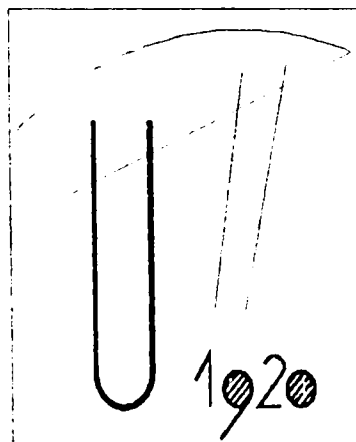


Universitatea Politehnică Timișoara
Facultatea de Mecanică – Catedra TCM

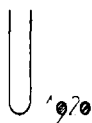
ING. GEORGE BELGIU

**CONTRIBUȚII LA DEZVOLTAREA
MEDIILOR DE PROIECTARE
ASISTATĂ PENTRU
REALIZAREA PRODUSELOR DIN
MATERIALE POLIMERICE**



CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC:
PROF.DR.ING TUDOR ICLĂNZAN

TIMIȘOARA, 1998

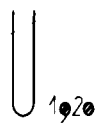


CUPRINS

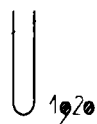
624.127
181 C

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

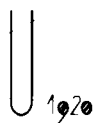
1. INTRODUCERE	8
1.1. Generalități	9
1.2. Situația pe plan internațional în domeniul produselor CAD/CAM/CAE utilizate la realizarea produselor din materiale polimerice	14
1.3. Nivelul actual în realizarea produselor din materiale polimerice	19
1.4. Descrierea modului actual de proiectare a unei piese din materiale polimerice, într-un sistem CAD/CAM/CAE parametric	20
1.5. Concluzii	23
1.6. Obiectivul tezei și direcțiile de cercetare-dezvoltare	24
2. STADIUL ACTUAL AL SISTEMELOR CAD/CAM/CAE UTILIZATE LA PROIECTAREA PIESELOR DIN MATERIALE POLIMERICE	27
2.1. Calculatoarele și microelectronica. Repere istorice	27
2.2. Sistemele CAD/CAM/CAE	28
2.2.1. Sistemele CAD	29
2.2.2. Sistemele CAM	32
2.2.3. Sistemele CAF	33
2.3. Sisteme, pachete software, interfețe	34



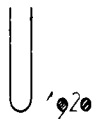
2.4. Limitele tehnologiei actuale în analiza constructivă și tehnologică asistată de calculator pentru produsele din materiale polimerice	37
2.4.1. Pachetul ANSYS [®]	38
2.4.2. Pachetele C-MOLD [®] și Moldflow [®]	39
2.4.3. Pachetul Pro/ENGINEER [®]	40
2.4.4. Concluzii la acest subcapitol	40
3. TEHNOLOGIA DE REALIZARE A PIESELOR INJECTATE DIN MATERIALE POLIMERICE	42
3.1. Tehnologia polimerilor	42
3.2. Proprietățile fizice ale materialelor termoplastice	47
3.2.1. Proprietăți mecanice	47
3.2.2. Solicitarea de scurtă durată	47
3.2.3. Solicitarea de lungă durată	48
3.2.4. Solicitarea la oboseală	48
3.3. Tratamentul termic al pieselor injectate.	49
3.4. Proprietățile termodinamice ale materialelor polimerice	50
3.5. Selectarea materialului polimeric	54
3.6. Tipuri de materiale polimerice comerciale mai importante	55
3.6.1. Concluzii privind proprietățile materialelor polimerice	55
3.7. Injecția materialelor polimerice. Procesul și echipamentul	57
3.7.1. Condițiile de formare	58
3.7.2. Regimul temperaturilor	58
3.7.3. Regimul presiunilor	58
3.7.4. Plastifierea	59
3.7.5. Umplerea matriței	60
3.7.6. Procesul și echipamentul	62
3.7.7. Matrița	65
3.7.8. Mașini de injectare	67
3.7.9. Unitatea de injectare	67
3.7.10. Unitatea de închidere	68
4. MODULUL UNUI SISTEM PARAMETRIC CAD/CAM/CAE UTILIZAT LA ANALIZA ȘI DESIGNUL PROCESULUI DE INJECTARE AL PIESELOR DIN MATERIALE POLIMERICE	71
4.1. Considerații teoretice asupra FEA	72
4.1.1. Stări de tensiuni	73
4.1.2. Deformații specifice	74
4.1.3. Ecuațiile teoriei elasticității. Ecuațiile de echilibru	75
4.1.4. Relații între deplasări și deformații specifice	76
4.1.5. Ecuațiile fizice (constitutive) ale unui corp liniar și izotrop	76



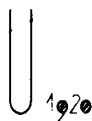
4.1.6.	Căi de soluționare a problemelor teoriei elasticității	77
4.1.7.	Ideile fundamentale ale Metodei Elementelor Finite	78
4.2.	Modulul de injectare al unui sistem CAD/CAM/CAE parametric. Privire generală	79
4.3.	Tehnologii de bază în conducerea procesului de proiectare al unei piese injectabile	84
4.3.1.	Modelul de injectare	84
4.3.2.	Contractia materialului	87
4.3.3.	Verificarea conicițăților și determinarea direcției optime de extragere a reperului din matriță	88
4.3.4.	Verificarea grosimii pereților piesei	89
4.3.5.	Proiectarea matrițelor de injectare cu ajutorul cataloagelor și bibliotecilor electronice de componente tipizate	90
4.4.	Proprietățile reologice ale polimerilor	93
4.4.1.	Introducere	93
4.4.2.	Proprietățile corpurilor în general	93
4.4.3.	Corpuri cu comportare ideală	94
4.4.4.	Fluide vâscoase newtoniene	96
4.4.5.	Materiale cu proprietăți multiple	96
4.5.	Comportamentul reologic al topiturilor de polimeri	97
5.	DEFINIREA MODELULUI FEM AL PIESEI DE INJECTAT	99
5.1.	Introducere	99
5.2.	Considerații tehnologice privind curgerea topiturii de polimeri în matriță. Tehnici de modelare computațională	100
5.3.	Ultimul punct de umplere	103
5.4.	Tehnici de discretizare cu elemente finite	104
5.4.1.	Operații pregătitoare în vederea discretizării	104
5.4.2.	Obținerea modelului de analiză a umplerii matriței prin discretizarea cavității de umplere în elemente finite tip shell	105
5.4.3.	Discretizarea tip pereche	105
5.4.4.	Discretizarea tip suprafață	106
5.4.5.	Discretizarea tip înfășurătoare	106
5.4.6.	Definirea modelului FEM tip shell	107
5.4.7.	Reguli generale privind modelarea tip shell	108
5.5.	Analiza umplerii cavității matriței. Tehnici de simulare și interpretare a rezultatelor	111
5.6.	Exemplu de analiză CAE pentru o piesă injectată din material polimeric	111
6.	METODE DE OPTIMIZARE A PROIECTĂRII PRODUSELOR DIN MATERIALE POLIMERICE CU AJUTORUL SISTEMELOR CAD/CAM/CAE PARAMETRICE	118



6.1. Inteligența Artificială și Sistemele Expert astăzi	119
6.1.1. Introducere	119
6.1.2. Rădăcinile Inteligenței Artificiale	120
6.1.3. Inteligența Artificială astăzi	121
6.1.4. Sisteme Expert	122
6.1.5. Funcționarea unui SE	124
6.2. Optimizarea proiectului unei piese din materiale polimerice cu ajutorul modulului CAE parametric	127
6.2.1. Funcțiile unui sistem CAE utilizat la analiza pieselor realizate din materiale termoplastice prin injectare	129
6.2.2. Funcția de estimare a procesului	129
6.2.3. Funcția de modelare	131
6.2.4. Funcția de vizualizare	133
6.2.5. Funcția de simulare a umplerii matriței	134
6.2.6. Funcția de simulare a proceselor post-umplere a matriței	135
6.2.7. Funcția de simulare a răcirii	137
6.2.8. Funcția de determinare a tensiunilor remanente	138
6.2.9. Funcția de determinare a contracțiilor și deformațiilor	140
6.2.10. Funcția de determinare a orientării fibrelor	141
7. SOLUȚIONAREA OPTIMIZĂRII GENERALE A PROIECTULUI ÎN CAZUL PROCESULUI PARAMETRIC DE PROIECTARE A PIESELOR DIN MATERIALE POLIMERICE	143
7.1. Descrierea metodei de interfațare a celor trei pachete software care concură la realizarea proiectării asistate a pieselor din materiale polimerice	147
7.1.1. Exportul și importul datelor în conexiunea Pro/E – ANSYS	148
7.1.2. Exportul și importul datelor în conexiunea Pro/E – C-MOLD	148
7.1.3. Analize de tip CAE în ANSYS sau C-MOLD ale unui model realizat în Pro/E	149
7.2. Aplicația software APPLAST – “Managementul Aplicațiilor de Plasturgie”	153
7.3. Exemplu de utilizare	157
8. CONCLUZII FINALE	164
8.1. Aprecieri de sinteză	164
8.2. Concluzii privind gradul de atingere al obiectivului temei și de respectare a direcțiilor de cercetare propuse	165
8.3. Concluzii privind contribuțiile științifice ale lucrării	168
8.4. Concluzii privind contribuțiile lucrării în domeniul aplicativ	169
8.5. Elemente de extindere a cercetării și dezvoltării	170
9. ANEXE	171



9.1.	Anexa 1	171
9.2.	Anexa 2	180
9.3.	Anexa 3	191
10.	BIBLIOGRAFIE	192



Mulțumiri

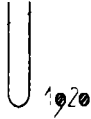
Înainte de toate, vreau să mulțumesc celor care m-au sprijinit în realizarea acestei lucrări. Încrederea lor, sfaturile și ajutorul lor mă onorează.

