

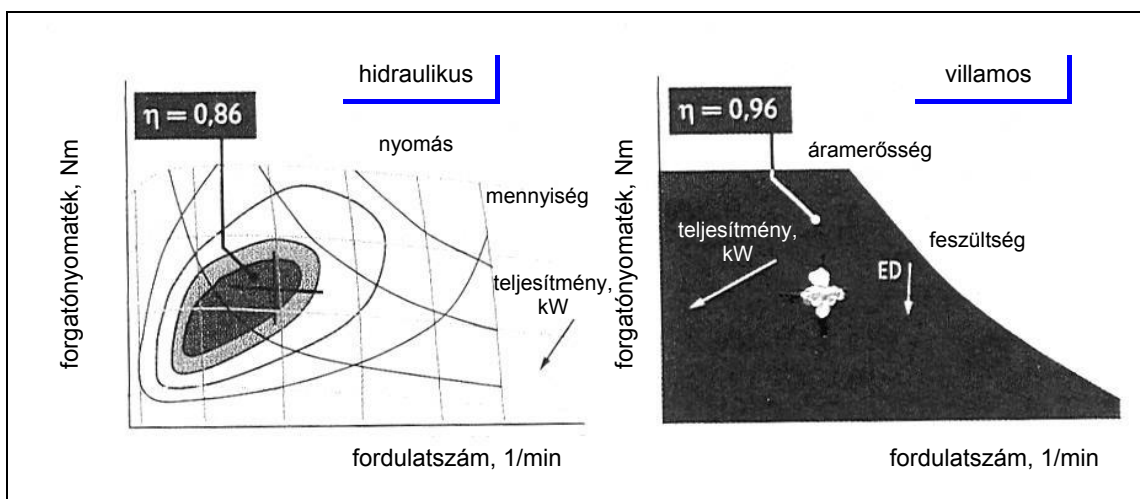
Milyenek lesznek a jövő fröccgépei?

A fröccgépek tervezésében ma a legfontosabb szempont az energiatakarékosság. Még nem dőlt el, hogy a hidraulikus gépek korszerűsített változatai, a teljesen villamos hajtású gépek vagy esetleg a hibridek lesznek-e a győztesek. A gépgyártók nem egységesek ebben a kérdésben, és mindenki igyekszik a saját elveinek előnyeit hangsúlyozni.

Tárgyszavak: fröccsöntés; fröccsöntő gép; energiamegtakarítás; hajtás; hidraulikus; villamos; hibrid; szervomotoros.

A különböző elven alapuló fröccgépek energiaszükségletének összehasonlítása

Az **Engel Austria GmbH** (Schwertberg) munkatársai különböző elvek alapján felépített fröccgépek különböző elemeinek és funkcióinak energiafelhasználását elemezték és hasonlították össze. Azt, hogy a felépítés elve milyen nagy mértékben befolyásolhatja az energiaköltségeket, egy teljesen hidraulikus 2800 kN záróerejű és egy teljesen elektromos 3800 kN záróerejű fröccsgép példáján érzékeltetik, amelyet ugyanazzal a szerszámmal üzemeltettek. A fészekbe fröccsentett anyag tömege 100 g, a ciklusidő 7,5 s volt. A hidraulikus gép fajlagos energiafelvétele 0,86 kW/kg, az elektromechanikus hajtásúé 0,42 kW/kg volt.



1. ábra A feldolgozási ablak (sötét terület) hidraulikusan (bal oldali kép) és villamosan hajtott adagolórendszerrel (jobb oldali kép)

A rendkívül nagy különbség miatt elsőként az adagolórendszer működtetésének jellemzőit elemezték. Ha a két különböző hajtású gép hatásgörbéit ún. kagylódiagram formájában egymás mellé helyezik (1. ábra), kitűnik, hogy a hidraulikus adagolóhajtás hatásfoktartománya mindenekelőtt a nyomástól és az anyagmennyiségtől függ. Az ezáltal kijelölt optimális feldolgozási ablak kiterjedése (az ábrán a sötét terület) erősen korlátozott. Nem mindegy tehát, hogy a adagolást pl. 140 vagy 70 bar nyomással végzik-e. Villamos hajtás mellett ezt a területet egyrészt az áramerősség, másrészt a feszültség határozza meg. Eltekintve attól, hogy a villamos hajtású gép hatásfoka nagyobb a hidraulikus hajtásúénál, sokkal nagyobb a feldolgozási ablak területe is. Ezen belül nincs nagy jelentősége annak, hogy a hajtórendszer melyik üzemeltetési ponton (fehér kereszttel jelölve) dolgozik.

