

Damir GODEC, Igor ČATIĆ, Mladen ŠERCER
Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje

Posvećeno Prof. Georgu Mengesu za 80. obljetnicu rođenja
Dedicated to Prof. Dr. Ing. Georg Menges on the occasion
of his 80th birthday

Koncepcijsko oblikovanje kalupa za injekcijsko prešanje plastomera

ISSN 0351-1871

UDK 621.7:678.075

Pregledni rad / Review article

Primljeno / Received: 28. 2. 2003.

Prihvaćeno / Accepted: 15. 12. 2003.

Konstruiranje kalupa za injekcijsko prešanje plastomernih taljevina postaje sve kompliciraniji i kompleksniji zadatak. Pritom i iskusni konstruktori mogu imati poteškoća, unatoč sve prisutnijoj pomoći računala i računalnih programa. Jednu od najvažnijih faza razvoja kalupa predstavlja koncepcijsko oblikovanje kalupa. Stoga je toj fazi potrebno posvetiti posebnu pozornost. Konstruktori kalupa ovoj fazi pristupaju uglavnom na temelju svojega iskustva. Međutim, to ponekad može dovesti do grubih pogrešaka u samom konceptu kalupa, koje je u kasnijim fazama njegova razvoja vrlo teško ispraviti. Jedno od mogućih rješenja ovoga problema jest uporaba morfološke matrice kalupa i dijagrama odlučivanja. S pomoću njih se dolazi do konstrukcijskoga rješenja za pojedinu parcijalnu funkciju kalupa. Dijagrami odlučivanja posebice su bitni za mlade i neiskusne konstruktore. Njihovom se uporabom izbjegavaju pogrešna rješenja već u ranoj fazi razvoja kalupa

KLJUČNE RIJEČI:

injekcijsko prešanje
kalup za injekcijsko prešanje plastomernih taljevina
koncepcijsko oblikovanje kalupa
dijagrami odlučivanja

KEY WORDS:

injection moulding
mould for injection moulding of thermoplastic melts
conceptual mould design
decision diagrams

Conceptual mould design for injection moulding of thermoplastics

Mould design for injection moulding of thermoplastic melts is becoming an increasingly complicated task, so that even experienced mould designers could have problems. One of the most important phases of mould design is the conceptual mould design, and the mould designer must pay special attention to this phase. The approach to the conceptual mould design phase is usually based on the designer's experience, which can lead him to some raw mould design faults which are later very difficult to correct. One of the possible solutions for this problem is the application of the morphological mould matrix and decision diagrams, which can guide the designer to the solution for certain partial mould functions. Decision diagrams are especially important for young and less expe-

rienced mould designers, because with their application mould design faults can be avoided in an early phase of mould development.

Uvod / Introduction

Rastuća kompleksnost i kompliciranost kalupa za injekcijsko prešanje plastomernih taljevina te zahtjevi za minimiranjem vremena razvoja optimalnoga kalupa za određeni otpresak, zahtijevaju metodički i sustavnosni pristup razvoju kalupa.¹⁻⁴ U osnovi su istovrsni zaključci jednakovrijedni i za elastoplastomere, pa i za tlačno lijevanje metalnih taljevina. U nastavku će se umjesto sintagme *plastomerna taljevina*, upotrebljavati samo termin *plastomer*.

Temeljna pretpostavka za takav pristup razvoju kalupa za injekcijsko prešanje plastomera je podjela čitavoga procesa razvoja u blokove i faze razvoja. Unutar njih potrebno je definirati sve potrebne aktivnosti, kao i pravilni redoslijed njihova izvođenja.^{1,2} U okviru takve podjele kao najvažnija faza razvoja kalupa javlja se koncepcijsko oblikovanje kalupa. U toj se fazi određuju načelna konstrukcijska rješenja kalupa za tzv. parcijalne funkcije kalupa⁵. U svrhu izbjegavanja donošenja pogrešnih odluka o toj fazi razvoja kalupa, definirani su odgovarajući dijagrami odlučivanja koji omogućuju laganu i jednostavno određivanje koncepta kalupa za injekcijsko prešanje plastomera.² Radi veće pouzdanosti odluka donesenih s pomoću dijagrama odlučivanja, dijagrame treba stalno provjeravati i usavršavati na primjerima gotovih i provjerenih konstrukcija kalupa.

Uporabom propisanoga (deskriptivnog) pristupa konstruiranju očekuje se postizanje skraćenja vremena koncepcijskoga oblikovanja kalupa, podizanja aktivnosti koncepcijskoga oblikovanja na kvalitativno višu razinu, te smanjenje mogućnosti pogreške. Deskriptivni pristup koncepcijskome oblikovanju kalupa omogućuje mladim i manje iskusnim konstruktorima rano osamostaljivanje pri konstruiranju kalupa, a iskusnim konstruktorima može poslužiti za provjeru stečenih znanja. Ova nastojanja su neophodna upravo na polju konstruiranja kalupa, jer kalup predstavlja središnji, vitalni i specifični element sustava za injekcijsko prešanje.^{2,7}

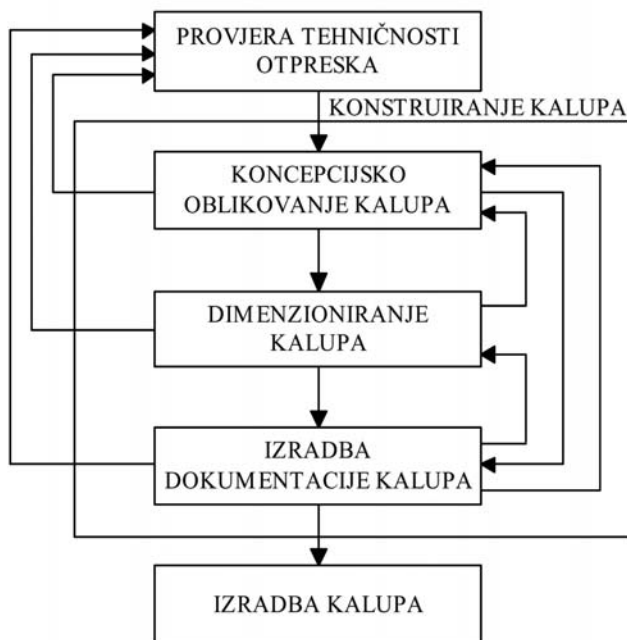
Koncepcijsko oblikovanje kalupa za injekcijsko prešanje plastomernih taljevina / Conceptual mould design for injection moulding of thermoplastic melts

