

Smjerovi razvoja ubrizgavalica za injekcijsko prešanje plastomera

ISSN 0351-1871

UDK 678.057

Pregledni rad / Review article

Primljeno / Received: 20. 10. 2003.

Prihvaćeno / Accepted: 15. 12. 2003.

Sažetak

Iako postoji veliki broj postupaka injekcijskoga prešanja polimera temeljnim se smatra visokotlačni postupak. Uspješna preradba injekcijskim prešanjem temelji se na usklađenom izboru i radu elemenata sustava za injekcijsko prešanje kojega čine ubrizgavalica, kalup i temperiralo. U radu su razmotrene tri izvedbe gradnje ubrizgavalica: hidraulična, hibridna i potpuno električna. Opisane su prednosti i nedostaci pojedinih izvedbi tijekom rada.

KLJUČNE RIJEČI

ubrizgavalica
hidraulična
hibridna
potpuno električna

KEYWORDS

injection moulding machines
hydraulic
hybrid
all electric

Trends in the development of injection moulding machines for thermoplastics

Summary

There are many procedures of injection moulding of thermoplastics, the basic one being the high-pressure procedure. Successful injection moulding is based on a co-ordinated choice and operation of elements of the injection moulding system, which consists of the injection moulding machine, mould and temperature controller. In this paper three concepts of construction of injection moulding machines are considered: hydraulic, hybrid and all-electric. Their advantages and disadvantages in operation are described as well.

Uvod / Introduction

Sve raščlambe pokazuju da će pri proizvodnji polimernih tvorevina injekcijsko prešanje i dalje zadržati svoje vodeće mjesto među cikličkim proizvodnim postupcima. To vrijedi kako za svijet tako i za Hrvatsku. Za uspješno injekcijsko prešanje potreban je sustav kojega čine: ubrizgavalica (stroj), kalup i uređaj za temperiranje.¹

Do danas je razvijeno više od 150 inačica toga preradbenog postupka, ali se injekcijsko prešanje plastomernih taljevina i dalje sma-

tra temeljnim postupkom.² Razvoj različitih inačica ovoga postupka izazvao je značajne promjene i na opremi za injekcijsko prešanje.

Središte razmatranja u radu je ubrizgavalica, koja u pravilu predstavlja najveću stavku pri nabavci nove opreme. Stoga je smislen kraći prikaz novosti upravo u gradnji tih strojeva, uz navođenje prednosti i nedostataka tri, danas prevladavajuće izvedbe u konstrukciji modernih ubrizgavalica: hidrauličnoga, hibridnoga te potpuno električno upravljanih i pogonjenih ubrizgavalica.

Stanje proizvodnje polimera i potrebne opreme / The situation in the production of polymers and the required equipment

