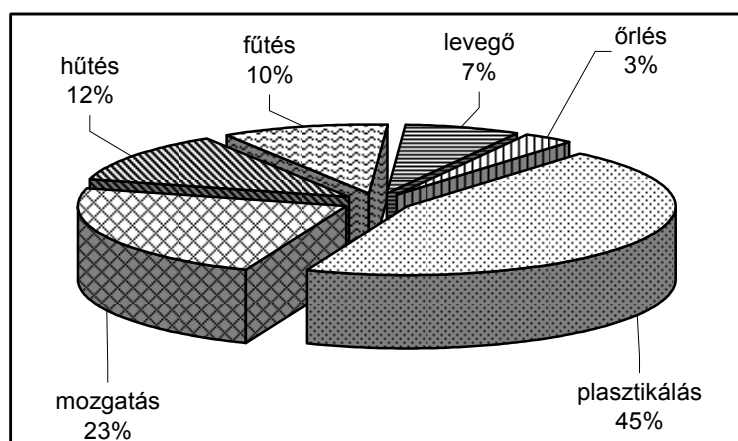


Energiatakarékos műanyag-feldolgozó gépek

Korábban a termelékenység növelése, ma a takarékos energiafelhasználás a műanyag-feldolgozó gépek tervezőinek fő célkitűzése. A legtöbb energiát a **plasztikálás** emészti fel, ezért elsősorban a csigák kialakítására és a henger fűtésére próbálnak új eljárásokat alkalmazni.

Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; energiatakarékosság; géptervezés; csiga; henger; sugárzó hő; gázfűtés; széndioxid-kibocsátás.

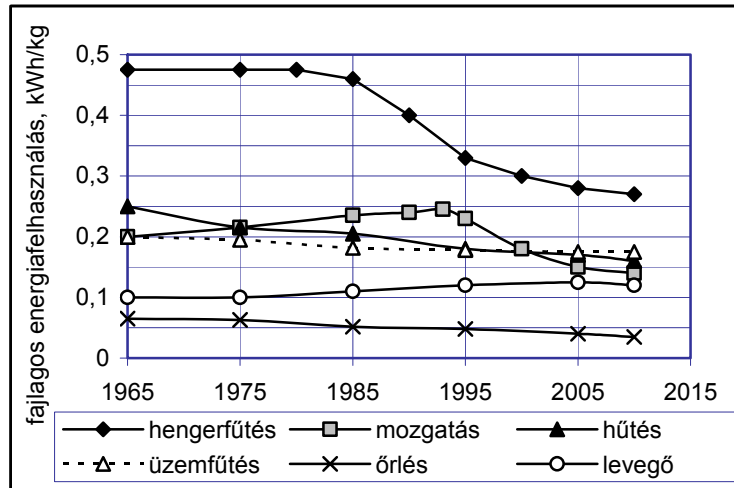
A műanyag-feldolgozó gépeket még nem is olyan régen a kihozatalukkal reklámozták, mert ez a tulajdonság volt vonzó a potenciális vásárló számára. *Ma az energiatakarékosság és ezzel párhuzamosan a működtetésük révén a levegőbe jutó széndioxid mennyisége áll az érdeklődés középpontjában, amelyet 2020-ig 20%-kal kell(ene) csökkenteni.* Ezen nem is lehet meglepődni, mert bár a műanyag-feldolgozás költségeinek mindössze 5–10%-át adja az energiaköltség, az energiaárak elmúlt években bekövetkezett meredek és a jövőben is beláthatatlan mértékű emelkedése miatt sürgető igény támadt az energiatakarékos feldolgozógépekre. Németországban 2002 januárja és 2007 júniusa között 63%-kal nőtt az áram ára, Nagy-Britanniában 2007 februárja és 2008 eleje között 88%-kal, és nem volt ez másképpen a többi európai országban sem. Észak-Amerikában is vége van az olcsó energia korszakának.



