

# **CERCETĂRI PRIVIND ÎMBUNĂTĂȚIREA PROIECTĂRII MATRIȚELOR DE INJECTAT FOLOSIND ELEMENTE SPECIFICE SISTEMELOR EXPERT**

Teză destinată obținerii  
titlului științific de doctor inginer  
la  
Universitatea "Politehnica" din Timișoara  
în domeniul INGINERIE INDUSTRIALĂ  
de către

**Ing. Vlad Adrian ȚUȚ**

Conducător științific:  
Referenți științifici:

prof.univ.dr.ing Tudor ICLĂNZAN  
prof.univ.dr.ing. Gheorghe ACHIMAȘ  
prof.univ.dr.ing. Octavian BOLOGA  
conf.univ.dr.ing. Aurel TULCAN

Ziua susținerii tezei: 30.09.2011

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- |                        |   |
|------------------------|---|
| 1. Automatică          | 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații |
| 2. Chimie              | 8. Inginerie Industrială                    |
| 3. Energetică          | 9. Inginerie Mecanică                       |
| 4. Ingineria Chimică   | 10. Știința Calculatoarelor                 |
| 5. Inginerie Civilă    | 11. Știința și Ingineria Materialelor       |
| 6. Inginerie Electrică |   |

Universitatea „Politehnica” din Timișoara a inițiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoștințelor și rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul școlii doctorale a universității. Seriile conțin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susținute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2006

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității „Politehnica” din Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,  
tel. 0256 403823, fax. 0256 403221  
e-mail: editura@edipol.upt.ro

## Cuvânt înainte

Teza de doctorat a fost elaborată pe parcursul activității mele în cadrul Departamentului „Ingineria Materialelor și Fabricației” al Universității „Politehnica” din Timișoara.

Toate aceste cercetări și elaboarea tezei nu ar fi fost posibile fără coordonarea și urmărirea permanentă din partea domnului prof.dr.ing. Tudor Alexandru ICLĂNZAN, față de care doresc să exprim mulțumirile mele pentru îndrumarea, încrederea și încurajarea acordată în calitate de conducător științific.

Pentru sprijinul, sugestiile și materialele puse la dispoziție pe parcursul activității de cercetare, doresc să le mulțumesc colegilor din cadrul Catedrei „Tehnologia Construcțiilor de Mașini” din Facultatea de Mecanică a UPT.

Timișoara, 09.2011

Vlad Adrian Țuț

Familiei mele.

Țuț, Vlad Adrian

**Cercetări privind îmbunătățirea proiectării matrițelor de injectat folosind elemente specifice sistemelor expert**

Teze de doctorat ale UPT, Seria 8, Nr. 38, Editura Politehnica, 2011, 164 pagini, 113 figuri, 9 tabele.

Cuvinte cheie: matrița de injectat, logica fuzzy

Rezumat,

Lucrarea de față propune ca, folosind elemente specifice realizării sistemelor expert, să dezvolte un program de proiectare a matrițelor de injectat cu caracteristici mai pronunțate de interactivitate cu utilizatorul și cu posibilități de up-datare în funcție de nevoile și competențele utilizatorului. S-a făcut o prezentare succintă a matrițelor de injectat clasice, precizând funcționarea și construcția lor, s-au identificat factorii care influențează procesul de injectare aceștia fiind: geometria piesei, la care studiind diferitele moduri de proiectare a pieselor din plastic s-a constatat diversitatea configurațiilor de geometrie și formă ce o pot avea piesele și s-a catalogat forma pieselor doar pe trei categorii (cilindrică, prismatică, combinată/complexă), materialul, unde s-au prezentat pentru o serie de materiale plastice diverse proprietăți sau caracteristici dintre care amintim: proprietăți fizice, proprietăți mecanice, proprietăți chimice, proprietăți termice, proprietăți electrice, comportamentul la ardere, respectiv proprietăți privind procesarea; tipul matriței, cu factorii care pot avea influență directă asupra injectării și țin de matriță sunt numărul de cuiburi alese, dimensiunea cuibului, configurația rețelei de injectare și alcătuirea acesteia, temperatura matriței; și mașina de injectat pentru care s-au realizat tabele cu caracteristicile acestora. Acești factori realizează baza de date a programului TimMold. Algoritmul programului este bazat pe logica fuzzy și permite o îndrumare corect argumentată pentru proiectarea unei matrițe pornind de la alegerea piesei, a materialului de injectare, tipul matriței și mașina de injectat.

Teza de doctorat a fost realizată cu sprijin parțial din grantul strategic POSDRU/6/1.5/S/13, ID6998, cofinanțat din Fondul Social European "Investește în oameni", în cadrul Programului Operațional Sectorial Dezvoltare Resurse Umane 2007-2013



## CUPRINS

Introducere.....	7
1. Date introductive despre inteligența artificială și logica Fuzzy.....	9
1.1. Introducere în inteligența artificială.....	9
1.2. Rețele neuronale.....	11
1.3. Logica fuzzy.....	12
1.3.1. Mulțimi fuzzy. Logica fuzzy. Operatori logici.....	13
1.3.2. Aplicații fuzzy.....	16
1.4. Sisteme expert în domeniul injectării.....	24
1.5. Aplicarea logicii fuzzy la rețele de injectare.....	28
1.6. Concluzii.....	32
2. Analiza metodelor de proiectare a matrițelor de injectat pentru materiale polimerice și stabilirea unei baze de date pentru programul TimMold.....	33
2.1. Construcția și funcționarea matrițelor de injectat.....	33
2.2. Identificarea factorilor care influențează procesul de injectare.....	37
2.2.1. Piesa.....	37
2.2.2. Materialul piesei injectate.....	41
2.2.3. Matrița de injectat.....	43
2.2.4. Mașina de injectat.....	66
2.3. Metoda de concepție asistată de calculator.....	68
2.3.1. Studiu de caz.....	72
2.3.2. Simularea curgerii în MoldFlow.....	77
2.4. Concluzii.....	82
3. Definirea obiectivelor și a metodelor de cercetare doctorală.....	83
4. Conceperea elementelor unui sistem expert pentru injectarea în matriță.....	85
4.1. Sistemul expert. Introducere și caracteristici.....	85
4.1.1. Caracteristicile sistemului expert.....	87
4.1.2. Structura sistemului expert.....	87
4.1.3. Interfața cu utilizatorul.....	90
4.1.4. Capacitatea de explicare în sistemele expert.....	90
4.1.5. Nevoia de sisteme expert.....	91
4.1.6. Beneficiile sistemelor expert.....	91
4.2. Stabilirea diagramei (schemei logice) de funcționare a programului TimMold.....	92
4.2.1. Schema logică pentru realizarea unei matrițe de injectat.....	92
4.2.2. Stabilirea schemei logice pentru prelucrarea plăcilor de formare.....	96
4.3. Concluzii.....	98
5. Descrierea programului TimMold.....	99
5.1. Definiere produs.....	100
5.2. Alegerea materialului.....	101
5.3. Alegerea mașinii de injectat.....	102
5.4. Rețeaua de injectare.....	103

5.4.1. Injectare multicuib.....	103
5.4.2. Injectare monocuib.....	108
5.4.3. Dimensionare cuib.....	111
5.4.4. Elemente de design matrită.....	112
5.5. Prelucrarea plăcilor de formare.....	113
5.6. Testarea programului TimMold.....	120
5.7. Concluzii.....	131
6. Concluzii, contribuții originale și direcții viitoare de cercetare.....	132
Anexe .....	134
A1 .....	134
A2 .....	135
A3 .....	136
A4 .....	137
A5 .....	138
A6 .....	139
A7 .....	140
A8 .....	141
A9 .....	142
A10. ....	144
A11. ....	147
A12. ....	148
A13.....	149
A14.....	157
A15.....	159
Bibliografie.....	160

# INTRODUCERE

*Sistemele expert* sunt produse ale inteligenței artificiale, ramură a științei calculatoarelor ce urmărește dezvoltarea de programe inteligente. Ceea ce este remarcabil pentru sistemele expert este aria de aplicabilitate ce a cuprins multe domenii de activitate de la arhitectură, arheologie, bănci, comerț, educație, până la ingineria sistemelor și medicină. Aceste sisteme, de dată recentă în sensul definit de sistemele moderne de producție, au deocamdată o aplicare relativ limitată, fiind accesibile în special specialiștilor din marile universități și unități industriale care au cunoștințe și proceduri deja structurate și, mai ales, care își pot permite accesul la echipamente și facilități moderne, dar costisitoare.

Pe de altă parte, în ultimii ani, sectorul industrial destinat realizării produselor din materiale plastice și compozite (plasturgie) este marcat de ritmuri susținute de dezvoltare, ceea ce face ca odată la 5 ani volumul activităților specifice lui să se dubleze. În cadrul acestui sector de activitate, procedeul prelucrării pieselor prin injectare este pe de parte predominant, și în ciuda unor tehnologii relativ bine puse la punct, continuă să suscite interes pentru cercetare datorită unor particularități. Acestea au în vedere în special două aspecte și anume, proprietățile reologice ale pieselor din materiale plastice atât în exploatare, cât și în procesele de fabricație, ceea ce impune o abordare specială a concepției lor, iar pe de altă parte, complexitatea deosebită și costul ridicat al matrițelor de injectare (uneori de zeci de mii de Euro) la care se asociază și durată mare a asimilării în fabricație (3-6 luni).

În contextul și problematica de mai sus, **obiectivul asumat al prezentei teze de doctorat a fost acela de a realiza un soft dedicat proiectării matrițelor de injectat materiale polimerice pe baza implementării unor proceduri specifice sistemelor expert.** Acesta are rolul de a ajuta utilizatorul (proiectant de matrițe, inginer de producție, operator), care nu întotdeauna este un „expert” în domeniu, în rezolvarea unor probleme asociate procesului de injectie, realizând un soft interactiv cu proiectantul sugerând adesea soluții alternative în proiectare. Acesta oferă informații referitoare la stabilirea unor parametri de lucru, la optimizarea procesului în vederea utilizării la maxim posibil a capacității de producție a mașinii de injectat

Studiile teoretice și experimentale realizate au fost facilitate de dotările asigurate în cadrul Centrului de Dezvoltare în Plasturgie, creat ca unitate de cercetare integrată funcțional și administrativ catedrei de TCM de la Universitatea POLITEHNICA din Timișoara. În bună parte lucrările realizate în cadrul tezei au avut suportul logistic și financiar asigurat prin diferitele contracte de cercetare .

Teza de doctorat realizată în intervalul 2008-2011 este structurată pe 6 capitole cărora li se asociază și o documentație anexa (Anexa 2.1- 2.6, Anexa 4.1-4.2).

În capitolul 1, intitulat **„Date introductive despre inteligența artificială și logica Fuzzy”**, se face o prezentare sintetică și rezumativă relativă la cunoștințele de bază privind inteligența artificială, logica fuzzy. Sunt prezentate câteva principii de operare a sistemelor expert dedicate matrițelor de injectat. O analiză mai aprofundată este acordată prezentării logicii fuzzy (mulțimi, logică, operatori, aplicații, proceduri). De altfel, sunt prezentate elementele fundamentale ale sistemului expert în domeniul injectării, diagrama fluxului de date în cadrul sistemului expert și aplicarea logicii fuzzy la rețelele de injectare. Și aceste subcapitole ar fi putut fi asistate de explicații

complementare mai detaliate. Din prezentările făcute, sistemul expert în domeniul injectării materialelor polimerice are rolul de a ajuta utilizatorul care nu este "expert" în domeniu, oferind informații referitoare la stabilirea unor parametri de lucru, la optimizarea procesului și utilizarea la maxim a capacității de producție a mașinii de injectat.

În capitolul 2, intitulat **„Analiza metodelor de proiectare a matrițelor de injectat pentru materiale polimerice și stabilirea unei baze de date pentru programul TimMold”**, se face o prezentare succintă a matrițelor de injectat clasice, precizând funcționarea și construcția lor. Se vor identifica factorii care influențează procesul de injectare și care determină pașii necesari a fi parcurși pentru a proiecta o matriță de injectat, atât varianta clasică bazată pe calcul tabelar, cât și varianta asistată de calculator. Pașii prezentați în acest capitol stau la baza creării unui program (**TimMold**) ce va ghida proiectantul de matrițe, îi va ușura munca și astfel va reduce timpul și costul proiectării unei matrițe.

În capitolul 3, **„Definirea obiectivelor și metodelor de cercetare doctorală”**, s-a definit obiectivul cercetării doctorale care în principal are scopul de a realiza o metodă de proiectare asistată de calculator folosind elementele specifice sistemelor expert. Ca și metoda de rezolvare, s-a avut în vedere conceperea unei platforme virtuale, unde pe baza unor date de intrare (alegere tip suprafața de prelucrat, definiție dimensiuni fabricație, alegere material, s.a.) se obțin date de ieșire pentru dimensionarea cavităților și privind fabricația propriu-zisă.

Capitolul 4 se intitulează **„Conceperea elementelor unui sistem expert pentru injectare în matriță”**. Algoritmul descris în **subcapitolul 4.2.1** este bazat pe logica fuzzy și permite o îndrumare corect argumentată pentru proiectarea unei matrițe pornind de la alegerea piesei, a materialului de injectare, tipul matriței și mașina de injectat. Baza de date ce stă la baza programului **TimMold** a fost realizată cu ajutorul informațiilor din **Capitolul 2**. Echipa de proiectare care utilizează această aplicație software, prin cunoștințele și experiența de producție, poate adapta elementele algoritmului respectiv definițiile mulțimilor fuzzy și regulile de inferență la condițiile concrete de injectare.

Capitolul 5, **„Descrierea programului „TimMold”**” pune accent pe descrierea programului **TimMold**, fiind descriși în detaliu fiecare pas ce trebuie făcut de operatorul care pornește de la câteva detalii pe care le are despre piesa supusă injectării și, încet-încet, alege materialul optim, mașina de injectat și dimensionează rețeaua de injectare. Pașii următori cu ajutorul programului reduc cu mult varianta de proiectare clasică prin calcul tabelar. Programul, printr-un modul specializat prelucrărilor prin așchiere, permite realizarea unui plan tehnologic pentru cele două plăci de formare ale matriței.

În **ultima parte**, teza cuprinde o serie de **concluzii și considerații finale**, în care se insistă pe prezentarea **contribuțiilor originale** în domeniul studiat și se precizează direcțiile noi de cercetare evidențiate în urma cercetărilor din cadrul tezei.

# Cap 1 Date introductive despre inteligența artificială și logica Fuzzy

## 1.1 Introducere în inteligența artificială

Fondul inteligenței artificiale (IA) a fost caracterizat de păreri controversate și abordări diferite. În ciuda controverselor care s-au întins de la definiția de bază a inteligenței până la chestiunile legate de aspectele morale și etice în cercetarea IA, tehnologia continuă să aibă rezultate practice. Cu eforturi sporite în cercetarea IA, multe din argumentele curente sunt rezolvate prin demersuri tehnice dovedite. Sistemele expert, principalul subiect al acestei teme, reprezintă cea mai promițătoare ramură a IA. [CJA 98]

„Inteligența artificială” este un nume controversat pentru o tehnologie care promite un potențial puternic în îmbunătățirea productivității umane. Unii observatori au sugerat schimbarea denumirii de „inteligență artificială” cu una mai puțin controversată precum „aplicații inteligente”(AI). Aceasta se referă mai mult la modul în care calculatorul și software-ul sunt folosite în mod inovativ pentru a rezolva chestiuni de decizie complexe. [COR 98]

Inteligența naturală implică capacitatea oamenilor de a asimila cunoștințe, de a le gândi și a le folosi pentru a rezolva probleme într-un mod eficace. [COR 98]

Definiția inteligenței a fost abordată de mulți filosofi și matematicieni importanți din toate timpurile, inclusiv Aristotel, Platon, Copernicus și Galileo. Ei au încercat să explice procesul gândirii și al înțelegerii. Adevărata cheie care a dat startul cercetării în simularea inteligenței nu a apărut, totuși, până când filosoful englez Thomas Hobbes a scos la iveală un concept interesant în 1650. Hobbes credea că gândirea consta în operații cu simboluri și că totul în viață poate fi reprezentat matematic. Aceste credințe au condus direct la ideea că un aparat capabil să realizeze operații matematice cu simboluri ar putea imita și gândirea umană. Această idee reprezintă forța motoare esențială a rezultatului IA. [CJA 98] Din acest motiv, câteodată, când aducem în discuție numele Hobbes, ne referim la părintele inteligenței artificiale.

În timp ce denumirea de „inteligență artificială” a fost inventată de John McCarthy - relativ recent (1956), conceptul a fost luat în considerare cu secole în urmă. De îndată ce în 1637, Rene Descartes explora pe plan conceptual capacitatea unui robot de a avea inteligență, zicând:

„Ne putem imagina foarte bine un robot făcut astfel încât să rostească cuvinte, în unele cazuri, chiar și cuvinte specifice unor acțiuni care îi afectează din punct de vedere fizic. Totuși, niciun astfel de robot nu ar putea vreodată să-și aranjeze cuvintele în multe și diferite moduri astfel încât să răspundă semnificației „orice ar fi spus în prezența lui – ceea ce și cel mai prost om ar putea face”. [ADE 02]

Descartes credea că mintea și lumea fizică sunt două planuri paralele care nu pot fi similare. Sunt alcătuite din substanțe diferite, urmând reguli complet diferite și de aceea ele nu pot fi comparate cu succes. Lumea fizică (adică aparatele) nu poate imita mintea deoarece nu există niciun punct de referință comun.

Anii 1800 au cunoscut o înaintare în conceptualizarea calculatorului. Charles Babbage, un matematician britanic, a pus bazele formării calculatorului, un aparat electronic capabil să realizeze calcule matematice. În 1833, Babbage a introdus un motor de gândire. Această mașină de calculat combina două idei fără precedent care urmau să devină elemente extrem de importante pentru calculatorul modern. În primul rând, aceste operații care puteau fi programate în totalitate, iar în al doilea rând, acesta putea conține ramuri condiționate. Fără aceste două proprietăți, puterea calculatoarelor de astăzi ar fi de neconceput. Din cauza lipsei de bani, Babbage nu a reușit niciodată să-și îndeplinească visul de a construi motorul analitic. Totuși, visul său a reînviat prin eforturile cercetătorilor de mai târziu. Conceptele de bază ale lui Babbage pot fi observate în modul în care majoritatea calculatoarelor din ziua de azi operează.

Un alt matematician britanic, George Boole, a lucrat la unele probleme care urmau să fie în aceeași măsură importante. Boole a formulat legile gândirii care stabileau regulile de logică pentru reprezentarea gândirii. Regulile conțineau doar variabile cu două valori. Astfel, într-o operație logică, o variabilă se poate afla doar în una din cele două situații: da sau nu, adevărat sau fals, totul sau nimic, 0 sau 1, pornit sau oprit și așa mai departe. Aceasta a însemnat nașterea logicii digitale, o componentă cheie a mișcării inteligenței artificiale. [CJA 98]

La începutul anilor 1900, Alfred North Whitehead și Bertrand Russel au extins logica lui Boole pentru a include operațiile matematice. Acest lucru nu a condus doar la conceperea calculatoarelor digitale, ci, de asemenea, a făcut posibil primele conexiuni între calculatoare și procesul de gândire.

Cu toate acestea, tot nu era posibil să se construiască un astfel de computer. În 1938, Claude Shannon a demonstrat că logica lui Boole care consta doar în două situații diferite (de exemplu: pornirea sau stingerea circuitelor) poate fi folosită pentru a realiza operații logice. Bazându-se pe această premisă, ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer) a fost construit în 1946 la Universitatea din Pennsylvania. ENIAC era un calculator electronic complet operațional, pe o scară largă, care semnală începutul primei generații de calculatoare. Putea realiza calcule de o mie de ori mai rapid decât aparatele electro-mecanice anterioare. Cântărea 30 tone, era înalt cât două etaje și ocupa 450 metri pătrați. Spre deosebire de calculatoarele din ziua de azi, care operează în sistemele binare (0 și 1), ENIAC opera în cel zecimal (0, 1, 2, .....9) și era nevoie de zece borne ca să reprezinte o cifră în sistemul zecimal. Cu peste 18 000 borne, ENIAC avea nevoie de o mare cantitate de putere electrică, atât de multă încât se spunea că slăbea luminile în Philadelphia de fiecare dată când funcționa. [ADE 02] [COR 98]

Numeroasele încercări de a descrie folosirea aparatelor pentru a simula inteligența umană au condus la dezvoltarea mai multor ramuri ale IA. Sub-specializările curente ale inteligenței artificiale includ: [ADE 02]

1. *Procesarea limbii* se ocupă cu diverse câmpuri de căutare precum sisteme de căutare în baze de date, dicționare, indexare, analiză gramaticală și analiza stilului, producerea textului, programe de traducere, analiza discursului și sinteza discursului.

2. *Memoria vizuală a computerului* se ocupă cu motorul de căutare ce implică analiza scenelor, înțelegerea imaginilor, originea gesturilor.
3. *Robotica* implică comenzile asupra roboților de a manevra sau a apuca obiecte, mișcarea mașinărilor independente și utilizarea comenzilor senzoriale pentru a le ghida acțiunile.
4. *Rezolvarea problemelor și planificarea* implică aplicații precum îmbunătățirea nivelului scopurilor, determinarea acțiunilor necesare pentru atingerea scopurilor, revizuirea planurilor bazate pe rezultate intermediare și căutarea atentă a scopurilor importante.
5. *Învățarea* se ocupă cu căutarea în diferite forme de învățare incluzând învățarea mecanică, învățarea prin sfat, învățarea prin exemplu, învățarea prin executarea cerinței și învățarea prin urmarea conceptelor. [ADE 02]
6. *Sistemele expert* se ocupă cu procesarea cunoștințelor, opus procesării informațiilor. Implică dezvoltarea programelor de operare în vederea rezolvării problemelor de decizie complexe.

## 1.2 Rețele neuronale

Rețelele neuronale, câteodată numite și sisteme de conexiune, sunt rețele formate din elemente simple de procesare sau noduri capabile să proceseze informații ca răspuns la alte informații introduse în calculator. Rețelele neuronale au fost prezentate la început ca modele ale sistemului nervos uman. [ADE 02] Doar după al Doilea Război Mondial, oamenii de știință au aflat că fiziologia creierului era asemănătoare modului de procesare utilizat de calculatoare. În ambele cazuri, mari cantități de informații sunt manevrate. În cazul calculatoarelor, unitatea de procesare elementară este bit-ul, care este în stare de funcționare oprit/pornit. În cazul creierului, neuronii realizează procesarea informațiilor fundamentale. Neuronii sunt celule mici care urmează un principiu binar fiind sau nu în stare de ardere. Când un neuron este aprins, trimite un semnal celorlalți neuroni printr-o rețea de sinapse. [CJA 98]

Spre sfârșitul anilor 1940, Donald Hebb, un cercetător, a introdus ipoteza că memoria biologică are loc atunci când doi neuroni sunt activi în același timp. Legătura sinaptică a neuronilor sincronizați este întărită și are întâietate față de legăturile realizate de neuroni care nu sunt activi simultan. Nivelul întâietății este considerat o valoare care oferă un mare avantaj. Recunoașterea modelelor, o mare forță a inteligenței umane, se bazează pe forțele părtinoare ale legăturilor întărite dintre multele perechi de neuroni activi simultan. [CJA 98]

Ideea prezentată de Hebb urma să dezvolte un model de calculator bazat pe modul în care neuronii formează legături în creierul uman. Dar ideea a fost considerată a fi una stupidă la acea vreme, din moment ce creierul uman conține 100 miliarde de neuroni și fiecare neuron este conectat la alți 10 000 printr-o sinapsă. Chiar și cu capacitatea computațională de astăzi, tot este greu de duplicat activitățile neuronilor. În 1969, Marvin Minsky și Seymour Pappert au criticat cercetarea rețelei neuronale care era în desfășurare, considerând-o inutilă. A fost reclamat faptul că viziunile pesimiste pe care ei le-au prezentat au descurajat furnizarea fondurilor pe viitor, pentru câțiva ani. Finanțarea s-a îndreptat în schimb către avansarea cercetării sistemelor expert, pentru

care Minsky și Pappert au optat. Numai recent, rețelele neuronale au început să revină în forță. [ADE 02]

Pentru că rețelele neuronale sunt modelate după funcționarea creierului, ele au un rol important ca elemente constituente pentru atingerea ultimului scop al inteligenței artificiale. Generația actuală de rețele neurale folosește neuroni artificiali. Fiecare neuron este conectat la cel puțin un neuron prin metoda sinapsei. Rețelele se bazează pe un oarecare model de învățare. Rețelele neuronale învață evaluând schimbările în informațiile primite. Învățarea poate fi supravegheată sau nesupravegheată. În învățarea supravegheată, fiecare răspuns este coordonat de către parametrii dați. Calculatorul este instruit să compare toate informațiile primite cu răspunsurile ideale, iar fiecare discrepanță între noi informații introduse și răspunsuri ideale este înregistrată. Sistemul folosește apoi această bancă de date pentru a ghici ce cantitate din noile informații strânse sunt asemănătoare sau diferite de răspunsurile ideale, adică, cât de mult se potrivesc modelele. Rețelele care realizează acumularea de cunoștințe în învățarea supravegheată sunt acum folosite în comerț în sistemele-control și caligrafia și recunoașterea discursului.

În învățarea nesupravegheată, informația introdusă în calculator este evaluată independent și stocată sub forma unor formule. Sistemul evaluează un șir de formule și identifică asemănările și diferențele dintre ele. Totuși, sistemul nu poate sesiza sensul informațiilor fără atribuirea de valori pentru formule, realizată de către om. [COR 98] Comparatiile sunt cu privire la alte rezultate decât la unul ideal. Rețelele cu învățare nesupravegheată descoperă formule atunci când un anumit rezultat este știut dinainte, precum în cercetările din fizică și analiza informațiilor financiare. Câteva astfel de rețele sunt acum disponibile în comerț, de exemplu NeuroShell de la Ward Systems Group. Software-ul este scump, dar este relativ ușor de manevrat. Are o conexiune bună cu alte programe soft precum Lotus 1-2-3 și dBASE, cu sisteme de programare precum C, Pascal, FORTRAN și BASIC. [COR 98]

În ciuda potențialului dovedit de rețelele neuronale, ele simplifică într-un mod drastic operațiile creierului. Sistemele existente pot doar prelua comenzile de recunoaștere a formulelor elementare și sunt slabe în deducerea sensului, calcule matematice și alte socoteli care sunt ușor efectuate de către calculatoarele tradiționale. Dificultatea în atingerea scopului rețelelor neuronale o reprezintă înțelegerea limitată a funcțiilor creierului uman. Fără îndoială, pentru a modela corect creierul, trebuie să știm mai multe despre acesta. Dar o cunoaștere complexă a creierului este încă la mulți ani distanță. [ADE 02]

### **1.3 Logica fuzzy**

Logica fuzzy reprezintă o metodă diferită de tratare a problemelor de reglare, față de metodele clasice. Bazele teoretice ale logicii fuzzy au fost puse de profesorul Lotfi A. Zadeh de la Universitatea din Berkely, în 1965. Logica fuzzy permite tratarea variabilelor vagi ale căror valori pot varia între 0 și 1, spre deosebire de logica binară care lucrează cu variabile care au ca valori numai 0 și 1. Inițial, ca și rețelele neuronale, logica fuzzy a fost aplicată în domenii non-tehnice, în așa numitele sisteme expert, folosindu-se capacitatea lor de a lua decizii.



În cazul reglării fuzzy, algoritmi de reglare convenționali sunt înlocuiți printr-o serie de reguli lingvistice de forma Dacă (premisă), Atunci (concluzie). Astfel, se obține un algoritm euristic și poate lua în considerare experiența operatorului pentru conducerea proceselor. În aceste condiții logica fuzzy se pretează foarte bine conducerii proceselor.[VOL 97]

### 1.3.1 Mulțimi fuzzy. Logica fuzzy. Operatori logici

În teoria clasică a mulțimilor, un element  $x$  al unei mulțimi  $M$  poate sau nu să aparțină unei mulțimi  $A$ . În teoria mulțimilor fuzzy, un element  $x$  al mulțimii  $M$  aparține mulțimii fuzzy  $A$  cu un anumit grad de apartenență exprimat prin funcția de apartenență.[TUR 99]

$$\mu_A: M \rightarrow [0,1] \quad (1.1)$$

Deci fiecare element al mulțimii  $M$  are un anumit grad de apartenență, cuprins între 0 și 1, la mulțimea fuzzy  $A$ . Mulțimea fuzzy  $A$  este complet determinată de perechile element-grad de apartenență:[TUR 99]

$$A = \{(x, \mu_A(x)) / x \in A\} \quad (1.2)$$

Exemplu: elementul  $x_i$  aparține mulțimii fuzzy  $A$  cu gradul de apartenență  $\mu_A(x_i)$ .

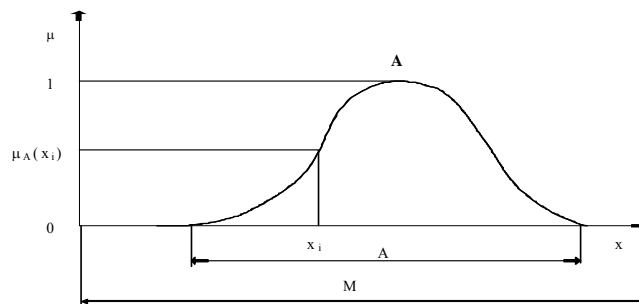


Fig. 1.1 Mulțimea fuzzy A [TUR 99]

Logica fuzzy utilizează următorii operatori:

- operatorul  $\text{ȘI}$ ;
- operatorul  $\text{SAU}$ ;
- operatorii de compensare  $\lambda$  și  $\gamma$ ;
- negația;
- operatori definiți pe mulțimi carteziane.[TUR 99]

#### **Operatorul ȘI**

Se poate defini în mai multe moduri, de la caz la caz, utilizându-se una din următoarele definiții:

$$\mu_{A \text{ și } B}(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} \quad (1.3)$$

- operatorul minim

$$\bullet \mu_{AsiB}(x) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(x) \quad (1.4)$$

- operatorul produs

$$\bullet \mu_{AsiB}(x) = \max\{0, \mu_A(x) + \mu_B(x) - 1\} \quad (1.5)$$

### **Operatorul SAU**

De asemenea, se poate defini în mai multe moduri, de la caz la caz, utilizându-se una din următoarele definiții:

$$\bullet \mu_{AsauB}(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} \quad (1.6)$$

- operatorul maxim

$$\bullet \mu_{AsauB}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x) \quad (1.7)$$

$$\bullet \mu_{AsauB}(x) = \min\{1, \mu_A(x) + \mu_B(x)\} \quad (1.8)$$

### **Operatorul de compensare $\lambda$**

$$\mu_{A\lambda B}(x) = \lambda \cdot \mu_A(x) \cdot \mu_B(x) + (1 - \lambda) \cdot [\mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)], \quad (1.9)$$

unde  $\lambda \in [0,1]$ . Cazuri particulare:

$$\bullet \lambda = 0$$

$$\mu_{A\lambda B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x) = \mu_{AsauB}(x), \text{ conform definiției;}$$

$$\bullet \lambda = 1$$

$$\mu_{A\lambda B}(x) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(x) = \mu_{AsiB}(x), \text{ conform definiției.}$$

### **Operatorul de compensare $\gamma$**

$$\mu_{A\gamma B}(x) = [\mu_A(x) \cdot \mu_B(x)]^{1-\gamma} \cdot [1 - (1 - \mu_A(x))(1 - \mu_B(x))]^\gamma, \quad (1.10)$$

unde  $\gamma \in [0,1]$ . Cazuri particulare:

$$\bullet \gamma = 0$$

$$\mu_{A\gamma B}(x) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(x) = \mu_{AsiB}(x), \text{ conform definiției (4.19).}$$

$$\bullet \gamma = 1$$

$$\mu_{A\gamma B}(x) = 1 - (1 - \mu_A(x))(1 - \mu_B(x)) = \mu_{AsauB}(x), \text{ conform definiției (1.11).}$$

Se observă că cei doi operatori de compensare constituie generalizări ale operatorilor  $\$I/SAU$ . [TUR 99]

### **Negația**

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (1.11)$$

**Operatorii ȘI/SAU definiți pe produsul cartezian a două mulțimi fuzzy**

Se consideră două mulțimi fuzzy  $A$  și  $B$  reprezentate în figurile 1.2 și 1.3.

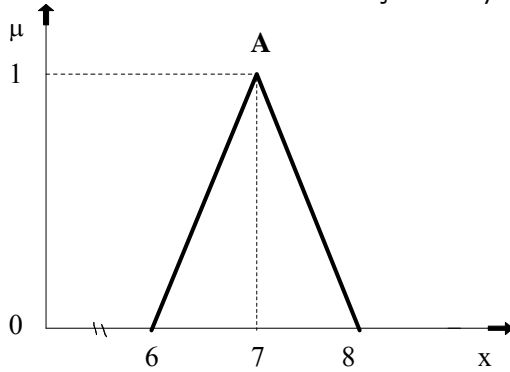


Fig. 1.2 Mulțimea fuzzy A [TUR 99]

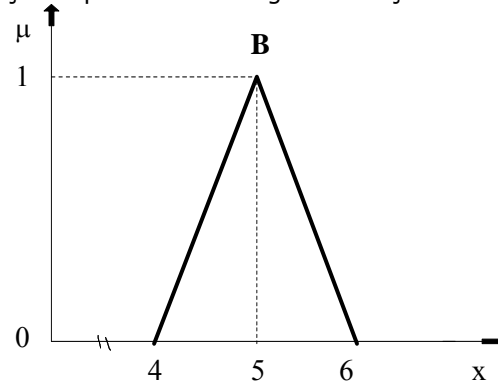


Fig. 1.3 Mulțimea fuzzy B [TUR 99]

$$\bullet \mu_{A\text{și}B}(x, y) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(y)\}, \quad (1.12)$$

în care  $x \in A$ ,  $y \in B$ . Reprezentarea grafică a acestei definiții este sugerată de figura 1.4.

$$\bullet \mu_{A\text{sau}B}(x, y) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(y)\}, \quad (1.13)$$

în care  $x \in A$ ,  $y \in B$ . Reprezentarea grafică a definiției este sugerată de figura 1.4.

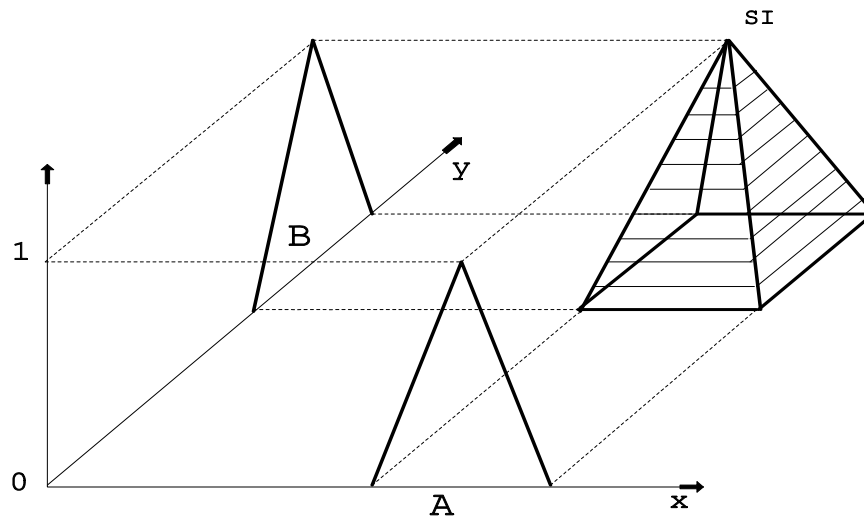


Fig. 1.4 Intersecția pe produs cartezian [TUR 99]

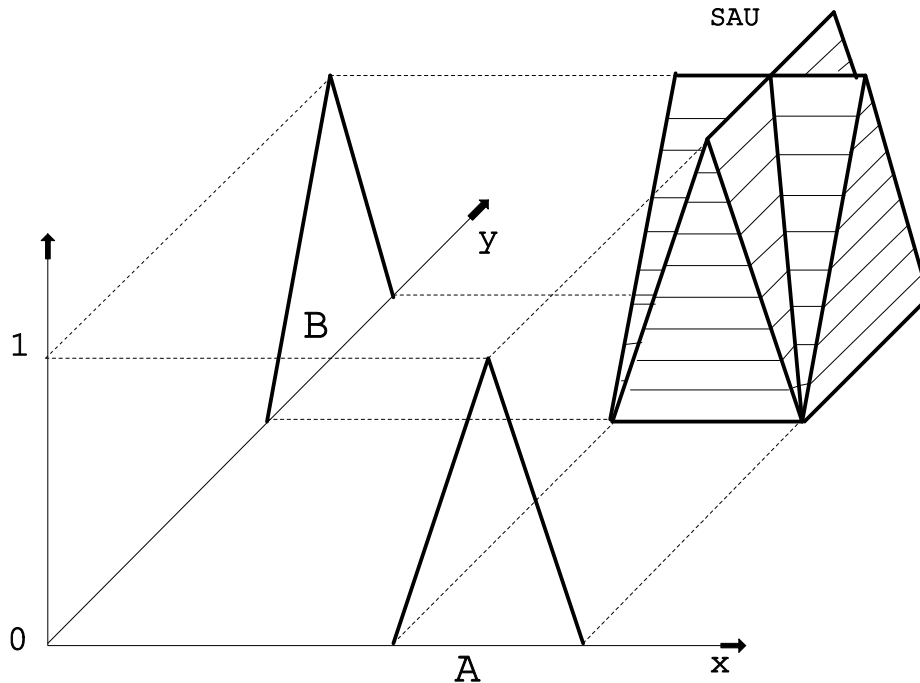


Fig.1.5 Reuniunea pe produs cartezian [TUR 99]

### 1.3.2. Aplicații fuzzy

Într-o aplicație fuzzy pentru reglare sau luare de decizii, intră un anumit număr de semnale - mărimile de intrare - care sunt prelucrate conform unor algoritmi specifici, rezultând un anumit număr de mărimi de comandă - mărimile de ieșire - necesare reglării procesului. Atât fiecărei mărimi de intrare, cât și fiecărei mărimi de ieșire li se asociază câte un set de mulțimi fuzzy numit *variabilă lingvistică*. [TUR 99]

Exemplu: Pentru o mărime numită *Forță*, putem defini un set de mulțimi fuzzy, conform figurii 1.6, care vor constitui variabila lingvistică *Forță*:

- *Forță mică;*
- *Forță medie;*
- *Forță mare.*

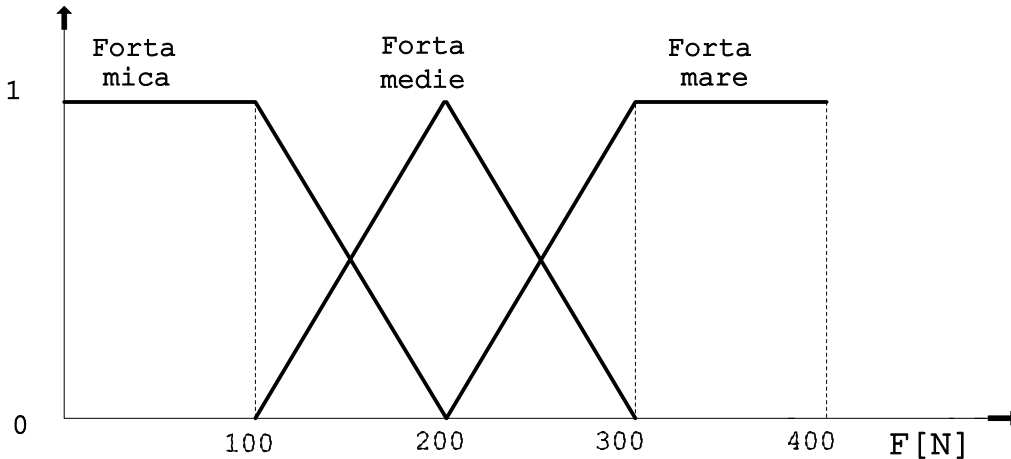


Fig. 1.6 Variabila lingvistică Forță [TUR 99] [JIE 06]

De regulă, forma mulțimilor - se alege una triunghiulară sau trapezoidală, cu lățimea adecvată cazului concret. Numărul de mulțimi fuzzy asociate unei variabile lingvistice este, în cele mai multe cazuri, 5, el putând fi adoptat pe baza experienței. [TUR 99]

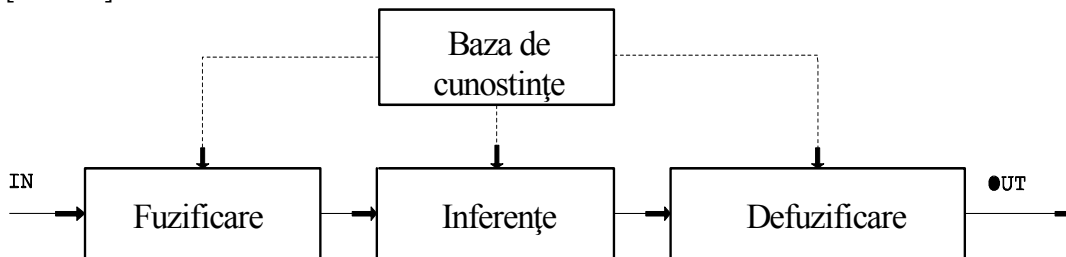


Fig. 1.7 Prelucrarea informației în aplicația fuzzy [TUR 99] [VOL 97]

Prelucrarea informației într-o aplicație fuzzy se realizează după schema din figura 1.6 *Baza de cunoștințe* include descrierea variabilelor lingvistice ale mărimilor de intrare și de ieșire, respectiv a regulilor de inferență pe baza cărora funcționează aplicația. *Fuzificarea* realizează conversia mărimilor de intrare în mulțimi fuzzy necesare efectuării *inferențelor* care determină concluziile. Etapa *defuzificării* realizează conversia concluziilor în mărimile de ieșire necesare. [TUR 99]

### **Fuzificarea**

Această etapă constă în asocierea fiecărei mărimi de intrare cu una sau mai multe mulțimi fuzzy corespunzătoare. Pentru realizarea acestei operații, este necesară parcurgerea următoarelor etape:

- Se fixează mulțimile fuzzy necesare;
- Se aleg funcțiile de apartenență;

- Se "citesc" gradele de apartenență. [TUR 99]  
De exemplu, fuzzificarea unei forțe de 225 N în condițiile definiției asociate figurii 1.8 presupune că:
  - Mulțimile fuzzy sunt *Forța mică*, *Forța medie* și *Forța mare*;
  - Funcțiile de apartenență sunt trapezoidale pentru *Forța mică* și *Forța mare*, respectiv triunghiulară pentru *Forța medie*;
  - Gradele de apartenență rezultate, urmărind figura 1.8:

$$\mu_{\text{Forța mică}}(225) = 0;$$

$$\mu_{\text{Forța medie}}(225) = 0,75;$$

$$\mu_{\text{Forța mare}}(225) = 0,25.$$

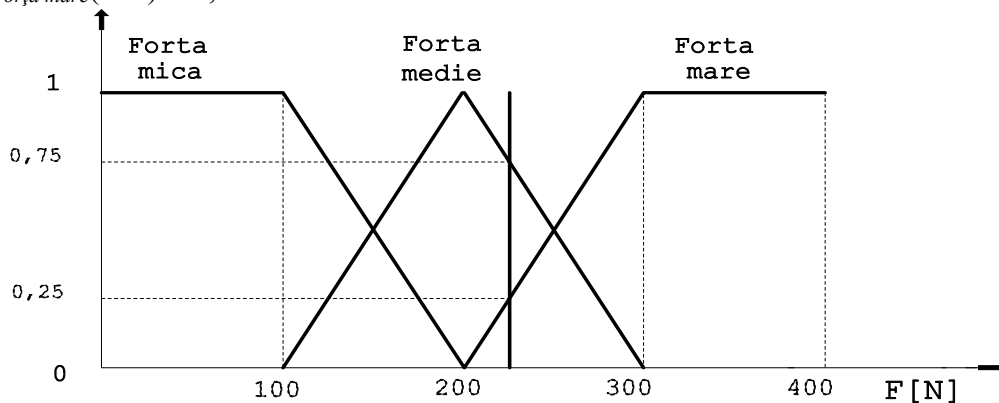


Fig. 1.8 Fuzzificarea forței de 225 N [JIE 06] [TUR 99]

### Inferențele

Inferențele sunt un set de reguli care stabilesc legăturile dintre mărimile de intrare și cele de ieșire. Realizarea inferențelor vizează determinarea gradelor de apartenență a mărimilor de ieșire la mulțimile fuzzy corespunzătoare. [TUR 99] În logica matematică, raționamentele se realizează conform următoarei reprezentări:

<b>A</b>	→	premisă
<b>DACĂ A ATUNCI B</b>	→	implicație

---

<b>B</b>	→	concluzie
----------	---	-----------

În logica fuzzy, raționamentele se realizează după o schemă generalizată:

<b>x este P</b>	→	premisă
<b>DACĂ x este A ATUNCI y este Q</b>	→	implicație

---

<b>y este C</b>	→	concluzie
-----------------	---	-----------

Problema care se pune este aceea de a determina funcția de apartenență a mulțimii fuzzy C, cunoscând funcțiile de apartenență ale mulțimilor fuzzy P, A și Q. Se pot face următoarele observații: dacă P este egal cu A, atunci C trebuie să fie egal cu Q;

dacă  $P$  este apropiat de  $A$ , atunci  $C$  trebuie să fie apropiat de  $Q$ , și așa mai departe. [TUR 99] [VOL 97]

Până acum, această problemă nu a fost rezolvată în totalitate. Soluția acceptată se numește *regula de compoziție a inferențelor*. Rezultatele acestei reguli sunt prezentate în continuare:

Dacă se utilizează operatorul *max*, atunci formula de inferență este:

$$\mu_C(y) = \min\{\mu_Q(y), \max\{\min\{\mu_P(x), \mu_A(x)\}\}\}, \quad (1.14)$$

iar reprezentarea grafică este dată în figura 1.9;

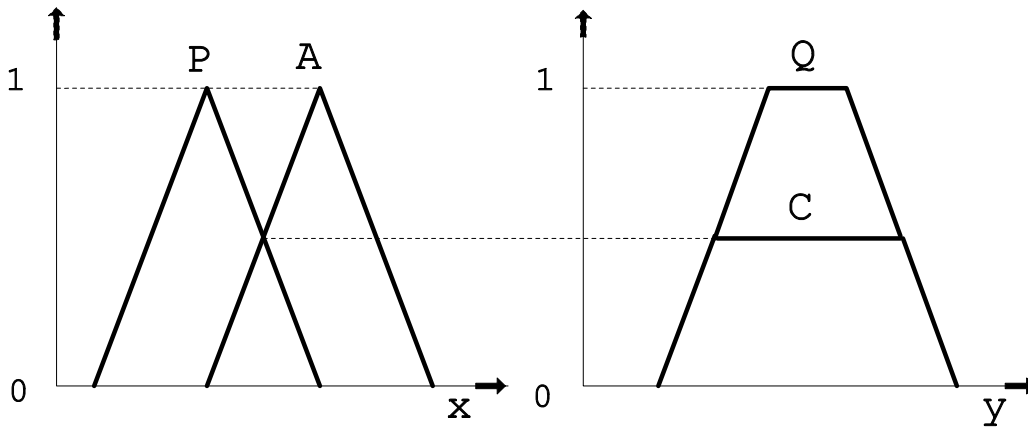


Fig. 1.9 Regula de compoziție a inferențelor prin operatorul max [TUR 99]

- Dacă se utilizează operatorul *prod*, atunci formula de inferență este:

$$\mu_C(y) = \mu_Q(y) \cdot \max\{\min\{\mu_P(x), \mu_A(x)\}\}, \quad (1.15)$$

reprezentarea grafică fiind dată în figura 1.10.

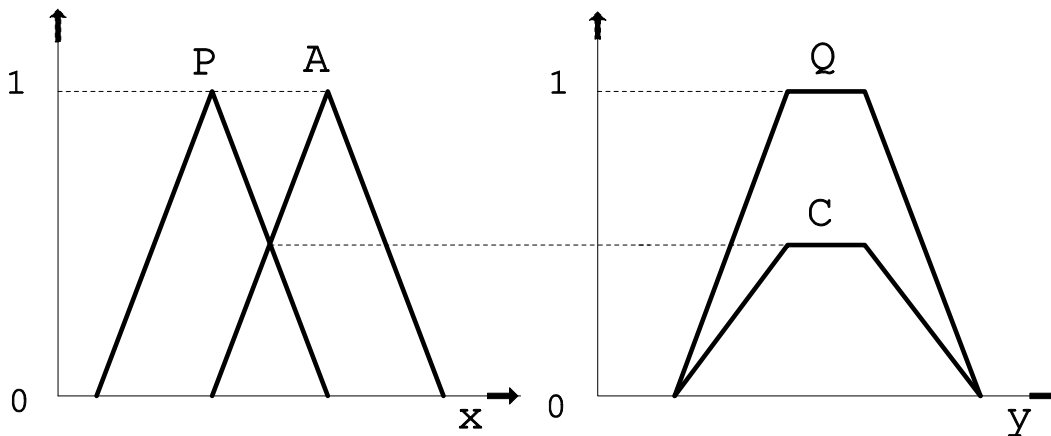


Fig. 1.10 Regula de compoziție a inferențelor prin operatorul prod [TUR 99]

De exemplu, să presupunem că mărimii de intrare numită *Forță* îi corespunde o mărime de ieșire numită *Avans* cu mulțimile fuzzy descrise în figura 1.11 [TUR 99]:

- *Avans mic*, de formă trapezoidală;
- *Avans mediu*, de formă triunghiulară;
- *Avans mare*, de formă trapezoidală.

Realizarea inferențelor necesită parcurgerea următoarelor etape:

- Stabilirea regulilor de tip *DACĂ... ATUNCI...*, modelul general fiind următorul:  
*DACĂ premiză 1 OPERATOR premiză 2... ATUNCI concluzie 1, concluzie 2...*;
- Fixarea operatorilor: *și, SAU, lambda, gama*;
- Calcularea gradelor de apartenență ale mărimilor de ieșire la mulțimile fuzzy corespunzătoare.

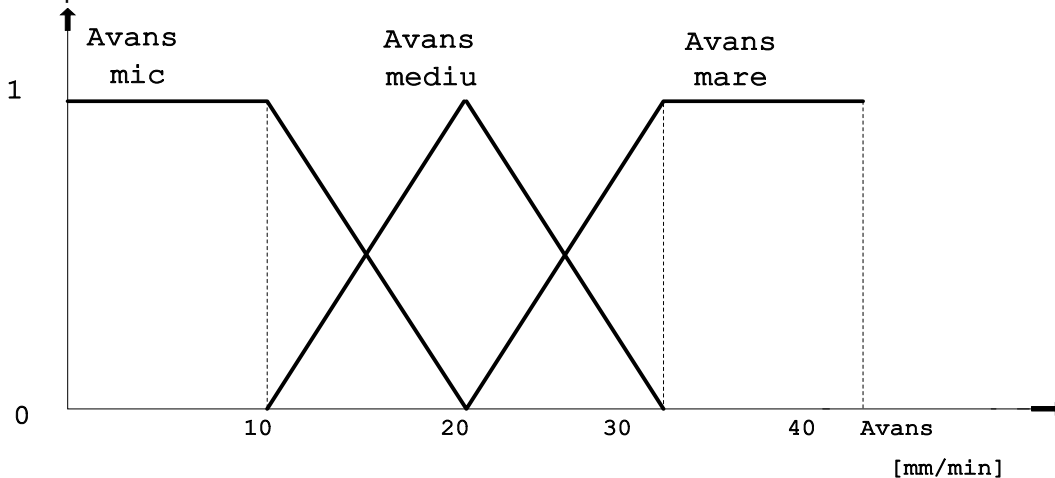


Fig. 1.11 Variabila lingvistică Avans [TUR 99]

În cazul concret abordat, stabilirea mărimii avansului în funcție de forță presupune următoarele:

- Regulile de inferență sunt [TUR 99]:  
*DACĂ Forța este mică ATUNCI Avansul este mare;*  
*DACĂ Forța este medie ATUNCI Avansul este mediu;*  
*DACĂ Forța este mare ATUNCI Avansul este mic;*
- În acest caz nu sunt necesari operatori;
- Calculul gradelor de apartenență: Deoarece în etapa fuzzificării s-a găsit că

$$\mu_{Forță\ mică}(225) = 0;$$

$$\mu_{Forță\ medie}(225) = 0,75;$$

$$\mu_{Forță\ mare}(225) = 0,25,$$

vom avea, conform regulilor de compoziție a inferențelor:

$$\mu_{Avans\_mic}(Avans) = 0,25;$$

$$\mu_{Avans\_mediu}(Avans) = 0,75;$$

$$\mu_{Avans\_mare}(Avans) = 0.$$



**Defuzzificarea**

Defuzzificarea urmărește determinarea valorii concrete a mărimii de ieșire. Să presupunem că inferențele (în urma aplicării tuturor regulilor) au condus la mulțimile fuzzy, care împreună compun concluzia finală  $C$  descrisă în figura 1.14. Există mai multe posibilități de calcul a mărimii de ieșire:

- *Centrul de greutate*. Mărimea de ieșire este abscisa centrului de greutate a suprafeței totale a concluziei  $C$  (conturul desenat cu linie grosă în figura 1.12): [TUR 99]

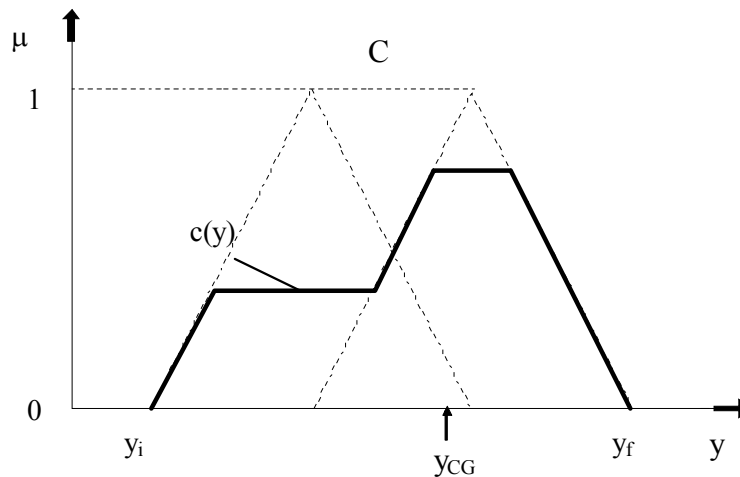


Fig. 1.12 Defuzzificarea după metoda centrului de greutate [TUR 99]

$$y_{CG} = \frac{\int_{y_i}^{y_f} y \cdot c(y) \cdot dy}{\int_{y_i}^{y_f} c(y) \cdot dy}, \quad (1.16)$$

în care:

$y_{CG}$  este valoarea mărimii de ieșire;

$y_i$  este abscisa minimă a suprafeței  $C$ ;

$y_f$  este abscisa maximă a suprafeței  $C$ ;

$c(y)$  este funcția care descrie conturul concluziei  $C$ .

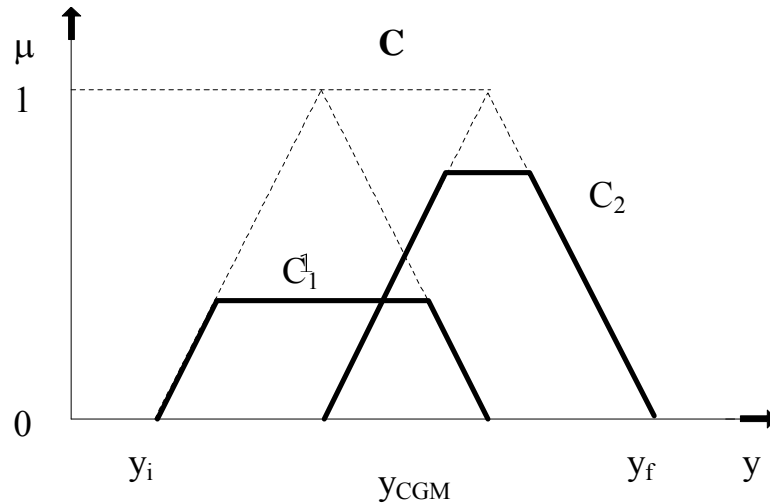


Fig. 1.13 Defuzzificarea după centrului de greutate modificat [TUR 99]

Această metodă este considerată ca fiind cea mai bună, însă necesită un mare volum de calcule.

