröccsöntő gép, és alapvetően ennek energiaigénye és az általa elérhető ciklusidő határozza meg a termelés hatékonyságát.* Mindmáig folyik a versengés a hidraulikus és a villamos hajtású gépek között. *Azonos paraméterek mellett a teljesen villamos fröccsgépek hajtása kevesebb energiát igényel és rövidebb ciklusidő érhető el rajtuk.* Ez részben az üresfutás hiányából és a fékezési energia visszatáplálásából adódik. Hidraulikus fröccsgépek energiafelhasználását is lehet azonban csökkenteni pl. optimalizált energiahatékonyságú *IE2* motorokkal, elektromechanikus adagolóhajtással vagy optimalizált hidraulikahajtással, ahol a frekvenciával szabályozott szivattyúhajtás fordulatszámát összehangolják a fröccsciklus változó, aktuális igényével.

Ha fontos a rövid ciklusidő, gyors, független mozgásokra képes fröccsgépre van szükség; itt ismét a villamos hajtású gépek vannak előnyben, amelyek rövid szárazonfutási idejükkel és szinkron kidobómozgásukkal kielégítik ezeket a követelményeket. *Mindezek ellenére általában nem a teljesen villamos hajtású gépek a leggazdaságosabbak.* Az optimális fröccsöntő gép felépítéséhez célszerű figyelembe ven-

ni az alkalmazás célját és részletesen elemezni kell a gyártási paramétereket. A legjobb megoldást legtöbbször a különböző hajtási elvek kombinációja adja.

A modulrendszerű gépgyártó program előnye, hogy hidraulikus, hibrid és villamos hajtású építőelemekből rugalmasan lehet a felhasználó számára legalkalmasabb gépet felépíteni. A legjobb változat összeállításához az **Arburg** cégnek pl. egy olyan számítógépes programja van, amellyel a szükséges paraméterek betáplálása után a különböző gépvariációkra *ki lehet számítani egy-egy termék darabköltségét.* Ezzel a programmal meg lehet vizsgálni, hogy mekkora hatása van az egyes paraméterek megváltoztatásának, és azt is, hogy egy-egy drágább gép ára mennyi idő alatt térül meg. Ezzel az analízissel bebizonyosodott, hogy *a ciklusidő rövidítése fejti ki a legmarkánsabb hatást a darabköltség csökkentésére és ezáltal a fröccsöntő üzem gazdaságosságára.*

A fröccsöntő gép mellett *a kiszolgáló berendezések, az ún periféria* (robotrendszer, temperálóberendezések, anyag-előkészítő- és szállítórendszer) is befolyásolja a termelés hatékonyságát. A pneumatikus rendszerekhez szükséges sűrített levegő energiaigénye pl. kiadásként jelenik meg a könyvelésben, a szervoelektromos hajtások ezzel szemben javítják az energiafelhasználás hatékonyságát, lehetővé teszik a ciklusidő rövidítését, ezért csökkentik a költségeket.

A teljes gyártórendszer optimális kialakításában fontos, hogy az egyes elemek összeillők legyenek. A legfontosabb elem a fröccsegység, mert a plasztikálás igényli a legtöbb energiát. A fröccsegység kiválasztása és a csigaátmérő nemcsak a fröccsöntött formadarabok minőségét befolyásolja, hanem nagy szerepe van az energiafogyasztásban is. Minél közelebb van a gép terhelése a maximális terhelhetőséghez, annál kisebb a fajlagos energiafelhasználás. Egy kétszivattyús hidraulikus fröccsgép, egy hasonló, de optimált fröccsgép és egy direkt villamos hajtású fröccsgép fajlagos energiafelvétele 2 kg/h műanyag feldolgozásakor ugyanilyen sorrendben 5,5, 4, ill. 2,5 kWh/kg, 5 kg/h műanyag áthajtásakor 2,8, 2, ill. 1,4 kWh/kg, 9 kg/h terhelés mellett 1,5, 1, ill. 0,8 kWh/kg, 15 kg/h esetében 0,9, 0,6, ill. 0,4 kWh/kg. (Erős terhelés mellett a villamos hajtású gép előnye erőteljesen csökken.) Az erős terhelés a ciklusidő rövidítését is segíti.