1. ábra
A műanyag-feldolgozás különböző munkaműveleteinek energiaigénye az összes felhasznált energián belül

Az energiatakarékosabb gépek megtervezése érdekében felmérték, hogy az energia mekkora hányadát használják fel a műanyag-feldolgozás alatt az egyes munkaműveletek, és hogy változott ezek fajlagos energiaigénye (az 1 kg műanyagra vetített

energiamennyiség) az elmúlt 45 év alatt (1., 2. ábra). Felmerült az a gondolat, hogy a feldolgozógépeket a háztartási gépekhez hasonlóan osztályozni kellene energiatakarékoságuk szerint. A háztartások összenergia-igénye azonban nagyobb, mint az iparé, ezért ott az ilyen lépések nagyobb haszonnal járnak.



2. ábra
A különböző munkaműveletek fajlagos energiaigényének változása 1965–2010 között

A feldolgozógépek és azok elemeinek – a csigáknak, a hengereknek és a hengerfűtéseknek – a gyártói mindent megtesznek azok energiatakarékos működése érdekében, és fejlesztéseik nyomán nemcsak ezt a célt érik el, hanem gyakran még a gépek teljesítményét is sikerül növelniük.

Energiatakarékos csigák

A **Glykon** cég (Tecumseh, Mich. USA) hat cégnél próbálta ki új *DM2* elnevezésű (*distributive mix melt, ömledékelosztással működő*) csigáját. Mérték a gépek energiafelvételét az új csiga beszerelése előtt és után. Az összegyűjtött adatokból megakartak határozni egy olyan mérőszámot, amellyel egyértelműen megítélhető a változtatások nyomán bekövetkező javulás. Úgy gondolják, hogy a plasztikálás hatásfokát jól kifejezi az óránként az extruderből kiáramló ömledék (kihozatal) egy csigafordulatra eső része. Ezt a kísérletekben angol mértékegységgel, font/h/rpm-ben fejezték ki (rpm = fordulatszám 1/min-ben).

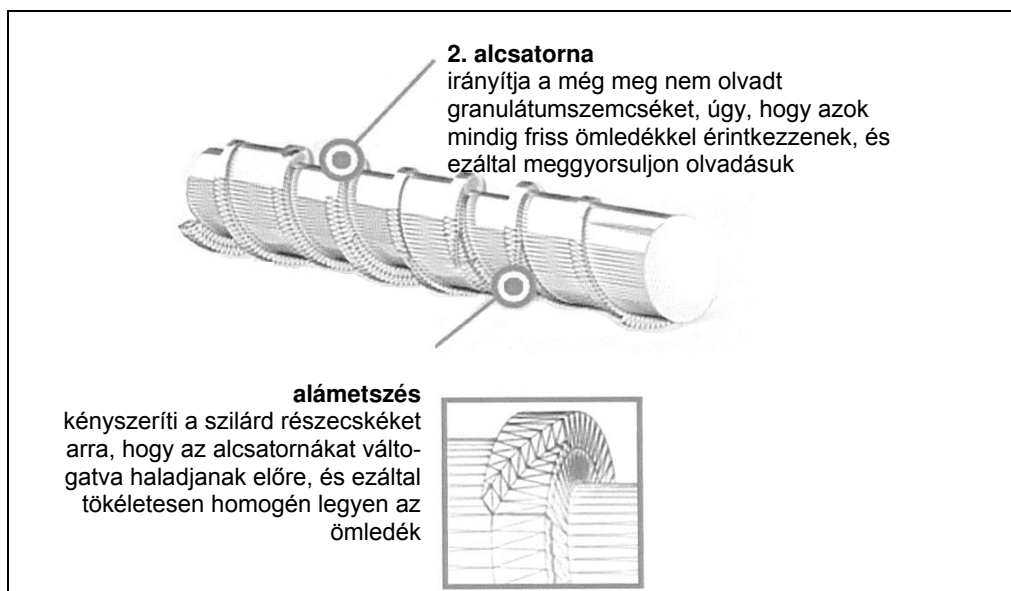
Az új csiga abban különbözik a szokásos csigáktól, hogy a granulátum megőmléséhez sokkal kevesebb hőt igényel a henger fűtéséből vagy az ömledék és a gép közötti nyíróhatásból, ehelyett *folyamatosan keveri egymással a már megőmlesztett és a még meg nem olvadt polimert, így felhasználja annak hőtartalmát*. Az ilyen csiga mentén alacsonyabb hőmérsékleten ömlik meg a granulátum és kíméletesebb a feldolgozás. Az extruderben a legfontosabb szakasz a „termikus keresztződési zóna”, ahol a granulátum 70–80%-a megy át ömledékállapotba. A hagyományos csigák kompressziós szakaszában, 55/min max. fordulatszám és 1550 lb/h (kb. 700 kg/h) kihozatal mellett megőmlés előtt az anyag hőmérséklete 260 °C, az egy fordulatra számított kihozatal angol mértékegységben 28, metrikusban 12,8. *DM2* csigát tartalmazó extruderben

