

## Néhány adat a fröccsgépek CO<sub>2</sub>-lábnyomáról és energiahatékonyságáról

A korszerű fröccsöntő gépek környezetkímélőek és energiatakarékosak. A gépgyártók nagy erőfeszítéseket tesznek arra, hogy gépeik gyártása és alkalmazása révén minél kevesebb CO<sub>2</sub> kerüljön a levegőbe, és a gépek minél kevesebb fajlagos energiával dolgozzanak. Ez a kétféle cél szerencsére egy irányba mutat, ezért az energiatakarékos gépeknek egyúttal kisebb a CO<sub>2</sub>-lábnyoma. Jó tudni, hogy emellett termelékenységük is meredeken nőtt.

*Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; fröccsöntés; fröccsgépek; szén-dioxid; CO<sub>2</sub>-lábnyom; energiatkarékosság.*

A feldolgozógépek gyártóinak ma már nemcsak arra kell ügyelniük, hogy gyártmányaik műszaki színvonala lehetőleg jobb legyen, mint versenytársaiké, mert vásárlóik azt is elvárják, hogy azok minél kevésbé terheljék a környezetet. A környezet terhelését mindenekelőtt a gépek gyártása és üzemeltetése alatt kibocsátott szén-dioxid mennyiségével, az ún. CO<sub>2</sub>-lábnyommal jellemzik, de nem kevésbé fontos – mindenekelőtt a műanyag-feldolgozók számára – hogy ezek a gépek milyen hatásokkal használják fel az energiát. *Az energiatakarékossággal ugyanis egyszerre lehet költséget megtakarítani és környezetet kímélni.* A gépgyártók új gépeikkel maximálisan igyekeznek mind az ökológiai, mind pedig az ökonómiai elvárásokat kielégíteni. Elsősorban a hajtórendszerek energiahatékonyságát próbálják növelni.

### Egy új fröccsöntő gép teljes élettartama alatti CO<sub>2</sub>-kibocsátás elemzése

A KraussMaffei Technologies GmbH (München) részletes elemzés alá vette új GX sorozatú fröccsgépeinek szén-dioxid-kibocsátását teljes élettartamuk minden egyes szakaszában. A vizsgálatokat a nagy energiahatékonysággal és nagy termelékenységgel dolgozó hidromechanikus GX 550-4300 típusú kétlapos gépen végezték el.

A 2013-ban aláírt kiotói egyezményben az Európai Unió tagországai vállalták, hogy az üvegházhatású gázok (szén-dioxid, CO<sub>2</sub>; metán, CH<sub>4</sub>; dinitrogén-oxid, N<sub>2</sub>O) kibocsátását az 1990-es emisszióhoz viszonyítva 20%-kal csökkentik. A felsorolt gázok nagyon eltérő mértékben terhelik a környezetet, ha a CO<sub>2</sub> terhelését 100 évre vetítve 1-nek vesszük, a CH<sub>4</sub> hatása ugyanennyi idő alatt 21, az N<sub>2</sub>O-é 310. *Hogy a gázok károsító hatását össze lehessen hasonlítani, bevezették az ún. CO<sub>2</sub>-ekvivalenst,* és ezt alkalmazzák az üvegházhatású gázok környezetet veszélyeztető hatásának jellemzésé-

re. Ezt a hatást szokták CO<sub>2</sub>-lábnyomnak is nevezni. A *CO<sub>2</sub>-lábnyom meghatározására dolgozták ki az ISO 14040 jelzésű szabványt*, amely az üvegházhatású gázok emissziója mellett több más környezetre káros hatást is figyelembe vesz.

Az emisszió becslésekor a funkciós egységek várható CO<sub>2</sub>-ekvivalensét vették figyelembe. Egy fröccsöntő gépet üzemeltetése alatt nagyon különböző körülmények között működtetnek. Sokféle anyagot nagyon eltérő paraméterekkel dolgoznak fel rajta, ami erősen befolyásolja a klímaváltozásra gyakorolt hatást. Az elemzésben ezért az *Euromap 60.1 irányelvekben szereplő adatokkal számoltak*.