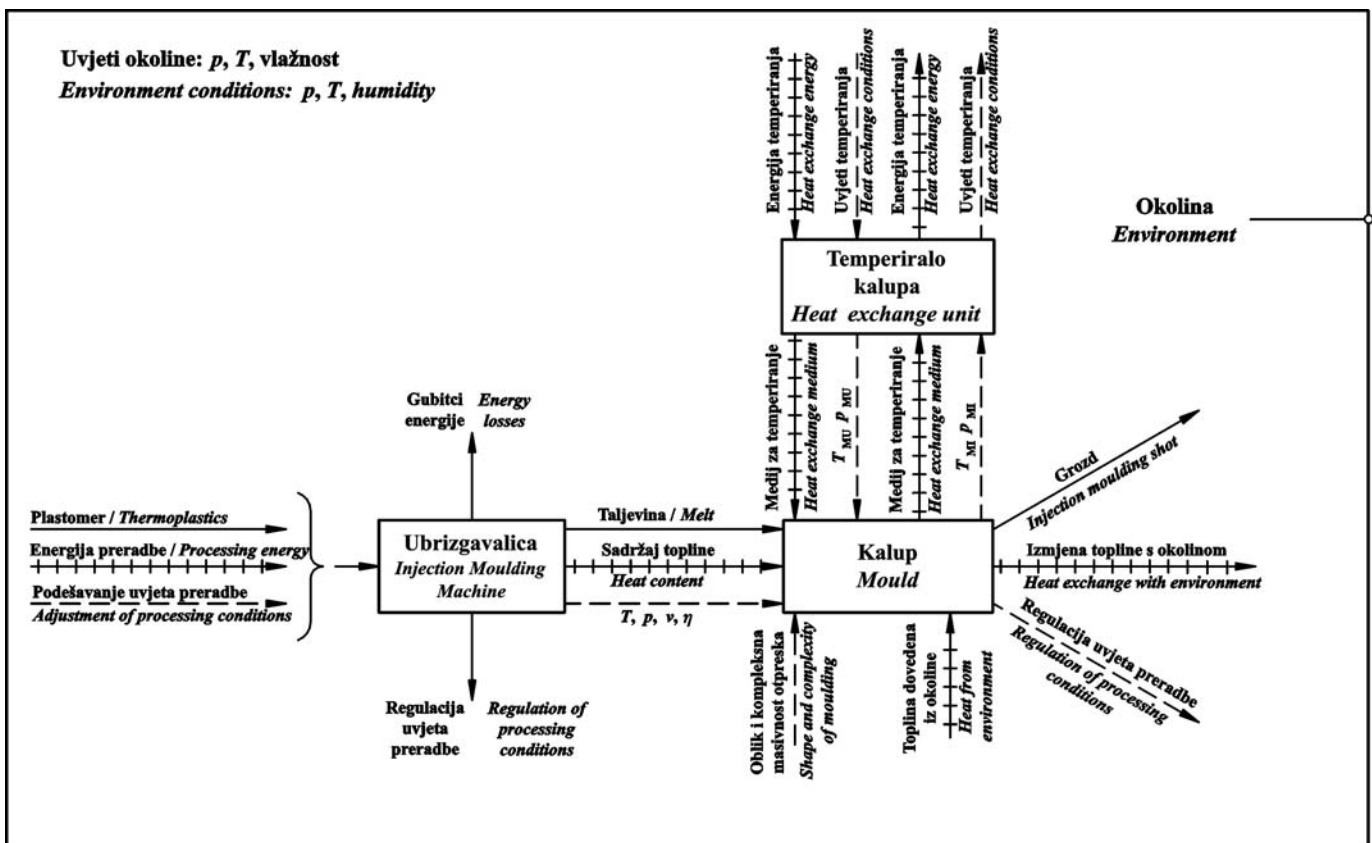
Diljem svijeta je 2002. godine proizvedeno oko 155 milijuna tona plastičnih materijala³ (od čega 2,4 milijuna tona duromera)⁴ i 16 milijuna tona prirodnoga i sintetskog kaučuka.⁵ U prvom desetljeću ovoga stoljeća očekuje se daljnji prosječni godišnji rast potrošnje polimernih materijala od 5,5 %. Današnja potrošnja plastike u Zapadnoj Europi iznosi 94,8 kg/stanovnik,³ 102 kg/stanovnik u SAD-u,⁶ 86 kg/stanovnik u Japanu, odnosno prosječno oko 90 kg/stanovnik u visokorazvijenim zemljama.⁷ Taj porast potrošnje plastike prati i porast proizvodnje potrebne opreme za proizvodnju polimernih dijelova. U proizvodnji opreme i dalje je na prvome mjestu Europa s udjelom od 60 %. Pritom su posebno uspješne Njemačka i talijanska strojogradnja.^{8,9}

Proizvodnja plastike u Hrvatskoj je i u 2002. zabilježila negativna kretanja. Proizvedeno je 177 800 tona, što je samo 48 % u usporedbi s 1990.¹⁰ Preradba plastike je u 2002. iznosila oko 70 700 tona, što je u usporedbi s 1990. svega 56,6 %.¹⁰ Međutim, u odnosu na nekoliko prethodnih godina ipak se zamjećuje stanoviti pozitivni pomak¹¹ jer sve više prerađivača usvaja nove proizvode.

Ubrizgavalica – element sustava za injekcijsko prešanje / Injection moulding machine – an element of the system for injection moulding

Uspješno injekcijsko prešanje zahtijeva ispunjavanje sljedećih zadaća: pripremu tvari potrebne smične viskoznosti, ubrizgavanje, stvaranje praoblaka pri propisanoj temperaturi elementa koji stvara obličje otpreska, tzv. kalupne šupljine.¹

Navedene zadaće ispunjava sustav za injekcijsko prešanje, kojega čine ubrizgavalica (priprema tvari i ubrizgavanje), kalup (stvaranje praoblaka) i uređaj za temperiranje (propisana temperatura stijenke kalupne šupljine). Pojednostavljeni model¹² sustava za injekcijsko prešanje plastomernih taljevina prikazuje slika 1. Na slici su prikazani materijalni, energijski i informacijski ulazi i izlazi, kao i veze među elementima sustava. Za uspješni rad sustava za injekcijsko prešanje važan je i utjecaj okoline te temperatura, vlažnost i tlak okolišnog zraka.