A gyártás hatásfokát növeli, ha *a fröccsöntést megelőző és azt követő technológiai lépéseket megfelelő automatizálással beépítik, „integrálják" a fröccsöntés folyamatába*. A termék előállítását egyetlen gyártási lépcsőben lehet megvalósítani ún. gyártócellában vagy ún. szerelő-fröccsöntő eljárásban.

A folyamatok integrálásakor különösen megnő a *folyamatvezérlés* jelentősége. Ha a kisegítő berendezések vezérlését bekötik a központi vezérlésbe, könnyebb összehangolni a mozgásokat, ami által javul a minőség és a gyártás hatásfoka. További előnye a központi vezérlésnek, hogy a fröccsöntéshez és a kiegészítő műveletekhez egyetlen közös adathalmaz tartozik, amelyet gyorsan be lehet táplálni és újra le lehet tölteni, ha a gyártóberendezést ismételten üzembe kell helyezni. Az egységes és egyszerű programozási elveknek köszönhetően a gépkezelő maga is be tudja állítani a robotrendszert, amivel szerelési és állásidőt, végső soron költséget takarítanak meg.

Az idő rövidítése a fröccsöntő üzemben nemcsak a ciklusidőre, hanem azokra a nem-produktív szakaszokra is vonatkozik, amelyek alatt ugyancsak használnak fel

energiát. Ilyenek az állás- és szerelési idők, továbbá a felfűtés időtartama. Megfelelő *gyártástervezéssel* megszervezhető a megelőző karbantartás, amellyel csökkenthetők a váratlan leállások és optimálhatók a szereléshez szükséges idők is. Az előre meghatározott időkben elvégzett felülvizsgálat és karbantartás biztonságosabbá teszi a termelést. Az átfogó gyártástervezéshez ma már számítógépes programok adnak segítséget. Egy központi számítógép minden fontos adatot rendelkezésre bocsát ehhez, de pl. okostelefon útján akár figyelmeztetést is küld a futó termelés aktuális felülvizsgálatára.

Megtakarítási lehetőségek a gyártási folyamaton belül

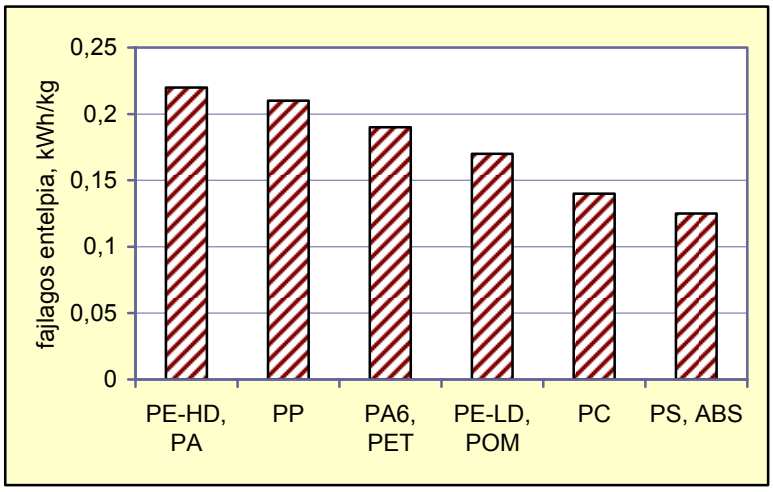
A fröccsöntő üzemekben az új beruházásoknál már fontos szempont az új berendezés energiahatékonysága, de ritkán néznek körül a saját házuk táján, hogy hol és mivel lehetne – legtöbbször csekély ráfordítással – tovább csökkenteni az energiafelhasználást és a gyártási költségeket.

A lipcsei Műanyagcentrum **(KuZ, Kunststoff-Zentrum in Leipzig GmbH)** *„EnOptima”* projektje keretében szisztematikus vizsgálatnak vetett alá egy hidropneumatikus aggregátmozgatással ellátott teljesen villamos hajtású fröccsöntő gépet (*Elektra evolution 75,* gyártó **Ferromatik Milacron GmbH**, Malterdingen) és egy hagyományos hidraulikus hajtású fröccsgépet (*Allrounder 320 S*, gyártó **Arburg GmbH + Co KG**, Loßburg), hogy tapasztalataikat átadva a gépek beállítóinak, azok a lehető legtöbbet hozzák ki gépeikből.