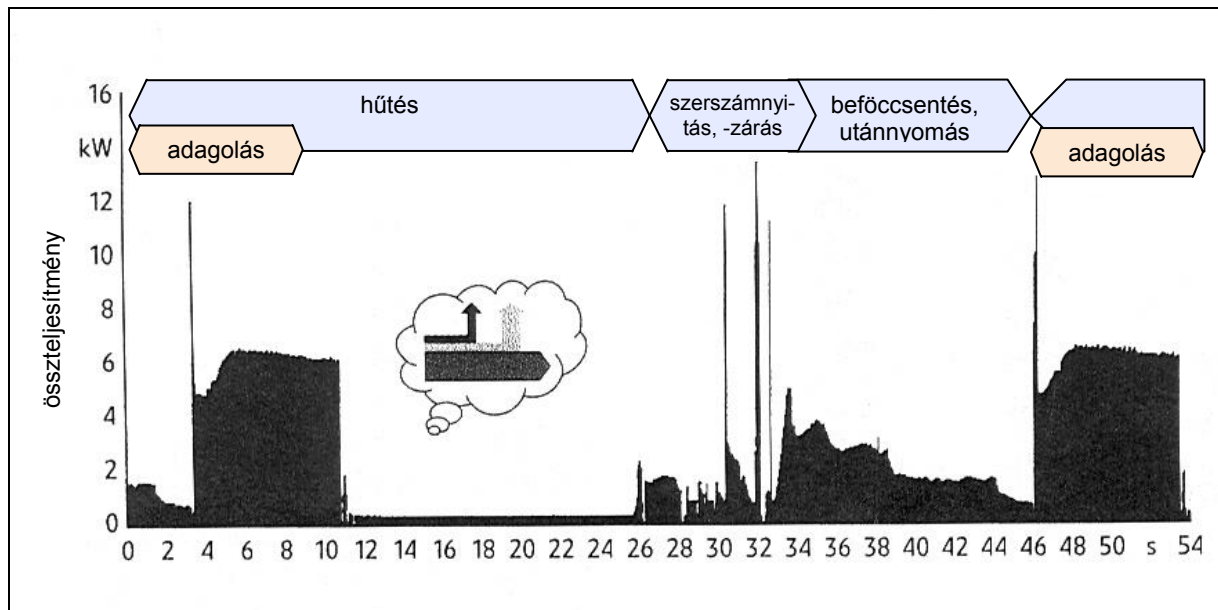
A korszerűsített hidraulikus és a teljesen villamos gépek hajtórendszerének energiafelvétele

A fröccsgép teljes hajtástechnikájának energiafelvételre gyakorolt hatását egy hagyományos hidraulikus gépen és ezzel összehasonlítható, de korszerűsített hajtástechnikával ellátott gépeken mérték, és összehasonlították a teljesen elektromos hajtású gépekével. Valamennyi gépen 103 g-os fröccsadaggal és 32 s-os ciklusidővel ABS fedeleket gyártottak. Az elektromos szabályozószivattyúval (EHV, elektro-hydraulisch verstellbare Pumpe) felszerelt gép majdnem 20%-kal kevesebb energiát igényel, mint a hidraulikus szabályozószivattyúval dolgozó gép. Teljesen villamos hajtású géppel a hajtórendszer energiájának fele takarítható meg.

A hidraulikus fröccsgépek hajtástechnikája az elmúlt időszakban sokat fejlődött. Egy közepes méretű konstans szivattyúval ellátott hagyományos fröccsgép energiafelvétele kb. 40 kW; ebből 3 kW a nyomáscsökkenés miatti és 17 kW az anyagvesztés miatti energiavesztés. Ha a hajtórendszert P/Q szabályozószivattyúval (P = teljesítményfelvétel, Q = szállított folyadékáram) vagy elektromos EHV szivattyúval látják el, az energiafelvétel jelentősen, kb. 20, ill. 18 kW-ra csökken, és a nyomáscsökkenés okozta veszteség 2 kW körül van. Az európai fröccsgépekbe általában EHV szivattyút építenek be, de a fejlesztés folyamatos. Függetlenül attól, hogy hidraulikus vagy szervoelektromos hajtórendszert alkalmaznak, a fröccsöntés valamennyi mozzanatánál elvégzik az elemzést, az energiamegtakarítás érdekében valamennyi komponens hatásfokát növelni, az üresjáratok veszteségét pedig csökkenteni igyekeznek. A 2. ábra egy teljes fröccsciklus teljesítményfelvételét érzékelteti. Ebből látható, hogy bizonyos időszakokban egyáltalán nincs szükség energiabevitelre.