SLIKA 1. Pojednostavljeni prikaz sustava za injeksijsko prešanje plastomera¹
 FIGURE 1. System for injection moulding of thermoplastic melts¹

U nastavku se usredotočuje na smjer razvoja pogona elemenata sustava koji priprema plastomernu taljevinu i ubrizgava ju u kalup. To je ubrizgavalica za injeksijsko prešanje plastomernih taljevina.

Razvoj ubrizgavalica / Development of injection moulding machines

Ubrizgavalica se sastoji od četiri jedinice (slika 2)¹³: jedinice za pripremu i ubrizgavanje taljevine, jedinice za zatvaranje kalupa, pogonske jedinice i jedinice za vođenje i reguliranje te zaštitnih uređaja.



SLIKA 2. Hidraulična ubrizgavalica (Demag);¹³ a - jedinica za pripremu i ubrizgavanje taljevine, b - jedinica za zatvaranje kalupa, c - pogonska jedinica, d - jedinica za vođenje i reguliranje
 FIGURE 2. Hydraulic injection moulding machine (Demag); a - preparing and injection unit, b - clamping unit, c - drive unit, d - control unit¹³

Nekad je osnovno načelo ubrizgavanja bilo ubrizgavanje klipom, dok se danas to ubrizgavanje ostvaruje pužnim vijkom. Ubrizgavalice imaju samo jedan pužni vijak, duljine 12 do 20 promjera pužnog vijka. U novije su vrijeme sve češći pužni vijci omjera L/D iznad 20. Promjer pužnog vijka može biti 10 – 200 mm. Uobičajeno se taljevina ubrizgava u kalup brzinom do 1,5 m/s i pri visokom tlaku, obično do 200 N/mm². Temperature su taljevine obično 150 – 425 °C, a kalupne šupljine -5 – 260 °C.¹⁴

Razvoj tržišta ubrizgavalica sličan je razvoju tržišta polimernih materijala. Globalizacija tržišta ubrizgavalica ima za posljedicu gospodarstveno opravdanu proizvodnju, ali i njihovu uporabu. Iz tog se razloga i stare konstrukcije ubrizgavalica nastoje prilagoditi zahtjevima tržišta dodavanjem novih vrsta pogona i sustava vođenja. Trendovi razvoja ubrizgavalica postali su jasni tijekom posljednje izložbe plastike i gume K'01 u Düsseldorfu (listopad 2001). Uočen je tehnički napredak posljednjih godina: potrebna je manja tlocrtna površina za smještaj ubrizgavalice, niža je razina buke i manja potrošnja energije, upravljačke jedinice smještaju se na ubrizgavalice u blizini poslužitelja i dr.

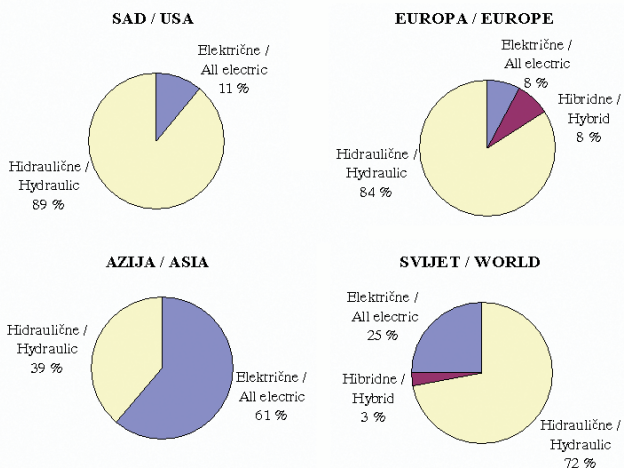
U budućnosti će se posebna pažnja posvećivati ekonomičnome radu, čistoći i razini buke što će imati za posljedicu daljnju uštedu energije.¹⁵

Važno je uočiti da se postojeći učinci mogu povećati studijem rada, bilježenjem i obradom parametara procesa, u svrhu optimiranja postupka injeksijskoga prešanja.