Egy rendszer tömeg-, térfogat- és energiamérlegét a rendszerbe beáramló (input) és az abból kiáramló (output) mennyiségek alapján lehet meghatározni. A rendszer határait – hogy milyen mennyiségeket vesznek figyelembe és milyeneket hagynak figyelmen kívül – előre el kell dönteni, mert ez nagyon erősen befolyásolja a végeredményt, és csak az azonos feltételekkel végzett számítások hasonlíthatók össze. Egy fröccsöntő gép nagyon összetett rendszer, és el kellett kerülni, hogy rengeteg apró és ismeretlen emissziójú elemmel kelljen foglalkozni, ezért a gép fontosabb elemeit összekötő – az energia, a térfogat és a tömeg mennyiségének <1%-t befogadó részeket – figyelmen kívül hagyták.

A gép élettartamának fő szakaszait – azaz gyártását, helyszínrre szállítását, üzemeltetését és anyagának újrahasznosítását – további finomabb szakaszokra, ún. folyamatmodulokra (Prozessmodul) bontották. Meghatározták az egyes folyamatmodulok energia és anyag input- és output-paramétereit. Az üvegházgáz-potenciált [T(XY)] az aktivitási adatok (AX) és az emissziós faktor (EFY) segítségével számították ki a következő módon:

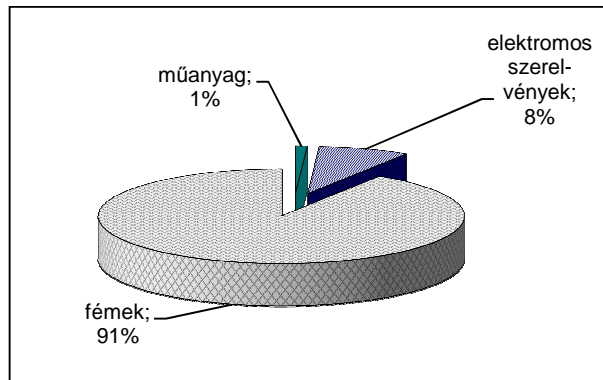
$$T(XY) = AX \cdot EFY$$

A számításokban nagy kihívást jelentett az, hogy a komplexitás növekedésével növekedett a szükséges adatok száma. Megszerzésükben elsősorban a fröccsgép adataira támaszkodtak. Ezekon kívül primer adatforrásokat (energiamérés, termék-adatlapok, üzemi adatok) használtak fel. Külső adatbankokból (Gemis, ELCD, „Umweltökonomische Gesamtrechnung”) is vettek át megbízható másodlagos adatokat. A sokféle elem közül a hasonló folyamatokban résztvevőket és azonos alapanyagokból készületeket összevonták, ezzel megkönnyítették az emissziós értékek becslését.

A KraussMaffei kb. 25000 kg tömegű GX 550-4300 jelzésű fröccsgépének gyártásakor a levegőbe kerülő üvegházhatású gázok környezetre gyakorolt hatása 79000 kg CO<sub>2</sub> gázéval azonos, ennyi a CO<sub>2</sub>-ekvivalensük (CO<sub>2-ekv</sub>). *Ennek 94%-a a fémek előállításakor képződik*. A gép műanyag építőelemei és az elektromos szerelvények jóval kisebb mértékben járulnak hozzá az emisszióhoz (1. ábra), annak ellenére, hogy fajlagos kibocsátásuk (emissziós faktoruk) nagyobb, de tömegük a gépben viszonylag kicsi.