55/min fordulatszámmal 221 °C volt a legmagasabb hőmérséklet, 65/min fordulattal érték el a 260 °C-os hőmérsékletet, és az utóbbi esetben a kihozatal 2300 lb/h (1043 kg/h), a fordulatonkénti kihozatal angol mértékegységben 35, metrikusban 16 volt. A cég tovább dolgozik a csiga fejlesztésén és abban bízik, hogy alkalmazása kiszélesíti a polimerek feldolgozási hőmérséklet-tartományát, az ún. feldolgozási ablakot, aminek főképpen a hulladékból visszanyert anyagokat, továbbá a nagy viszkozitású, nagy molekulatömegű polimereket feldolgozók láthatják hasznát.

A gépelemeket kínáló **Spirex Corp.** (Youngstown, OH) számos kis nyíróhatású keverőelemet gyárt, közöttük a *Pulsar II*-nek nevezettet, amelyet a plasztikáló csigaszakasz végéhez lehet csatlakoztatni. A jó keverőhatás mellett a *Pulsar II* alacsony ömledék-hőmérséklettel és kis visszanyomással dolgozik, ami energiamegtakarítást eredményez.

A **Xaloy** cég (New Castle, PA) cég a 2008 áprilisában rendezett **Chinaplast** kiállításon mutatta be *nXmix* nevű rendszerét, amely disztributív és diszperzív keverő hatásával homogenizálja az ömledéket. Szokásos egy- és kétcsigás extruderekbe is beépíthető; csökkenti a nyíróhatást, a feldolgozási hőmérsékletet és az energiafelhasználást.

A **Barr Inc.** (Virginia Beach, VA, USA) 2002-ben szabadalmaztatta *VBET* (*variable barrier energy transfer; váltakozó energiaszállítás a hengerben*) elnevezésű csigáját. A csiga csatornája a kompressziós szakaszban két alcsatornára oszlik. A még meg nem olvadt granulátumszemcsék előrehaladásuk alatt hol az egyik, hol a másik csatornába kerülnek, és hol az ömledékáram felszínén, hol annak középső rétegében úsznak. Ez a folyékony/szilárd keverék mind anyagában, mind pedig hőmérsékletében nagyon homogén ömledékké alakul, nem alakulhatnak ki ún. forró pontok. A csiga vázlatát a 3. ábrán látható.



3. ábra A Barr cég VBET csigájának vázlatát

Hengerfűtések

Hengerfűtés villamos energiával új elvek alapján

A szabadalommal védett *Thermal Control Solution (TCS)* fűtőrendszert az **Insul-Vest Inc.** fejlesztette ki, és mutatta be először a legnagyobb észak-amerikai műanyagkiállításon, az **NPE-n** 2003-ban. 2006-ban a szabadalmi és gyártási jogot eladták a **Rex Materials, Inc.** cégnek, amely továbbfejlesztette és műanyag-feldolgozó gépek hengerének fűtésére tette alkalmassá az eljárást. A kezdeti gyenge érdeklődést gyors felfutás követte. Ma már több mint 100 fröccsöntő gépen, 30 extruderen, 6 palackfűvő berendezésen alkalmazzák. A cég a feldolgozó üzem első gépének átállításakor visszafizetési garanciát vállal, de amikor a vásárló saját gépén tapasztalja a jelentős energiamegtakarítást, többi gépéhez is megrendeli az új fűtőrendszert. Ezt már kb. 20 ügyfél megtette. *A TCS fűtőrendszer ugyan kb. kétszer annyiba kerül, mint a fűtőszalagos rendszer, de a beruházás általában egy-másfél év alatt megtérül.*