Pogoni suvremenih ubrizgavalica / Drives of modern injection moulding machines

Važno je pitanje suvremenih ubrizgavalica vrsta njihova pogona.¹⁶ Ovodobne ubrizgavalice mogu biti hidraulične, hibridne i električne. U Europi se još uvijek vode žučne rasprave treba li, primjeri-

ce, prijeći s klasičnih hidrauličnih ubrizgavalica na potpuno električne. Djelomičan je razlog tomu i činjenica da europski proizvođači ubrizgavalica proizvode najbolje hidraulične ubrizgavalice, pa čekaju poseban razlog za promjenu koncepta njihova pogona. Možda će bržoj promjeni mišljenja pridonijeti sve veći troškovi energije, kao i zahtjevi na izradbu sve preciznijih otpresaka koji će omogućiti automatsko sklapanje polimernih dijelova. U Japanu i SAD-u s druge strane, sve je veći udio ubrizgavalica s potpuno električnim pogonom, koje u duljem vremenskom razdoblju omogućuju novčanu uštedu, premda je početna investicija u nabavku nove ubrizgavalice bitno viša u odnosu na one s hidrauličnim pogonom (slika 3).



SLIKA 3. Udjeli pojedinih vrsta ubrizgavalica¹⁷
 FIGURE 3. Market shares of different types of injection moulding machines¹⁷

Tome treba pridodati i činjenicu da uslijed recesije svi mogući kupci dobro promišljaju prije no što ulože kapital u novu opremu. Iz tog se razloga većina proizvođača ubrizgavalica, ovisno o njenoj namjeni odlučuje za određenu vrstu pogona.¹⁸

Zbog navedenoga važno je poznavati prednosti i nedostatke pojedinih vrsta pogona te viđenje njihova razvoja.

Hidraulične ubrizgavalice / Hydraulic injection moulding machines

Moderno konstruirane hidraulične ubrizgavalice u mnogim područjima primjene usporedive su s hibridnim i električnim ubrizgavalicama. Na kvalitetu proizvedenoga otpreska utječu tri važna čimbenika: kvaliteta taljevine, brzina tečenja čela taljevine i gustoća taljevine. Kvaliteta je taljevine ovisna o konstrukciji jedinice za pripremu i ubrizgavanje taljevine, koja je neovisna o pogonu ubrizgavalice.¹⁹ Pogrešan je zaključak kako se električnim ubrizgavalicama postiže stalna kvaliteta taljevine.²⁰ Brzina tečenja čela taljevine ovisi o kvaliteti taljevine, temperaturi stijenke kalupne šupljine i brzini pužnoga vijka.²¹ Električne ubrizgavalice ne nude odlučujuću prednost u tom pogledu u odnosu na hidraulične ubrizgavalice sa servo-pumpama s promjenjivim volumenom. Ujednačena gustoća otpreska postiže se nadzorom visine i trajanja tlaka tijekom razdoblja djelovanja naknadnoga tlaka.²¹

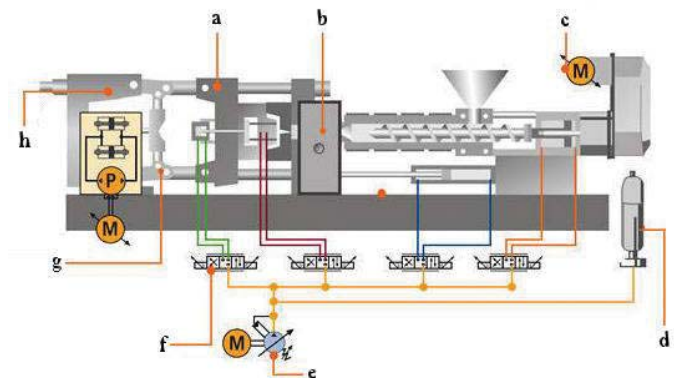
Novo hidraulične ubrizgavalice sa servo-pumpama s promjenjivim volumenom, nude velike mogućnosti uštede energije. Sustav s promjenjivim volumenom troši samo 18 % više energije u odnosu na potpuno električni pogon.²² Treba uočiti da hidraulični pogon omogućuje ponajbolju kontrolu tlaka u kalupnoj šupljini tijekom razdoblja djelovanja naknadnoga tlaka. Jednako se tako postižu najbolja dinamika i najviši tlakovi ubrizgavanja.²³ Na ujednačenost procesa injekcijskoga prešanja utjecajnija je kvaliteta taljevine od