Svaki otpresak može biti načinjen u više kalupa različite konstrukcije. Međutim, uvijek postoji barem jedna konstrukcija koja najbolje udovoljava tehničkim, gospodarskim i ostalim zahtjevima postavljenima na izradbu otpreska.¹

Razvrstavanjem aktivnosti koje je pri konstruiranju kalupa potrebno provesti ubrzo se proces razvoja kalupa. Pritom se smanjuje vjerojatnost donošenja pogrešnih odluka i loših konstrukcijskih rješenja. Sažeti tijek aktivnosti razvoja kalupa prikazan je na slici 1.^{1,8} Pri tome je čitav tijek konstruiranja moguće grubo podijeliti u tri osnovna dijela. To su *polazišni postupci konstruiranja*, *središnja faza konstruiranja* i *završne aktivnosti konstruiranja*. U slučaju kalupa za injekcijsko prešanje plastomera to su (a) *faza razradbe kon-*

cepcije kalupa, (b) faza dimenzioniranja elemenata kalupa (proračuni kalupa), te (c) faza izradbe dokumentacije kalupa.¹

Prvu fazu predloženoga razvrstavanja aktivnosti konstruiranja kalupa za injekcijsko prešanje plastomera predstavlja konceptijsko oblikovanje kalupa. U toj fazi prevladava tzv. linearni tijek procesa konstruiranja s najmanje mogućim ponavljajućim procesima. Odluke donesene tije-



SLIKA 1. Temeljne faze metodičkoga konstruiranja kalupa za injekcijsko prešanje plastomera^{1,8}
 FIGURE 1. Main phases of methodical mould design for injection moulding of thermoplastics^{1,8}

kom toga razdoblja konstruiranja spadaju u visokorazinsko odlučivanje. O kvaliteti koncepcije kalupa i načelnoga određivanja svih njegovih elemenata ovisi pouzdano funkcioniranje kalupa tijekom njegove uporabe. Stoga je ovo najvažnija faza u procesu konstruiranja kalupa. Na temelju¹ razrađen je dijagram koji prikazuje sve djelatnosti toga razvojnog stupnja konstruiranja kalupa (slika 2).² Otvorene linije na slici 2 predstavljaju veze s fazom proračuna kalupa.

Pri konstruiranju kalupa faza konceptijskoga oblikovanja obuhvaća definiranje načelnih konstrukcijskih rješenja za ispunjavanje funkcije kalupa. Međutim, ovaj korak vrlo je bitan pri određivanju ponude

za izradbu kalupa još u fazi ugovaranja. Naime, od alatničara se očekuje da često samo na temelju skica otpreska u kratkom vremenu definira troškove izradbe kalupa. Primjenom konceptijskoga oblikovanja kalupa, bez prethodne provjere tehničnosti otpreska, moguće je vrlo brzo doći do zaključka o kakvom se tipu kalupa općenito radi, pri čemu taj zaključak predstavlja temelj daljnje procjene troškova materijala i izradbe kalupa.⁹

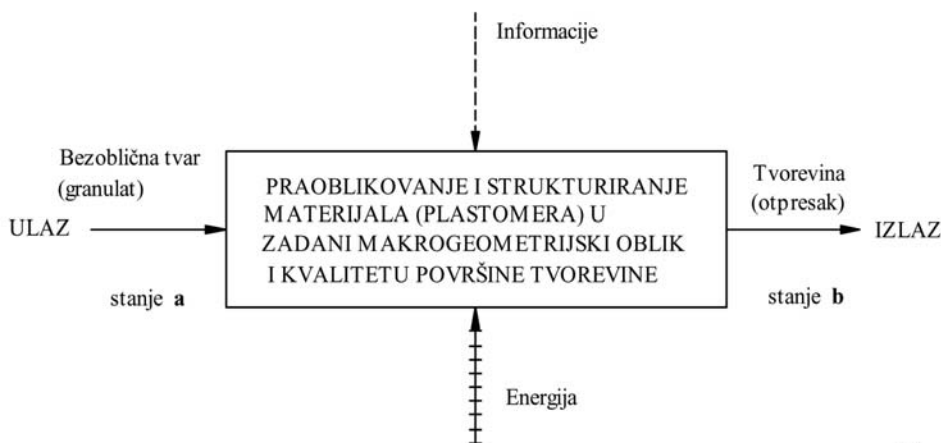
Ukupna funkcija kalupa za injekcijsko prešanje plastomera / Total function of mould for injection moulding of thermoplastics

U radovima^{1,7,10} provedena je morfološka raščlamba sustava za injekcijsko prešanje tvari, te kalupa kao njegova podsustava. Kalup za injekcijsko prešanje plastomera je kompliciran i kompleksan sustav. Njegova visoka kompleksnost onemogućuje jednostavan opis njegove funkcije. Prema radu¹ moguće je opisati *ukupnu funkciju kalupa* za injekcijsko prešanje plastomera. Ona se sastoji od praoblikovanja i prestrukturiranja plastomernoga materijala u zadani geometrijski oblik tvorevine (otpreska) propisanih svojstava i kvalitete površine. Ispunjavanje ove funkcije ujedno je i temeljni zadatak kalupa. Ukupnu funkciju kalupa moguće je opisati i s pomoću *crne kutije* (slika 3), pri čemu se dolazi do apstraktne formulacije kalupa za injekcijsko prešanje plastomera.^{1,11}