*Centrul de greutate modificat.* Această metodă este foarte asemănătoare cu cea a centrului de greutate, cu deosebirea că fiecare mulțime fuzzy componentă a concluziei totale contribuie cu întreaga suprafață la calculul mărimii de ieșire, după cum sugerează figura 1.13. Dacă mulțimile fuzzy componente ale concluziei totale sunt trapezoidale sau triunghiulare, atunci această metodă este mai performantă decât cea a centrului de greutate; [TUR 99]

*Începutul maximului.* Mărimea de ieșire este cea mai mică abscisă pentru care funcția de apartenență a lui  $C$  are valoarea maximă:

$$y_{IN} = \inf\{y / \mu_C(y) = \alpha_M\} \quad (1.17)$$

$$\alpha_M = \sup \mu_C(y) \quad (1.18)$$

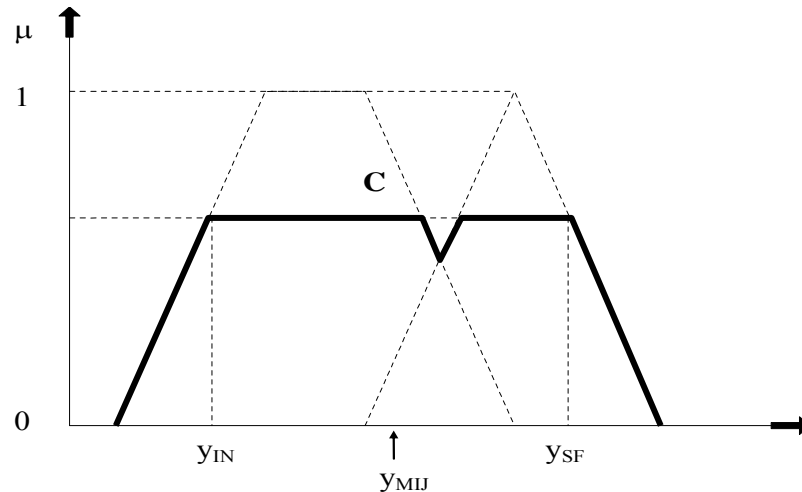


Fig. 1.14 Defuzificarea după metodele începutului maximului, sfârșitului maximului și mijlocului maximului [TUR 99]

*Sfârșitul maximului.* Mărimea de ieșire este cea mai mare abscisă pentru care funcția de apartenență a lui  $C$  are valoarea maximă:

$$y_{SF} = \sup \{y / \mu_C(y) = \alpha_M\} \quad (1.19)$$

*Mijlocul maximului.* Mărimea de ieșire este media celei mai mici și celei mai mari abscise pentru care funcția de apartenență a lui  $C$  are valoarea maximă:

$$y_{MIJ} = \frac{y_{IN} + y_{SF}}{2} \quad (1.20)$$

Aceste ultime trei metode sunt exemplificate grafic în figura 1.14. *Avantajul* lor este rapiditatea datorată simplității operațiilor pe care le necesită. *Dezavantajul* constă în reacția prea mare: o modificare mică la intrare cauzează o modificare mare la ieșire. De aceea aceste trei metode se utilizează doar în aplicațiile care solicită un răspuns rapid;

*Metoda înălțimii.* Este o metodă care face un compromis între simplitate (deci viteza de calcul) și precizie. [TUR 99] Formula de calcul a mărimii de ieșire este

$$y_{MI} = \frac{\sum_k y_k \cdot \mu(y_k)}{\sum_k \mu(y_k)}, \quad (1.21)$$

în care:

$y_k$  este abscisa vârfului mulțimii  $k$  din componența concluziei  $C$  (pentru mulțimi triunghiulare este abscisa vârfului, iar pentru mulțimi trapezoidale este mijlocul bazei mici);

$\mu(y_k)$  este gradul de apartenență corespunzător.

Referindu-ne la exemplul numeric analizat, în urma aplicării operatorului  $max$  pentru efectuarea inferențelor, se ajunge la situația prezentată în figura 1.15.

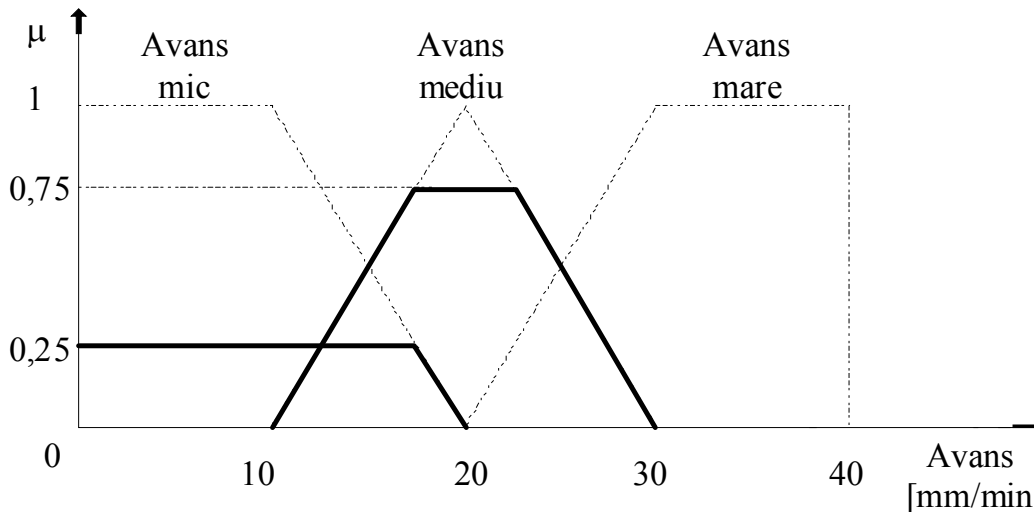


Fig. 1.15 Concluzia finală pentru variabila Avans [TUR 99]

Aplicând metodele de defuzzificare prezentate, vom obține următoarele valori ale mărimii de ieșire:

- conform metodei *centrului de greutate*, Avans = 16,68 mm/min;
- conform metodei *centrului de greutate modificat*, Avans = 18,58 mm/min;
- conform metodei *începutului maximului*, Avans = 17,50 mm/min;
- conform metodei *sfârșitului maximului*, Avans = 22,50 mm/min;
- conform metodei *mijlocului maximului*, Avans = 20 mm/min;
- conform metodei *înălțimii*, Avans = 17,18 mm/min.

#### 1.4 Sisteme expert în domeniul injectării

Evoluția structurii sistemelor difuze este în special afectată de diferitele metode de gândire dezvoltate, de o înțelegere mai bună a logicii neclare, de o dorință mai puternică de aplicație mai largă. Evoluția este prea extinsă pentru a putea fi discutată pe deplin. Ne vom limita să discutăm despre contextul sistemelor de modelare și de control. [COR 98]

Primul sistem difuz pentru o aplicație de control a fost descoperit de către Mamdani. În cadrul acestui sistem difuz, un nivel de transmitere a datelor bazate pe deducție este utilizat ca un mecanism de deducție. Formatul formulelor sale neclare este:

Dacă  $x_1$  și  $A_1$  și  $x_2$  este  $A_2$  și ... și  $x_n$  este  $A_n$ , atunci  $y$  este  $B$   
unde  $A_i$ ,  $A_2$  ...  $A_n$  și  $B$  sunt seturi vagi. Este de remarcat faptul că, aici, consecințele implicației reprezintă un set vag. [WIL 02]

Studiul făcut de Mamdani a arătat faptul că sistemele difuze pot fi în mod profitabil și ușor utilizate de către inginerii de control. Mai multe aplicații de control de succes au fost raportate în conformitate cu structura sistemelor difuze încă de atunci. Acestea includ controlul procesului de schimb de căldură, controlul motorului (mașinii) cu aburi, controlul joncțiunii traficului, și controlul cuptorului de ciment. Sistemul difuz dezvoltat de Mamdani mai este numit și sistem difuz convențional (fig.1.16) [LE098] [COR 98]

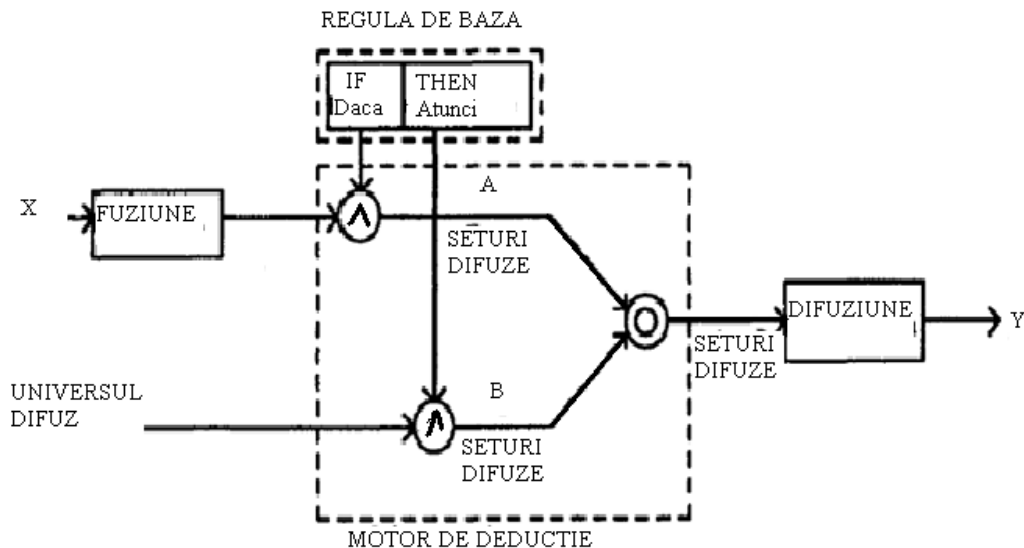


Fig.1.16 Sistem difuz convențional [COR 98]

Fiecare sistem are domeniile sale de intrare și de ieșire. Domeniul de intrare și domeniul de ieșire ale unui sistem difuz sunt determinate în raport cu universul discursului de intrare și universul discursului de ieșire ale seturilor vagi din sistemele difuze. Când un sistem difuz este proiectat, seturile de reguli neclare din universul discursului ar trebui să aibă domeniile de intrare și ieșire închise în timp ce sistemul difuz operează.

Comportarea unui sistem difuz este caracterizată de un set de reguli lingvistice care alcătuiesc o bază de reguli. O regulă lingvistică caracteristică are următoarea formă:

*Dacă* (un set de condiții este satisfăcut), *atunci* (un set de consecințe poate fi dedus).

Premisa unei reguli reprezintă o condiție în domeniul de intrare, iar consecința este o acțiune ce urmează a fi realizată în domeniul de ieșire. Deoarece premisele și consecințele acestor reguli *dacă-atunci* sunt asociate cu concepte vagi, atunci regulile exprimate sunt neclare, de exemplu:

Dacă  $x_1$  este  $A_1$  și  $x_2$  este  $A_2$  și ... și  $x_n$  este  $A_n$ , atunci  $y$  este  $B$   
unde  $X_1$  și  $X_2$  sunt intrări scalare,  $A_1$  și  $A_2$  sunt termeni lingvistici de intrare reprezentați prin seturi vagi, iar  $B$  este un termen lingvistic de ieșire reprezentat printr-un set vag, fig. 1.17. [LEO 98]

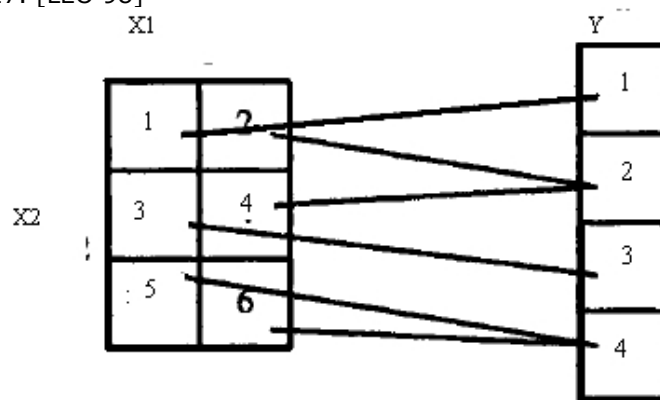


Fig.1.17 Set difuz [COR 98]

Un sistem expert, conform [COR 98] [KAD 05][CKK 98] este format din cinci componente:

- Baza de cunoștințe servește la stocarea tuturor pieselor de cunoaștere (fapte, reguli, metode de rezolvare, euristici) specifice domeniului aplicativ, preluate de la experții umani sau din alte surse.
- Motorul de inferențe este un program care conține cunoașterea de control, procedurală sau operatorie, cu ajutorul căruia se exploatează baza de cunoștințe pentru efectuarea de raționamente în vederea obținerii unor soluții, recomandări sau concluzii.
- Interfața de dialog permite dialogul cu utilizatorii în timpul sesiunilor de consultare, precum și accesul utilizatorilor la faptele și cunoștințele din bază pentru adăugarea sau actualizarea cunoașterii.
- Modulul de achiziție a cunoașterii ajută utilizatorul expert să introducă cunoștințe într-o formă recunoscută de sistem și să actualizeze baza de cunoștințe.
- Modulul explicativ are rolul de a explica utilizatorilor atât cunoașterea de care dispune sistemul, cât și procesul de raționament pe care îl desfășoară sau soluțiile obținute în sesiunile de consultare. Explicațiile într-un astfel de sistem, atunci când sunt proiectate corespunzător, îmbunătățesc modul în care utilizatorul percepe și acceptă sistemul.

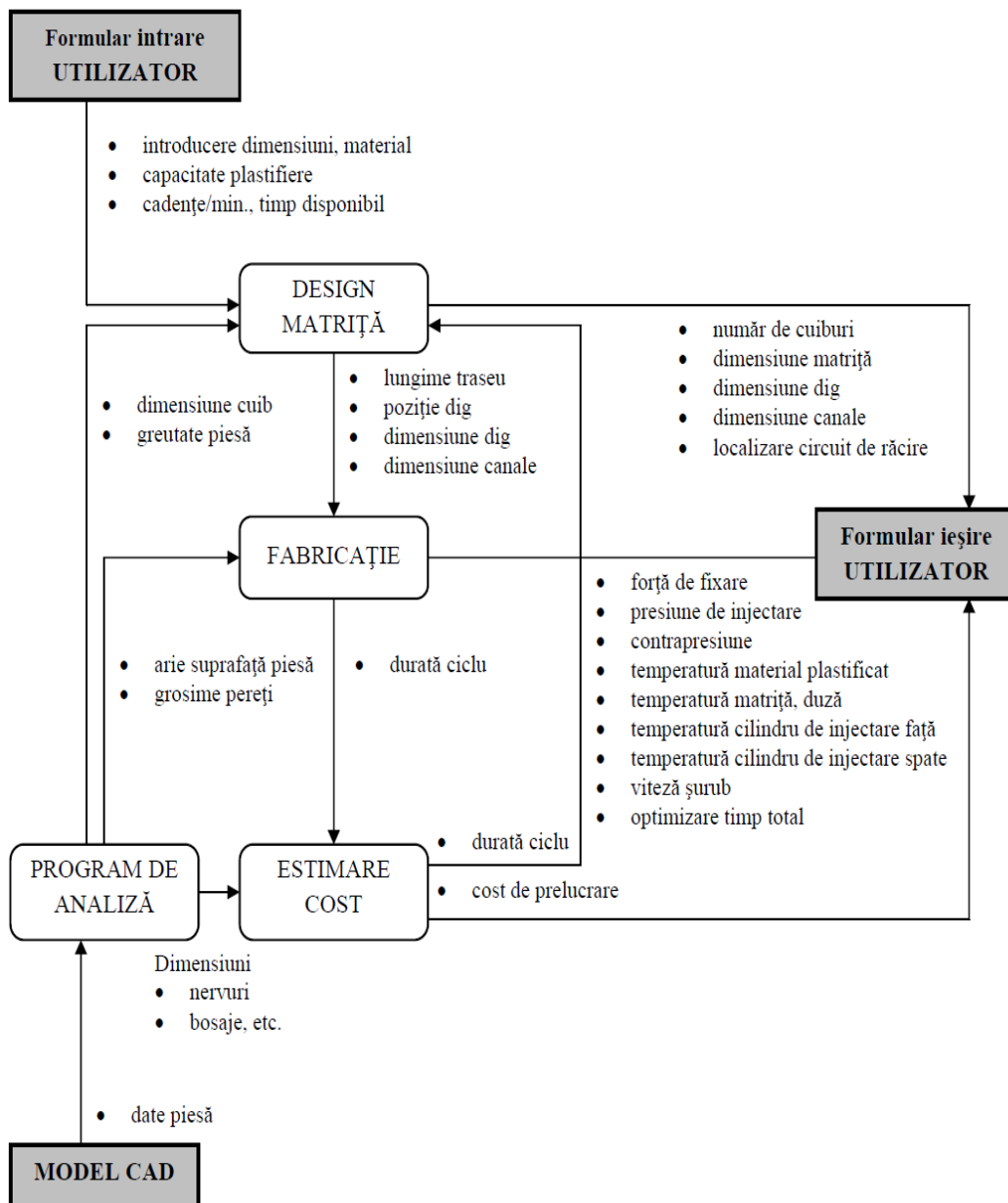


Fig. 1.18 Diagrama fluxului de date în cadrul sistemului expert [TJU] 01]

Injectarea materialelor polimerice este una dintre metodele de realizare a produselor complexe cu toleranțe dimensionale excelente. Din volumul tuturor materialelor plastice prelucrate, peste 32% sunt realizate prin injecție, ceea ce face ca acest procedeu să fie unul dintre cele mai importante procese de fabricație. Calitatea finală a piesei injectate depinde de tipul de material, design-ul sculei și parametrii de proces. Procesul de injectare este destul de complex și implică setarea mai multor parametri cum ar fi presiunea, temperatura și timpul. Valoarea acestor parametrii procesului trebuie să fie stabilită optim în vederea îmbunătățirii calității piesei, pe de o parte, și a maximizării capacității de producție a mașinii de injectare, pe de altă parte. Optimizarea unui asemenea proces complex presupune o pregătire profesională adecvată a personalului și o bogată experiență individuală. [COR 98] Controlul individual al procesului de injectare pe baza încercărilor este în general consumator de timp. În general, această metodă de control este bazată pe intuiția operatorului și pe baza unor "reguli de aur", pe care operatorul le dezvoltă într-o anumită perioadă de timp, în timp ce lucrează cu diferite materiale, presiuni, temperaturi și setări de timp. [ADE 02]

Sistemul expert în domeniul injectării materialelor polimerice are rolul de a ajuta utilizatorul (proiectant de matrițe, inginer de producție, operator), care nu întotdeauna este un „expert” în domeniu, în rezolvarea unor probleme asociate procesului de injecție. Acesta oferă informații referitoare la stabilirea unor parametri de lucru, la optimizarea procesului în vederea utilizării la maxim posibil a capacității de producție a mașinii de injectat. În fig. 2.18 sunt prezentate principalele module ale sistemului expert și modul de transfer al datelor între acestea.

## 1.5 Aplicarea logicii fuzzy la rețele de injectare

Dacă la proiectarea canalelor de distribuție există o metodologie explicită de proiectare, în cazul alegerii tipului optim de dig de injectare, acest lucru nu mai este valabil. Astfel, în funcție de factorii de influență tratați în **Capitolul 2**, dar și pe baza experienței proprii, proiectantul alege un anumit tip de dig, care este mai mult sau mai puțin optim pentru situația dată.

Datorită acestor aspecte, alegerea tipului de dig se poate realiza pe baza unor algoritmi de logică fuzzy, în care mărimile de intrare sunt datele tehnologice și constructive ale procesului de injectare considerat. Mărimile de ieșire constau în așa-numitele grade de adecvare *GA*, care exprimă măsura în care diferitele tipuri de diguri sunt adecvate unei anumite situații.

Algoritmul constă în formalizarea cunoștințelor cu privire la condițiile de injectare folosind mulțimi fuzzy și apoi, alegerea tipului de dig, prin comparație între gradele de adecvare a diferitelor tipuri de diguri care pot fi utilizate.

Dacă luăm în considerare cazul injectării de piese plate, respectiv de tip cutie, atunci mărimile de intrare pot fi următoarele:

- Raportul lungime/lățime,  $L/B$ ;
- Raportul lățime/înălțime,  $B/H$ .

Fiecare variabilă lingvistică (raport lungime/lățime, raport lățime/înălțime și grad de adecvare) trebuie să fie definită printr-un set de mulțimi fuzzy. Astfel, în figura



1.59 este prezentată variabila lingvistică „raport lungime/lățime”  $L/B$ , care constă în cinci mulțimi fuzzy:

- foarte mic, **fm**: mulțime care descrie piesele cu raportul lungime/lățime de valori foarte mici;
- mic, **m**: Această mulțime descrie piesele cu raportul lungime/lățime de valori mici;
- mediu, **med**: Această mulțime descrie piesele cu raportul lungime/lățime de valori medii;
- mare, **M**: Această mulțime descrie piesele cu raportul lungime/lățime de valori mari;
- foarte mare, **fM**: Această mulțime descrie piesele cu raportul lungime/lățime de valori foarte mari. [TUR 99]

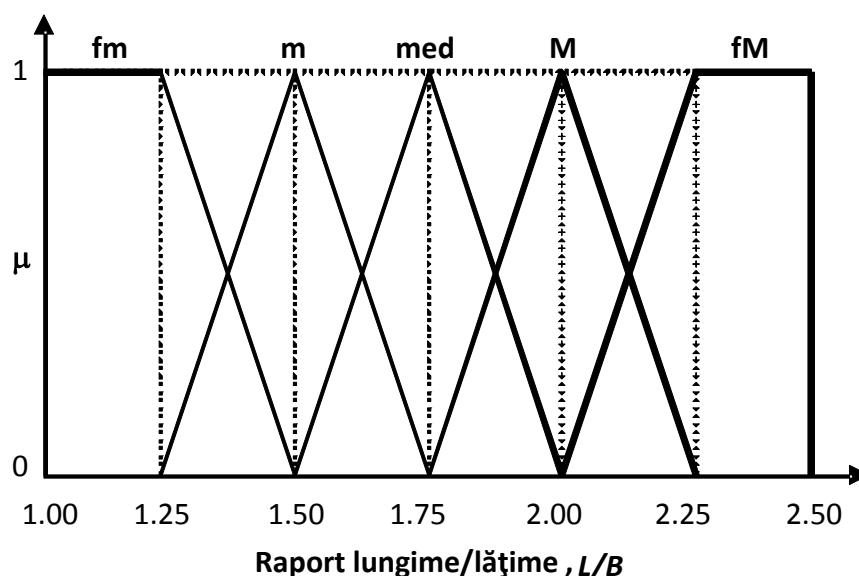


Fig. 1.19 Variabila lingvistică „Raport lungime/lățime”  $L/B$  [TUR 99][JIE 06]

În fig. 1.19 este prezentată variabila lingvistică „Raport lățime/înălțime”  $B/H$ , care constă în cinci mulțimi fuzzy:

- foarte mic, **fm**: Această mulțime descrie piesele cu raportul lungime/lățime de valori foarte mici;
- mic, **m**: Această mulțime descrie piesele cu raportul lungime/lățime de valori mici;
- mediu, **med**: Această mulțime descrie piesele cu raportul lungime/lățime de valori medii;
- mare, **M**: Această mulțime descrie piesele cu raportul lungime/lățime de valori mari;
- foarte mare, **fM**: Această mulțime descrie piesele cu raportul lungime/lățime de valori foarte mari. [TUR 99]

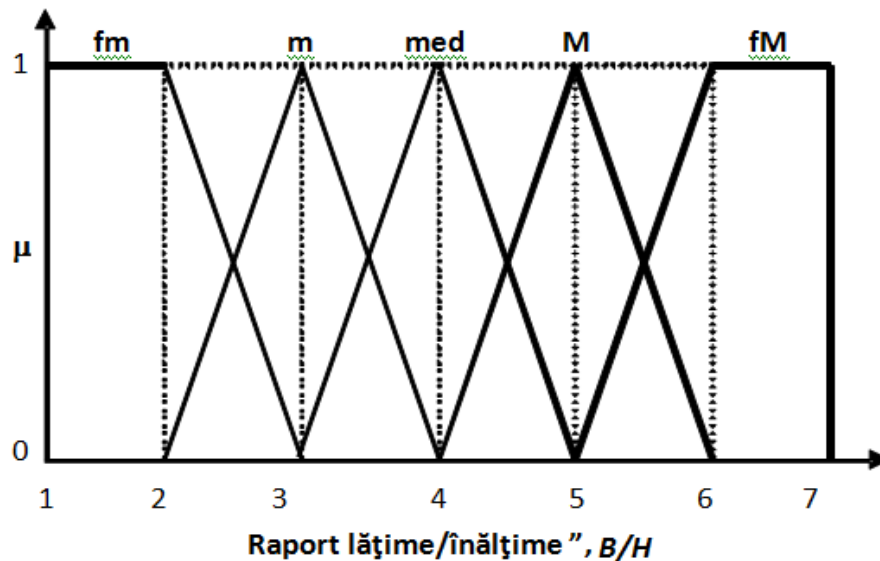


Fig. 1.20 Variabila lingvistică „Raport lățime/înălțime” B/H [TUR 99]

Variabila de ieșire, constituită de gradul de adecvare, trebuie de asemenea să fie definită printr-un set de mulțimi fuzzy. În fig. 1.21 este prezentată definiția propusă pentru variabila lingvistică „Grad de adecvare” GA, care constă în cinci mulțimi fuzzy:

- foarte rău, **FR**: Această mulțime descrie gradul de adecvare foarte rău;
- rău, **R**: Această mulțime descrie gradul de adecvare rău;
- mediu, **MED**: Această mulțime descrie gradul de adecvare mediu;
- bun, **B**: Această mulțime descrie gradul de adecvare foarte bun;
- foarte bun, **FB**: Această mulțime descrie gradul de adecvare foarte bun. [TUR 99]

Regulile de inferență stabilesc legăturile dintre variabilele de intrare și variabila de ieșire.

Pentru un anumit tip de dig se precizează un set de reguli de inferență. De exemplu, dacă se ia în considerare digul de tip evantai, o regulă de inferență ar putea fi următoarea:

DACĂ L/B este fm ȘI B/H este M ATUNCI GA este FB

Pentru această aplicație, regulile de inferență utilizează operatorul algebric *minim* al operatorului ȘI. Tabelul 1.6 prezintă sinteza regulilor de inferență propuse pentru digurile de tip liniar.

Regulile de inferență propuse pentru digurile de tip evantai sunt prezentate în tabelul 1.7, iar cele pentru digurile de tip pelicular în tabelul 1.8. [JIE 06] [TUR 99]

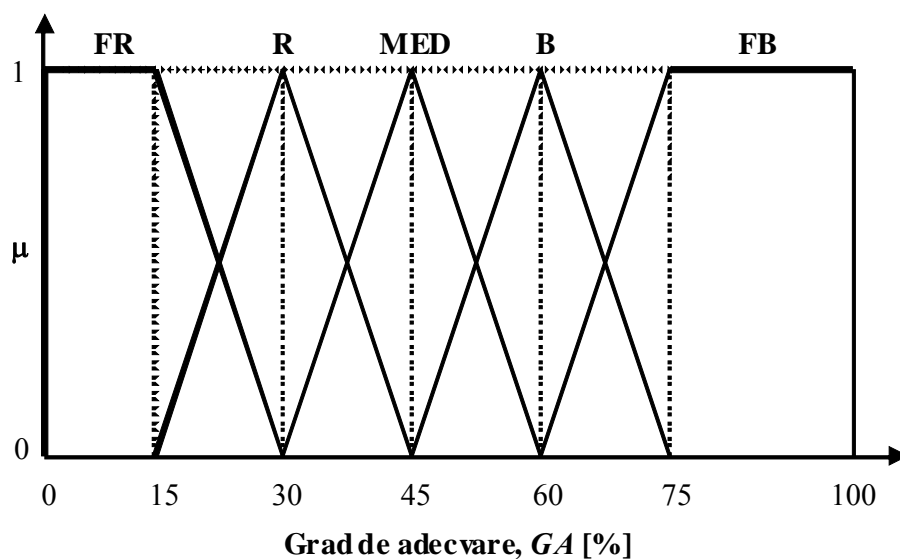


Fig.1.21 Variabila lingvistică de ieșire „Grad de adecvare” GA [TUR 99]

Tabelul 1.1 Reguli de inferență pentru diguri de tip liniar

		<b>B/H</b>				
		fm	m	med	M	fM
<b>L/B</b>	fm	FB	FB	B	B	MED
	m	FB	FB	B	MED	R
	med	FB	B	MED	R	FR
	M	FB	MED	R	R	FR
	fM	B	MED	R	FR	FR

Evaluarea gradului de adecvare al unui anumit tip de dig pentru o anumită configurație de piesă presupune fuzzyficarea variabilelor de intrare (raportul lungime/lățime  $L/B$  și raportul lățime/înălțime  $B/H$ ), rularea regulilor de inferență și defuzzyficarea variabilei de ieșire,  $GA$ . Pentru a facilita interpretarea rapidă a rezultatelor, a fost adaptat un toolbox MATLAB®, prin utilizarea căruia au fost obținute suprafețele de răspuns pentru digurile de tip liniar, evantai și pelicular din figurile 1.19, 1.20 și 1.21. Acestea permit observarea rapidă a zonelor cu bună adecvanță pentru cele trei tipuri de diguri analizate. [COR 98,TUR 99]

Tabelul 1.2 Reguli de inferență pentru diguri de tip evantai

		<b>B/H</b>				
		fm	m	med	M	fM
<b>L/B</b>	fm	R	MED	B	FB	B
	m	R	MED	B	FB	B
	med	MED	B	B	FB	B
	M	MED	B	FB	FB	B
	fM	MED	B	FB	FB	B

Tabelul 1.3 Reguli de inferență pentru diguri de tip pelicular

		<b>B/H</b>				
		fm	m	med	M	fM
<b>L/B</b>	fm	FR	FR	R	MED	FB
	m	FR	R	MED	B	FB
	med	FR	R	MED	B	FB
	M	FR	MED	B	B	FB
	fM	R	MED	B	FB	FB

Algoritmul descris bazat pe logica fuzzy permite o alegere rapidă și suficient de argumentată a tipului de dig pentru injectarea unei piese date. Echipa de proiectare care utilizează această aplicație software, prin cunoștințele și experiența de producție, poate adapta elementele algoritmului respectiv definițiile mulțimilor fuzzy și regulile de inferență la condițiile concrete de injectare. [TUR 99] [VOL 07]

## 1.6 Concluzii

Utilizarea logicii fuzzy și a rețelelor neuronale este cu atât mai necesară cu cât dezvoltarea sistemelor de conducere a dus la apariția a diverse strategii de conducere: de reglare sau urmărire, de optimizare, cu limitări, compuneri ale acestora, cu comportare variabilă sau invariabilă în timp, timpurile enumerate se schimbă în funcție de cerințele procesului, în cadrul aceluiași sistem de conducere. [VOL 07]

În tot cazul, se poate afirma că, datorită dezvoltării teoretice, conducerea prin logica fuzzy și rețele neuronale prezintă alternative viabile la reglarea convențională. Aceasta este confirmată nu numai prin cercetări pe plan teoretic, ci și prin dezvoltări practice în multe domenii de aplicare.[VOL 07]

## Cap 2 Analiza metodelor de proiectare a matrițelor de injectat pentru materiale polimerice și stabilirea unei baze de date pentru programul *TimMold*

În acest capitol se va face o prezentare succintă a matrițelor de injectat clasice, precizându-se funcționarea și construcția lor. Se vor identifica factorii care influențează procesul de injectare și care determină pașii necesari a fi parcurși pentru a proiecta o matriță de injectat, atât varianta clasică bazată pe calcul tabelar, cât și varianta asistată de calculator. Pașii prezentați în acest capitol stau la baza creării unui program (**TimMold**) ce va ghida proiectantul de matrițe, îi va ușura munca și astfel, va reduce timpul și costul proiectării unei matrițe.

### 2.1 Construcția și funcționarea matrițelor de injectat

Matrițele sunt dispozitivele în care se obțin piesele din material plastic prin injectare și care sunt alcătuite de regulă din poanson, respectiv cavitate. În mod normal, producerea matrițelor implică un cost mărit, acestea erau utilizate de regulă în producția de serie mare. În mod obișnuit, matrițele erau produse din oțel durificat, aluminiu și/sau aliaje de beriliu-cupru. Această alegere de materiale a fost una cu caracter economic – matrițele de metal costă mai mult, dar au o viață de utilizare mai lungă care se răsfrânge asupra numărului mare de piese produse înainte de distrugere. Matrițele din oțel rezistă mai puțin, dar acestea sunt bune pentru serii de câteva zeci și sute de mii de piese sau la piese de volum mare. [ICL 06, SER 99]

Matrița, la nivelul cel mai de bază, este formată din două părți: - **miezul**: formează suprafețele interne ale piesei cu trăsăturile aferente, - **cavitatea**: formează suprafețele externe ale piesei. Cavitatea și miezul sunt separate atunci când matrița este deschisă, în momentul scoaterii piesei din matriță. Această separație a matriței apare de-a lungul **liniei de separație**. Linia de separație se găsește într-un plan ce corespunde unei caracteristici geometrice ale piesei, capătul sau linia de mijloc, aceasta poate fi regulată, o muchie sau neregulată care se potrivește neregularităților piesei. [SER98]

Matrița este subansamblul mecanic care are rolul de a imprima materialului plastic o anumită formă cu dimensiuni bine determinate. Proiectarea și executarea corectă a matrițelor de injectat condiționează realizarea unor randamente ridicate la prelucrarea prin injectare. Varietatea deosebit de mare a pieselor injectate din materiale plastice a condus la elaborarea unor soluții constructive și tehnologice specifice atât în domeniul proiectării, cât și în cel al execuției matrițelor de injectat. Matrițele pentru injectat materiale termoplastice sunt construite în principiu din două părți principale:

semimatrița din partea duzei de injectare și semimatrița din partea aruncării. Matrița este fixată pe platourile de prindere ale mașinii de injectat. [SER 99]

Majoritatea matrițelor lucrează folosind injectarea materialului plastic printr-un orificiu cu axa perpendiculară pe planul de separație. În cazul unor injectări speciale (injectare bicoloră sau tricoloră), injectarea se face atât perpendicular pe planul de separație cât și în planul de separație (fig.2.1). [SER 99]

În fig. 2.2 este prezentată o matriță de injectat cu două cuiburi care cuprinde elemente constructive caracteristice acestui ansamblu constructiv. Matrița de injectat se montează pe platourile de prindere ale mașinii de injectat prin intermediul celor două plăci de prindere 4 și 13, care se fixează cu ajutorul unor bride sau șuruburi de fixare. Centrarea matriței pe platourile mașinii se realizează cu ajutorul inelelor de centrare 28 (pe partea mobilă) și 19 (pe partea fixă). Inelele de centrare sunt prinse în plăcile de prindere ale matriței cu ajutorul șuruburilor 3.

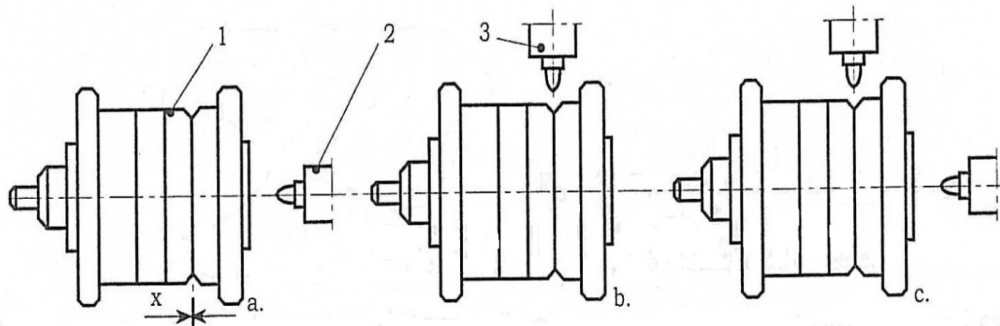


Fig. 2.1 Tipurile principale de matrițe de injectat [SER 99]

a-injectare perpendicular pe planul de separație, b-injectare în planul de separație  
c-injectare specială/ 1-matriță, 2,3-cilindrii de injectare/ x-planul de separație al matriței

Materialul plastic topit din duza mașinii de injectat ajunge în duza 18 a matriței de injectat și prin intermediul rețelei de injectare la cuiburile matriței.

## 2.1. - Construcția și funcționarea matrițelor de injectat 35

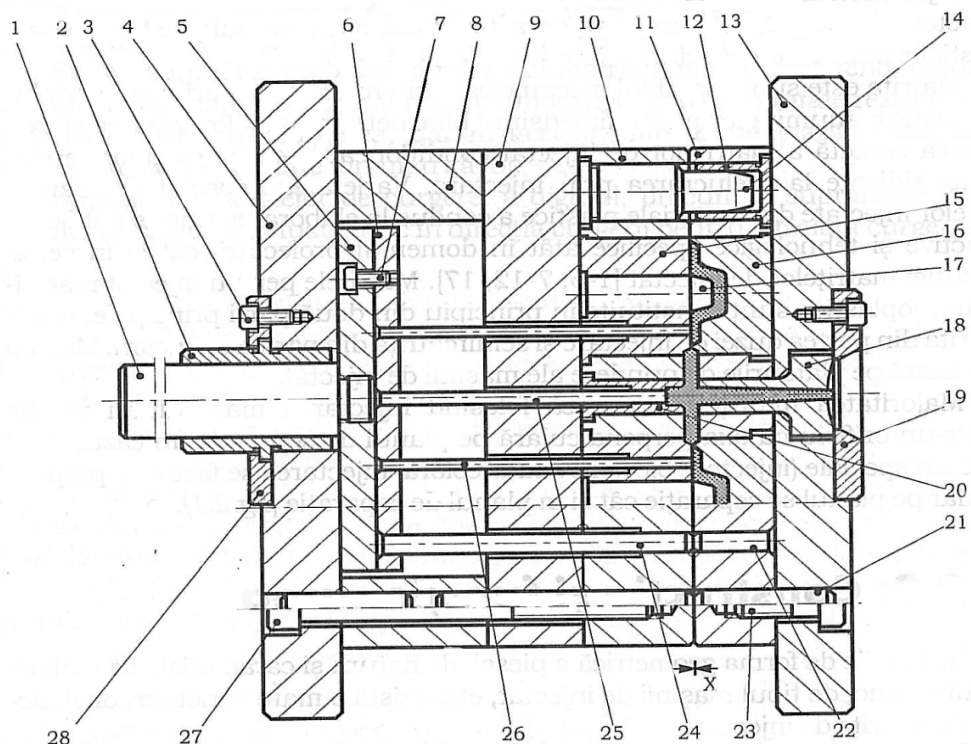


Fig. 2.2. Matrița de injectat cu 2 cuiburi [SER 99]

Piesa injectată se formează în cuibul format de poansonul 17 și pastilele 15 și 16. După întărirea materialului plastic în matriță, ca urmare a răcirii plăcilor matriței, prin intermediul circuitului de racire matrița se deschide în planul de separație "X". Piesa injectată, întărită ca urmare a contracției pe poansonul 17, rămâne solidară cu partea mobilă a matriței împreună cu rețeaua de injectare, reținută de bușa extractoare 20. Tija de aruncare 1 este tamponată de o tijă fixă de pe mașina de injectat și sistemul de aruncare este acționat determinând mișcarea plăcii de aruncare 5, plăcii portaruncătoare 6, aruncătoare 26, aruncătorului central 25 și a tijelor readucătoare 24.

Plăcile aruncătoare și portaruncătoare sunt fixate cu ajutorul șuruburilor 7. Tija de aruncare 1 este ghidată de bușa centrală 2 și este înșurubată în placa aruncătoare 5. Piesa injectată este aruncată din matrița de aruncătoare tip știft 26, iar rețeaua de către aruncătorul central 25.

La închiderea matriței tijele de aruncare 24 lovesc știfturile tampon 22 determinând revenirea la poziția inițială a întregului sistem de aruncare. Plăcile matriței sunt prinse cu ajutorul șuruburilor 27 și sunt centrate cu ajutorul știfturilor 21. Centrarea celor două semimatrițe se realizează cu ajutorul știfturilor 21. Centrarea celor două semimatrițe se realizează cu ajutorul coloanelor de ghidare 14 și a bușelor de ghidare 12. [SER 99]

### **Clasificare matrițe de injectat**

Datorită varietății foarte mari a formei pieselor injectate, a seriilor de fabricație largi, a sistemelor constructive dezvoltate pentru injectare, aruncare, etc., clasificarea matrițelor se face după mai multe criterii.

După numărul de cuiburi, matrițele se clasifică în:

- matrițe cu un singur cuib;
- matrițe cu două cuiburi;
- matrițe cu mai multe cuiburi (3, 4, 5, etc.).

După sistemul de injectare, matrițele se clasifică:

- cu injectare directă prin culee;
- cu injectare punctiformă;
- cu injectare cu canale de distribuție;
- cu injectare peliculară sau film;
- cu injectare tip umbrelă;
- cu injectare inelară;
- cu injectare cu canal tunel;
- cu injectare cu canale izolate;
- cu injectare cu canale încălzite.

După modalitatea de acționare a sistemului de aruncare, matrițele se clasifică :

- cu aruncare mecanică;
- cu aruncare pneumatică;
- cu aruncare hidraulică.

După numărul planelor de separație, matrițele se clasifică astfel:

- cu un singur plan de separație;
- cu două plane de separație;
- cu mai multe plane de separație.

După modalitățile constructive de realizare a matriței, în funcție de forma piesei:

- simple;
- cu bacuri;
- cu deșurubare;
- cu mai multe plane de separație.

Există și alte criterii de clasificare a matrițelor de injectat, însă de mai mică importanță (tipul de aruncătoare, sistemul de temperare, forma piesei injectate, etc.)  
[SER 99][ICL 06]



## 2.2 Identificarea factorilor care influențează procesul de injectare

Factorii de influență ce pot avea un impact direct asupra injectării în matriță, respectiv asupra obținerii unei piese care să corespundă desenului de execuție sunt: **geometria piesei, materialul ales, tipul matriței și tipul mașinii de injectare** (fig.2.3).

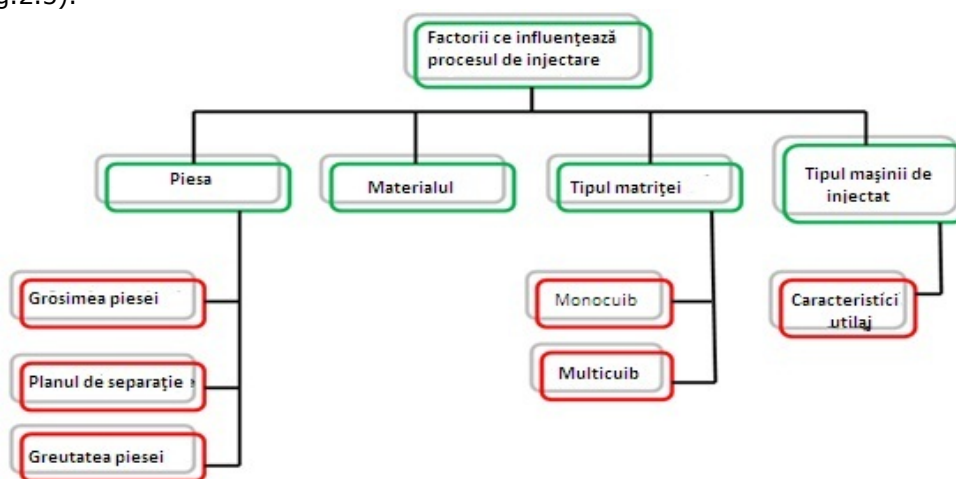


Fig. 2.3 Factorii care influențează procesul de injectare [TJ 02]

### 2.2.1 Piesa

Primul factor de influență îl reprezintă studiul preliminar al piesei de injectat care se realizează în legătură cu forma, dimensiunile, materialul, greutatea, grosimea, cerințele funcționale impuse, precum și alte caracteristici ale acesteia.

**Forma pieselor** injectate din materiale plastice se concepe în corelare cu o serie de reguli tehnologice rezultate din restricțiile impuse de natura materialului, caracteristicile matriței și tipul de mașină utilizat. Condițiile de utilizare a piesei determină geometria, dimensiunile, masa ei etc. Experiența și cunoașterea caracteristicilor tehnice generale ale diferitelor materiale au determinat fundamentarea unor reguli generale, folosite la obținerea unei geometrii corecte a pieselor obținute prin procedeul de injectare:

- piesa injectată trebuie să aibă forma cea mai simplă posibil
- dimensiunile și masa piesei trebuie să fie cât mai mici
- este necesar ca prin configurația piesei să fie îndeplinite condițiile de scoatere a acesteia din matriță
- se evită pe cât posibil configurațiile complicate și proeminențele pentru a nu complica construcția matriței
- se evită pe cât posibil muchiile ascuțite

În general, se ia în considerare faptul că materialul plastic își micșorează dimensiunile după scoaterea din matriță, influențând precizia dimensională a piesei injectate [CHE 04].

În faza de proiectare a produsului, trebuie să se ia în considerare mai mulți factori care țin de: alegerea materialului plastic, alegerea locului de injectare, contracția materialului, grosimea pereților.

### Reguli de proiectare a pieselor injectate din material plastic:

- a) **Grosimea pereților piesei injectate să fie uniformă** - pentru a evita curgerea turbulentă la injectare, care are drept consecință formarea de goluri, retasuri și apariția tensiunilor interne în piesă (fig. 2.4)

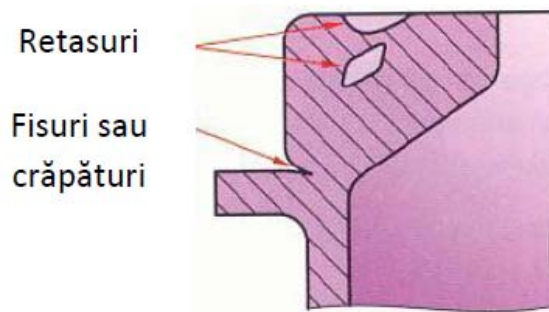


Fig. 2.4 Formarea retasurilor și fisurilor [CHE 04]

Dacă forma și scopul piesei nu permit proiectarea sa cu pereți constanți, atunci este necesar a se folosi următoarele indicații (fig. 2.5):

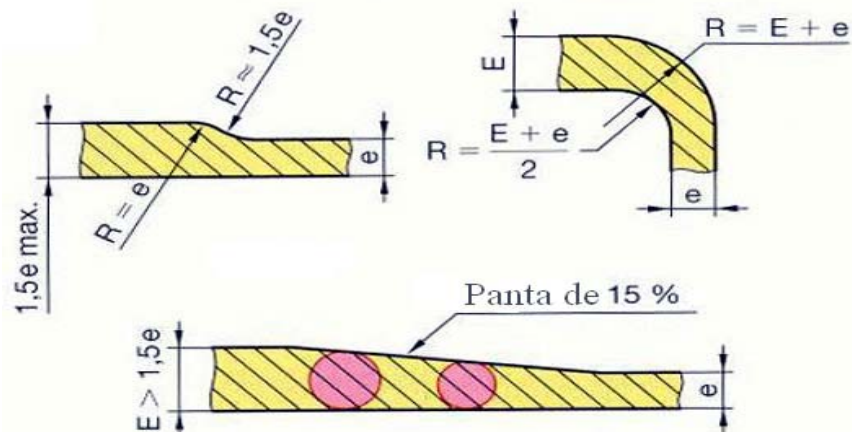


Fig. 2.5 Indicații de proiectare a pieselor cu grosimi diferite [CHE 04]

## 2.2. - Identificarea factorilor care influențează procesul de injectare 39

Pentru materialele care se găsesc în baza de date, s-a realizat următorul tabel:

Tabel 2.1 [PRO]

Material	Grosimea recomandată a pereților [mm]
ABS	1.2 - 3.5
CA	0.7 - 3
PS	0.9 - 4
PEJD	0.75 - 5
PEID	0.75 - 5
PP	0.6 - 4
PA6	0,6 - 4
PVC - M	0,5 - 4
POM	0,5 - 5
PET a	0,5 - 4

b) Evitarea așa numitelor „**locuri calde**” prin aglomerări de material, în cazul pereților groși ai unei piese injectate, determină prelungirea ciclului de injectare ca urmare a măririi timpului de răcire în matriță. Concentrarea maselor de material și formarea „locurilor calde” se realizează mai ales în colțurile piesei, la unirea pereților laterali cu fundul piesei sau la intersecția mai multor pereți. [CHE 04]. Din această cauză, legătura între pereți trebuie realizată prin rotunjiri cu raze prescrise, în vederea reducerii turbulențelor și eliminarea tensiunilor interne (fig. 2.6).

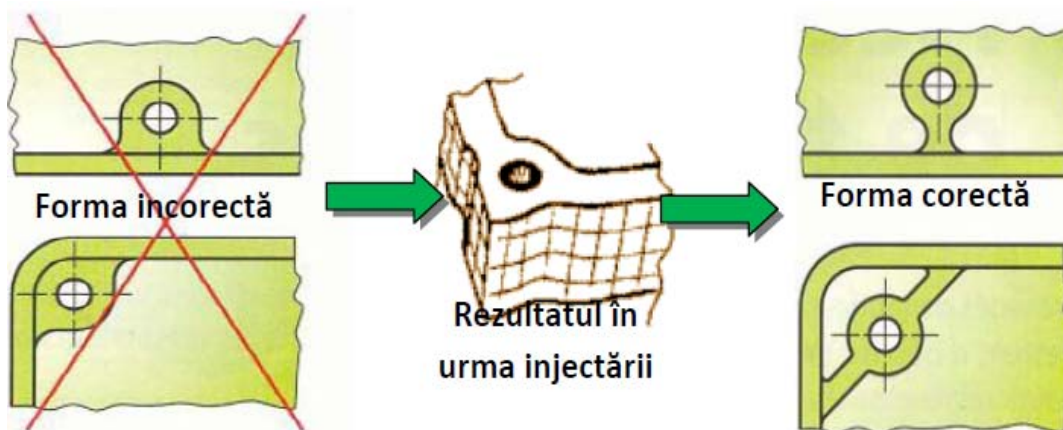


Fig. 2.6 Forma corectă de proiectare pentru evitarea locurilor calde [CHE 04]

c) Raportul **rază de rotunjire/grosime** (fig. 2.7) peretele nu trebuie să fie mai mic de 0,6 ( $r / s > 0,6$ ). În practică, razele de rotunjire între 1...1,5 mm dau rezultate foarte bune.

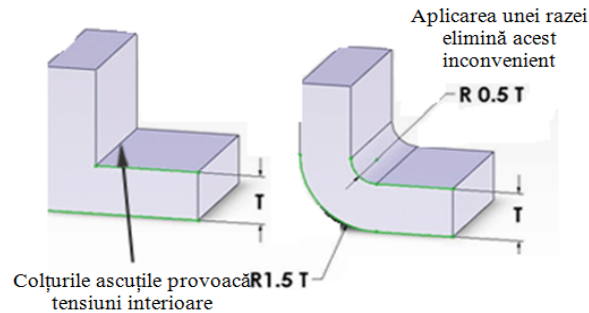


Fig. 2.7 Aplicarea razelor [PRO]

d) Proiectarea pieselor cu **pereți înclinați**.

Piesele injectate se contractă pe miezul matriței în timpul procesului de răcire în matriță. Acest fenomen implică înclinarea pereților piesei pentru a putea fi extrasă din matriță. Constrațiile pieselor injectate depind în mare măsură de tipul materialului și de aceea conicitățile pieselor injectate sunt tratate diferit pentru fiecare material în parte. În general, se recomandă valori ale unghiurilor de înclinare ( $\alpha$  și  $\beta$ ) între 30° și 3°.

e) **Adăugarea de nervuri de rigidizare.**

Pentru creșterea rezistenței mecanice și a rigidității, piesele injectate se proiectează adeseori cu nervuri de rigidizare. Nervurile de rigidizare sunt prevăzute mai ales la piese cu pereți subțiri și la cele de dimensiuni mari. Ele se folosesc atât la consolidarea pereților laterali cât și a fundului.

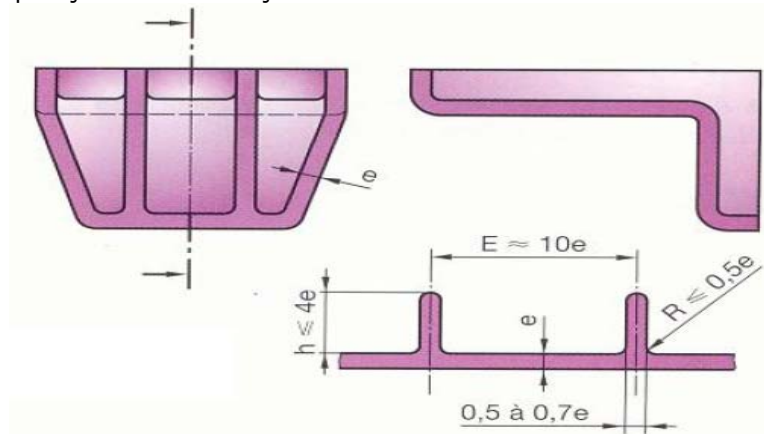


Fig. 2.8 Indicații pentru proiectarea nervurilor [CHE 04]

f) **Forma părții de așezare**

Pentru piesele injectate paralelipedice, se propun soluțiile constructive din fig. 2.9

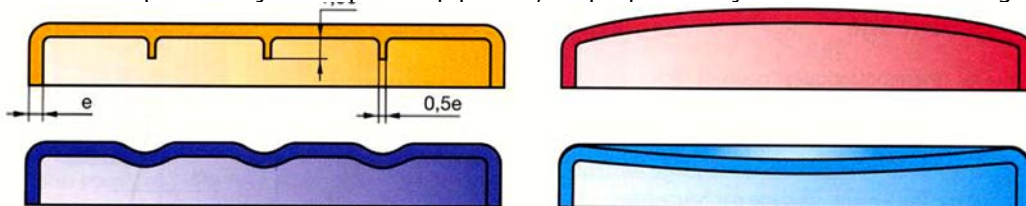


Fig. 2.9 Soluții constructive pentru fundul pieselor injectate de formă paralelipedică [CHE 04]

### 2.2.2 Materialul piesei injectate

Materialele plastice sunt o categorie unică de materiale, dar ele există în diferite și variate forme fizice, unele sunt dure și rigide, altele sunt moi și flexibile, unele sunt solide, altele au o structură celulară, unele sunt transparente, altele sunt opace. Toate materialele plastice fac parte dintr-o singură familie de materiale, cunoscută sub denumirea de polimeri. Această familie de materiale include de asemenea cauciucul (atât cel natural, cât și cel sintetic), vopsele, adezivi și textile sintetice.

Polimer este termenul chimic pentru o substanță a cărei structură este formată din molecule în a căror componentă intră unități mai mici care se repetă de foarte multe ori, fie sub forma unui lanț, fie sub forma unei rețele tridimensionale. Uneori, la aceste materiale se face referire ca polimeri sintetici organici, prin sintetic înțelegând că aceste materiale sunt create de om, iar pentru un chimist, termenul organic indică faptul că structura principală a moleculelor este predominant formată din atomi de Carbon. Unitatea mică care se repetă ca să formeze polimerul poartă denumirea de monomer, iar reacția chimică ce permite moleculelor de monomeri să se unească și să formeze polimeri poartă denumirea de polimerizare. Exemple de monomeri sunt stirenul și propilena, care după polimerizare devin polistiren, respectiv polipropilena.

În zilele noastre, există aproximativ cincizeci de tipuri diferite de materiale plastice în producția comercială și în multe cazuri, pentru fiecare material în parte există multe variante și modificări. Anumite grupuri de materiale împărtășesc anumite proprietăți, cum ar fi de exemplu, modul lor de procesare sau tipul de produse în a căror componentă se regăsesc. Acest lucru face posibilă clasificarea materialelor plastice după diferite criterii, cum ar fi:

- Termoplastice și termorigide;
- Semi-cristaline și amorf;
- De uz industrial și de uz general.