vrste pogona pužnoga vijka. Neispravan je zaključak da su preciznost i točnost krajnjega položaja pužnoga vijka u linearnom smjeru tijekom ubrizgavanja i doziranja dokaz ujednačenosti procesa. Sustavi sa servo-pumpama s promjenjivim volumenom, s dobro konstruiranom jedinicom za pripremu taljevine i ubrizgavanje, također omogućuju izradbu otpresaka unutar vrlo uskih granica tolerancija mase otpreska. Ujedno ne postoji niti jedan otpresak koji se ne može proizvesti na ubrizgavalici s hidrauličnim pogonom. Hidraulične su ubrizgavalice pogodnije za rad s velikim kalupima, otprescima kompleksne geometrije, posebice za višekomponentno ili višebodno injekcijsko prešanje, kao i pri radu s višekatnim kalupima.²⁴ Daljnja je prednost hidrauličnoga pogona pri velikoserijskoj proizvodnji tankostjenih otpresaka.²⁵ Nasuprot uvriježenom mišljenju kako se hidraulične ubrizgavalice ne mogu primijeniti za proizvodnju čistih otpresaka, valja napomenuti kako se smještanjem hidrauličnoga dijela ubrizgavalice u drugu prostoriju od one u kojoj se nalazi kalup taj problem uspješno rješava. Iskorištenje energije predstavlja omjer troškova pojedine vrste pogona ubrizgavalice i energije koja se na taj način dobije.²⁶ Iskorištenje je energije kod električnih ubrizgavalica u odnosu na hidraulične s promjenjivim protokom niže. Električne ubrizgavalice za danu silu zatvaranja kalupa uobičajeno raspolažu s manjom jedinicom za pripremu taljevine i njeno ubrizgavanje u odnosu na hidraulične.

Hibridne ubrizgavalice / Hybrid injection moulding machines

Hibridne ubrizgavalice uobičajeno sjedinjuju raznovrsnost i snagu hidrauličnih s preciznošću i ponovljivošću rada potpuno električno upravljanih i pogonjenih ubrizgavalica.²⁷

Hibridni pogon ubrizgavalica najčešće se postiže dodavanjem električnoga pogona za pužni vijak na klasičnu hidrauličnu ubrizgavalicu. Električni pogon pužnoga vijka omogućuje preklapanje slijednih operacija rada ubrizgavalice tijekom rada čime se postiže skraćenje ciklusa injekcijskoga prešanja ili primjena novih postupaka poput izradbe pjenastih otpreska MuCell postupkom.²⁶ Takav pogon radi dobro i za opće namjene kada se traže dulji ciklusi izradbe te se postižu veće uštede energije. Slika 4 prikazuje hibridnu ubrizgavalicu.²⁸



SLIKA 4. Presjek hibridne ubrizgavalice za injekcijsko prešanje; a - nosači kalupa, b - upravljačka jedinica, c - električni pogon pužnoga vijka, d - hidraulični akumulator, e - hidraulična pumpa, f - sustav za uštedu energije, g - osjetilo za zaštitu kalupa, h - jedinica za zatvaranje kalupa²⁸

FIGURE 4. Cross-section of the hybrid injection moulding machine; a - clamping platens, b - NC control, c - electrical screw drive, d - hydraulic central accumulator, e - variable-delivery pump, f - energy-saving system, g - sensor for mould protection, h - clamping unit²⁸

Kombinacija električnoga pogona pužnog vijka s elektromehaničkim polugama za zatvaranje kalupa troši oko 50 % manje energije u odnosu na usporedive veličine hidraulične izvedbe.²⁴ Kod te

izvedbe ubrizgavalica moguće je ubrizgavanje i tri dodatne funkcije: izvlačenje jezgri, izbacivanje otpreska te otvaranje i zatvaranje kalupa koji se obavljaju hidrauličnim sustavom s akumulatorom. Posebno valja naglasiti ulogu akumulatora kojim se postižu visoke brzine gibanja pužnoga vijka u aksijalnom smjeru, što se ne može postići kod električne izvedbe.

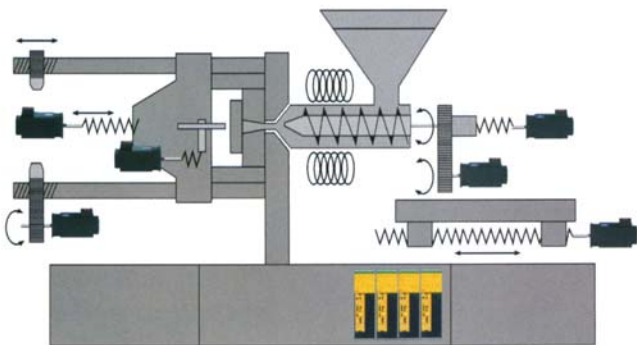
Hidraulično ubrizgavanje taljevine u kalupnu šupljinu može se bolje prilagoditi zahtjevima pojedine vrste otpreska i općenito omogućuje bolju ponovljivost ubrizgavanja pri promjenama viskoznosti taljevine. No ipak valja napomenuti da se razlike u viskoznosti taljevine teško mogu nadoknaditi, ili to gotovo uopće nije moguće korekcijom parametara procesa ili vrstom pogona ubrizgavalice.²⁹