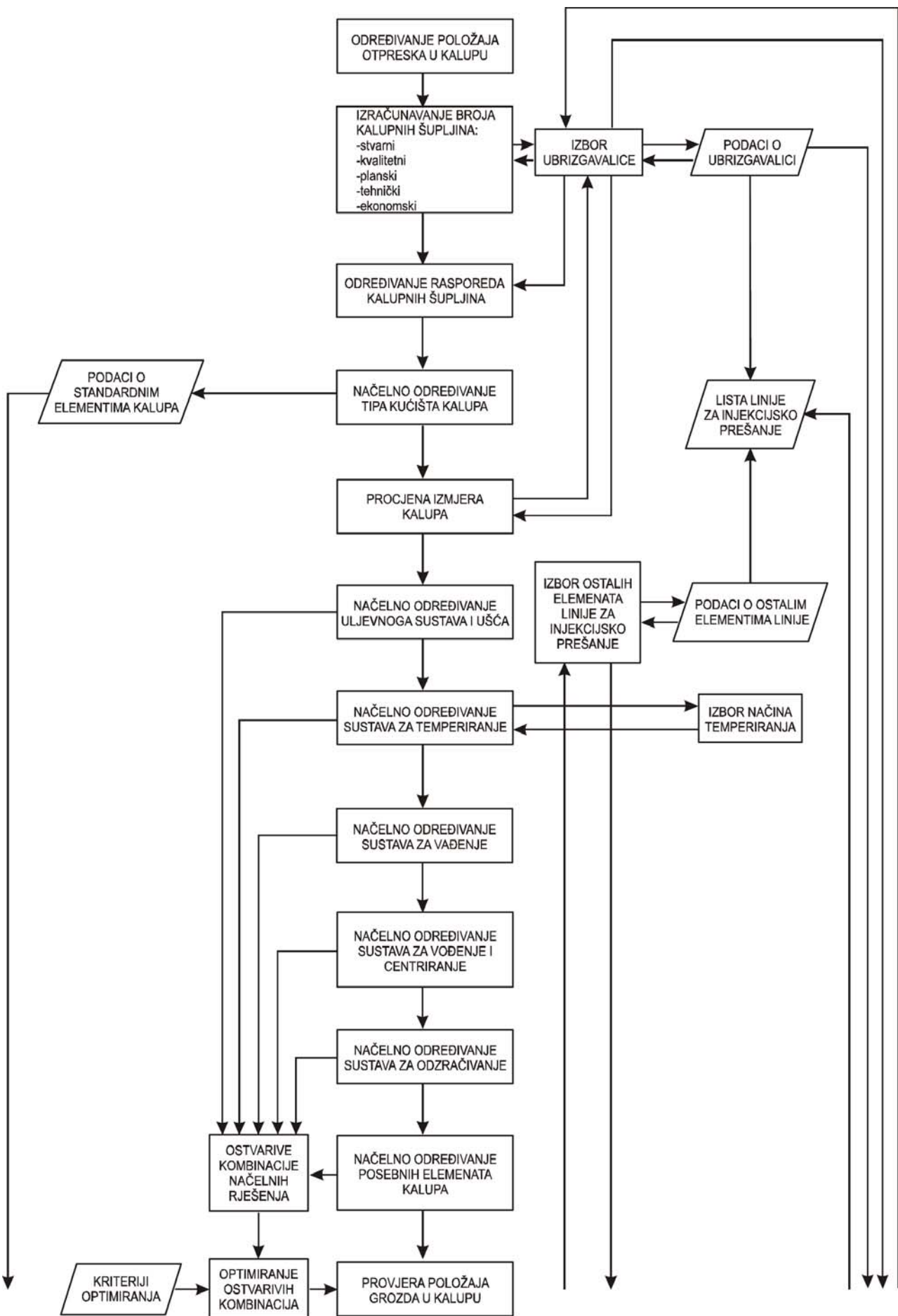
Tijekom ispunjavanja ukupne funkcije kalupa, plastomerni se granulat na ulazu (a) uz dovođenje energije i informacija prevodi u tvorevinu (otpresak) na izlazu (b).

Međutim, za tako definiranu ukupnu funkciju kalupa nije moguće odrediti konstrukcijsko rješenje koje će ju ispuniti. Stoga je ukupnu funkciju kalupa potrebno raščlaniti na finije funkcijske strukture, na tzv. *parcijalne funkcije kalupa*. Parcijalne funkcije kalupa trebaju biti dovoljno niskoga stupnja kompleksnosti kako bi se za njihovo ispunjavanje mogla definirati odgovarajuća konstrukcijska rješenja.^{1,11,12}

Da bi se plastomerna taljevina mogla oblikovati u kalupnim šupljinama potrebno ju je dovesti iz ubrizgavalice te razdijeliti u potreban broj kalupnih šupljina. Stoga je prva parcijalna funkcija – *razdijeliti taljevinu*. Plastomernu taljevinu koja je raspodijeljena u zadani broj kalupnih šupljina potrebno je praoblikovati u zadani geometrijski oblik otpreska propisane kvalitete površine. Parcijalna funkcija kalupa glasi – *praoblikovati taljevinu*. Plastomerna taljevina tijekom ciklusa injekcijskoga prešanja treba u kalupnoj šupljini očvrnuti do temperature postojanosti oblika otpreska. Tada je moguće otpresak sigurno izvaditi iz kalupne šupljine. Pritom valja voditi računa i o optimalnim uporabnim svojstvima otpreska. Stoga je u kalupu potrebno postići tijekom radnoga uhodavanja sustava i održavati propisano temperaturno polje. U tom slučaju parcijalna



SLIKA 3. Apstraktna definicija kalupa za injekcijsko prešanje plastomera^{1,11}
 FIGURE 3. Abstract formulation of mould for injection moulding of thermoplastics^{1,11}



SLIKA 2. Aktivnosti faze konceptijskoga oblikovanja kalupa²
 FIGURE 2. Conceptual mould design phase activities²

TABLICA 1. Parcijalne funkcije kalupa za injekcijsko prešanje i odgovarajući elementi^{2,11}
 TABLE 1. Partial functions and appropriate elements of the mould for injection moulding^{2,11}