A szervomotorok alkalmazása a hidraulikus szivattyúk hajtására újabb energiamegtakarítást tesz lehetővé. Ezek nyugalmi helyzetből 100 ms alatt tudnak a maximális fordulatszámra felpörögni. A szervomotort tartalmazó szivattyú fajtájától (konstans vagy szabályozható típus) függetlenül az a fordulatszámmal arányosan szállítja a szükséges olajmennyiséget. Nyugalmi állapotban (ilyen a hűtés időtartama) a szivattyú „üresjáratban” dolgozik, ezáltal az általa szállított átlagos olajmennyiség és az átlagos nyomásszint sokkal kisebb, mint az EHV szivattyúkban. Ha egy nagy hatású

belső fogazású fogaskerék-szivattyúhoz vagy egy P/Q blokkal optimalizált hidraulikához alkalmaznak szervomotort, ugyancsak jelentős energiamegtakarításra lehet számítani.



2. ábra Egy teljes fröccsciklus energiafelvétele az idő függvényében (a „felhőben” látható nyilak a nyomásvesztés és az anyagvesztés miatti energiavesztéseket jelzik)

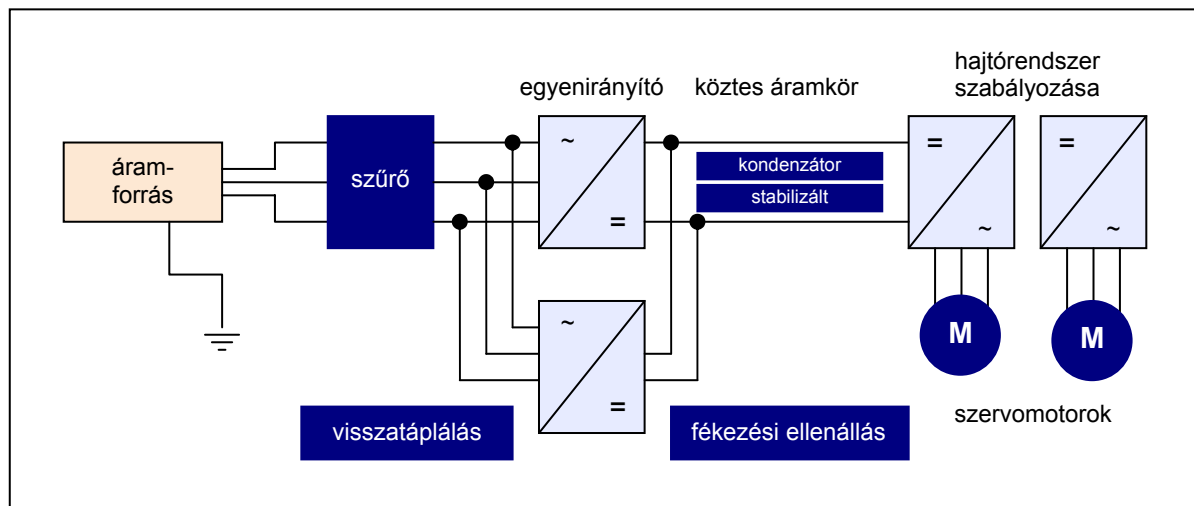
A szervomotoros szabályozószivattyúk alkalmazásával és az üzemeltetési pont intelligens optimalizálásával karöltve (a lehető legkisebb szállítási térfogattal dolgozva) tovább javítható az energiamérleg. A szervotechnika az elmúlt években sokat fejlődött, nőtt a motorok teljesítménye, javult a dinamikájuk. Sokat fejlődött maga a szabályozástechnika is, amelyhez ma már rendelkezésre áll a megfelelő számítógépes teljesítmény.

Megtakarítást el lehet érni a hidraulikus és a villamos hajtású gépeken is

A legújabb szervomotoros hidraulikus fröccsöntő gépek energiaigénye 25%-kal kisebb, mint az EHV szivattyúval felszereltéké, és ezáltal évente 1300 EUR energia-költséget lehet megtakarítani. Ezeknek a korszerű hidraulikus gépeknek az energiafelvétele ma már megközelíti a teljesen villamos fröccsgépekét. Ha a hidraulikus gépeken hidraulikával mozgatott kidobókat tartalmazó szerszámmal dolgoznak, energiamérlegük akár kedvezőbb is lehet, mint a villamos gépeké, mert a szerszám „ingyen” kapja a hajtórendszerből az olajat.

A korszerű villamos fröccsgépeken szűrő és fojtótekercs egyenlíti ki a hálózati áram ingadozásait, egyúttal védi az egyenirányító elektronikáját. Az egyenirányítóból

az egyenárammá alakított váltóáram egy köztes áramkörbe kerül, amely ellátja árammal a hajtás szabályozórendszerét és a motorokat. A fékrendszerekből a felfogólapok fékezési energiáját visszatáplálják a köztes áramkör kondenzátoraiba, és felhasználják más tengelyek gyorsítására (3. ábra). A kisebb és a közepes gépeken a visszatáplált energiának csekély a szerepe.