A *TCS rendszer* sugárzó hővel melegíti a hengert. A hőszigetelő testeket könnyű kerámiaszálas elemekbe ágyazták. Ezekből a belül félhenger alakú, kívülről sokszögű palástú elemekből teljesen zárt burkolatot lehet az extruder vagy a fröccsöntő gép hengerére építeni úgy, hogy az elemek és a henger között keskeny légrés maradjon, amelyen keresztül szükség esetén levegő befúvásával gyorsan le lehet hűteni a gépet. A fűtőelemeket a csigazónák határain szigetelőelemmel választják el, a légrés a henger hosszának kb. 75%-án akadálytalanul fut végig. A fűtőelemek egymással villamosan össze vannak kötve, a hengeren *Velcro* kapcsolóelemek tartják meg őket.

A rendszer egyik előnye, hogy a hengert teljes hosszában hőszigeteli, ezért minimális a hőveszteség, és a gépkezelő sem égetheti meg magát. Másik előnye a fűtőelemek kis termikus tömege. Ezáltal sokkal rövidebb idő alatt éri el a henger a kívánt hőmérsékletet, és sokkal gyorsabban korrigálja az esetleges hőmérséklet-eltérést. Indításkor a szigetelt fűtőszalagokkal és vízhűtéssel működtetett fűtőrendszerben először ezeknek az elemeknek kell felmelegedniük, mielőtt hőt adhatnának át a hengernek. Mivel a hengerek hagyományos hűtő/fűtő szabályozórendszerének bizonyos fokú tehetetlensége, „termikus momentuma” van, a hűtés és fűtés ciklusa szinuszgörbét mutat. *A TCS rendszernek* nincs ilyen tehetetlensége, a túlfűtés és az alulfűtés ki van zárva. Ezért az előírt hőmérséklet nagy pontossággal folyamatosan tartható, csak ritkán van szükség hűtésre. *Az TCS rendszer* hőszabályozója 1 °F-en (kb. 0,6 °C-on) belül tartja a henger hőmérsékletét. Bizonyos alkalmazásokban emiatt kissé csökkenthető az előírt hőmérséklet, amivel sok energiát lehet megtakarítani. A **Rex** cég szerint a rendszer nagyon kevés karbantartással is megbízhatóan dolgozik.

Fröccsöntő üzemekben átlagosan 36%-os energiamegtakarítást értek el a henger *TCS rendszerű* fűtése, hasonló megtakarítást pedig a hűtés erőteljes csökkenése révén, összesen tehát 68%-kal mérséklődött a henger megfelelő hőmérsékleten tartásához szükséges energia. A **Rex** cég három feldolgozónál közvetlen méréseket is végzett.

Az első, a **Pactiv Corp.** (Chippewa Falls, Wis, USA) fogyasztási cikkek és élelmiszerek forgalmazásához készít speciális csomagolóeszközöket. *A TCS eljáráshoz*

szükséges elemeket a vállalat egy hőformázható polisztirollemez gyártó extruderének mind az öt zónájára ráhelyezték, és 85,5 h hosszát termeltek vele. A henger fűtéséhez ezalatt 33%-kal kevesebb energiára volt szükség, mint az átalakítás előtt fűtőszalagokkal fűtött hengerrel végzett ugyanilyen időtartamú gyártáskor. Az eredményt 7000 óra (250 nap, munkaidőben számítva kb. 1 év) termelésre vetítve csak a *TCS eljárással* egy év alatt 4500 USD-t lehet megtakarítani, és a beruházás 3 év alatt, az energiatakarékosságért az USA-ban elnyerhető adókedvezményt is figyelembe véve 1,7 év alatt térülhet meg.

