

## Tovább javítható a fröccsgépek energiahatékonysága

A fröccsöntő üzemek legtöbbje már energiatakarékos gépekkel, többé-kevésbé optimált eljárással dolgozik. Egy németországi kutatócsoport azonban bebizonyította, hogy a paraméterek további optimalizálásával még sokat lehet spórolni, egy másik pedig a fröccs-ciklus értékteremtő energiafelhasználásának növelésére buzdít.

*Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; fröccsöntés; energiahatékonyság; paraméterek javítása; duális energiaszignatúra; értékteremtő energia.*

Amióta a fröccsöntés legfontosabb célkitűzése az energiafelhasználás csökkentése, a hidraulikus gépeket számos fröccsöntő üzemben villamos hajtásúakra cserélték, és a gépeket kevesebb energiát fogyasztó hajtórendszerekkel működtetik. Ez volt az első lépés. A másodikban a ciklusidőn belüli folyamatokat elemezték, és a legnagyobb energiaigényű műveletek (a granulátum megömlesztése, a szerszám felfűtése) paramétereit próbálták optimalni. Egy hannoveri kutatóintézet, az IPH (Institut für Integrierte Produktion Hannover) és a Phoenix Contact GmbH & Co. KG (Blomberg) közösen azt vizsgálta, hogyan lehetne a fröccsciklus további mozzanatainak energiafelhasználását mérsékelni, és a „sok kicsi sokra megy” elve alapján további energiát megtakarítani.

Egy másik német intézmény – a Kunststofftechniklabor der Hochschule Aalen – tovább ment: azt elemezte, hogy hogyan aránylik a teljes gyártási folyamatban a teljes energiafelvétel az értékteremtő energiafogyasztáshoz, ill. a teljes gyártási idő az értékteremtő időhöz.

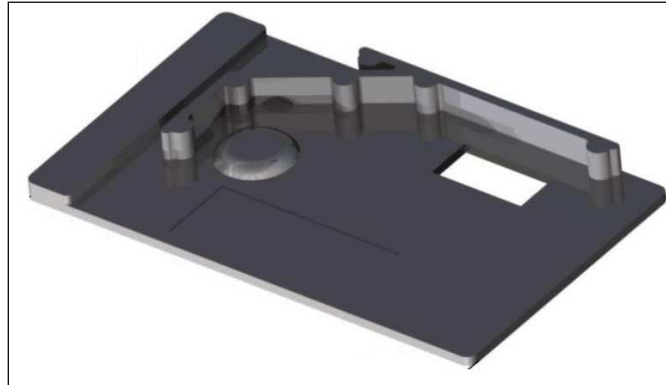
Mindkét kutatás eredményei arra utalnak, hogy a fröccsöntő üzemekben még sok lehetőség van az energiahatékonyság növelésére.

### **Szinte minden paraméterben van még kihasználatlan lehetőség**

Az IPH és a Phoenix cég kutatói előkísérletekben meghatározták azokat a paramétereket, amelyeknek a legnagyobb a hatása az energiafelhasználásra. Ezután további kísérletsorozatot végeztek az energetikailag legkedvezőbb paraméter-kombinációk összeállítására. Az eredményeket végül egy energiamodellel értékelték.

A kísérletekben PA 66-ból fröccsöntött forma (1. ábra) a Phoenix cég egyik szokásos próbatestje volt; tömege 2 g, fröccsadagja 3,5 cm<sup>3</sup>. Az egyfészkes szerszámot két különböző temperálóberendezés fűtötte. A kidobó oldalán belső nyomást és hőmérsékletet érzékelő eszközt építettek be. A fúvók oldalán meleg ömledékcsatorna volt, amelyet ugyancsak külön fűtöttek. A fröccsöntést az Arburg GmbH+Co. KG

(Loßburg) *Allrounder 370 A* típusú, 500 kN záróerejű gépen végezték. Az energiaigény mérésére speciális négycsatornás mérőrendszert csatlakoztattak a géphez, amely a melegcsatorna fűtőrendszerének, a gépnek és a két szerszámtemperáló berendezésnek az áramfelvételét mérte.