3. ábra Egy korszerű villamos fröccsgép felépítésének vázlata

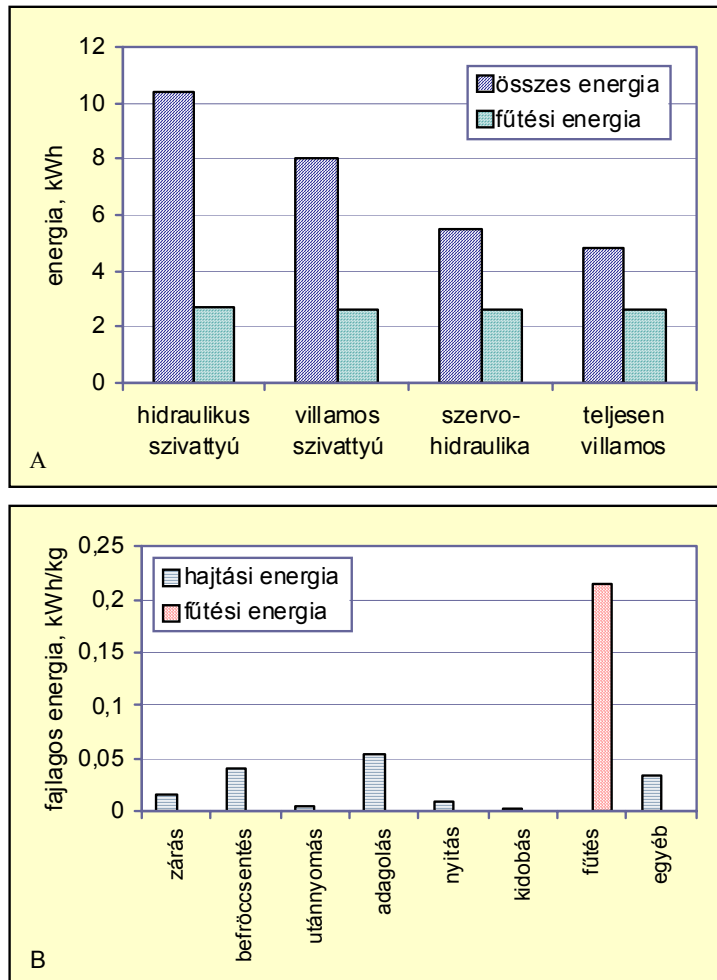
A mai hajtási elvek stabilizált köztes áramkört igényelnek. Ezekben a feszültséget 650–800 V-ra növelik. Ezáltal a gépek mentesülnek az áramköri ingadozás hatásaitól és állandó teljesítményre képesek, akár Európában, akár az USA-ban működtetik őket. A feszültségnövelés következtében a nagyobb hajtóteljesítmény azonos áramerősség mellett érhető el. Így a hajtórendszer a határteljesítményig kihasználható.

A legtöbbet a fűtési energián lehet spórolni

Az energiatakarékos hajtástechnika fejlesztése során arról sem feledkeztek meg, hogy a gép és a teljes ciklus teljes energiaszükségletét is mérsékeljék. Az elemzések kiderült, hogy a hajtáshoz felhasznált energia folyamatos csökkenése mellett a fűtéshez felhasznált energia mennyisége nem változott (4/A ábra). Az 4/B ábra pedig azt mutatja, hogy a fűtésnek a legnagyobb a fajlagos energiaigénye. A felhasznált fűtési energia egyenes arányban volt a felület nagyságával és a hőveszteséggel. Mérsékelni lehetne az energiafelhasználást a henger és ezáltal az anyaghőmérséklet csökkentésével, de az emiatt szükséges nyomásnövelésre általában nincs lehetőség, és romlana a termék minősége is. Ezért inkább a hőveszteséget gátolják a henger hőszigetelésével. Ezzel az egyszerű beavatkozással legalább 20–25% energiát lehet megtakarítani. További energiát lehet megtakarítani a henger elszívórendszerének szigetelésével és az indukciós fűtés bevezetésével, amely megrövidíti a felfűtés időtartamát.

A kiindulópont az anyagkihozatal és a ciklusidő

A fröccsöntők minél nagyobb anyagkihozattal szeretnének elérni minél kisebb energiával. *Alapvető megfigyelés, hogy ha nagyobb a befröccsentett anyag tömege, kisebb a fajlagos energiafelhasználás.* Törekedni kell ezenkívül a plasztikálógység minél jobb kihasználására és a ciklusidő csökkentésére.