Pentru o alegere corespunzătoare a materialului plastic în conceperea unei piese injectate, trebuie să se țină seama de următorii factori:

- durata de viață a piesei injectate;
- configurația piesei injectate;
- calitățile optice și de transparență impuse piesei;
- solicitările termice în exploatare;
- solicitările mecanice;

- solicitări de natură electrică;
- solicitări de natură chimică;
- costul materialului plastic.

### **Calitățile și avantajele materialelor plastice**

Pătrunderea polimerilor practic în toate domeniile de activitate se datorează unor calități și avantaje particulare în raport cu celelalte materiale. Acestea sunt următoarele:

- polimerii prezintă o mare varietate sortimentală și, prin urmare, o mare diversitate a caracteristicilor mecanice și chimice. Materialele de sinteză posedă proprietăți care nu coincid cu cele ale materialelor naturale, iar plasticitatea lor permite realizări care altădată sunt imposibile.
- materialele plastice se caracterizează prin facilitatea și diversitatea procedurilor de prelucrare la cadențe de fabricare ridicate în raport cu materialele adiționale. Materialele plastice permit obținerea în serii mari de fabricație a tot felul de obiecte rigide sau suple, mici sau mari, volumice sau cave, cu pereți groși sau subțiri, colorate sau chiar transparente. Astfel, pentru fabricarea unei butelii de apă minerală din policlorură de vinil (PVC) sau polietilenă se obțin cadențe de 10.000 butelii/oră în raport cu 500 butelii/oră când acestea se realizează din sticlă.
- materialele plastice se caracterizează prin costul energetic redus al sintezei și transformării lor în produse.
- polimerii au densități reduse, în jurul valorii de  $1 \text{ kg/m}^3$  în comparație cu materialele tradiționale ( $7,8 \text{ kg/m}^3$  pentru oțel,  $2,7 \text{ kg/m}^3$  pentru aluminiu și  $2,54 \text{ kg/m}^3$  pentru sticlă), ceea ce asigură produse ușoare cu calități satisfăcătoare, mai ales în domeniul bunurilor de larg consum sau al transporturilor. La calitățile evidente remarcate mai sus, nu rareori se adaugă și avantajele conferite de aspectul și coloritul plăcut sau de rezistența la coroziune și inerția chimică.

### **Inconveniențele materialelor plastice**

Utilizarea materialelor plastice nu este însoțită numai de avantaje. Ar fi greșit să credem că în ciuda dezvoltării accelerate a cererii și producției de produse din materiale plastice, acestea ar putea substitui chiar și parțial produsele realizate din materialele tradiționale (oțel, ceramică, lemn), inconveniențele fiind prezentate în cele ce urmează, în ordinea importanței lor:

※ materialele plastice, cu puține excepții, prezintă proprietăți de rezistență mecanică relativ modeste, ceea ce exclude utilizarea lor pentru piese la care solicitările mecanice sunt importante. În *tabelul 2.2* sunt redată principalele caracteristici mecanice ale diferitelor materiale metalice, anorganice și polimerice.

Tabelul 2.2 [SER 99]

<b>Material/Proprietăți</b>	<b><math>\rho</math> [Kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>E / [G pa]</b>	<b><math>\sigma</math> / [MPa]</b>
Oțel	7,87	212	500
Aluminiu	2,7	71	270
Titan	4,51	120	2200
Sticlă	2,54	72	3400
Poliester	1,4	1,2	550
Polietilenă	0,93	0,2	15
Nylon 6	1,14	2,9	800
Polistiren	1,05	3,4	50

※ materialele plastice, contrar celor tradiționale, nu sunt auto sau biodegradabile. Persistența polimerilor este atribuită lungimii lanțurilor macromoleculare, care rezistă foarte bine la acțiunea factorilor naturali de degradare (bacterii, enzime, climă etc.). Această stabilitate remarcabilă, corelată și cu faptul că multe produse din plastic sunt fabricate în serii mari pentru consum larg (ambalaje, folii), poate conduce la serioase probleme de poluare. Soluția acestei probleme este oferită de realizarea plasticelor fotodegradabile sau hidrodegradabile, dar pentru moment prețul acestora este încă ridicat.

※ materialele plastice pot degaja produse toxice în timpul arderii lor. Ca și lemnul și hârtia, ※ materialele plastice se aprind și ard relativ ușor. În mod special, este periculoasă policlorura de vinil (PVC), care degajă în timpul arderii gaze toxice cum sunt clorul și fosgenul, iar poliuretanul degajă acid cianhidric. Considerentele legate de poluare și toxicitate impun o moderație și un control în deciziile luate privind utilizarea materialelor plastice în diferite scopuri. Materialele plastice pot fi prelucrate prin diverse procedee cum sunt: calandrarea, termoformarea, injectarea, extrudarea, rotoformarea etc.

### 2.2.3 Matrița de injectat

În proiectarea unei matrițe prin injectare trebuie dată multă atenție proiectării cavității de matriță, aceasta influențând în mod direct întregul proces de formare prin injecție. Considerarea proiectării cavității în faza inițială a proiectului va duce la o calitate a produselor injectate, în proiectarea aceasta intrând anumiți factori, cum ar fi:

- numărul de cavități,
- linia de separație,
- tipul matriței,
- tipul și poziția punctului de injectare,
- sistemul de distribuție,
- sistemul de răcire,
- sistemul de aruncare;

Factorii care pot avea influență directă asupra injectării și țin de matriță sunt numărul de cuiburi alese, dimensiunea cuibului, configurația rețelei de injectare și alcătuirea acesteia, temperatura matriței, modul de obținere al acesteia și precizia de execuție.

#### 1) Stabilirea numărului optim de cuiburi

Matrițele pot să aibă un cuib sau mai multe, în funcție de dimensiunile piesei și de mașina de injectat utilizată. Numărul optim de cuiburi pentru o matriță se stabilește pe baza unei analize comparative, ținând cont de următorii parametri:

- ◆  $G$  = capacitatea reală de plastifiere a mașinii de injectat
- ◆  $V_{inj}$  = volumul maxim de material plastifiat necesar la o injectare
- ◆  $F_i$  = forța maximă de închidere pe care o poate dezvolta utilajul
- ◆  $A \times B$  = dimensiunile active ale platourilor mașinii de injectat

a) din condiția de a nu depăși capacitatea de plastifiere a mașinii

$$n_1 = \frac{G \cdot t}{3,6 \cdot m}$$

[2.1]

G=capacitatea reală de plastifiere, [kg/h]  
 m=masa unei piese injectate, [g]  
 t=durata completă a unui ciclu de injectare, [s]  
 Valoarea lui <<m>> masa piesei se poate stabili astfel:

$$m = V_p \cdot \rho \cdot k$$

[2.2]

$V_p$ =volumul de material necesar realizării unui reper, [cm<sup>3</sup>]  
 $\rho$ =densitatea materialului polimeric, [g/cm<sup>3</sup>]  
 k=coeficient de corecție conform tabelului:

Tabel 2.3

Masa netă a piesei, [g]	0,3÷0,5	0,5÷1	1÷3	3÷5	5÷10	10÷20	20÷50	>50
Factor de corecție k	1,5	1,4	1,3	1,25	1,20	1,15	1,10	1,05

Ex: Pentru o piesă din ABS cu masa de 12.85g (masa calculată într-un soft CAD) a rezultat o durată de injectare de 17.44s.

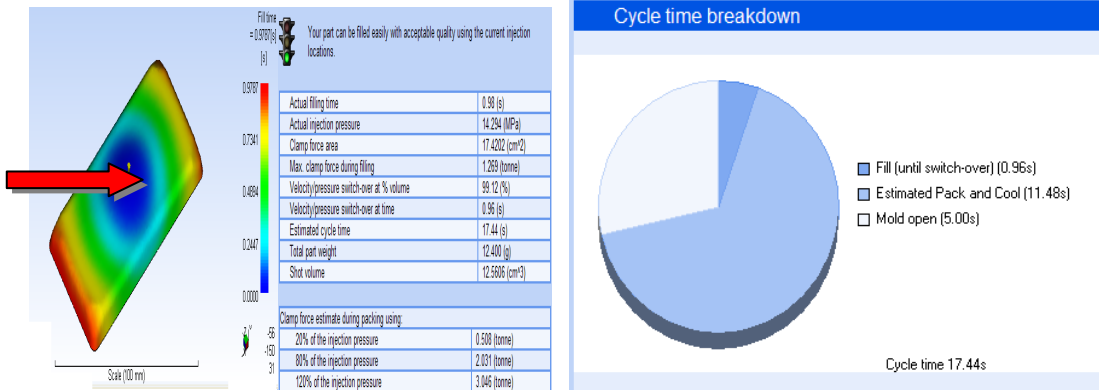


Fig. 2.10 Simularea umplerii pentru aflarea duratei de injectare [TUT 10 A]

b) Din condiția de a nu depăși volumul maxim de material  $V_{inj}$  pe care mașina îl poate transfera în matriță la o injectare [ICL 06].

$$n_2 = \frac{V_{inj}}{k \cdot V_p}$$

[2.3]

$V_{inj}$ = [cm<sup>3</sup>],  $V_p$ = [cm<sup>3</sup>], k= coeficient de corecție



c) din condiția ca forța maximă de închidere  $F_i$  pe care o poate dezvolta utilajul să nu fie depășită ca valoare de forța generată de presiunea la care materialul plastifiat a umplut cavitatea cuibului (aceasta forță rezultantă indusă de presiunea topiturii de polimer tinde să deschidă matrița) [ICL 06].

$$n_3 \leq \frac{F_i}{1,2 \cdot \sum_i p_i \cdot \Delta s_i} \text{ sau } n_3 \leq \frac{F_i}{1,2 \cdot p_i \cdot S_C} \quad [2.4]$$

$p_i$  = presiunea topiturii de polimer, în cuib  $p_i = (0,4 \div 0,6) p_{inj}$   
 $p_{inj}$  = presiunea de injectare prescrisă pentru materialul procesat  
 [daN/cm<sup>2</sup>]  
 $S_C$  = suprafața frontală a cuibului [cm<sup>2</sup>] (sau proiecția cuibului pe planul de separație)  
 $F_i$  = forța maximă de închidere dezvoltată de mașina de injectare [daN],

d) Din condiția de încadrare a matriței pe suprafața activă a platourilor mașinii  
 $n_4$  – posibil din dispunerea geometrică a cuiburilor

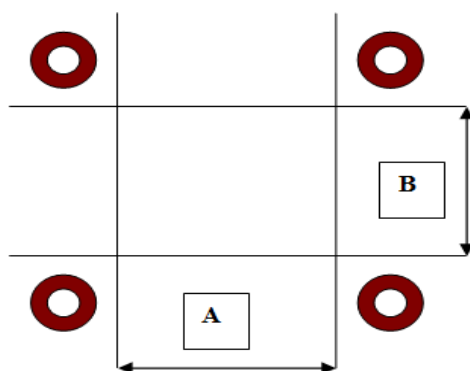


Fig. 2.11 Stabilirea așezării cuiburilor [ICL 06]

Numărul de cuiburi în matriță va fi:

$$n = \min(n_1, n_2, n_3, n_4), [-] \quad [2.5]$$

Valoarea rezultată poate fi redusă dacă seria de fabricație este mică și nu se justifică realizarea unei matrițe cu multe cuiburi, de gabarit mare. De asemenea, se preferă realizarea de matrițe cu număr par de cuiburi, amplasate într-o schemă dublu simetrică, iar proiectantul alege de regulă variante constructive cu un număr redus de cuiburi. Cuiburile pot fi dispuse în diverse ipostaze plecând de la forma I pentru două cuiburi la forma de stea sau S, Z sau H sau combinate pentru mai multe cuiburi. [ICL 06]

## 2) Dimensionarea cuiburilor

Dimensiunea cuibului reprezintă un factor specific matriței și se cunoaște faptul că la producerea de piese mari (borduri de automobile, diverse carcase, tomberoane pentru deșeuri etc.) nu poate fi vorba de mai multe cuiburi, din cauza faptului că la fabricarea acestor piese, mașinile de injectat au dimensiuni mari de gabarit. În cazul pieselor de dimensiuni mici sau mijlocii, matrițele pot să aibă de la două până la câteva zeci de cuiburi. Dimensiunea cuibului are influență directă asupra realizării pastilei și totodată a întregii matrițe. [ICL 06]

## 3) Proiectarea rețelei de injectat

Rețelele de injectare sunt considerate a fi un element foarte important în proiectarea de matrițe și producția de piese din materiale termoplastice, din considerentul că alegerea unei rețele de injectare cu o anumită configurație respectiv secțiune, poate influența favorabil sau nefavorabil obținerea de piese injectate bune sau cu defecte.

De asemenea, forma și dimensiunile alese pentru rețeaua de injectare influențează în mod direct curgerea materialului precum și umplerea cavităților matriței.

Rețelele de injectare sunt sistemele utilizate în cazul injectării în matrițele cu mai multe cuiburi sau cu un singur cuib reprezentând elementul intermediar între duza mașinii de injectare și cuiburile matriței. [Campo, 2006], [PMD, 2001] Rețelele de injectare sunt alcătuite, în cele mai multe cazuri, din următoarele trei elemente principale: culee, canale de distribuție și diguri (fig.2.12).

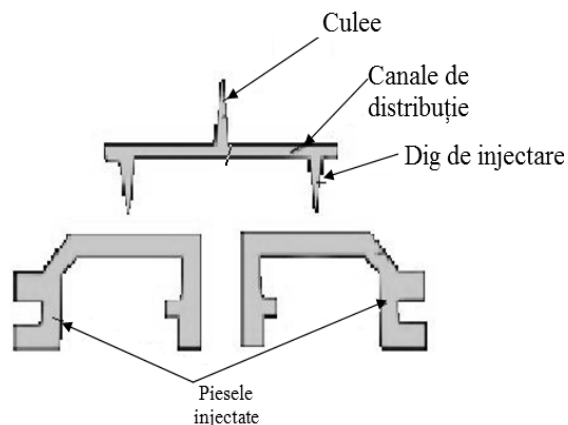


Fig. 2.12 Alcătuirea unei rețele de injectat [1]

De asemenea, pot exista și cazuri în care anumite elemente ale rețelei lipsesc, unul dintre exemple ar fi rețelele de tip culee sau injectarea directă. [SER 99]

Un alt factor ce ține strict de matriță îl reprezintă proiectarea rețelei de injectat și alegerea unui dig corespunzător pentru piesa ce se urmărește a fi obținută. Prin

urmare, rețelele de injectat pot fi de mai multe tipuri: rețele de injectat convenționale/standard; rețele de injectat radiale; rețele de injectat neechilibrate și rețele de injectat echilibrate.

#### Rețeaua de injectat convențională

Acest tip de rețea de injectat se utilizează în producțiile de serie mare și masă, principalul obiectiv fiind productivitatea rapidă și ridicată, fără implicarea unor costuri mari. De asemenea, în acest caz, se utilizează și rețele de tip radiale sau în formă de stea.

#### Rețeaua de injectat improvizată/neecheilibrată

Rețelele de injectare neechilibrate sunt utilizate atunci când piesele au o configurație mai complexă și nu pot fi injectate utilizând rețelele convenționale. [Harper, 2000]

Sistemele de rețele neechilibrate prezintă o serie de dezavantaje din cauza unei umpleri inegale, a umplerilor târzii sau a răcirii individuale a cavităților, ceea ce duce la diverse neajunsuri. Dintre acestea amintim:

- ❖ Umplere incompletă;
- ❖ Diferențe de proprietăți ale produselor;
- ❖ Constrații diverse ale pieselor, ceea ce duce la nerespectarea cotelor impuse;
- ❖ Existența unor goluri în piesă;
- ❖ Bavuri;
- ❖ Inconsistență a materialului;
- ❖ Matriță neproductivă.

De regulă, și rețelele convenționale fac parte din rețele de tip neechilibrat, dar datorită încercărilor de simulare de curgere, cu ajutorul calculatorului se alege un număr optim de cuiburi, astfel încât să se obțină o rețea echilibrată. Încercările realizate în cazul rețelelor neechilibrate de modificare a dimensiunilor calculate, în vederea sau în scopul obținerii unei curgeri egale, au arătat că acest lucru a fost insuficient, fapt care a dus la eșec. Acest lucru s-a constatat cu frecvență la piese mici, la piesele cu pereți subțiri, precum și la piesele care au o lungime a canalelor de distribuție secundare cu mult mai mare decât lungimea canalelor de distribuție secundare.

#### Rețeaua de injectat echilibrată

În acest caz, materialul se distribuie în mod egal de la duză înspre cavități, iar volumul de material și condițiile de injectare sunt aceleași. Rețelele de injectare echilibrate de tip radial sau de tipul literei "H" sunt considerate a fi echilibrate natural. Echilibrarea naturală a acestora este datorată faptului că distanțele canalelor de distribuție sunt de asemenea egale pe întregul design al rețelei, ceea ce duce la o umplere proporțională și simultană a cavităților matriței. Dacă se dorește obținerea unor piese injectate de o calitate ireproșabilă și o toleranță ridicată, se recomandă o așezare uniformă a cavităților în matriță, așezare care să faciliteze o umplere echilibrată.

Numărul maxim de cavități al unei matrițe depinde de volumul total al acestora, plus rețeaua de injectare, precum și forța de închidere a mașinii de injectat. , [JEA 82]

În fig. 2.13 a,b,c sunt prezentate diverse tipuri de rețele dintre cele amintite anterior.

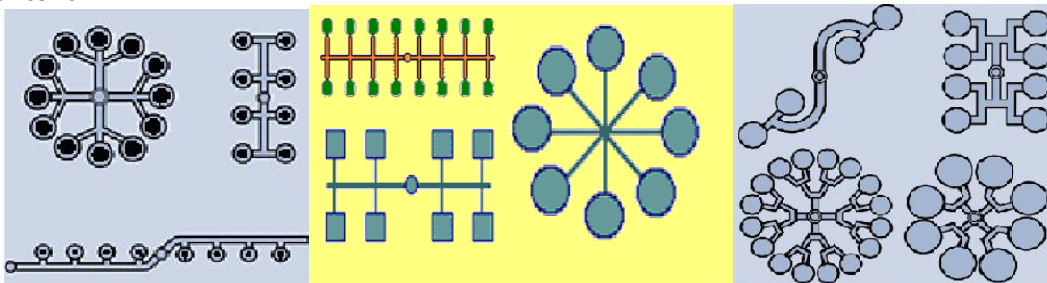


Fig. 2.13 Tipuri constructive de rețele a – rețele neechilibrate/improvizate, [JEA 82]  
B – rețele standard, c – rețele echilibrate

Rețelele ramificate sunt de obicei prevăzute cu o porțiune gătită sau o prelungire a rețelei, prevăzută în scopul permițerii materialului plastic sau topiturii să își continue drumul nestingerit prin canalele de distribuție secundare până la intrarea în cavitate.

În fig. 2.14 se arată modul de dimensionare al unei „cavități reci” sau porțiuni gătuite (cold slug) care fac parte dintr-o rețea de injectare.

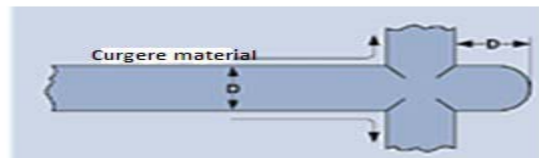


Fig. 2.14 Evidențierea porțiunii gătuite în cazul rețelelor [2]

În cazul în care proiectarea rețelei nu s-ar fi realizat în acest mod și acea prelungire ar fi lipsit, cotirea spre celelalte canale de distribuție realizându-se brusc, materialul topit s-ar fi solidificat în acest punct de trecere de la un canal la celălalt, reducând drastic posibilitatea de umplere a cavităților.

De câte ori o rețea este ramificată, lățimea rețelei trebuie să fie mai mare decât canalul rețelei, deoarece prin ramificații va curge mai puțin material și este mai economic să se utilizeze un minim de material în rețele.

Dacă într-o rețea am avea un număr  $N$  de ramificații, relația între diametrul canalului principal  $D_p$  și diametrul canalului secundar  $D_s$  ar fi de forma următoare:

$$D_p = D_s \times N^{1/3} \quad [2.6]$$

De obicei, la toate intersecțiile canalelor unei rețele se utilizează acea cavitate răcită sau gătuire. Aceasta are rolul de a ajuta ca materialul să nu se solidifice în momentul în care acesta ar trebui să urmeze frontul de curgere caracteristic canalelor următoare și de a conduce materialul în starea topită înspre cavități. Lungimea acestui canal, care este prezentată în figura anterioară, este de obicei egală sau chiar mai mare

## 2.2. - Identificarea factorilor care influențează procesul de injectare 49

decât lățimea rețelei sau diametrul acesteia și este situat la/după intersecția a doua canale de distribuție.

### **Culeea**

Canalul central de injectare sau *culeea* se definește ca fiind canalul prin care un material plastic fluid/în stare topită este injectat prin duza mașinii de injectat în matrită. Configurația geometrică a canalului central de injectare este de obicei sub forma unui con ai cărui pereți sunt lucioși, având o rugozitate mică, fiind rectificați și lustruiți în vederea unei curgeri line/lente a materialului în matrită. Acest lucru este foarte important în procesul de injectare, deoarece, în cazul în care materialul se solidifică în rețeaua de injectare sau întâmpină piedici pe pereții acesteia, se constată că topitura nu mai ajunge la cuiburile matritei, iar acest lucru duce la neajunsuri din punct de vedere productiv.

*Dimensionarea culeei* se poate face în funcție de tipul materialului polimeric și masa de material plastifiat. Astfel, pentru materialele care se găsesc în baza de date a programului (**TimMold**), a fost creat următorul tabel, în funcție de greutatea piesei.

Tabelul 2.4 Dimensionarea culeii

Nr. Crt.	do [mm]/ Material	Greutatea piesei [g]						
		0-10	10-20	21-50	51-100	101-150	151-200	201-800
1	ABS	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
2	CA	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
3	PS	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
4	PEJD	3	4	4.5	5	5.5	6	6.5
5	PEID	2.5	3	3.5	3.5	4	4.5	5
6	PP	3	4	5	5.5	6	6.5	7
7	PA6	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
8	PVC -M	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
9	POM	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
10	PET a	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6

### **Canale de distribuție**

Canalele de distribuție sau rețelele de distribuție sunt sisteme prin care materialul curge de la culee înspre cavități în scopul umplerii acestora. Canalele de distribuție pot fi de mai multe tipuri sau configurații.

În cazul dimensionării canalelor de distribuție, se ține cont de o serie de factori care depind de:

- Configurația matritei;
- Mașina de injectat;

- Modalitatea de lucru;
- Materialul injectat.

Dimensionarea canalelor de distribuție în funcție de configurația matriței se realizează ținând cont de geometria piesei injectate, calitatea impusă piesei, volumul și grosimea pereților acesteia. Dimensionarea canalelor în funcție de mașina de injectat are ca factori presiunea de injectare, frecvența injectărilor, tipul de închidere. Din punctul de vedere al modului de lucru, se ține cont dacă se lucrează în ciclu automat sau semiautomat, iar din punct de vedere al materialului injectat, se ține cont de contracția acestuia, compoziția chimică a materialului, vâscozitate etc. [SER 99]

*Dimensionarea canalelor de distribuție.* Pentru a determina diametrul  $D$  al canalului de distribuție, se ține seamă de:

- ♦ masa piesei
- ♦ grosimea pereților piesei

În acest sens, s-au făcut încercări privind dimensionarea canalelor de distribuție în funcție de două diagrame, rezultatele fiind consemnate în tabele conform *Anexei 2.3.*

Această dimensionare a canalelor de distribuție sau a rețelelor de injectare s-a realizat pe două planuri. În prima parte, în funcție de masa și grosimea piesei, iar a doua varianta în funcție de vâscozitatea materialului, diametrul rețelei crescând în progresie geometrică. [ICL 06]

În fig. 2.15 se prezintă tipul secțiunilor (circulară, parabolică și trapezoidală) pentru care s-au realizat calcule pentru grosimi de piese cuprinse între 0.5mm și 10 mm, în urma cărora s-au obținut dimensiunile secțiunilor ce pot fi vizualizate în tabelele din *Anexa 2.4.*

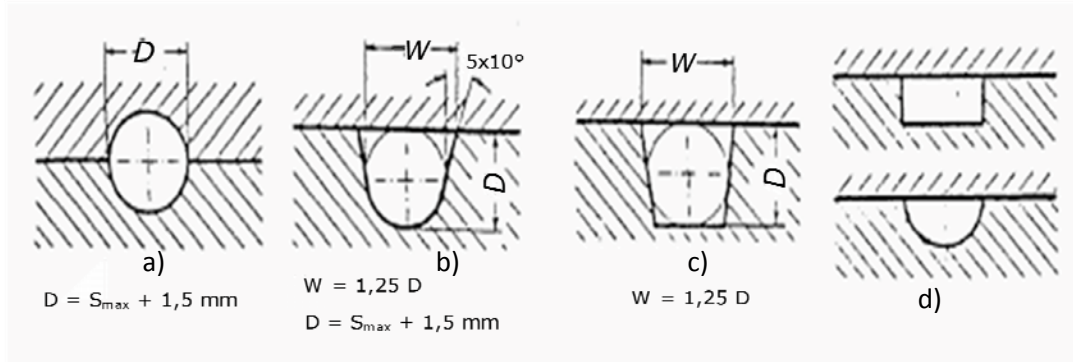


Fig. 2.15 Secțiuni de canale și dimensionarea acestora, [JEA 82]

a - canal circular, b - canal parabolic, c - canal trapezoidal, d - secțiuni necorespunzătoare

Din punct de vedere teoretic, dacă luăm o secțiune circulară, respectiv una pătrată pentru o rețea de injectat, dimensiunea canalului va fi dată de relația:

- secțiune circulară,

$$D = 2 \sqrt[3]{\frac{2K\Delta_L Q}{\pi\Delta_p}};$$

[2.6]

**D**-diametrul canalului de distribuție;  
**K**-constanta;  
 **$\Delta_L$** -lungimea canalului [cm];  
**Q**-debitul de material prin secțiune [cm<sup>3</sup>/s];  
 $\Delta_p$ -pierderile de presiune în canal [cm<sup>2</sup>/s];  
 - secțiune pătrată,

$$a = \sqrt[3]{\frac{4K\Delta_L Q}{\Delta_p}};$$

[2.7]

**a**-secțiunea canalului de distribuție.  
**K**-constanta ce ține de material;  
 **$\Delta_L$** -lungimea canalului [cm];  
**Q**-debitul de material prin secțiune [cm<sup>3</sup>/s];  
 $\Delta_p$ -pierderile de presiune în canal [cm<sup>2</sup>/s];

a) *Canal secțiune circulară*

**Avantaje:** suprafață restrânsă în raport cu secțiunea, răcire slabă, pierderi de căldură și de frecare reduse, solidificarea materiei are loc în centrul ultimului canal circular, unde se menține o presiune adecvată.

**Dezavantaje:** prelucrare în ambele jumătăți ale matriței, prin urmare, un grad de dificultate mai mare și un cost mai ridicat.

b) *Canal secțiune parabolică*

**Avantaje:** se apropie de canalul circular, fabricație simplă – prelucrare doar într-o singură jumătate a matriței (cu aruncători laterali pentru îndepărtarea modelului din formă). Utilizarea are loc atunci când sertarele se varsă peste suprafața de îmbinare.

**Dezavantaje:** pierderi de căldură și căderi mai mari decât în cazul canalului circular.

c) *Canal secțiune trapezoidală*

Soluție alternativă la forma parabolică

**Dezavantaje:** pierderi de căldură și căderi mai mari decât în cazul formei parabolice.

În cazul determinării dimensiunilor rețelei de injectat, algoritmul utilizat a fost dimensionarea secțiunii rețelei cu ajutorul formulelor fundamentale, urmat de alegerea lungimilor de canale de distribuție în funcție de dimensiunile canalului și de vâscozitatea materialului și dimensiunile alese ale digurilor, precum și dimensionarea întregii rețele de injectat.

Tabel 2.5 Determinarea lungimii maxime a canalului de injectat

Diametrul rețelei (mm)	Lungimea maximă a rețelei	
	Vâscozitate scăzută (mm)	Vâscozitate ridicată (mm)
3	100	50
6	200	100
9	280	150
13	330	175

Pentru determinarea lungimii maxime a canalelor principale de distribuție și a canalelor secundare de distribuție, s-a plecat de la dimensiunea secțiunii canalului și vâscozitatea materialului, fie ea ridicată sau scăzută (*Tabel 2.5*), folosită de cei de la Mould-Technology și preluată de la dsm, care prezintă o progresie geometrică pornind de la dimensiunea de 3mm la cea de 13mm. În acest sens, s-au făcut calculele aferente pentru dimensiuni cuprinse între 3...15mm, având o frecvență de creștere a diametrului cu 0.5mm. Aceste rezultate sunt evidențiate în *Anexa 2.5 A și B*, unde se află un surplus pentru calculul maxim al unor rețele de injectat utilizate în cazul procedurii de microinjectare. Pentru calculul dimensiunilor specifice microinjectării, s-a utilizat același algoritm, dar aici progresia geometrică nu a prezentat o creștere progresivă, ci una regresivă, astfel încât s-au obținut rezultate pentru dimensiuni cuprinse între 3mm și 0.5 mm la o frecvență de 0.1mm.

Dimensionarea maximă a lungimii de canal în cazul microinjectării și nu numai, prezintă o importanță deosebită datorită faptului că la o lungime mai mare decât cea prescrisă, materialul topit se solidifică și nu mai ajunge să umple cavitățile matriței, lucru care trebuie evitat.

O importanță deosebită se acordă și geometriei canalelor de injectare. În fig. 2.16 sunt prezentate diverse tipuri de secțiuni geometrice pentru canalele de distribuție. Secțiunile pot fi convenționale sau neconvenționale sau cu o geometrie specifică unei bune curgeri în matriță, respectiv cu o geometrie ce conferă o curgere slabă sau defectuoasă în matriță.

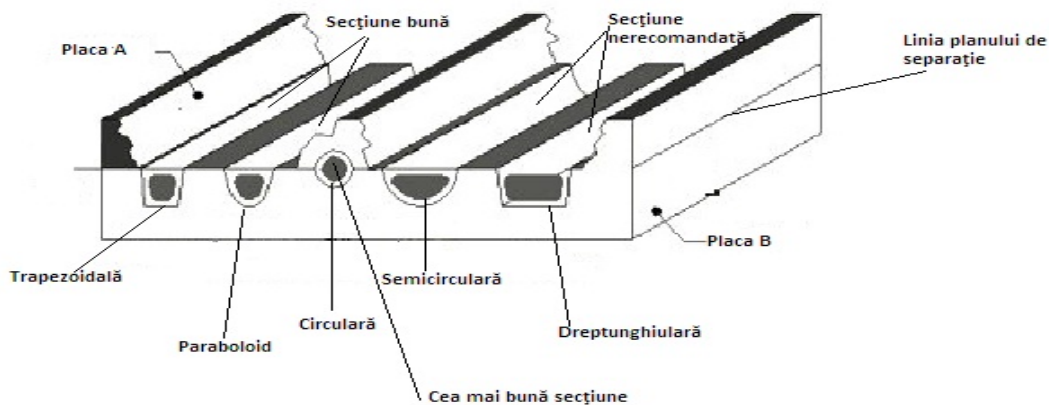


Fig. 2.16 Secțiuni ale canalelor de distribuție [5]

Conform figurii de mai sus, canalele de distribuție pot avea următoarele secțiuni:

- Secțiune trapezoidală;
- Secțiune parabolică;
- Secțiune circulară;
- Secțiune nefavorabilă (semicirculară, dreptunghiulară).

Secțiunea canalelor de distribuție se calculează cu ajutorul următoarelor formule matematice :

- Pentru secțiunea circulară:



## 2.2. - Identificarea factorilor care influențează procesul de injectare 53

$$D=S_{\max}+1,5[\text{mm}] \quad [2.8]$$

unde

D – diametrul secțiunii;

$S_{\max}$  – grosimea maximă a peretelui piesei injectate.

- Pentru secțiune parabolică:  
 $D=S_{\max}+1,5$  [mm] [2.9]  
 $L=1,25 D$  [mm] [2.10]

L – lățimea canalului de distribuție;

- Pentru secțiune trapezoidală;  
 $L=1,25D$  [mm] [2.11]

Determinarea secțiunii canalului prin această metodă de calcule matematice oferă valori aproximative și nu exacte. Pentru o determinare mai exactă a secțiunii canalelor, este necesar a se lua în considerare comportamentul materialului plastic la curgere în rețelele de distribuție, precum și alte proprietăți ale acestuia.

### **Digul**

Digul reprezintă porțiunea îngustă care prezintă o adâncime mică și care face legătura între canalul de distribuție și cuibul matriței. Există o diversitate largă de tipuri de diguri utilizate în cadrul injectării materialelor termoplastice, unele specifice pentru diverse tipuri de piese sau matrițe speciale.

În cazul dimensionării digurilor, aceste dimensiuni sunt oarecum standard, pentru fiecare tip ele prezentând anumite limite de care trebuie să se țină cont în proiectarea matriței și a căror caracteristici și prezentare este evidentă în cele ce urmează.

Digurile sunt considerate porțile de legătură între rețelele de injectare și cuiburile matriței. Tipul de injectare poate fi diferit, acest lucru realizându-se datorită modului în care se găsește configurația digului. Prin urmare, digurile pot fi de diverse tipuri:

#### a) **Dig de tip liniar/standard:**

Acest dig este tipul cel mai utilizat la injectarea în matrițele care au 2 sau mai multe cavități. Acest tip de dig se recomandă pentru piese mici și mijlocii care au o secțiune îngustă a pereților. Digul este amplasat de obicei la marginea produsului pe una din fețe și trebuie îndepărtat în urma injectării cu ajutorul unui tăietor/cutter. Digul este amplasat pe planul de separație al matriței și, în raport cu piesa, poate fi amplasat deasupra, dedesubt sau în lateralul acesteia. În fig. 2.17 se poate observa un exemplu cu acest tip de dig. [SER 99]

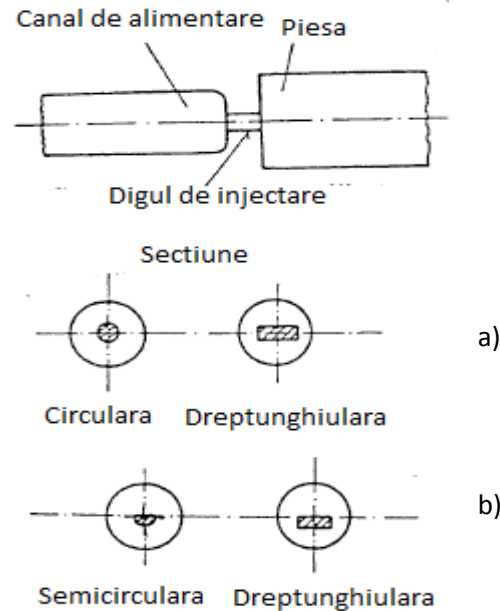


Fig. 2.17 Dig de tip standard, [JEA 82]

a- dig situat pe centrul planului de separație, b – dig situat sub planul de separație

a) *Dig situat pe centrul planului de separație*

**OBSERVAȚII**

Pentru a reduce pierderile de căldură și pierderile prin frecare, dacă este posibil, suprafață mică cu volum mare. În acest caz, este de preferat canalul circular. Fabricație dificilă, deoarece prelucrarea are loc în mod obligatoriu în ambele jumătăți ale matriței. Canalul dreptunghiular este de refuzat din cauza costurilor. Amplasarea centrală îngreunează smulgerea bavurii și necesită în mod eventual o prelucrare. Pragul de injecție trebuie situat, de preferință, pe înălțimea unui perete cu deschidere spre cavitate, pentru a evita radiația nedorită.

b) *Dig situat sub planul de separație*

**OBSERVAȚII**

Amplasarea pragului de injecție în afara centrului facilitează fabricația. Un avantaj suplimentar: pragul situat în afara centrului se îndepărtează mai ușor și smulgerea este de asemenea mai ușoară. Pragul se deschide în cazul acesta în perete, prin urmare, nu are loc nicio radiație nedorită.

Dimensiunile în cazul acestui tip de dig sunt în general de 80...100% din grosimea pieselor care sunt mai mari de 3,5mm și având o adâncime cuprinsă între 1...12mm. Lățimea acestor diguri este cuprinsă între 1...5mm, iar distanța dintre rețea și cavitate este cuprinsă între 0.5...1mm. Aceasta nu poate să depășească 1,5 mm lungime.

Lățimea și înălțimea rețelor pentru aceste tipuri de diguri se consideră astfel calculate ca înălțimea să fie aproximativ egală cu 0,7-0,8 din lățime. Lățimea digului poate să ajungă până la 7mm în cazul unor piese a căror greutate maximă este de 200 de grame. [MOU 08]

Digul standard este cel mai des utilizat în cadrul matrițelor din industrie, fiind totodată aplicat la aproape toate tipurile de materiale termoplastice utilizate la realizarea de piese prin injectare. Din figura 2.16 se observă că digul este amplasat pe planul de separație al matriței. În primul caz, digul se găsește pe placa poansonului, care este și placa mobilă a matriței. Această așezare se utilizează de regulă atunci când pereții piesei nu prezintă înclinație sau nu au draft.

Altă așezare a digului poate să fie pe porțiunea plăcii cavității matriței, utilizată în special pentru a ascunde locul injectării. În acest caz, linia de separație a piesei este aleasă mai convenabil, metoda fiind din punct de vedere al costului mai ieftină și se utilizează la piesele cu pereții înclinați. La așezarea digului la mijlocul liniei de separație al matriței, modul în care trebuie să se utilizeze secțiunea rețelei este de tip cilindric sau semicilindric.

Dezavantajele acestui tip de dig sunt posibilitatea apariției împrăștierii neuniforme a materialului și este obligatorie operațiunea de tăiere a digului în urma procedurii de injectare.

b) **Dig de tip tunel/submarin:**

Prin injectarea cu canal tunel, materialul plastic ajunge de la duză la cuibul matriței prin intermediul unui canal de distribuție pus în legătură cu un canal conic prelucrat în plan înclinat. În fig. 2.18 se prezintă o astfel de injectare cu canal tunel precum și modul de înclinare al acestuia. [SER 96]

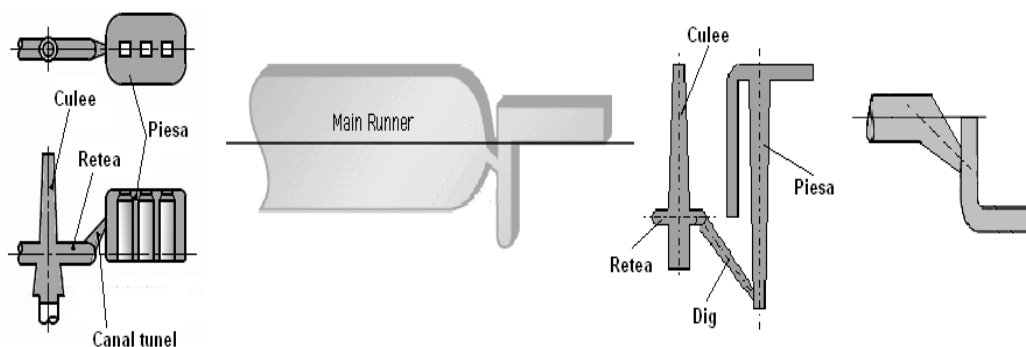


Fig. 2.18 Dig de tip tunel înclinat[4,7]

Poziționarea acestui tip de dig este flexibilă și poate fi utilizată pe orice parte a piesei, aceasta fiind situată pe partea fixă sau mobilă a matriței, dar trebuie avut în vedere faptul că designul trebuie să fie realizat cu atenție, astfel încât la deschiderea matriței, culeea să se rupă și să fie evacuată din matriță. Problema care se pune este ca digul să nu rămână blocat în matriță, lucru care ar duce la încetinirea productivității și o matriță cu un design necorespunzător.

Dimensiunile frecvent utilizate pentru acest tip de dig sunt cuprinse între 0.8...1.5 mm, iar în cazul materialelor plastice ranforsate dimensiunile pot fi mai mari. Sistemele cu canal tunel sunt utilizate mai ales în cazul injectării unor materiale plastice cu elasticitate mare. La materialele plastice fragile se recomandă să se mărească diametrele canalelor de distribuție, astfel încât la extragerea forțată a rețelei de injectare, aceasta să fie elastică, să nu se rupă. [SER 96]

Avantajele acestui tip de dig sunt trecerea tunelului de linia de separație la evacuarea piesei și a rețelei, precum și utilizarea unei rețele circulare. Ca dezavantaje, s-a constatat că la materialele ranforsate, rezultatele sunt slabe din punct de vedere al injectării, iar materialul injectat poate să înghețe sau să se solidifice în dig înainte de a ajunge în cavitate.

O altă variantă a canalului tunel o reprezintă tipul de dig canal cu tunel curbat. Acest tip de dig de canal curbat este utilizat mai rar și este de preferat atunci când suprafața produsului trebuie să fie mată, lucioasă și când se cer condiții de calitate privind aspectul exterior al piesei.

Extracția canalului curbat se realizează ușor dacă canalul de distribuție conic are grosime mică. Astfel, în momentul deschiderii matriței, atunci când piesa este aruncată de pe poanson de către aruncătoare, iar rețeaua este aruncată de către aruncătorul central, se produce o retezare forțată în zona digului între piesă și rețea, ceea ce duce la o extragere forțată a canalului curbat din locașul acestuia. [MOU 08]

Canalul curbat poate fi realizat direct într-o pastilă de o firmă specializată în acest scop sau poate să fie realizat în două pastile care vor fi asamblate ulterior, în fiecare dintre acestea executându-se câte o jumătate de canal. În fig. 2.19 se prezintă un astfel de tip de canal curbat.

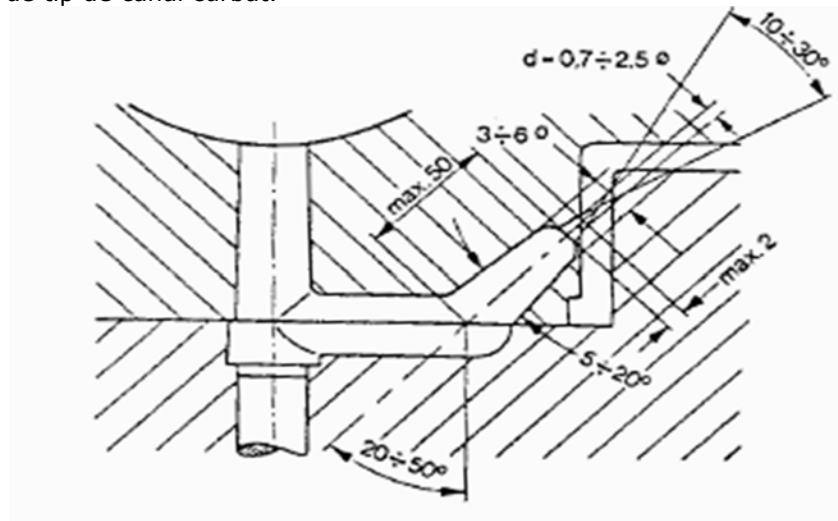


Fig. 2.19 Dig de tip tunel curbat, [JEA 82]

Injectarea cu acest tip de canal este convenabilă pentru realizarea roților dințate din materiale termoplastice. Ca avantaj al acestui procedeu, se urmărește

obținerea unei suprafețe mate, lucioase. Se consideră a fi cea mai bună soluție pentru puține materiale plastice.

Dezavantajul acestui tip de dig este utilizarea la scară redusă, privind materialele plastice, datorită faptului că prin configurația și designul acestuia, curgerea materialului prin acest tip de canal se realizează cu dificultate.

c) ***Dig de formă peliculară sau film***

Pieselor liniare cum sunt riglele de calcul, vizoare pentru calculatoare etc. le sunt impuse condiții severe din punctul de vedere al proprietăților optice și al celor mecanice. Datorită faptului că proprietățile optice și cele mecanice sunt în strânsă legătură cu proprietățile de curgere, injectarea peliculară sau film este recomandată în aceste cazuri (fig. 2.20). [HAR 00]

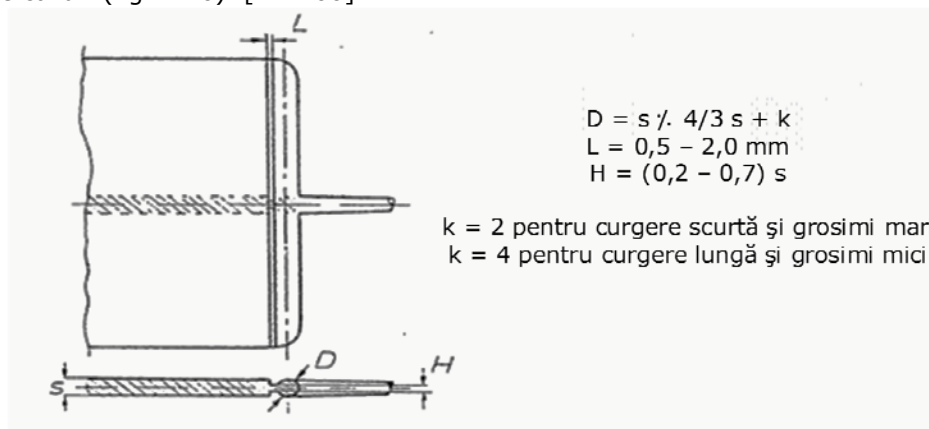


Fig. 2.20 Dig de tip pelicular sau film, [JEA 82]

Dezavantajele injectării unor astfel de piese printr-un punct sau prin mai multe puncte sunt eliminate prin utilizarea injectării peliculare astfel:

- ✓ Evitarea liniilor de întâlnire pe suprafața piesei;
- ✓ Evitarea incluziunilor de aer;
- ✓ O apreciere mai bună a contracției piesei injectate.

Injectarea peliculară se realizează astfel încât dintr-un canal de distribuție, materialul plastic ajunge în cuibul matriței printr-un dig cu lățimea foarte mare, între rețea și piesa injectată formându-se astfel un "film" sau o "peliculă" subțire. Există o serie de soluții constructive pentru injectarea peliculară laterală. În cazul injectării unor piese cu suprafață mare în matrițele de injectat cu un singur cuib, se aplică injectarea peliculară centrală. Pentru un asemenea caz, se utilizează de obicei o matriță cu deschidere prin bacuri pentru a elimina rețeaua de injectare.

Digul de tip "film" constă într-o rețea și un dig ce are o lățime egală cu întreaga porțiune sau latură a unei cavități. [FIS 03] Acest tip de dig se utilizează cu precădere pentru piese de lungime mare dar subțiri la care curgerea să se facă filiform. [GOO 04] O curgere cât mai uniformă este de o deosebită importanță pentru piesele realizate din materiale ranforsate și acolo unde se cere ca deformarea pe lungime a piesei să fie

minimă. Dimensiunile unui astfel de dig sunt de obicei mici și sunt cuprinse între 0.25...0.6 mm grosime și 0.5...1mm lungime sau suprafața digului, în funcție de greutatea și suprafața piesei ce se injectează.

Avantajul acestui tip de dig este că se pretează la injectarea materialelor plastice ranforsate, iar dezavantajul constă în problema îndepărtării rețelei și a digului de piesă, în urma acestui lucru constatându-se că nu se poate ascunde locul injectării, acesta fiind vizibil pronunțat.

Digul de tip "evantai" face parte din familia digurilor de formă peliculară și se folosește în general pentru produsele întinse și plate, fiind amplasat pe una din fețele laterale ale piesei și trebuind îndepărtat manual prin tăiere după injectare. Fig. 2.21 este reprezentativă pentru acest caz.

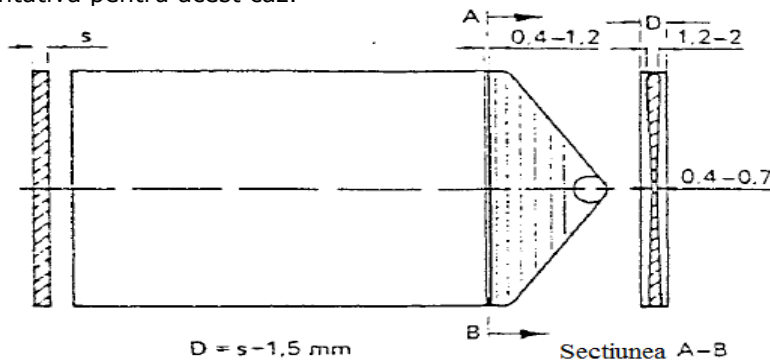


Fig. 2.21 Dig de tip evantai, [JEA 82]

Acest dig este unul pelicular și poate avea grosimea pereților variabilă. Acest tip se utilizează pentru matrițe cu secțiune îngustă și care necesită injectarea fără îngheț sau solidificare prematură, care ar putea fi favorizată de presiunea mică din matriță sau de locurile unde deformarea și stabilitatea dimensională sunt mai pronunțate.

Digul trebuie să aibă o anumită înclinație, astfel încât să se mențină o curgere constantă prin secțiunea acestuia. Acest lucru poate fi realizabil dacă:

- ✓ Vâscozitatea topiturii este constantă;
- ✓ Întreaga lățime a digului trebuie utilizată pentru curgere;
- ✓ Presiunea este aceeași pe întreaga lățime/suprafață a digului.
- ✓ Viteza de injectare este mică pentru reducerea imperfecțiunilor.

Dimensiunile recomandate la acest tip de dig sunt grosimea, care nu trebuie să fie mai mare de 80% din grosimea piesei, iar lățimea digului variază de la 6mm până la 25% din lungimea cavității. Pentru piesele care au o grosime de 0.8mm, se recomandă ca digul să aibă o grosime de 0.7mm, iar în cazul injectării cauciucului se recomandă folosirea unui dig cu 100% din grosimea piesei, ceea ce dă o calitate mai bună a piesei injectate și un control mai bun al curgerii materialului.

Avantajele acestui tip de dig sunt: permiterea unei umpleri rapide a unor piese de lungime mare, precum și cele cu secțiune dificilă. De-aseamenea, umplerea unor piese de suprafață și lungime mare se realizează printr-un front de curgere uniform.

Dezavantajul în acest caz constă în tăierea culeei și a rețelei.

d) ***Dig de tip punctiform/ ac***

Prin injectare punctiformă, materialul ajunge direct la cuib printr-un canal cu conicitate foarte mare. În fig. 2.22 sunt prezentate diverse tipuri de diguri punctiforme. [SER 96]

Digul de tip ac/punctiform se utilizează de obicei la matrițele cu mai multe cuiburi, poziționarea acestuia fiind flexibilă și injectarea realizându-se de obicei pe partea superioară a piesei. [CAV 04]

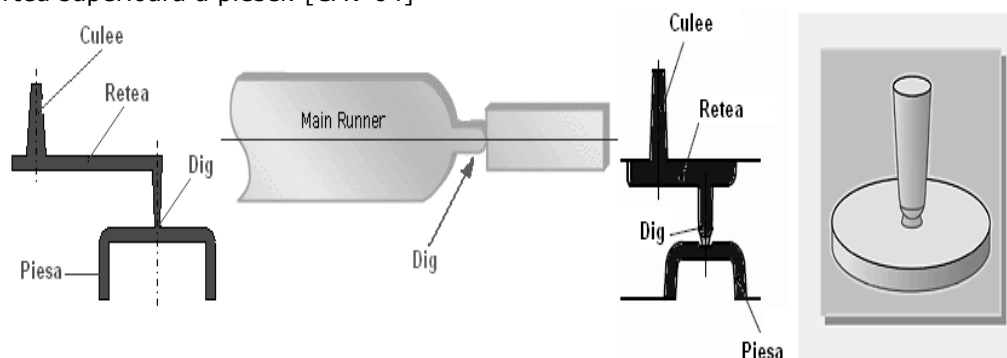


Fig. 2.22 Diguri de tip punctiform [7]

Structura de bază a matriței în acest caz este complicată, deoarece în această situație se utilizează metoda celor trei plăci /cu placă intermediară. [CAV 00] Digul trebuie să fie destul de slab pentru a se rupe fără a avea efecte negative asupra piesei. Acest tip de dig este preferat a se utiliza cu o secțiune cât mai mică. Designul pentru acest tip de dig trebuie să fie particularizat pentru diversitatea pieselor ce se injectează, necesitatea principală fiind asigurarea unei curgeri simetrice care să ducă la umplerea matriței fără probleme.

În timpul funcționării matrițelor de injectat cu canale punctiforme, pot apărea unele inconveniențe la eliminarea rețelei, datorită unor fire de material care rămân între piesă și rețea. Pentru eliminarea acestui inconvenient și pentru reducerea duratei ciclului de injectare s-a introdus o variantă îmbunătățită a sistemului, și anume injectarea punctiformă cu antecameră. La această variantă, digul punctiform vine în contact cu o porțiune mărită a canalului care formează antecamera. [SER 96] La prima injectare, antecamera se umple cu material plastifiat care, având și rol de izolator, permite injectarea continuă în zona centrală. O aplicare corectă a acestui procedeu presupune o injectare continuă, deoarece oprirea mașinii ar duce la solidificarea materialului în antecameră și, prin urmare, la imposibilitatea efectuării injectării următoare.

Dimensiunile recomandate în cazul injectării materialelor plastice neranforsate sunt cuprinse între 0.8...6mm. [GOO 04] Digurile care sunt mai mici decât cele descrise anterior nu se recomandă, datorită faptului că se pot degrada termic. În cazul injectării materialelor plastice ranforsate, se recomandă ca digurile să fie mai mari de 1mm, iar lungimea maximă a acestora să aibă valoarea de 1mm.

Avantaje: design corespunzător pentru injectarea în matrițe cu multiple cuiburi, reducere de material plastic la injectare, ruperea rețelelor se realizează separat de piese. [ROS 00]

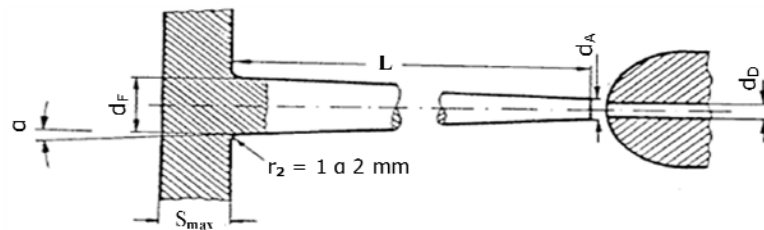
Dezavantaje: resturile de diguri pot cauza probleme prin rămânerea acestora în matriță, ceea ce duce la blocarea umplerii unuia sau a mai multor cuiburi. Pentru a se diminua acest lucru, se utilizează duze cu acționare pneumatică pentru eliminarea rețelei și a digului din matriță. Digurile punctiforme nu se utilizează în cazul unor polimeri cu vâscozitate mare sau a unora care sunt sensibili din punct de vedere al temperaturii.

e) **Dig de tip culee**

Injectarea cu acest tip de dig este o injectare directă, în sensul că digul propriu-zis îl reprezintă însăși culeea. Canalul central de injectare devine culeea, el fiind amplasat pe partea superioară a produsului și fiind necesară îndepărtarea manuală a acesteia după injectare.

Se recomandă a se utiliza pentru matrițele cu o singură cavitate și pentru piese ce necesită o umplere simetrică. , [JEA 82]

Acest tip de dig se utilizează atât pentru secțiuni mici cât și pentru secțiuni mari, deoarece o menținere a presiunii are efect mai îndelungat la injectare. Se recomandă utilizarea unei lungimi mici a culeei, ceea ce determină o umplere mai rapidă a matriței. În fig. 2.23 se prezintă câteva diguri de tip culee.



$$d_F \geq S_{\max} + 1,5 \text{ mm}$$

$$d_A \geq d_D + 1 \text{ mm}$$

$$\alpha \geq 1 - 2^\circ$$

$$\text{tg } \alpha \geq (d_F - d_A)/2L$$

Fig. 2.23 Dig de tip culee, [JEA 82]

Matrița, în acest caz, este ieftină, deoarece materialul din rețea a fost eliminat, iar presiunea de injectare a fost redusă direct la umplerea cavitații. Dezavantajul la acest tip de dig îl reprezintă adaosul de material rămas pe piesă în urma tăierii rețelei/culeei.