Hidromehanički sustav zatvaranja kalupa ima niz prednosti u odnosu na polužni sustav zatvaranja kalupa jer omogućuje zaštitu kalupa tijekom zatvaranja, automatsko podešavanje visine kalupa, ravnomjernu raspodjelu sile zatvaranja, planparalelnost ploča, veće pomake klipa i izradbu čistih otpresaka.¹⁸ U svrhu održavanja područja kalupa čistim, hidraulični cilindri su izvedeni s dvostrukim brtvljenjem i podtlačnim povratnim vodom za ulje. Dobro konstruirane hibridne ubrizgavalice već sada nadmašuju mogućnosti i hidrauličnih i električnih ubrizgavalica.

Hibridne ubrizgavalice skuplje su 5 – 10 % od hidrauličnih, ali su istodobno 10 – 15 % jeftinije od većine potpuno električnih ubrizgavalica.³⁰ Danas se njihov udio na tržištu ubrizgavalica procjenjuje na 2 – 3 %, a u narednom se razdoblju očekuje rast udjela hibridnih ubrizgavalica na 5 – 7 %, najvećim dijelom zbog potrebe uštede energije i porasta broja otpresaka koji će zahtijevati brze izradbene cikluse. Za prerađivače će ta skupina ubrizgavalica biti posebno zanimljiva jer im omogućuje izradbu otpresaka široke namjene, ali i onih povišene kvalitete.³¹

Električne ubrizgavalice / All electric injection moulding machines

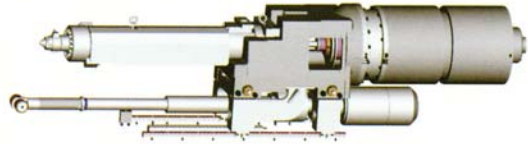
U budućnosti se očekuje da će kod ubrizgavalica sa silama zatvaranja kalupa manjim od 5 000 N prevladavati potpuno električne ubrizgavalice (slika 5).³²



SLIKA 5. Načelna izvedba potpuno električne ubrizgavalice³²
FIGURE 5. Conceptual design of the all electric injection moulding machine³²

Područje primjene potpuno električnih ubrizgavalica je za otpreske s traženom visokom točnošću mjera i preciznosti izradbe, koji zahtijevaju posebne profile ubrizgavanja, kalupi s posebnim načinima zatvaranja i otpresci koji troše puno energije uslijed dugih putova doziranja i potrebnih visokih brzina ubrizgavanja.³³ Ključne su prednosti električnih u odnosu na hidraulične ubrizgavalice: mogućnost dugotrajnoga održavanja stabilnosti procesa injekcijskoga prešanja, visoka točnost i preciznost gibanja (ubrzavanje, usporenje i namještanje), niski utrošak energije i medija za temperiranje, uspo-

redno gibanje dijelova ubrizgavalice kao kod standardne izvedbe, kraće vrijeme ciklusa, niža razina buke i prikladnost proizvodnje čistih otpresaka.³⁴ Uporabom sinkronih motora s velikim momentom vrtnje za pripremu i ubrizgavanje taljevine postiže se preciznost i ekonomičnost rada (slika 6).³⁵ U prednosti potpuno električnih ubrizgavalica valja nabrojati i znatno kraće vrijeme upuštanja sustava za injekcijsko prešanje u rad.



SLIKA 6. Jedinica za pripremu i ubrizgavanje taljevine³⁵
FIGURE 6. Injection and plasticizing unit³⁵

Električne ubrizgavalice nepovoljne su za primjenu pri izradbi debelostjenih otpresaka, pri dugim vremenima hlađenja i kada postoji potreba za dvostrukim ili trostrukim izvlačenjem jezgri iz kalupa.³⁴

Povišeni troškovi pri radu s kalupima koji imaju jezgre nastaju uslijed upotrebe dodatne jedinice za hidraulično izvlačenje jezgri (slika 7).³⁶



SLIKA 7. Jedinica za hidraulično izvlačenje jezgri³⁶
FIGURE 7. Hydraulic core pull unit³⁶

Za očekivati je da će novi kalupi, namijenjeni radu s električnim ubrizgavalicama biti opremljeni servo-motorima za izvlačenje jezgri. Ipak se mora zapitati kako će to rješenje biti prihvaćeno u praksi s obzirom na povišene troškove izradbe takvih kalupa.