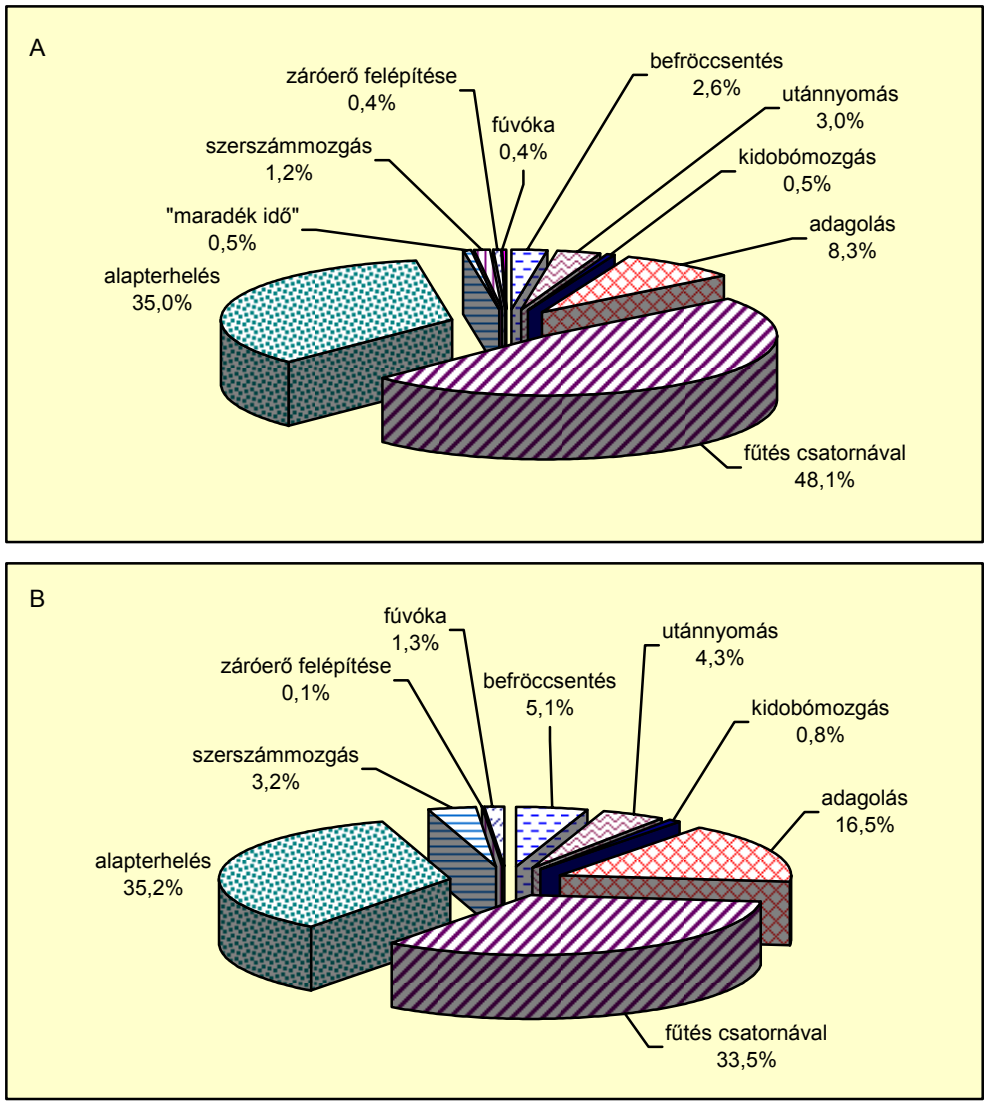
A vizsgálatok során maguk is észlelték azokat a közismert jelenségeket, hogy magasabb hengerhőmérséklethez több fűtőenergia szükséges, vagy hogy a rövidebb ciklusidő érdekében célszerű a szerszám, a kidobók és az aggregát mozgását a lehető legrövidebb útra korlátozni.