Doresc să mulțumesc în primul rând domnului profesor Tudor Iclănzan pentru coordonarea eforturilor mele, pentru că mi-a imprimat un înalt stil academic și fără de care această teză nu ar fi putut să apară.

Adresez mulțumirile mele sincere domnului profesor G. Urdea, decanul Facultății de Mecanică din Timișoara, pentru înțelegerea acordată la finalizarea tezei. De asemenea, doresc să mulțumesc domnului profesor Mihai Nica, șeful catedrei de TCM, pentru permanentul suport, sprijin și încrederea care mi-a acordat-o în toate acțiunile care au necesitat intervenția domniei sale.

Mulțumesc în mod deosebit conducerii societății comerciale FERONERIA S.A. din Arad, domnului director Viorel Bătrân și domnului inginer-șef Petru Todea pentru excelenta colaborare, pentru deschiderea pe care au manifestat-o în introducerea ingineriei concurente și pentru posibilitățile de studiu și cele de testare pe care mi le-au oferit. Doresc să le mulțumesc tuturor inginerilor cu care am colaborat în această firmă.

Mulțumirile mele se îndreaptă și spre firma ELBA S.A. din Timișoara, domnului director Ene, pentru sprijinul acordat. În mod special doresc să mulțumesc domnului inginer Doru Ursu de la această firmă pentru marele său ajutor privind accesul la secția de injectare materiale plastice.



Sincere mulțumiri adresez domnului director Eugen Ștefăneanu de la firma INAS S.A., Craiova pentru excelența colaborare, pentru marele ajutor în accesul pachetelor Pro/E, ANSYS și C-MOLD și, în general, pentru oferta lor de tehnologie ultimă oră.

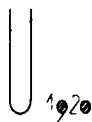
Apreciez ajutorul dat de colegul meu Traian Botea, care mi-a oferit condiții pentru studierea pachetului Moldflow. Mulțumesc profesorului Robert Mee de la Universitatea statului Tennessee, Knoxville SUA pentru ajutor și încurajări. Mulțumesc colegilor și personalului tehnic al catedrei TCM pentru sprijin. Lista celor care m-au ajutat la finalizarea acestei teze este foarte lungă. Chiar dacă numele lor nu apare aici, doresc să le mulțumesc încă o dată și să îi asigur de prețuirea mea.

Mulțumesc domnului rector Raimo Jaskalaynen de la Universitatea Politehnică din Kuopio, Finlanda, precum și decanului Facultății de Mecanică Veli-Matty Tolppi, pentru accesul la cultura acestei țări și la informațiile tehnico-științifice timp de un an, cât am profesat în această universitate. Mulțumesc firmei ARTICAD OY și lui în mod special lui Timo Lipponen de la TEKU pentru ajutorul acordat în studiul lui Pro/ENGINEER. Mulțumesc familiei Pesonen pentru toate vizitele pe care le-am făcut în Finlanda.

Mulțumesc domnului profesor Ioan Pircea, căruia îi datorez cariera didactică.

Mulțumesc celor dragi, care au avut atâția ani un doctorand în familie.

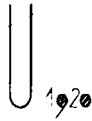
Timișoara, 17 decembrie 1998
George Belgiu



1. Introducere

Tehnologia de realizare a produselor din materialelor polimerice s-a dezvoltat continuu, având în această evoluție câteva puncte de referință, cum ar fi: realizarea de noi materiale polimerice, perfecționarea mașinilor de injectat (din punct de vedere mecanic), apariția rețelelor de injectare încălzite, introducerea microprocesorului la controlerul mașinii de injectat, simularea cu ajutorul pachetelor software CAE (eng. Computer Aided Engineering) a curgerii materialului polimeric și, ca cea mai nouă realizare, introducerea sistemelor expert pentru reglajul mașinii de injectat. Pe de altă parte, s-au dezvoltat în paralel metode moderne de concepție a produsului, ce au permis ca întregul proces să capete o un aspect digital, începând de la proiectare și până la fabricație.

Lucrarea aceasta se referă doar la realizare produselor din materiale polimerice prin procedeul de injectare. Privit de astăzi, în mileniul următor procedeul de injectare al produselor din materiale polimerice va pune împreună toate fragmentele – în prezent disipate – despre utilaj, material, proces, producție și controlul informațiilor cu ajutorul tehnicilor CAD/CAM/CAE pentru a realiza o **strategie complet optimizată** de fabricare.



În această paradigmă, dezvoltarea mediilor de proiectare asistată (CAD/CAM/CAE) pentru realizarea produselor din materiale polimerice a devenit o practică normală, astfel încât fiecare reper să dispună de proceduri optimizate de realizare, prin eliminarea euristicii în tehnologie sau a meșteșugului primar în acest domeniu.

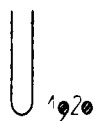
Proiectanții produselor din materiale polimerice, la fel ca și inginerii tehnologi, vor fi degrevați – în viitor – de eforturile suplimentare realizării reperelor complexe, prin utilizarea unor tehnici superioare CAD/CAM/CAE cu ajutorul cărora vor fi eludate multe din problemele ce vor fi vizibile încă din faza de proiectare. Aceste eforturi intelectuale vor putea fi refocalizate în direcția îmbunătățirii calității produsului și a scăderii prețului de cost.

1.1. Generalități

În domeniul tehnologiei – și în mod particular cel al tehnologiei construcțiilor de mașini – au survenit transformări majore după anul 1990. Managerii întreprinderilor, oficialii guvernamentali, personalitățile academice sau mass-media abundă în afirmații – deseori contrare – privind nivelul tehnologic actual al industriei românești. Este un lucru de necontestat faptul că tehnologia industrială modernă are o importanță strategică pentru viitorul acestei țări și va influența profund nivelul de trai al populației în anii care vor urma.

Sistemul actual de educație universitară dorește să se adapteze cerințelor sfârșitului de secol; de cele mai multe ori a reușit acest lucru. Din păcate, cercetarea științifică românească este astăzi lipsită de o finanțare corespunzătoare și derutată de declinul industrial; ea încearcă însă să își recâștige poziția în societatea de astăzi și un loc primordial pentru cel de-al treilea mileniu.

Scopul acestei lucrări este acela de a contribui la dezvoltarea tehnologiei de realizare a produselor din materiale polimerice. Satisfacția rezultatelor obținute până acum, prin implementarea realizărilor cercetării în industrie precum și cererea tot mai intensă din partea beneficiarilor cercetării vine să confirme lipsa unor astfel de lucrări la noi în țară și chiar pe plan mondial.



În domeniul tehnologiei, ultimul secol a însemnat o dezvoltare fără precedent, mai mare decât în toate milenii de existență ale omenirii la un loc. Multe dintre avansurile tehnologice s-au datorat automatizării producției. S-ar putea menționa aici liniile de transfer, apariția controlului numeric, roboții industriali, PLC-urile și sistemele flexibile de fabricație. Un al doilea element al dezvoltării tehnologice de astăzi îl constituie perfecționarea și realizarea unor materiale noi, în fiecare grup al celor trei categorii utilizate în mod curent de către producție: metale, ceramice și polimeri. Al treilea element al dezvoltării tehnologice, care și-a făcut apariția după anii '50, dar care prezintă o importanță covârșitoare acum, la sfârșit de secol, îl reprezintă apariția și dezvoltarea tehnicii de calcul, a informaticii și aplicarea acestora în activitățile industriale.

Rezultatele cercetărilor științifice aplicate în noile tehnologii pot realiza lucruri uimitoare, magnifice. Această teză încearcă să contribuie la dezvoltarea produselor din materiale polimerice prin simplificarea etapei de proiectare a acestora cu ajutorul sistemelor CAD/CAM/CAE, iar autorul speră să se confirme industrial punctele de vedere teoretice susținute pe parcursul acestei lucrări.

Cu siguranță că importantul volum ocupat de materialele polimerice în industria ultimilor decenii va continua să sporească și în al treilea mileniu. Forma geometrică a pieselor tot mai complexă și calitatea impusă acestora au consacrat definitiv materialele plastice¹ în cele mai diverse ramuri ale industriei și producției bunurilor de consum.

În acest punct al lucrării este necesară o explicație privind folosirea unor termeni. Termenul de **materiale polimerice** are sensul strict științific, legat de structură și este cel mai corect. Pe de altă parte, se mai folosește și termenul de **materiale plastice**, cu sensul generalizat, uzual, legat de proprietate; acest termen nici măcar nu este întotdeauna relevant. La ora actuală, cel mai modern termen este cel de **plasturgie**, "în sensul general el cuprinzând atât elaborarea cât și formarea materialelor plastice, dar în sens mai restrâns el fiind tot mai des asociat ansamblului procedeelelor de transformare (punere în formă) a materialelor plastice în produse finite" [62]. Ca atare, din aceste motive, în continuarea lucrării se va folosi termenul de materiale polimerice, la care lucrarea se adresează în mod strict.

Producția mondială a materialelor plastice are o creștere anuală de 15% și se dublează la fiecare 5 ani [63]. Figura 1 oferă o imagine concludentă privind dinamica evoluției producției mondiale de mase plastice.