Često spominjana prednost potpuno električnih ubrizgavalica u odnosu na hidraulične je njihova prikladnost za proizvodnju čistih otpresaka. No, istine radi valja napomenuti da se polužni sustav zatvaranja kalupa električnih ubrizgavalica podmazuje mastima, što nije nimalo bolje rješenje od onoga kod konvencionalnih izvedbi. Daljnja je nepoznanica što uslijed relativno kratkoga vremena na tržištu postoji pitanje pouzdanosti rada i troškova održavanja električnih ubrizgavalica u duljem razdoblju.

Više cijene, najmanje 20 % te viši troškovi pri preradbi polimera električnim ubrizgavalicama u odnosu na hidraulične i hibridne izvedbe, daljnji su njihov nedostatak.³⁷ Sve veći prodor električnih ubrizgavalica na tržište vjerojatno će za posljedicu imati sniženje troškova, uslijed sniženja ili uravnoteženja cijena servo-pogona, ali će one u pravilu biti više u odnosu na hidraulične ubrizgavalice.

Zaključak / Conclusion

U Hrvatskoj su nedvojbeno izraženi opadajući trendovi proizvodnje polimera i njihove preradbe. Stoga treba uložiti sve moguće napore kako bi se očuvala postojeća i otvorila nova radna mjesta. Obnova strojnoga parka i primjena novih preradbenih postupaka je nužnost želi li se uhvatiti korak s razvijenim svijetom, a isto tako i praćenje zahtjeva koje tržište stavlja pred prerađivače.

Europski proizvođači ubrizgavalica još uvijek vode mnogobrojne rasprave o opravdanosti uvođenja potpuno električnih ubrizgavalica, dok za razliku od njih u SAD-u i Japanu one već imaju zapažen tržišni udio. Činjenica je da proizvođači potpuno električnih i hibridnih ubrizgavalica ukazuju na prednosti, poput prikladnosti proizvodnje čistih otpresaka, ponovljivosti rada i svakako manjem utrošku električne energije. Proizvođači hidrauličnih ubrizgavalica s druge strane uzvraćaju da se mnogobrojni otpresci uspješno mogu izraditi samo s pomoću hidrauličnih ubrizgavalica i da je većina usporedbi nevažna. Bilo kako bilo ubrizgavalica predstavlja dugoročnu i veliku investiciju.

Svaka navedena činjenica koja može pomoći budućem kupcu pri analizi potreba i mogućnosti donošenja odluke o izboru koncepta i vrste ubrizgavalice, dobro je došla pomoć.

Prema sadašnjim spoznajama za očekivati je da će potpuno električni koncept prevladati kod ubrizgavalica nižih sila zatvaranja, te da će hibridni koncept zadovoljiti potrebe u najvećem broju slučajeva. U prijelaznom razdoblju pogodnost za prerađivače je u tome što većina proizvođača ubrizgavalica nudi modularne izvedbe strojeva pa time i izbor najboljega koncepta za određenu primjenu.

Zahvala / Acknowledgement

Rad je dio istraživanja što ga financira Ministarstvo znanosti i tehnologije Republike Hrvatske u okviru projekta *Unaprijeđeni postupci proizvodnje polimernih tvorevina*. Autor zahvaljuje Ministarstvu na novčanoj potpori.