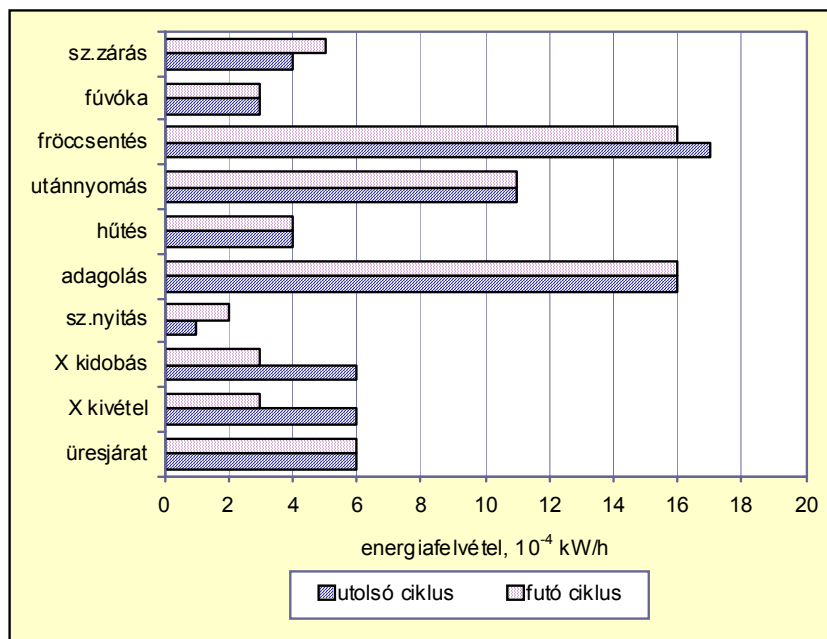
4. ábra

Az összes felhasznált energia és a fűtési energia változása a hajtórendszerek fejlesztése folyamán (A kép), ill. a hajtórendszer fajlagos energia-felvétele a ciklus különböző szakaszaiban a fűtési energiával összehasonlítva (B kép)

A fröccsgép beállítását a rövidebb ciklusidő elérésére úgy kell optimalni, hogy a gyártmány minősége ne romoljék. Ehhez nagy figyelmet kell szentelni a záróoldali mozgásokra. Ezért egy 1800 kN záróerejű teljesen villamos fröccsgép záróoldali mozgásait különbözőképpen variálták, közben megfigyelték és elemezték az energiafelvételt. Külön-külön vizsgálták a fröccsciklusban csak egyszer megjelenő tevékenységek (nyitás, zárás, kidobás) energiaigényét, amelynek nagysága a feldolgozott anyagmennyiségtől függ. Ha a beállított sebességek, gyorsulások és erők változatlanok, a mozgások energiaigénye akkor sem változik, ha megduplázódik a hűtés időtartama vagy a formadarabot nagyobb falvastagsággal készítik el. Első közelítésben feltételezhető, hogy a befröccsentéshez szükséges munka lineárisan változik a befröccsentett anyag mennyiségével.

Kizárólag az időtől függ a hőveszteség, továbbá az üresjárat és a vezérlés energiafelvétele. Ezek az energiakomponensek egységnyi időre számítva állandóak. A zárómozgások optimalizálásának ezért pozitív hatása van a ciklus hosszától függő energiakomponensekre. A teljes energiafelhasználáson belül azonban ez csak nagyon kis energiahányadot jelent, a nyitási út optimalizálása kb. 1,7%-ot, a záróerő csökkentése kb. 2,4%-ot, a zárási sebesség csökkentése kb. 4,2%-ot, a nyitás sebességének csökkentése kb. 4,9%-ot.

Ezért a fröccsöntő üzemben fontos azt tudni, hogy egy-egy változtatás hogyan hat az energiafelhasználásra. Egy gépkocsiban a vezető az üzemanyag-felhasználást jelző műszeren egy pillantással megtudja, hogy mennyire takarékosan vezet, és azonnal megváltoztathatja vezetési stílusát. Ehhez hasonlóan meg kellene adni a fröccsgépen dolgozónak is azt a lehetőséget, hogy a gép energiafelhasználását bármikor ellenőrizhesse. Egy ún. „elemzőszerszámmal” (Analysetool) (5. ábra) egyszerűen megállapítható, hogy a gépbeállítás valamilyen megváltoztatása hogyan hat az energiafelvételre.