¹ Material plastic – amestec mecanic de unul sau mai mulți polimeri cu aditivi, având proprietăți de utilizare

Evoluția producției mondiale de materiale plastice

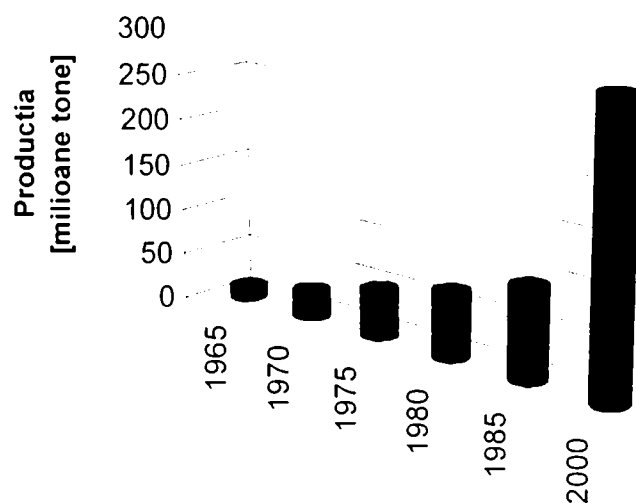


Figura 1

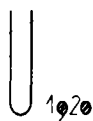
În funcție de comportarea lor sub acțiunea căldurii și presiunii, materialele plastice se împart în două categorii:

- materiale termorigide;
- materiale termoplastice.

Materialele termorigide au o rețea tridimensională de macromolecule și o structură rigidă sau cel mult suplă. Printr-un aport de energie termică nu se modifică forma obiectului, care se poate distruge sub acțiunea căldurii, dar nu se topește și ca atare nu se reciclează. Materialele termoplastice sunt formate din macromolecule liniare, care prin ridicarea temperaturii sunt capabile să devină mobile între ele. Printr-un aport extern de energie (încălzire) și unul intern (frecare) materialul se plastifică. Piesele din materiale termoplastice se obțin din polimeri și se crează la temperaturi la care aceștia devin plastici.

Comparativ cu celelalte materiale, trebuie să remarcăm următoarele calități și avantaje ale materialelor plastice:

- marea varietate sortimentală a polimerilor duce la o mare diversitate a caracteristicilor mecanice și chimice; posibilitatea creării materialelor de sinteză, cu proprietăți diferite de cele ale materialelor naturale;
- facilitatea și diversitatea procedeeleor de prelucrare (punerea în formă) la cadențe ridicate de producție;



- cost energetic redus pentru sinteza și transformarea lor în produse. Comparativ cu alte materiale, costul energetic al prelucrării unui kilogram de aluminiu este de aproximativ 25 de ori mai mare și a unui kilogram de oțel de aproximativ 5 ori;
- densitatea redusă a polimerilor (în jurul valorii de 1) conferă pieselor calități superioare în toate locurile în care se cer piese ușoare și economice;
- aspect și colorit plăcut, rezistență la coroziune și inerție chimică.

Față de avantajele de mai sus se cuvin amintite și inconvenientele materialelor plastice, care limitează domeniul lor de aplicabilitate:

- rezistența mecanică relativ modestă;
- nu sunt auto- sau biodegradabile;
- pot degaja produse toxice în timpul arderii lor.

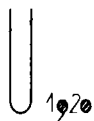
Cea mai importantă trăsătură a fabricației pieselor din punct de vedere economic este seria de fabricare. Pentru o anumită piesă din metal, care costă – de exemplu – 1\$ bucată atunci când este produsă în serie de masă (100.000 unități/an), costul ei în serie mică este de 200\$. O ilustrare clasică a acestor lucruri este un exemplu din industria auto: un motor de automobil standard costă aproximativ 2.500\$ din prețul unui automobil de 10.000\$, dar ar costa 500.000\$ dacă toate reperele ar fi fabricate unicat și s-ar asambla într-un atelier tradițional. Din acest punct de vedere, injecția materialelor plastice este un procedeu preferențial al industriei actuale.

Piese injectate din materiale plastice se utilizează astăzi pretutindeni, de la repera ca bordul automobilului și până la carcasa telefonului celular. În statele industrializate domeniul plasturgiei este unul primordial. De exemplu, în anul 1997 industria materialelor plastice a reprezentat doar într-o singură țară (SUA) un volum de afaceri de 275 miliarde de dolari.

De ani de zile, realizarea pieselor din materiale plastice a fost mai apropiată de artizanat sau meștegug decât de tehnica industrială, prin implicarea unor componente empirice și mai ales de experiență dobândită, decât de realizarea tehnică a unor piese calitative în mod economic.

Procesul de realizare a unei piese din material plastic presupune parcurgerea următoarelor etape:

- 1). proiectarea (designul) piesei;
- 2). selectarea procedurii de injecție (din 10 tipuri de procedee primare);



- 3). selectarea materialului optim (dintr-o ofertă de mii de mărci comerciale disponibile);
- 4). proiectarea și realizarea sculelor de injectat;
- 5). studiul modului în care se umple matrița;
- 6). asigurarea că matrița se umple corect;
- 7). testarea reperului injectat;
- 8). optimizarea producției.

Orice este posibil pe parcursul acestor opt pași și, din numărul foarte mare de parametri, oricare poate face ca procesul să eșueze. Nu există etape de importanță majoră și altele de importanță minoră în acest proces.

Majoritatea pieselor din materiale plastice se realizează în serii mari sau de masă, multe dintre ele în milioane de bucăți. Este evident că o mică reducere a prețului unitar are efecte spectaculoase la scara întregii producții. Din punct de vedere economic, apar următoarele trei tipuri de posibile economii:

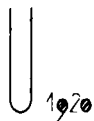
- economii prin utilizarea unui material mai ieftin;
- economii prin reducerea grosimii reperului;
- economii prin scurtarea ciclului de injecție.

Problema majoră cu care se confruntă inginerii proiectanți și tehnologi este aceea că aspectele trebuie corelate (deoarece ele sunt interdependente) și cel mai adesea firme diferite sunt implicate în diferitele faze ale procesului. În noile condiții ale economiei în care ne aflăm, o anumită firmă proiectează piesa, o alta execută sculele de injecție și o a treia produce reperele. Dacă la aceasta mai adăugăm și internaționalizarea afacerilor, cele trei firme pot fi localizate oriunde pe glob.

Nu trebuie neglijat nici faptul că cel mai adesea sunt folosite diferite pachete software CAD/CAM pentru modelarea piesei injectate și pentru realizarea sculelor de injecție. Dacă la capătul acestui fir reperele nu îndeplinesc specificațiile tehnice, procesul de depanare devine extrem de lent: este oare eroarea legată de faza de proiectare, de faza de execuție a sculelor sau de producția proprizisă?

În aceste condiții, în lumea tehnicii (și mai ales a afacerilor) încă din anii '70 s-a pornit de la premisa că simularea pe calculator a procesului de injecție ar putea elimina multe din incertitudinile de care acesta este înconjurat și, în general, s-ar putea produce repere de calitate superioară și mai ieftine.

Pachetele CAD/CAM/CAE actuale din care se remarcă Pro/ENGINEER[®], C-MOLD[®], Moldflow[®] și ANSYS[®] reprezintă vârfuri tehnologice; ele au devenit unelte indispensabile inginerilor proiectanți și tehnologi, fără de care nu se poa-



te concepe tehnica și industria modernă. Însușirea, utilizarea superioară, și dezvoltarea facilităților oferite de pachetele CAD/CAM/CAE actuale reprezintă direcția în care se îndreaptă tehnologia actuală și pe care această lucrare își propune să o dezvolte.

1.2. Situația pe plan internațional în domeniul produselor CAD/CAM/CAE utilizate la realizarea produselor din materiale polimerice

Lucrare de față prezintă o direcție viitoare, posibil de urmat, privind procesul de realizare prin injectare a reperelor din materiale polimerice în următorii ani, direcție bazată pe:

- stadiul actual al acestei tehnologii
- direcția curentă a cercetării mondiale
- precum și cercetarea întreprinsă de autor asupra acestui subiect.

Prezenta teză de doctorat prezintă viziunea autorului asupra realizării produselor din materiale polimerice prin injectare, acum, înainte de începutul noului mileniu, pentru rezolvarea aspirațiilor industriei și ea descrie necesitatea viitoare de dezvoltare a pachetelor software CAD/CAM/CAE, spre a converti această viziune în realitate.

Pentru a realiza repere din materiale polimerice “mai repede, de o calitate superioară și mai ieftine” trebuie ca proiectarea și fabricarea acestora să se facă în mod natural, la timp și cu costuri minime.

Cum trebuie să fie un sistem CAD/CAM/CAE utilizat la realizarea reperelor din materiale polimerice? Viziunea actuală asupra unui astfel de sistem este prezentată succint mai jos:

- pachetul software să fie unul proeminent în industria materialelor polimerice
- să ofere soluții de optimizare a proiectării și fabricației produsului
- să îmbine:
 - teoria științifică cea mai avansată
 - suma cunoștințelor practice oferite de industrie
 - cunoștințe fundamentale despre procesarea materialelor polimerice



Există în prezent companii globale (transnaționale) care au devenit lideri mondiali în modelarea asistată de calculator a proceselor de realizare a produselor polimerice, cum ar fi exemplul firmei Moldflow ce dispune de mai mult de 1300 de clienți distribuiți în peste 50 de țări. Conform acestei firme, piața produselor software este dată în Figura 2 (pentru anul 1997).