A legerőteljesebb az emisszió a gép két (mozgó és álló) szerszámfelfogó lapjának gyártásakor, tömegarányban ez teszi ki a teljes CO<sub>2</sub>-ekvivalens 33%-át. Az öntöttvas alaplamezek tömege 8360 kg, emissziós faktoruk 3,3 kg CO<sub>2-ekv</sub>/kg; üvegházhatású gázokat kibocsátó potenciáljuk 27 600 kg CO<sub>2-ekv</sub>. Megmunkálásuknál (maráskor) az ehhez szükséges teljes villamos teljesítményt (371 kWh) és a különböző forrásokból

származó németországi áram átlagos emissziós faktorát (0,65 kg CO<sub>2</sub>-ekv/kWh) vették figyelembe. Az emissziós források között segédanyagok is szerepeltek, pl. egy hűtő/kenő folyadék, amely 92% vizet és 8% olajat tartalmaz. A szerszámfelfogó lapok gyártásának részletes emissziós jellemzőit az 1. táblázat tartalmazza. Látszik, hogy a gép ezen elemének gyártásakor mekkora szerepe van az alapanyagok az emisszió nagyságában.



1. ábra A GX 550-4300 fröccsgép gyártásakor kibocsátott CO<sub>2</sub> megoszlása anyagcsoportok szerint

1. táblázat

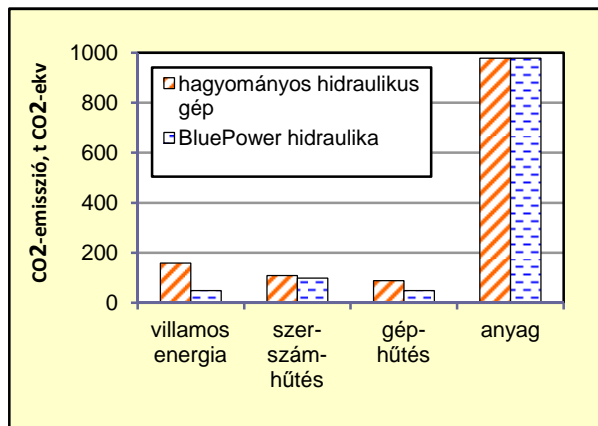
A GX 550-4300 típusú fröccsgép szerszámfelfogó lapjainak gyártásakor felszabaduló üvegházhatású gázokra jellemző emissziós értékek

Munkafázis/anyag	Aktivítási adat	Emissziós faktor kg CO <sub>2</sub> -ekv/kg	Gázkibocsátási potenciál kg CO <sub>2</sub> -ekv	Résarány %
Nyers lemezek gyártása	8364 kg	3,3	27601	98,6%
Megmunkálás	371 kWh	0,65	241	0,9%
Segéd- és üzemanyagok	244 kg	0,63	153	0,5%

Amikor a gép már a fröccsöntő üzemben dolgozik, a gépgyártónak nincs közvetlen ráhatása a CO<sub>2</sub>-emisszióra. Közvetve azonban igen. Energiatakarékos technológiával vagy pl. a gép vezérlésébe épített segédfunkciókkal „zöldebbé” teheti a berendezést. Az összhatás erősen függ a feldolgozott anyagtól és a gyártott formadarabtól (tulajdonképpen az alkalmazott fröccsszerszámtól), és az is számít, hogy milyenek az előkészítő berendezések. Nem közömbös pl., hogy a szükséges hűtőteljesítményt milyen hűtőtechnikával érik el.

A fröccsgép CO<sub>2</sub>-lábnyomát erősen kisebbítheti egy energiatakarékos technológia, amelyben a gép hajtástechnikája főszerepet kaphat. Ilyen pl. a KraussMaffei fordulatszám-szabályozással működtetett *BluePower* márkanévű hidraulikus hajtástechnikája, amellyel jelentősen csökkenthető a CO<sub>2</sub>-kibocsátás. A fordulatszám-szabá-

lyozás nélküli hidraulikus gépekhez képest ugyanis akár 60%-os árammegtakarítást lehet elérni. Ezáltal egy év alatt (250 munkanappal és 3-műszakos munkarenddel számolva) 90%-os gépkishasználás mellett 9%-kal csökkenhet az üvegházhatású gázok kibocsátási potenciálja (2. ábra).