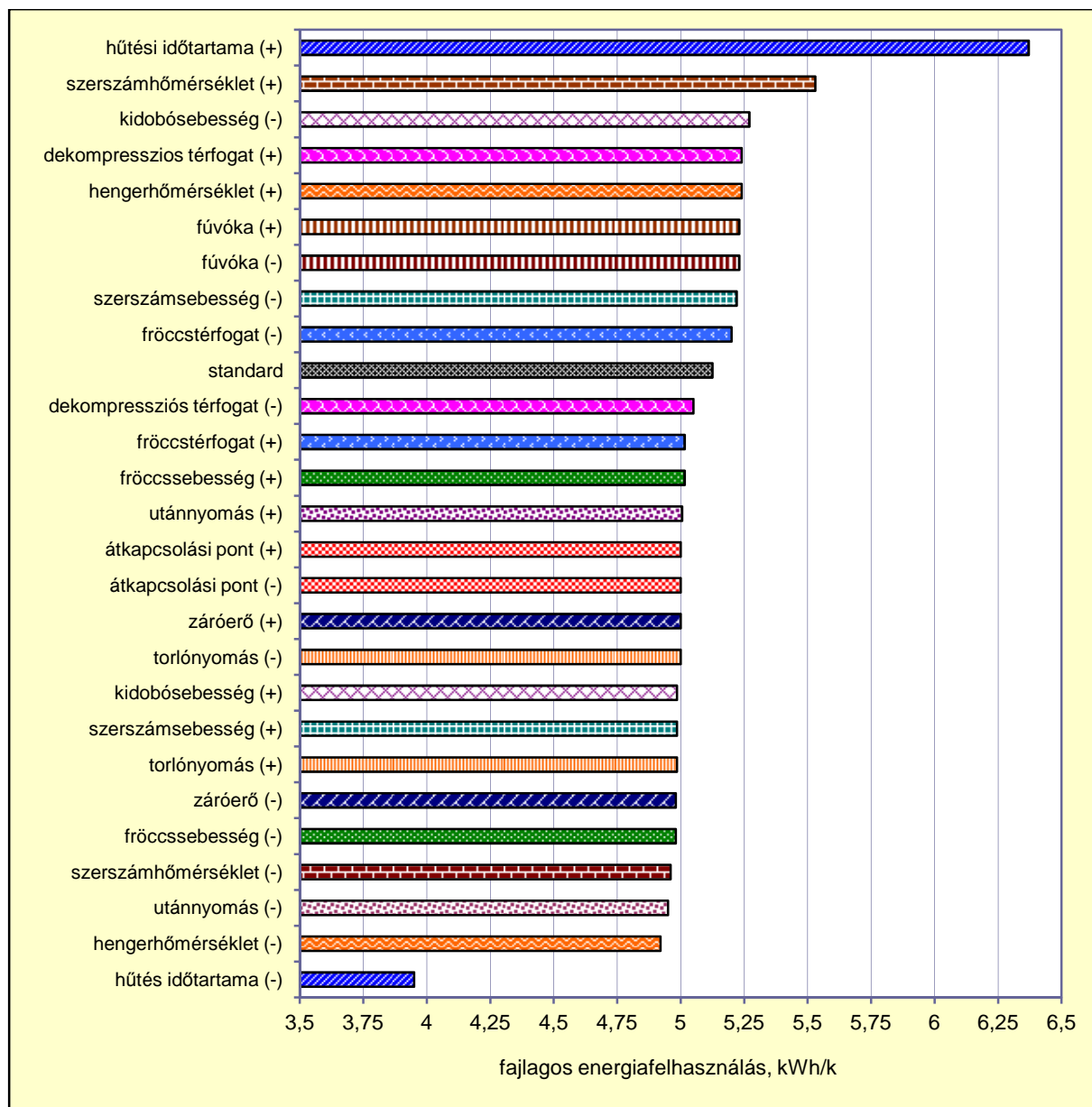


1. ábra A kísérletekben fröccsöntött formadarab

Az előkísérletekben a Phoenix cég korábbi tapasztalataira támaszkodva 13 paramétert választottak ki (a henger és a melegcsatorna hőmérséklete, szerszámhőmérséklet, záróerő, utánnomás, torlónyomás, befröccsentés sebessége, átkapcsolási pont, a szerszámfelfogó lapok mozgási sebessége, befröccsentett ömledék térfogata, kidobók sebessége, hűtési idő, dekompressziós térfogat, fúvóka), és kijelöltek egy a szokásos (standard) értéknél kisebb és nagyobb határértéket, majd egy-egy kísérletben csak egy paramétert változtatva (a többi standard értékre állítva) annak alsó és felső határértékével 20–20 próbatestet fröccsöntve mérték a gép energiafelhasználását. Az eredmények a 2. ábrán láthatók.