Plastifierea materialului este controlată de alegerea unor pereți corespunzători ai rețelei în conformitate cu grosimea pereților piesei. În general, contractia în rețea este mai ridicată, iar în apropierea acesteia este mai scăzută. Rezultatul în acest caz îl reprezintă o tensiune la stres ridicată în apropierea digului. Dimensiunea de început a



culeei este controlată de duza mașinii de injectat. Astfel, diametrul rețelei în apropierea duzei trebuie să fie cu 0.5mm mai mare decât diametrul exterior al duzei. În cazul utilizării unor buçe standardizate de acest tip, se cunoaște faptul că acestea sunt prevăzute cu un canal de forma conică cu o înclinație a pereților de 2,4 grade, deschiderea mare fiind înspre piesă. La punctul de injectare, diametrul trebuie să fie de aproximativ 1,5 ori sau chiar dublu pereților piesei în acel punct. [JEA 82]

În cazul în care se utilizează buçe nestandardizate de rețele, acestea au un cost mai ridicat și o precizie mai mică, iar o înclinație prea mică a pereților rețelei poate duce la imposibilitatea umplerii piesei și utilizarea unei înclinații prea mari a pereților rețelei duce la extinderea timpului de răcire și material plastic risipit.

f) ***Dig cotit (Tab gate)***

Acest tip de dig este specific pieselor de lungime mare și grosime mică și se utilizează pentru a reduce forfecările care pot apărea în matriță. Forfecarea se realizează în general în apropierea digului, mai exact la legătura canalelor rețelei care sunt îndepărtate după injectare. Acest tip de dig este frecvent utilizat în cazul matrițelor de forma P. [HAR 00], [ROS 00]

În fig. 2.24 se pot observa câteva tipuri reprezentative de asemenea diguri. Digul de tip cotit (*Tab gate*) se utilizează pentru diverse materiale termoplastice cum ar fi ABS, PS, acril, PP, PVC, policarbonat. Materiale ca SAN și altele care au o fluiditate relativ scăzută prezintă riscul forfecării la utilizarea acestui tip de dig. [JON 08]

În privința dimensionării acestor tipuri de diguri, se recomandă ca grosimea pereților digului să fie egală sau puțin mai mică decât a piesei ce se injectează. În cazul în care se injectează componente ce sunt utilizate în industria cosmetică, se preferă ca grosimea digului să fie aceeași cu grosimea pereților piesei.

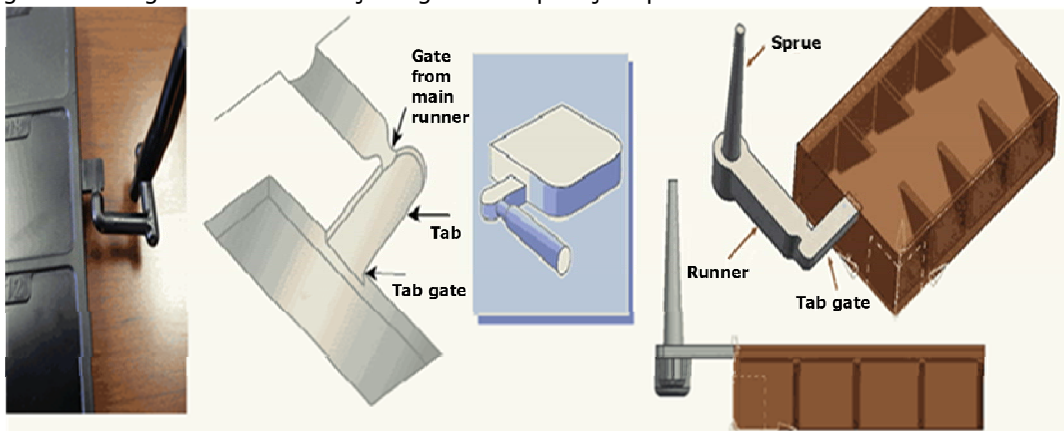


Fig. 2.24 Tipuri de diguri cotate (tab gate)[8]

O altă regulă ce se impune în privința acestor tipuri de diguri este poziționarea acestora, dacă este posibil, cât mai înspre centrul piesei. În acest caz, trebuie să se țină seama de forma și mărimea piesei ce se injectează. Dimensiunile de bază pentru aceste

tipuri de diguri sunt 6,5 mm pentru lățimea canalului, iar grosimea acestuia să fie luată minim 75% din grosimea pereților piesei.[JON 08]

g) ***Diguri inelare***

Injectarea pieselor cu simetrie rotativă se poate realiza cu ajutorul sistemului de injectare inelară, sistem prin care materialul plastic dintr-un canal de distribuție inelar ajunge printr-un dig pelicular în cuibul matriței. Injectarea inelară permite obținerea la piesa injectată a unei rezistențe mecanice ridicate, o precizie dimensională mai mare și evitarea urmelor de curgere a materialului.

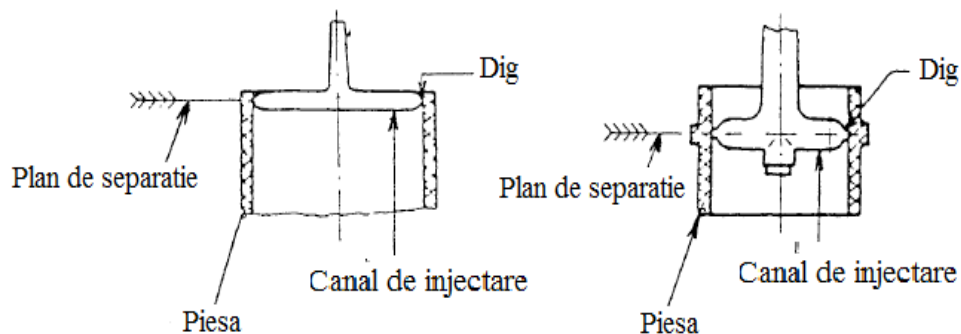


Fig. 2.25 Dig inelar interior, [JEA 82]

Injectarea inelară poate fi realizată cu canal de distribuție cu secțiune circulară la exteriorul piesei injectate sau la interiorul acesteia.

În fig. 2.25 este prezentat un tip de dig inelar interior sau un dig de tip diafragmă. Acest tip de dig este utilizat de obicei pentru injectarea unor piese de forma cilindrică sau rotundă și care prezintă un diametru interior deschis.

Se utilizează de obicei pentru matrițele cu o singură cavitate care prezintă un diametru interior mic sau mediu. Sunt utilizate în special atunci când concentricitatea prezintă o mare importanță și nu se acceptă linii de sudură pe suprafața piesei injectate.

Un avantaj al acestui tip de dig ar consta în faptul că se poate menține o curgere uniformă pe toată suprafața digului. În acest caz, grosimea pereților digului este cuprinsă între 0.25...1.5mm. Dezavantajul digului de tip inelar interior constă în faptul că rețeaua trebuie îndepărtată în urma injectării. [JON 08]

Digul de tip inel exterior este prezentat în fig. 2.26 și se utilizează în cazul injectării pieselor de tip cilindric sau circular în matrițele cu mai multe cavități sau atunci când nu se poate utiliza digul de tip inel interior. Materialul intră în inelul exterior printr-o parte, formând o linie de sudură în partea opusă a rețelei, linie care nu se transferă piesei. Dimensiunile sunt în general aceleași cu cele prezentate anterior la digul de tip inel interior. [SER 96]

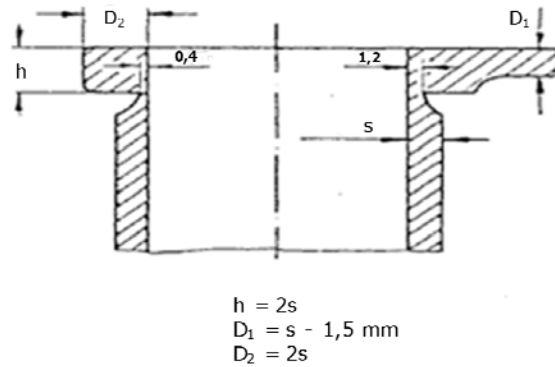


Fig. 2.26 Dig inelar exterior, [JEA 82]

#### 4) Dimensionarea finală a rețelei de injectat

Dimensionarea finală a rețelei de injectat reprezintă ultima fază care trebuie atinsă în acest algoritm și care se prezintă în program (**TimMold**) aplicația prezentată în fig. 2.27, teoria propusă nefiind încă introdusă în program (**TimMold**), ea fiind constituită pentru un update al acestuia.

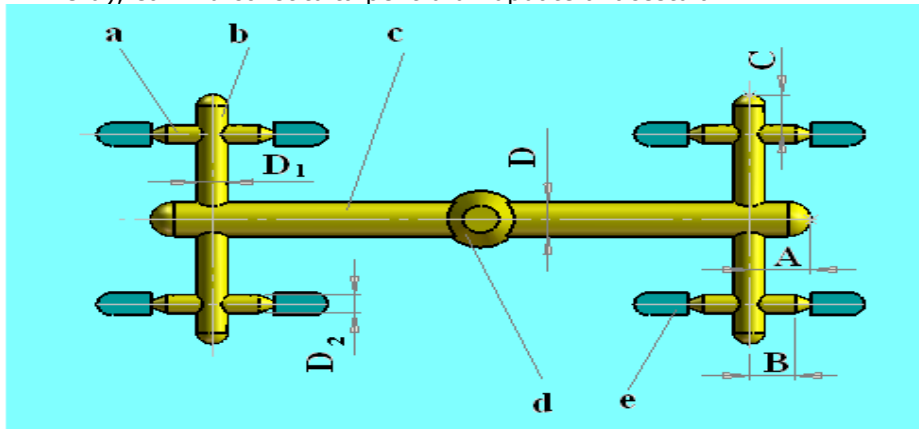


Fig. 2.27 Dimensionarea sistemului de injectare[5]

Sistemul de injectare din fig. 2.26 prezintă următoarele elemente componente:

- a, b** – canale de distribuție secundare;
- c** – canal de distribuție principal;
- d** – culee;
- e** – piesa injectată.

Pentru canalele circulare de diametru  $D, D_1, D_2$  se recomandă următoarele relații:

$$\mathbf{A = D; \quad B = D; \quad C = D.}$$

Dintre factorii de influență ai procesului, temperatura matriței este unul dintre cei mai importanți. Temperatura matriței trebuie să urmărească două cerințe principale:

- ✓ calitatea tehnică a piesei injectate ca funcție a uniformității distribuției temperaturii și a mărimii temperaturii matriței;
- ✓ cicluri de injectare cu durată economică ca urmare a evacuării rapide a căldurii din matriță;

## 6) Temperatura matriței

Matrița, din punctul de vedere al factorului temperatură, prezintă: transfer termic între matriță și materialul plastic, transfer de căldură între matriță și mediul de temperare și transfer de căldură în interiorul matriței. [SER 96]

Pe scurt, dacă temperatura matriței este prea mare sau prea mică, acest fapt poate să influențeze pozitiv sau negativ topitura de material în umplerea completă a cavităților matriței.

Elementele componente ale matrițelor de injectat pot fi grupate în: elemente active (plăci de formare, cuiburi poansoane, bacuri), elemente de susținere și de prindere (plăci de prindere, plăci portpoansoane etc.), elemente pentru centrare și conducere (coloane și bușe de ghidare, bușe de centrare), elemente ale sistemului de aruncare (plăci aruncătoare și portaruncătoare, știfturi de aruncare etc.), elemente de asamblare (șuruburi, știfturi etc.) și altele. Toate elementele componente ale matrițelor de injectat se prelucrează de regulă prin operații de așchiere cum sunt: strunjirea, frezarea, rabotarea, găurirea, rectificarea etc. și prin operații de ajustare manuală, prototipare, digitizare etc. Elementele active ale matriței mai pot fi realizate, pe lângă procedeul de frezare, prin procedeul de electroeroziune.

## 7) Precizia de prelucrare a matrițelor

Din punct de vedere al preciziei de prelucrare, o problemă deosebit de importantă o constituie, pe lângă o execuție ireproșabilă a părților active ale matriței, asamblarea corectă a componentelor acesteia. Astfel, asamblarea trebuie să asigure fixarea rigidă în poziție reciproc corectă a elementelor fixe, centrarea plăcilor de prindere pe platourile de prindere ale mașinii, conducerea perfectă a celor două semimatrițe, funcționarea fără defecțiuni a sistemului de aruncare s.a. [ICL 06]

**Contractia** piesei exprimă gradul de reducere a dimensiunilor, de la dimensiunea efectivă în cuibul matriței la dimensiunea corespunzătoare a produsului, datorită tensiunilor induse în materialul produsului (fig. 2.28). *Valori însemnate* ale contractiei și ale tensionării sunt înregistrate de obicei în lungul peretelui piesei. *Schimbări ale direcției de curgere și geometria complexă* a piesei injectate pot însă să conducă la *tensionarea necontrolată* și, în consecință, la *contractii* ce afectează **toleranțele și precizia geometrică**.

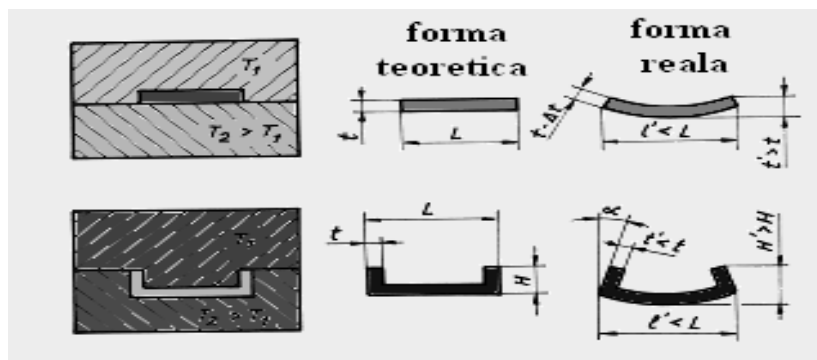


Fig. 2.28. Contractția piesei [3]

Câmpul de toleranță trebuie să fie corect definit, întinderea lui nu trebuie să fie excesivă, ci doar la limita necesară satisfacerii cerințelor de produs, motive pentru care trebuie avute în vedere:

- a) toleranțele ce țin de tehnologia de execuție a matriței
- toleranțele realizabile în fabricația matriței
  - toleranțele adiționale induse de procedeul de prelucrare a părților componente
  - variațiile dimensionale suplimentare induse de factorii de influență ce țin de condițiile de punere în formă:
    - tipul de matriță;
    - parametrii de reglaj;
    - condițiile de răcire;
    - configurația geometrică a produsului;
  - deformația indusă de contracția specifică a fiecărui material polimeric. [ICL 06]
- b) toleranțele operaționale care au în vedere comportarea produsului pe durata ciclului de viață (variații dimensionale datorate higroscopicității, dilatării termice sau contactului cu diverși compuși chimici).

În cazul asamblării elementelor conjugate ale matriței, acestea trebuie să prezinte toleranțe la dimensiuni bine stabilite astfel încât ajustajele realizate să asigure asamblarea cu joc sau cu strângere în limita impusă funcționării. Știfturile cilindrice utilizate în cazul poziționării plăcilor matriței sunt tolerate în câmpul m6, iar găurile pentru acestea sunt tolerate în câmpul H7, formând un ajustaj cu strângere foarte mică.

Elementele de conducere specifice matriței, cum sunt coloanele și bușele de ghidare, trebuie să aibă o precizie dimensională ridicată, rigiditate mare și rezistență la uzură. Abaterile de la coaxialitate ale bușei și ale coloanei de ghidare nu trebuie să depășească 0,012...0,016 mm.

Coloanele și bușele de ghidare se montează în plăcile matriței cu ajustaj intermediar H7/k6, asigurând astfel o asamblare precisă cu montaj ușor. În cazul sistemului de aruncare, stabilirea corectă a ajustajelor este de mare importanță. Ajustajele recomandate știfturilor de aruncare în placa de aruncare sunt ajustaje cu joc foarte mic. Lungimea de ajustare  $L$  a știftului de aruncare în placa de formare trebuie să fie de  $(2,5...8)d$ , unde  $d$  reprezintă diametrul știftului de aruncare.

Dacă sunt utilizate coloanele înclinate la matrițele cu bacuri, acestea trebuie montate în placa matriței cu ajustaj cu strângere, datorită forțelor mari care acționează asupra lor.

Cuiburile matrițelor sunt realizate de regulă sub formă de pastile care sunt montate în plăcile de formare cu umăr, cu șuruburi sau prin ștemuire. Pastilele ce se fixează în plăcile matriței trebuie să se monteze și demonteze ușor, ceea ce presupune un ajustaj intermediar.

Montarea duzei în placa portpoanson se realizează cu ajustaj cu strângere, fiind uneori nevoie ca aceasta să se asigure împotriva rotirii cu un mic bolt. În cazul inelului de centrare care se montează pe placa de prindere a matriței, se recomandă folosirea ajustajului cu joc, iar pentru fixarea acestuia pe placă se folosesc șuruburi.

La tot ceea ce s-a amintit anterior, s-a realizat o diagramă referitoare la principalii factori de influență asupra calității și preciziei produselor injectate, prezentată în fig. 2.29.

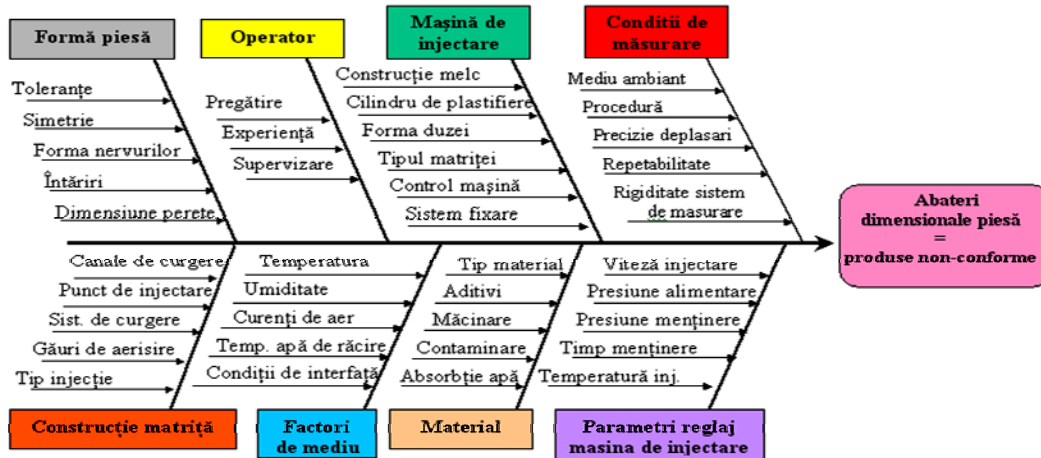


Fig. 2.29 Diagrama principalilor factori de influență asupra calității și preciziei produselor injectate

## 2.2.4 Mașina de injectat

Procedul de matrițare prin injectare are unele avantaje, printre care cele specifice injectării suplimentare cu o bună repartizare a presiunii în matriță și o mai redusă orientare a materialului, dar și dezavantaje legate de o matriță mai complexă și mai puțin fiabilă asociată cu un slab control al presiunii și necesitatea unor lucrări de adaptare a mașinilor de injectat. [ICL 06]

Sucesiunea transformărilor care se produc în materialul inițial până la piesa finală se clasifică în ordinea următoare:

- Alimentarea cu material plastic solid (granule) a mașinii;
- Avansul și termoplastifierea materialului în cilindru de injectare;
- Injectarea materialului plastic în matriță;

## 2.2. - Identificarea factorilor care influențează procesul de injectare 67

- Comprimarea și îndesarea materialului în matriță sub acțiunea melcului-piston;
- Răcirea și solidificarea piesei în cavitatea matriței;
- Deschiderea și scoaterea piesei din matriță.

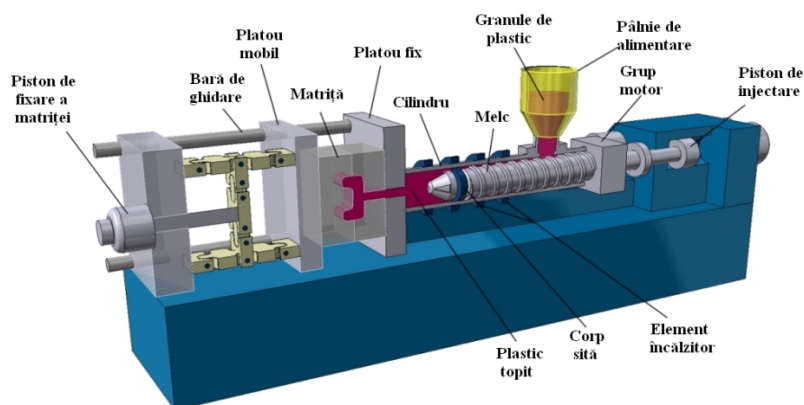


Fig. 2.30 Utilaj pentru injectare materiale plastice [RUT 09]

Utilajele folosite la injectarea pieselor (fig.2.30) din material plastic sunt considerate ca făcând parte din categoria preselor specializate datorită modului de lucru în raport cu ciclul complet al unei injecții. Utilajele de injectare se compun din două unități:

### *Unitatea de injecție*

Unitatea de injecție are rolul de a asigura alimentarea cu material, plastifierea acestuia, injecția în matriță și mișcările de apropiere și retragere a cilindrului în timpul unui ciclu.

Rolul de transformare a granulelor de material plastic într-un omogen continuu este jucat de către unitatea de injecție și injecția acestuia în matriță. Ansamblul cel mai important este cilindrul de plastifiere în care se asigură aducerea materialului în stare injectabilă și din care un melc piston execută injecția în cavitățile matriței. Dinspre duză spre pistonul de injecție, materialul se prezintă în faze diferite de topire și omogenizare. De asemenea, temperatura materialului variază în lungul cilindrului cât și pe direcție radială, dar în zona finală și faza precedentă injecției, diferența temperaturilor extreme  $\Delta T$  nu poate fi mai mare de  $15^{\circ}\text{C}$  [ICL 06].

### *Unitatea de închidere*

Unitate de închidere este alcătuită din organele de închidere și deschidere ale matriței, dispozitivele de aruncare a pieselor injectate și sistemele de protecție. Unitatea de închidere, pe lângă rolul de închidere și deschidere, trebuie să asigure și forța necesară strângerii matriței în timpul injecției pentru ca aceasta să nu se poată deschide. [ICL 06].

Strângerea se poate asigura prin mai multe moduri:

- Închidere mecanică cu sistem de pârghii cu genunchi;

- Închidere hidromecanică cu sistem de pârghii cu genunchi;
- Închidere hidraulică cu un cilindru;
- Închidere hidraulică multicilindru.

Mărimea unei matrițe depinde în primul rând de mărimea mașinii de injectat.

Factorii de care trebuie să se țină seamă sunt:

- cantitatea de material pe care o injectează mașina
- presiunea mașinii de injectare
- cantitatea de material pe care o poate plastifia mașina de injectat în unitatea de timp
- suprafața maximă a platoului mașinii, dată de distanța dintre coloane
- forța de închidere a mașinii necesară compensării forței care ia naștere în cuibul matriței la presiune maximă

Astfel, știind volumul de material necesar realizării unui reper (volum dat de orice soft CAD în funcție de materialul ales), putem alege mașina de injectat.

În funcție de caracteristicile acestor mașini, proiectantul de matrițe va fi îndrumat de către soft către cuiburi să aleagă și astfel, ce tipizate standard s-ar potrivi pentru a proiecta matrița pentru reperul său.

### **2.3 Metoda de concepție asistată de calculator**

Dezvoltarea soft – urilor de proiectare din ultimele două decenii a dus la apariția pe piață a produse cu forme complexe care fără ajutorul calculatorului nu ar putea fi materializate. Noii proiectanții au ajuns la performanțe mult superioare folosind calculatoarele. Proiectarea asistată de calculator (CAD) folosește proprietățile matematice și grafice ale calculatorului pentru a ajuta inginerul proiectant în crearea, modificarea, analiza și prezentarea proiectelor. Mulți factori au contribuit la crearea tehnologiei CAD, care cu timpul a ajuns o unealtă indispensabilă în lume inginerească. Rapiditatea de procesare a ecuațiilor și manevrarea bazelor de date ușurează foarte mult munca proiectantului. Combinarea creativității umane cu tehnologia oferită de calculator oferă soft-urilor CAD o continuă dezvoltare. [GHI 2007]

Competiția conduce la necesitatea de accelerare a procesului de creare a unui produs complet nou sau a unui produs bazat pe experiența anterioară. Adaptarea companiei la mediul concurențial în care activează ia în considerare schimbările tehnologice care se produc în procesul de proiectare al produselor, în tehnologia procesului de fabricație și în tehnologia sistemelor informatice.

Proiectarea asistată de calculator (CAD – Computer Aided Design) este, în prezent, din ce în ce mai des utilizată în domenii foarte diverse, în inginerie mecanică, arhitectură sau pentru design de produs, fiind un domeniu în plină evoluție. Totuși, transformările recente ale principalelor sisteme de proiectare asistată dovedesc faptul că domeniul CAD se află încă în plină evoluție. Aceasta privește atât arhitectura generală cât și instrumente noi de modelare în sistemele de proiectare existente, cât și posibilitatea acestora de a crea nu numai simple schițe 2D cu hașuri și cote, ci, mai ales, modele geometrice solide și suprafețe, pe baza parametrilor indicați de inginerul proiectant.

Pentru a pune în evidență importanța folosirii calculatorului în industrie s-a realizat un articol cu titlul *Application of CAD/CAM/FEA, reverse engineering and rapid*



*prototyping in manufacturing industry*, în care este prezentată contribuția calculatoarelor prin diferite soft-uri CAD/CAM/CAE în realizarea unui studiu de caz – reprezentat printr-o garnitură ruptă. În fig. 2.31 este prezentat demersul articolului.

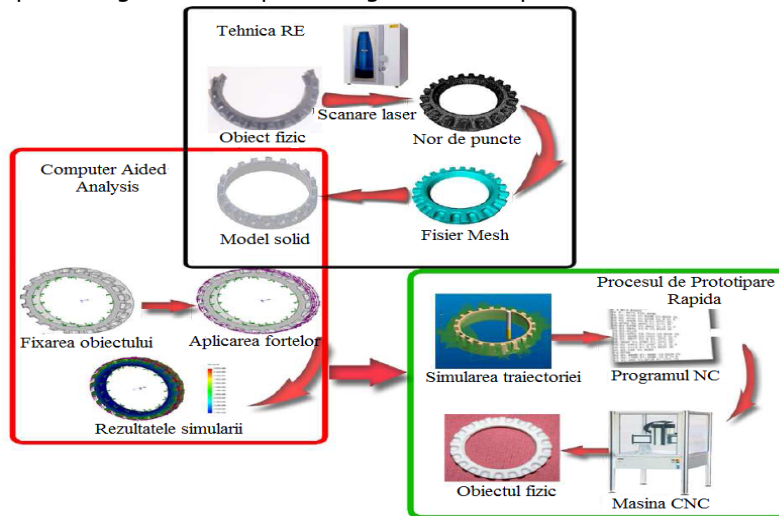


Fig. 2.31 Pașii parcurși pentru realizarea studiului de caz [TUȚ 2010 a]

Utilizarea calculatorului în diferite domenii industriale este pusă în evidență și de articolul cu titlul *Obtaining Mold Inserts Cavities Using Rapid Prototyping Techniques* (fig. 2.32), în care este prezentată metodologia de lucru pentru realizarea unor plăci de formare prin procesul de Prototipare Rapidă.

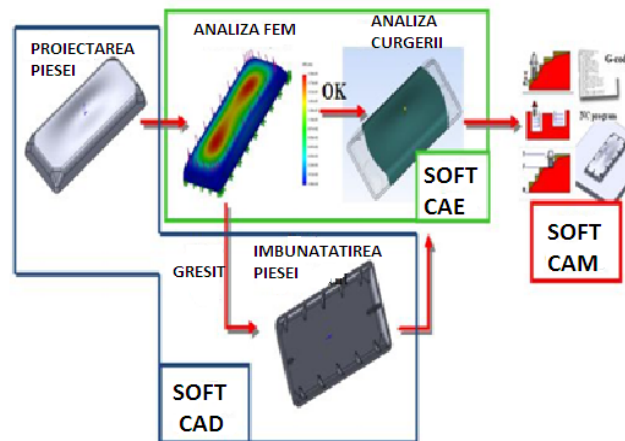


Fig. 2.32 Pașii parcurși pentru realizarea studiului de caz [TUȚ 2010 b]

Într-un sistem de proiectare asistată, interfața operator – calculator prezintă o importanță fundamentală atât la intrarea în sistemul considerat, cât și la ieșirea din acesta. Astfel, spre exemplu, la intrarea în sistem se pune problema stabilirii valorilor (raza unui cerc, distanța liniară dintre două entități, etc.), introducerea coordonatelor punctelor în două sau trei dimensiuni, alegerea și identificarea unei entități în vederea modificării geometriei, a poziției spațiale, a orientării, etc.. Iar la ieșire se pune problema vizualizării obiectelor obținute, într-o formă obișnuită (proiecții, perspectivă) sau prin prezentarea arborelui de concepție al acestora.

În termeni generali, proiectarea asistată de calculator poate fi definită ca fiind procesul de transformare al unui set de specificații funcționale și cerințe într-o reprezentare complexă a produsului sau a sistemului fizic, care satisface, cât mai bine, acele cerințe și specificații impuse de client. În timpul procesului de transformare, inginerul proiectant ia decizii legate de forma, proprietățile de material, tehnologii de fabricație, etc., bazate pe informații preluate din îndrumare, standarde, analize numerice, experiență proprie. Evoluția sistemelor de proiectare asistată a scurtat ciclul creării unui produs, i-a crescut complexitatea și performanțele, a demarat o adevărată competiție pentru realizarea de produse fiabile la prețuri cât mai reduse. Etapele de proiectare a produsului, menționate anterior, nu s-au modificat, dar munca de schițare, de analizare și optimizare, de prezentare a produsului au fost simplificate, iar timpul de proiectare redus, astfel oferind clientului posibilitatea de lansare pe piață a produsului mult mai rapid. Sistemele moderne de proiectare asistată oferă posibilitatea efectuării unor calcule matematice și evaluări complexe, punând la dispoziția utilizatorilor biblioteci cu metode de calcul algebric, statistic, calcul automat pentru suprafețe și volum, determinarea momentelor de inerție, calcule de rezistență cu elemente finite, etc.. [GHI 2007]

Procesul de proiectare a unui produs nou a scăzut cu până la 50%, trăgând după sine și o scădere a prețului produsului.

În prezent, proiectarea asistată de calculator este concentrată asupra modelării geometrice a produsului cu ajutorul unuia sau mai multor sisteme de proiectare asistată și asupra obținerii de date relevante în diferite stadii de funcționare ale produsului. Deseori, lipsa informației duce la inventarea unor soluții, cu un consum corespunzător de timp și bani. Sunt, astfel, necesare produse software specializate în managementul informațiilor deținute, referitoare la activitățile de concepție, proiectare și realizare a proiectelor. Produsele software au rolul de a asigura inginerul proiectant în crearea mai rapidă a documentelor, în ordonarea informațiilor pe domenii, în generarea de rapoarte etc.. Documentele create trebuie să fie standardizate conform normelor specifice, astfel încât să permită în viitor re folosirea informațiilor pe care le conțin, ori de câte ori este necesar. Studii recente arată ca 80% din activitatea de proiectare la nivel industrial se bazează pe diferite variante de proiecte, fiind utilizată și informația obținută anterior. Astfel, re folosirea informației este inerentă procesului de proiectare.

Realizarea părților active ale matrițelor pornind de la un solid se poate face folosind mediul "SolidWorks". În continuare, vom prezenta această metodologie. [COS 08]

În fig. 2.33 este redată bara meniu pentru comenzile de generare a sculei pentru realizarea elementelor active (*Tooling Split*) ale matrițelor de injectare: [COS 08]

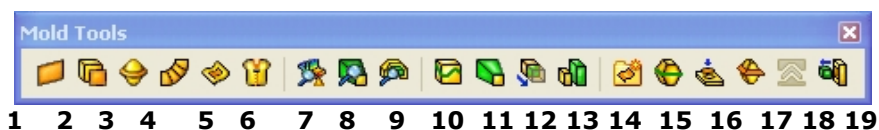


Fig. 2.33 Meniurile barei de comenzi "Scula de injectare" [SEI 2007]

- (1) Suprafața Plană-(**Planar Surface**): creează o suprafață plană folosind schița unui contur închis sau un set de muchii de pe piesa master;
- (2) Suprafața Offsetată-(**Offset Surface**): creează o suprafață offsetată folosind una sau mai multe suprafețe continue alăturate;
- (3) Suprafața radiantă-(**Radiate Surface**): dezvoltă o suprafață de separație radiantă având originea la o muchie, paralel cu un plan ;
- (4) Suprafața riglată-(**Ruled Surface**): creează o suprafață riglată mărginită de muchii;
- (5) Suprafața "petec"-(**Filled Surfaces**): creează suprafețe fațetate (Surface Patch) printr-un contur marginal închis definit de muchii existente, schițe sau alte curbe;
- (6) Suprafața de unire-(**Knit Surfaces**): combină mai multe suprafețe adiacente care nu se intersectează;
- (7) Analiza de umplere-(**MoldflowXpress Analyses Wizard**): rulează o analiză de curgere și umplere a cavității matrițelor la injectare folosind FEM/FEA;
- (8) Analiza de înclinare a pereților-(**Draft Analyses**): analizează demulabilitatea pieselor injectate, pe baza unghiului de înclinare al pereților în raport cu direcția de extragere;
- (9) Detectarea subtăierii-(**Undercut Detection**): identifică suprafețele piesei master care realizează subtăiere cu pereții elementelor active ale matriței de injectare;
- (10) Linie de separație-(**Split Line**): proiectează o schiță, o curbă, sau o suprafață plană, creând suprafețe de separație multiple;
- (11) Înclinare fațetă-(**Draft**): modifică înclinarea unei fețe la un unghi precizat față de un plan neutru sau o linie de separație; [SEI 07, COS 08]

Exista două strategii de generare a componentelor active ale unei matrițe de injectare, respectiv:

1. Se pornește de la solidul care reprezintă piesa finală și în modul ansamblu interimar, se inserează într-un paralelipiped reprezentând cele două componente active ale matriței: cavitatea și miezul reunite. Prin constrângere se controlează poziționarea piesei în raport cu blocul paralelipipedic de bază. Se scalează ansamblul interimar în raport cu centroidul sau un sistem de referință pentru a se ține cont de contracția materialului. Se generează pe fețele laterale, linii de separație și se dezvoltă o suprafață de separație pe baza căreia se divide blocul paralelipipedic, obținându-se ca și solide derivate: cavitatea și matrița. Această metodă este creată în SolidWORKS încă din versiunile inițiale și folosește comenzile: 1, 2, 3, 4, 5, 6 și 10 din bara de meniuri a comenzii "Scula de injectare" (*Mold Tools*),

2. Începând cu versiunea SW 2004, a fost introdusă în modul "Piesă solidă individuală" (*Solid part*) o altă strategie de dezvoltare direct pe modelul solid a celor două componente active: cavitate (*Cavity*) și miez (*Core*), folosind comenzile: 13, 14, ... , 19. Această metodă este foarte puternică și comodă.

**OBSERVAȚIE:** metodele de generare al cavităților și miezurilor se pot aplica pentru realizarea matrițelor de injectare, de turnare sub presiune, de forjare sau a modelelor și miezurilor de formare în nisip.

### 2.3.1 Studiu de caz

În continuare se prezintă pașii de realizare a plăcilor de formare (poanson și cavitate) pentru două piese diferite (fig.2.34 a,b) ca formă. Aceste piese vor fi prezentate și în **Cap. 4** și reprezintă baza de testare a programului creat (**TimMold**). Piesele luate în studiu se execută prin injectare din "Polyamida PA66".

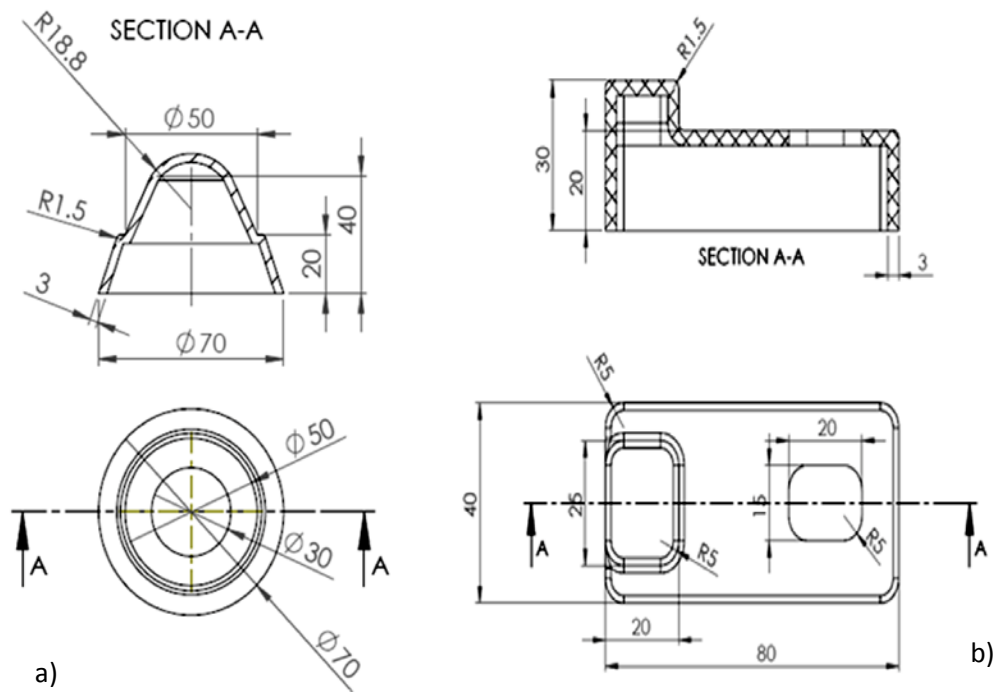


Fig. 2.34 Piese din plastic

a – piesă din plastic de formă cilindrică, b – piesă din plastic de formă prismatică [TUT 05]

a) Primul pas în proiectarea elementelor active este de aflare a greutății piesei (fig. 2.35 a, b). Piesa cilindrică are greutatea de 25,56g, iar cea prismatică de 24,48g.

### 2.3. - Metoda de concepție asistată de calculator 73

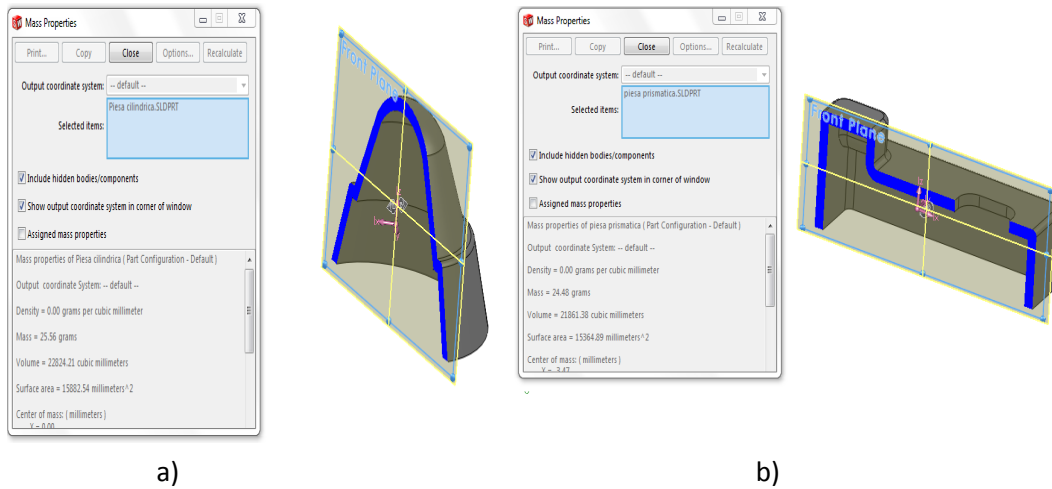


Fig. 2.35 Greutatea pieselor alese

a – piesă din plastic de formă cilindrică, b – piesă din plastic de formă prismatică [TUT 06]

b) Al doilea pas este de scalare a pieselor - acestea vor fi scalate uniform cu 0,8% (fig. 2.36) față de centrul lor. Scalarea se face datorită contracției materialului plastic ce apare în timpul răcirii, contracție ce depinde de caracteristicile materialului polimeric.

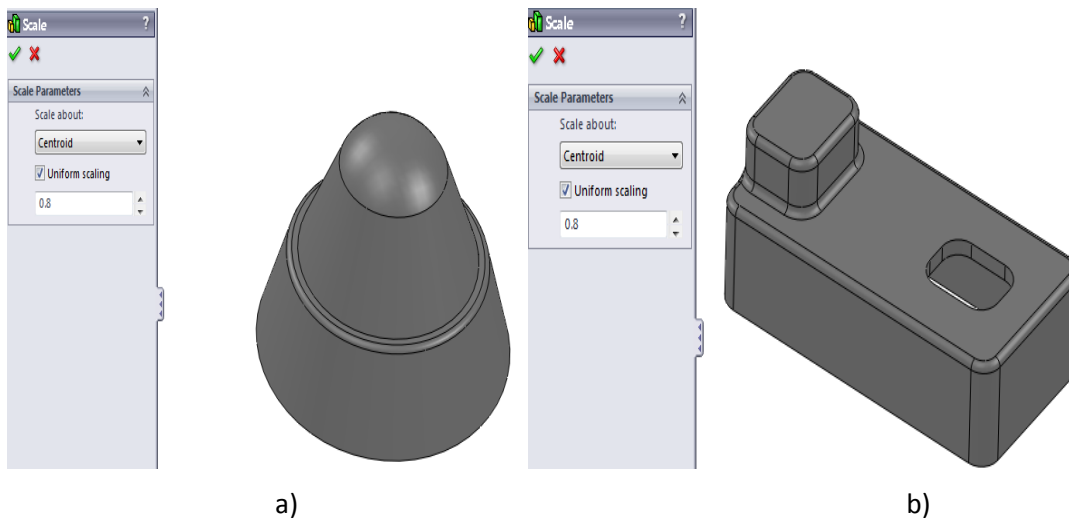


Fig. 2.36 Scalarea pieselor cu 0,8%

a – piesă din plastic de formă cilindrică, b – piesă din plastic de formă prismatică [TUT 07]

c) Al treilea pas constă în studiul posibilităților de extracție a piesei și implicit prin detectarea sau crearea unei linii de separație a posibilităților de separare în cavitate și miez (fig. 2.37). Planul de separație se alege astfel încât să fie favorabil construcției matriței de injectat. Se evită alegerea unui plan de separație ce presupune construirea unei matrițe de injectat cu bacuri datorită creșterii costurilor de fabricație.

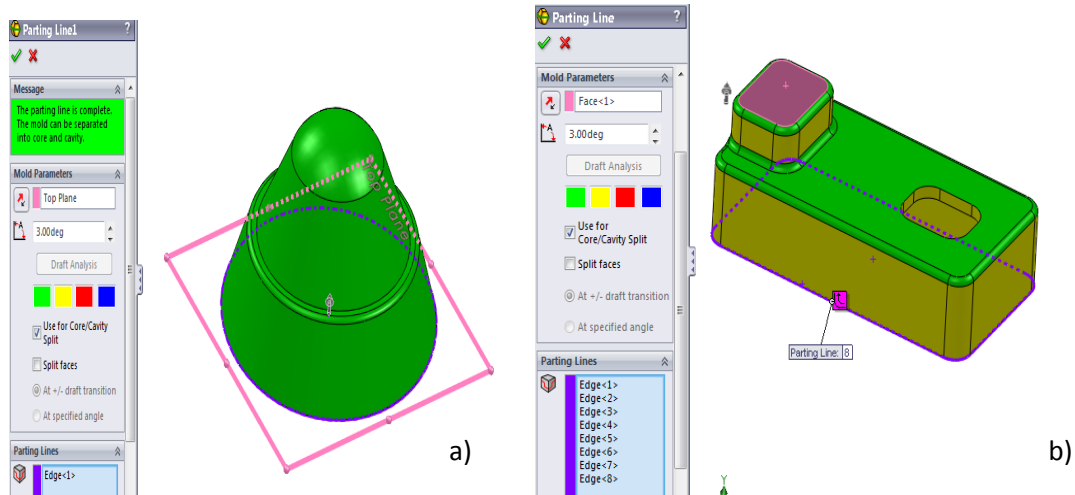


Fig. 2.37 Studiul posibilităților de creare a planului de separație  
a – piesă din plastic de formă cilindrică, b – piesă din plastic de formă prismatică [TJUT 08]

În acest pas, dacă piesa prezintă un contur închis neambiguu, programul îl detectează automat. De asemenea, prezintă prin culori verde, galben și roșu suprafețele care față de direcția de extracție precizată de programator pot fi extrase sau prezintă dificultăți și imposibilitatea extragerii din matriță. Dacă piesele prezintă orificii (fig. 2.38) acestea trebuiesc definite și închise pentru a da posibilitatea soft-ului de a demula corect cele două plăci de formare.

### 2.3. - Metoda de concepție asistată de calculator 75

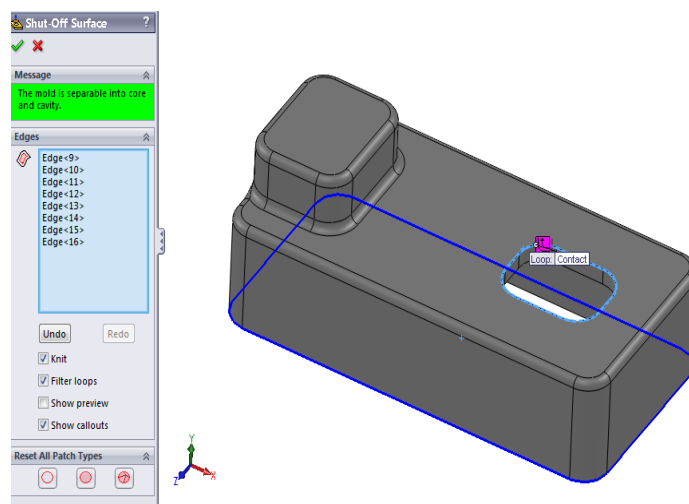


Fig. 2.38 Închiderea găurilor folosind funcția Shut Off Surface [TUT 09]

- d) În pasul următor se realizează construirea planului de separație în baza liniei de separație care determină o suprafață complexă (Kilt), (fig.2.39). Pentru piesa de formă cilindrică s-a optat ca pastila de formare să fie realizată dintr-un semifabricat cilindric, iar pentru piesa de formă prismatică vom folosi o pastilă prismatică.

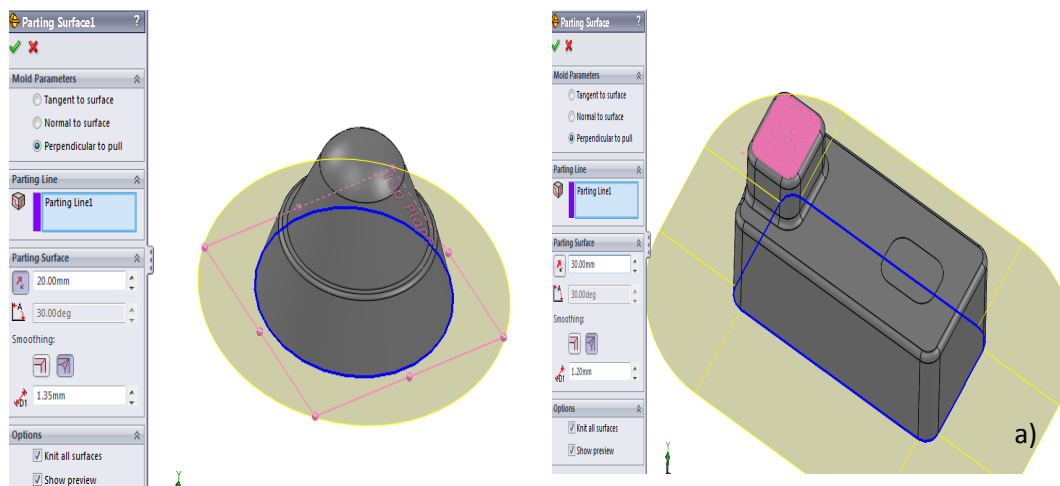


Fig. 2.39 Construirea planului de separație  
a – piesă din plastic de formă cilindrică, b – piesă din plastic de formă prismatică [TUT 10]

e) Se construiește scula de separare în cavitate-miez (fig. 2.40);

În acest pas se recomandă construirea schiței corespunzătoare extrudării blocului elementelor active. Această schiță se salvează.

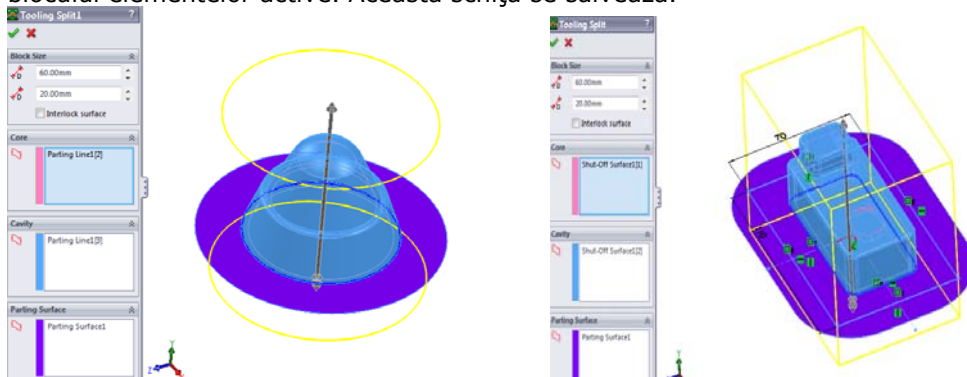


Fig. 2.40 Construirea sculei de separare în cavitate-miez [TUT 11]

f) În ultimul pas se realizează "despicarea" blocului elementelor active pe baza sculei de separare corespunzător planului de separație, detectat anterior (fig. 2.41);

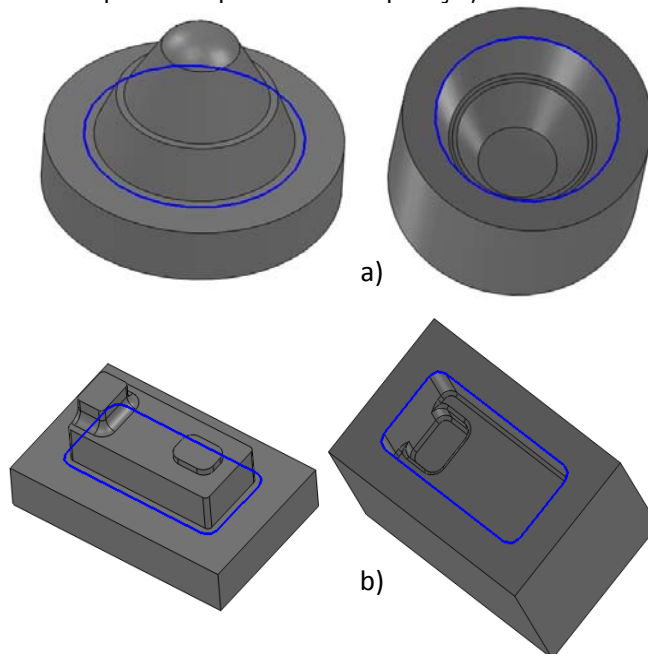


Fig. 2.41 Obținerea celor două elemente active cavitate-miez [TUT 12]  
a – plăcile de formare pentru piesa cilindrică, b – plăcile de formare pentru piesa prismatică



**Observație:** cele două "pastile" active vor fi prevăzute cu orificii pentru știfturile de poziționare și șuruburi de fixare pentru a constitui împreună cu rețeaua de injectare și canalele de răcire, plăcile active compuse prin armare.

### 2.3.2 Simularea umplerii în MoldFlow

Soft-ul rezolvă prin metoda FEM/FEA pe baza caracteristicilor de material, a temperaturilor de injectare și a sculei, studiul curgerii și determina timpul de injectare estimativ informând dacă procesul decurge corect sau este imposibil. Sistemul permite vizualizarea dinamică a câmpurilor de curgere și salvează rezultatele într-un raport.

1) Pentru a respecta pașii propuși în programul **TimMold**, program ce oferă posibilitatea alegerii numărului de cuiburi și tipului de injectare, se vor face simulări în mediul **MoldFlow** pentru a vedea umplerea a 1, 2 respectiv 4 cavități la piesa de formă cilindrică (fig. 2.42 a, b, c)

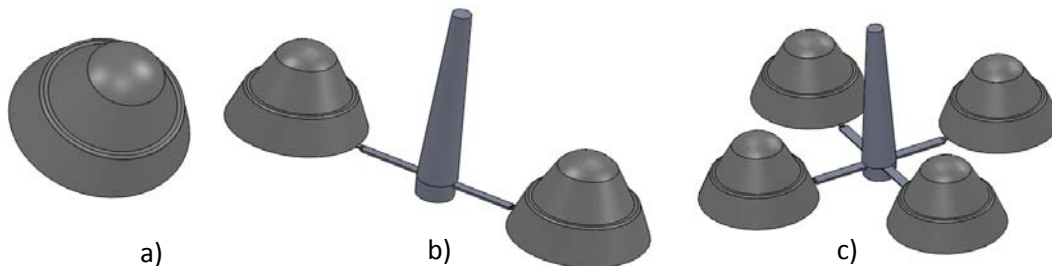


Fig.2.42 Stabilirea numărului de cuiburi [TUT 13]  
a – matriță monocuib, b – matriță cu 2 cuiburi, c – matriță cu 4 cuiburi

a) Alegerea materialului corespunzător studiului. După cum am precizat mai sus, materialul din care vor fi injectate cele două piese este PA 66.

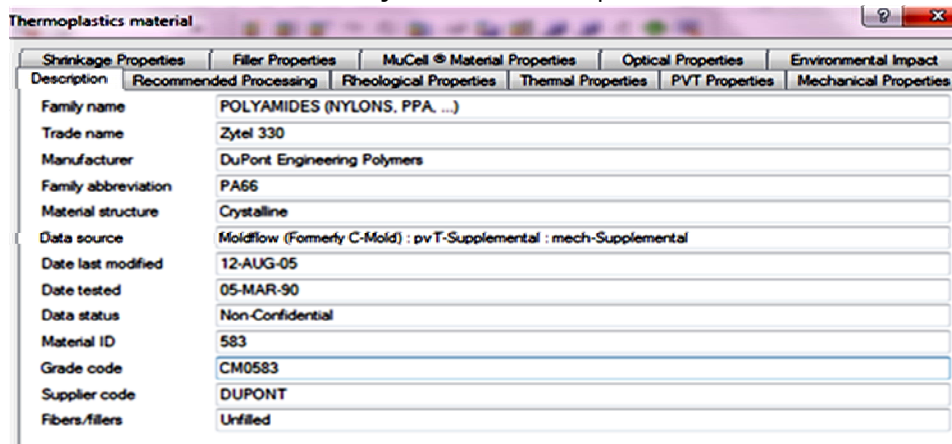


Fig. 2.43 Alegerea materialului pentru piesa injectată [TUT 14]

Soft MoldFlow permite vizualizarea proprietăților mecanice, termice, optice, reologice, etc. pe care le are materialul ales.

- b) Alegerea condițiilor de injectare: temperatura de injectare a materialului și temperatura matriței, timpul de răcire în interiorul matriței, se poate alege mașina de injectat.

Programul setează ca valori implicite valorile medii pe fiecare domeniu, dar acestea pot fi modificate pentru optimizarea umplerii și a timpului de umplere în intervalul propus de program.