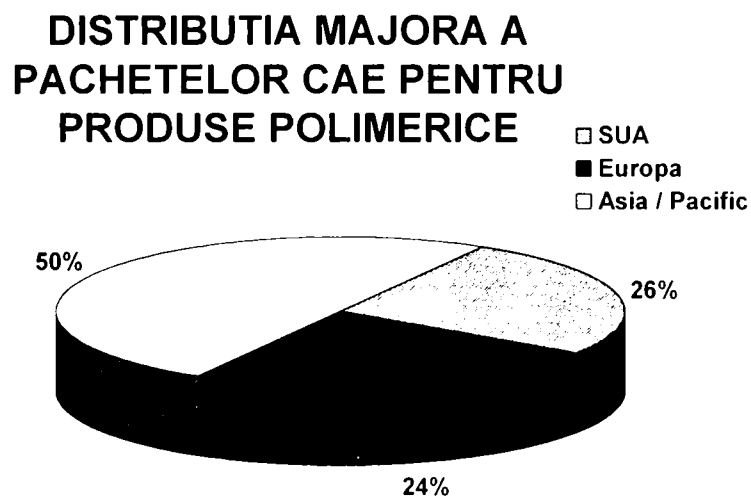
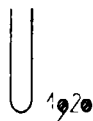


Figura 2

Figura 3 prezintă numărul de companii angajate în producția reperelor din materiale polimerice în anul 1997, după zona lor geografică.



INDUSTRIA MATERIALELOR POLIMERICE IN LUME - 1997

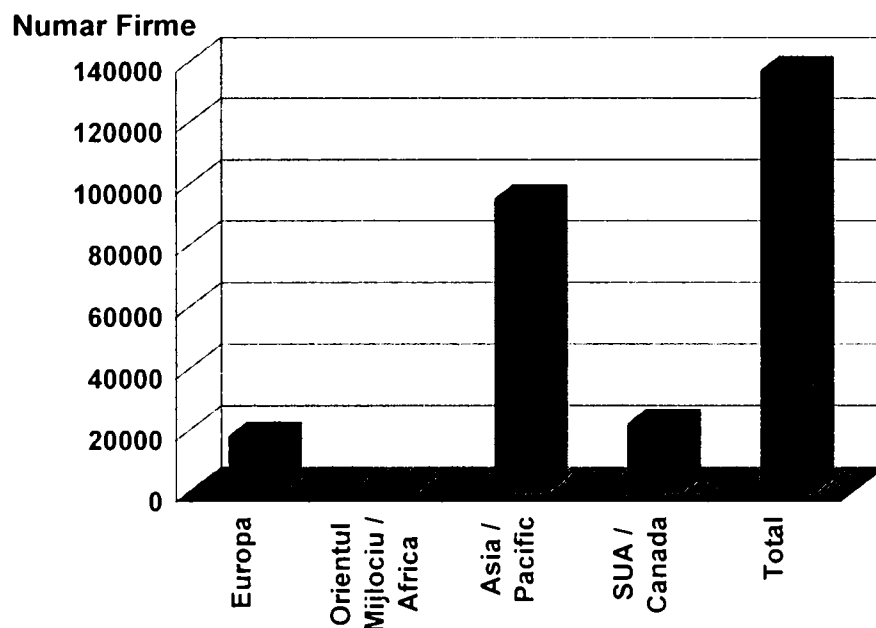
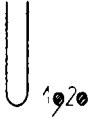


Figura 3

Dacă privim în urmă cu câteva decenii, vom remarca faptul că dezvoltarea sistemelor CAD/CAM/CAE pentru industria materialelor polimerice nu are o istorie mai veche de 30 de ani. Iată mai jos, ca un fir al Ariadnei, anii în care diverse analize sau modelări au fost posibil de realizat pe astfel de sisteme²:

- 1976 – primul software de analiză a curgerii materialelor polimerice în matriță
- 1982 – reprezentarea grafică 3D a curgerii
- 1989 – analiza 3D a contracțiilor și deformațiilor
- 1993 – dimensionarea 3D a cavității matriței
- 1993 – optimizarea condițiilor de proces
- 1994 – predicția orientării fibrelor
- 1995 – generarea automată a planului median (midplane)
- 1996 – setarea automată a controlerului mașinii de injectat

² Se face referire la produsele software ale firmei Moldflow®



În ceea ce privește direcțiile strategice pe care marile companii de produse CAD/CAM/CAE le-au urmat în industria materialelor polimerice, precum și valoarea investițiilor în aceste direcții, se mai impun câteva observații. Figura 4 prezintă direcțiile strategice remarcate astăzi pe piața produselor software, cu adresabilitate asupra industriei materialelor polimerice – datele se referă la anul 1997.

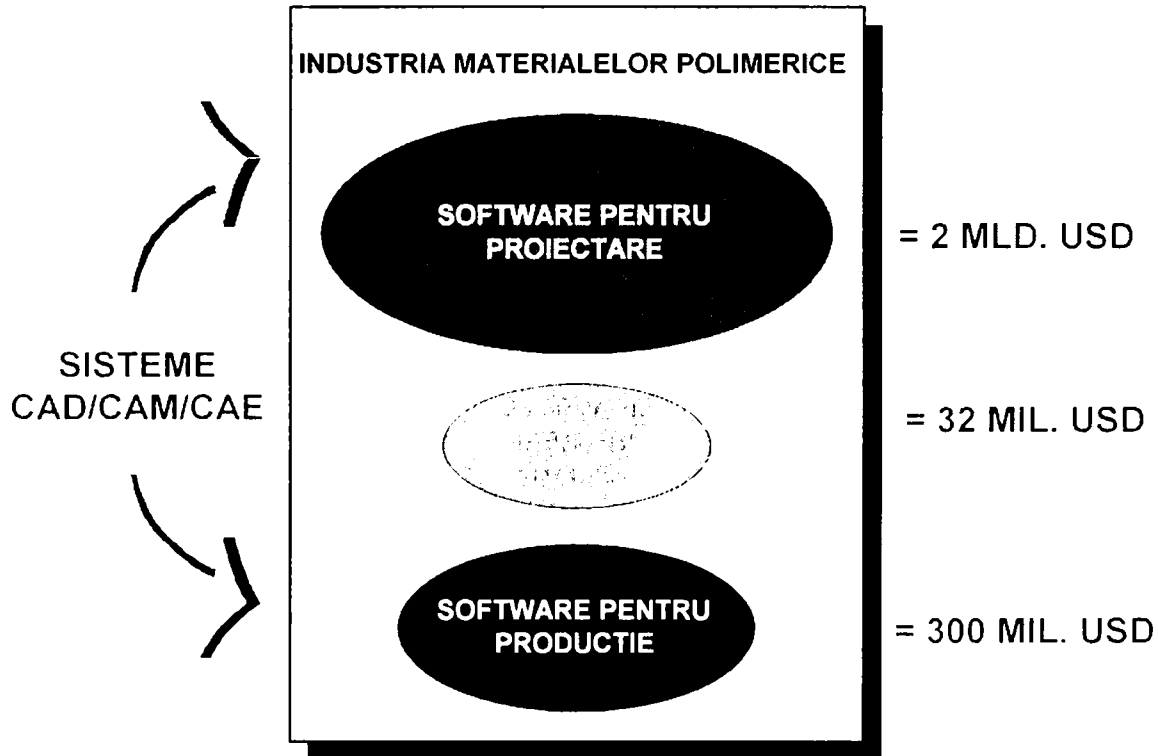
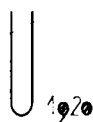


Figura 4

Se observă că cele trei direcții strategice ale pachetelor software dedicate industriei materialelor polimerice au avut o pondere pe piață foarte diferită. Cea mai importantă piață rămâne în continuare piața produselor CAD, cu două miliarde de dolari în 1997. Ca direcție strategică, această piață este privită ca o piață în continuă creștere. Marii producători de software pentru industria materialelor polimerice doresc ca în viitor fiecare produs CAD să conțină soluții de optimizare a reperelor din aceste materiale, în mod intrinsec. Se va vedea dacă această dorință va deveni o realitate. De asemenea, se remarcă un parteneriat strategic între firmele producătoare de soluții CAE pentru materialele polimerice și marile firme producătoare de CAD-uri, cum ar fi: Dassault Systems, SDRC, EDS/Unigraphics, Autodesk, Delcam, Matra Datavision, Parametric Technologic Corporation etc.

În ceea ce privește direcția strategică de dezvoltare a unui software dedicat optimizării procesului tehnologic de injectare, producătorii mondiali s-au orientat până acum spre setarea automată a mașinii de injectie, monitorizarea



procesului de injectare etc. Trebuie precizat că direcția actuală în care se întreprinde cercetările este înspre legarea modulului CAE (analizele) de procesul de producție.

Rezumând, în prezent procesul de realizare a unui produs din materiale polimerice prin injectare se poate realiza asistat, de la proiectare până la producție. Figura 5 dorește să prezinte în mod sintetic acest lucru.