A második próbát a **Georgia-Pacific Corp.** (Leominster, Mass. USA) egy 700 tonnás fröccsöntő gépén végezték, amelyen evőszkózt gyártottak. A *TCS fűtőtestekkel* 4,36 kWh/üzemóra, azaz 34,9% energiát takarítottak meg a korábbi fűtőszalagos fűtéshez képest, amely üzemóránként ezenkívül 8050 BTU (= 8493 kJ vagy 2028 kcal) hőenergiát a környezetnek adott le. Ennek megszűnése a gyártóüzem légtérének kondicionálásban üzemóránként további 2,3 kWh megtakarítást jelentett.

A harmadik demonstrációt ugyancsak Leominsterben, a **Solo Cup Co** 500 tonnás fröccsgépén tartották, a gép ugyancsak polisztirol evőszkózt állított elő. A gépet 24 óra hosszát üzemeltették, és az első 30 perctől kezdve 1 percnként mérték az energiafelvételt. A mért értékeket 50 hétre, heti 7x24 órás termelésre 96%-os kihasználtsággal átszámolva a teljes gép energiafelvétele 4,1%-kal, maga a hengerfűtés átlagosan 34,7%-kal csökkent. A csökkenés legnagyobb mértéke 48% volt. Az éves megtakarítás ennek alapján >4000 USD, a *TCS rendszer ára 3424 USD, a beruházás tehát egy éven belül megtérül.*

A **Milacron** cég (Cincinnati, OH, USA) **Servtek** nevű részlegén keresztül forgalmaz csigákat, hengereket és más gépelemeket. A Servtek a közelmúltban megállapodást kötött a **Rex Material Group**-pal (**RMG**, Chicago, USA) *TCS technológiájának* kizárólagos amerikai forgalmazására. A *TCS eljárás* új gépeken, de utólagos beépítéssel régebbi gépeken is alkalmazható. A **Milacron** cég úgy véli, hogy a *TCS eljárás* a náluk alkalmazott egyik ún. Föld-barát technológia; a másik a **Barr** céggel 2005-ben kötött megállapodás alapján a *VBET csigák* alkalmazása. Ezeknek a csigáknak a révén a polimer megömlése 30%-ban a hővezetés útján felvett energiának köszönhető, és Észak-Amerikában már legalább 300 feldolgozógépben ilyen csiga van. A cég 100%-ban villamos hajtású *Powerline* és *Roboshot* sorozatú fröccsöntő gépeiben mindkét technológiát alkalmazza.

A **Xaloy** cég *nXheat* nevű indukciós fűtőrendszerével szereli fel fröccsöntő gépeit. Becslései szerint ez 70%-kal kevesebb energiával dolgozik, mint a fűtőszalagok. További 35% takarítható meg a kisebb levegőigény következtében. Ezt a rendszert a MISZ 5. évfolyamának 3. számában (2008/3, p. 30-39.) részletesen bemutattuk.

Hengerfűtés földgázzal

A műanyag-feldolgozó iparban a földgázt a legutóbbi évekig legfeljebb az épületek fűtésére vagy a formadarabok felületének lakkozás előtti lángolásos aktiválására,

esetleg sorjátlanítására alkalmazták. Újabban a feldolgozógépek fűtésére próbálják meg felhasználni.

Németországban a **Krauss-Maffei** (München) cég már 1998-ban bemutatott egy földgázzal fűtött szárítót. A további fejlesztés eredménye volt a *Fakuma kiállításon* 2003-ban bemutatott gázzal fűtött temperálóberendezés, majd egy extrúziós gyártósoron bizonyították be, hogy *ez a technika energiatakarékosabb a villamos fűtésnél, és a gázégők élettartama hosszabb, mint az elektromos fűtőelemeké.* A továbbiakban a fröccsöntő gépek plasztikáló egységének földgázás fűtését oldották meg. Ebben a munkában a Krauss-Maffei cég mint gépgyártó mellett résztvett az extruderekhez és fröccsöntő gépekhez fűtőrendszereket előállító **Wema GmbH** (Lüdenscheid), az energiaellátó **E.on Ruhrgas AG** (Essen) és **E.on Avacon AG** (Helmstedt).