2. ábra Egy hagyományos és egy BluePower hidraulikus hajtású fröccsgép egy évi CO<sub>2</sub>-emissziója a közvetlen forrás megjelölésével

A hajtástechnika mellett a gyártási folyamat optimalizálása is javíthatja a fröccsgép CO<sub>2</sub>-mérlegét. Ebben segíthet az MC6 szabályozórendszer, pl. az „Eco Button” funkcióval. Ha ezt a funkciót aktiválják, a gép önállóan beállítja a (felszabadított) folyamatparamétereket az energetikailag optimális értékekre. A szabályozórendszer ezt kellő intelligenciával teszi, és emiatt soha nem növekszik meg a ciklusidő, azaz nem csökken a termelékenység.

További pozitív hatása lehet egy újabb segédeszköznek, az ún. *heti órának*. Míg eddig a gyártás megindítása előtt a felfűtés megkezdését programoz-

ták be, a heti óra lehetővé teszi, hogy a gyártás megindításának idejét közöljék a géppel, amely kellő időben elkezd felfűteni magát. Így elkerülhető a szükségtelen áramfogyasztás, és a túlfűtött gép a környezetet sem melegíti feleslegesen.

Az elemzésből kiderült, hogy a felhasznált anyagok döntően befolyásolják a CO<sub>2</sub>-ekvivalenst, nemcsak a gépgyártásban, hanem a fröccsöntő üzemben is. A polipropilén emissziós faktora 1,6 kg CO<sub>2</sub>-ekv/kg, a poliamid 6-é 6,75 kg CO<sub>2</sub>-ekv/kg (az *Euromap 60.1* szerinti feldolgozási folyamatban); a PP egy évi fröccsöntése alatt 1372 t CO<sub>2</sub>-ekv, a PA6 4512 t CO<sub>2</sub>-ekv üvegházhatású gázt emittál, és ebbe nem számították bele a polimerek újrafeldolgozása alatt felszabaduló gázokat.

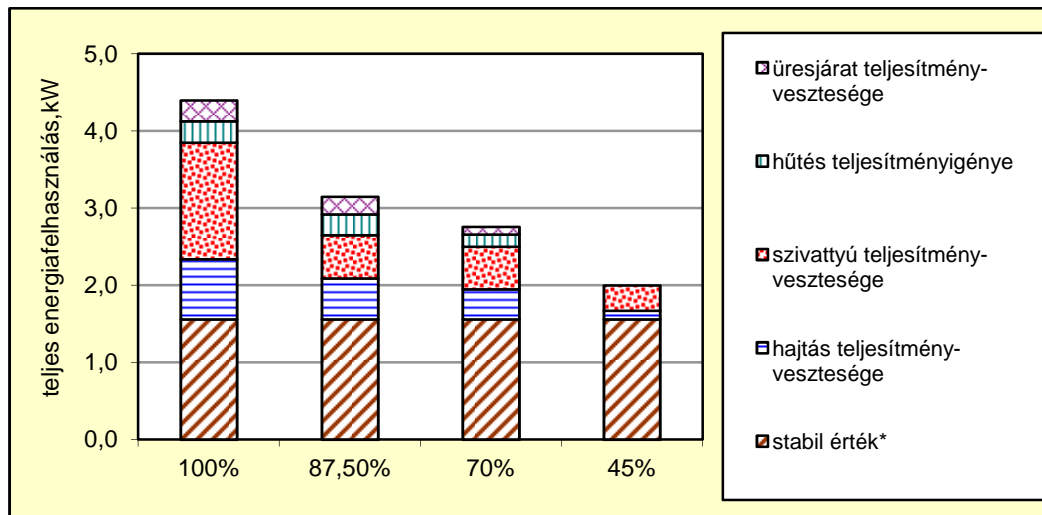
A számításokból az is egyértelműen kiderül, hogy a *fröccsöntő gép CO<sub>2</sub>-emissziójának közel 100%-a az üzemeltetési szakaszára esik*. Az első évben ennek részaránya kb. 93,6%, 18 évi üzemeltetés után már eléri a 99,6%-ot. A 18 évi üzemeltetésre számított emisszió 23011 t CO<sub>2</sub>-ekv, ezzel szemben a gép előállítása mindössze 79 t, a vele kapcsolatos szállítások 2 t, az újrahasznosítás 14 t CO<sub>2</sub>-ekv üvegházhatású gázzal terheli a környezetet.