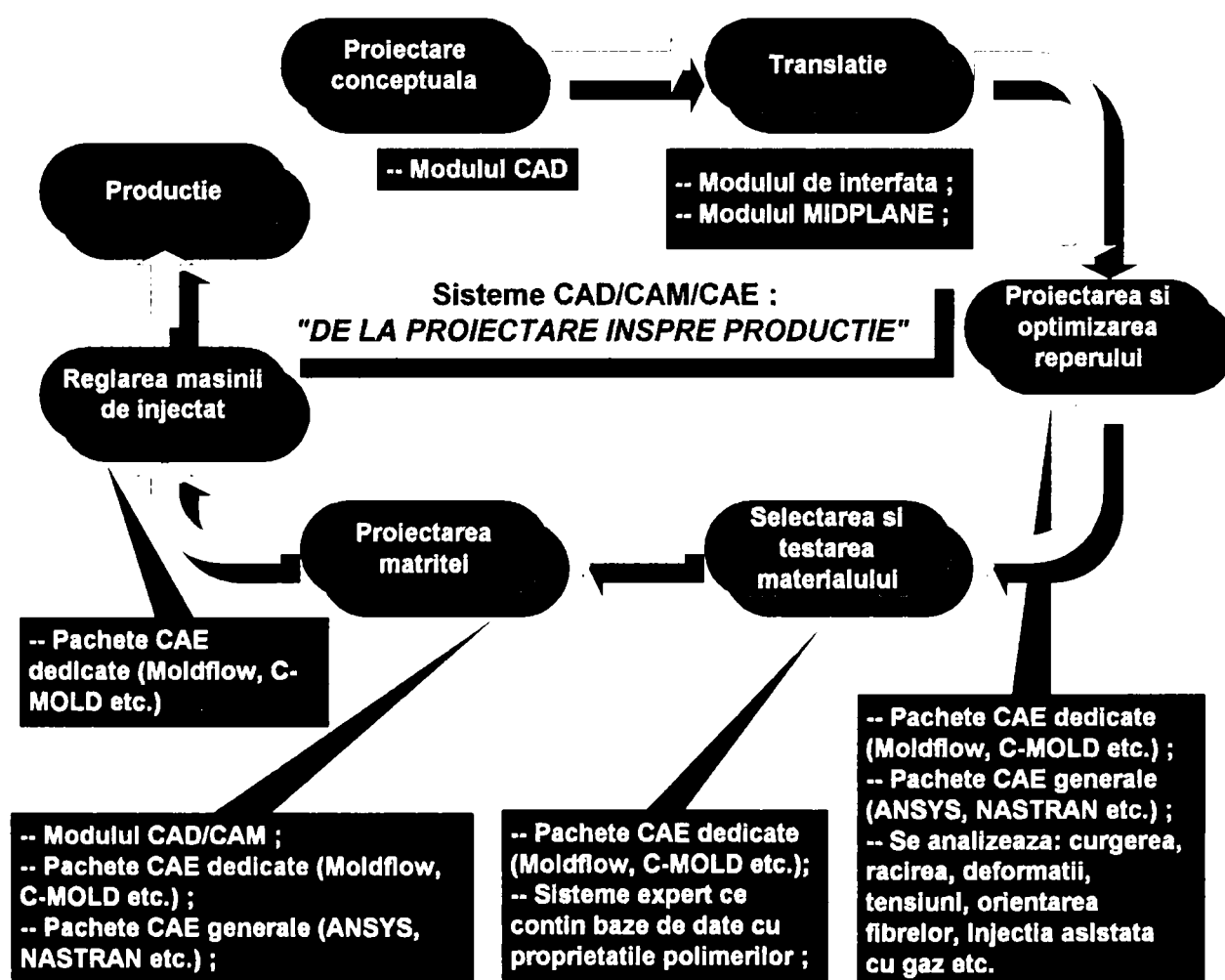
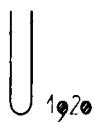


Figura 5

După cum rezultă și din această figură, procesul de injectare este deosebit de complex; stăpânirea lui necesită foarte multe cunoștințe, îndemânare, experiență și, după cum se vede, există foarte multe produse software care concurează la realizarea produsului.

Acesta este și motivul pentru care liderii mondiali în dezvoltarea de produse software dedicate acestui proces și-au stabilit prioritățile de cercetare și de dezvoltare a acestor aplicații după cum urmează:



- o cercetare și inovare continuă, care să le permită poziția de lideri
- cercetarea mai aprofundată a științei polimerilor și a tehnologiei conexe
- încapsularea cunoștințelor în produsele software
- conducerea cercetărilor în parteneriat cu universități și lideri industriali.

Deși autorul nu dispune nici pe departe de mijloacele financiare pe care o companie transnațională producătoare de astfel de pachete software le presupune – a se vedea sumele din Figura 4 – totuși, pentru această lucrare s-au folosit unele dintre cele mai performante pachete CAD/CAM/CAE existente pe plan mondial, iar în privința cooperării cu industria s-a apelat la parteneri considerați de autor drept lideri naționali.

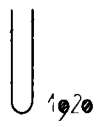
1.3. Nivelul actual în realizarea produselor din materiale polimerice

Sistemele CAD/CAM/CAE utilizate la proiectarea produselor din materiale termoplastice s-au dezvoltat într-atât, încât la ora actuală au devenit unicul instrument al ingineriei predictive. Aceste sisteme permit inginerilor să realizeze un prototip electronic al reperului care urmează a fi injectat, un prototip al matriței de injectare și simularea procesului de producție. Avantajele utilizării unor astfel de instrumente sunt evidente, deși mai sunt încă firme cu activități industriale din acest domeniu care nu au făcut o investiție semnificativă în achiziționarea de hardware și software dedicat.

Inginerul proiectant al produsului din material polimeric are la în prezent mai multe constrângeri – din punctul de vedere al cunoștințelor suplimentare pe care trebuie să le dobândească atunci când utilizează această tehnică nouă. Una dintre ele (foarte importantă) este aceea de a dispune de cunoștințe solide privind analiza cu elemente finite (FEA) și, în special, ne referim la realizarea discreditării modelului 3D al piesei.

Un inginer proiectant care stăpânește complet domeniul produselor din materiale polimerice trebuie să dovedească o și o competență ridicată în următoarele domenii:

- analiza cu elemente finite (FEA)
- știința polimerilor
- proiectare constructivă a reperului
- proiectare matrițe de injectat



- TCM, inclusiv programare CNC.

Într-o eră în care inginerii s-au specializat pe domenii, sunt puține persoane care au dobândit experiența și au avut timpul necesar pentru a stăpâni atât de multe discipline! Firmele de astăzi au ca angajați un mare număr de ingineri proiectanți; principala lor atribuție este expertiza într-un anumit domeniu, cum ar fi de exemplu proiectarea reperului sau proiectarea matriței de injectat, dar nu au viziunea de ansamblu al procesului de producție, cum ar fi de exemplu relația beneficii – pierderi sau calitatea finală a piesei ori costul unitar al acesteia. Acești ingineri de proiectare utilizează instrumentele moderne de modelare 3D (solid), pentru a crește productivitatea procesului de proiectare, deci un număr tot mai mare de proiecte se realizează fără a fi necesare resurse suplimentare.

În această manieră, deși timpul de apariție pe piață al produsului este scurtat, totuși un volum mic de timp se atribuie asigurării manufacturabilității și ridicării performanțelor piesei. În timp ce se atinge nivelul de producție cerut, alte aspecte cum ar fi calitatea și costul rămân încă deziderate ale proiectării digitale.

Inginerul care proiectează piesa din material polimeric se află sub câteva constrângeri de timp, deosebit de restrictive. Este evident pragmatic și în același timp realist să se considere că viitoarele pachetele CAE vor deveni instrumente indispensabile inginerilor proiectanți și tehnologi, pentru reducerea costurilor și creșterea calității pieselor din materiale polimerice.

1.4. Descrierea modului actual de proiectare a unei piese din materiale polimerice, într-un sistem CAD/CAM/CAE parametric

Procesul de realizare a unei piese din material polimeric este de obicei modelat ca o secvență de cinci pași. Figura 6 prezintă acest lucru.

Cele două săgeți de conectare dintre doi pași consecutivi înfățișează natura iterativă a relațiilor. Pentru claritatea figurii, săgețile de conectare evidențiază numai relațiile dintre doi pași consecutivi; în realitate, se cunoaște faptul că săgețile ar trebui să prezinte și influența pașilor din imediata vecinătate (superiori și inferiori). Mai mult, săgețile doresc să sublinieze faptul că buclele de feedback prezintă influența ultimelor faze asupra primelor faze.

Fiecărui pas îi este asociat un pachet software caracteristic, așa după cum s-a specificat la Figura 5. Datorită caracterului iterativ al proiectării piesei din materiale polimerice, este evident faptul că vor trebui apelate pe rând, și de mai multe ori, diverse pachete software. Acest lucru reprezintă un serios impediment în procesul de proiectare, atât constructivă, cât și tehnologică.

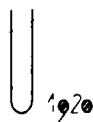


Figura 7 prezintă fluxul informațional al proiectării unei piese din materiale polimerice, în care se observă apelul intermitent al unor mai multe pachete software, dedicate procesului de injectare.