A mérőberendezés mind a négy csatornáján külön-külön határozta meg a fajlagos áramfelvételt, majd összegezték ezeket. A „standard” kísérletben (amelyben valamennyi paraméter értéke az optimált érték volt) 5,125 kWh/kg fajlagos áramfelvételt mértek. Ha a szerszám hőmérsékletét 70 °C-ról 80 °C-ra emelték, a fajlagos áramfelhasználás 5,528 kWh/kg-ra nőtt, ha a hűtés idejét 4 s-ról 2 s-ra csökkentették, 3,948 kWh/kg-ra mérséklődött.

Az előkísérletek alapján megállapították, hogy az energiafelhasználásra legnagyobb hatást kifejtő paraméterek a hengerhőmérséklet, a szerszámhőmérséklet, a hűtés időtartama, az utánnomás nagysága és a befröccsentés térfogatsebessége. Ezekben a kísérletekben azt is megfigyelték, hogy a kiválasztott paramétereknek milyen értékei mellett kapnak hibás terméket. Amikor a hengert pl. 290 °C-ra fűtötték fel, a beömlés környékén csíkokat figyeltek meg. 260 °C-os hengerhőmérséklet mellett a felületen nem látszott elváltozás, de alacsony hőmérsékleten előfordulhat tökéletlen szerszámki-töltés. Ezért a megfelelő minőség érdekében ezeknek a paramétereknek az alsó és felső határértékét az 1. táblázat szerint határozták meg.



2. ábra Az egyes fröccsöntési paraméterek beállításának hatása a fröccsgép energiafelhasználására. A (-) és a (+) jel azt jelenti, hogy a fröccsöntéskor a paramétert a standard értéknél alacsonyabbra vagy magasabbra állították be

A továbbiakban teljes faktoriális kísérlettervezés alapján ezt az öt paramétert variálták. Meghatározták a fröccsgép optimális munkapontját a kísérletek elején, közepén és a végén, és ezt beépítették a kísérleti tervbe. Összesen 35 kísérletsorozatot végeztek; ebben kb. 10 percenként 50–50 próbatestet fröccsöntöttek. Statisztikai analízis és regressziós modell felállítása után kiszámították a különböző paraméteregyüttesekkel végzett feldolgozás fajlagos energiafelvételét. A próbatest előállításához

szükséges minimális energia 4,2753 kWh/kg, 0,9926 kWh/kg-mal kevesebb, mint a standard fröccsöntése (2. táblázat). 500 formadarab (1 kg) előállításakor a paraméterek „kidekázott” beállításával (8,44 eurocent/kWh áramköltséggel számítva) 9 eurocentet lehet megtakarítani. De peches paraméterbeállítással akár 6,3725 kWh, a standardnál 2,0975 kWh-nál több áram is elfogyhat egy kg anyag feldolgozásakor.

1. táblázat

Az energiamodell felállításához használt paraméterértékek

Faktor	Paraméter	Egység	Legkisebb	Standard	Legnagyobb
A	hengerhőmérséklet	°C	270	275	280
B	szerszámhőmérséklet	°C	60	70	80
C	hűtés időtartama	s	3	4	5
D	utánn nyomás	bar	200	400	600
E	fröccssebesség	cm <sup>3</sup> /s	17,5	27,5	37,5

2. táblázat

A regressziós modellből kiszámított legkisebb és legnagyobb energiát igénylő paraméteregyüttesek

Energiafelvétel	A, °C	B, °C	C, s	D, bar	E, cm <sup>3</sup> /s	Energia, kWh/s
Legkisebb	270	60	3	200	37,5	4,2753
Standard	275	70	4	400	27,5	5,2679
Legnagyobb	280	80	5	200	17,5	6,737286

A kísérlet körülményei eléggé eltértek egy termelőüzem körülményeitől. A fröccsöntött darab kicsi volt. Egy-egy ciklusban az abszolút energiafelvétel is kicsi (0,01054 kWh), a fajlagos energiaigény az egyfészkes szerszám miatt mégis magas. Az eredmények ezért nem tekinthetők reprezentatívnak. Arra azonban rámutatnak, hogy ha egy fröccsüzemben nem figyelnek a részletekre, nagyon sok pénz elfolyhat haszon nélkül.