LITERATURA / REFERENCES

1. Čatić, I.: *Uvod u proizvodnju polimernih tvorevina*, Društvo plastičara i gumaraca, Zagreb, 1990.
2. Čatić, I.: *Injekcijsko prešanje polimera*, Tehnološki projekt TP/0120-11, Zagreb, 2003.
3. N. N.: *An analysis of plastics consumption and recovery in Europe*, APME, Brussels, Summer 2003.
4. N. N.: *World plastics supply 2002 – 2010*, Pardos marketing, pardos.marketing.free.fr/24.htm, 1. 10. 2003.
5. N. N.: *Business Plan of ISO/TC 45 – Rubber and rubber products*, ISO/TC 45 N 6519 Rev, 19. 9. 2003.
6. N. N.: *Global business trends, partners, hot products*, Plastic data source, plasticsdatasource.org/global.ht, 1. 7. 2003.
7. Michaeli, W.: *Die Zukunft der Kunststoffverarbeitung*, Jahrestagung des Kunststoff-Clusters (KC), Linz, 2002.
8. N. N.: *The Italian plastics and rubber machinery industry in 2002, Yearly report (synthesis)*, Assocomplast, June 2003.
9. N. N.: *German plastics and rubber machinery industry enjoys growth impulse provided by export markets*, Pres Release, VDMA, 8. 7. 2003.
10. Podaci Državnog zavoda za statistiku, Zagreb, 2003.
11. Šerčer, M., Barić, G.: *Proizvodnja plastičnih i gumenih tvorevina u Hrvatskoj*, Polimeri 23(2002)3, 53-58.
12. Šerčer, M., Čatić, I.: *Vodenje procesa injekcijskog prešanja*, Društvo plastičara i gumaraca, Zagreb, 1984.
13. N. N.: *Success through efficiency*, Ergotech EXTRA, Demag Plastics Group, Schweig, 2003.
14. Čatić, I.: *Izmjena topline u kalupima za injekcijsko prešanje plastomera*, Društvo plastičara i gumaraca, Zagreb, 1985.
15. N. N.: *Gut, dass wir gerechnet haben*, Plastverarbeiter 53(2002)9, 54-57.
16. N. N.: *Elektrisch oder hydraulisch*, KU Kunststoffe 91(2001)12, 86-90.
17. Navodnik, J.: *Kdaj električni in kdaj hidravlički pogon*, PlastForma (2001)12, 19-22.
18. Johannaber, F.: *Unaprijeđeni postupci injekcijskog prešanja na razmeđi dvaju tisućljeća*, Polimeri, 21(2000)5, 141-144.
19. www.arburg.com, 2002.
20. Märtil, J.: *Unseren Kunden Vorteile verschaffen*, Plastverarbeiter 53(2002)10, 100-102.
21. Čatić, I., Šerčer, M. et al.: *Vodenje i reguliranje procesa injekcijskog prešanja plastomera*, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1985.
22. N. N.: *Fully electric injection moulding machines: the status quo, K'01'*, Düsseldorf, 2001.
23. www.battenfeld.de, 2002.
24. Johannaber, F.: *Unaprijeđeni postupci injekcijskog prešanja na razmeđi dvaju tisućljeća* Polimeri, 21(2001)2, 45-54.
25. Bujanić, B.: *Konstruiranje kalupa za tankostijeni plastomerni otpresak*, Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2002.
26. Siebenlist, J.: *Hybrider Maschinenantrieb: Energie sparend und schnell*, VDI-nachrichten, 19. 10. 2001, 42.
27. N. N.: *Zweiplatten-Maschine als Hybrid-Variante*, Kunststoffberater 47(2002)1-2, 16-17.
28. www.demag.de, 2003.
29. Šerčer, M.: *Reguliranje procesa injekcijskog prešanja od ciklusa do ciklusa*, Magistarski rad, Tehnološki fakultet, Zagreb, 1984.
30. Šerčer, M.: *Trends in injection moulding machines for plastics processing*, Proceedings of the 6th International Research/Expert Conference: Trends in the Development of Machinery and associated Technology, TMT 2002, University of Sarajevo, Faculty of Mechanical engineering in Zenica i Universitat Politecnica de Catalunya, Neum, 18 - 22. 9. 2003, 247-250.
31. Kaindl, H.: *Privatno priopćenje*, Linz, 2002.
32. Götz, W.: *Produkte, die unter die Haube gehen*, Plastverarbeiter 52(2001)6.
33. www.krauss-maffei.de, 2003.
34. N. N.: *Kunststoffmesse elektrisiert Maschinenbau*, VDI-nachrichten, 19. 10. 2001, Nr. 42.
35. N. N.: *Inovative electric injection moulding machines*, Krauss Maffei, München, 2001.
36. N. N.: *Emotion Systemvergleich*, CD presentation, Engel, 2002.
37. www.messe-duesseldorf.de, 2001.

DOPISIVANJE / CORRESPONDENCE

Prof. dr. sc. Mladen Šerčer
Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje
Ivana Lučića 5
HR-10000 Zagreb
Hrvatska / Croatia
Tel.: +385-1-61-68-191
Faks: +385-1-61-56-940
E-mail: mladen.sercer@fsb.hr