A formadarabtól, az anyagtól és a környezettől függő mértékben azonban bizonyos paraméterek megváltoztatásával is lehet az energiafelhasználást befolyásolni. Nagyon sokat számít, hogy milyen műanyagfajtát dolgoznak fel. *A különböző műanyagok megolvasztásához szükséges fajlagos hőmennyiség erősen eltérő lehet (2. ábra). Különbség van a műanyagfajták feldolgozási hőmérséklete között is.* A PA6 feldolgozásához pl. 15%-kal több hőenergia kell, mint az ABS-éhez, mert 20 °C-kal magasabb hőmérsékletre kell a hengert felfűteni, és a ciklusidő is 4 s-mal hosszabb. A *3. ábra* azt mutatja, hogy milyen energiafogyasztása van a fröccsöntés egyes mozzanatainak a teljesen villamos hajtású gépen, ha ugyanazt a műszaki formadarabot PA6-ból (*Durethan B31SK*, gyártja **Lanxess Deutschland GmbH**, Leverkusen), vagy ABS-ből (*Terluran 958 I*, gyártja **BASF SE**, Ludwigshafen) készítik el.

Megfigyelték, hogy a fröccsöntés egyes fázisainak energiaintenzitása mellett a különböző paramétervariációk is befolyásolják a részfolyamatokat, és szerepük lehet a folyamat optimalizálásában. A KuZ szisztematikus kísérletsorozatai során bizonyos paraméterkombinációk energetikailag kedvezőnek bizonyultak. Az egyes fázisokban alkalmazott paraméterkombinációk hatására a ciklus energiaigénye az alapbeállításhoz képest csökkent. Ez nem utolsósorban a ciklusidő megrövidülésére és az ezzel járó alapterhelés-csökkenésre vezethető vissza.



2. ábra Különböző polimerek megolvasztásához szükséges fajlagos entalpia



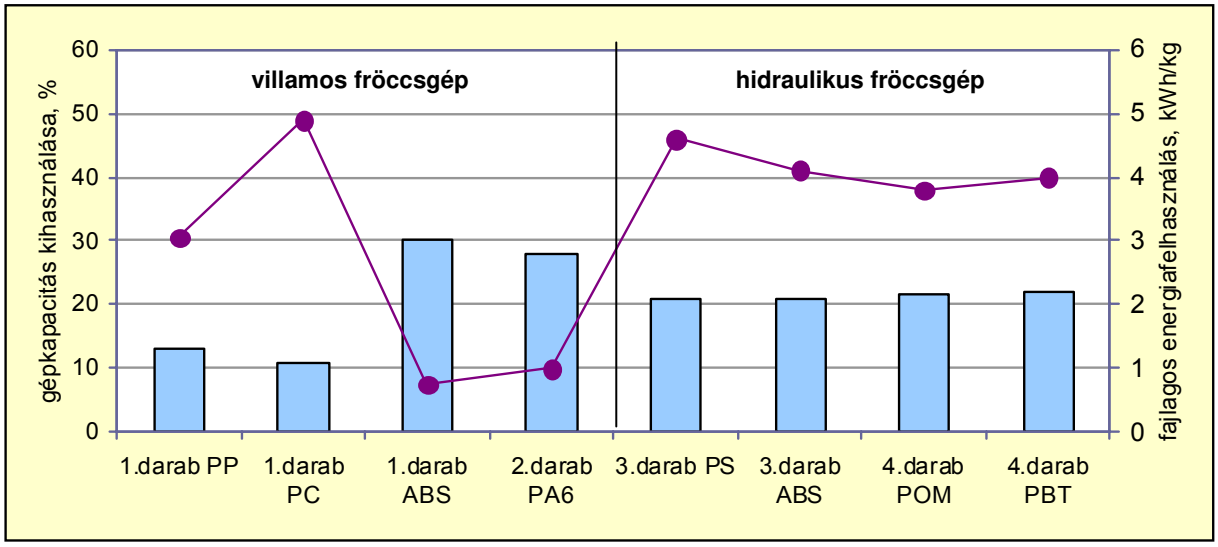
3. ábra A fröccsöntés egyes fázisainak relatív energiafelvétele teljesen villamos hajtású gépen PA6 (A kép) és ABS (B kép) feldolgozásakor temperálás nélkül

A vizsgált fázisokban észlelt energiamegtakarítás a következő paraméterekhez köthető:

– a henger és a fűtőcsatorna hőmérséklete,
– a maradék hűtési idő,
– a záróerő,
– a csiga fordulatszáma és kerületi sebessége.