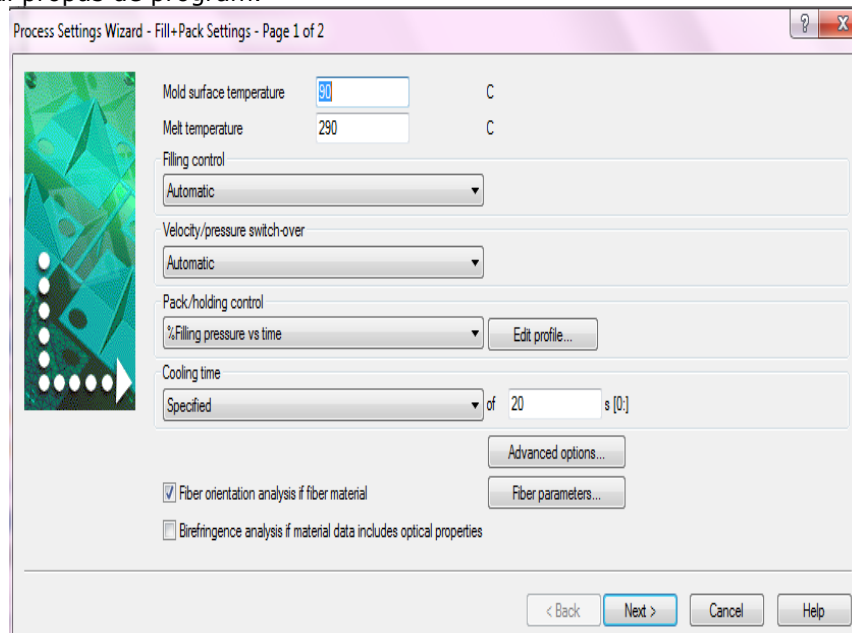


Fig. 2.44 Alegerea condițiilor de injectare [TUT 15]

Se mai pot îmbunătăți situațiile, prin alegerea mai multor puncte de injectare, echilibrarea rețelei, modificarea secțiunii pragurilor de injecție, dar aceste modificări apelează la expertiza programatorului în domeniu.

Studiind raportul simulării, s-au extras diagramele cu timpul de injectare pentru cele trei cazuri menționate mai sus (fig. 2.45 a,b,c), procentajul de umplere (Figura 2.47 a,b,c) și temperatura frontului de curgere (Figura 2.48 a,b,c).

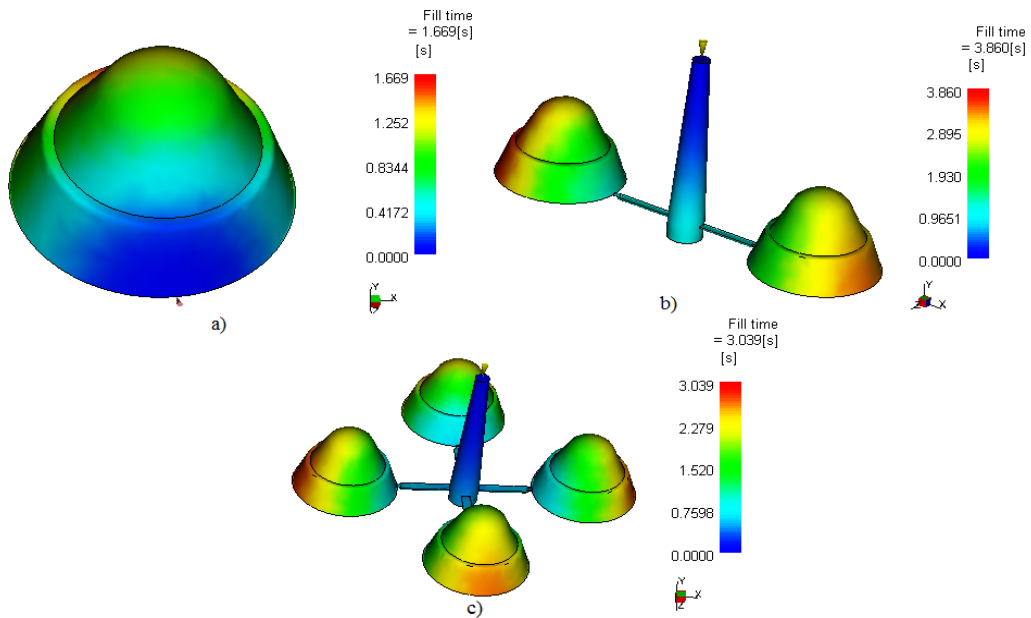
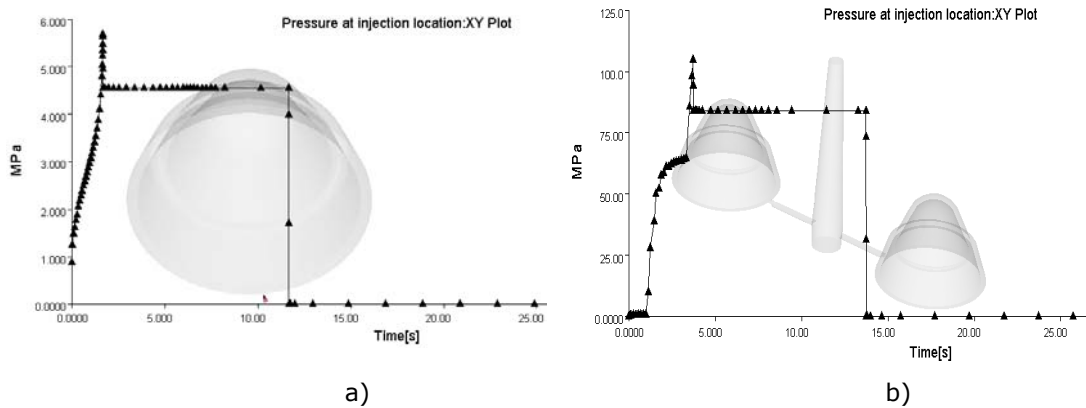


Fig. 2.45 Timpul de umplere al cavităților [TUT 16]  
 a – timpul de umplere a matriței cu o singură cavitate, b – timpul de umplere a matriței cu o singură cavitate,  
 c – timpul de umplere al matriței cu o singură cavitate,

Se observă că timpul de injectare diferă de la o simulare la alta, acest lucru se întâmplă datorită presiunilor diferite ce apar în timpul injectării. Astfel putem vedea în diagramele de mai jos (fig. 2.46) presiunea în diferite momente ale injectării. Se observă o scădere drastică a presiunii de injectare de la un cuib la două, dar în același timp și creșterea timpului de injectare.



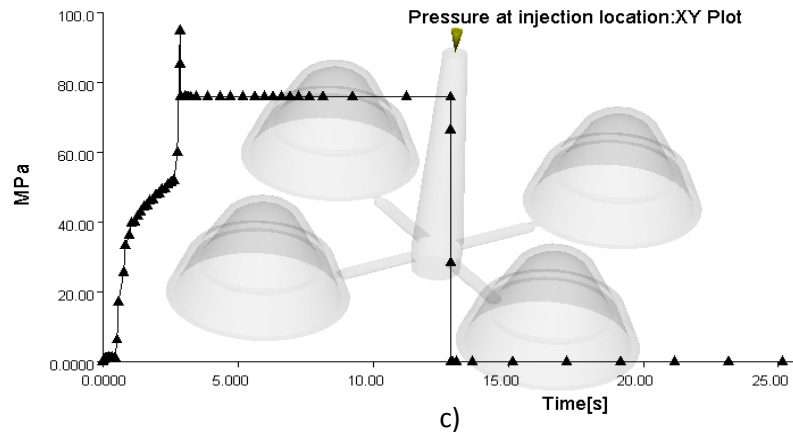


Fig. 2.46 Presiunea în diferite momente ale injectării [TUT 17]

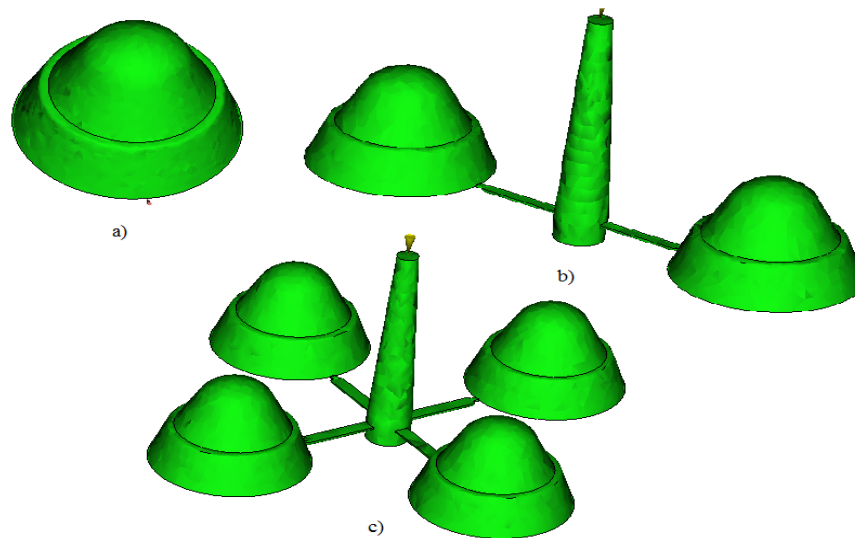


Fig. 2.47 Procentajul de umplere al cavităților [TUT 18]

În figura 2.47 se prezintă rezultatul umplerii cavităților. Aici se poate vedea dacă materialul a umplut corect cavitatea și nu au rămas spații goale. Dacă am avea goluri, acestea ar fi transparente pentru a putea fi vizibile față de regiunile umplute ale cavității (cele cu verde).

### 2.3. - Metoda de concepție asistată de calculator 81

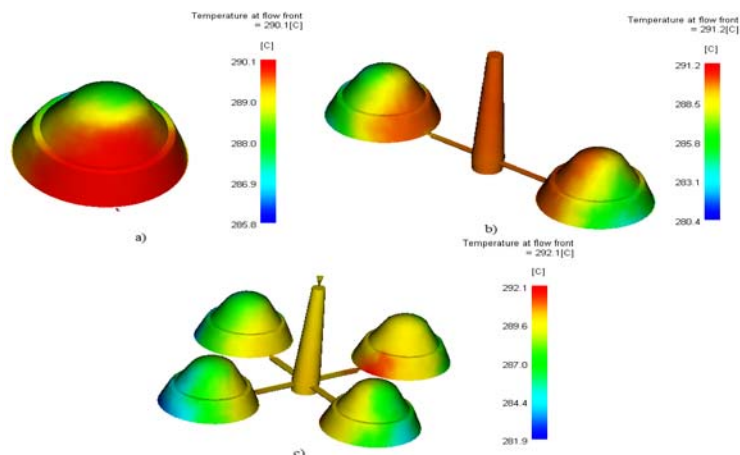


Fig. 2.48 Temperatura frontului de curgere [TUT 19]

Datorită faptului că am folosit același material polimeric PA66, se observă că intervalul de temperatură este cam același, temperatura maximă în toate cele trei cazuri este aproape aceeași.

2) Pentru piesa de formă paralelipipedă se va folosi o matriță cu un singur cuib și digul de injectare va fi de tip culee. Rezultatele injectării sunt prezentate în fig. 2.48.

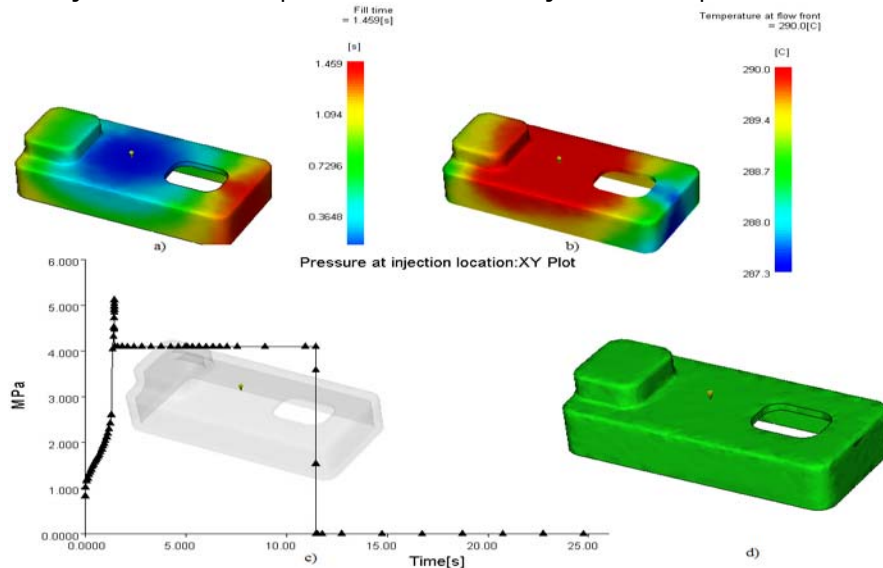


Fig. 2.48 Rezultatele simulării injectării pentru piesa de formă prismatică în matriță monocuib [TUT 20]

a - timpul de umplere, b - temperatura frontului de curgere, c - presiunea în fiecare moment al injectării, d - procentajul de umplere

## 2.4 Concluzii

În acest capitol s-a făcut o prezentare succintă a matrițelor de injectat clasice, precizând funcționarea și construcția lor, s-au identificat factorii care influențează procesul de injectare, aceștia fiind:

- *Geometria piesei*

Studiind diferitele moduri de proiectare a pieselor din plastic, s-a constatat diversitatea configurațiilor de geometrie și formă ce o pot avea piesele, dar echipa de cercetare care a lucrat în cadrul contractului de cercetare **ESOP 71-133/2007**, a catalogat forma pieselor doar pe trei categorii (cilindrică, prismatică, combinată/complexă) pentru realizarea programului **TimMold** (Anexa 2.1).

- *Materialul*

Toate materialele polimerice prezintă diverse proprietăți sau caracteristici, dintre care amintim: proprietăți fizice, proprietăți mecanice, proprietăți chimice, proprietăți termice, proprietăți electrice, comportamentul la ardere, respectiv proprietăți privind procesarea. Pentru o serie de materiale plastice utilizate la injectare, cum sunt CA, ABS, PC, PA, PP, POM, PVC etc., aceste proprietăți s-au selectat și consolidat într-o bază de date (Anexele 2.2). De asemenea, proprietățile reologice ale materialelor plastice au o mare însemnătate în injectare și prezintă o serie de factori care pot să influențeze curgerea topiturii în cavitățile matriței.

- *Tipul matriței*

Factorii care pot avea influență directă asupra injectării și țin de matriță sunt **numărul de cuiburi** alese, **dimensiunea cuibului**, **configurația rețelei de injectare** și alcătuirea acesteia, **temperatura matriței**. Acești factori au fost discutați detaliat, iar cu ajutorul datelor acumulate în anexe, dar și în acest capitol s-a întocmit **baza de date** pentru programul **TimMold**.

- *Mașina de injectat*

Pentru programul **TimMold** s-a alcătuit Anexa 2.6 unde sunt reprezentate datele tehnice a 6 mașini de injectat orizontale între 60- 300 tf, dar și 6 mașini destinate microinjectării.

Pașii prezentați în acest capitol stau la baza realizării unui program (**TimMold**) care va ghida proiectantul de matrițe, îi va ușura munca și astfel va reduce timpul și costul proiectării unei matrițe. Pentru realizarea programului, s-a considerat necesară cercetarea realizată pe dimensionarea sistemului de injectat, adică a rețelei în matriță, precum și factorii care pot influența aceste dimensiuni. S-au realizat **Anexele 2.1-2.6** care vor folosi la realizarea bazei de date și, astfel, la crearea programului **TimMold**.

## Cap 3 Definirea obiectivelor și a metodelor de cercetare doctorală

Sistemele expert permit optimizarea concepției și realizării produselor astfel încât dezideratul producției flexibile cu cheltuieli minime, de calitate și oferită în termene cât mai scurte beneficiarilor să devină tot mai mult o realitate palpabilă. Aceste sisteme, desi nu sunt de dată recentă, au încă o aplicare relativ limitată, fiind accesibile îndeosebi specialiștilor din marile universități implicate în studiul acestora. Pentru mulți specialiști și mai ales pentru cei din întreprinderi mici și mijlocii sau chiar universități, sistemele expert par încă o alternativă exotică, deși avantajele oferite de ele sunt evidente.

Optimizarea unui proces de injectare a materialelor polimerice presupune o pregătire profesională adecvată a personalului și o bogată experiență individuală. Controlul individual al procesului de injectare pe baza încercărilor este, în general, consumator de timp. În general, această metodă de control este bazată pe intuiția operatorului și pe baza unor "reguli de aur", pe care operatorul le dezvoltă într-o anumită perioadă de timp, în timp ce lucrează cu diferite materiale, presiuni, temperaturi și setări de timp.

Sistemul expert în domeniul injectării materialelor polimerice are rolul de a ajuta utilizatorul (proiectant de matrițe, inginer de producție, operator) care nu întotdeauna este un „expert” în domeniu, în rezolvarea unor probleme asociate procesului de injecție. Acesta oferă informații referitoare la stabilirea unor parametri de lucru, la optimizarea procesului în vederea utilizării la maxim posibil a capacității de producție a mașinii de injectat.

Deși în alte țări folosirea sistemelor expert ia amploare pe zi ce trece (exemplu - existența unor sisteme expert educationale-PICAT Injection Moulding), în România pare a fi încă în faza de explorare. În lipsa unor informații suficiente de concludente din mediul industrial, datele existente arată că în mediul universitar și universități, deși este tratată cu interes, ea se află la început de drum. În România, publicațiile științifice nu semnalează în prezent lucrări structurate pe această temă, în afara câtorva articole publicate sau susținute la conferințe de universitari sau specialiști din cercetare.

Pe de altă parte, în ultimii ani sectorul industrial destinat realizării produselor din materiale plastice și compozite (plasturgie) este marcat de ritmuri susținute de dezvoltare, ceea ce face ca odată la 5 ani volumul activităților specifice lui să se dubleze. În cadrul acestui sector de activitate, procedeul prelucrării pieselor prin injectare este pe de parte predominant, și în ciuda unor tehnologii relativ bine puse la punct, continuă să suscite interes pentru cercetare datorită unor particularități. Acestea au în vedere în special două aspecte și anume, proprietățile reologice ale pieselor din materiale plastice atât în exploatare, cât și în procesele de fabricație, ceea ce impune o abordare specială a concepției lor, iar pe de altă parte complexitatea deosebită și costul ridicat al matrițelor de injectare (uneori de zeci de mii de Euro), la care se asociază și durata mare a asimilării în fabricație (3-6 luni).

În contextul și problematica de mai sus, **obiectivul asumat al prezentei teze de doctorat a fost acela de a realiza o metodă de proiectare asistată de calculator folosind elemente specifice sistemelor expert în cazul injectării materialelor polimerice.**

Ca și **mod de rezolvare**, s-a avut în vedere conceperea unei platforme virtuale, unde pe baza unor date de intrare (alegere tip suprafață de prelucrat, definiție dimensiuni fabricație, alegere material semifabricat, tratamentul termic aplicat plăcii), se obțin date de ieșire legate de **dimensionarea cavităților de matriță** (definire produs, material, mașină de injectat, rețea injectare, dimensionare cuib, răcire matriță și elemente de design produs și matriță), respectiv date de ieșire privind **fabricația** propriu-zisă a acestor cavități de matriță.

Pentru realizarea prezentului soft de aplicație, prin implementarea unor elemente ale sistemului expert s-a avut în considerare folosirea a trei piese de configurații diferite și cu grade de dificultate (în ceea ce privește proiectarea, injectarea și scoaterea lor din matriță) diferite. Prin aceasta s-a încercat cuprinderea în această aplicație a celor mai des folosite familii de piese.

S-a dorit ca această optimizare să conducă la o tehnică de lucru mult mai prietenoasă, interactivă și mai accesibilă pentru utilizatorii nu numai din marile universități sau firme, ci și pentru cei din unități industriale mai mici, cercetători independenți, universitari, studenți sau chiar mici artizani.

Studiile teoretice și experimentale realizate au fost facilitate de dotările asigurate în cadrul programului Baze de Cercetare cu Utilizatori Multipli (proiect nr.21/97) în cadrul Centrului de Dezvoltare în Plasturgie, al catedrei de TCM de la Universitatea POLITEHNICA din Timișoara. În bună parte, lucrările realizate în cadrul tezei au avut suportul logistic și financiar asigurat prin contractul de cercetare ESOP 71-133/2007.



## Cap 4 Conceperea elementelor unui sistem expert pentru injectare în matriță

Acest capitol explică principiile de concepere și funcționare a sistemelor expert și pune în evidență nevoia construirii unui program care va ajuta proiectanții de matrițe. Sunt prezentați algoritmi ce stau la baza realizării programului **TimMold**.

### 4.1 Sistemul expert. Introducere și caracteristici

*Sistemele expert* sunt produse ale inteligenței artificiale, ramură a științei calculatoarelor ce urmărește dezvoltarea de programe inteligente. Ceea ce este remarcabil pentru sistemele expert, este aria de aplicabilitate ce a cuprins multe domenii de activitate. [GHE 01].

Un sistem expert este un program care analizează cunoștințele și raționează pentru obținerea rezultatelor într-o activitate dificilă întreprinsă uzual doar de experți umani. Din punct de vedere funcțional, un sistem expert este un program a cărui principală caracteristică este derivată din baza de cunoștințe, împreună cu un algoritm de căutare specific metodei de raționare.

Un sistem expert se bazează pe două componente distincte și complementare:

- a. tehnologii de programare care permit utilizarea unui volum mare de cunoștințe, precum și modul de inferențiere cu acestea.
- b. construcții și metodologii dezvoltate care permit utilizarea efectivă a acestor tehnologii.

Într-un sistem expert, *raționarea și cunoștințele* nu trebuie tratate separat, deoarece un astfel de sistem presupune o armonizare a lor.

*Expertul* care înțelege necesitatea utilizării unui sistem expert în domeniul său de activitate poate obține ajutor de la *inginerul de cunoștințe* (specialistul în calculatoare), deoarece în urma discuțiilor cu acesta, anumite cunoștințe vor fi reformulate astfel încât să poată fi aplicabile pe un calculator. [GHE 01]

Printre instrumentele de lucru ale sistemelor expert se iau în considerare modelele prin care o bază de cunoștințe poate fi afișată, captată și reprezentată. Principala calitate a calculatoarelor o reprezintă capacitatea de realizare a unei viteze mari de calcul. Fiecare limbaj de programare încearcă să facă calculatorul cât mai eficient din punct de vedere al puterii de calcul. În realizarea unui program ce raționează, se pornește de la ideea că simbolurile de prelucrare pot fi numere, texte sau alte concepte. Acestea sunt considerate "simboluri fizice", iar calculatorul poate manipula astfel de simboluri. Un sistem expert viabil, dublat de viteza de lucru a unui calculator, poate eficientiza un anumit domeniu de lucru [GHE01].

O caracteristică esențială a sistemelor expert privește competența acestora de a furniza explicații asupra raționamentelor întreprinse pentru atingerea la rezultat, explicații ce trebuie exprimate într-un limbaj cât mai apropiat de limbajul natural. Multitudinea problemelor de analizat determină și volumul mare al bazei de cunoștințe, însă un sistem expert trebuie să fie capabil să rezolve în aceeași măsură și problemele care sunt afectate de cunoașterea incertă și incompletă. În aceste

situații se pot utiliza *cunoștințe euristice* ce permit găsirea soluției potrivite fără ca aceasta să fie neapărat soluția optimă. [GHE01]

Un sistem expert este format din cinci componente:

- Baza de cunoștințe servește pentru stocarea tuturor pieselor de cunoaștere (fapte, reguli, metode de rezolvare, euristici) specifice domeniului aplicativ, preluate de la experții umani sau din alte surse.
- Motorul de inferențe este un program care conține cunoașterea de control, procedurală sau operatorie, cu ajutorul căruia se exploatează baza de cunoștințe pentru efectuarea de raționamente în vederea obținerii de soluții, recomandări sau concluzii.
- Interfața de dialog permite dialogul cu utilizatorii în timpul sesiunilor de consultare, precum și accesul utilizatorilor la faptele și cunoștințele din bază pentru adăugarea sau actualizarea cunoașterii.
- Modulul de achiziție a cunoașterii ajută utilizatorul expert să introducă cunoștințe într-o formă recunoscută de sistem și să actualizeze baza de cunoștințe.
- Modulul explicativ are rolul de a explica utilizatorilor atât cunoașterea de care dispune sistemul, cât și procesul de raționament pe care îl desfășoară sau soluțiile obținute în sesiunile de consultare. Explicațiile într-un astfel de sistem, atunci când sunt proiectate corespunzător, îmbunătățesc modul în care utilizatorul percepe și acceptă sistemul. [GHE 01]

Figura 4.1 reprezintă procesul de dezvoltare al sistemelor expert și ordinarea ierarhică a subiectelor tratate în subcapitolele aferente.

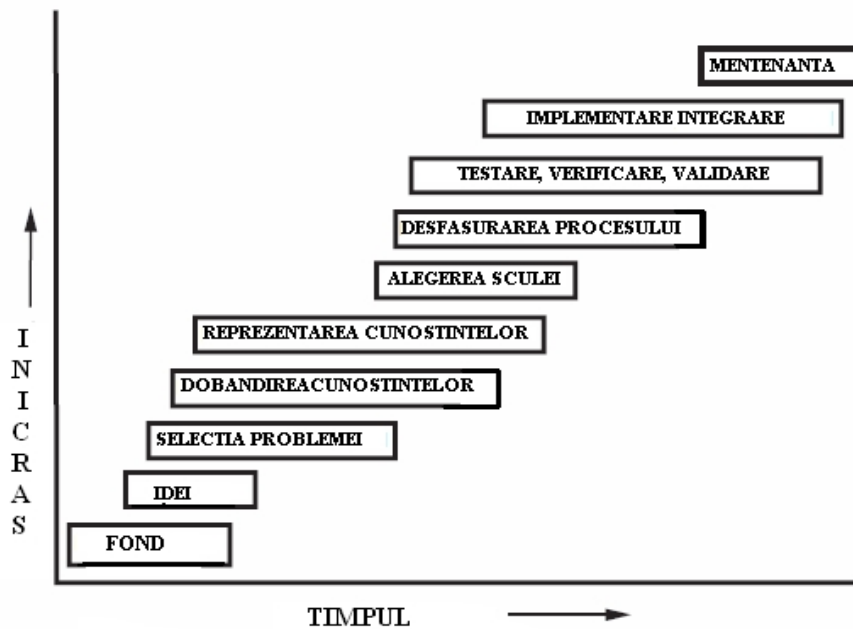


Fig. 4.1 Procesul de dezvoltare al sistemelor expert [ADE 02]

#### 4.1.1 Caracteristicile sistemului expert

Sistemele expert reprezintă o tehnologie inovatoare cu multe domenii de potențiale aplicații. Aplicațiile din trecut variază de la MYCIN, folosit în domeniul medical pentru a diagnostica boli de sânge infecțioase, la XCON, folosit pentru a configura sistemele de calculatoare. Aceste sisteme expert s-au dovedit a fi de mare succes. Majoritatea aplicațiilor sistemelor expert se încadrează într-una din următoarele categorii:

- Interpretare și identificare
- Previziune
- Diagnosticare
- Proiectare
- Planificare
- Monitorizare
- Dezinfectare și testare
- Instruire și pregătire
- Verificare

Aplicațiile care sunt computaționale sau care au un caracter deterministic nu sunt potrivite pentru sistemele expert. Sistemele de decizie tradiționale de susținere precum programele pentru realizarea foilor de calcul (EXCEL) rezolvă problemele într-un mod mecanic. Ele execută o comandă după exemplul operatorilor matematici și Boolean și ajung la doar o singură soluție statică pentru un set de date dat. Aplicațiile de calcul intensive cu cerințe foarte exacte sunt manevrate mai bine de tradiționalele instrumente-suport de decizie sau programarea obișnuită. [ADE 02]

Cele mai potrivite programe de aplicații pentru sistemele expert sunt acelea care folosesc studiile euristice pentru rezolvarea problemelor. Programele de calculatoare convenționale se bazează pe cunoștințe reale, o forță indisputabilă a calculatoarelor. Ființele umane, dimpotrivă, rezolvă probleme pe baza unui amestec de cunoștințe reale și cunoștințe euristice. Cunoștințele euristice, compuse din intuiție, judecată și concluzii logice, sunt o forță indisputabilă a ființelor umane. Sistemele expert de succes sunt acelea care combină faptele și studiile euristice și, astfel, cunoașterea umană se unește cu puterea calculatoarelor în rezolvarea problemelor. Pentru a fi eficient, un sistem expert trebuie să se concentreze pe o problemă dintr-un anumit domeniu.

#### 4.1.2 Structura sistemului expert

Deciziile complexe implică combinarea încurcată a cunoștințelor reale și euristice. Pentru a fi capabil calculatorul să dobândească și să folosească cunoștințe euristice într-un mod eficient, cunoștințele trebuie organizate într-un format ușor accesibil care face diferența între date, cunoștințe și structura comenzilor. Din acest motiv, sistemele expert sunt organizate pe trei nivele distincte:

- *Baza de cunoștințe* constă în regulile de rezolvare a problemelor, proceduri și date intrinseci relevante pentru domeniul problemei.
- *Memoria de lucru* se referă la datele de intrare ale problemei în discuție.
- *Motorul de deducție* este un mecanism de comandă generic care aplică cunoștințele axiomatice din baza de cunoștințe datelor de intrare, pentru a ajunge la o soluție sau concluzie. [ADE 02]

Aceste trei elemente pot foarte bine veni din surse diferite. Motorul de deducție, precum VP-Expert, poate veni de la un vânzător comercial. Baza de cunoștințe poate fi o bază de cunoștințe de diagnosticare realizată de o firmă de

consultanță și datele problemei pot fi furnizate de utilizatorul final. O bază de cunoștințe este nucleul structurii sistemelor expert. O bază de cunoștințe nu este o bază de date. Cadruul bazei de date tradiționale se ocupă cu datele care au o relație pasivă cu elementele din domeniul problemei. O bază de cunoștințe este creată de către ingineri în cunoștințe, care transpun cunoștințele specialiștilor în reguli și strategii. Aceste reguli și strategii se pot schimba în funcție de scenariul curent al problemei. Baza de cunoștințe oferă sistemului expert capacitatea de a face recomandări în cercetarea utilizatorului. Sistemul, de asemenea, instigă la investigarea mai amplă în domenii care ar putea fi importante pentru o anumită linie de gândire care nu este în atenția utilizatorului.

Caracterul modular al sistemului expert este o trăsătură distinctivă în comparație cu un program de calculator convențional. Caracterul modular rezultă din utilizarea a trei componente distincte, după cum se poate vedea în figura 4.2.

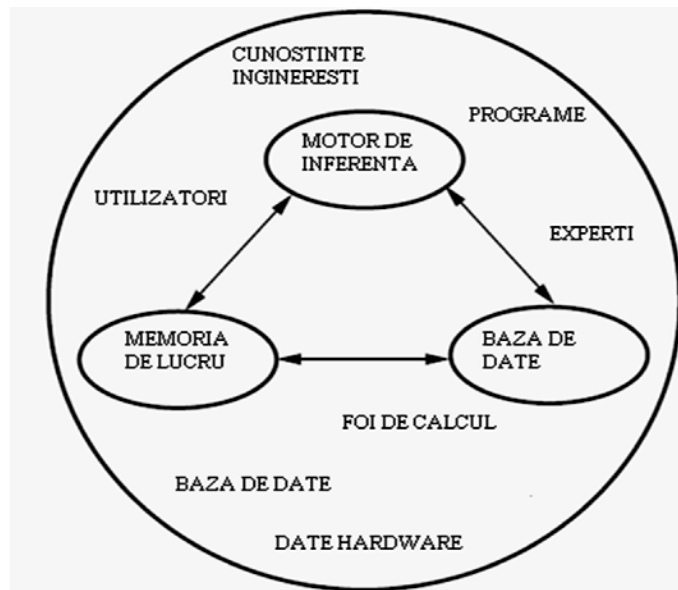


Fig. 4.2. Caracterul modular al sistemului expert [ADE 02]

Baza de cunoștințe este alcătuită din reguli de soluționare a problemei, fapte sau intuiția pe care un expert uman ar folosi-o în rezolvarea problemei dintr-un domeniu dat. Baza de cunoștințe, de obicei, este stocată sub forma regulilor „dacă – atunci”. Memoria de lucru reprezintă datele relevante pentru rezolvarea problemei. Motorul de deducție este mecanismul de comandă care organizează datele problemei și caută reguli de aplicare în baza de cunoștințe. Odată cu creșterea popularității sistemelor expert, apar pe piață multe motoare de deducție. Rularea unui sistem expert funcțional de obicei se concentrează pe organizarea bazei de cunoștințe. O integrare funcțională a componentelor sistemelor expert este prezentată în figura 4.3. [ADE 02][COR 98]

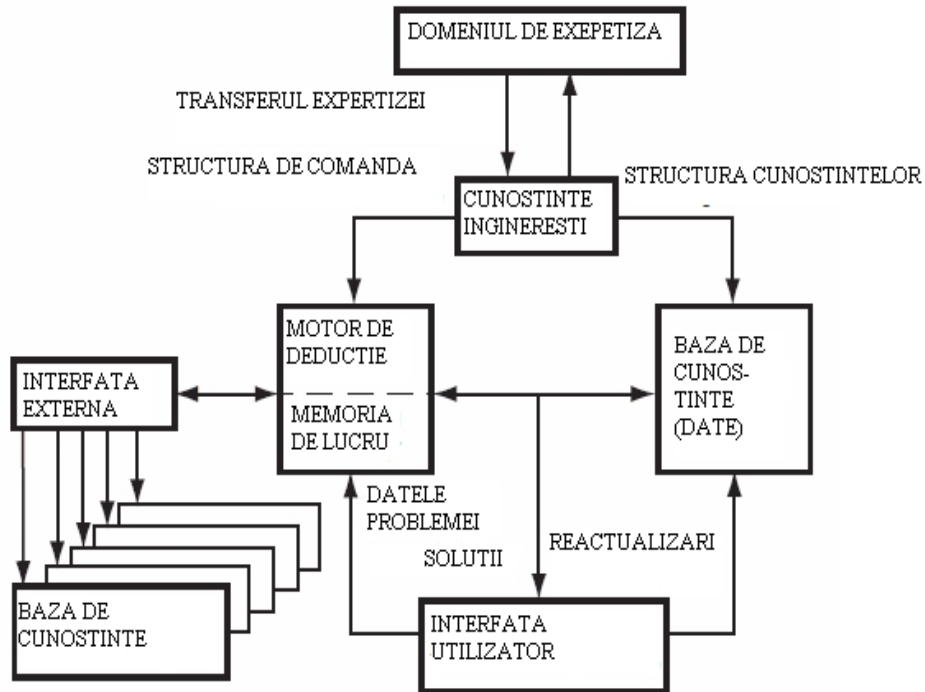


Fig. 4.3 Integrarea funcțională a componentelor sistemelor expert [ADE 02]

Se consideră că un sistem expert bun se dezvoltă pe măsură ce învață din feedback-ul utilizatorului. Feedback-ul este introdus în baza de cunoștințe pentru a face ca un sistem expert să fie mai inteligent. Dinamismul mediului de aplicație pentru sistemele expert se bazează pe dinamismul individual al componentelor. Acesta poate fi clasificat după cum urmează:

- *Cel mai dinamic*: Memoria de lucru. Conținutul memoriei de lucru, numit câteodată și structura datelor, se schimbă odată cu situația problemei. În consecință, aceasta constituie cel mai dinamic component al unui sistem expert, presupunând, desigur, că este mereu activ.

- *Moderat dinamic*: Baza de cunoștințe. Baza de cunoștințe nu trebuie să se schimbe doar dacă o nouă informație care apare indică o schimbare în metoda rezolvării problemei. Schimbările care au loc în baza de cunoștințe ar trebui studiate atent înainte de a fi implementate. În fapt, schimbările nu ar trebui să se bazeze doar pe o singură evaluare. De exemplu, o regulă care se descoperă a fi irelevantă într-o singură situație a problemei se poate dovedi esențială în rezolvarea altor probleme.

- *Cel mai puțin dinamic*: Motorul de deducție. Din cauza verificării stricte și a structurii de codare a unui motor de deducție, au loc schimbări doar dacă este absolut necesar să se corecteze o greșeală sau să se intensifice procesul de concluzionare. Motoarele de deducție comerciale, în mod particular, se schimbă doar la discreția producătorului. Din moment ce îmbunătățirile frecvente pot fi disruptive și scumpe pentru clienți, majoritatea producătorilor de software încearcă să minimalizeze îmbunătățirile frecvente. [ADE 02]

#### **4.1.3 Interfața cu utilizatorul**

Formarea inițială a unui sistem expert este realizată de către un expert și un inginer în cunoștințe. Spre deosebire de majoritatea programelor convenționale, în care doar programatorii pot lua decizii de proiectare a programelor, proiectarea sistemelor expert mari este realizată cu ajutorul unei echipe. O gândire a nevoilor utilizatorului final este foarte importantă în proiectarea elementelor și a interfeței utilizatorului sistemelor expert.

Limbajele de programare folosite în sistemele expert tind să opereze într-un mod asemănător unei conversații obișnuite. De obicei, adresăm premisa unei probleme sub formă de întrebare, cu acțiuni exprimate în măsura în care răspundem verbal la întrebare, adică în „limbaj natural”. Dacă în timpul sau după o consultare, un sistem expert stabilește că o dată sau o cunoștință este incorectă sau nu mai este aplicabilă deoarece mediul problemei s-a schimbat, el ar trebui, în consecință, să fie capabil să reactualizeze baza de cunoștințe. Această capacitate ar permite sistemului expert să poarte discuții într-un format specific limbajului natural fie cu producătorii sau cu utilizatorii.

Sistemele expert nu doar ajung la soluții sau recomandări, ci oferă utilizatorului un nivel de încredere cu privire la soluție. În acest mod, un sistem expert poate manevra factorii calitativi și cantitativi în analizarea problemelor. Acest aspect este foarte important când ne gândim cât de inexacte sunt datele introduse pentru luarea deciziilor. De exemplu, problemele lucrate de către un sistem expert pot avea mai multe soluții sau în unele cazuri, nicio soluție clară. Totuși, sistemul expert poate oferi recomandări folositoare utilizatorului exact cum ar face-o și un consultant uman.

#### **4.1.4 Capacitatea de explicare în sistemele expert**

Una din caracteristicile cheie ale unui sistem expert este capacitatea de explicare. Cu această capacitate, un sistem expert poate explica cum ajunge la concluziile sale. Utilizatorul poate pune întrebări în legătură cu următoarele aspecte ale unei probleme: ce, cum și de ce. Sistemul expert va oferi apoi utilizatorului o copie a procesului de consultare, scoțând în relief etapele de gândire cheie urmate în timpul consultării. Câteodată, sistemului expert i se cere să rezolve alte probleme, care pot să nu aibă legătură cu problema în cauză, dar a căror soluție va avea un impact asupra întregului proces de rezolvare. Capacitatea de explicare ajută sistemele expert să clarifice și să justifice nevoia de o asemenea digresiune.

##### *Inexactitatea datelor*

Sistemele expert au capacitatea de a lucra cu date inexacte. Un sistem expert permite utilizatorului să stabilească probabilități, factori de exactitate sau nivele de încredere cu privire la oricare sau toate datele introduse în program. Această trăsătură reprezintă îndeaproape modul în care majoritatea problemelor sunt tratate în lumea reală. Un sistem expert poate lua în considerare toți factorii relevanți și pot face o recomandare bazată pe cea mai bună soluție posibilă decât pe o singură soluție exactă.

#### 4.1.5 Nevoia de sisteme expert

Nevoia de sisteme expert se concretizează în limitele ființelor umane în procesul de luare a deciziilor cum ar fi:

1. Expertiza umană este insuficientă.
2. Oamenii oboresc în efectuarea unei cantități mari de muncă fizică sau psihică.
3. Oamenii uită detalii esențiale ale unei probleme.
4. Oamenii sunt inconsecvenți în deciziile lor de zi cu zi.
5. Oamenii au o memorie de lucru limitată.
6. Oamenii nu pot înțelege rapid cantități mari de informații.
7. Oamenii nu pot reține mari cantități de informații.
8. Oamenii sunt lenți în evoacarea informațiilor stocate în memorie.
9. Oamenii pot avea o înclinație bine chibzuită sau nechibzuită în acțiunile lor.
10. Oamenii mint, se ascund și mor.

La aceste limite umane se alătură și slăbiciunea inerentă a programelor convenționale și instrumentele-suport de decizie tradiționale. În ciuda puterii mecanice a calculatoarelor, ele au anumite limite care slăbesc eficacitatea lor în implementarea procesului de gândire specific omului. Programele convenționale:

1. Au un caracter algoritmic și depind doar de forța pură a dispozitivelor mecanice.
2. Depind de fapte care ar putea fi obținute cu greu.
3. Nu utilizează cunoștințe euristice reale precum ființele umane experte.
4. Nu se adaptează ușor la schimbarea mediului problemei.
5. Caută soluții reale și explicite care ar putea fi imposibile.

#### 4.1.6 Beneficiile sistemelor expert

Sistemele expert oferă un mediu în care calitățile ființelor umane și puterea calculatoarelor pot fi incorporate pentru a depăși multe din limitele discutate în secțiunea anterioară. Sistemele expert:

1. Sporesc probabilitatea, frecvența și consecvența în luarea unor decizii corecte.
2. Ajută la răspândirea expertizei umane.
3. Facilitează luarea deciziilor specifice unui expert, în timp real și cost scăzut, de către non-experti.
4. Sporesc utilizarea majorității datelor disponibile.
5. Permit obiectivitatea, cântărind faptele fără nicio părtinire sau vreo reacție personală sau emoțională din partea utilizatorului.
6. Permit dinamismul prin caracterul modular al structurii.
7. Eliberează mintea și oferă timp expertului uman pentru a-i permite acestuia să se concentreze asupra unor activități mai creative.
8. Încurajează cercetările în domeniile subtile ale unei probleme.

**Sistemele expert sunt pentru toți.** Oricare ar fi domeniul de activitate în care lucrează o persoană, sistemele expert pot răspunde nevoii de un nivel mai înalt de producție și exactitate a deciziilor. Oricine poate găsi o aplicație ca fiind potențială în domeniul sistemelor expert. Contrar ideii că sistemele expert pot reprezenta o amenințare pentru siguranța locului de muncă, sistemele expert pot, de fapt, ajuta la crearea șanselor pentru dezvoltarea unor noi domenii de activitate. Mai jos sunt prezentate câteva domenii care oferă șanse pentru noi locuri de muncă:

- Cercetare fundamentală
- Cercetare aplicată
- Inginerie în cunoștințe
- Dezvoltarea motoarelor de deducție
- Consultanță (Dezvoltare și Implementare)
- Instruire
- Vânzări și marketing
- Utilizator final activ sau pasiv

Un utilizator activ este cel care consultă în mod direct sistemele expert pentru a obține recomandări. Un utilizator pasiv este cel care se încrede în rezultatele obținute de sistemele expert și sprijină implementarea acelor rezultate.

## **4.2 Stabilirea diagramei (schemei logice) de funcționare a programului TimMold**

### **4.2.1 Schema logică pentru realizarea unei matrițe de injectat**

Pe baza cercetărilor realizate în **Capitolul 2**, capitol în care s-au identificat factorii care influențează procesul de injectare și care determină pașii necesari a fi parcurși pentru a proiecta o matriță de injectat, atât varianta clasică bazată pe calcul tabelar, cât și varianta asistată de calculator..., s-a realizat schema logică ce stă la baza programului **TimMold**.

În vederea realizării unei aplicații în domeniul injectării materialelor polimerice, trebuie definite o serie de cerințe referitoare la:

- (a) configurația spațială (model virtual 3D) + informații privind utilitatea zonelor specifice (la asamblare, în exploatare, la reciclare)
  - (b) rezistența mecanică (întindere, compresiune, torsiune, oboseală, fricțiune ...)
  - (b) rezistența termică (indicarea intervalului de temperatură în exploatare)
  - (b) rezistența chimică (lista potențialilor agenți chimici de contact, concentrații, condiții)
  - (b) caracteristicile electrice
- [Obs.: specificațiile (b) = pot fi înlocuite prin precizarea materialului polimeric ce va fi folosit]
- (c) volumul de fabricație estimat și perioada de timp
  - mașini de injectare disponibile

Toate aceste informații:

- sunt esențiale în proiectarea sculelor specifice (matrițe) și definirea corectă a procesului tehnologic,
- stau la baza demersurilor de lansare a procesului tehnologic
- și vor determina succesul economic al aplicației.

Inginerul tehnolog specializat în procese de injectare ia în considerare toate aceste cerințe și are competența și obligația de a parcurge etapele prezentate în tabelul 4.1. Schema logică sistem expert în domeniul injectării materialelor polimerice cu datele de intrare și cu toate conexiunile dintre etape, date de intrare, surse de informare, decizii, respectiv rezultate ca și date de ieșire este prezentată în fig. 4.4.



#### 4.2. – Stabilirea diagramei de funcționare a programului TimMold 93

---

Sistemul expert (bazat pe cunoaștere), poate fi definit ca "un model și procedură asociată care prezintă în domeniul injectării materialelor polimerice un grad de expertiză în rezolvarea problemelor, care este comparabilă cu cea a unui expert uman." Acesta constă practic într-o bază de date (cunoștințe) și un set de declarații "IF-THEN" (dacă-atunci), numit "reguli".

La crearea unui sistem expert, se va stabili un set de reguli "IF-THEN" colectate de la experții din domeniu. Două dintre cele mai importante aspecte, care sunt esențiale pentru fiabilitatea acestui sistem bazat pe acest tip de reguli, constă în achiziția de cunoștințe și în reprezentarea cunoașterii.

##### **Achiziția cunoștințelor**

Aceasta este abordarea inițială în care inginerii tehnologi extrag regulile de la experții umani. Acest pas presupune o muncă laborioasă și poate fi considerată principala piedică în procesul de dezvoltare a unui sistem expert. Achiziționarea de cunoștințe depinde, în principal, de abilitățile membrilor echipei. Scopul lor principal este de a extrage strategii sau „reguli de aur” de la experții umani și să le transfere în baza de cunoștințe. Dobândirea cunoștințelor se poate face în două moduri:

- direct de la expertul uman (cunoaștere non-deterministă)
- din cazuri precedente, relații de calcul, tabele (cunoștințe deterministe).

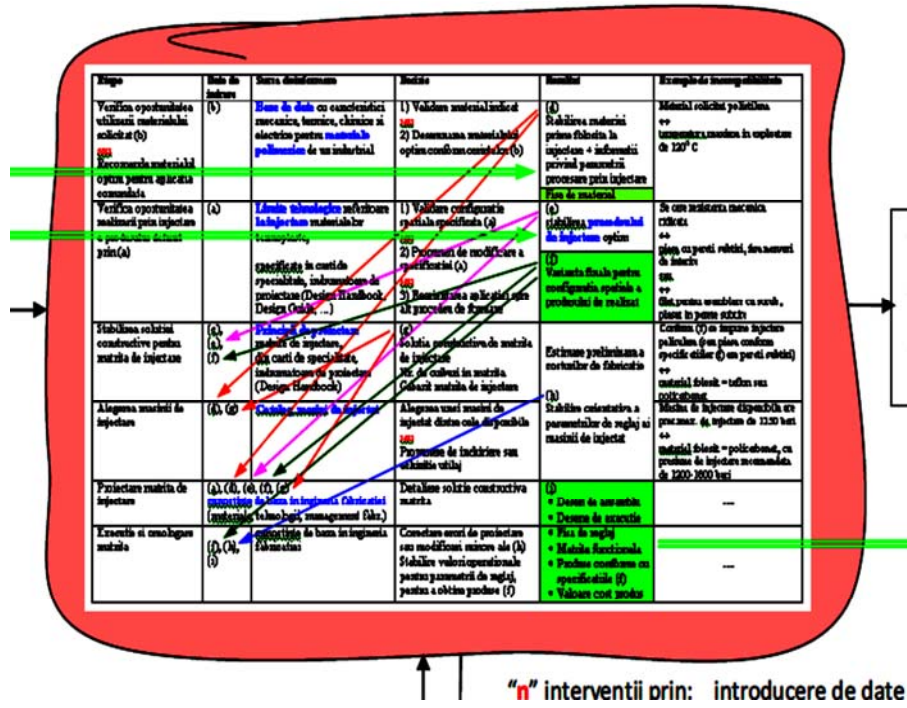
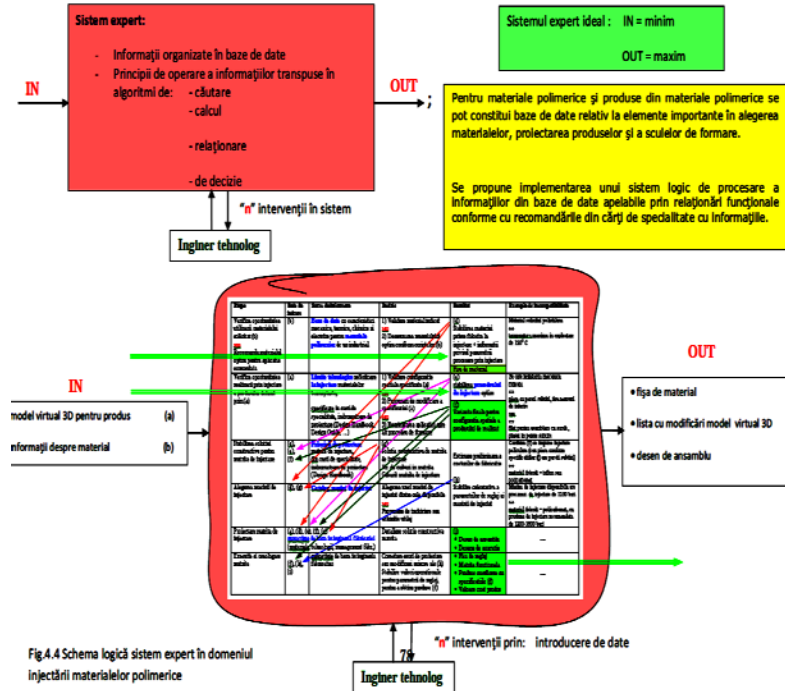
##### **Reprezentarea cunoștințelor**

Reprezentarea cunoștințelor este a doua etapă a procesului, în care cunoștințele dobândite sunt codificate în baza de cunoștințe. Informațiile obținute de la expertul uman sunt reprezentate în baza de cunoștințe folosind regulile „IF-THEN”, astfel încât sistemul expert să poată trage concluzii. Aceste reguli „IF-THEN” urmează a fi codificate cu ajutorul unui soft (ex. C Sharp).

94 Conceperea elementelor unui sistem expert pentru injectare în matriță - 4

Tabelul 4.1					
Etape	Date de intrare	Sursa de informare	Decizie	Rezultat	Exemple de incompatibilitate
Verifică oportunitatea utilizării materialului solicitat (b)  sau Recomandă materialul optim pentru aplicația comandată	(b)	<b>Baze de date</b> cu caracteristici mecanice, termice, chimice și electrice pentru <b>materiale polimerice</b> de uz industrial	1) Validare material indicat <b>sau</b> 2) Desemnarea materialului optim conform cerințelor (b)	(d)  Stabilirea materiei prime folosită la injectare + informații privind parametrii de procesare prin injectare	Material solicitat polietilenă  ↔ temperatura maximă în exploatare de 120° C
Verifică oportunitatea realizării prin injectare a produsului definit prin (a)	(a)	<b>Limite tehnologice</b> referitoare la <b>injectare</b> materialelor termoplaste, specificate în cărți de specialitate, îndrumătoare de proiectare (Design Handbook, Design Guide, ...)	1) Validare configurație spațială specificată (a) <b>sau</b> 2) Propuneri de modificare a specificației (a)  <b>sau</b> 3) Reorientarea aplicației spre alt procedeu de formare	(e) stabilirea <b>procedului de injectare</b> optim  (f) <b>Varianta finală pentru configurația spațială a produsului de realizat</b>	Se cere rezistență mecanică ridicată ↔ piesa cu pereți subțiri, fără nervuri de întărire  sau ↔ filet pentru asamblare cu șurub, plasat în perete subțire
Stabilirea soluției constructive pentru matrița de injectare	(c), (e), (f)	<b>Principii de proiectare</b> matrițe de injectare, din cărți de specialitate, îndrumătoare de proiectare (Design Handbook)	(g) Soluția constructivă de matrița de injectare  Nr. de cuiuri în matriță.  Gabaritul matriței de injectare	Estimare preliminară a costurilor de fabricație  (h)	Conform (f) se impune injectare peliculară (sau piesa conform specificațiilor (f) are pereți subțiri) ↔ material folosit = teflon sau policarbonat
Alegerea mașinii de injectat	(d), (g)	<b>Catalog mașini de injectat</b>	Alegerea unei mașini de injectat dintre cele disponibile  <b>sau</b> Propunere de închiriere sau achiziție utilaj	Stabilire orientativă a parametrilor de reglaj ai mașinii de injectat	Mașina de injectare disponibilă are pres.max. de injectare de 1250 bari  ↔ material folosit = policarbonat, cu presiune de injectare recomandată de 1200-1800 bari
Proiectare matriță de injectare	(a), (d), (e), (f), (g)	<b>cunoștințe de bază în ingineria fabricației</b> (materiale, tehnologii, management fabr.)	Detaliere soluție constructivă matriță	(i)  • Desen de ansamblu • Desene de execuție	---
Execuție și omologare matriță	(f), (h), (i)	<b>cunoștințe de bază în ingineria fabricației</b>	Corectare erori de proiectare sau modificări minore ale (h)  Stabilire valori operaționale pentru parametrii de reglaj, pentru a obține produse (f)	• Fisa de reglaj • Matrița funcțională • Produse conforme cu specificațiile (f) • Valoare cost produs	---

4.2. – Stabilirea diagramei de funcționare a programului TimMold 95



### 4.2.2 Stabilirea schemei logice pentru prelucrarea plăcilor de formare

Realizarea un sistem expert bazat pe un arbore de decizie generic reprezentând raționamentul pentru rezolvarea unei anumite probleme. Problema va fi rezolvată interactiv, prin întrebări adresate utilizatorului. Se pleacă din rădăcina arborelui și apoi, în funcție de răspunsurile date, se coboară în arbore până se atinge o frunză, corespunzătoare unei concluzii sau soluții. [KAD 05]

Pentru fiecare nod neterminal, se pot defini următoarele caracteristici:

- o întrebare de a cărui răspuns depinde alegerea următorului nod;
- lista de răspunsuri acceptabile;
- un set de reguli care determină nodul următor, în funcție de un anumit răspuns.

În acest scop se pot utiliza fapte de tipul:

(mutare <nod\_curent> <răspuns> <nod\_următor>); răspuns = if, nod\_următor = then

(întrebare <nod\_curent> <text\_întrebare>)

(răspunsuri <nod\_curent> <listă\_răspunsuri\_acceptabile>)

(concluzie <nod\_terminal> <text\_concluzie>)

Nu avem nevoie să definim template-uri pentru aceste fapte. Ordinea valorilor multicâmp este suficientă pentru prelucrarea lor. De exemplu, pentru arborele de decizie prezentat, pentru nodul rădăcină (notat „A”) vom avea fapte de tipul:

(mutare A da B)

(mutare A nu C)

(întrebare A "Viteza își păstrează direcția?")

(răspunsuri A da nu)

Sistemele CAD/CAM oferă diverse posibilități de frezare a diferitelor piese componente ale matrițelor. Multe dintre eforturile anterioare ale sistemelor CAD/CAM în producție au fost îndreptate spre aspectele geometrice ale traiectoriei sculei. Informații precum tipul de prindere a piesei, operațiile de frezare, direcția avansului, tipul sculei, nu pot fi determinate de sistemele CAD/CAM. Singura sursă de informare o reprezintă anii de experiență în procesul de fabricație. Astfel, sistemele expert sunt singura soluție de combinare și utilizare a acestor informații. Sistemele expert sunt alcătuite din două elemente: baza de date și modulul de inferență.

Aplicarea unui sistem expert în operațiile de fabricare a matrițelor, care pot fi foarte complicate și care necesită o mare experiență în domeniu, reprezintă un concept cu potențial ridicat mai ales în câmpul deciziilor de construcție a sistemelor din industria fabricației. [KAD 05]

Matrițele sunt elemente esențiale în industria modernă de fabricație, astfel operațiile de fabricare a matrițelor joacă un rol important în menținerea productivității maxime. Întrucât fiecare matriță este unică și conține multe forme complicate și cavități cu geometrie complexă care trebuie să fie prelucrată la toleranțe apropiate, procesul de fabricație poate să difere de la un inginer la altul. Este destul de posibil ca mai mulți ingineri, la începutul profesiei, au învățat să-și facă munca, nu prin experiența cunoașterii ci doar știind care este soluția corectă. Inginerii urmăresc din nou un drum logic dar mental. Ei au sărit peste câteva etape de-a lungul drumului pentru a ajunge la final. Un sistem expert nu poate să facă asta și trebuie să știe regulile foarte clar.