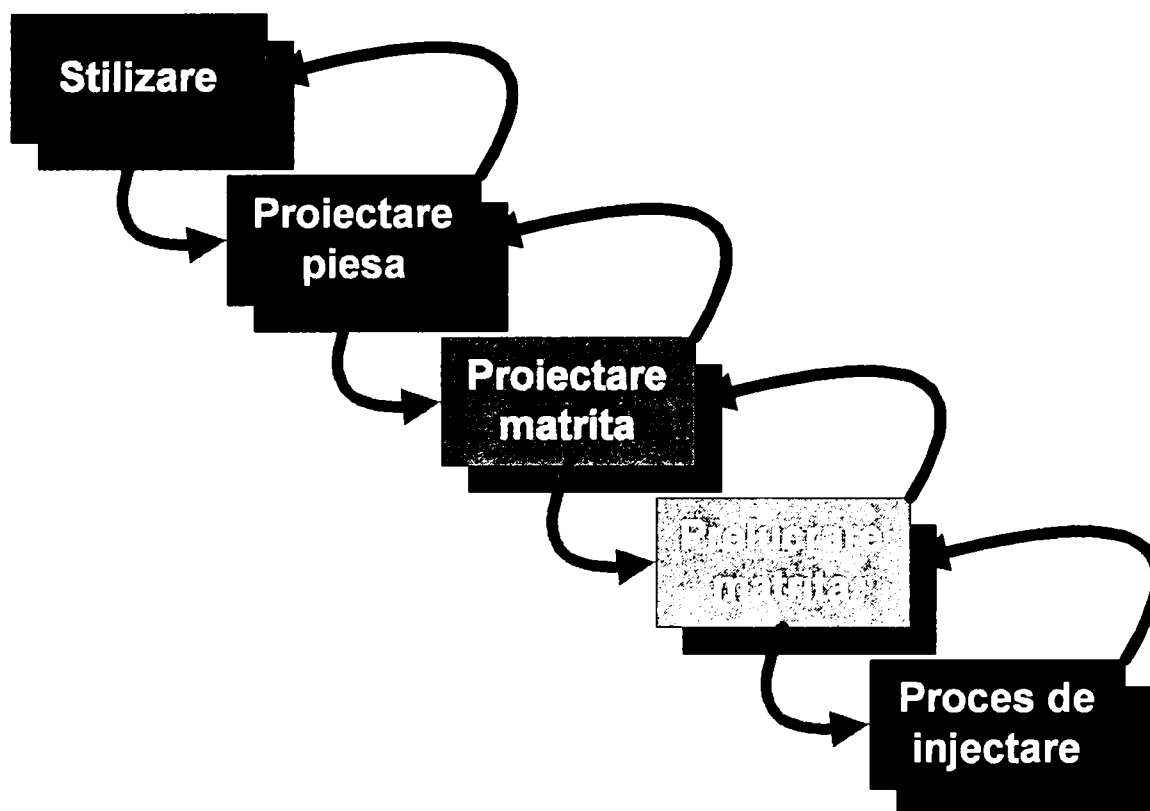
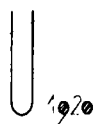


Figura 6

Deși în ultima figură se face referire la anumite pachete de aplicații software, teoretic lucrurile stau la fel pentru orice produse existente pe piață – evident, cu cel puțin aceleași performanțe.

Să remarcăm faptul (așa cum rezultă și din figură) că mediul principal de modelare este pachetul Pro/ENGINEER[®], des utilizat pe parcursul acestei lucrări. Din Pro/E se face apel la un pachet de analiză cu elemente finite, în această lucrare el fiind ANSYS[®]. După optimizarea piesei din punct de vedere funcțional, se exportă modelul 3D al piesei de injectat din Pro/E într-un pachet dedicat procesului de injectare a materialelor polimerice. În această lucrare se vor utiliza în mod egal pachetele C-MOLD[®] și Moldflow[®].

După asigurarea condițiilor de injectabilitate a piesei din materiale polimerice (analiză realizată cu pachetul C-MOLD de exemplu) se revine din nou în Pro/E pentru realizarea documentației tehnice a piesei (desenele tehnice) și pentru realizarea matriței. Realizarea matriței impune iarăși apelul lui C-MOLD, care va optimiza scula de injectat (studiul răcirii, încălzirea canalelor de injectare etc.). De asemenea, în acest stadiu este nevoie și de Pro/E pentru



modelarea 3D a matriței, apelul subansamblelor din bibliotecile specializare, crearea ansamblului general etc., iar în final – deosebit de important – realizarea tehnologiei de execuție pe MU-CNC.

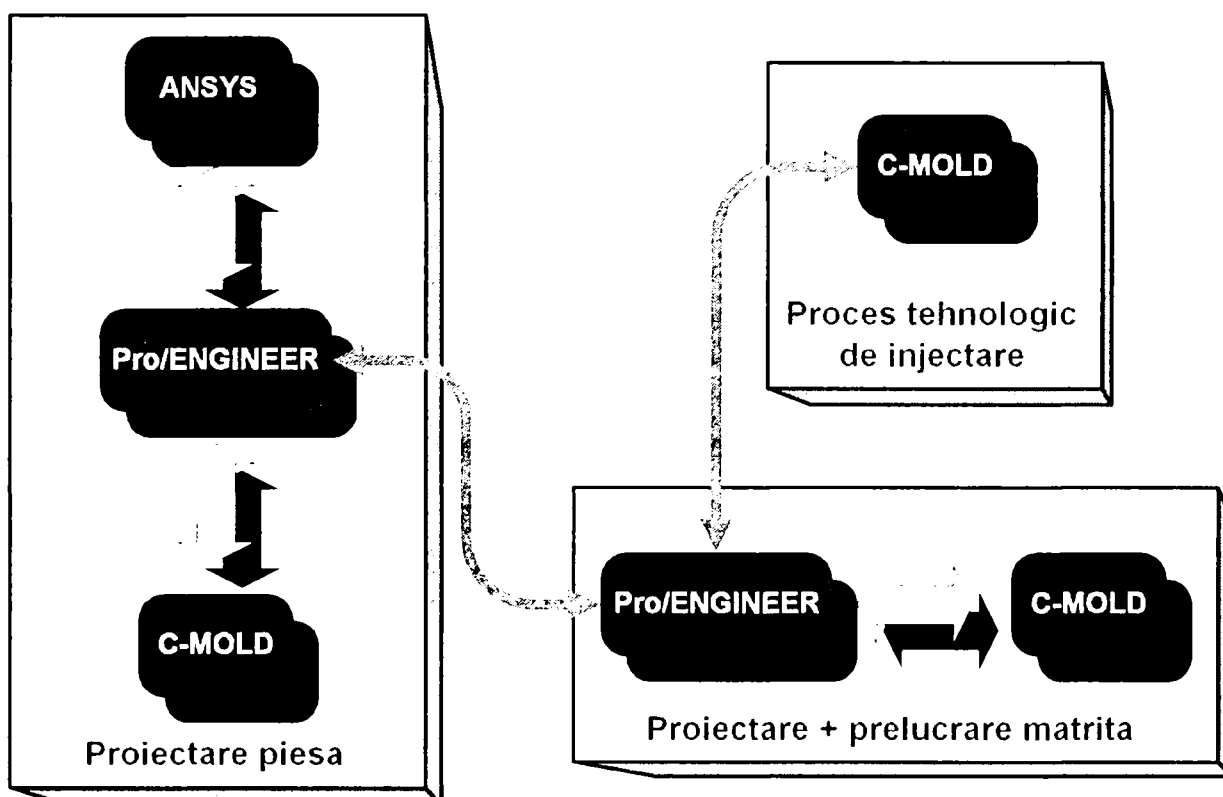


Figura 7

În final, se face din nou apel la sistemul expert al pachetului C-MOLD pentru proiectarea optimă a reglajului mașinii de injectat, pe care se va realiza producția în serie a reperului respectiv.

Să rezumăm aceste lucruri într-o figură – sperăm sugertivă. Figura 8 prezintă așa numiții "stâlpi" ai proiectării produselor din materiale polimerice: Pro/E, ANSYS și C-MOLD. Pe ei ne com baza în continuare studiul – cu precizarea că uneori în loc de C-MOLD vom face referire și la produsul Moldflow, de mare performanță și el, de asemenea. Și tot de la cei trei "stâlpi" vom porni mijloacele și metodele de investigație, pentru adăugarea elementelor unei teorii de progres, sperăm reale și utile aplicațiilor industriale.

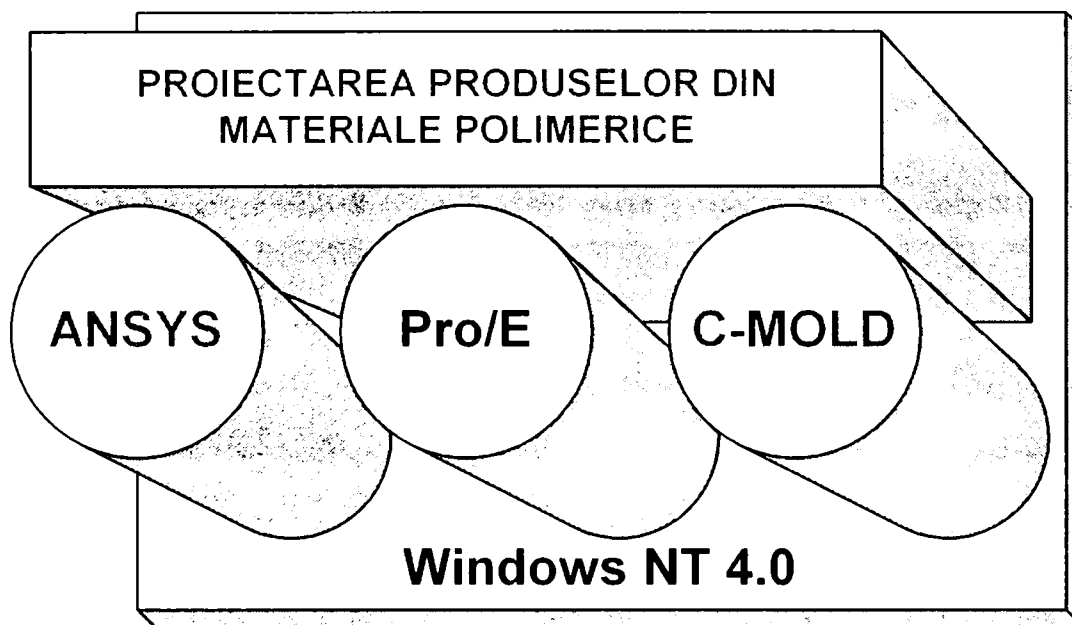


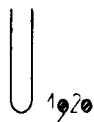
Figura 8

1.5. Concluzii

În concluzie, atunci când realizează proiectul unei piese din materiale polimerice (așa ca în Figura 6), inginerii parcurg de fapt o activitate intelectuală, care conduce la construirea unui algoritm de soluționare a temei date.