Szinte valamennyi kísérletben finoman optimálható volt a plasztikálási fázis a csiga fordulatszámával, ill. kerületi sebességével. A villamos hajtású gépen a kísérletek háromnegyedében, a hidraulikus gépen ennél nagyobb hányadában értek el a vizsgált folyamatokban 5%-nál nagyobb energiamegtakarítást. Az optimálást célzó beavatkozást mindig egy-egy műszak keretében végezték, és a kísérlet időtartama 1,5–5 óra volt.

Itt is bebizonyosodott, hogy *a fröccsöntő gép energiahatékonysága annál jobb, minél jobban kihasználják a gép kapacitását*, azaz ha a adagolási út és a maximális löket aránya viszonylag nagy *(4. ábra)*. A végeredmény azonban attól függ, hogy mennyi időt tölt a műanyag a gépben, azaz mennyi a ciklusidő. Az ideális feldolgozási folyamat feltétele a tökéletes anyagi és termikus homogenitás.



Anyag kg/h	1,5	1,1	7,0	5,6	2,3	2,2	2,2	2,0	
Ciklusidő s	32,6	46,1	26,9	30,7	21,4	25,6	33,6	29,0	

4. ábra Villamos hajtású és hidraulikus hajtású fröccsgépen különböző (1-4) formadarabok különböző műanyagokkal végzett fröccsöntésekor a gépek kapacitásának különböző mértékű kihasználása mellett (oszlopok) mért fajlagos energiafelhasználás (fekete pontok).
Látható, hogy minél erősebben terhelik a gépet, azaz minél több anyagot hajtanak át rajta óránként, annál kisebb a fajlagos energiafelhasználás

A paraméterek nagy száma miatt a szisztematikus optimalizálás aprólékos munkáját (még ha az csak a primer energia felhasználását befolyásoló paraméterekre korlátozódna is) csak akkor érdemes elvégezni, ha egy nagyobb gyártmánymennyiséget kell előállítani. Az optimálás folyamata viszont meggyorsítható a fröccsöntés szimulálásával. Ennek alkalmazása megszokott dolog a formadarab és a szerszám fejlesztésekor a sorozatgyártás megindítása előtt. Ezzel tanulmányozzák az ömledék- és a szerszámhőmérséklet, a nyomás, a szerszámkitöltés, a hűtési idő közötti összefüggést. Paramétervariációkkal az is megvizsgálható, hogy a feldolgozási ablakon belül van-e egyáltalán lehetőség az energetikai optimalizálásra, és az is, hogy az ömledék vagy a szerszám hőmérsékletének változtatása hogyan hat a hűtési időre és ezáltal a ciklusidőre. Célirányos szimulációs vizsgálatokkal a gép beállítója fontos információkhoz juthat, amelyekkel lerövidítheti munkáját.

A KuZ emellett a gyártási folyamat alatt is ellenőrizte, hogy a beállított paraméterek megfelelnek-e a kívánt célnak. Ehhez egy szoftvert, a **Stasa Steinbeis Angewandte Systemtechnik GmbH** *Stasa QC* programját használta. Ennek a szoftvernek a segítségével az optimálás időtartamát harmadára-ötödére, az energiafelhasználást pedig 2–7%-kal sikerült csökkenteni.

Új gép vásárlásakor a gépgyártó általában felajánlja a henger hőszigetelését, de a régi gépek hőszigetelése utólag is elvégezhető. A KuZ vizsgálatokkal bizonyította, hogy ez megéri a ráfordítást. Szigetelőmandzsetták felszerelése után – a feldolgozott műanyagtól függően akár 50%-kal – kevesebb hőenergiára volt szükség, és a vizsgált feldolgozási folyamat teljes energiamegtakarítása 28% volt.