Cunoștințele conținute de un sistem expert sunt adunate din 3 surse principale: de la experții umani care lucrează în domeniul de fabricare a matrițelor,

#### 4.2. – Stabilirea diagramei de funcționare a programului TimMold 97

de la experții umani din domeniul CAD/CAM și din documentele tehnice, cataloage, cărți vechi sau diferite cataloage de scule ale companiilor producătoare. Programele CAD/CAM sunt destinate să conducă diferite operații complicate de fabricare a matritelor. Așadar, experții care folosesc programe CAD/CAM, ar trebui să fie conștienți de multe reguli (în ordine, selecția celei mai bune / optime traiectorii, metoda de frezare sau cea mai bună metodă de apropiere a frezei) pentru planificarea secvențelor de prelucrare pentru operația de frezare selectată și selecția geometriei sculei. Multe sisteme de acest fel au fost studiate, au fost realizate multe conversații cu experții în domeniu și aceste reguli au fost implementate în sistemul expert.

##### **Parametrii introduși în sistemul expert sunt :**

##### 1) **Tipul plăcii:** - *cavitate*

- *poanson*

Ordinea fazelor diferă de la un tip de placă la altul, acest lucru ducând la schimbarea strategiilor și regimurilor de așchiere.

##### 2) **Forma cavității/poanson:** - *prismatică*

- *circulară*

- *formă nedefinită*

Piesele din plastic ce se obțin prin injectare au forme diferite și în prezent din ce în ce mai complexe, de aceea pentru realizarea modulului de prelucrare prin așchiere al programului **TimMold** s-a optat pentru trei forme clasice: prismatică, cilindrică și formă neregulată. Dacă se alege a se prelucra o placă de tip cavitate se vor folosi desenele din *Anexa 4.1 A*, iar pentru placa de tip poanson se vor folosi desenele din *Anexa 4.1 B*.

Se vor defini mai întâi dimensiunile semifabricatului: A, B, H

Se vor defini dimensiunile cavității: C, D, R1, Rmin, h, Ø1, Ø2

##### 3) **Materialul semifabricatului:** - *Oțel slab aliat*

- *Oțel aliat*

- *Aluminiu*

Conform clasificărilor ISO, sunt luate în considerare 3 tipuri de material: oțel slab aliat, oțel aliat și aluminiu.

##### 4) **Tratamentul termic aplicat plăcii:**

- *Recoacere* (duritatea materialului < 30HRC)

- *Îmbunătățire* (duritatea materialului - 45-55 HRC)

- *Fără tratament termic*

Tratamentele termice sunt procese de prelucrare a metalelor și aliajelor prin încălzire și răcire după anumite reguli și în condiții bine determinate, în scopul modificării proprietăților mecanice, fizice sau tehnologice ale materialelor. Condițiile în care se efectuează un tratament termic depind de natura materialului metalic și de scopul urmărit. Schimbarea proprietăților materialelor metalice în urma tratamentului termic depinde de modificările care au loc în structura lor. Tratamentele termice aplicate matrițelor pot fi: îmbunătățire, recoacere.

##### **După procesarea datelor de intrare, sistemul expert prezintă următoarele rezultate:**

##### 1) **Tipul fazei:** - *frezare plană*

- *frezare de degroșare*

- *frezare de semifinisare*

- *frezare de finisare*

În procesul de prelucrare a matrițelor sunt folosite în principal patru faze: frezare plană, degroșare, semifinisare, finisare. Acestea vor fi folosite în cadrul modulului de prelucrare prin așchiere al programului **TimMold**.

2) **Tipul sculei aşchietoare:**

- freză cu plăcuțe
- freză cilindro-frontală din carbură acoperită
- freză sferică din carbură acoperită

În tabelul Excel (Anexa 4.2) este o bază de date cu câteva freze (programul trebuie să-i permită operatorului să introducă și alte freze). De acolo se va alege tipul și diametrul frezei.

3) **Adaos de prelucrare:**

- 0,5mm
- 0,2 mm
- fără

Adaosul de prelucrare depinde de tratamentul termic aplicat și faza de aşchiere.

4) **Strategia de frezare:**

- spirală
- contur și suprafețe înclinate
- plană (frezează suprafețele plane)

Strategia de prelucrare se alege în funcție de tipul fazei.

5) **Direcția de atac a frezei :**

- tangențială
- helicoidală
- sub un unghi ( $1-3^0$ )

6) **Parametrii de schiere:**

- *turația* – se calculează în funcție de datele din tabelul Excel cu freze, folosind relația:

$$n = \frac{V_c \times 1000}{\phi \times \pi} \quad [min^{-1}] \quad [4.1]$$

$V_c$  – se alege din tabelul Excel în funcție de material și tratament

termic

- *avansul* – se calculează în funcție de datele din tabelul Excel cu freze, folosind relația:

$$f = f_z \times Z \times n \quad \left[ \frac{mm}{min} \right] \quad [4.2]$$

$f_z$  – se alege din tabelul Excel în funcție de material

- *pasul frezei*

- *adâncimea de aşchiere*

7) **Tipul sistemului de răcire:**

- lichid de răcire
- aer

Tipul sistemului de răcire se alege în funcție de material, tratament termic.

### 4.3 Concluzii

Algoritmul descris în **subcapitolul 4.2.1** este bazat pe logica fuzzy și permite o îndrumare corect argumentată pentru proiectarea unei matrițe pornind de la alegerea piesei, a materialului de injectare, tipul matriței și mașina de injectat. Baza de date ce stă la baza programului **TimMold** a fost realizată cu ajutorul informațiilor din **Capitolul 2**. Echipa de proiectare care utilizează această aplicație software, prin cunoștințele și experiența de producție, poate adapta elementele algoritmului, respectiv definițiile mulțimilor fuzzy și regulile de inferență, la condițiile concrete de injectare.

## Cap 5 Descrierea programului „TimMold”

Cu ajutorul bazei de date create în **Capitolul 2** și pe baza algoritmilor dezvoltati în **Capitolul 4**, s-a realizat un program numit **TimMold** (fig. 5.1) ce ajută operatorul la proiectarea matritelor de injectare și la planificarea tehnologică a fazelor de prelucrare a plăcilor de formare (cavitate și poanson).

Sistemul expert „**TimMold**” realizat sub mediul C-Sharp este compus din următoarele module principale (fig. 5.1):

- definire produs
- material
- mașina de injectat
- rețea de injectare
- dimensiuni cub
- elemente de design produs și matriță
- răcire matriță
- prelucrare suprafețe
- butonul de ieșire (exit).



Fig. 5.1 Ecranul de start al aplicației

Ordinea de accesare a butoanelor este de la stânga la dreapta, începând cu <Definire produs>. Un buton nu poate fi accesat decât dacă butonul din stânga lui a fost accesat și rezultatul selecției a fost validat.

## 5.1 Definire produs

În cadrul acestei etape (fig. 5.2), au fost definite trei tipuri de piese injectate:

- piesă cilindrică
- piesă cavă gen cutie
- piesă cu pereți groși

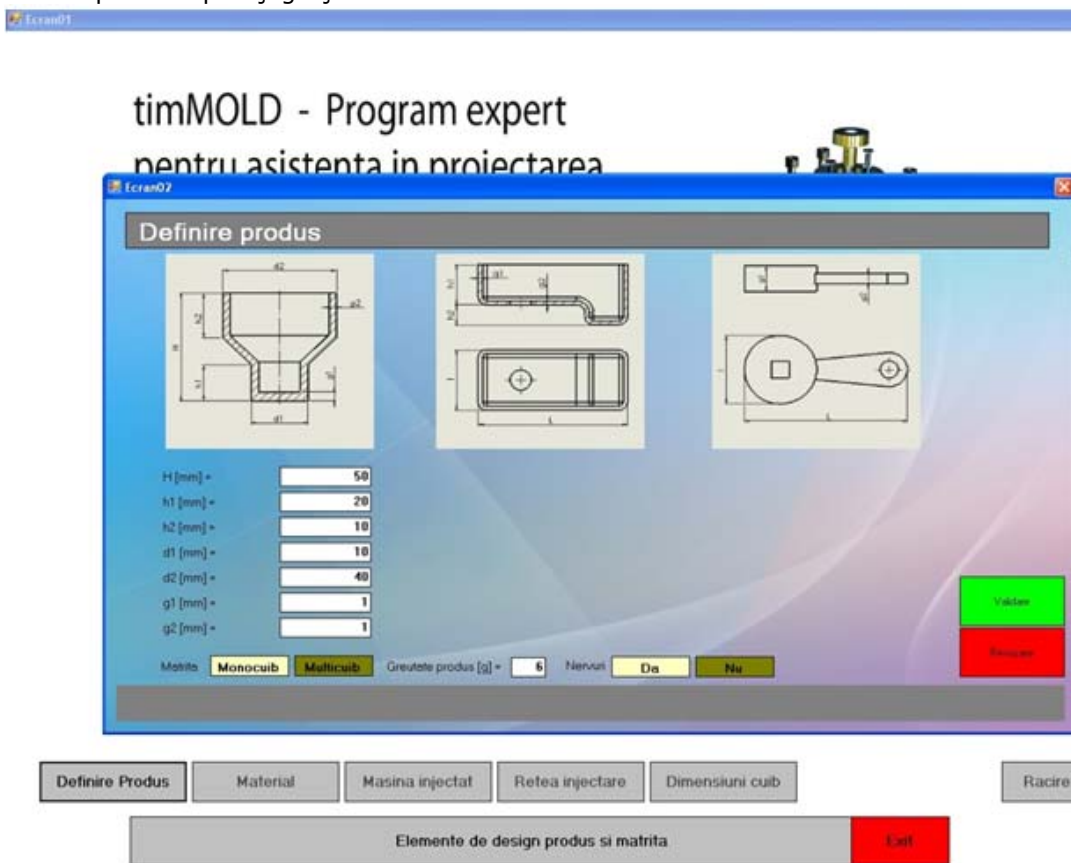


Fig. 5.2 Definire produs

Forma geometrică și dimensiunile acestor piese pot varia în funcție de valorile introduse în câmpurile aferente fiecăruia. După completarea fiecărui câmp al piesei și câmpul corespunzător greutății piesei, butonul <Validare> devine activ și poate fi apăsat în vederea memorării datelor despre piesă.



## 5.2 Alegerea materialului

Cea de-a doua etapă se referă la alegerea materialului (Fig. 5.3). În cadrul aplicației, a fost luat în considerare un număr de 12 materiale cel mai des întâlnite și cu ponderea cea mai mare în cadrul produselor realizate prin injectare din materiale polimerice. Utilizatorul poate totodată să introducă orice alt material diferit de cele 12 apăsând butonul <Alt Material>.

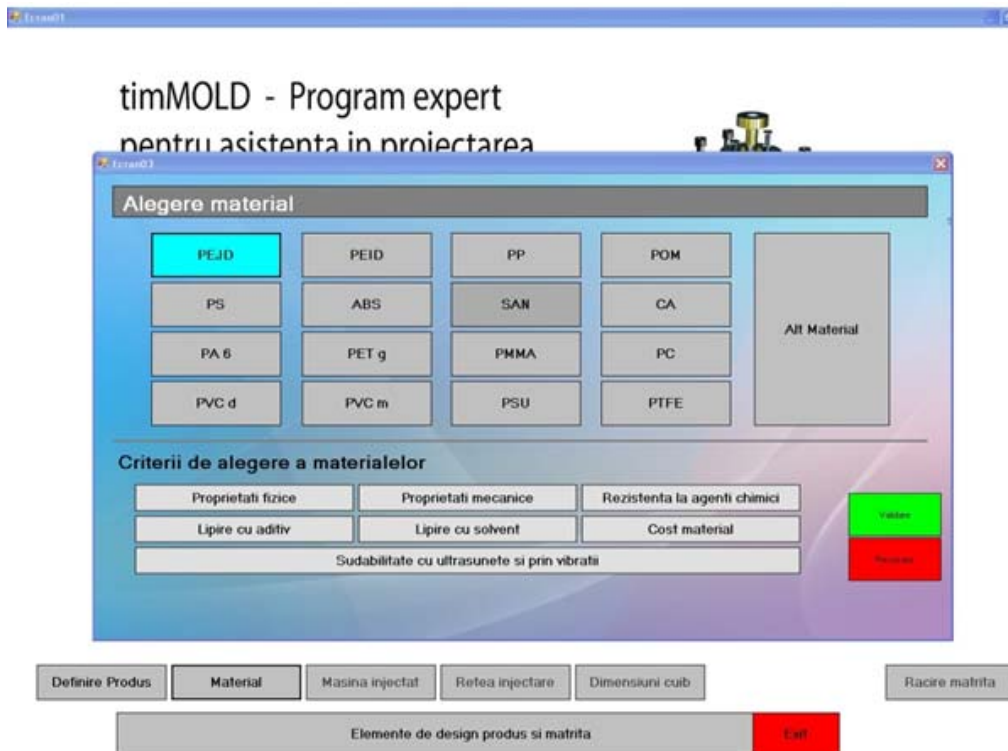


Fig. 5.3 Alegerea materialului

Pentru materialul selectat (ex. PEJD – fig. 5.4) sunt afișate principalele caracteristici ale acestuia (temperatura, presiunea, viteza de injectare etc.), cât și informații suplimentare afișate în fereastra din dreapta. Prin apăsarea butonului <Validare> se trece în următorul ecran. Pentru a veni în ajutorul utilizatorului, în partea de jos a ecranului sunt afișate principalele criterii de alegere a materialelor:

- proprietăți fizice
- proprietăți mecanice
- rezistența la agenți chimici
- lipire cu adeziv
- lipire cu solvent
- cost material
- sudabilitate cu ultrasunete și vibrații.

### 5.3 Alegerea mașinii de injectat

După alegerea tipului materialului, se alege mașina de injectat (fig. 4.5). Aceasta se alege în funcție de greutatea și dimensiunile piesei. Programul oferă posibilitatea de alegere a 4 tipuri de mașini pentru microinjectare și 6 tipuri de mașini de injectat pe orizontală. Pornind de la dimensiunea de gabarit a piesei, se determină numărul maxim de cuiburi posibile. Utilizatorul poate alege numărul de cuiburi al matriței care trebuie să fie mai mic, cel mult egal cu numărul maxim de cuiburi posibil. În partea de jos a ecranului (zona A și B) sunt furnizate informații referitoare la spațiul de manevrare a matriței printre coloanele mașinii, cota de gabarit a matriței neputând să depășească această valoare.

În partea dreaptă a ferestrei este prezentată o vedere de ansamblu a mașinii de injectat alese și caracteristicile tehnice ale acesteia. După alegerea corectă a numărului de cuiburi a matriței, se activează butonul <Validare> și se poate trece la ecranul următor.

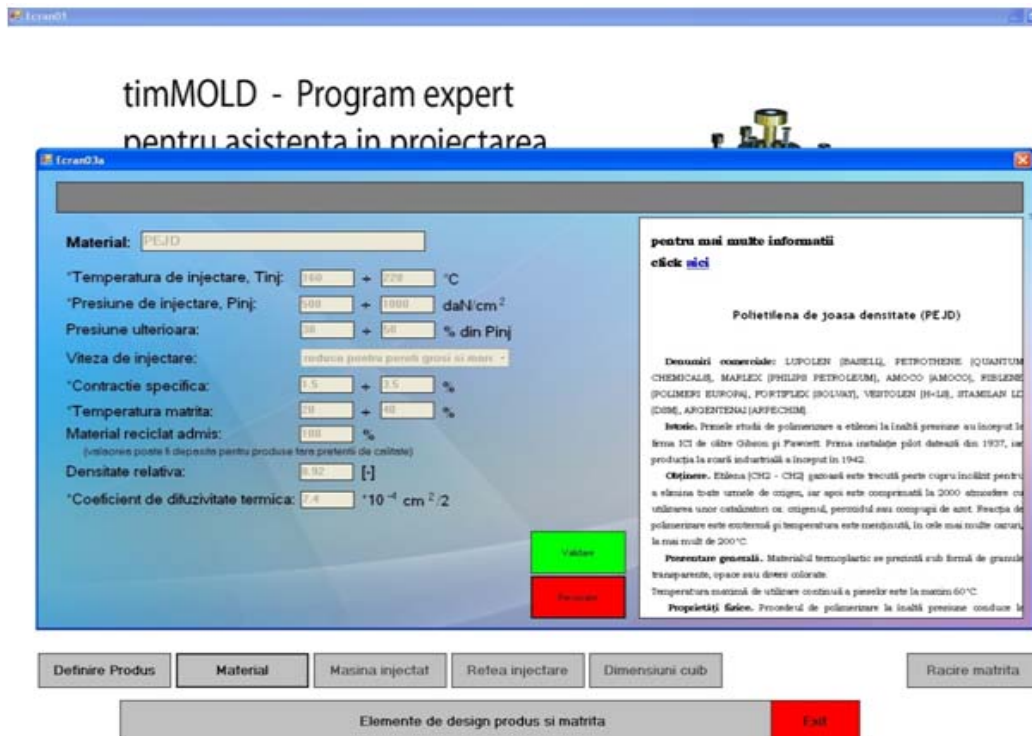


Fig. 5.4 Date despre material (PEJD)

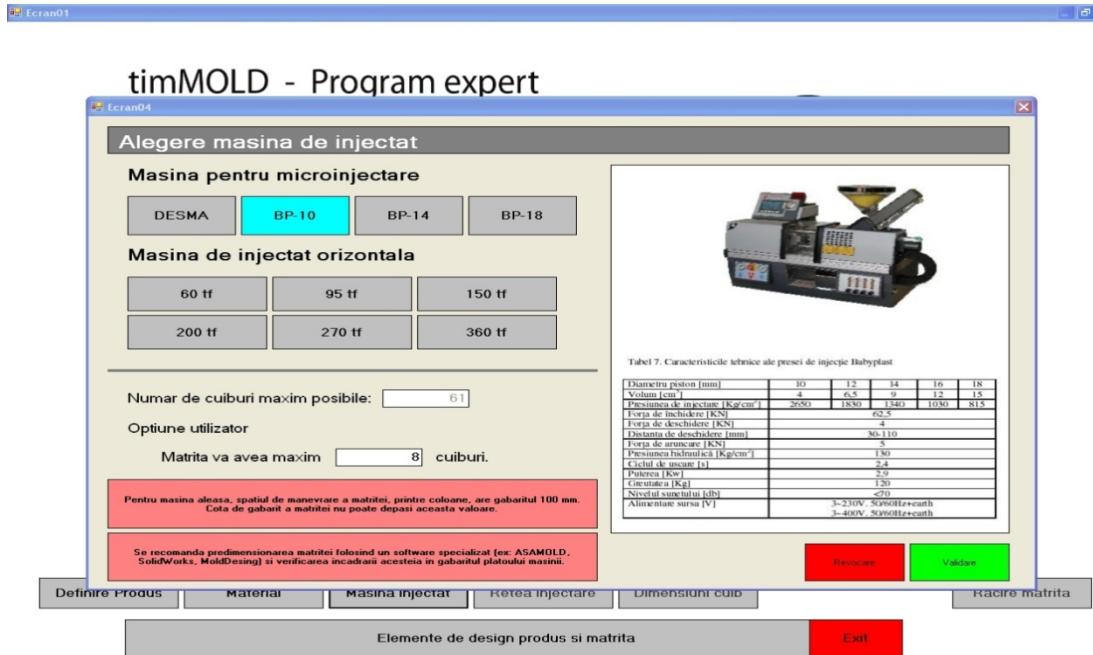


Fig. 5.5 Alegere mașină de injectat

## 5.4. Rețea de injectare

### 5.4.1 Injectare multicuib

Prin apăsarea butonului <Rețea injectare> se deschide următorul ecran (fig. 4.6) în vederea dimensionării duzei de injectare. În acest caz, se poate opta pentru injectare punctiformă centrală sau alte tipuri de injectare.

#### a) Injectare punctiformă centrală

În cazul alegerii injectării punctiforme centrale, se deschide ecranul 06 (fig. 4.7), unde pe baza informațiilor oferite se poate alege de către utilizator diametrul  $d_0$  al duzei de injectare. Prin validarea acestei informații se trece la ecranul 07 care se referă la dimensionarea canalelor de distribuție (fig. 5.6).

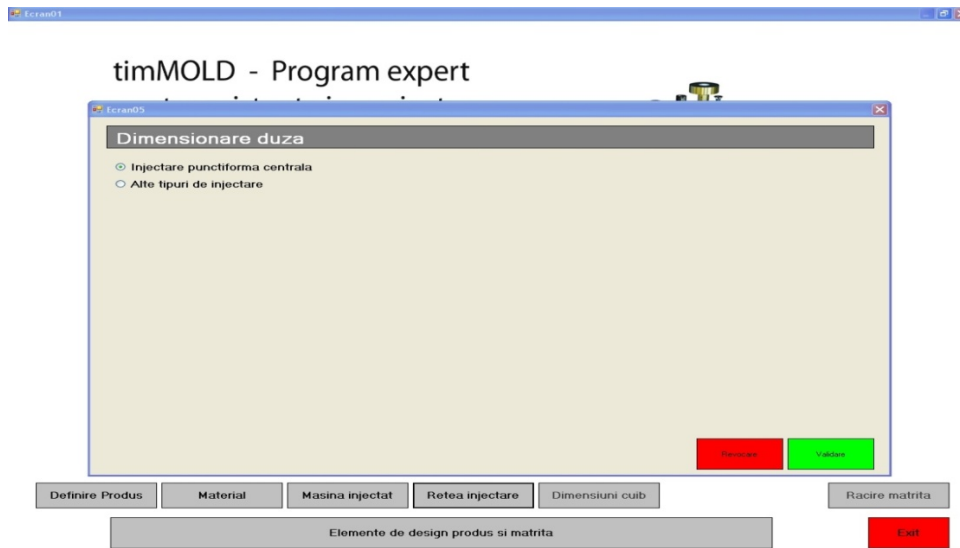


Fig. 5.6 Dimensionare duză

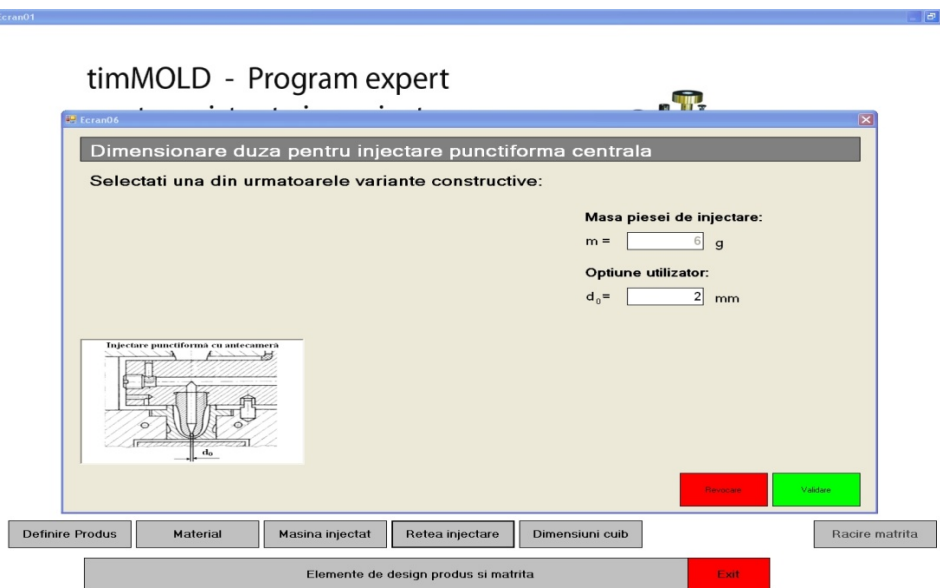


Fig. 5.7 Injectare punctiformă centrală

În primă fază, utilizatorul alege tipul secțiunii de canal (circulară, parabolică sau trapezoidală) pe baza informațiilor oferite în dreptul fiecărui tip de secțiune de canal. Odată aleasă secțiunea de canal, se activează prima porțiune din rețeaua de injectare, unde utilizatorul introduce datele referitoare la lungimea canalului de distribuție și la numărul de cuiburi. În acest moment se activează porțiunea a doua de canal de distribuție, respectiv butonul de validare. Dacă rețeaua de injectare are doar un singur tronson, atunci se apasă butonul <Validare>. Dacă rețeaua de injectare are două sau trei tronsoane, se vor introduce datele aferente și se va apăsa butonul de validare după al doilea tronson, sau după caz, după cel de-al treilea. Pentru fiecare tronson în parte, programul afișează valoarea recomandată pentru dimensiunea transversală ( $d$ ) a canalului de distribuție.

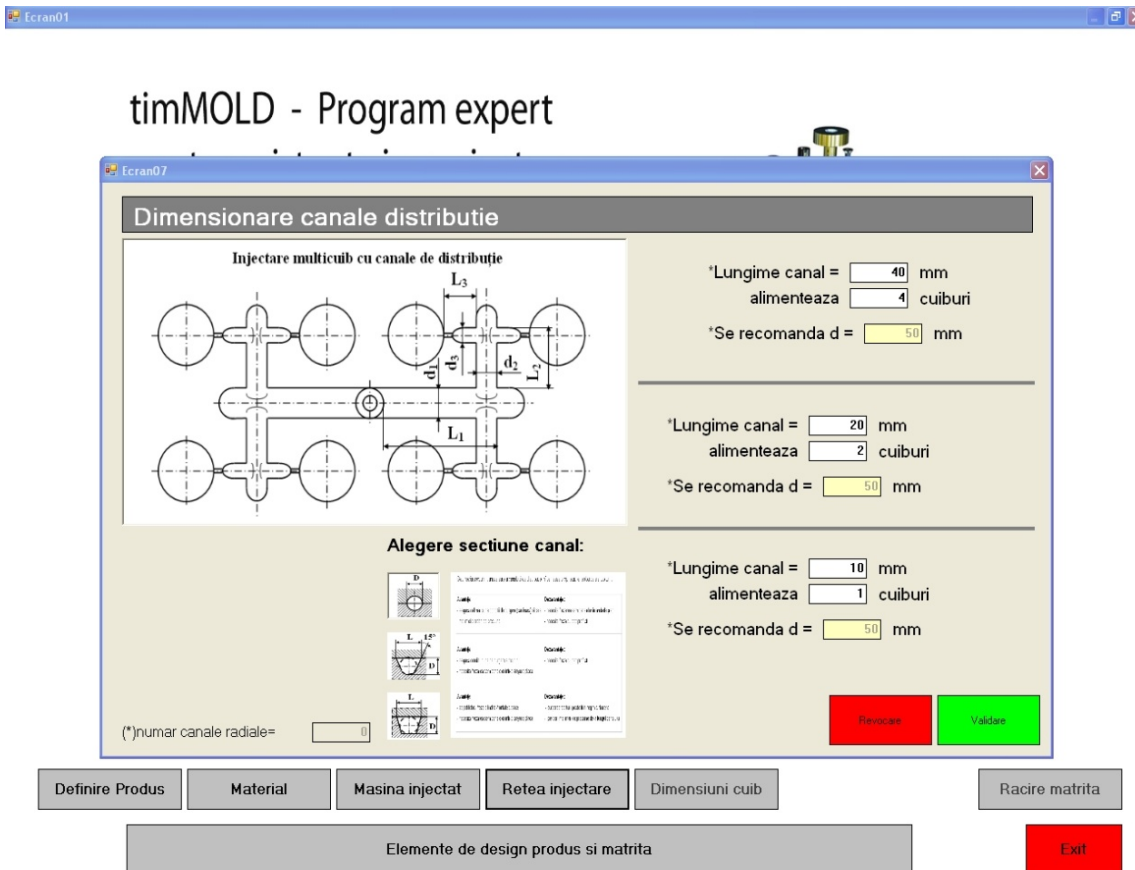


Fig. 5.8 Dimensionare canale de distribuție

Prin validarea acestor date se trece în ecranul 08, care se referă la soluții constructive pentru dig (fig. 5.9), matrițe multicuib. În acest caz, sunt luate în considerare următoarele tipuri de injectare:

- injectare punctiformă laterală
- injectare cu canale tunel
- injectare inelară
- injectare peliculară
- injectare cu canale calde.

Făcând clic pe una din variante (ex. injectare punctiformă laterală – fig. 5.10), se deschide fereastra corespunzătoare acestora în care utilizatorul trebuie să introducă datele corespunzătoare pe baza informațiilor afișate în fereastra din dreapta. În final, utilizatorul apasă butonul <Validare> și poate trece la dimensionare cub.



### timMOLD - Program expert

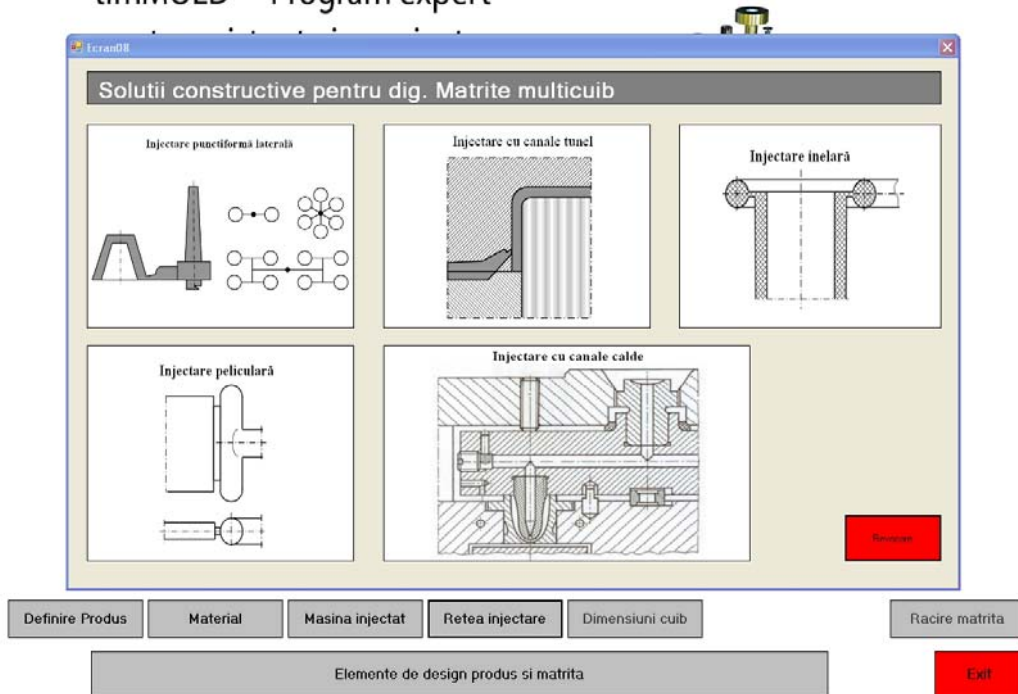


Fig. 5.9 Soluții constructive pentru dig

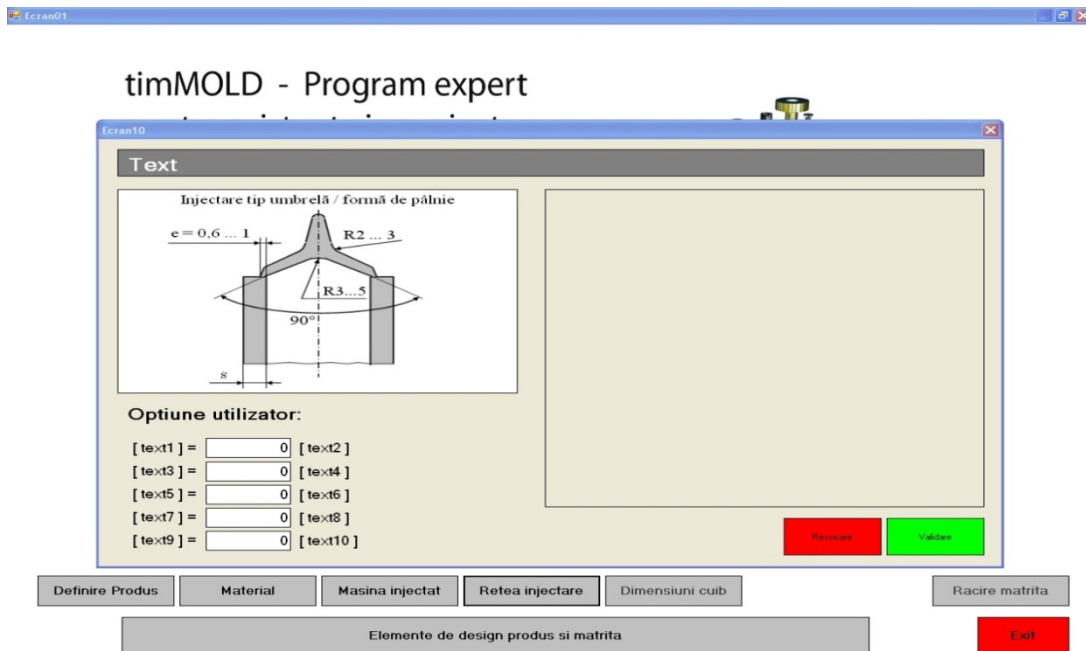


Fig. 5.10 Injectare punctiformă laterală

### b) Alte tipuri de injectare

Dacă în etapa de dimensionare a duzei (ecran 05 - fig. 5.8) utilizatorul a optat pentru alte tipuri de injectare, atunci se deschide următoarea fereastră (fig. 5.11), în care sunt o serie de informații sub formă de relații și sub formă tabelară. Pe baza acestora, utilizatorul completează câmpurile aferente și trece la validarea acestora.

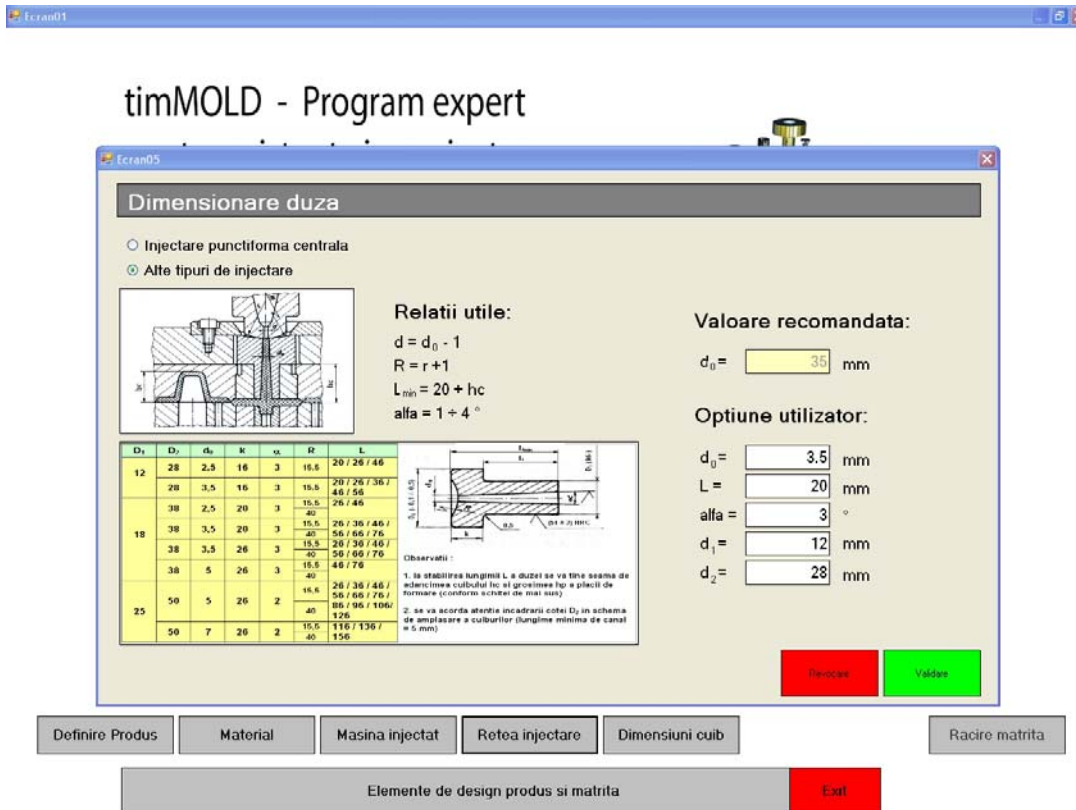


Fig. 5.11 Dimensionare duză – alte tipuri de injectare

La dimensionarea rețelei se parcurg aceleași etape ca și la punctul 4.1

### 5.4.2 Injectarea monocuib

În cazul în care capacitatea mașinii nu permite decât injectarea unei singure piese (fig. 5.12) sau când dimensiunile și forma piesei recomandă o singură piesă pe matrită, atunci se recurge la injectarea monocuib. Dimensionarea duzei se poate face pentru două tipuri de injectare:

- injectare punctiformă centrală, cu variantele constructive:
- injectare punctiformă
- injectare punctiformă cu antecameră
- injectare punctiformă cu antecameră cu retragere
- alte tipuri de injectare.



timMOLD - Program expert

Alegere masina de injectat

Masina pentru microinjectare

DESMA BP-10 BP-14 BP-18

Masina de injectat orizontala

60 tf 95 tf 150 tf  
200 tf 270 tf 360 tf

Numar de cuiburi maxim posibile:

Optiune utilizator

Matrita va avea maxim  cuiburi.

Pentru masina aleasa, spatiul de manevrare a matritei, pentru coloane, are gabaritul 100 mm.  
Cota de gabarit a matritei nu poate depasi aceasta valoare.

Zona B

Definire produs Material Masina injectat Rețea injectare Dimensiuni cuib Racire matrita

Elemente de design produs si matrita

Diagrama unei mașini de injectare Babyplast.

Tabel 7. Caracteristicile tehnice ale preseii de injectie Babyplast

Diantezra piston (mm)	10	12	14	16	18
Volum (cm <sup>3</sup> )	4	6,5	9	12	15
Presiunea de injectare (kg/cm <sup>2</sup> )	2000	1800	1500	1000	800
Forța de inchidere (kN)	62,5				
Forța de deschidere (kN)	4				
Diantezra de deschidere (mm)	80-110				
Forța de aruncare (kN)	5				
Presiunea hidraulică (kg/cm <sup>2</sup> )	130				
Ciclu de lucru (s)	2,4				
Puterea (kW)	2,0				
Consumul (kg)	1,20				
Nivelul zgomotului (dB)	≤70				
Alimentare sursă (V)	3-230V, 50/60Hzearth 3-400V, 50/60Hzearth				

Butonii: Anulare, Valutare

Fig. 5.12 Injectare monocuib dată de capacitatea limitată a mașinii de injectat

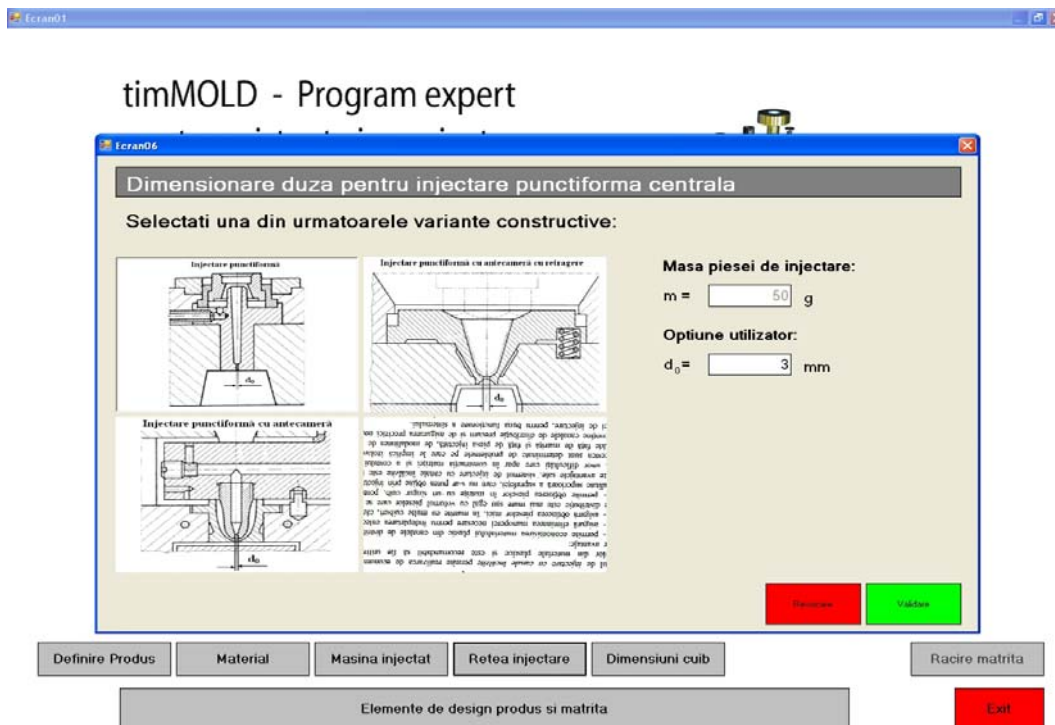


Fig. 5.13 Dimensionare duză pentru injectarea punctiformă centrală

În cazul injectării punctiforme centrale (fig. 5.13), după ce utilizatorul a selectat una din variantele de injectare pe baza informațiilor afișate pe ecran, acesta va alege dimensiunea  $d_0$  a duzei, după care trece la validarea rezultatului. În cazul în care utilizatorul optează pentru alte tipuri de injectare, se va deschide ecranul 05 (fig. 5.8) unde se vor completa toate câmpurile libere. În urma validării datelor introduse, se deschide fereastra cu soluțiile constructive pentru dig (fig. 5.14), care face referire la:

- injectare tip umbrelă sub formă de pânlie
- injectare tip umbrelă sub formă de disc
- injectare inelară interioară
- injectare peliculară centrală

În urma selectării de către utilizator a uneia dintre variante, se va deschide fereastra corespunzătoare în care utilizatorul va completa datele referitoare la dimensiunea digului.

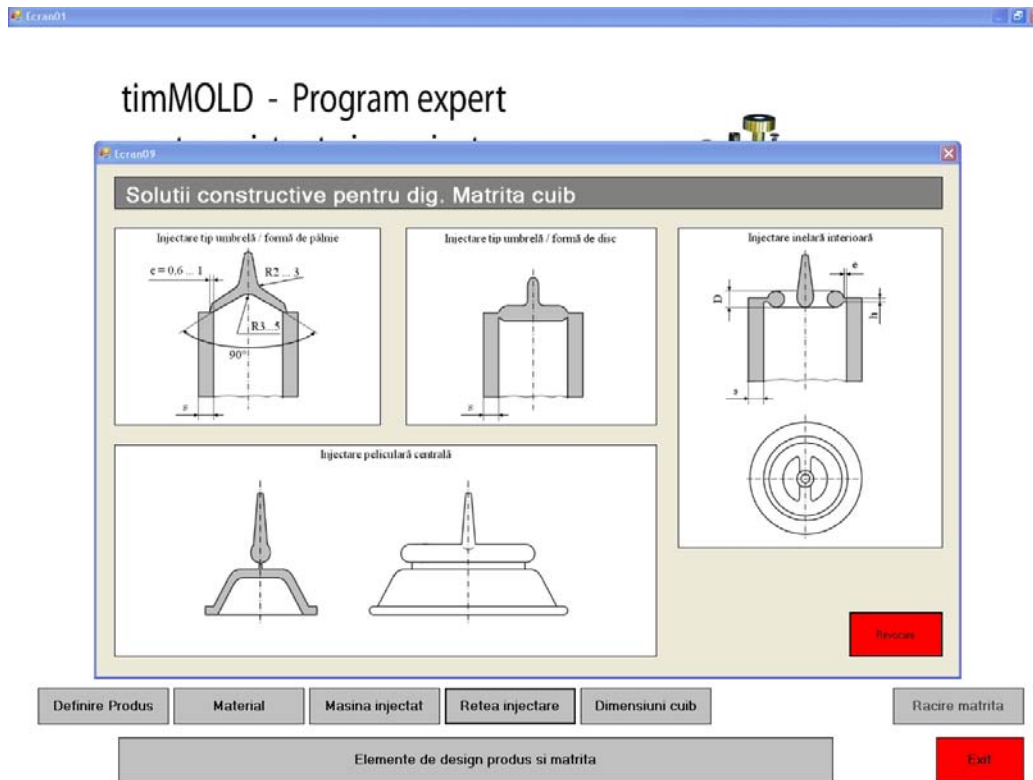


Fig. 5.14 Soluții constructive pentru dig la injectarea monocuib

### 5.4.3. Dimensionare cuib

În această etapă, utilizatorul introduce cota nominală a piesei și câmpul de toleranță (fig. 5.15), urmând ca programul expert să-i furnizeze cota și câmpul de toleranță pentru matrită.

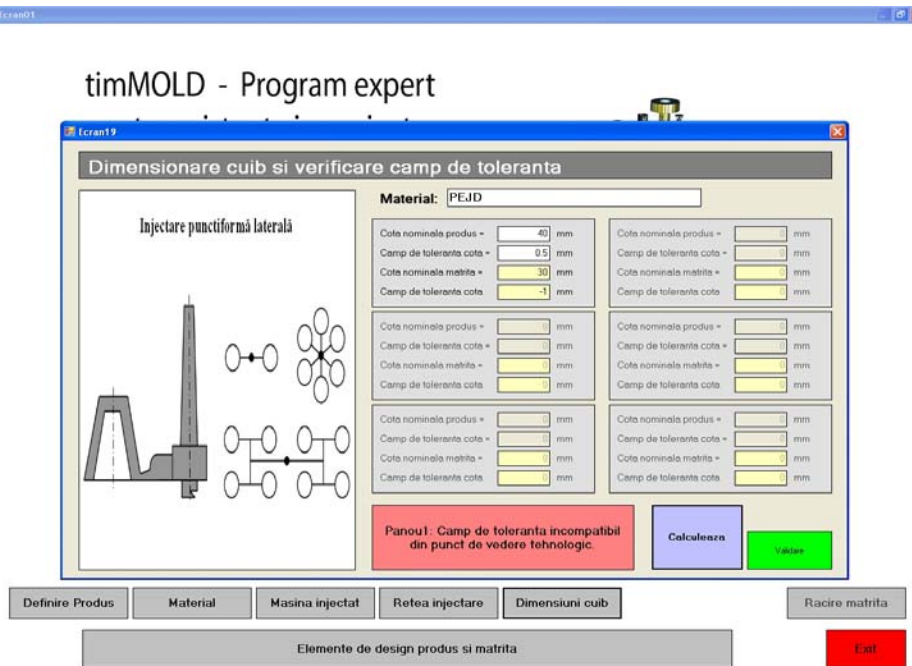


Fig. 5.15 Dimensionare cub și verificare câmp de toleranță

#### 5.4.4. Elemente de design matriță

După dimensionarea rețelei de injectare, utilizatorul poate afla informații referitoare la elementele de design matriță (fig. 5.16). În acest caz, se oferă informații referitoare la:

- produsul injectat:
- raze, muchii, racordări
- bosaje, orificii
- soluții pentru asamblare
- soluții practice
- matrița de injectare:
- considerații generale
- matrițe clasice
- matrițe cu bacuri
- matrițe pentru piese cu filet
- matrițe cu canale calde
- soluții aruncare
- răcirea matriței
- aerisirea matriței
- ajustaje recomandate
- materiale.

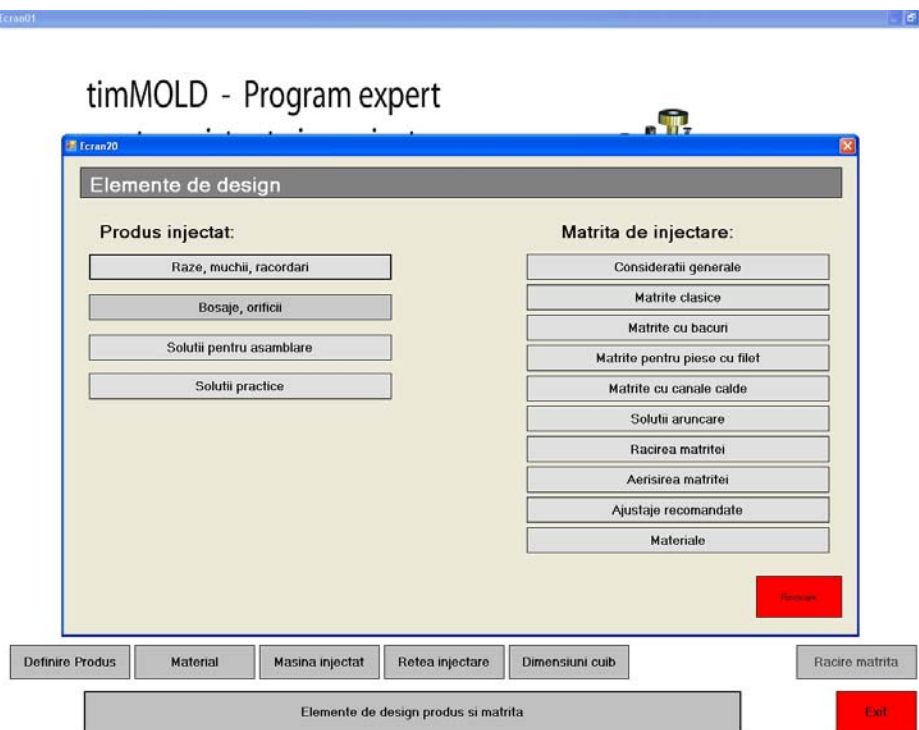


Fig. 5.16 Elemente de design matrită

## 5.5 Prelucrarea plăcilor de formare

Pentru a accesa modulul de planificare tehnologică, se va apăsa butonul <Prelucrarea suprafețelor>. Etapele afișate în cele ce urmează reprezintă *datele de intrare* ce sunt introduse de operator:

- 1) **Tipul plăcii:** - *cavitate*  
- *poanson*
- 2) **Forma cavității/poanson:** - *prismatică*  
- *circulară*  
- *formă nedefinită*
- 3) **Materialul semifabricatului:** - *Oțel slab aliat*  
- *Oțel aliat*  
- *Aluminiu*
- 4) **Tratamentul termic aplicat plăcii:**  
- *Recoacere* (duritatea materialului < 30HRC)  
- *Îmbunătățire* (duritatea materialului 45-55 HRC)  
- *Fără tratament termic*



Fig. 5.17 Alegerea tipului de placă de formare și forma acesteia

După apăsarea butonului <Prelucrarea suprafețelor>, va apărea fereastra <Alegere suprafață de prelucrat> ce va ghida operatorul pentru alegerea tipului de placă de formare: cavitate (fig. 5.17) sau poanson (fig. 5.18).

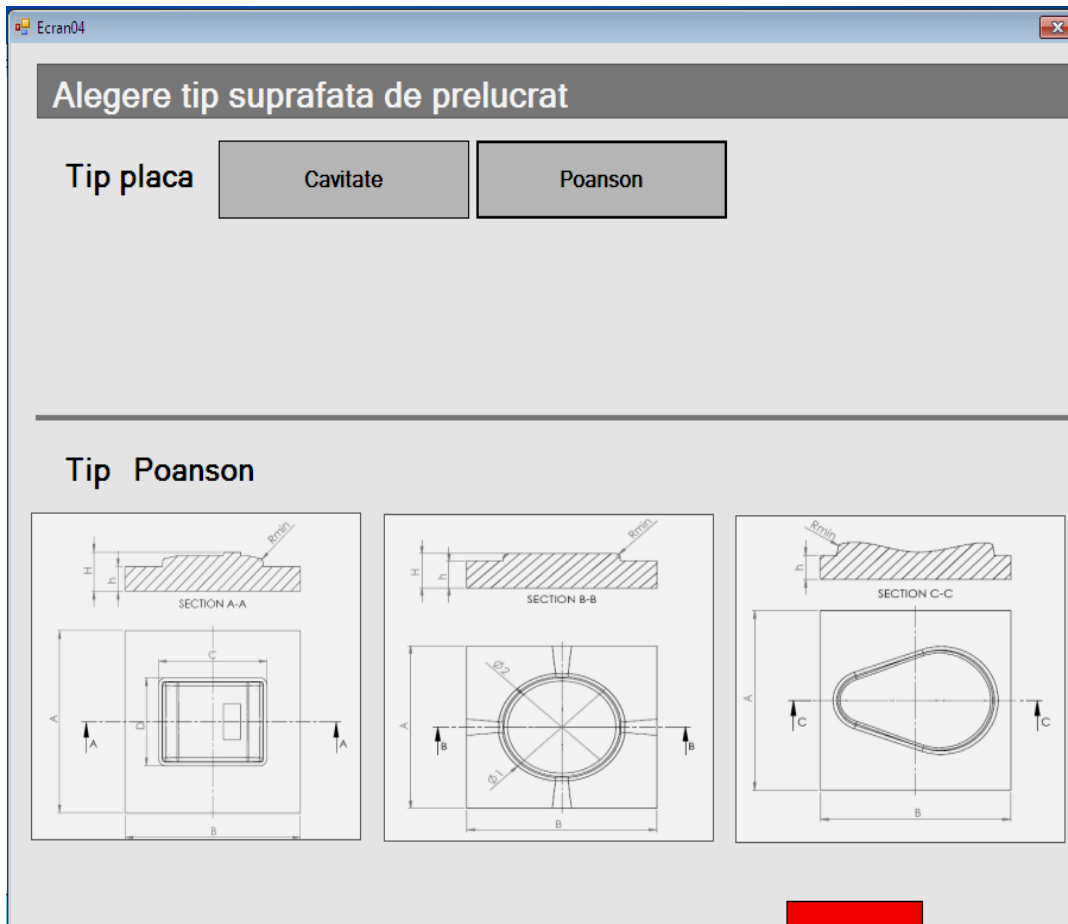


Fig. 5.18 Alegerea tipului de placă-poanson și a formei

În cadrul acestei etape, se pot defini trei tipuri de forme ale plăcilor de formare:

- prismatică
- circulară
- formă nedefinită

După ce s-a ales forma plăcii de formare, butonul <Validare> va deveni activ și se va deschide fereastra unde se vor introduce dimensiunile (fig. 5.19) plăcilor de formare care pot varia în funcție de valorile introduse în câmpurile aferente fiecăruia. După completarea fiecărui câmp, butonul <Validare> devine activ și poate fi apăsat în vederea memorării datelor despre placă.

Etapa următoare permite alegerea materialului din care este făcut semifabricatul. În cadrul aplicației au fost luate în considerare trei tipuri de materiale (fig. 5.20): oțeluri slab aliate, oțeluri aliate și aluminiu.

**Definitie dimensiuni fabricatie pentru: Cavitare**

A=  mm  
B=  mm  
H=  mm

C=  mm  
D=  mm  
R1=  mm  
R<sub>min</sub>=  mm  
h=  mm  
f1=  °  
f2=  °

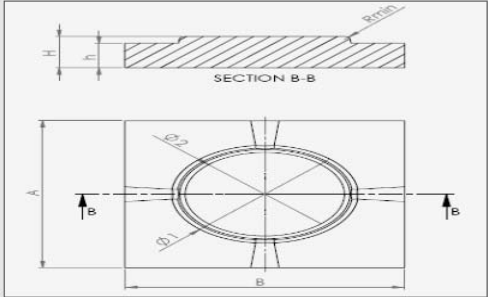


Fig. 5.19 Dimensionarea plăcii de formare





Fig. 5.20 Alegerea materialului semifabricat

Plăcile de formare sunt supuse unor presiuni mari și de aceea se recomandă tratamente termice pentru îmbunătățirea calităților. Tratamentele termice (fig. 5.21) propuse sunt:

- recoacere – va aduce oțelurile la valori apropiate de 30HRC;
- îmbunătățire - va aduce oțelurile la valori apropiate de 50HRC, iar ultima variantă presupune netratarea semifabricatelor.