5. ábra
Az elemzőszerszám jelzi a beállítónak az előző és az aktuális ciklus energiafelvételét a ciklus szakaszai szerinti felbontásban. Ezért közvetlen információt kap arról, hogy egy-egy beállítási lépés (X-szel jelölve) hogyan hat az energiafelhasználásra

Takarékoskodni minden mozzanatban lehet

A feldolgozó a gyártandó terméktől függően dönti el, hogy milyen géptípussal, milyen nagyságban és milyen plasztikálóegységgel akar dolgozni. A döntés után megbecsülik az energiaeloszlást. A fűtés használja fel az összes felvett energia felét. Egy korszerű hajtórendszerrel – pl. szervohidraulikával – a hajtáshoz szükséges energia 25%-át takaríthatják meg, a henger szigetelésével 20%-kal kevesebb fűtési energiára van szükség. Célzott folyamatoptimalizálással tovább 5%-ot nyerhetnek.

Ezek az értékek természetesen nem érvényesek általánosan, a mindenkori alkalmazási körülményektől függenek. Csupán példaként tekintendők, amely a legfontosabb megtakarítási lehetőségekre hívja fel a figyelmet, és amelyek révén csökkenthető a fröccsöntő gépek energiafogyasztása.

És mi van az Engel cég tarsolyában?

Az Engel Austria cég legutóbbi fejlesztése az *EcoDrive* szervo-hidraulikus technológia, amelyet műszaki cikkek fröccsöntésére kínál. Ezzel a technológiával készített fröccsgépükben megközelítették a teljesen villamos gépek alacsony energiaigényét.

A fenti elv alapján készült a *Victory 330/120*-as géptípus, amelyen polipropilén-csővekhez 87,2 g-os fittingeket gyártanak maghúzással. A variálható standard változó teljesítményű szivattyú (Verstellpumpe) hajtórendszerének 0,722 kWh/kg fajlagos energiafogyasztása az *EcoDrive* rendszerrel 0,465 kWh/kg-ra csökkent. A hibrid hajtású *e-Victory* fröccsgép ugyanebben az alkalmazásban 0,415 kWh/h, a teljesen villamos *e-Motion 310/100* típusú gép *EcoDrive* maghúzással 0,375 kWh/kg energiát igényelt.

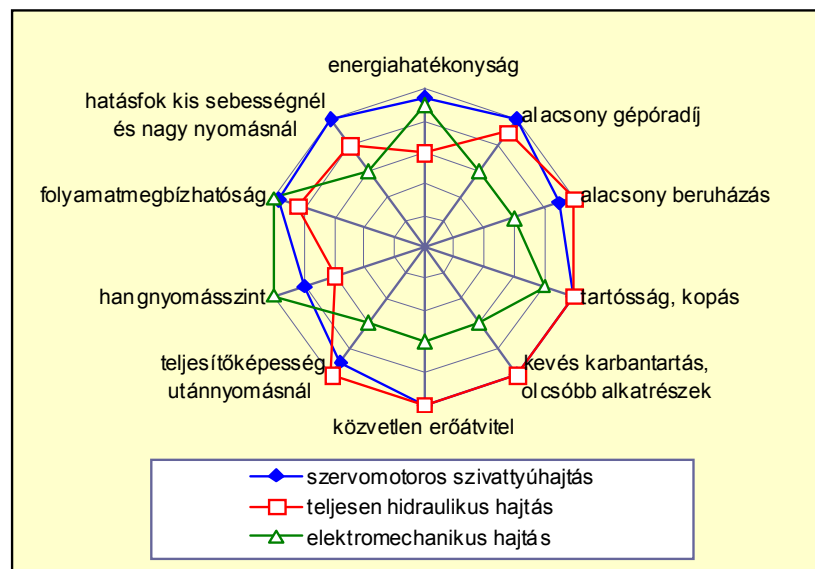
A cég törődik a hengerrel is, amelynek szigetelése akár 40%-os energiamegtakarítást eredményezhet, és a beruházás két év alatt megtérül. A csigákat és hengereket gyártó **Xaloy** cég *xnHeat* elnevezésű indukciós hengerfűtésével a fűtési energia 70%-a takarítható meg.

Egy németországi fröccsöntőgépgyártó is a szervomotoros technika mellett tette le a voksát

A **Dr. Boy Spritzgießautomaten** (Neustadt-Fernthal) E-jelzésű fröccsgépsorozata a *szervomotoros szivattyúhajtást* helyezte előtérbe