Parcijalne funkcije / <i>Partial functions</i>	Klasa funkcije / <i>Function class</i>	Elementi kalupa / <i>Mould elements</i>
<i>Temeljne parcijalne funkcije kalupa / Main partial mould functions</i>		
<i>Razdijeliti taljevinu</i>	Funkcija prijenosa F_T	Uljevna šupljina kalupa
<i>Kalupljenje</i> - praoblikovati taljevinu (stvaranje geometrijskoga oblika grozda) - prestrukturirati materijal na molekularnoj razini - prastrukturirati na nadmolekularnoj i višim razinama	Funkcija mijene F_M Funkcija stvaranja povezanosti među česticama F_{M1po} Funkcija prestrukturiranja na molekularnoj razini F_{M2rsm} Funkcija prastrukturiranja na nadmolekularnoj razini F_{M2psn}	Uljevna šupljina kalupa Kalupna šupljina kalupa
<i>Održavati temperaturno polje u kalupu</i>	Funkcija pohrane F_P	Sustav za temperiranje
<i>Odzračiti kalupnu šupljinu</i>	Funkcija prijenosa F_T	Sustav za odzračivanje
<i>Izvaditi grozd (otpresak) iz kalupne šupljine</i>	Funkcija prijenosa F_T	Sustav za vađenje grozda (otpreska)
<i>Pomoćne parcijalne funkcije kalupa / Auxiliary partial mould functions</i>		
<i>Centrirati i voditi dijelove kalupa</i>		Sustav za vođenje i centriranje
<i>Pričvrstiti kalup na ubrizgavalicu</i>		Elementi za pričvršćivanje kalupa na ubrizgavalicu
<i>Prihvatiti i prenijeti sile</i>		Elementi za prihvat i prijenos sile
<i>Povezati elemente kalupa</i>		Kućište kalupa
<i>Posebne funkcije</i>		Posebni elementi kalupa

funkcija glasi – *održavati temperaturno polje u kalupu*. Pri popunjavanju kalupne šupljine plastomernom taljevinom potrebno je osigurati njen nesmetani tok. U zatvorenoj kalupnoj šupljini uvijek zaostane određena količina zraka koju treba istisnuti. Stoga, kako bi se izrađivali kvalitetni otpresci bez uključina zraka, potrebno je *odzračiti kalupnu šupljinu*. Po završetku očvršćivanja otpreska u kalupu, potrebno je grozd (otpresak + uljevni sustav) sigurno izvaditi iz kalupnih i uljevnih šupljina. Zato je potrebno osigurati izvršenje parcijalne funkcije – *izvaditi grozd (otpresak) iz kalupne šupljine*.^{1,2,11}

Pri otvaranju i ponovnome zatvaranju kalupa potrebno je osigurati točno nalijeganje elemenata kalupa koji se gibaju. Kalup je također potrebno centrirati u odnosu na os ubrizgavalice. Stoga je potrebno ispuniti parcijalnu funkciju – *voditi i centrirati elemente kalupa*. Kalup je također potrebno pričvrstiti na ploče ubrizgavalice. Ova parcijalna funkcija glasi – *pričvrstiti kalup na ubrizgavalicu*. Na kalup tijekom preradbe djeluju visoka opterećenja koja se s ubrizgavalice prenose na njega. Stoga za osiguranje ispravnoga rada kalupa treba ispuniti parcijalnu funkciju – *prihvatiti i prenijeti sile*. Konačno, izabrane konstrukcijske inačice rješenja za ispunjenje pojedinih parcijalnih funkcija potrebno je sigurno povezati u cjelinu i osigurati nesmetani rad i rukovanje kalupom. Stoga je potrebno *povezati elemente kalupa*.^{1,2,11}

Navedene parcijalne funkcije nužno je ostvariti bez obzira o kakvoće se kalupu radi. Ovisno o posebnim zahtjevima na kalup, često se javlja potreba za rješavanjem tzv. *posebnih funkcija kalupa*.^{1,2,11} Valja napomenuti kako navedene parcijalne funkcije vrijede općenito za kalupe za injekcijsko prešanje polimera (nisu ograničene samo na plastomere). Tablica 1 prikazuje parcijalne funkcije kalupa za injekcijsko prešanje plastomera te elemente kalupa za njihovo ostvarivanje.^{1,2,11}

Za svaku navedenu parcijalnu funkciju kalupa moguće je definirati po nekoliko konstrukcijskih rješenja. Preduvjet za učinkovit izbor optimalnoga konstrukcijskog rješenja pojedine parcijalne funkcije je sistematizacija poznatih konstrukcijskih rješenja kalupa. Pritom je jedno od mogućih rješenja uporaba morfološke matrice kalupa.⁵

Na temelju radova^{5,7,12} načinjena je nova morfološka matrica kalupa s navedenim konstrukcijskim rješenjima za pojedine parcijalne funkcije kalupa (tablica 2). Sljedeći je važan korak načiniti pravilan izbor barem jednoga od ponuđenih rješenja za pojedinu parcijalnu funkciju kalupa. Upravo u ovoj fazi odgovarajući dijagrami odlučivanja predstavljaju preduvjet za kvalitetno i brzo konceptijsko oblikovanje kalupa.^{1,13-15}

Na kraju ove faze razvoja kalupa, potrebno je kombinirati načelno definirana rješenja pojedinih parcijalnih funkcija u optimalnu konstrukciju kalupa. Optimiranje je moguće provesti samo na temelju informacija o tehničkim prednostima i nedostacima pojedinih konstrukcijskih rješenja, te na temelju međusobnoga utjecaja parcijalnih funkcija kalupa (tablica 3). Samo je grubo moguće procijeniti ekonomske prednosti konstrukcijskih rješenja u ovoj fazi razvoja kalupa.¹

Dijagrami odlučivanja za konceptijsko oblikovanje kalupa / Decision diagrams for conceptual mould design

Analizom većega broja već postojećih kalupa, kataloga proizvođača standardnih elemenata kalupa, kao i u suradnji s vrlo iskusnim konstruktorima kalupa moguće je za pojedine parcijalne funkcije kalupa definirati odgovarajuće dijagrame odlučivanja. S pomoću