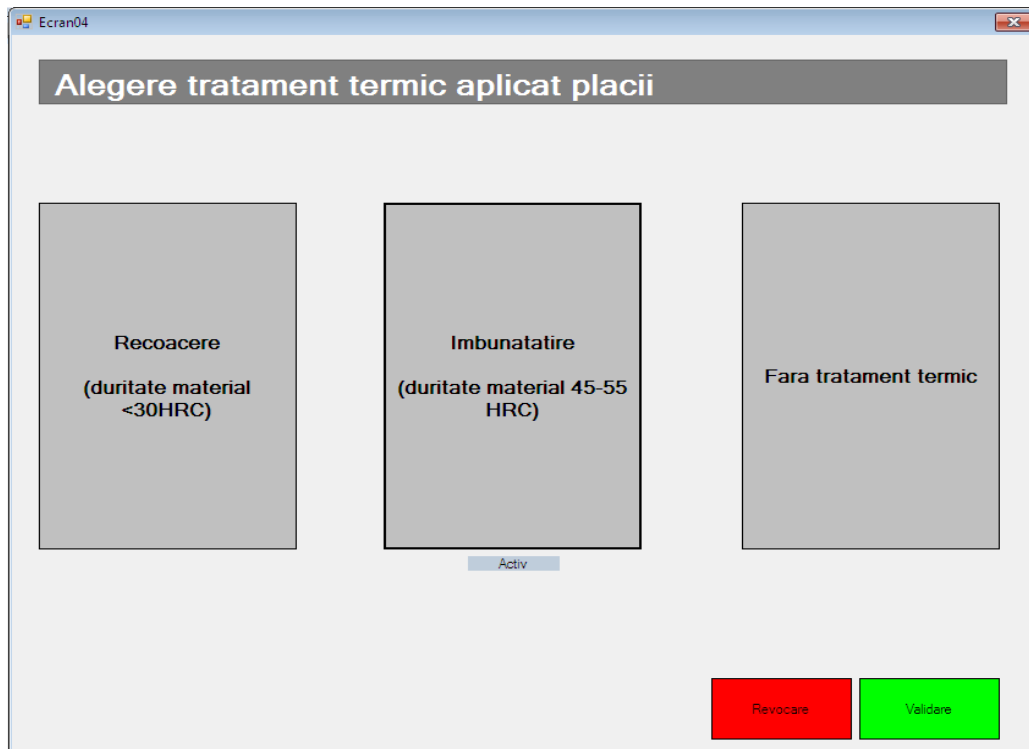


Fig. 5.21 Alegerea tratamentului termic

În urma acestor *date de intrare*, sistemul expert va afișa rezultatele, acestea constând într-o descriere detaliată și succesivă a fazelor de prelucrare ce vor fi executate pe o mașină de frezat. Datele de ieșire ale sistemului expert sunt:

- 1) **Tipul fazei:** - *frezare plană*  
                           - *frezare de degroșare*  
                           - *frezare de semifinisare*  
                           - *frezare de finisare*
- 2) **Tipul sculei așchietoare:** - *freză cu plăcuțe*  
   - *freză cilindro-frontală din carbură acoperită*  
   - *freză sferică din carbură acoperită*
- 3) **Adaos de prelucrare lăsat după fiecare fază:** - *0,5mm*  
   - *0,2 mm*  
   - *fără*
- 4) **Strategia de frezare:** - *spirală*  
   - *contur și suprafețe înclinate*  
   - *plană (frezează suprafețele plane)*
- 5) **Direcția de atac a frezei :** - *tangențială*  
   - *helicoidală*  
   - *sub un unghi (1-3°)*

- 6) **Parametrii de schiere:** - *turația*  
 - *avansul*  
 - *pasul frezei*  
 - *adâncimea de aschiere*
- 7) **Tipul sistemului de răcire :** - *lichid de răcire*  
 - *aer*

**Exemplu:**

- 1) Se alege: caviate + formă prismatică + oțel slab aliat + recoacere  
 2) Va fi afișată (fig. 5.22) :

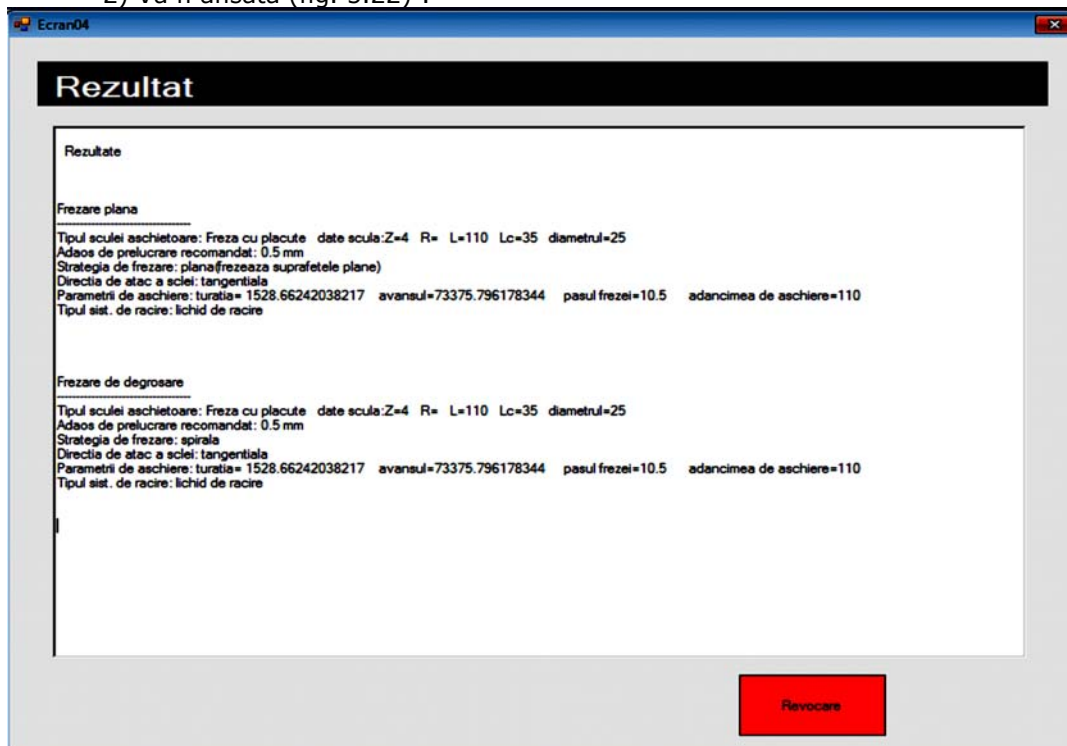


Fig. 5.22 Rezultatele afișate de sistemul expert

**Frezare plană :**

- Tipul sculei așchietoare :* Freză cu plăcuțe  $\varnothing=32\text{mm}$  –  $L=110\text{mm}$ ,  $Lc=35\text{mm}$ ,  
 $Z=4$   
*Adaos de prelucrare recomandat:* fără adaos de prelucrare  
*Strategia de frezare:* plană  
*Direcția de atac a sculei:* tangențială  
*Parametrii de așchiere:*  $n=4580$  [rot/min],  $f=2000$  [mm/min],  $a_e = 10.5\text{mm}$ ,  
 $a_p=0.7\text{mm}$   
*Tipul sist. de răcire:* aer

**Frezare de degroșare:**

Tipul sculei așchietoare: Freză cu plăcuțe  $\varnothing=20\text{mm}$  –  $L=110\text{mm}$ ,  $L_c=35\text{mm}$ ,  
 $Z=4$

Adaos de prelucrare recomandat:  $0.2\text{mm}$

Strategia de frezare: spirală

Direcția de atac a sculei: sub unghi ( $1-3^\circ$ )

Parametrii de așchiere:  $n=7850$  [rot/min],  $f=1500$  [mm/min],  $a_e = 8.5\text{mm}$ ,  
 $a_p=0.35\text{mm}$

Tipul sist. de răcire: aer

**Frezare de finisare:**

Tipul sculei așchietoare: Freză sferică din carbură acoperită  $\varnothing=6\text{mm}$  –  
 $L=70\text{mm}$ ,  $L_c=20\text{mm}$ ,  $Z=4$ ,  $R=1,5\text{mm}$

Adaos de prelucrare recomandat: fără adaos de prelucrare

Strategia de frezare: contur și suprafețe înclinate

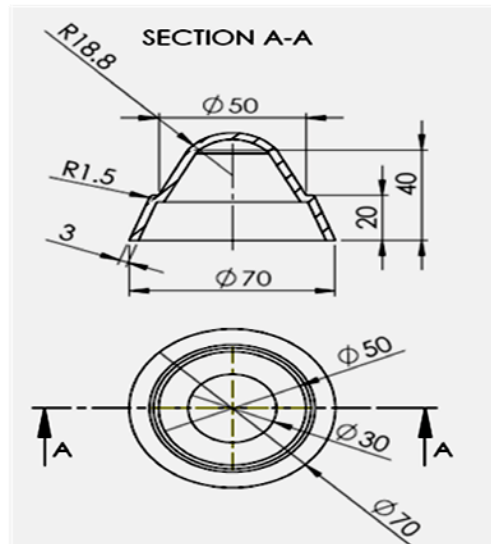
Direcția de atac a sculei: sub unghi ( $1-3^\circ$ )

Parametrii de așchiere:  $n=12000$  [rot/min],  $f=1000$  [mm/min],  $a_e = 0,05\text{mm}$ ,  
 $a_p=0.1\text{mm}$

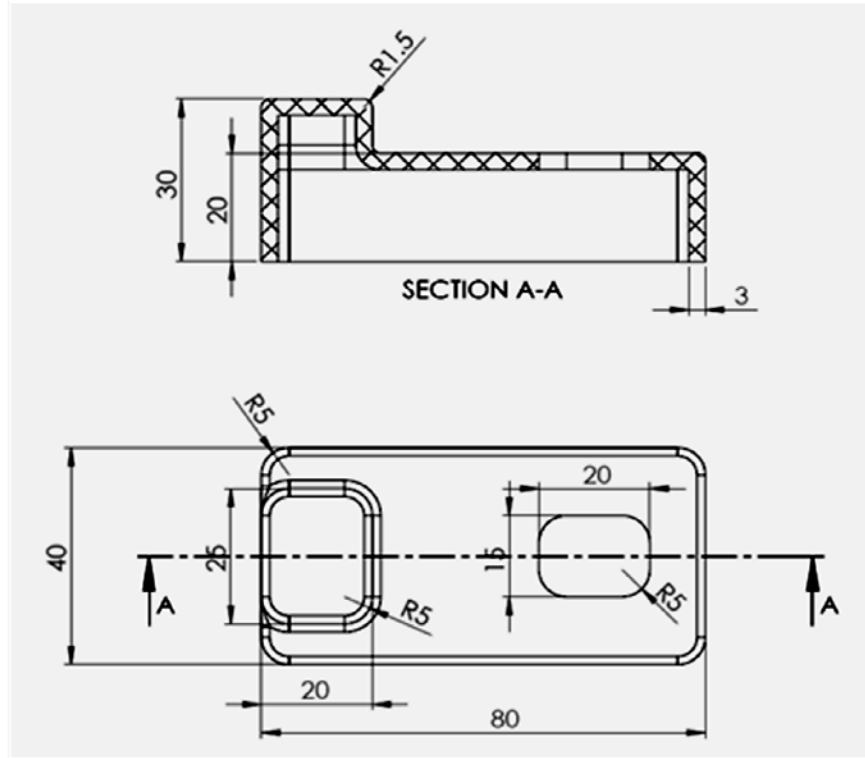
Tipul sist. de răcire: aer

## 5.6 Testarea programului TimMold

În **Capitolul 2**, ca studiu de caz au fost prezentate două piese din plastic ce au fost trecute prin mai multe simulări asistate de calculator pentru a pune în evidență eficiența soft-urilor CAD/CAE în proiectarea matrițelor. Aceleași piese (fig. 5.23) au fost alese și pentru testarea programului **TimMold**.



a)



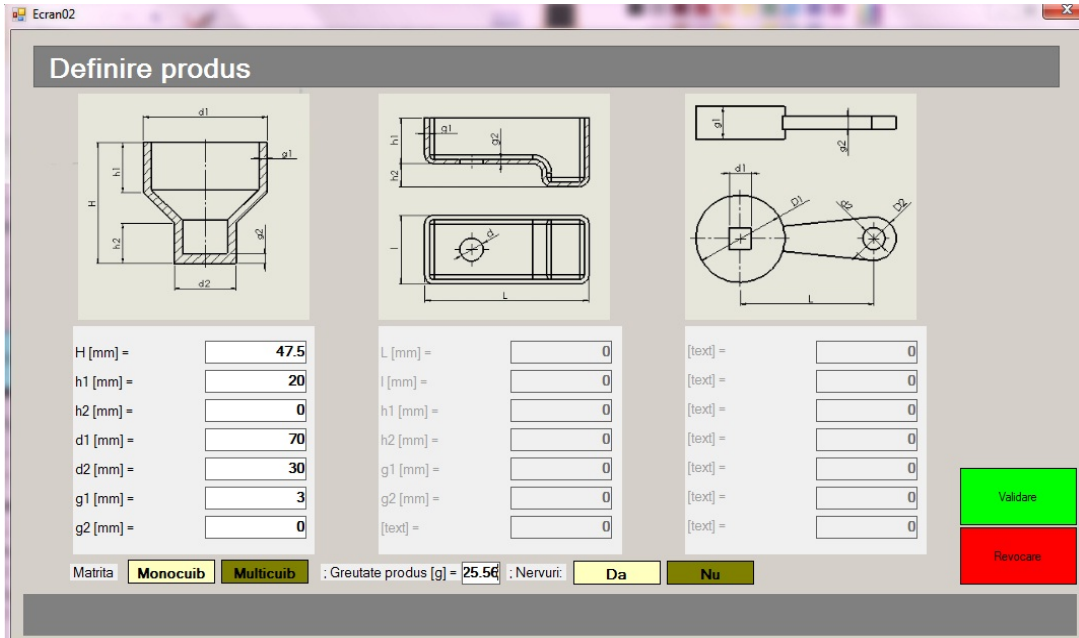
b)

Fig. 5.23 Piese din plastic

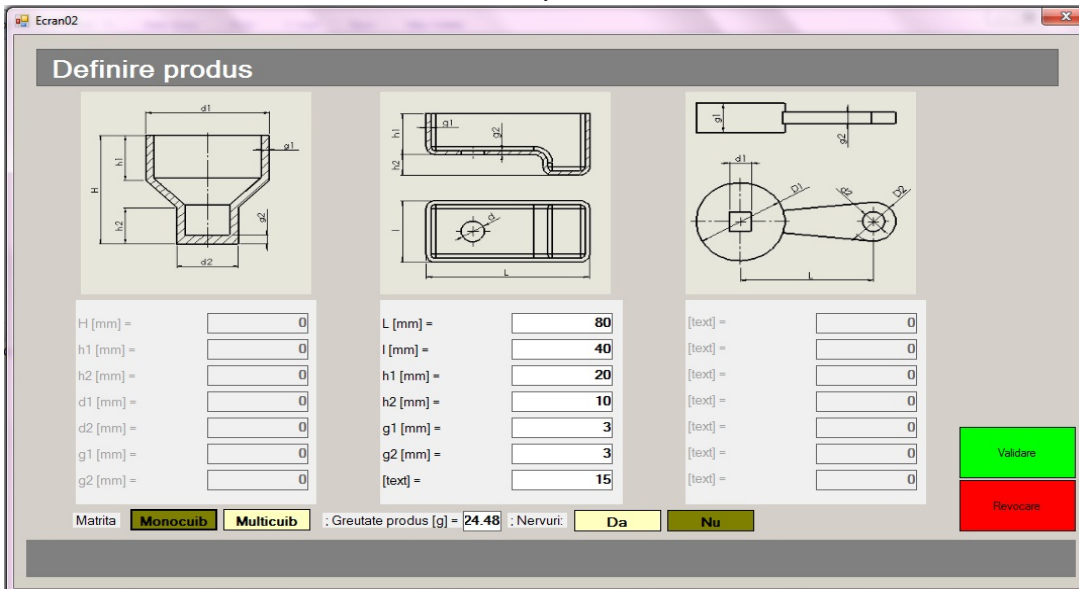
a – piesă din plastic de formă cilindrică, b – piesă din plastic de formă prismatică

a) Urmărind pașii prezentați în acest capitol, s-a trecut la prima etapă din programul **TimMold** – cea de definire a produsului. Pentru piesa cilindrică s-a ales prima variantă și s-au completat spațiile cu dimensiunile corespunzătoare (fig. 5.24 a), la fel procedându-se și cu piesa de formă prismatică (fig. 5.24 b).

122 Descrierea programului TimMold - 5



a)



b)

Fig. 5.24 Definirea produsului  
 a – definirea piesei de formă cilindrică, b – definirea piesei de formă prismatică

Se poate observa că pentru piesa de formă cilindrică s-a ales o matriță Multicuib – ceea ce înseamnă că vom avea mai multe cuiburi și va trebui să alegem o rețea cu canale principale și secundare. Piesa de formă prismatică va fi injectată într-o matriță monocuib – rezultând folosirea unei injectări punctiforme cu dig de tip culee.

b) Următoarea etapă este de a alege un material. Pentru ambele piese se va alege PA 66, acest lucru se poate observa în fig. 5.25.

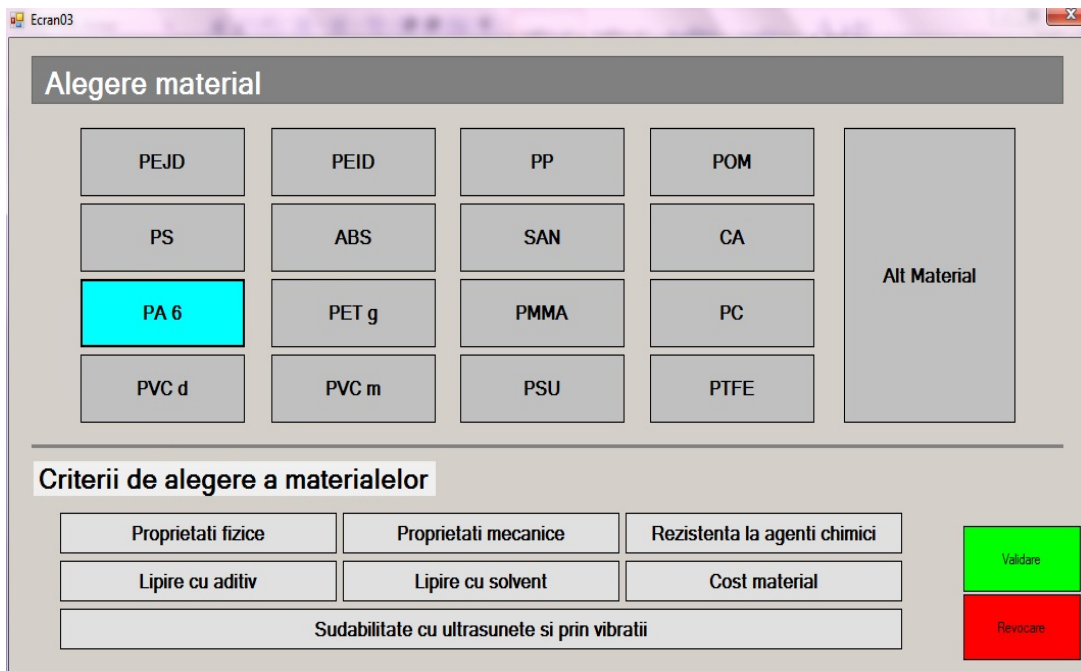


Fig. 5.25 Alegerea materialului de injectare pentru cele două tipuri de piese

În fig. 5.26 sunt prezentate caracteristicile principale ale acestui material.

## 124 Descrierea programului TimMold - 5

**Material:** PA 6

\*Temperatura de injectare, Tinj: 200 + 260 °C

\*Presiune de injectare, Pinj: 1000 + 1400 daN/cm<sup>2</sup>

Presiune ulterioara: 40 + 60 % din Pinj

Viteza de injectare: reduca pentru pereti grosi si mari

\*Contractie specifica: 1 + 1.5 %

\*Temperatura matrita: 90 + 110 %

Material reciclat admis: 10 %  
(valoarea poate fi depasita pentru produse fara preletenti de calitate)

Densitate relativa: 1.15 [-]

\*Coeficient de difuzivitate termica: 6.5 \*10<sup>-4</sup> cm<sup>2</sup>/2

Se recomanda uscarea materialului: 3 ore  
la temperatura 80 °C

Validare

Revocare

**Denumiri comerciale:** AKLON (DSM), ULTRAMID (BASF), DURETHAN B (BAIER), TECHNIL, SNLAMID, NICOA (RHODIA), ZYTEL (DuPont), RADILON (RADICI), GRILON (EMS), CAPRON (ALTEC SIGNAL), ALBIS PA 6 (ALBIS), CELANESE (HOECHST-CELANESE), RADIPOL (POLYMERS INTERNATIONAL), ADELLE (ADELL), AMLAN (TORAY), UBE-NYLON (UBE), GELON (GE PLASTICS).

**Obținere:** Poliamidă 6 este produsă prin poladiția monomerului caprolactamă. Polimerizarea are loc în autoclavă, polimerul fiind topit și dizolvat în apă la temperatură ridicată (250°C) și presiune de câțiva bari. Monomerul se separă prin splare și apoi se usucă. Poliamidă trebuie să fie livrată cu grad de umiditate mai mic de 0,2 %.

**Prezentare generală:** Se prezintă sub formă de granule cilindrice, cu tentă opacă sau divers colorate. Pentru utilizare se livrează în saci etanși cu umiditate mai mică de 0,2 %. Este un material parțial cristalin.

**Proprietăți Fizice:** Poliamidă 6 fiind parțial cristalină, este translușă în piesele injectate cu pereți subțiri și opacă în cele cu pereți groși.

Temperatura de vitifiere pentru PA 6 uscată este 60°C, iar temperatura de topire 220°C.

Datorită plașii de topire înguste, aproximativ 10°C, o temperatură prea ridicată determină degradarea și descompunerea ei.

Poliamidă 6 este higroscopică în condiții normale aproximativ 2,5 %, iar la saturaj aproximativ 9,5 %.

**Proprietăți mecanice** sunt influențate de prezența apei din compoziție:

- uscată, PA 6 este casantă și fragilă (conținut 0,8 % apă, după injectare);
- la o absorbție de apă de 2,5 % PA 6 își diminuează rigiditatea și devine rezistentă la șoc.

Temperatura de topire este 220°C. Temperatura de vitifiere este de 50-60°C, adică peste această temperatură materialul curge sub sarcină.

Sub acțiunea căldurii PA 6 rămâne dură și tenace, fără transformări vizibile, până la 90-100°C. Peste această temperatură suferă o îngălbenire ușoară și modificarea proprietăților mecanice.

Prețurile scăzute și proprietățile de alinare și o mare duranță la oboseală. Suprafața piesei injectate este de foarte bună calitate.

Fig. 5.26 Caracteristicile principale ale PA6

c) Alegerea mașinii de injectat. Datorită dorinței de a avea o productivitate mare, pentru piesa de formă cilindrică se va alege o mașină de injectat mai mare – de 95tf (fig. 5.27). Se observă că programul a calculat automat numărul maxim de cuiburi (4 cuiburi) pentru această piesă.

**Alegere masina de injectat**

**Masina pentru microinjectare**

DESMA BP-10 BP-14 BP-18

**Masina de injectat orizontala**

60 tf 95 tf 150 tf

200 tf 270 tf 360 tf

Numar de cuiburi maxim posibile: 4

Zona A

Zona B

Revocare Validare

**Tablei 7. Caracteristicile tehnice ale preseii de injectie SERBA OPTO 95 t**

Caracteristici	95 t
Clasificarea ILO (MCM)	SM 7 MIP
Clasificarea serie	40
Clasificarea model	4K
Volumul de injectare calculat	cm <sup>3</sup>
Clasificarea serie	1-10
Volumul de injectare calculat	200
Capacitatea maxima de injecție	cm <sup>3</sup> /t
Clasificarea serie	1-25
Volumul de injectare calculat	1500
Clasificarea serie	1-100
Volumul de injectare calculat	1000
Clasificarea serie	1-150
Volumul de injectare calculat	1500
Clasificarea serie	1-200
Volumul de injectare calculat	2000
Clasificarea serie	1-300
Volumul de injectare calculat	3000
Clasificarea serie	1-400
Volumul de injectare calculat	4000
Clasificarea serie	1-500
Volumul de injectare calculat	5000
Clasificarea serie	1-600
Volumul de injectare calculat	6000
Clasificarea serie	1-700
Volumul de injectare calculat	7000
Clasificarea serie	1-800
Volumul de injectare calculat	8000
Clasificarea serie	1-900
Volumul de injectare calculat	9000
Clasificarea serie	1-1000
Volumul de injectare calculat	10000
Clasificarea serie	1-1100
Volumul de injectare calculat	11000
Clasificarea serie	1-1200
Volumul de injectare calculat	12000
Clasificarea serie	1-1300
Volumul de injectare calculat	13000
Clasificarea serie	1-1400
Volumul de injectare calculat	14000
Clasificarea serie	1-1500
Volumul de injectare calculat	15000
Clasificarea serie	1-1600
Volumul de injectare calculat	16000
Clasificarea serie	1-1700
Volumul de injectare calculat	17000
Clasificarea serie	1-1800
Volumul de injectare calculat	18000
Clasificarea serie	1-1900
Volumul de injectare calculat	19000
Clasificarea serie	1-2000
Volumul de injectare calculat	20000

Fig. 5.27 Mașina de injectat aleasă pentru piesa cilindrică



## 5.6. – Testarea programului TimMold 125

Pentru piesa de formă prismatică s-a ales cea mai mică mașină de injectat din cele clase (fig. 5.28).

Ecra04

### Alegere masina de injectat

**Masina pentru microinjectare**

DESMA    BP-10    BP-14    BP-18

**Masina de injectat orizontala**

60 tf    95 tf    150 tf

200 tf    270 tf    360 tf

Numar de cuiburi maxim posibil:

Zona A

Zona B

Revocare    Valdata

Caracteristici	601
Clasificare EURLMAP	cm3 / MP
Diametrul gârșii	mm
Volum de injecție calculat	cm <sup>3</sup>
Lungimea stălu gârșii	L/D
Capacitatea maximă de injecție	cm <sup>3</sup> /1
Presiunea de injecție/presiunea nominală	bar
Cuiba de alimentare asupra gârșii	mm
Viteza gârșii (motor cu cilindree variabilă)	Rotatii/1
Putea motorului hidraulic	CP
Cursa de injecție	mm
Zona încălzire + duza	M
Putea termică de încălzire	kW
Forța de închidere a matriței	kN
Capacitate camera răcirii	mm
Cursa platou mobil	mm
Platou (orizontal x vertical)	mm
Distanța dintre coloane (HxV)	mm
Diametrul coloanelor	mm
Forța de aruncare	kN
Cursa de aruncare	mm
Presiunea în circuitul hidraulic	bar
Distanța dintre coloane (HxV)	mm
Capacitatea circuitului de răcire	litri
Trageri necesare pentru răcirea aliaului	Fig./h
HDI necesar pentru (la 15 gr. C)	m <sup>2</sup> /h
Putea motorului electric	kW
Putea termică instalată	kW
Diametrii de susținere	mm
Greutate netă	kg

Fig. 5.28 Mașina de injectat aleasă pentru piesa prismatică

d) În această etapă se va alege tipul rețelei de injecție. Pentru piesa de formă cilindrică ce va fi injectată într-o matriță monocuib s-a ales *injecție punctiformă centrală* varianta cu antecameră (fig. 5.29)

Ecra06

### Dimensionare duza pentru injecție punctiformă centrală

Selectați una din următoarele variante constructive:

**Masa piesei de injecție:**  
m =  g

**Opțiune utilizator:**  
d<sub>0</sub> =  mm

Fig. 15.27. Calculul deformării...  
Fig. 15.28. Deformarea...  
Revocare

Fig. 5.29 Dimensionarea duzei pentru injecția punctiformă centrală

În funcție de greutatea piesei, programul va alege din baza de date diametrul ( $d_0 = 1,5\text{mm}$ ) al duzei.

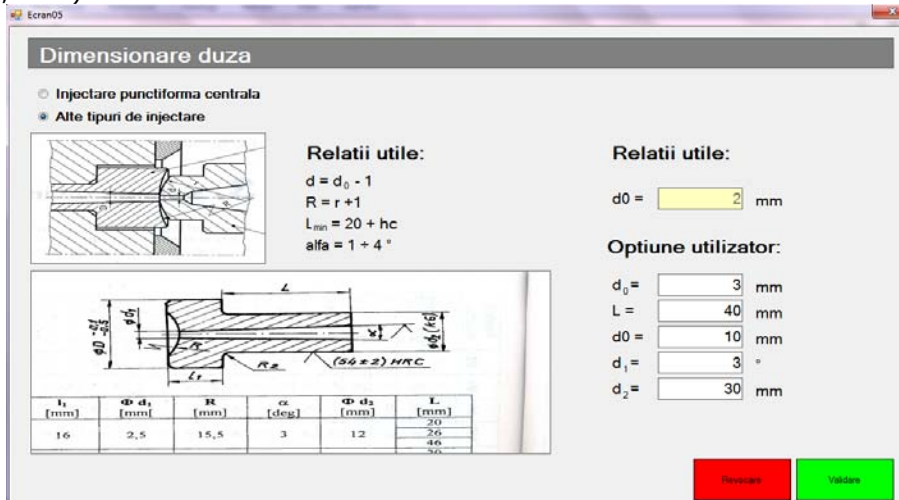


Fig. 5.30 Dimensionarea duzei pentru injecția piesei cilindrice

La injecția piesei cilindrice vor trebui definite toate elementele ce compun o rețea de distribuție: culee, canale principale/secundare și digul. Pentru dimensionarea culeii (fig. 5.30), operatorul trebuie să introducă dimensiunile duzei mașinii de injecțat, programul calculând automat diametrul de vârf al culeii.

Următoare fază este cea de dimensionare a canalelor de distribuție (fig. 5.31). S-au ales canale de distribuție semisferice, iar datele recomandate de program se pot vedea în figură.

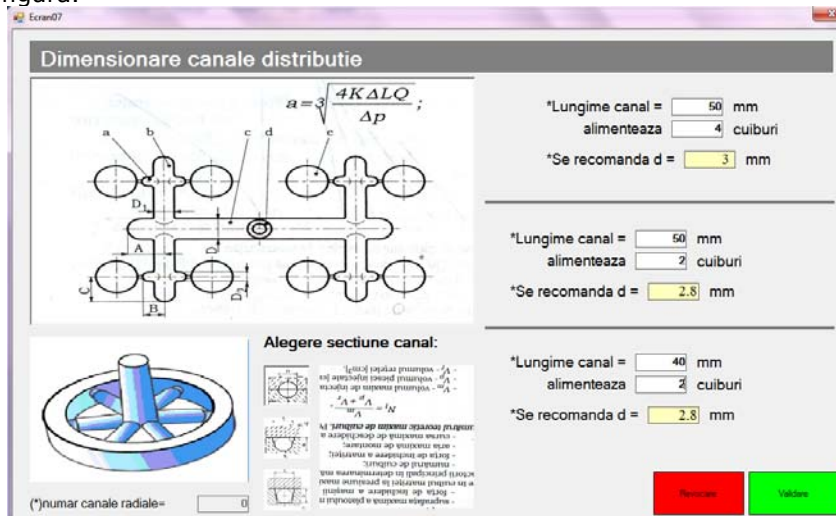


Fig. 5.31 Dimensionarea canalelor de distribuție principale/secundare

5.6. – Testarea programului TimMold 127

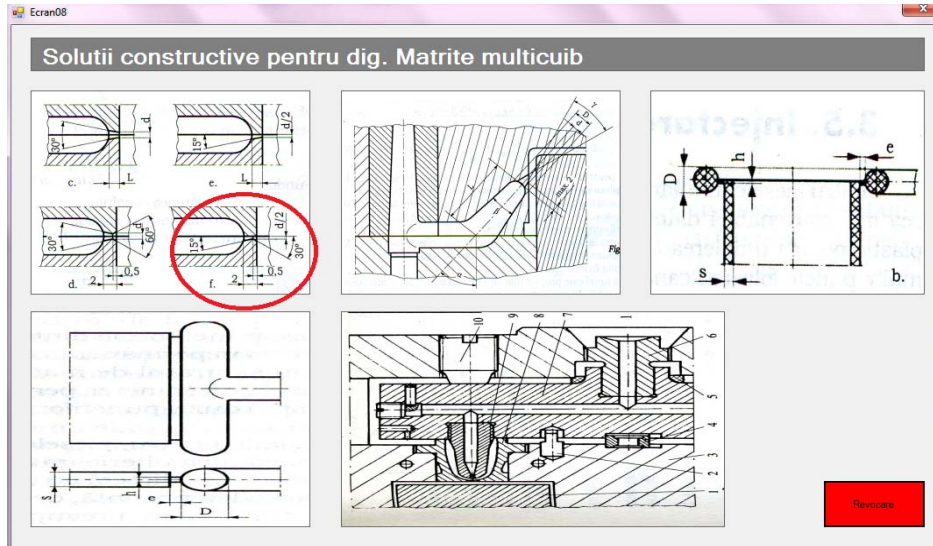


Fig. 5.32 Alegerea tipului de dig

Ultima fază în realizarea rețelei de injecție este cea de dimensionare a digului (fig. 5.32) – astfel s-a ales construcția unui dig *semicircular cu protecție*, iar programul a calculat automat valorile corespunzătoare (fig. 5.33).

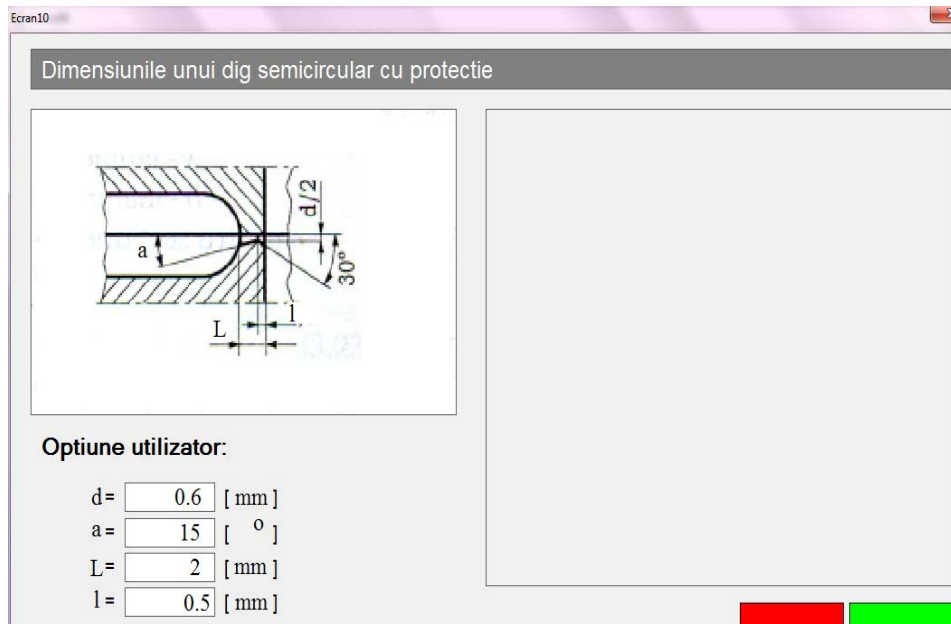


Fig. 5.33 Dimensiunile unui dig semicircular cu protecție

Astfel, după ce s-a încheiat și această etapă, piesele și rețeaua de injectare ce vor fi supuse simulării într-un mediu CAE arată ca în fig. 5.34.



Fig. 5.34 Ansamblul piese + rețea de distribuție

e) Din **Capitolul 2** avem plăcile de formare (fig. 5.35) pentru cele două piese, în cele ce urmează vor fi testate funcțiile modului de *Prelucrare a plăcilor de formare* pentru a obține planificarea tehnologică.

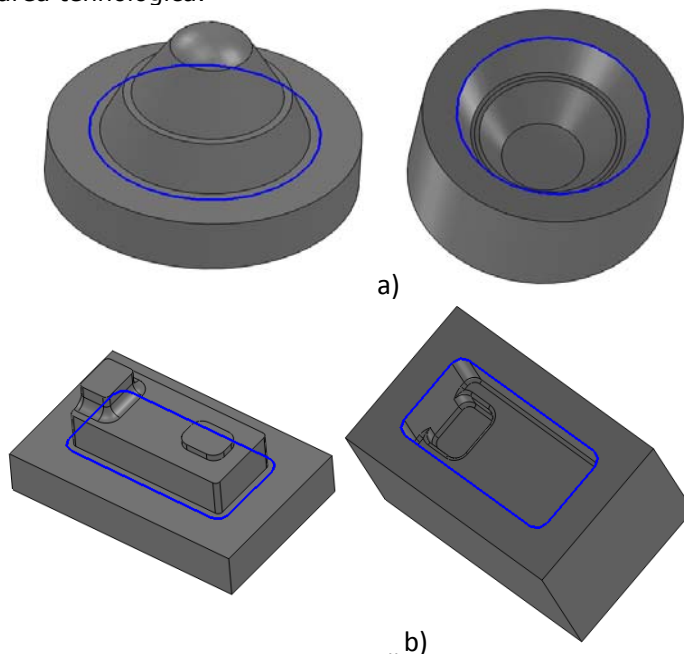


Fig. 5.35 Plăcile de formare  
a – plăcile de formare pentru piesa cilindrică, b – plăcile de formare pentru piesa prismatică

Urmărind pașii amintiți mai sus, s-a realizat planificarea tehnologică a cavității piesei cilindrice și a poansonului piesei prismatice.

Astfel, în primă fază, au fost definite dimensiunile semifabricatului (fig. 5.36).

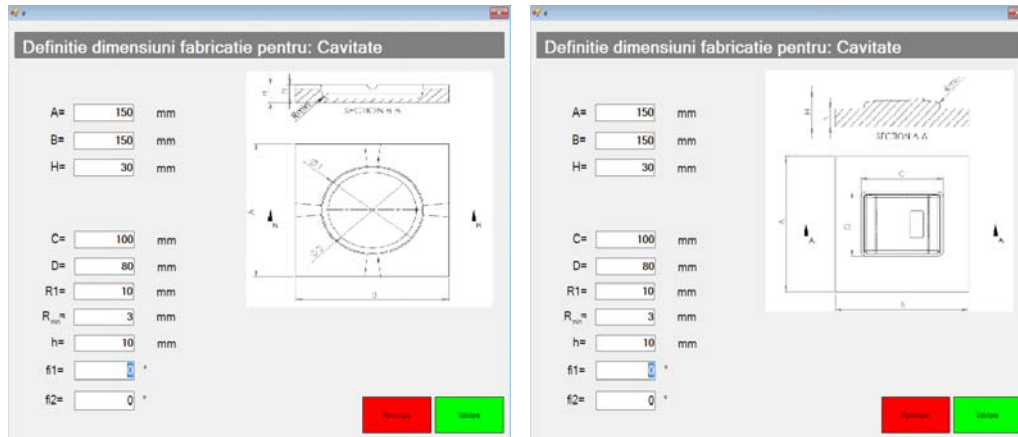


Fig. 5.36 Dimensionarea plăcilor de formare

a – dimensionarea cavității piesei cilindrice, b – dimensionarea poansonului piesei prismatice

Urmează faza de alegere a materialului pentru cele două semifabricate. Pentru că testăm programul **TimMold**, vom alege ca material pentru cavitatarea piesei cilindrice *Oțel aliat* și pentru poansonul piesei prismatice *Aluminiu* (fig. 5.37 a, b).



Fig. 5.37 Alegerea materialului

a – Oțel aliat pentru cavitatarea piesei cilindrice, b – Aluminiu pentru poansonul piesei prismatice

Ultima opțiune ce i se oferă operatorului este de a alege tratamentul termic aplicat celor două plăci de formare. Astfel, pentru cavitatarea piesei cilindrice se alege un

tratament de *Îmbunătățire*, iar pentru poansonul piesei prismatice *nu se va face nici un tratament* (fig. 5.38 a, b).



a) b)

Fig. 5.38 Alegerea tratamentului termic

a – Îmbunătățire pentru cavitatea piesei cilindrice, b – Fără tratament termic pentru poansonul piesei prismatice

Acestea sunt posibilitățile pe care le poate alege operatorul, pe baza informațiilor, programul, consultând baza de date, va afișa planificarea tehnologică (fig. 5.39, fig. 5.40)

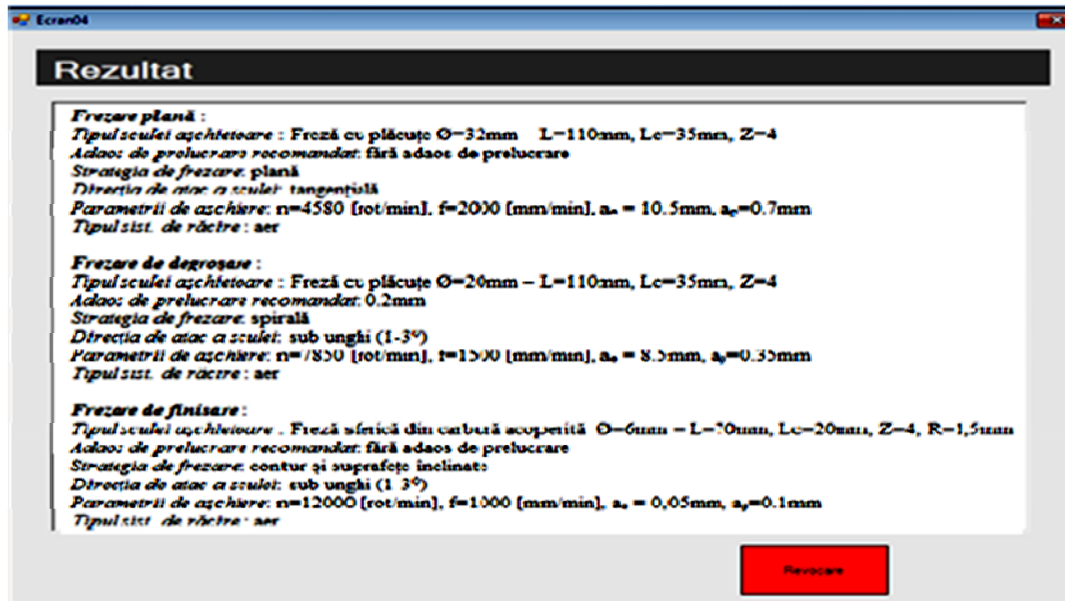


Fig. 5.39 Rezultatele pentru poansonul piesei prismatice

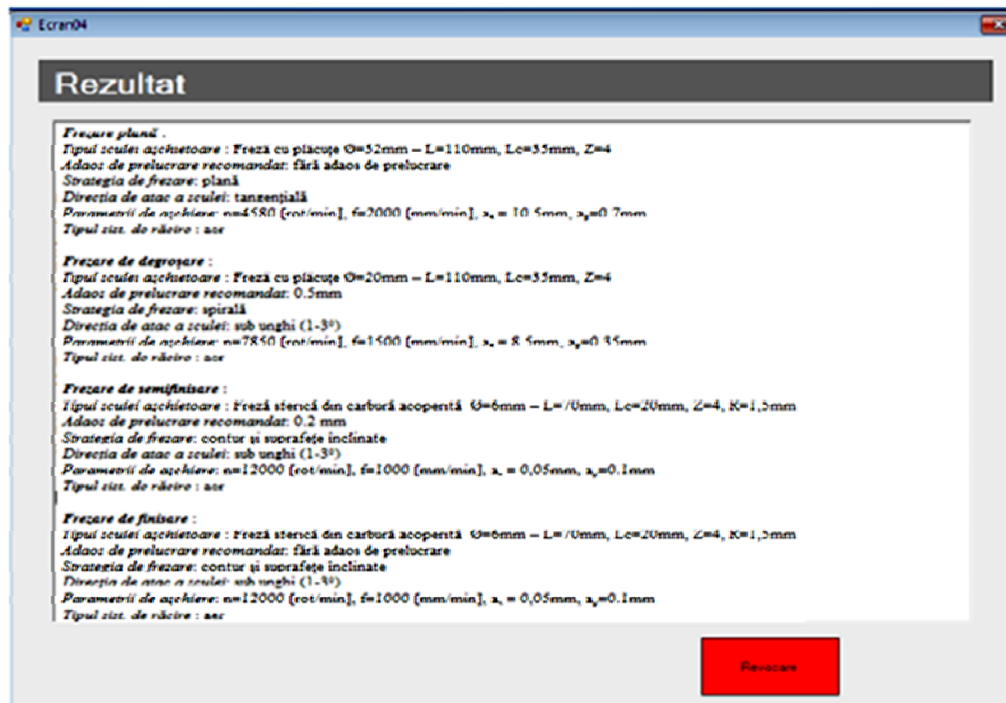


Fig. 5.40 Rezultatele pentru cavitatea piesei cilindrice

## 5.7 Concluzii

Acest capitol pune accent pe descrierea programului **TimMold**, fiind descris în detaliu fiecare pas ce trebuie făcut de operatorul care pornește de la câteva detalii pe care le are despre piesa supusă injectării și, încet-încet, alege materialul optim, mașina de injectat și dimensionează rețeaua de injectare. Pașii urmați cu ajutorul programului reduc cu mult varianta de proiectare clasică prin calcul tabelar. Programul, printr-un modul specializat prelucrărilor prin așchiere, permite realizarea unui plan tehnologic pentru cele două plăci de formare ale matriței.



## Cap 6 Concluzii, contribuții originale și direcții viitoare de cercetare

Lucrarea se înscrie în contextul cercetărilor care au ca scop dezvoltarea produselor rezultate din procesele de injectare a materialelor polimerice prin folosirea unei platforme virtuale ce constituie în esență un sistem expert.

Având în vedere obiectivele propuse, precum și stadiul actual al cunoașterii în domeniu, s-a considerat necesară structurarea cercetării în următoarele etape:

- o sinteză asupra specificității caracteristicilor și fabricației prin injectare a produselor din materiale plastice;
- o sinteză privind studiul principiilor de operare a sistemelor expert dedicate matrițelor de injectat;
- cercetări experimentale desfășurate pe o platformă virtuală definită pe criteriul versatilității maxime asociată cu costuri minime și al cărui efect constă în dimensionarea cavităților de matriță, respectiv fabricația propriu-zisă a acestora;

Rezultatele studiilor teoretice și ale cercetărilor experimentale efectuate în cadrul tezei permit stabilirea următoarelor contribuții originale:

1. Realizarea unei analize referitoare la specificitatea materialelor plastice în obținerea prin injectare a diverselor produse. Se pune accent mai ales pe proiectarea cavității matriței, în contextul în care realizarea unei matrițe de injectare a materialelor plastice (plăci, duze, coloane, etc.) nu mai constituie un efort prea mare, datorită apariției și folosirii tot mai frecvente a cataloagelor standardizate (HASCO), concepția și fabricația matrițelor rămânând un proces de durată.

2. Se face o optimizare a unui proces de injectare a materialelor polimerice care presupune o pregătire profesională adecvată a personalului și o bogată experiență individuală. Controlul individual al procesului de injectare pe baza încercărilor este în general consumator de timp. În general, această metodă de control este bazată pe intuiția operatorului și pe baza unor "reguli de aur" pe care operatorul le dezvoltă într-o anumită perioadă de timp, în timp ce lucrează cu diferite materiale, presiuni, temperaturi și setări de timp.

3. Analiza stadiului actual în domeniul sistemelor expert și impactul acestor sisteme în domeniul industrial. Sunt prezentate particularitățile acestor sisteme expert cu avantajele și dezavantajele lor.

4. S-a realizat un **program numit TimMold** care ajută operatorul la proiectarea matrițelor de injectare și la planificarea tehnologică a fazelor de prelucrare a plăcilor de formare (cavitate și poanson).

Programul expert **TimMold**, conceput și dezvoltat pe baza implementării unor proceduri specifice sistemelor expert este versatil, prietenos în aplicare, oferind adesea utilizatorului alternativa care să stimuleze creativitatea acestuia.

Este un instrument de lucru alternativ proiectanților din întreprinderi specializate care folosesc frecvent softuri profesionale elaborate și costisitoare.

Este un instrument foarte util și recomandat celor ce lucrează în IMM-uri a căror disponibilitate financiară și de personal specializat este limitată în același timp.

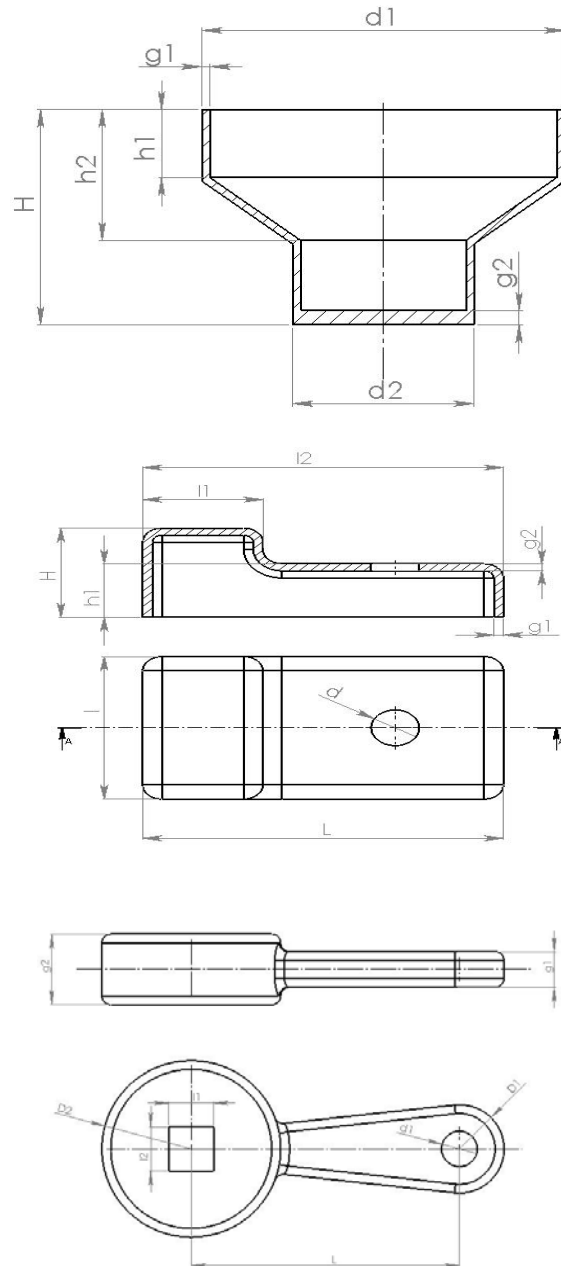
Programul expert **TimMold** este însă o soluție modernă și imediat disponibilă pentru universitățile de tip politehnic din România atât pentru formarea profesională, cât și pentru lucrări de asistență tehnică pentru industrie.



Studiile și cercetările efectuate au condus la deschiderea unor noi direcții de cercetare, care urmează a fi abordate în viitor:

1. Implementarea programului expert **TimMold** la nivelul întreprinderilor și urmărirea feedback-ului din partea acestora.
2. Lărgirea paletei familiilor de piese cu aplicabilitate în cazul sistemului expert **TimMold**.
3. Extinderea cercetărilor și în cazul injectării pieselor foarte mici (micro-injectare).

**A.1. Tipuri de piese alese**  
**Specifice programului TimMold**



## A.2. Comportamentul la ardere al materialelor plastice

Material e	Fara flacara	Arde dar se stinge dupa indepartarea flacarii			Continua sa arda si dupa indepartarea flacarii				Fum	Observatii
	Miros	Miros	Culoare flacara	Topitura (picura topita)	Miros	Culoare flacara	Topitur a (picura topita)	Viteza de arder e		
ABS	-	-	-	-	Usturato, caustic	Galben, cu margini albastre	DA	Incet	Negru	Temperatura de autoinflamare a ABS este 450-500°C. Aprinderea poate fi provocată și la 330°C.
CA	-	Acru	Verde- galbuie	NU	Acru	Galben	DA	Incet	Negru slab	Flacara poate produce scantei
PS	-	-	-	-	Dulceag (de stiren)	Galben	DA	Rapid	Negru	
PEJD	-	-	-	-	Parafina sau ceara arsa	Albastru cu marginie galbena	DA	Incet	Nu are	Topitura pluteste in apa
PEID	-	-	-	-	Parafina sau ceara arsa	Albastru cu marginie galbena	DA	Incet	Nu are	
PP	-	-	-	-	Dulceag	Albastru cu marginie galbena	DA	Incet	Putin negru	Topitura pluteste in apa, mai dificila de indepartat prin razuire
PA6	-	-	-	-	Lana arsa	Galbena spre bleu	NU	Incet	Negru	In timpul arderii materialul se înmoaie și spumează;
PVC-M	-	-	-	-	Acid	Verde uneori	NU	Incet	Dens	

## A.3. Condițiile de procesare

Nr. Crt.	Material	Temp. injectare [grd. C]		Temp. Matrită [grd. C]		Pinj [bar]		PU [% din Pinj]		Viteza injectare Vinj niv. 1-3	Contractie specifică [%]		Densitate [g/cm <sup>3</sup> ]		Uscarea materialului			Contrapresiunea la dozare [bar]		Material reciclat admis [%]
		min	max	min	max	min	max	min	max		min	max	nec	ore	grd C	min	max			
1	ABS	220	260	50	85	800	1600	45	60	3	0,4	0,6	0,99	1,15	1	3	70	100	250	30
2	CA	210	225	60	80	650	1350			2	0,6	0,7	1,27	1,31	1	3	80	40	80	50
3	PS	210	230	20	60	600	1600	40	80	3	0,4	0,6	1,04	1,06	1	2	55	100	200	20
4	PEJD	180	220	20	40	600	1200	20	50	2	1,5	3,5	0,91	0,92	0	2	65	50	80	100
5	PELD	250	280	20	60	600	1500	30	100	2	1,5	4	0,94	0,96	0	2	65	80	100	40
6	PP	260	300	20	60	800	1800	50	100	3	1,2	2,5	0,9	0,91	0	2	35	100	200	20
7	PA6	250	260	20	120	700	1600	20	60	3	1	1,5	1,14		1	3	70	50	100	10
8	PVC-M	170	190	20	60	600	1500	50	80	1	0,8	2,5	1,15	1,35	0	2	60	40	120	30
9	POM	205	215	60	100	1200	1700	100	100	2	1,5	2,8	1,41	1,42	1	4	80	100	200	30
10	PET a	280	290	110	140	1200	1600	50	70	2	0,2	0,4	1,37		1	4	100	50	100	30

## A.4. Proprietățile chimice ale materialelor plastice

Nr. Crt.	Material	Stabilitate la	Instabilitate la
1	ABS	baze, acizi slabi, ulei, petrol, detergenți, benzina	cetone, acizi concentrați, eteri, esteri
2	CA	benzina, ulei, eter, apa	acizi concentrați, acetona
3	PS	acizi și baze, alcool, ulei mineral	esteri, cetone, eteri, benzina, carburanți
4	PEJD	acizi, baze, alcooli, esteri, uleiuri	benzol, benzina, carburanți, tetraclorura de carbon
5	PEID	acizi, baze, alcooli, esteri, uleiuri	tetraclorura de carbon, benzina, carburanți
6	PP	acizi și baze slabe, uleiuri, alcooli, cetone, esteri	acizi și baze concentrate, benzina, carburanți
7	PA6	baze slabe, esteri, hidrocarburi halogenate	acizi, baze concentrate, cetone
8	PVC -M	acizi și baze slabe, ulei, grăsimi	alcooli, cetone, esteri, benzina, carburanți
9	POM	acizi și baze slabe, baze tari, benzine, ulei, alcool	acizi concentrați
10	PET a	săruri, acizi și baze slabe, combustibil, ulei	acizi și baze concentrate, cetone, esteri

### A.5. Proprietățile electrice ale materialelor plastice

Nr. Crt.	Material	Rezistivitate electrică de volum [Ωcm]		Constanta dielectrică la 60 Hz [-]		Factor de pierdere dielectrică la 60 Hz [-]	
		min	max	min	max	min	max
1	ABS	(1...4.8)•10//16		2.5	5	(3...8)•10//-4	
2	CA	10//10	10//14	3.5	7.5	0.01	0.06
3	PS	10//15	10//16	2.5	2.6	(2.5...4)•10//-4	
4	PEJD	>10//17		2.3		< 5•10//-4	
5	PEID	10//18		2.4		< 4•10//-4	
6	PP	>10//16		2.2	2.6	< 5•10//-4	
7	PA6	10//12	10//15	3.9	5.5	0.04	0.06
8	PVC -M	10//11	10//13	5	9	0.008	0.15
9	POM	10//14	10//15	3.7		(4.8...6)•10//-4	
10	PET a	4• 10//16		4		0.002	

**A.6.** Proprietățile fizice ale materialelor plastice

Nr. Crt.	Material	Densitate [g/cm <sup>3</sup> ]		Absorbția de apă [ %]		Contractia specifică	
		min	max	min	max	min	max
1	ABS	0.99	1.15	0.2		0.4	0.6
2	CA	1.27	1.31	5		0.4	0.7
3	PS	1.04	1.06	0.5		0.4	0.6
4	PEJD	0.91	0.92	0		1.5	3.5
5	PEID	0.94	0.96	0		1.5	4
6	PP	0.9	0.91	0		1.2	1.25
7	PA6	1.14		2.8		1	1.5
8	PVC -M	1.15	1.35	0.8		0.8	2.5
9	POM	1.41	1.42	0.2	0.9	1.5	2.8
10	PET a	1.37		0.5	0.6	0.2	0.4

## A.7. Proprietățile mecanice ale materialelor plastice

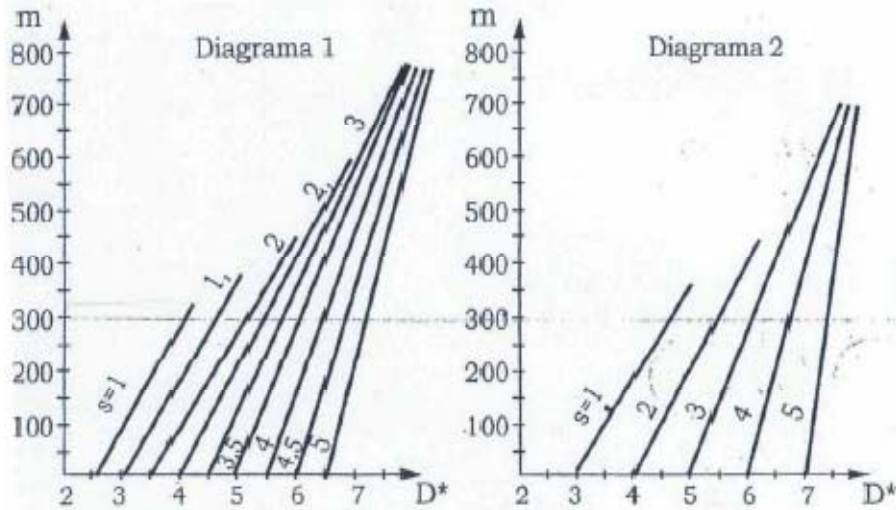
Nr. Crt.	Material	Rezistența la tracțiune [MPa]		Alungirea la rupere		Rezistența la compresiune [MPa]		Rezistența la încovoiere [MPa]		Duritate Rockwell	
		min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
1	ABS	17	62	2.3	3	0		24	93	30	118
2	CA	30	65	6	70	90	250	35	78	70	120
3	PS	30	80	1	4	0		50	100	68	80
4	PEJD	10	11	80	725	28		0		11	
5	PEID	20	35	12	400	17		19	25	30	
6	PP	28	37	200	700	37	55	42	55	85	110
7	PA6	48	82	50		46	90	0		103	109
8	PVC -M	7	25	200	450	7	12	funcție de plastifiere		40	100
9	POM	62	70	8	12	110	125	91	98	80	90
10	PET a	74		50		125		0		100	



**A.8.** Proprietățile termice ale materialelor plastice

Nr. Crt.	Material	Căldura specifică [cal/°C]		Coeficient de dilatare termică [ $10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ]	
		min	max	min	max
1	ABS	0.3	0.4	8.5	10.3
2	CA	0.3	0.42	8	18
3	PS	0.32		6	8
4	PEJD	0.46	0.55	10	20
5	PEID	0.46	0.55	11	30
6	PP	0.46		3.8	30.6
7	PA6	0.4	0.6	7	
8	PVC -M	0.3	0.5	7	25
9	POM	0.33	0.35	8.1	8.5
10	PET a	0.28		7	

**A.9. Diagrama 1** este valabilă pentru PS, ABS, SAN, CAB , iar **Diagrama 2** este valabilă pentru PE, PP, PA, PC, POM ...., astfel folosindu-se o hârtie milimetrică s-au realizat tabelele cu valori pentru diametrul canalelor de injectare.