Atunci când au ajuns la capăt și au obținut o soluție satisfăcătoare, grupul de ingineri deține cea mai mare cantitate de informație despre proiectul respectiv. În foarte rare cazuri, prima soluție satisfăcătoare a problemei este și cea optimă. Grupul de ingineri, ținând cont de experiența acumulată, este acum gata să reia proiectul de la început și să-l optimizeze fază cu fază și apoi per global. Datorită diferitelor presiuni, grupul de ingineri nu mai dispune de timpul necesar pentru această etapă, livrând proiectul "așa cum este" sau – eventual – cu ajustări minore.

În acest moment al expunerii trebuie să mai facem o precizare. Presupunem că grupul de ingineri utilizează pachete software parametrice, caracteristică care se pretează foarte bine proiectării algoritmice. Așadar intern, fiecare dintre pachetele Pro/E, ANSYS, C-MOLD sau Moldflow permite realizarea unor algoritmi de optimizare a proiectului, lăsând pe seama sistemului de calcul "plăcerea" (sau munca) de a optimiza soluția proiectului – după diverse criterii specificate de ingineri. Nu credem că mai trebuie amintită acum marea putere de calcul a computerelor actuale și, de aici, timpii deosebiți de performanți în care se face această optimizare. Algoritmii odată bine pus la punct, optimizarea proiectului se face practic fără efort din partea grupului de ingineri și în timpuri foarte convenabili – uneori de ordinul minutelor.



Teoria enunțată mai sus nu reprezintă o noutate. Nevoia de a avea software parametric s-a simțit încă de mult, iar ca un răspuns al acestei necesități, primele software parametrice au apărut pe piață la începutul anilor 1990.

Dificultatea soluționării acestei probleme constă din faptul că cei trei “stâlpi” ai proiectării produselor din materiale parametric (Pro/E, ANSYS, C-MOLD) sunt independenți, fără o legătură on-line între ei. Datorită acestui fapt, algoritmul global al proiectului se fracționează într-o sumedenie de subalgoritmi (sau proceduri), care pot fi folosiți în cel mai bun caz pentru optimizări discrete. Nu dorim să se înțeleagă că nu există în prezent nici o legătură între acești “stâlpi”. Între cele trei produse software există o cale de comunicație off-line, și anume interfațarea prin export de fișiere. De asemenea, există și o cale de comunicație on-line între Pro/E și ANSYS, prin apelarea solverului ANSYS direct din Pro/E (doar în această direcție). Este adevărat că există la ora actuală și posibilitatea apelării on-line a solverului C-MOLD direct din Pro/E, dar numai pentru cazul studiului curgerii materialului în matriță.

Din cele prezentate de până acum, se desprind câteva concluzii deosebit de importante privind această teză:

- procesul de proiectare a unei piese din materiale polimerice nu poate fi optimizat sub toate aspectele, datorită inexistenței unui singur pachet software care să rezolve toate problemele, la un nivel performant
- au fost identificate trei pachete software foarte performante, pe domenii, care pot rezolva toate problemele apărute în procesul de proiectare a pieselor polimerice
- intern, cele trei pachetele software permit construcția unor algoritmi de optimizare
- comunicația actuală între cele trei pachete software nu este de natură să permită o proiectare parametrică extinsă de la un pachet la altul și de aici, imposibilitatea optimizării generale a sistemului.

1.6. Obiectivul tezei și direcțiile de cercetare-dezvoltare

Figura 9 ilustrează esența ingineriei materialelor polimerice: influența continuă, permanentă și mutuală între elementele sistemului de realizare a piesei din aceste materiale. Se remarcă influența geometriei piesei asupra materialului din care este confecționată piesa, a materialului asupra matriței sau a matriței asupra materialului, până când o echilibrare acceptabilă este atinsă.

Ceea ce dorește această figură să prezinte este ideea că, în ciuda faptului că inginerii proiectanți dintr-un anumit grup (să spunem de exemplu proiectanți matrițe) doresc să optimizeze o anumită funcție a sistemului, proiectul general nu poate fi optimizat doar sub un anumit aspect. Optimizarea geometriei piesei de exemplu implică modificarea matriței sau a procesului de injectare.

Pentru fiecare fază din figura elementelor sistemului, unul din cele patru elemente poate fi optimizat, dar restul elementelor sistemului (cele trei rămase) ar trebui considerate simultan.

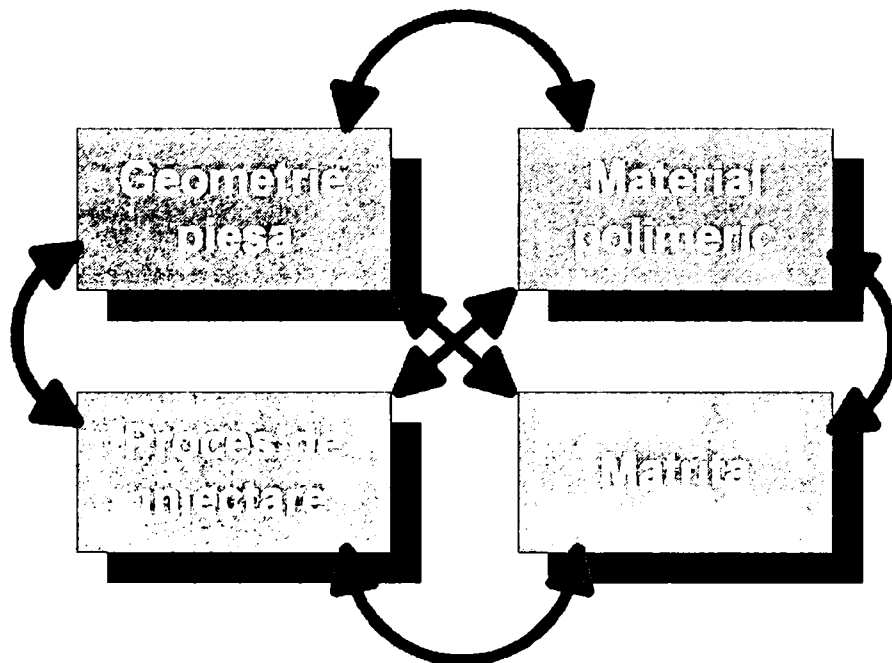
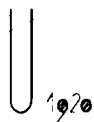


Figura 9

Optimizarea fiecărui element contribuie la optimizarea întregului sistem, dar în același timp sistemul trebuie optimizat și în ansamblu: optimizarea geometriei, optimizarea matriței, selectarea optimă a materialului și optimizarea procesului de injectare.

Prin utilizarea unui sistem CAD/CAM/CAE parametric optimizarea întregului sistem s-ar putea realiza foarte ușor. Problema care se ivește este că nu dispunem la ora actuală – pe plan mondial – de un sistem CAD/CAM/CAE care să fie ideal tuturor elementelor sistemului.

Am identificat trei pachete software (Pro/E, ANSYS, C-MOLD), care luate împreună satisfac toate condițiile, dar care sunt produse de firme diferite, care nu au între ele – la ora actuală – un parteneriat strategic privind schimbul de



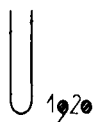
informații on-line. Din acest motiv, optimizarea întregului sistem de proiectare a unui produs polimeric nu este posibil de realizat.

Din informațiile care le deținem – a se vedea bibliografia –, această problemă nu este soluționată la nivel mondial. În prezent, problema este avută în vedere de către puternicii producători de pachete software, precum și de cercetarea universitară.

OBIECTIVUL TEZEI este acela de a crea premisele optimizării generale a sistemului de proiectare a pieselor din materiale polimerice, pornind de la utilizarea unor produse CAD/CAM/CAE existente pe piață, prin lărgirea și îmbunătățirea facilităților oferite de acestea.

Directii de cercetare-dezvoltare:

- definirea, sistematizarea și dezvoltarea unor elemente generale privind sistemele CAD/CAM/CAE utilizate la proiectarea pieselor din materiale polimerice
- structurarea procesului complex de realizare a pieselor injectate din materiale polimerice
- aprofundarea conceptelor asociate modulului unui sistem parametric CAD/CAM/CAE utilizat la analiza și designul procesului de injectare a pieselor din materiale polimerice
- analiza definirii modulului FEM pentru piesele injectate, în cazul unui sistem CAD/CAM/CAE parametric
- structurarea metodelor de optimizare a proiectării produselor din materiale polimerice cu ajutorul sistemelor CAD/CAM/CAE parametrice
- dezvoltarea unui produs software care ofere posibilitatea optimizării generale a sistemului de proiectare a pieselor din materiale polimerice
- testarea în practică metodologiei și a aplicației elaborate.



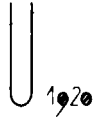
2. Stadiul actual al sistemelor CAD/CAM/CAE utilizate la proiectarea pieselor din materiale polimerice

Indiferent de gradul de interconectare și de nivelul de automatizare dobândit, folosirea calculatorului în procesul de injectare este din ce în ce mai răspândită. În domeniul utilizării calculatorului s-au dezvoltat concepte specifice cum ar fi CAD, CAM și CAE. Înainte de a trece la sistemele CAD/CAM/CAE privite ca un ansamblu de instrumente de proiectare, să vedem care au fost premisele tehnologiei actuale de injecție a materialelor plastice.

2.1. Calculatoarele și microelectronica. Repere istorice

Punctul critic al tehnologiei de astăzi a fost apariția primului calculator electronic (ENIAC) construit de către o echipă condusă de J. Pesper Eckert și John Mauchley la Moore School of Engineering a Universității Pennsylvania. Un alt mare pas înainte al fabricației actuale l-a constituit apariția controlului numeric (NC), prima dată introdus la mașinile-unelte de prelucrări prin așchiere, pe la mijlocul anilor '50.