TABLICA 2. Morfološka matrica kalupa za injekcijsko prešanje plastomera s konstrukcijskim rješenjima pojedinih parcijalnih funkcija^{5,12}
 TABLE 2. Morphological matrix of mould for injection moulding of thermoplastics with design solutions for partial functions^{5,12}

Parcijalne funkcije / Partial functions		Načelna konstrukcijska rješenja parcijalnih funkcija / <i>Main design solutions for partial functions</i>																
		P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀	P ₁₁	P ₁₂	P ₁₃	P ₁₄	P ₁₅	.....	P _n
C ₁	Razdijeliti taljevinu	E ₁₁	E ₁₂	E ₁₃	E ₁₄	E ₁₅	E ₁₆	E ₁₇	E ₁₈	E ₁₉	E ₁₁₀	E ₁₁₁					.....
C ₂	Praoblikovati i strukturirati taljevinu	E ₂₁															.....
C ₃	Održavati temperaturno polje u kalupu	E ₃₁	E ₃₂	E ₃₃	E ₃₄	E ₃₅	E ₃₆	E ₃₇	E ₃₈								.....
C ₄	Odzračiti kalupnu šupljinu	E ₄₁	E ₄₂	E ₄₃	E ₄₄	E ₄₅	E ₄₆	E ₄₇	E ₄₈	E ₄₉	E ₄₁₀	E ₄₁₁	E ₄₁₂	E ₄₁₃	E ₄₁₄			
C ₅	Izvaditi grozd iz kalupne šupljine	E ₅₁	E ₅₂	E ₅₃	E ₅₄	E ₅₅	E ₅₆	E ₅₇	E ₅₈	E ₅₉	E ₅₁₀						.....
C ₆	Centrirati i voditi dijelove kalupa	E ₆₁	E ₆₂	E ₆₃	E ₆₄	E ₆₅	E ₆₆	E ₆₇	E ₆₈	E ₆₉	E ₆₁₀	E ₆₁₁	E ₆₁₂	E ₆₁₃	E ₆₁₄	E ₆₁₅	.....
C ₇	Pričvrstiti kalup na ubrizgavalicu	E ₇₁	E ₇₂														.....
C ₈	Prihvatiti i prenijeti sile	E ₈₁	E ₈₂	E ₈₃	E ₈₄												.....
C ₉	Povezati elemente kalupa	E ₉₁	E ₉₂	E ₉₃	E ₉₄	E ₉₅	E ₉₆	E ₉₇									.....
C ₁₀	Posebne funkcije	E ₁₀₁	E ₁₀₂	E ₁₀₃	E ₁₀₄	E ₁₀₅											.....

Primjer: E₁₂ - točkasto ušće, E₂₁ - kalupna šupljina, E₃₃ - temperiranje vodom, E₄₁₂ - slog lamelnih puštica, E₅₁ - izbacivala, E₆₈ - konusno vođenje (centriranje), E₇₁ - pravokutne stezne ploče, E₈₃ - temeljna ploča, E₉₄ - standardno kućište, tip N, E₁₀₂ - koso izvlačilo

TABLICA 3. Međusobni utjecaj parcijalnih funkcija kalupa^{1,2}
 TABLE 3. Interaction between mould partial functions^{1,2}

Parcijalna funkcija kalupa / <i>Mould partial function</i>		C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀
C ₁	Razdijeliti plastomernu taljevinu		++	+			+	+	+	+	?
C ₂	Praoblikovati i strukturirati taljevinu			++	++		+	+	+	+	?
C ₃	Održavati temperaturno polje u kalupu					+	+			+	?
C ₄	Odzračiti kalupnu šupljinu			+			++				?
C ₅	Izvaditi grozd iz kalupne šupljine	++		++			++	+	+	+	?
C ₆	Centrirati i voditi dijelove kalupa				++	++		++	++	++	?
C ₇	Pričvrstiti kalup na ubrizgavalicu						++		++	++	?
C ₈	Prihvatiti i prenijeti sile				+	++	++	++		++	?
C ₉	Povezati elemente kalupa					+	++	++	++		?
C ₁₀	Posebne funkcije	?	?	?	?	?	?	?	?	?	

Značenje simbola: ++ - veliki utjecaj
 + - utjecaj
 ? - utjecaj ovisan o izvedbi rješenja parcijalne funkcije
 - nema utjecaja

tih dijagrama provodi se izbor načelnih rješenja sistematiziranih u morfološkoj matrici kalupa.^{1,2,13-15}

U takvim dijagramima konstruktor uglavnom odgovara na postavljena pitanja s DA ili NE, što ga nakon njihova određenoga broja do- vodi do načelnoga rješenja za pojedinu parcijalnu funkciju.

Do sada je razvijeno sedam različitih dijagrama odlučivanja. Razvi- jen je dijagram odlučivanja za načelno određivanje položaja otpre- ska u kalupu, čime se potpuno određuje oblik i veličina kalupne šupljine te tip kalupa.^{1,2,13-15}

Tip kućišta kalupa koje ispunjava funkciju prihvata i prijenosa sila te povezuje elemente kalupa, određuje se također s pomoću odgova- rajućega dijagrama. Tip kućišta izravno ovisi o obliku i obujmu otp- reska kojega treba izraditi u kalupu. Izmjere kućišta kalupa ovise o potrebnome prostoru za smještaj otpreska (grozda). Pri konačnome izboru tipa kućišta kalupa potrebno je imati podatke o standardnim dijelovima kalupa.^{1,2,13-15}

Vrsta uljavnoga sustava te ušća koji ispunjavaju parcijalnu funkciju razdjeljivanja plastomerne taljevine na potrebni broj kalupnih šup- ljina izabiru se s pomoću dijagrama odlučivanja za načelno odre- đivanje uljavnoga sustava i ušća. Dijagram odlučivanja za načelno određivanje vrste uljavnoga sustava i ušća prikazuje slika 4. Dijagra- mom se dolazi do zaključka treba li primijeniti vrući ili hladni uljevni sustav te kakvo je ušće najbolje izabrati za odgovarajući otpre- sak.^{1,2,13-15}