## Mennyi az értékteremtő energia és idő aránya a fröccsüzemben?

Az Aacheni Főiskola műanyag-technikai laboratóriuma az energiahatékonyságot másképpen próbálta megbecsülni. A fröccsciklus alatt felhasznált energiát és időt két részre osztotta: értéknövelő energiára ( $E_{va}$ ) és értéknövelő időre ( $t_{va}$ ); ill. nem értéknövelő energiára ( $E_{nva}$ ) és nem értéknövelő időre ( $t_{nva}$ )

A teljesítmény a klasszikus szemlélet szerint négy részből tevődik össze: hibás teljesítményből, üresjáratból, szükséges kiegészítő tevékenységből és hasznos (értékteremtő) teljesítményből. Az utóbbi az összteljesítménynek néha meglepően kis hányada.

A REFA (Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung; Munkakialakítási, Üzemszevezési és Vállalatfejlesztési Szövetség) egy termelőüzemen belül megkülönbözteti a főidőt és a mellékidőt. Főidőnek számít a konkrét termelés és a megmunkálás ideje. Mellékidő a leállás, a készenléti idő és a gyártásra kész idő, de ide sorolják a termelést megszakító szerszámcsere, a termékváltást, sőt a pozicionálást is (3. ábra). Főidőnek csak az értéknövelő tevékenység számít.

REFA	Üzemi állapot	
Mellék-idő	Leállás	
	Készenléti állapot	
	Gyártásra előkészítve	
	Produktív gyártás	Szerszámcsere
		Termékcsera
Pozicionálás		
Főidő	Produktív gyártás	Megmunkálás

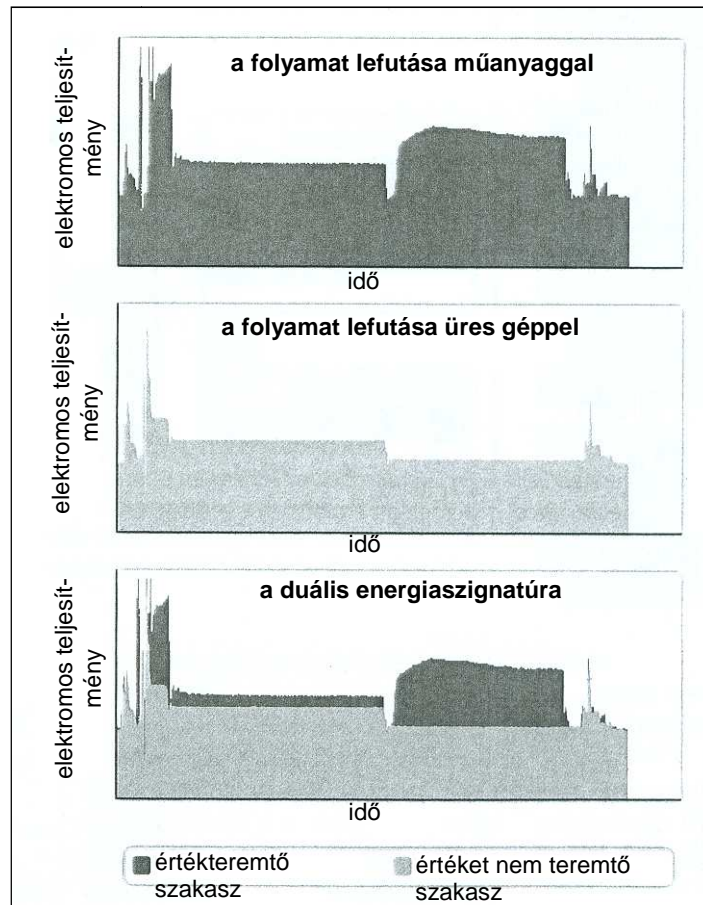
3. ábra A REFA idő- és teljesítményfelosztása a tevékenység értéktermelése szerint

Az Aacheni Főiskolán a fröccsöntési ciklus időtartamának és az abban felhasznált energiának értéknövelő hányadát próbálták meghatározni. Ehhez a Sumitomo (SHI) Demag Plastics Machinery GmbH (Schwaig) 80/420-430 típusú fröccsgépén poli(butilén-tereftalát)-ból 160x110x60 mm méretű, 4 mm falvastagságú, 176,4 g tömegű dobozkákat készítettek. A teljesítménylefutást a Yokogawa Deutschland GmbH (Ratingen) CW 240 típusú teljesítménymérőjével mérték.