A gázzal fűtő elemek két félhengerből állnak, amelyeket gyorskapcsolóval lehet a feldolgozógép hengerére erősíteni, és amelyek ott egy tökéletesen tömített, zárt egységet képeznek. A modulszerű kiképzés megkönnyíti a fel- és leszerelést; a fűtőrendszer régebbi gépeken is alkalmazható. Minden félhenger önmagában is zárt rendszer, amelyben maga a fűtőelem félkör alakú hőálló fémszalakból áll. Ezekon a fémszalakon a gáz égése jól szabályozható, a gáz nagyon kis lánggal, káros melléktermékek nélkül, ég el. A forró égésgázok egy külső gyűrű alakú résben az elem egyik vége felé áramlanak, ott 180°-ban visszafordulnak, és egy belső gyűrű alakú résben az elem másik vége felé haladnak. Az ellenáramú mozgás, a konvektív és sugárzó hő átadása együttesen *nagyon egyenletes tengely- és sugárirányú hőmérséklet-eloszlást eredményez* és meggátolja a helyi túlmelegedést.

Minden egyes égőbe külön tüzelőautomata szállítja a fröccsöntő gép hőszabályozójának parancsa alapján előállított arányú gáz/levegő keveréket, és az automata egyúttal az égő teljesítményét is meghatározza a keveréket az égőbe juttató fúvóka fordulatszámának beállításával. A gázkeverék mennyiségének szabályozásával betartható a ± 1 K-en belüli hőmérséklet-eltérés. A hőmérsékletet hőelemekkel ellenőrzik, és a szabályozáshoz felhasználható az a hőszabályozó, amelyet korábban az elektromos fűtéshez használtak. Mivel a gázzal fűtő rendszert teljes egészében bekapcsolták a gép vezérlőrendszerébe, a gép kezelése semmiben sem tér el a villamosan fűtött gépektől.

Az az aggodalom, amely szerint a gázzal fűtött gépek kevésbé biztonságosak volnának, mint a villamos fűtésűek, teljesen alaptalan. A gázkeverék előállítását, a teljesítmény szabályozását, a gyújtást és a láng elektronikus ellenőrzését a gáztechnikában évek óta alkalmazott, bevizsgált és jóváhagyott eszközök végzik. A gázzal fűtő rendszer nagyon kevés karbantartást igényel és nyílt láng nélkül dolgozik; a gázforrással rugalmas tömlővel lehet összekötni.

Az égő működését egy ionizációs elektróda folyamatosan ellenőrzi. Ha nem érzékeli a lángot, rövid időn belüli ötszörös gyújtási próba után megszünteti a gázellátást. A fröccsöntő gép főcsapja lezár, az égőt levegőáram öblíti át. Ugyanez történik, ha a biztonsági rendszer a beállított hőmérséklet túllépését jelzi.

A rendszer próbapadon végzett alapos vizsgálata után a **Plastal GmbH** (Reinsdorf) egy *KM 4000-24500 típusú*, 40 000 kN záróerejű, 150 mm-es csigával dolgozó fröccsöntő gépét szerelték át gázzal fűtésre. A cég ezen a gépen három mű-

szakban gépkocsiütközőket gyárt, amelyeket később lakkréteggel lát el. Az előgyártás alatt meggyőződtek arról, hogy a gázzal fűtött gépből származó ütközők minősége semmiben sem tér el a korábban villamosan fűtött gépen gyártottakétól. Annál nagyobb volt a különbség a költségekben, amelyeket az 1. táblázat tartalmaz. Eszerint folyamatos gyártáskor a *gázfűtés révén elérhető éves megtakarítás 7440 EUR*. Figyelembe véve a termékváltáskor szükséges újraindításnál a villamos fűtésben fellépő teljesítménycsúcsokat, *a megtakarítás 11 000 EUR-t is elérhet*. Ennek alapján a földgázra való áttérés többletköltségei az utólagos beépítéskor 3,6 év alatt, új gépen 2 év alatt megtérülnek. (Kérdés, hogy milyen irányban változnak ezek a számok az utóbbi hónapok és a következő hónapok előrejelzett meredek áram- és gázáremelkedései nyomán. A tömörítő megjegyzése.)