Dijagram za načelno određivanje sustava za temperiranje primje- njuje se uglavnom za kalupe koji se temperiraju s pomoću medija za temperiranje ili s pomoću grijala. Temeljna je funkcija toga dijagra- ma odrediti način temperiranja kalupnih ploča te načelno odrediti položaj kanala za temperiranje, odnosno grijala.^{1,2,13-15}

Također je razvijen dijagram odlučivanja za načelno određivanje elemenata sustava za pouzdano vađenje grozda iz kalupa. Dija- gram uzima u obzir elemente s pogonom unutar kalupa, npr. zupčanici za vađenje otpresaka s navojem, ali i izvan njega, npr. manipulatori za vađenje otpreska.^{1,2,13-15}

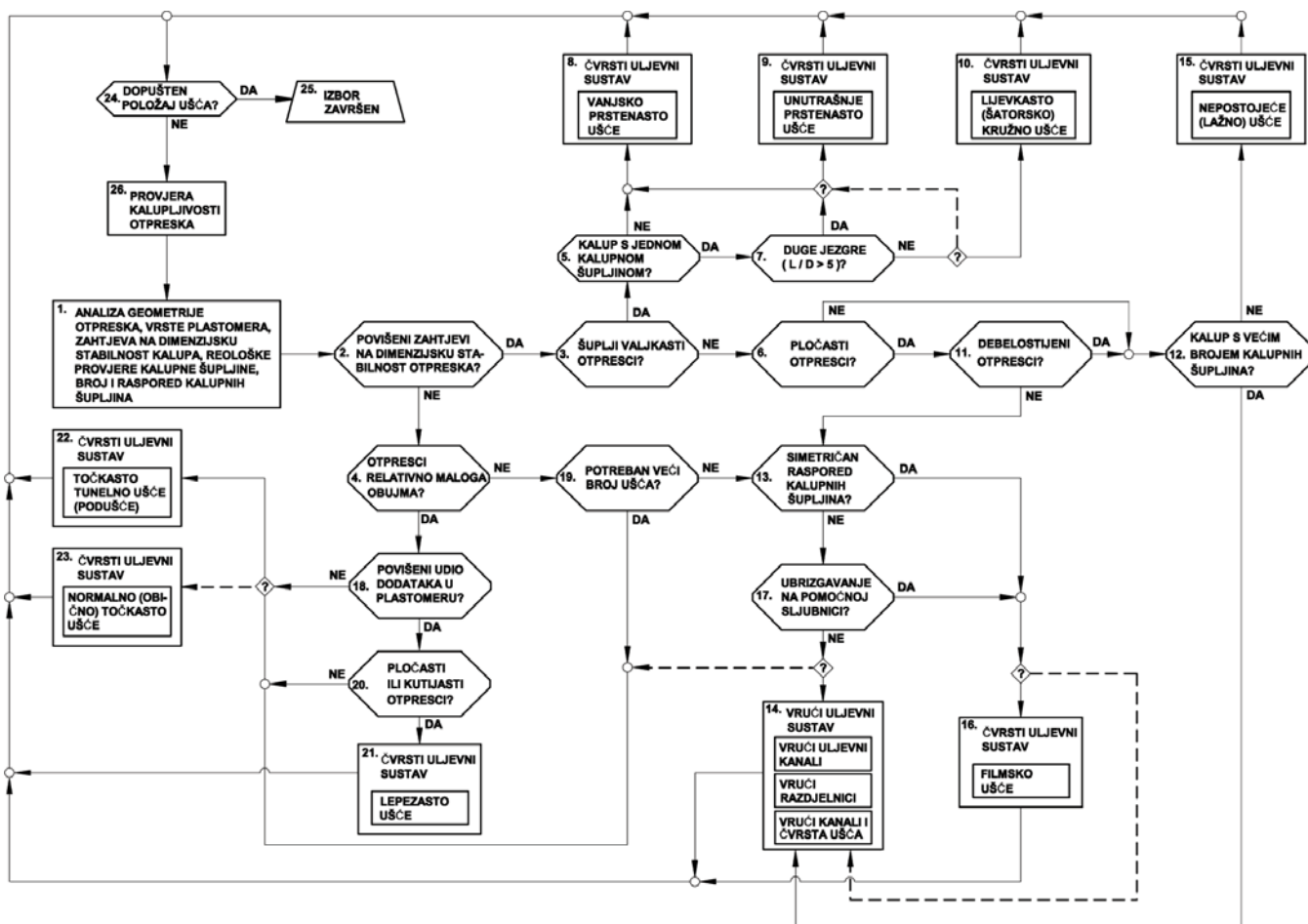
Načelno određivanje elemenata sustava za vođenje i centriranje ka- lupa potrebno je kako bi se osiguralo točno nalijeganje jednoga di- jela kalupa na drugi, ali i centriranje kalupa na pločama ubrizgavali- ce. Stoga se i razlikuje unutarnje i vanjsko centriranje kalupa. Na te- melju analize i opisa poznatih načina vođenja i centriranja elemenata kalupa načinjen je dijagram odlučivanja za načelni izbor elemenata sustava za vođenje i centriranje kalupa.^{1,2,13-15}

Tijekom ubrizgavanja plastomerne taljevine u kalupne šupljine, u njima zaostaje zrak i plinovi koji u pravilu onemogućuju potpuno popunjavanje kalupnih šupljina, te ih je potrebno potisnuti iz njih. Stoga je razrađen dijagram odlučivanja za izbor elemenata sustava za odzračivanje kalupnih šupljina.^{1,2,13-15}

Načelno određivanje posebnih elemenata kalupa nije tako jedno- stavno kao za ostale funkcije kalupa. Naime, posebne funkcije mogu biti vrlo različite, ovisno o značajkama oblika otpreska. Stoga dijagram odlučivanja za određivanje posebnih elemenata kalupa još nije definiran.^{1,2,13-15}