## Fröccsöntő gép szervohajtással

Az EU 2012/27 számú irányelvei szerint a 250 embernél többet foglalkoztató, ill. 50 millió EUR-nál nagyobb éves forgalmat lebonyolító vállalatoknál négyévente a *DIN EN 16247-1 szabvány* előírásainak megfelelően a vállalat aktuális üzemi adataira támaszkodó energiaauditálást kell végezni. Ez alól csak azok a vállalatok mentesülnek,

amelyeknél bevezették a *DIN EN ISO 50001 szabványnak* megfelelő Energia- és Környezetmenedzsment rendszert. Az a vállalat, amely nem teljesíti az előírásokat, kemény büntetésre számíthat.

Ezeknek az ún. energiahatékonysági irányelveknek az a célja, hogy közös keretet adjon az Európai Unió tagállamaiban az energiahatékonyság növelésére hozott intézkedéseknek. A *fröccsöntő üzemekben elsősorban a gépek hajtórendszereit érdemes felülvizsgálni*. Hogy ennek mekkora jelentősége van, azt a 3. ábra tükrözi.



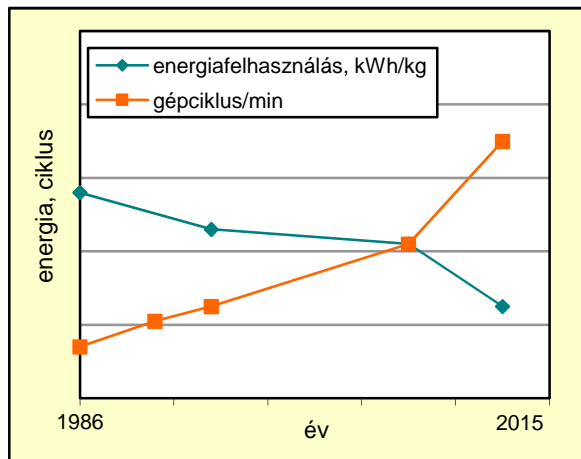
3. ábra Egy ciklus (ciklusidő 16 s, ebből 4 s a hűtés időtartama) alatt felhasznált energia különböző hajtású fröccsgépeken mérve. 100%: hidraulikus mennyiség szabályozás/szabályozószivattyú; 87,5%: nyomás- és mennyiség szabályozás elektronikus vezérlésű beállító (DFE) szivattyúval; 70%: variálható fordulatszámú aszinkronmotor beállító szivattyúval; 45%: szervohajtás (Boy). \*Stabil érték: a műanyag megömlesztéséhez és a gép mozgásához szükséges energia

Az 1980-as években kezdtek alkalmazni a hidraulikus rendszerekhez mennyiség szabályozó szivattyúkat, de ezek meglehetősen nagy tehetetlenséggel, lassan reagálnak. Összehasonlító mérések igazolták, hogy az ilyen hajtórendszerek sokkal több energiát igényelnek, mint a mai korszerű hajtások, amellet hűtésük is sok energiát fogyaszt, mert a folyamatosan járó aszinkronmotor a szivattyúval együtt nagy mennyiségű hőt ad át az olajnak. A nagy energiafelvétel következtében a gép a környezetbe is sok hőt bocsát ki.

1995-ben jelentek meg az elektronikus DFE rendszerek, amelyekben a beállító szivattyút egy elektromotor a fordulatszám változásával szabályozza. Ennek a rendszernek nagy előnye, hogy a nyomást és a szállított olaj mennyiségét nagyon rövid reakcióidőn belül tudja módosítani. A nyugalmi állapotból (üresjáratból) a maximális olajtér fogat szállításáig legfeljebb 5 ms-ra van szüksége. Ha a szivattyú éppen nem

dolgozik, a motor nyugalmi helyzetbe állítja. A rendszer hátránya, hogy az elektromotor akkor is tovább pörög. Ez a rendszer az előzőhöz képest 87,5% energiát igényel.