Európában ma a leggyakoribbak az aszinkronmotorral működtetett, elektronikusan vezérelt változó teljesítményű szivattyúval ellátott hidraulikarendszerek. A közelmúltban számos gyártó úgy vélte, hogy a jövő a teljesen villamos (elektromechanikus) fröccsgépeké lesz, amelyeken minden egyes tengelyt külön szervomotor hajt a szükséges mechanikus irányváltó egységek (áttételek, orsók) segítségével. Kétségtelen előnyeik mellett az elektromos fröccsgépeknek is vannak hátrányai. Nagyok a beruházási költségek, magasak a karbantartási költségeik, nagy a kopás az orsóknál, az orsók kenése szennyezi a záróegységet, bekapcsoláskor aránytalanul nagy az energiafelvételük, a befröccsentési erők szabályozása nem tökéletes. Az érzékelőként legtöbbször használt nyúlásmérő bélyegek gyorsan öregszenek, néhány éven belül a hozzájuk tartozó bonyolult elektronikával együtt cserélni kell őket, és emiatt a gépek javítása gazdaságtalanná válik. További hátrányt jelent a sok tengely hajtása. Az elektromos gépek elméleti hatásfoka nagyobb a hidraulikus és hibrid gépeknél, amit a gyakorlatban az egyes energiaátvivő egységek nyugalmi helyzetben bekövetkező veszteségei ezt leontják. Ez abból adódik, hogy az elektromos vezérlés, a ventilátor és további gépelemek pl. a maghúzó, az egyes tengelyek nyugalmi helyzetében is áramot vesznek fel.

A szervomotoros szivattyúhajtás az elektronikusan vezérelt szivattyúval dolgozó hidraulikus és a teljesen villamos hajtású fröccsgépek előnyeit egyesíti. Az ilyen gépekben az állandó szállító teljesítményű szivattyút szervomotor hajtja. A szállított folyadék mennyiségét és a nyomást a fordulatszámmal rendkívül dinamikusan lehet szabályozni; ha viszont nincs szükség folyadék szállításra vagy nyomásra, akkor a motor nyugalmi helyzetbe kerül, és nem vesz fel energiát. De a motor a nyomásszabályozás fázisában (az utónyomás időtartama alatt) is a legkisebb szükséges fordulatszámmal forog, azaz a nyomás fenntartásához a legkevesebb energiát használja fel. A cég E-sorozatú gépeiben a hidraulikát áramlástechnikailag is optimalizálták, ezért az új hajtórendszer nagyobb teljesítőképességét maximálisan ki tudják használni. A korábbi DFE (elektronikusan szabályozott nyomás- és áramlásszabályozású) rendszerrel szemben az új rendszer energiaigénye 50%-kal, zajszintje 20%-kal csökkent, dinamikája 10%-kal növekedett. A ma még általánosan használatos hidraulikus DFR (nyomással szabályozott áramlású) gépekkel összehasonlítva akár 70%-os lehet az energiamegtakarítás. A három alapvető hajtási elvvel működő gép energiaviszonyainak összehasonlítása a 6. ábrán látható.



6. ábra A fröccsöntő gépek három alapvető hajtásformájának összehasonlítása

Néhány gyártó kiáll a teljesen villamos hajtás mellett, de nem tagadja meg a hibrideket sem

A feldolgozók közül sokan vásárolnak teljesen villamos hajtású fröccsgépet annak alacsony energiaigénye miatt, és van aki a közeljövőben az ilyen gépek élre töré-

sére számít, nemcsak az iparcikkek gyártásában, hanem a csomagolóeszközök előállításában is.

A **KraussMaffei** csoporthoz tartozó **Netstal** cég (Näfels, Svájc) a jövőben 200 tonnáig kizárólag teljesen elektromos vagy hibrid gépeket gyárt. A 2010-es düsseldorfi műanyag-kiállításon pedig bemutatta eddig gyártott 200 és 280 *Elion* hibrid fröccsgépeinek elektromechanikus változatát, amelyeken 1,3–1,4 s-os ciklusidővel lehet dolgozni. A következő két évben *Synergy* típusnevű hidraulikus gépeit is villamos hajtásúvá alakítja át. Véleménye szerint a feldolgozók ilyen nagy sebességű gépeket keresnek, elsősorban a nagyon vékony falú csomagolóeszközök gyártásához. A **KraussMaffei** egy szakértőjének kétségei vannak afelől, hogy a gyors villamos gépek volnának-e az optimálisak a vékony falú csomagolóeszközök gyártásához. A 0,1 s-os ciklusidővel gyártott fedelek esetében 0,1 s alatt kellene 400–500 kW-ot betáplálni a rendszerbe, ami nagyon költséges volna, különösen egy vékony fedél elkészítésére.

A **Husky Injection Molding Systems** (Bolton, Ontario, Kanada) első elektromos fröccsgépeit *Hymed AE*, ill. *HyPET AE* elnevezéssel orvosi eszközök és PET előformák gyártására fejlesztette ki. Vékony falú csomagolóeszközök fröccsöntésére – a Netstaltól eltérően – továbbra is *Hylectric* típusnevű hibrid gépeit ajánlja.