Analiza dijagrama odlučivanja / Decision diagrams analysis

Od pojave prvih dijagrama odlučivanja u radu¹³ nastupile su od- ređene promjene u pristupu konstruiranju kalupa, a na tržištu su se pojavila i neka nova konstrukcijska rješenja za pojedine parcijalne



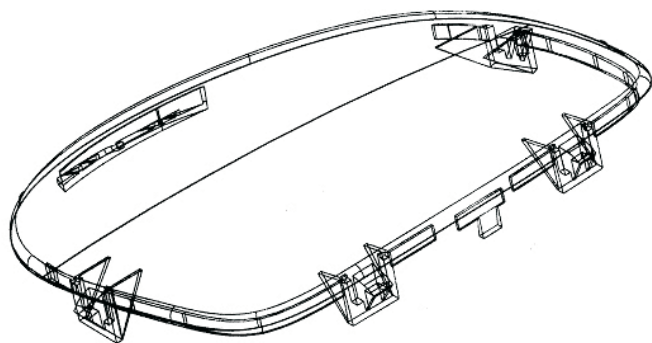
SLIKA 4. Dijagram odlučivanja za načelno određivanje uljavnoga sustava kalupa i ušća²
 FIGURE 4. Decision diagram for determination of mould feed system and gates²

TABLICA 4. Rješenja parcijalnih funkcija kalupa za izradbu poklopca svjetla protiv magle¹⁷
 TABLE 4. Partial function solutions of mould for manufacturing of fog light cover¹⁷

Dijagram odlučivanja / <i>Decision diagram</i>	Put kroz dijagram odlučivanja / <i>Flow through decision diagram</i>	Rješenje iz dijagrama / <i>Solution from diagram</i>	Rješenje na izrađenom kalupu / <i>Solution on finished mould</i>
Položaj otpreska u kalupu	1-2-3-14-21-45-50	otpresak je ispravno položen u kalup	-
Kučiče kalupa	1-2-4-6-10-12-14-16	kučiće kalupa standardnog sustava tipa N	identično rješenje
Uljevni sustav i ušće	1-2-4-16-21-23-24	čvrsti uljevni sustav (točkasto tunelno ušće)	identično rješenje
Sustav za temperiranje	1-2-6-7-11-13-14-15-16-18-19-26-27	temperiranje kalupnih ploča s pravokutnim krugom (*)	primjedba (**)
Sustav za vađenje grozda	1-2-4-5-9-15-23-30	štapičasta izbacivala	identično rješenje
Sustav za vođenje i centriranje	1-2-4-5-7-10	glatki vodeći zatik + vodeća puškica + centrirna puškica	identično rješenje
Sustav za odzračivanje kalupa	1-2-4-5-26-27	odzračivanje kroz sljubnicu	identično rješenje

funkcije kalupa. Stoga se ukazala potreba za provjerom postojećih sedam dijagrama odlučivanja u praksi. U okviru projekta *Reinženjering konstruiranja kalupa za potrebe malih i srednje velikih poduzeća*⁶ provjereno je ukupno 65 već načinjenih i provjerenih kalupa za injekcijsko prešanje u alatnicama poduzeća: *Tvornica olovaka Zagreb* (Zagreb), *Novotec* (Zagreb), *Elektro-kontakt* (Zagreb), *Končar-Alati* (Zagreb), *Iskra-OTC* (Kranj), *Gorenje* (Velenje), *Saturnus* (Ljubljana), *LIV* (Postojna), *Iskra* (Semič) i *Tritech* (Ljubljana).

Pri raščlambi dijagrama odlučivanja raspolagalo se nacrtom otpreska te potrebnim podatcima za rješavanje faze konceptijskoga oblikovanja kalupa. Odgovaranjem na pitanja u dijagramima s DA ili NE dolazilo se do prijedloga konstrukcijskih rješenja za pojedine parcijalne funkcije. Rješenja su zapisivana u tablicu zajedno s putanjom kroz dijagram (brojevi kućica u dijagramima). Nakon toga je analiziran već izrađen i provjeren kalup za izradbu zadanoga otpreska, pri čemu su zapisivana stvarna konstrukcijska rješenja pojedinih parcijalnih funkcija te uspoređivana s rješenjima predloženim u dijagramima odlučivanja. U tablici 4 prikazan je jedan primjer analize kalupa za izradbu poklopca svjetla protiv magle vozila Renault CLIO (slika 5).¹⁷



SLIKA 5. Poklopac svjetla protiv magle - Renault CLIO¹⁷
 FIGURE 5. Fog light cover - Renault CLIO¹⁷

Nakon provedene analize donesen je zaključak kako postojeći dijagrami odlučivanja predlažu zadovoljavajuća rješenja, posebice pri konstruiranju jednostavnijih kalupa (za jednostavnije otpreske).^{1,6,16-18} Pri kompliciranijim konstrukcijama uočena su manja odstupanja i nedostaci u dijagramima koja valja ukloniti u budućim nastojanjima.

Računalni program za konceptijsko konstruiranje kalupa / Computer program for conceptual mould design

Promatranjem spomenutih sedam dijagrama odlučivanja nameće se ideja o njihovom organiziranju u računalni program koji bi konstruktoru kalupa bio jednostavniji i ugodniji za primjenu od samih dijagrama odlučivanja. Međutim, pažljivim studijem dijagrama odlučivanja primjećuje se kako se ponavljaju neka pitanja konstruktoru. Isto se tako od konstruktora očekuje određen veći broj DA ili NE odgovora, što može biti vrlo zamorno.^{2,13}

Stoga se došlo do zaključka kako je većinu tih pitanja moguće sjediniti jednim općenitim formularom – ulaznim sučeljem računalnoga programa u kojega se upisuju ulazni parametri koje konstruktor u svakom slučaju mora poznavati (npr. izmjere otpreska, gustoća plastomernoga materijala itd.). Popunjavajući ulazno sučelje konstruktor već unaprijed daje odgovore na većinu pitanja iz dijagrama odlučivanja, tako da računalni program, kada naiđe na pitanje, ne postavlja ga konstruktoru, već mu odgovor proizlazi iz ulaznih parametara. Postojećim ulaznim sučeljem nisu obuhvaćena sva pitanja, no broj pitanja konstruktoru kalupa sveden je na minimum.^{2,19} S pomoću računalnoga programa jedan se inače vrlo kompleksan zadatak konstruiranja kalupa barem prividno svodi na nekoliko uvriještenih pitanja na koja nije teško odgovoriti niti manje iskusnim konstruktorima.