1. táblázat

Egy gépkocsiütköző fröccsöntésének energiaköltségei és CO₂-emissziója villamosan és gázzal fűtött gép alkalmazásakor

Üzemi adat	Egység	Villamosan fűtött gép	Gázzal fűtött gép
Beépített fűtőteliesség	kW	131	108
Átlagos gyártási fűtőteliesség	kW	24	32
Üzemóra/év	h	6600	6600
Energiafelhasználás/év	kWh	158 400	211 200
Költség/kWh	ct/kWh	9,63	3,7
Költség/év	EUR	15 254	7814
Max. teljesítmény indításkor*	kW	43,7	0
Indítás költsége/kW/hónap	EUR/kW	7	7
Indítás költsége/év	EUR	3671	
Összköltség	EUR	18 925	7814
CO ₂ -emisszió**	kg/év	105 970	44 774

* Felfűtés új gyártmány indításakor a beépített fűtőteliesség 1/3-ával.

** A következő CO₂-ekvivalensekkel számolva: áram 669 g/kWh, földgáz 212 g/kWh.

Gazdasági előnyei mellett a földgázzal fűtött gépeknek *ökológiai előnyei* is vannak. A gáz mint primer energiahordozó közvetlenül használható fel, nem igényel átalakítást, mint az áram, ami csökkenti a hatékonyságot és a művelet a közvetlen elégetéshez képest háromszoros CO₂-kibocsátással jár.

Energiatakarékos fűvóformázás

Az üreges testek mai árában a gyártási költségek 7–8%-át teszik ki az energiaköltségek, ebben 45% a plasztikálás költsége. A villamos hajtás bevezetésével 1980

óta ezek a költségek folyamatosan csökkentek, és jótékony hatású volt az *ömladék-
elválasztó csigák* (ún. *barriercsigák*) bevezetése is, amelyek lehetővé tették az
ömladék-hőmérséklet kb. 10 °C-os csökkentését. A felhasznált energia 23%-át a gép-
elemek mozgására használják fel. Itt is jelentős volt a megtakarítás, amikor a hidrau-
likus hajtásról a villamos hajtásra tértek át, 1965 után mégis folyamatosan nőtt a moz-
gatásra fordított energia mennyisége, mert az egyszerű fűvógépekről fokozatosan tér-
tek át a teljesen automatikus berendezésekre használatára, amelyekben sokkal több elemet
kell mozgatni.

A közelmúltban bemutatottak egy új előforma-készítő berendezést, amely vastag-
ságkiegyenlítő rendszerrel (thickness compensation system) van ellátva. Az ezzel a
rendszerrel gyártott előformákból 7%-kal könnyebb ipari tartályokat lehet előállítani a
korábbiakénál rövidebb ciklusidővel az eredeti minőség romlása nélkül. Ezzel az eljá-
rással javul a gyártás gazdaságossága, és nő a gyártó versenyképessége.

Összeállította: Pál Károlyné

Gotzmann, G.: Uniloy startet Energieinitiative. = *Kunststoffe*, 97. k. 9. sz. 2007. p. 36, 38.

Deligio, T.: Screws and barrels the focus of energy-savings efforts. = *Modern Plastics
Worldwide*, 2008. június 1. www.modplas.com

BARR, Inc. – Products for the Plastics Industry. Extruder designs, extrusion, screws. =
www.robertbarr.com

Naitive, M.H.: Close-up on technology: barrel heating. Here's another way to save up to 70%
in barrel heating/cooling. = *Plastics Technology*, 2008. 1. sz. www.ptonline.com

Bürkle, E.; Hungerkamp, Th.; Würtele, M.: Spürbar niedrigere Energiekosten. = *Kunststoffe*,
97. k. 9. sz. 2007. p. 202–206.