A rendszeres karbantartás fontosságát a KuZ is hangsúlyozza. Ennek egyik lényeges része az időszakos kalibrálás, amelyet a *VDMA 24478* számú Irányelvek értelmében 7500 munkaóra után, de legalább évente egyszer el kell végezni. Az alapvető paraméterek (hengerhőmérséklet, csiga fordulatszáma, befröccsentés sebessége, visszaáramlás záróelemének tömítése) ellenőrzése megelőzi a váratlan gépleállásokat és termeléskieséseket.

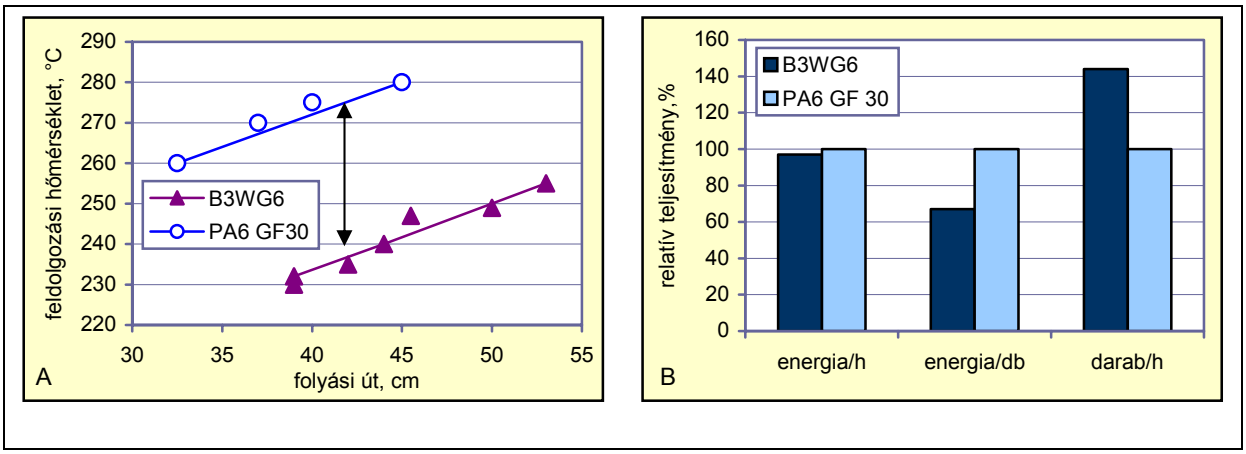
Az alapanyaggyártók hozzájárulása az energiahatékonysághoz

Az alapanyaggyártók is hozzá akarnak járulni a műanyag-feldolgozás energiahatékonyságának javításához, és anyagfejlesztésükben ezt az igényt messzemenően figyelembe veszik. Szinte valamennyi alapanyaggyártó választékában megjelentek pl. *a nagy folyóképességű műanyagok.* A BASF SE (Ludwigshafen) legújabb termékcsaládja az *Ultramid B High Speed*, amelynek tagjai nagy folyóképességű PA6 poliamidok.

A cégnél egy 30% üvegszálat tartalmazó szokásos folyóképességű PA6-ot *(PA6 GF 30)* és az ugyancsak 30% üvegszálat tartalmazó *Ultramid B3WG6* High Speed PA6-ot 30 mm átmérőjű csigát tartalmazó direkt hajtású villamos fröccsöntő gépen spirálszerszámba fröccsentettek. Az *5/A ábrán* látható, hogy az új poliamid 40 °C-kal alacsonyabb hőmérsékleten dolgozható fel, és míg a 42,5 cm-es spirálhosszt már 235 °C-os ömledékkel el lehet érni, a hagyományos poliamidot 275 °C-ra kell felmelegíte-

ni ugyanilyen spirálhosszhoz. Ez azt jelenti, hogy a fröccsüzemben sokkal alacsonyabbra kell a gépet felfűteni, és a hűtési idő, ezáltal a ciklusidő is csökken.