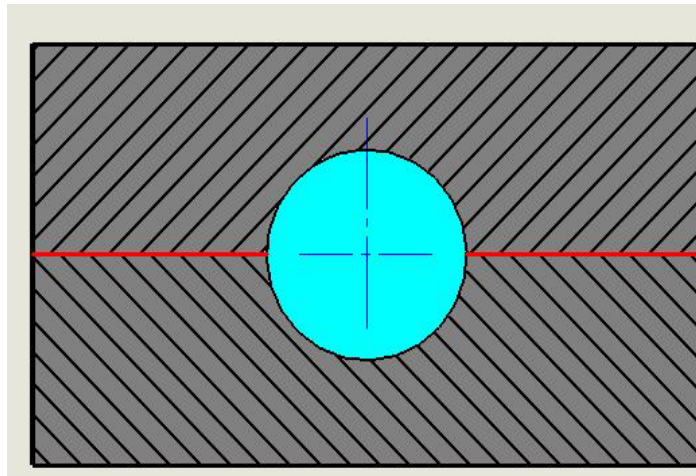
m [g]/ s [mm ]	Determinarea secțiunilor canalelor de distribuție valabil pentru ABS, SAN,PS, CAB																				
	0,0 1	0,0 5	0,1 5	0,1 5	1	50	10 0	15 0	20 0	25 0	30 0	35 0	40 0	45 0	50 0	55 0	60 0	65 0	70 0	75 0	
0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	2,7 5	3	3,3	3,6 5	3,7 5	4,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,5	0	0	0	0	0	3,2 5	3,5	3,8	4,2	4,3 5	4,6	4,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	3,7 5	4	4,3 5	4,6	4,8 5	5,1 5	5,4	5,7	6	0	0	0	0	0	0	0
2,5	0	0	0	0	0	4,2	4,5	4,7	4,8 5	5,2	5,4 5	5,7	5,9 5	6,2	6,4	6,7	6,8 5	7,1	7,3	7,5	7,6 5
3	0	0	0	0	0	4,7	4,9	5,1	5,3	5,5	5,7 5	6	6,2	6,4	6,6	6,8 5	7,1	7,3	7,5	7,6 5	7,7
3,5	0	0	0	0	0	5,1	5,3	5,5	5,6 5	5,8 5	6,0 5	6,3	6,4 5	6,6 5	6,8 5	7	7,3	7,4 5	7,6 5	7,8	8
4	0	0	0	0	0	5,6	5,8	5,8	6,1	6,3	6,4 5	6,6 5	6,7 5	6,9 5	7,1 5	7,3	7,4 5	7,6 5	7,8	8	8,1 5
4,5	0	0	0	0	0	6,1 5	6,2 5	6,4	6,6 5	6,7	6,8 5	7	7,1	7,3	7,4	7,5 5	7,7	7,9	8	8,1 5	8,3
5	0	0	0	0	0	6,6	6,7 5	6,9	6,9 5	7,1	7,2	7,3	7,7 5	7,6	7,7	7,8	7,8 5	8,0 5	8,1 5	8,3	8,3

## A.9. continuare

m [g]/ s [mm]	Determinarea secțiunilor canalelor de distribuție valabil pentru PE,PP,PA,PC,POM																			
	0,01	0,05	0,1	0,5	1	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750
0,5	0	0	0	0	0															
1	0	0	0	0	0	2,75	3	3,3	3,55	3,7	4,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,5	0	0	0	0	0	3,3	3,55	3,8	4,1	4,35	4,65	4,9	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	3,75	4,05	4,3	4,6	4,85	5,15	5,4	5,7	5,95	0	0	0	0	0	0
2,5	0	0	0	0	0	4,25	4,5	4,7	4,95	5,2	5,45	5,7	5,95	6,15	6,4	6,65	6,8	0	0	0
3	0	0	0	0	0	4,7	4,8	5,1	5,35	5,55	5,7	5,95	6,2	6,4	6,65	6,85	7,05	7,2	7,5	7,7
3,5	0	0	0	0	0	5,5	5,3	5,5	5,7	5,85	6,05	6,1	6,45	6,6	6,85	7	7,25	7,45	7,6	7,8
4	0	0	0	0	0	5,65	5,7	5,95	6,15	6,3	6,45	6,6	6,8	6,95	7,15	7,3	7,5	7,7	7,75	7,95
	0	0	0	0	0	6,2	6,25	6,4	6,55	6,7	6,75	7	7,2	7,3	7,45	7,65	7,75	7,85	8	8,15
5	0	0	0	0	0	6,65	6,75	6,85	6,95	7,1	7,2	7,4	7,45	7,55	7,7	7,75	7,9	8	8,15	8,25

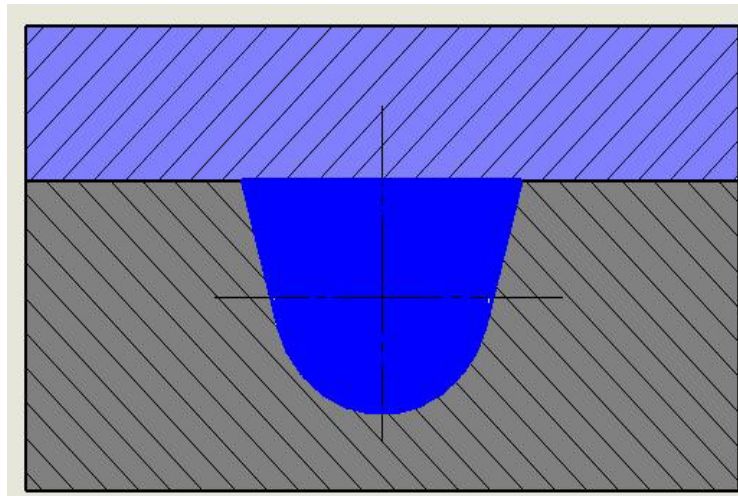
**A.10.**

*Dimensionarea secțiunilor canalelor de distribuție în funcție de grosimea piesei*



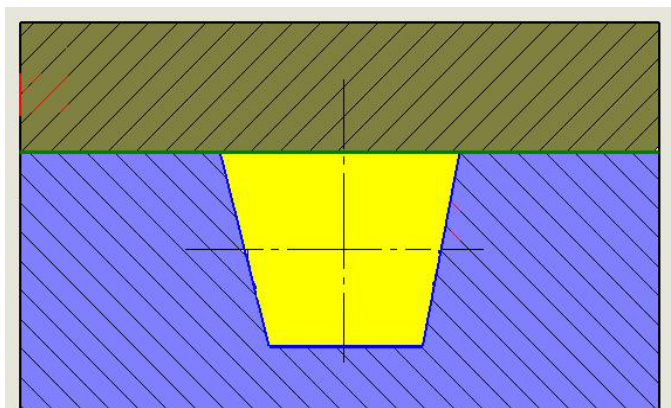
<b>S<sub>max</sub> [mm]</b>	<b>D diametrul secțiunii [mm]</b>
<b>0.5</b>	<b>2</b>
<b>1</b>	<b>2.5</b>
<b>1.5</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>3.5</b>
<b>2.5</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>4.5</b>
<b>3.5</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>5.5</b>
<b>4.5</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>6.5</b>
<b>5.5</b>	<b>7</b>
<b>6</b>	<b>7.5</b>
<b>6.5</b>	<b>8</b>
<b>7</b>	<b>8.5</b>
<b>7.5</b>	<b>9</b>
<b>8</b>	<b>9.5</b>
<b>8.5</b>	<b>10</b>
<b>9</b>	<b>10.5</b>
<b>9.5</b>	<b>11</b>
<b>10</b>	<b>11.5</b>

A.10. continuare



<b>Smax [mm]</b>	<b>D diametrul sectiunii [mm]</b>	<b>L latime canal [mm]</b>
<b>0.5</b>	<b>2</b>	<b>2.5</b>
<b>1</b>	<b>2.5</b>	<b>3.125</b>
<b>1.5</b>	<b>3</b>	<b>3.75</b>
<b>2</b>	<b>3.5</b>	<b>4.375</b>
<b>2.5</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>4.5</b>	<b>5.625</b>
<b>3.5</b>	<b>5</b>	<b>6.25</b>
<b>4</b>	<b>5.5</b>	<b>6.875</b>
<b>4.5</b>	<b>6</b>	<b>7.5</b>
<b>5</b>	<b>6.5</b>	<b>8.125</b>
<b>5.5</b>	<b>7</b>	<b>8.75</b>
<b>6</b>	<b>7.5</b>	<b>9.375</b>
<b>6.5</b>	<b>8</b>	<b>10</b>
<b>7</b>	<b>8.5</b>	<b>10.625</b>
<b>7.5</b>	<b>9</b>	<b>11.25</b>
<b>8</b>	<b>9.5</b>	<b>11.875</b>
<b>8.5</b>	<b>10</b>	<b>12.5</b>
<b>9</b>	<b>10.5</b>	<b>13.125</b>
<b>9.5</b>	<b>11</b>	<b>13.75</b>
<b>10</b>	<b>11.5</b>	<b>14.375</b>

## A.10. continuare



<b>D diametrul secțiunii [mm]</b>	<b>B lățimea minimă a canalului</b>	<b>L lățime canal [mm]</b>
<b>2</b>	<b>1.67</b>	<b>2.5</b>
<b>2.5</b>	<b>2.09</b>	<b>3.125</b>
<b>3</b>	<b>2.51</b>	<b>3.75</b>
<b>3.5</b>	<b>2.93</b>	<b>4.375</b>
<b>4</b>	<b>3.35</b>	<b>5</b>
<b>4.5</b>	<b>3.77</b>	<b>5.625</b>
<b>5</b>	<b>4.19</b>	<b>6.25</b>
<b>5.5</b>	<b>4.61</b>	<b>6.875</b>
<b>6</b>	<b>5.03</b>	<b>7.5</b>
<b>6.5</b>	<b>5.45</b>	<b>8.125</b>
<b>7</b>	<b>5.87</b>	<b>8.75</b>
<b>7.5</b>	<b>6.29</b>	<b>9.375</b>
<b>8</b>	<b>6.71</b>	<b>10</b>
<b>8.5</b>	<b>7.13</b>	<b>10.625</b>
<b>9</b>	<b>7.55</b>	<b>11.25</b>
<b>9.5</b>	<b>7.97</b>	<b>11.875</b>
<b>10</b>	<b>8.39</b>	<b>12.5</b>
<b>10.5</b>	<b>8.8</b>	<b>13.125</b>
<b>11</b>	<b>9.22</b>	<b>13.75</b>
<b>11.5</b>	<b>9.64</b>	<b>14.375</b>

**A.11. Injectarea convențională**

Diametrul rețelei $\Phi$ (mm)	Lungimea maximă a rețelei (mm)	
	Vâscozitate scăzută	Vâscozitate ridicată
3	100	50
3.5	116.65	58.5
4	133.3	67
4.5	149.95	75.5
5	166.6	84
5.5	183.25	92.5
6	200	100
6.5	213.3	108.5
7	226.6	117
7.5	239.9	125.5
8	253.2	134
8.5	266.5	142.5
9	280	150
9.5	286.25	153.2
10	292.5	156.4
10.5	298.75	159.6
11	305	162.8
11.5	311.25	166
12	317.5	169.2
12.5	323.75	172.4
13	330	175
13.5	336.25	178.9
14	342.5	182.8
14.5	348.75	186.7
15	355	190

**A.12. Microinjectarea**

<b>Diametrul rețelei</b>	<b>Lungimea maximă a rețelei (mm)</b>	
<b><math>\Phi</math> (mm)</b>	<b>Vâscozitate scăzută</b>	<b>Vâscozitate ridicată</b>
3	100	50
2.9	96.67	48.34
2.8	93.34	46.68
2.7	90.01	45.02
2.6	86.68	43.36
2.5	83.35	41.7
2.4	80.02	40.04
2.3	76.69	38.38
2.2	73.36	36.72
2.1	70.03	35.06
2	66.7	33.4
1.9	63.37	31.74
1.8	60.04	30.08
1.7	56.71	28.42
1.6	53.38	26.76
1.5	50.05	25.1
1.4	45	22.5
1.3	40	20
1.2	35	17.5
1.1	30	15
1	25	12.5
0.9	21.6	10.8
0.8	18.2	9.1
0.7	14.8	7.4
0.6	11.4	5.7
0.5	8	4
0.4	6	3.2
0.3	4	2.6
0.2	2	1.3
0.1	1	0.55
0	0	0



### A.13. Mașini de injectat clasice 60-360T



Tabel 1. Caracteristicile tehnice ale mașinii de injectat SERIA OTTO 60 t

<b>Caracteristici</b>		<b>60 t</b>
Clasificare EUROMAP	cm <sup>3</sup> / MP	192/60
Diametru șurub	mm	30 35
Volum de injecție calculat cm <sup>3</sup>		96 131
Lungime utila șurub	L/D	24,5 21
Capacitatea maxima de injecție	cm <sup>3</sup> /1	115 156
Presiunea de injecție/asupra materialului	bar	1985 1450
Cuplu de antrenare asupra șurubului	Nm	485
Viteza șurub (motor cu cilindree variabilă)	rotații/1	306 + 707
Puterea motorului hidraulic	CP	25
Cursa de injectare	mm	250
Zone încălzite + duza	N	3+1
Putere totală de încălzire	Kw	6,75
Forța de închidere a matriței	Kn	590
Grosime matrița min/max	mm	90 + 410
Cursa platou mobil	mm	350
Platouri (orizontal x vertical)	mm	500 x 500
Distanța dintre coloane (HxV)	mm	325 x 325
Diametrul coloanelor	mm	58
Forța de aruncare	Kn	34,5
Cursa de aruncare	mm	110
Presiunea in circuitul hidraulic	bar	135
Capacitatea rezervorului de ulei	litri	250
Frigorii necesare pentru răcirea uleiului	frig./ h	6400
H2O necesar pentru (la 15 gr. C) pentru răcirea uleiului	m <sup>2</sup> / h	0,64
Puterea motorului electric	Kw	18,5
Puterea totală instalată	Kw	25,25
Dimensiuni de supraîncărcare	mm	4680x1981x1165
Greutate netă	kg	4100



Tabel 2. Caracteristicile tehnice ale masinii de injectat SERIA OTTO 95 t

<b>Caracteristici</b>		<b>95 t</b>
Clasificare EUROMAP	cm <sup>3</sup> / MP	400/95
Diametru șurub	mm	40 45
Volum de injecție calculat		226 286
Lungime utila șurub	L/D	23,6 21
Capacitatea maxima de injecție	cm <sup>3</sup> /1	123 156
Presiunea de injecție/asupra materialului	bar	1900 1500
Cuplu de antrenare asupra șurubului	Nm	745
Viteza șurub (motor cu cilindree variabila)	rotații/1	153 + 418
Puterea motorului hidraulic	CP	25
Cursa de injectare	mm	320
Zone încălzite + duza	N	3+1
Putere totala de încălzire	Kw	10,5
Forța de închidere a matriței	Kn	950
Grosime matrița min/max	mm	100 + 460
Cursa platou mobil	mm	410
Platouri (orizontal x vertical)	mm	560 x 560
Distanța dintre coloane (HxV)	mm	370 x 370
Diametrul coloanelor	mm	70
Forța de aruncare	Kn	34,5
Cursa de aruncare	mm	130
Presiunea în circuitul hidraulic	bar	135
Capacitatea rezervorului de ulei	litri	320
Frigorii necesare pentru răcirea uleiului	frig./ h	6400
H <sub>2</sub> O necesar pentru (la 15 gr. C) pentru răcirea uleiului	m <sup>2</sup> / h	0,64
Puterea motorului electric	Kw	18,5
Puterea totala instalata	Kw	29
Dimensiuni de supraîncărcare	mm	5375x2025x1315
Greutate neta	Kg	5400



Tabel 3. Caracteristicile tehnice ale mașinii de injectat SERIA OTTO 150 t

Caracteristici		150 t	
Clasificare EUROMAP	cm <sup>3</sup> / MP	576/150	
Diametru șurub	mm	45	50
Volum de injecție calculat	cm <sup>3</sup>	318	392
Lungime utila șurub	L/D	23,3	21
Capacitatea maxima de injecție	cm <sup>3</sup> /1	156	193
Presiunea de injecție/asupra materialului	bar	1926	1560
Cuplu de antrenare asupra șurubului	Nm	970	
Viteza șurub (motor cu cilindree variabila)	rotații/1	197 + 536	
Puterea motorului hidraulic	CP	30	
Cursa de injectare	mm	370	
Zone încălzite + duza	N	3+1	
Putere totala de încălzire	Kw	12,8	
Forța de închidere a matriței	Kn	1470	
Grosime matrița min/max	mm	155 + 560	
Cursa platou mobil	mm	500	
Platouri (orizontal x vertical)	mm	690 x 690	
Distanța dintre coloane (HxV)	mm	460 x 460	
Diametrul coloanelor	mm	85	
Forța de aruncare	Kn	50	
Cursa de aruncare	mm	160	
Presiunea in circuitul hidraulic	bar	135	
Capacitatea rezervorului de ulei	litri	380	
Frigorii necesare pentru răcirea uleiului	frig./h	7680	
H2O necesar pentru (la 15 gr. C) pentru răcirea uleiului	m <sup>2</sup> / h	0,77	
Puterea motorului electric	Kw	22	
Puterea totala instalata	Kw	34,8	
Dimensiuni de supraîncărcare	mm	6075x2075x1505	
Greutate neta	Kg	7000	



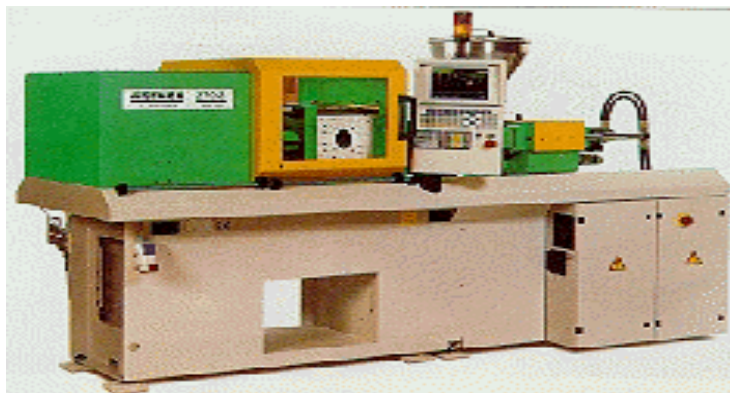
Tabel 4. Caracteristicile tehnice ale mașinii de injectat SERIA OTTO 200 t

<b>Caracteristici</b>		<b>200 t</b>
Clasificare EUROMAP	cm <sup>3</sup> / MP	792/200
Diametru șurub	mm	45 55
Volum de injecție calculat cm <sup>3</sup>		366 546
Lungime utila șurub	L/D	25,6 21
Capacitatea maxima de injecție	cm <sup>3</sup> /1	186 277
Presiunea de injecție/asupra materialului	bar	2160 1450
Cuplu de antrenare asupra șurubului	Nm	1450
Viteza șurub (motor cu cilindree variabila)	rotații/1	149 + 410
Puterea motorului hidraulic	CP	40
Cursa de injecție	mm	420
Zone încălzite + duza	N	4+1
Putere totala de încălzire	Kw	14,3
Forța de închidere a matriței	Kn	1960
Grosime matrița min/max	mm	210 + 630
Cursa platou mobil	mm	550
Platouri (orizontal x vertical)	mm	770 x 770
Distanța dintre coloane (HxV)	mm	510 x 510
Diametrul coloanelor	mm	100
Forța de aruncare	Kn	50
Cursa de aruncare	mm	190
Presiunea în circuitul hidraulic	bar	135
Capacitatea rezervorului de ulei	litri	450
Frigorii necesare pentru răcirea uleiului	frig./ h	8960
H <sub>2</sub> O necesar pentru (la 15 gr. C) pentru răcirea uleiului	m <sup>2</sup> / h	0,9
Puterea motorului electric	Kw	30
Puterea totala instalata	Kw	44,3
Dimensiuni de supraîncărcare	mm	6710x2305x1575
Greutate neta	Kg	9000



Tabel 5. Caracteristicile tehnice ale mașinii de injectat SERIA OTTO 270 t

<b>Caracteristici</b>		<b>270 t</b>
Clasificare EUROMAP	cm <sup>3</sup> / MP	1338/270
Diametru șurub	mm	55 65
Volum de injecție calculat	cm <sup>3</sup>	617 863
Lungime utila șurub	L/D	24,8 21
Capacitatea maxima de injecție	cm <sup>3</sup> /1	223 311
Presiunea de injecție/asupra materialului	bar	2160 1550
Cuplu de antrenare asupra șurubului	Nm	1940
Viteza șurub (motor cu cilindree variabila)	rotații/1	181 + 493
Puterea motorului hidraulic	CP	50
Cursa de injectare	mm	500
Zone încălzite + duza	N	4+1
Putere totala de încălzire	Kw	20
Forța de închidere a matriței	Kn	2650
Grosime matrița min/max	mm	210 + 730
Cursa platou mobil	mm	630
Platouri (orizontal x vertical)	mm	860 x 860
Distanța dintre coloane (HxV)	mm	570 x 570
Diametrul coloanelor	mm	115
Forța de aruncare	Kn	50
Cursa de aruncare	mm	220
Presiunea în circuitul hidraulic	bar	135
Capacitatea rezervorului de ulei	litri	550
Frigorii necesare pentru răcirea uleiului	frig./ h	11200
H2O necesar pentru (la 15 gr. C) pentru răcirea uleiului	m <sup>2</sup> / h	1,12
Puterea motorului electric	Kw	37
Puterea totala instalata	Kw	57
Dimensiuni de supraîncărcare	mm	7565x2355x1755
Greutate neta	Kg	13200



Tabel 6. Caracteristicile tehnice ale mașinii de injectat SERIA OTTO 360 t

<b>Caracteristici</b>		<b>360 t</b>
Clasificare EUROMAP	cm <sup>3</sup> / MP	2055/360
Diametru șurub	mm	65      75
Volum de injecție calculat		1028      1370
cm <sup>3</sup>		
Lungime utila șurub	L/D	24,2      21
Capacitatea maxima de injecție	cm <sup>3</sup> /1	305      407
Presiunea de injecție/asupra materialului	bar	2000      1500
Cuplu de antrenare asupra șurubului	Nm	2910
Viteza șurub (motor cu cilindree variabila)	rotații/1	120 + 281
Puterea motorului hidraulic	CP	60
Cursa de injecție	mm	550
Zone încălzite + duza	N	4+1
Putere totala de încălzire	Kw	27,3
Forța de închidere a matriței	Kn	3530
Grosime matrița min/max	mm	200 + 730
Cursa platou mobil	mm	710
Platouri (orizontal x vertical)	mm	980 x 980
Distanța dintre coloane (HxV)	mm	650 x 650
Diametrul coloanelor	mm	130
Forța de aruncare	Kn	87
Cursa de aruncare	mm	240
Presiunea in circuitul hidraulic	bar	135
Capacitatea rezervorului de ulei	litri	670
Frigorii necesare pentru răcirea uleiului	frig./ h	13440
H2O necesar pentru (la 15 gr. C)	m <sup>2</sup> / h	1,35
pentru răcirea uleiului		
Puterea motorului electric	Kw	45
Puterea totala instalata	Kw	72,3
Dimensiuni de supraîncărcare	mm	8125x2411x1845
Greutate neta	Kg	16000

### Mașini de microinjectat



Tabel 7. Caracteristicile tehnice ale mașinii de injectat Babyplast

Diametru piston [mm]	10	12	14	16	18
Volum [cm <sup>3</sup> ]	4	6,5	9	12	15
Presiunea de injectare [Kg/cm <sup>2</sup> ]	2650	1830	1340	1030	815
Forța de închidere [KN]	62,5				
Forța de deschidere [KN]	4				
Distanța de deschidere [mm]	30-110				
Forța de aruncare [KN]	5				
Presiunea hidraulică [Kg/cm <sup>2</sup> ]	130				
Ciclul de uscare [s]	2,4				
Puterea [Kw]	2,9				
Greutatea [Kg]	120				
Nivelul sunetului [db]	<70				
Alimentare sursa [V]	3~230V. 50/60Hz+earth 3~400V. 50/60Hz+earth				

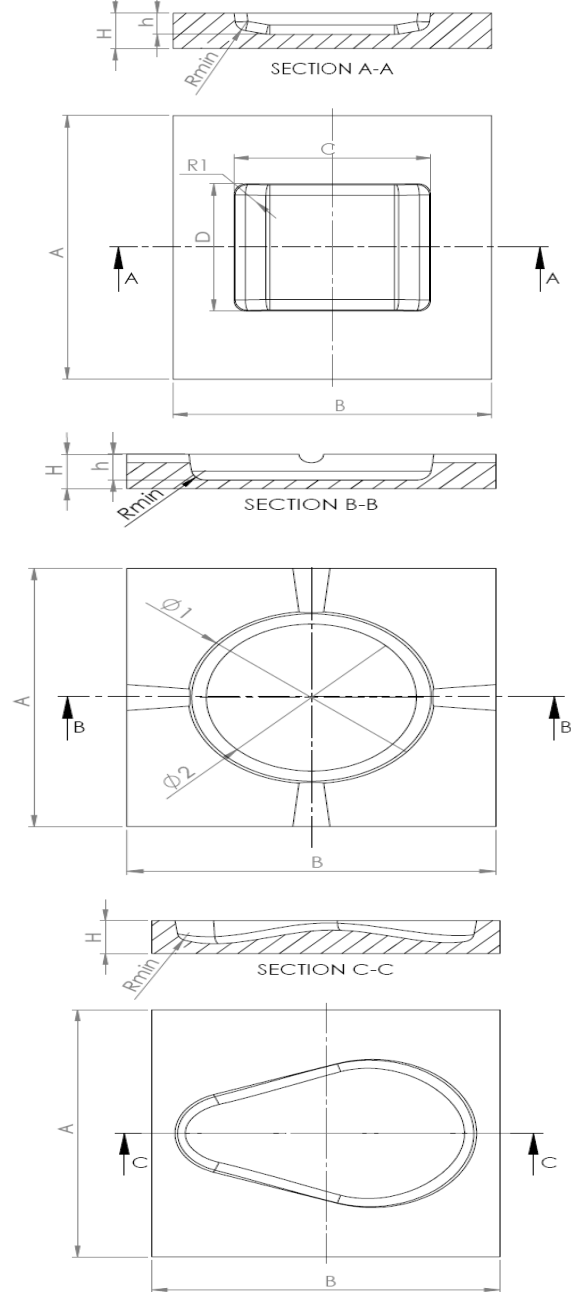


Tabel 8. Caracteristici tehnice ale mașinii de injectat DESMA

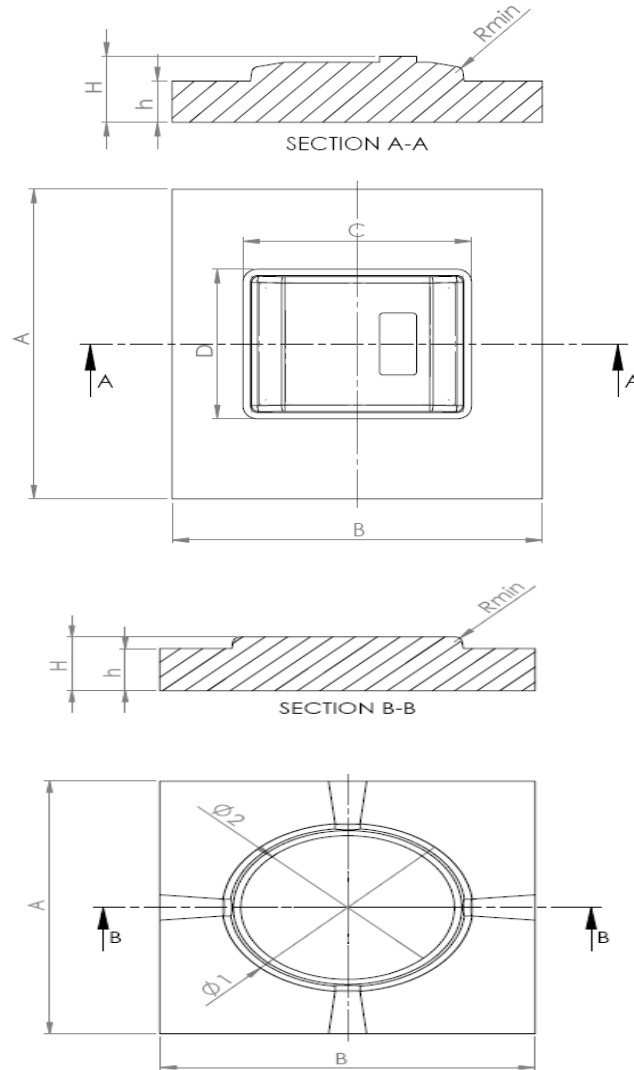
Diametru piston [mm]	3
Volum [mm <sup>3</sup> ]	150
Presiunea de injectare [bar]	3000
Forța de închidere [KN]	10
Forța de deschidere [KN]	4
Distanța de deschidere [mm]	40
Cursa de aruncare [mm]	10
Forța de aruncare [N]	300
Ciclul de uscare [s]	2,4
Dimensiuni maxime matrită [mm]	135
Puterea [Kw]	2,9
Greutatea [Kg]	120
Alimentare sursa [V]	3~230V. 50/60Hz+earth 3~400V. 50/60Hz+earth



**A.14.a. Tipul de cavități alese  
Specifice programului TimMold**



**A.14.b. Tipul de ponoane alese  
Specifice programului TimMold**



**A.15. Baza de date a modului Prelucrarea suprafețelor  
Specifice programului TimMold**

Tipul sculei aschietoare	Ø freza (mm)	L(mm)	Lc(mm)	Z(mm)	R(mm)	Vc(m/min)			fz(mm/Z)			ap(mm)		
						Mole	Mediu(<30HRC)	Dur (35-60HRC)	Mole	Mediu(<30HRC)	Dur (35-60HRC)	Mole	Mediu(<30HRC)	Dur (35-60HRC)
Freza cu placute	18	110	35	4		350	265	120	0.1	0.08	0.08	1	0.5	0.3
Freza cu placute	20	110	35	4		350	265	120	0.1	0.08	0.08	1	0.5	0.3
Freza cu placute	25	110	35	4		350	265	120	0.12	0.12	0.12	1.5	0.75	0.4
Freza cu placute	32	110	40	4		350	265	120	0.12	0.12	0.12	1.5	0.75	0.4
Freza cu placute	32	110	40	5		350	265	120	0.12	0.12	0.12	1.5	0.75	0.4
Freza cilindro- frontala	12	73	29	4		265	145	120	0.11	0.079	0.079	0.3	0.25	0.2
Freza cilindro- frontala	10	73	24	4		265	145	120	0.1	0.051	0.051	0.3	0.25	0.2
Freza cilindro- frontala	8	73	24	4		265	145	120	0.089	0.051	0.051	0.25	0.2	0.15
Freza sferica	6	80	13	4	3	285	125	135	0.06	0.03	0.03	0.15	0.1	0.15
Freza sferica	4	80	11	4	2	285	125	135	0.046	0.022	0.022	0.1	0.1	0.1
Freza sferica	3	80	8	4	1.5	285	125	135	0.03	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1
Freza sferica	2	60	8	4	1	285	125	135	0.02	0.007	0.007	0.1	0.05	0.05

## Bibliografie

- [ESP 04] Jairo Espinosa, Joos Vandewalle, Vincent Wertz "Fuzzy Logic, Identification and Predictive Control" ISBN: 1852338288
- [TRA 93] Traeger, D.H.: *Einführung in die Fuzzy-Logik*. B.G. Teubner, Stuttgart, 1993
- [AIT 99] C. AINSLEY, G. HAIQING, "Cost and performance of injection molding tools produced using slip casting, *Rapid Prototyping Journal*", 1999, 35– 44;
- [CHE 04] ANDRE CHEVAIERL, "Guide du Dessignateur Industriel", Ed. Hachet Technic, 2004
- [ENG 04] Disponibil la adresa: [Engineershandbook.com](http://Engineershandbook.com), 2004
- [FEN 05] C. FENG, C.M. CHEAH , C.K. CHUA, C.W. LEE, K. TOTONG, "Manufacturing Technology" 2005;
- [GRO 96] GROOVER MP, "Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes and systems." Prentice-Hall, NJ(1996);
- [HOP 08] HOPE NEALS, "Manufacturing Business Technology", 2008;
- [ICL 03] ICLANZAN T. – PLASTURGIE-Tehnologia Prelucrării Materialelor Plastice, Ed. Politehnica, Timisoara, 2003
- [ICL 06] ICLANZAN T. – Tehnologia Prelucrării Materialelor Plastice și Compozite, Ed. Politehnica, Timisoara, 2006
- [ICL 95] ICLANZAN T., PLASTURGIE – Tehnologia Prelucrării Materialelor Polimerice, Universitatea Politehnica Timisoara, 1995
- [NAG 07] NAGAHANUMAIAH, K. SUBBURAJ, B. RAVI, Computer aided rapid tooling process selection and manufacturability evaluation for injection mold development, Available online 13 August 2007
- [KUM 02] Aravind Kumbakonam, Terrence L. Chambers, Suren N. Dwivedi, Intelligent Manufacturing Process Tool For Plastic Injection Molding, Proceedings Of 2002 ASEE Gulf- Southwest Annual Conference, The University of Louisiana at Lafayette, March 20-22, 2002
- [STA 03] Stan D. Aplicatii ale ultrasunetelor in procesarea materialelor polimerice, Editura Politehnica Timisoara, 2003
- [STA 04] Stan D.V., Iclanzan T. A. , Tulcan A. Considerations on the optimised design of the ultrasonic horn for industrial applications, *Academic Journal of Manufacturing Engineering –AJME* , vol.2, nr. 3/2004, pg 67.
- [SAM 07] Sammoura F., Kang J.J., Heo Y.M., Jung T.S., Lin L. Polymeric microneedle fabrication using a microinjection molding technique. *Journal of Microsystems Technology 13*: pages 517–522, Springer Verlag, Germany, 2007.
- [GIB 09] Giboz J., Copponnex T. and Mele P. Microinjection molding of Thermoplastic polymers: a review. *Journal of Micromechanics and Microengineering No 17 R96-R109*.
- [KUT 91] Kuttruff H., *Ultrasonics fundamentals and applications*, Elsevier Appl. Sci. , Paris, 1991.
- [KIS 91] El Kissi N., Piau J. M., Proc. GDR 901, Rhéologie pour la transformation des polymères fondus, IMG Grenoble, 171, (1991).
- [COS 08] Cosma Cristian –Studii privind optimizarea tehnicii de RE la realizarea produselor injectate din materiale plastice
- [ABA 94] Abadie J.M.-Initiation a la chimie de polymers –LEM/MAO, Universite de Montpellier II, Science et techniques de Languedoc, 1994

- [AGA 95] Agassant J.F. Vincent M.-Modelisation de l'écoulement des polymeres dans les modules d'injection. Technique de l' Ingenieur 1995
- [SER 99] Seres I- Matrite de injectat Editura Imprimeriei de Vest Oradea 1999
- [SER 98] Seres I - Matrite de injectat in exemple Editura Imprimeriei de Vest Oradea 1998
- [SER 02] Seres I – Materiale termoplastice pentru injectare, tehnologie, incercari, Editura Imprimeriei de Vest Oradea 2002
- [JIE 06] [Jie Zhu](#) and [Joseph C. Chen](#) Fuzzy neural network-based in-process mixed material-caused flash prediction (FNN-IPMFP) in injection molding operations [The International Journal of Advanced Manufacturing Technology Volume 29, Numbers 3-4](#), 308-316, DOI: 10.1007/s00170-005-2528-x , 2006 ISSN 0268-3768.
- [KAD 05] M. Cemal Cakir\_, Ozgur Irfan, Kadir Cavdar - An expert system approach for die and mold making operations, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing 21 (2005) 175–183, ISSN: 0736-5845
- [WIL 02] William Siler , James J. Buckley , "Fuzzy Expert Systems and Fuzzy Reasoning" ISBN-10: 0471388599 2002
- [CJA 98] C. Jain, Lakhmi R.P. Johnson, Yoshiyasu Takefuji, Lofti A. Zadeh. "Knowledge-Based Intelligent Techniques in Industry" ISBN: 9780849398032, 1998
- [COR 98] Cornelius T. Leondes, "Fuzzy Logic and Expert Systems Applications (Neural Network Systems Techniques and Applications)" ISBN: 0124438660, 1998
- [JAI 04] Jairo Espinosa, Joos Vandewalle, Vincent Wertz "Fuzzy Logic, Identification and Predictive Control" ISBN: 1852338288, 2004
- [ADE 02] Adedeji B. Badiru, John Y. Cheung, Fuzzy Engineering Expert Systems with Neural Network Applications, ISBN 0-471-29331-8
- [KAT 01] KATLIN.M. Hango, R. Lakner, M. Gerzson " Intelligent Control Systems: An Introduction with Examples" ISBN: 1402001347,2001
- [JAY 08] Jay Liebowitz- Handbook of Applied Expert Systems, 1st Edition (Editor) ISBN: 0849331064,2008
- [ROS 00 ] D.V.Rosato, [Marlene G. Rosato](#) Injection Molding Handbook, 3rd Edition ISBN: 0792386191, 2000
- [CHU 05] Chua C. K. , S. M. Chou and T. S. Wong, (march 31, 2005), A study of the state-of-the-art rapid prototyping technologies , [The International Journal of Advanced Manufacturing Technology](#), ISSN0268-3768,
- [DOM 07] Dominique Scaravetti, Patrice Dubois and Robert Duchamp, (October 27, 2007), Qualification of rapid prototyping tools: proposition of a procedure and a test part, [The International Journal of Advanced Manufacturing Technology](#), ISSN0268-3768
- [HAG 04] Hague R., S. Mansour, N. Saleh and R. Harris,( October 28, 2004), Materials analysis of stereolithography resins for use in Rapid Manufacturing , [Journal of Materials Science](#), ISSN0022-2461
- [PRA 05] Pratik E. Nikam, John L. Frater, ( June 6, 2005) , Application of Subtractive Rapid Prototyping (SRP). For RSP Tooling, Mechanical Engineering Department, Cleveland State University, pp 33-34
- [SOT 07] Sotiris L. Omiroua, Andreas C. Nearchoub, (2007) , A CNC machine tool interpolator for surfaces of cross-sectional design, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 23 (2007) p.257–264
- [CMC 02] C.M. Cheah, C.K.Chua, C. W. Lu, S.T. Lim, K.H. Eu, L.T. Lin, Rapid sheet Metal Manufacturing part 2: direct rapid tooling, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 14, No. 2, , London, 2002, ISSN 1355-2546

- [CKC ] C.K. Chua, S.M. Chou, T.S. Wong, A study of the state-of-the art Rapid Prototyping technologies, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, ISSN 0268-3768.
- [MTH 03] M.T. Hayasi, B. Asiabanpour, Machine path generation using direct slicing from design-by-feature solid model for Rapid Prototyping, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 45, No. 1-2, , pp. 170-180, ISSN 1433-3015.
- [AWI 07] A. Willis , J. Speicher, D. B. Cooper, Rapid prototyping 3D objects from scanned measurement data, Journal of Image and Vision Computing, Vol.25, July 2007, pp.1174-1184, ISSUE 7
- [IPA 05] I. Pahole , I. Drstvensek, M. Ficko, J. Balic, Rapid prototyping processes give new possibilities to numerical copying techniques, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 164-165, May 2005, pp.1416-1422, ISSN 09240136.
- [AGE 2000]A. Gebhard, Rapid Prototyping, Munchen 2000, ISBN 3-446-21242-6.
- [KAN 05] Kang-Soo Lee, S. H. Lee, Network Based Engineering Design Education, International Conference on Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering System, No. 9, Vol. 3684, September 2005, pp.48-55, ISBN 3-540-28894-5.
- [HLA 11] H. Lan, Web-based rapid prototyping and manufacturing systems: A review, Journal of Computers in Industry,Vol.62, September 2011, ISSN 0166-3615.
- [JAH ]J. A. HINES, Determination of Interfacial Heat Transfer Boundary Conditions in an Aluminum Low-Pressure Permanent Mold Test Casting, Metallurgical and Materials Transactions, Vol.35, Issue.2, pp.299-311, ISSN:10735615.
- [CKK 07] C.K. Kwong, G.F. Smith, A compotional System for Process Design of Injection Moulding: Combining a Blackboard-Based Expert System and a Case-Based Reasoning Aproach, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, PP.350-357, ISSN:0268-3768.
- [[KSC -06] K. S. Chin, A. Chan , J.B. Yang, Development of a fuzzy FMEA based product design system, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, .
- [FIT 05] F.I. Trifa, G. Montavon, C. Coddet, Model-Based Expert System for Design and Simulation of APS Coatings, Journal of thermal spray technology, Vol.16, pp.128-139, ISSN:1059-9630.
- [YCH 05] Y. Cho, C. Leem, K. Shin, An assessment of the level of informatization in the Korea mold industry as a prerequisite for e-collaboration: an exploratory empirical investigation, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.29, No.9-10, July 2005, pp.897-911, ISSN 0268-3768.
- [JIE 07] J. Zhu, Joseph C. Chen, Fuzzy neural network-based in-process mixed material-caused flash prediction (FNN-IPMFP) in injection molding operations, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 29, No.3-4, pp.308-316, ISSN 0268-3768.
- [ZAV 07] Z. Ayag , R.G. Özdemir, A fuzzy AHP approach to evaluating machine tool alternatives, Journal of Intelligent & Fuzzy Systems: Applications in Engineering and Technology, Vol.18, Issue 7, September 2007.
- [VMK 04] V. M. Kryachek, Injection Moulding (Review), Powder Metallurgy and Metal Ceramics,Vol. 43, No. 7-8, 2004, ISSN 1068-1302.
- [LUJ 06] Lu Jie, An education belief worth reflection: Molding intellectuals, Frontiers of Education in China, Vol. 1, No.3, September 2006, pp.383-390, ISSN 1673-341X.
- [HSB 08] H. S. Byun, Kwan H. Lee, Determination of optimal build direction in rapid prototyping with variable slicing, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,

- [JKU 06] J. Kulon, P. Broomhead, D. J. Mynors, Applying knowledge-based engineering to traditional manufacturing design, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.30, Octombrie 2006, pp.945-951, ISSN 0268-3768.
- [BAI 06] Bai-Fu Lin , Ruey-Jing Lian, Intelligent control of gas-assisted injection molding control systems, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.29, No 3-4, 2006, ISSN 0268-3768.
- [SUH 04] Su-Hai Hsiang, Huey-Lin Ho, Application of finite element method and artificial neural network to the die design of radial forging processes, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.24, Noiembrie 2004, pp.700-707, ISSN 0268-3768.
- [KMA 07] K. M. Au , K. M. Yu, A scaffolding architecture for conformal cooling design in rapid plastic injection moulding, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol 24, No.5-6, pp.496-515, ISSN 0268-3768.
- [LIJ 07] LI Ji-quan, LI De-qun, GUO Zhi-ying, LV Hai-yuan, Single gate optimization for plastic injection mold, , 2007, pp.1077-1083, ISSN 1673-565X.
- [FSI 03] F. Shi, Z. L. Lou, J. G. Lu , Y. Q. Zhang, Optimisation of Plastic Injection Moulding Process with Soft Computing, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 21, No.9, 2003, pp.656-661, ISSN 0268-3768.
- [MAB 06] MA Bin , GUO Zhi-ying , ZHOU Hua-min , Development of a plastic injection molding training system using Petri nets and virtual reality, Journal of Zhejiang University SCIENCE, 2006, pp.302-308, ISSN 1009-3095.
- [ZHE 05] Zhe Zhang, Joseph C. Chen, Jie Zhu, Development of an in-process, gap-caused flash monitoring system in injection molding processes 2005
- [JIA 06] Jiang Yajun, Lou Zhenliang, Li Minghui, Application of fuzzy and rough sets theory in the optimization of machining parameters for mold milling operations, /ISSN: 02683768, Vol: 28, Date: May 2006, Pages: 1071-1077
- [KWO 98] C.K. Kwong\*, G.F. Smith+, A computational system for Process Design of Injection Moulding: Combining a Blackboard-Based Expert System and a Case-Based Reasoning Approach, The international journal of advanced manufacturing technology , ISSN 1433-3015, Vol. 14 (5. 1998), p. 350-357
- [ZEK 09] Zeki Ayağ; R.G. Özdemir, A fuzzy AHP approach to evaluating machine tool alternatives, 2009. ISSN:0957-4174.
- [KUL 06]J. Kulon, P. Broomhead, D.J. Mynors, Applying knowledge-based engineering to traditional manufacturing design, 2006, VOL 30; NUMBER 9-10, pages 945-951, ISSN 0268-3768
- [KWA 08]Kwai-Sang Chin, Allen Chan, Jian-Bo Yang, Development of a fuzzy FMEA based product design system 2008
- [BVU 95] H.S. Byun, K.H. Lee, A decision support system for the selection of a rapid prototyping process using the modified TOPSIS method, ISSN: 1355-2546, 1995
- Bv. No. 2000271971/200 Japon "Sprueless miniature runner type mold applying ultrasonic energy"
- Bv. 200100137/2001 Japon "Ultrasonic injection mold"
- Bv. 00838/2007 Romania "Ultrasonic micro injection mold"
- Bv. 1218813/1989 Japon "Plastic Molding Method"
- [1]<http://www.google.ro/imgres?q=sprue+runner+gate&um=1&hl=ro&sa=N&biw=1280&bih=665&tbn=isch&tbnid=rmIDwWpYKhrs4M:&imgrefurl=http://imoldmaking.com/page/2/&docid=cesrDbkhlLryM&w=444&h=199&ei=Ka9nTvaME8vcsqbjisYivCq&zoom=1&iact=rc&dur=293&page=1&tbnh=91&tbnw=203&start=0&ndsp=15&ved=1t:429,r:3,s:0&tx=135&ty=33>

[2]<http://www.google.ro/imgres?q=sprue+runner+gate&um=1&hl=ro&sa=N&biw=1280&bih=665&tbn=isch&tbnid=QfZhoQJSpnSfCM:&imgrefurl=http://www.rtpcompany.com/info/molding/design/2runner.htm&docid=uXOv2c4Fr2p2xM&w=450&h=240&ei=Ka9nTvaME8vcsqbjsYjvCg&zoom=1&iact=rc&dur=615&page=5&tbnh=107&tbnw=200&start=64&ndsp=17&ved=1t:429,r:13,s:64&tx=92&ty=55>

[3]<http://www.google.ro/imgres?q=sprue+runner+gate&um=1&hl=ro&sa=N&biw=1280&bih=665&tbn=isch&tbnid=PtTFFzIwOBzw7M:&imgrefurl=http://www.guttenbergingd.com/Gates.html&docid=ezczeSGFITRxIBM&w=197&h=243&ei=Ka9nTvaME8vcsqbjsYjvCg&zoom=1&iact=hc&vpx=456&vpy=365&dur=485&hovh=161&hovw=131&tx=94&ty=118&page=6&tbnh=161&tbnw=131&start=81&ndsp=17&ved=1t:429,r:13,s:81>

[4][http://www.google.ro/imgres?q=sprue+runner+gate&um=1&hl=ro&sa=N&biw=1280&bih=665&tbn=isch&tbnid=x3b2CWCoZN8OCM:&imgrefurl=http://www.moldchina.org/chapter-1%25EF%25BC%2588textbook-for-plastic-injection-pressure%25EF%25BC%2588textbook-for-plastic-injection-molddesign.html&docid=r\\_y7Y664UAzrKM&w=449&h=299&ei=Ka9nTvaME8vcsqbjsYjvCg&zoom=1&iact=hc&vpx=193&vpy=261&dur=518&hovh=137&hovw=205&tx=165&ty=104&page=9&tbnh=137&tbnw=205&start=133&ndsp=16&ved=1t:429,r:5,s:133](http://www.google.ro/imgres?q=sprue+runner+gate&um=1&hl=ro&sa=N&biw=1280&bih=665&tbn=isch&tbnid=x3b2CWCoZN8OCM:&imgrefurl=http://www.moldchina.org/chapter-1%25EF%25BC%2588textbook-for-plastic-injection-pressure%25EF%25BC%2588textbook-for-plastic-injection-molddesign.html&docid=r_y7Y664UAzrKM&w=449&h=299&ei=Ka9nTvaME8vcsqbjsYjvCg&zoom=1&iact=hc&vpx=193&vpy=261&dur=518&hovh=137&hovw=205&tx=165&ty=104&page=9&tbnh=137&tbnw=205&start=133&ndsp=16&ved=1t:429,r:5,s:133)

[5]<http://www.google.ro/imgres?q=sprue+runner+gate&um=1&hl=ro&sa=N&biw=1280&bih=665&tbn=isch&tbnid=IjC5ayNxCVmG1M:&imgrefurl=http://www.rtpcompany.com/info/molding/tpe/spruesgates.htm&docid=1GK55ITdZkCOGM&w=474&h=350&ei=Ka9nTvaME8vcsqbjsYjvCg&zoom=1&iact=hc&vpx=383&vpy=151&dur=1154&hovh=193&hovw=261&tx=130&ty=131&page=10&tbnh=136&tbnw=184&start=149&ndsp=16&ved=1t:429,r:11,s:149>

[6]<http://www.google.ro/imgres?q=sprue+runner+gate&um=1&hl=ro&sa=N&biw=1280&bih=665&tbn=isch&tbnid=MH3b813YFSSicM:&imgrefurl=http://selametpoenya.blogspot.com/2010/05/injection-mold-sprue-and-runner.html&docid=FySMSLsJBjcl8M&itq=1&w=198&h=243&ei=Ka9nTvaME8vcsqbjsYjvCg&zoom=1&iact=hc&vpx=363&vpy=238&dur=171&hovh=194&hovw=158&tx=128&ty=94&page=11&tbnh=151&tbnw=124&start=165&ndsp=18&ved=1t:429,r:1,s:165>

[7]<http://www.google.ro/imgres?q=sprue+runner+gate&um=1&hl=ro&sa=N&biw=1280&bih=665&tbn=isch&tbnid=s0Ma8hpNGkiotM:&imgrefurl=http://www.nttd-es.co.jp/e-trainer/en/mold/kiso/sample/step3/runner.htm&docid=h3D15M1yBLG6VM&w=143&h=108&ei=Ka9nTvaME8vcsqbjsYjvCg&zoom=1&iact=rc&dur=510&page=11&tbnh=86&tbnw=114&start=165&ndsp=18&ved=1t:429,r:4,s:165&tx=47&ty=48>

[8][http://www.google.ro/imgres?q=sprue+runner+gate&um=1&hl=ro&sa=N&biw=1280&bih=665&tbn=isch&tbnid=g3ctmQFWGPK2SM:&imgrefurl=http://www.teijinkasei.co.jp/en/technical/multilon\\_sekkei.html&docid=RJ5crMy4MdDkWM&w=381&h=329&ei=Ka9nTvaME8vcsqbjsYjvCg&zoom=1&iact=hc&vpx=184&vpy=269&dur=2185&hovh=209&hovw=242&tx=142&ty=112&page=13&tbnh=146&tbnw=169&start=199&ndsp=18&ved=1t:429,r:12,s:199](http://www.google.ro/imgres?q=sprue+runner+gate&um=1&hl=ro&sa=N&biw=1280&bih=665&tbn=isch&tbnid=g3ctmQFWGPK2SM:&imgrefurl=http://www.teijinkasei.co.jp/en/technical/multilon_sekkei.html&docid=RJ5crMy4MdDkWM&w=381&h=329&ei=Ka9nTvaME8vcsqbjsYjvCg&zoom=1&iact=hc&vpx=184&vpy=269&dur=2185&hovh=209&hovw=242&tx=142&ty=112&page=13&tbnh=146&tbnw=169&start=199&ndsp=18&ved=1t:429,r:12,s:199)