Az utóbbi években fejlesztették ki a variálható fordulatszámú aszinkronmotorokkal vezérelt beállító szivattyús rendszereket, amelyeket néha „szervo” jelzővel kínálnak. Valójában ezek nem valódi szervorendszerek, mert a variálható fordulatszámú aszinkronmotorral csak a szivattyú több meghatározott munkapontja között lehet választani, 0 fordulatszámnál nincs szabályozás. A rendszer energiaigénye a hidraulikusan szabályozotthoz viszonyítva 70%, hátránya a csekély dinamika és a még mindig viszonylag nagy energiafelhasználás.



4. ábra A fröccsgépek ciklusonkénti energiafogyasztásának és percenkénti ciklusszámának változása 1986 és 2015 között

fogyasztás folyamatosan csökkent, termelékenységük pedig meredeken növekedett (4. ábra).

A beállítószivattyúknál az olaj hőmérsékletét állandó 40 °C körül kell tartani, mert a hidraulikus rendszer viszkozitásérzékenysége miatt az áramló olaj mennyiségének szabályozása csak nagyon szűk hőmérséklet-tartományt enged meg. A szervomotoros szivattyúrendszer ezzel szemben már 27 °C-on is működőképes, és ez a gyártás beindításakor időt és energiát takarít meg. Ha hidraulikaolajként a Boy cég *EconFluid* márkanévű folyadékját használják, a gép akár 18 °C-on beindítható, legtöbb esetben nincs is szükség az olaj előmelegítésére. Az *EconFluid* viszkozitása alacsony hőmérsékleten kisebb, magasabb hőmérsékleten nagyobb a szokásos hidraulikaolajokénál. Ezt a tulajdonságát a *Dynavis* technológiának és az *Evonik Industries AG* (Essen) cég egy adalékának köszönhetik. Az optimalizált viszkozitás csökkenti a gépben a hidraulikus veszteséget, ennek következménye a kisebb felmelegedés, a csekélyebb mértékű hűtés, végül is az energiahatékonyság növekedése. Ennek a hidraulikafolyadéknak az alkalmazásával a cégnél végzett egyik fröccsöntési kísérletben 10%-os energiamegtakarítást értek el.

A Dr. Boy GmbH & Co. KG (Neustadt-Fernthal) 2008-ban első európai fröccsgépgyártóként kezdett előállítani korszerű szervohajtást konstans szivattyúval, amelyben az olaj mennyiségét a fordulatszám változtatásával szabályozzák. Ez a változat nagyon dinamikus, nyugalmi állapotból 70 ms alatt pörög fel a maximumra. Ha a szivattyúnak nem kell dolgoznia, a szervomotor kikapcsol és nem fogyaszt áramot. Emiatt a hajtórendszer a hidraulikusan szabályozott rendszerekhez képest csak 45% energiát igényel. Az energiatakarékos gépek nemcsak kevesebb energiát fogyasztanak, hanem rövidebb ciklusidőkkel is dolgoznak. A gépek fejlesztése nyomán az energia-

Számítani lehet arra, hogy a jövőben a megrendelőket nem csak a gép ára fogja érdekelni, hanem az is, hogy mekkora költségeket kell ráfordítani teljes élettartama alatt, amelyek jelentős részét képezik az energiaköltségek. Az utóbbiak a Boy cég *E-sorozatú* gépeinek alkalmazásakor – a 250 kN záróerejű *Boy 25E-től* a 1000 kN-os *Boy 100 E-ig* – igen csekélyek. Karbantartásukra sem kell sokat költeni.

Egy fröccsöntő üzem vezetője meggyőződött arról, hogy a legkedvezőbb árú gép megvásárlása nem mindig a leggazdaságosabb beruházás. A Boy cégtől vásárolt szervohajtású gépükön 55%-kal kevesebb energiával tudják termékeiket előállítani, mint hagyományos hidraulikus gépeiken.

Összeállította: Pál Károlyné

Schiffers, R.; Albert, A.: Der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck einer Spritzmaschine = Kunststoffe, 105. k. 6. sz. 2015. p. 60–63.

Ifland, A.: Energieeffizienz – die Antwort auf steigende Strompreise = Kunststoffe, 106. k. 3. sz. 2016. p. 104–106.