Hogy mennyire csökkenthető a ciklusidő, azt mindkét anyaggal egy erre a célra alkalmazott, belső oldalán bordákkal erősített csonkakúp alakú próbatest fröccsöntésével vizsgálták. A szokásos poliamiddal az elérhető legrövidebb ciklusidő 30 s volt. Ha ez alá mentek, beszívásokkal deformált próbatestet kaptak. A belső bordák ugyanis lassabban hűltek, mint a szerszám, kivételkor tehát a formadarab belső rétegei még nem dermedtek meg kellő mértékben. A *B3WG6* poliamid ezzel szemben rövidebb idő alatt teljes egészében lehűlt és megszilárdult, ezért 7–8 s-mal hamarabb ki lehetett venni a szerszámból deformálódás nélkül, ami kb. 30%-os ciklusidő-rövidülést jelent.



5. ábra A 30% üvegszálat tartalmazó *hagyományos PA6* és *Ultramid B3WG6 High Speed* összehasonlítása. *A kép*: a két polimer spirál folyóképessége különböző feldolgozási hőmérsékleteken; *B kép*: a *B3WG6* viszonylagos teljesítménye (a gép energiafelhasználása óránként, az egy darabra jutó energiamennyiség, az egy óra alatt gyártott formadarabok száma) a *PA6 GF 30*-éhoz hasonlítva (utóbbi = 100%)

A fröccsöntés teljes energiaigénye sokféle tényezőtől függ, pl. a formadarab nagyságától és geometriájától, a gép jellemzőitől stb. Természetesen a folyamat minden mozzanata számít, *a legnagyobb energiafogyasztó azonban a felfűtés, különösen a villamos hajtású gépeken.* A jól folyó anyagot rövidebb idő alatt lehet felmelegíteni a feldolgozási hőmérsékletre, és a kész darabot rövidebb idő alatt lehet kivenni a szerszámból, ami dupla haszon. Ezáltal nemcsak az energiafogyasztás csökken, hanem a termelékenység is növekszik.

Hogy ez ne csak feltevés legyen, a BASF munkatársai mérték a fröccsgép óránkénti energiafogyasztását, az egy darabra jutó energia mennyiségét és az óránként elkészült darabok számát *(5/B ábra)*. Látható, hogy a fröccsgép a jobban folyó anyagot valamivel kevesebb energiával dolgozza fel, viszont termelékenysége több mint 40%-kal megnő, ennek következtében egy-egy darab előállításához több mint 30%-kal kevesebb energia kell. A ciklusidő megrövidülése elsősorban ott hoz komoly hasznot,

ahol a fröccsöntött darab nem igényel utómegmunkálást, amely korlátozhatja a gyártás sebességét.

A kisebb viszkozitású, könnyen folyó anyag további előnye, hogy kisebb fröccsnyomást, ennek következtében kisebb szerszámzáró erőt, azaz kisebb fröccsgépet igényel, ami az üzemi költségeket nagymértékben csökkenti. A szerszámok is egyszerűbbé válhatnak, kevesebb beömlési helyre lehet szükség, a könnyen mozgó ömledék pedig jobban kitölti a bonyolult formákat és a szűk helyeket. Az új poliamidból a nagy üvegszáltartalom ellenére sikerült vékony falú termékeket gyártani. A kisebb fröccsnyomás következtében a szerszámkopás is mérséklődik. Feldolgozása semmivel sem nehezebb, mint a hagyományos poliamidé.

A BASF SE a PA6-alapú High Speed család tagjait 30, 35 és 40% üvegszállal erősítve forgalmazza. Vannak ütésálló és hőstabilizált változatok, amelyek világos árnyalatokra is színezhetők.

A BASF a 2011-es Fakuma kiállításon az Arburg GmbH-val társult. Mindkét cég a saját kiállító helyén Arburg gépen a BASF SE új poliamidjából gyártott egy-egy formadarabot. A gépekre felszerelt mérőberendezéseken a látogatók maguk ellenőrizhették a gépek energiafelhasználását.

Összeállította: Pál Károlyné

Energieeffizienz – das sind reduzierte Stückkosten = K Zeitung–K Berater: energie+effizienz; Sonderheft zur Fakuma 2011, p. 4–6.
Klamt, K.: Kleine Schritte, große Wirkung = Kunststoffe, 101. k. 10. sz. 2011. p. 150–153.
Weniger Energie – höhere Produktivität = K Zeitung–K Berater: energie+effizienz; Sonderheft zur Fakuma 2011, p. 33–35.