A **BMB** (Brescia, Olaszország) bátrabban vágott bele a teljesen villamos hajtású fröccsgépek gyártásába; nyolc éve szállítja ezeket a gyors járású feldolgozógépeket megrendelőinek. Új villamos hajtású *eKW* típusú gépe 450 tonnás; emellett *eKW* típusú, 1150 tonnás hibrid gépet is kínál, a közeljövőben pedig megjelenik az utóbbi 1800 tonnás változata. A legújabb gépen ugyanolyan szerszámfelfogó rendszer lesz, mint a villamos gépeken, a mozgatót közvetlen motorok végzik; kizárólag a befröccsentést bízzák a hidraulikára. A cég azonban nem fél attól, hogy az elektromos gépek „kimennek a divatból”. Eddig kb. 500 teljesen villamos fröccsgépet adott el, és még egyetlen gépen sem kellett motort cserélni. Tapasztalatuk szerint ritka az olyan cég, amely egy villamos fröccsgép beszerzése után visszatér a hidraulikus gépek alkalmazására.

A **Negri Bossi** (Milano, Olaszország) a 2010-es düsseldorfi műanyag-kiállításon mutatta be első, *Vesta* elnevezésű teljesen elektromos fröccsgépét nagy pontosságú, tisztatérben gyártott termékek előállításához. A cég szerint sem a teljesen villamos, sem a teljesen hidraulikus gépek nem alkalmasak bármilyen termék fröccsöntésére, a 120–850 tonnás tartományban inkább *Janus* típusnevű hibrid gépeit ajánlja. A cég úgy véli, hogy a hagyományos hidraulikus gépek energiafelhasználását is tovább lehet fejleszteni, és az ilyen gépek nagyon hasznosak lehetnek több mozgatható magot tartalmazó szerszámok üzemeltetésére. Ilyen gép a cég *Canbio* típusú hidraulikus fröccsgépének legutóbbi változata. Az ezen alkalmazott változtatható sebességű motorok, a töltő-ürítő szivattyúk és egy új szoftver együttesen 15–40% energiamegtakarítást eredményezett.

A **Wittmann Battenfeld** (Kottingbrunn, Ausztria) teljesen elektromos *EcoPower* fröccsgépeit az 55–240 tonnás záróerő-tartományban gyártja. A gépek a hajtásnál viszonylag keveset energiát a szabályozórendszer működtetésére és a henger fűtésére használnak fel. A 110 tonnás gépen a fajlagos energiafelhasználás ennek köszönhetően mindössze 0,3 kWh/kg.

Az **Arburg GmbH + Co** (Loßburg, Németország) egészen a közelmúltig ellenállt a villamos gépek gyártásának, ehelyett *HiDrive* típusú hibrid gépeinek felső határát tolta ki 500 tonnás *920H* jelzésű gépének kifejlesztésével. A gépet a düsseldorfi kiállításon mutatták be. A jég azonban ez év tavaszán megtört, a 2011. március 23-án a cég telephelyén tartott „műszaki napon” az érdeklődők megismerkedhettek a cég első villamos fröccsgépeivel, amelyeknek egyelőre 60, 100, 150 és 200 tonnás változatai vannak.

Nemcsak a hajtórendszert fejlesztik

A **KraussMaffei** cég bemutatta új *Blue Power HPS* típusú csigáját, amellyel polietilén feldolgozásakor 0,017 kWh/kg entalpia takarítható meg. Évi 1600 tonna feldolgozásakor a megtakarítás 1992 EUR lehet.

A **Sumitomo (SHI) Demag Plastics Machinery GmbH** (Schwaig, Németország) a szerszámzárás egy korábbi mechanikus változatát (toggle clamp, egy kar le-fel mozgásával nyitható vagy zárható mechanikus rögzítőelem) újította fel nagyobb villamos fröccsgépein. Véleménye szerint ez hidraulikus gépeken is hasznos lehet, mivel a szerszámzárás fenntartásához nincs szükség energiára.

Összeállította: Pál Károlyné

Dimmler, G.; Giessauf, J.; Hochreiter, E.: Gezielte Verbrauchssenkung = Kunststoffe, 101. k. 2. sz. 2011. p. 40–45.

Ludwig, F.-J.; Kaiser, M.: Hydraulik schlägt Vollelektrische = Plastikverarbeiter, 61. k. 6. sz. 2010. p. 30–32.

Machine builders clamp down on energy usage = European Plastics News, 37. k. 10. sz. 2010. p. 16, 18.

Wink, D.: Arburg launches low-cost, all-electric line = Plastics News, 2011. márc. 28., www.highbeam.com/doc/1G1-252875723.html