Nedostatak je ovakvoga računalnog programa statička baza znanja koju u stvari predstavljaju dijagrami odlučivanja. Ukoliko se primjericke pojavi potpuno novo rješenje za neku od parcijalnih funkcija, ili se neko rješenje povlači iz uporabe, potrebno je računalni sustav reprogramirati.

Zaključak / Conclusion

Koncepcijsko oblikovanje kalupa za injekcijsko prešanje plastomera predstavlja najvažniju fazu razvoja, što zahtijeva posebnu pozornost. Kako bi se izbjeglo donošenje pogrešnih odluka i izbor loših konstrukcijskih rješenja, razvijeni su odgovarajući dijagrami odlučivanja za načelno određivanje rješenja pojedinih parcijalnih funkcija kalupa. Takvi dijagrami rezultat su analize i sistematizacije postojećih konstrukcijskih rješenja na području kalupa, ali i iskustva i spoznaja većega broja eksperata. Dodatno usavršavanje faze koncepcijskoga oblikovanja kalupa je organizacija dijagrama odlučivanja u odgovarajući računalni program koji ubrzava i olakšava rad konstruktora. Pritom je još važnije što aktivnosti u ovoj fazi raz-

voja kalupa podiže na kvalitativno višu razinu. Daljnja nastojanja biti će također usmjerena na stalnu provjeru dijagrama odlučivanja u praksi, te na usavršavanje samoga izgleda programa koji će biti upotpunjen slikama i dodatnim objašnjenjima, što bi konstrukturu kalupa još više olakšalo rad s programom.

Zahvala / Acknowledgment

Rad je dio istraživanja kojega financira Ministarstvo znanosti i tehnologije Republike Hrvatske u okviru projekta *Unaprijeđeni postupci proizvodnje polimernih tvorevina*. Autori zahvaljuju Ministarstvu na novčanoj potpori projektu.

LITERATURA / REFERENCES

1. Raos, P.: Sistemski pristup konstruiranju kalupa za injekcijsko prešanje duromera, Magistarski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1985.
2. Godec, D.: Doprinos sustavnom razvoju kalupa za injekcijsko prešanje plastomera, Magistarski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2000.
3. Menges, G.: Computer - aided Engineering: the coming revolution, *Plastics Engineering*, 39(1983)8, 37-42.
4. Nardin, B., Kuzman, K., Kadiš, F.: Practical application of CAE in supporting the development of new product, Conference Proceedings, ICIT'97, TECOS, Maribor, 21-22. 4. 1997, 325-328.
5. Čatić, I., Raos, P.: Theoretical Approach to Injection Mould Design Using Partial Functions and a Morphological Matrix, *Plastics and Rubber & Processing and Application*, 11(1989)3, 131-135.
6. Bilateralni hrvatsko-slovenski projekt: Reinženjering konstruiranja kalupa za potrebe malih i srednje velikih poduzeća, Fakultet strojarstva i brodogradnje-Zagreb, Fakulteta za strojništvo-Ljubljana, 1998-1999.
7. Čatić, I., Godec D.: The mould as the central part of production unit, Part II, *Polimery* 45(2000)4, 237-250.
8. Godec, D., Galijanić, Z.: Computer Usage in Mould Design, Conference Proceedings, ICIT'97, TECOS, Maribor, 21-22. 4. 1997, 309-312.
9. Nardin, B., Kuzman, K., Rogelj, V.: Fast methods for the forming tools price estimation, Conference Proceedings, 13th Conference BIAM'96, KOREMA, Zagreb, 18-21. 6. 1996.
10. Čatić, I., Razi, N., Raos, P.: Analiza injekcijskog prešanja polimera teorijom sustava, Društvo plastičara i gumaraca, Zagreb, 1991.
11. Čatić, I., Raos, P.: Parcijalne funkcije i morfološka matrica kalupa za injekcijsko prešanje polimera, *Polimeri* 9(1988)7-8, 175-179.
12. I. Čatić: Culturological Concept of Toolmaking, Conference Proceeding, ICIT'97, TECOS, Celje, Maribor, 21-22. 4. 1997, 23-30.
13. Dudaš, Ž.: Konstruiranje kalupa za injekcijsko prešanje plastomera uz pomoć dijagrama odlučivanja, Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1983.
14. Godec, D., Čatić, I., Perković, D.: Decision Diagrams Aided Conceptual Mold Design, Conference Proceedings, ANTEC'99, Society of Plastics Engineers, New York, 2-6. 5. 1999, 1058-1062.
15. Godec, D., Čatić, I., Nardin, B., Rujnić-Sokele, M., Adamlje, A.: Decision Diagrams Aided Conceptual Mould Design for Injection Moulding of Thermoplastics, Conference Proceedings, ICIT'99, TECOS, Rogaska Slatina, 18-22. 4. 1999, 353-358.
16. Samodol, A.: Analiza dijagrama odlučivanja za koncepcijsko konstruiranje kalupa za injekcijsko prešanje, Završni rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1999.
17. Horvat, D.: Analiza dijagrama odlučivanja za koncepcijsko konstruiranje kalupa za injekcijsko prešanje plastomera, Završni rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1998.
18. Belošević, Ž.: Praktična provjera dijagrama odlučivanja za koncepcijsko oblikovanje kalupa za injekcijsko prešanje plastomera, Završni rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1998.
19. Galijanić, Z.: Izradba računalnog programa za analitički proračun kalupa za injekcijsko prešanje plastomera, Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1999.

DOPISIVANJE / CORRESPONDENCE

Mr. sc. Damir Godec
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: damir.godec@fsb.hr



**Međunarodni sajam strojeva za pakiranje,
ambalaže i strojeva za proizvodnju slastica**

Düsseldorf, 21. – 27. 4. 2005.