A hasznos (értéknövelő) teljesítmény meghatározásához a *duális energiaszignatúra* módszerét alkalmazták, amelynek lényege, hogy felrajzolják egy anyag nélküli fröccsciklus energiafelvételének változását a ciklus folyamán, majd a kapott ábrát ráfektetik egy szokásos módon, műanyaggal végzett fröccsöntés energiadiagramjára. *Értéknövelő teljesítménynek csak az üres gép energiadiagramja által le nem fedett energiát tekintik (4. ábra).* Az ilyen ábrán jól elkülöníthetők a fröccsciklus egyes szakaszai, meghatározható ezek plusz energiafelvétele, és a görbéről leolvasható az értékteremtő szakaszok időtartama is (5. ábra). A ciklusban a szorosan vett formaadást: a plasztikálást, a befröccsöntést és az utánnomást tekintették értéknövelő tevékenységnek. A kísérletben ciklusonként  $E_{va} = 31$  Wh értékteremtő energiát és  $t_{va} = 38,9$  s értékteremtő időt használtak fel; a nem értékteremtő energiafelhasználás,  $E_{nva} = 81$  Wh, a nem értékteremtő idő,  $t_{nva} = 8,5$  s volt. Az értékteremtő energia a teljes energiafelhasználás 28%-a ( $\eta_{Eva}$ ), az értékteremtő idő a teljes ciklusidő 82%-a ( $\eta_{tva}$ ). Ezek az értékek kifejezetten jónak mondhatók. A főiskola laboratóriumában ugyanis optimált feldolgozási paraméterekkel dolgoztak, és a gép nagysága is illett a feladathoz. Szá-

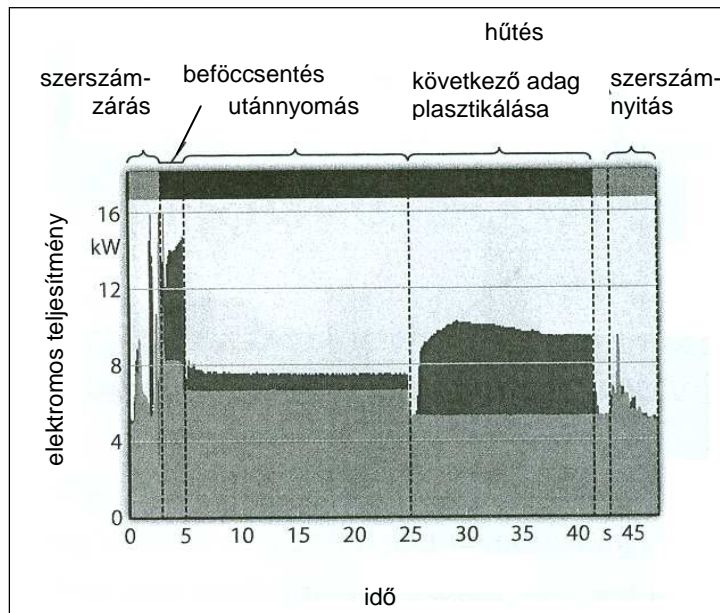
mos fröccsöntő üzemben ezeknél sokkal kisebb  $\eta_{Eva}$  és  $\eta_{tva}$  értékeket mértek, aminek okai lehetnek

- túlméretezett fröccsgép vagy túlméretezett termék,
- rosszul megválasztott (hidraulikus, hibrid, villamos hajtású) géptípus,
- rosszul beállított gép (pl. túl nagy szerszámzáró erő),
- hibás szerszámkonstrukció (pl. nagy beömlő, rossz termikus szabályozás),
- hiányos hőszigetelés (hengeren, szerszámon).



4. ábra Az üres gépen felvett energiadiagramot ráfektetik a műanyaggal végzett normális ciklus diagramjára, ezáltal megkapják a duális energiaszignatúrát

Ha egy fröccsüzemben a fröccsgépek duális energiaszignatúrával meghatározott  $\eta_{Eva}$  értéke nagyon alacsony, célszerűbb a rossz hatásfokú gyártási eljárást hatékonyabbra cserélni, mint a megszokottat nagy ráfordítással optimalálni.



5. ábra A duális szignatúra lehetővé teszi a fröccsciklus felosztását értékteremtő és értéket nem teremtő szakaszokra

Összeállította: Pál Károlyné

Schachmanow, J.; Ullmann, G.; Overmeyer, L.: Jedem Spritzgießbetrieb seine eigene Energiewende = Kunststoffe, 105. k. 6. sz. 2015. p. 56–59.

Schillig, R.-U.; Kalhöfer, E. stb.: Energieschwendung sichtbar machen = Kunststoffe, 105. k. 6. sz. 2015. p. 64–67.