Alte tehnologii complementare din domeniul mecanic și electronic s-au dezvoltat și au modificat mediul industrial actual. Dezvoltarea semiconductorilor a avut ca efect o adevărată revoluție în electronică: componentele s-au miniaturizat, au devenit mult mai rapide, mai ieftine și mult mai fiabile. Evoluția lor a



pavat drumul spre apariția microprocesorului. Microprocesoarele și memoria RAM într-un singur cip au permis apariția senzorilor inteligenți și a mașinilor-unelte adaptive, care pot reacționa automat la condiții variabile.

Posibilitatea mașinilor și a utilajelor în general de a primi și interpreta instrucțiuni de lucru și de a comunica unele cu altele (prin intermediul controlerelor de cel mai înalt nivel), precum și de a schimba informații electronice, a dus la un alt pas semnificativ: apariția conceptului de fabricație integrată (Computer Integrated Manufacturing).

După apariția calculatorului electronic, bariera tehnologică a fost străpunsă a doua oară în anii 1959-1960 prin apariția primului circuit integrat, invenție atribuită lui Jack Kilby de la Texas Instruments și Robert Noyce³ de la Fairchild Semiconductor. Progresul înregistrat de circuitele integrate se va resimți în evoluția următoarelor generații de calculatoare.

Circuitele LSI (large-scale integration) au apărut în 1970, când Intel a realizat primul cip de memorie aleatoare RAM de 1K. Tot Intel a produs în anul 1971 primul microprocesor pe 4 biți. Progresul începe să fie foarte accelerat odată cu apariția primului calculator personal (IBM-PC) în anul 1981, iar Intel produce primul microprocesor pe 64 biți în 1989.

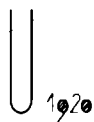
Eficiența computațională este direct corelată cu complexitatea circuitelor. De remarcat că alura ascensională a evoluției componentelor electronice se resimte în sens invers asupra prețurilor acestora. În termeni relativi, costul unitar pentru calculul computațional a scăzut cu un factor de 1 la un milion față de era tuburilor electronice.

2.2. Sistemele CAD/CAM/CAE

Domeniul sistemelor CAD/CAM/CAE pentru realizarea produselor din materiale polimerice a cunoscut o largă dezvoltare mai ales în ultimul deceniu. Aceasta se datorează în special creșterii ponderii produselor din materiale polimerice în producția industrială, precum și dezvoltării tehnologiilor de realizare a acestor produse.

Numărul experților în domeniu fiind limitat, foarte multe firme producătoare de repere injectate au fost dispuse să aloce fonduri pentru achiziționarea unor astfel de sisteme și să instruească personal specializat în utilizarea pachetelor software corespunzătoare.

³ Mai târziu, Noyce avea să părăsească Fairchild pentru a fonda firma Intel.



2.2.1. Sistemele CAD

Proiectanții, constructorii de matrițe și fabricanții de piese injectate din materiale termoplastice au astăzi la dispoziția lor o mare varietate de sisteme CAD/CAM/-CAE. Aceste sisteme cuprind diferite module:

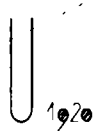
- sistemul CAD-3D pentru concepția pieselor și generarea geometriilor prin metoda elementelor finite FEM
- programe CAE care pot fi utilizate pentru simularea cu calculatorul a diferitelor aspecte, cum ar fi de exemplu simularea contractiilor și deformațiilor
- sistemul CAD-2D pentru desenare
- module pentru simularea procesului de umplere al matriței
- modulul CAM pentru fabricarea matriței. Acesta trebuie să includă procesoare pentru 2, 2½, 3, 4 și (rareori) 5 axe pentru mașinile unelte cu CNC.

Sistemele CAD (Computer-Aided Design) au reprezentat o revoluție în proiectare. De la început, un sistem CAD conținea un calculator cu un monitor de înaltă rezoluție, un plotter și un pachet software suficient de complex pentru realizarea graficii asistate. De cele mai multe ori sistemul conținea și bibliotecile corespunzătoare, care ofereau o relativă automatizare precum și o evidentă simplificare a muncii de proiectare.

Inițial, sistemele CAD au fost dezvoltate de către marile firme din domeniul aeronauticii ca McDonnell-Douglas sau Boeing. Primele sisteme utilizau computere mainframe; cele mai sofisticate sisteme CAD de astăzi păstrează această tradiție. Primul sistem complet CAD apărut pe piața medie a acestor sisteme a fost realizat de firma ComputerVision în 1970. Progresul tehnologic rapid al microelectronicii a făcut ca performanțele sistemelor CAD precum și prețul acestora să devină foarte atractiv pentru majoritatea covârșitoare a agenților economici industriali. Tabelul 1 prezintă evoluția sistemelor CAD.

Tabelul 1

Anul	Tehnologia
1961	CAD 2D, un singur terminal, utilizat doar la desenare
1963	CAD 2½D, terminale multiple, utilizat doar la desenare
1966	CAD 3D, utilizat în aplicații industriale
1968	CAD+FEA, analiza cu elemente finite utilizată în proiectare
1970	Posibilități de simulare
1972	Ingineria integrată
1974	CAD/CAM, liste de materiale



1978	Rețele CAD/CAM, inginerie integrată on-line, fabricație în configurație dinamică
1982	Integrarea CAD/CAM cu SFF
1984	Modelarea 3D
1989	Conceptul CIM
1991	CAD/CAM/CAE parametrică

Figura 10 prezintă un sistem CAD/CAM tradițional. După cum se vede, modelarea solidului începe prin realizarea desenelor în 2D. Acest impediment a fost depășit astăzi prin utilizarea sistemelor 3D native, care au avut o evoluție ascendentă în ultimul deceniu.

Deși apariția revoluționară a sistemelor 3D – ce a pus în umbră sistemele 2D – a fost resimțită pe piața produselor CAD, sistemele 2D nu au fost eliminate complet, așa cum era de așteptat. Cu toate că ele au cunoscut un relativ regres pe piața produselor software industriale, pachetele CAD 2D se mențin (și se vor menține) în competiție datorită unor avantaje deloc de neglijat:

- simplitate;
- costuri scăzute la achiziția pachetului CAD precum și a hardware-ului corespunzător;
- un număr impresionant de instalări existente în toate întreprinderile (popularitate);
- documentație ușor accesibilă și exhaustivă;
- existența multor centre de școlarizare și însușirea preferențială, încă din universitate, a acestor programe;
- supremația pe care aceste sisteme o au față de pachetele 3D în realizarea schițelor tehnice simple sau a altor documentații tehnice necesare doar în 2D;
- nu în ultimul rând tradiția și refractarismul managerilor la noi investiții în hardware și software “care să rezolve aceleași probleme”.

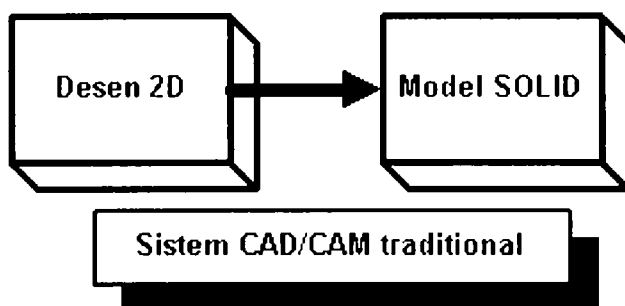
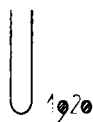


Figura 10

Figura 11 încearcă să evidențieze studiul evoluției pieței produselor CAD mecanice făcut pentru un număr de 1750 de întreprinderi din Germania pe anii 1996-1997.

Evoluția sistemelor CAD mecanice în 1996-1997

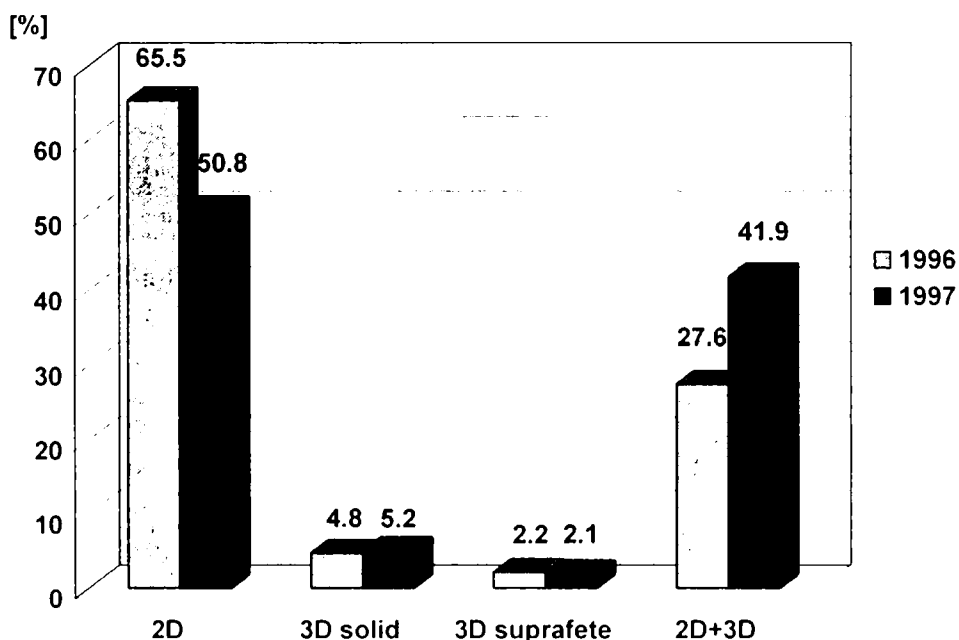
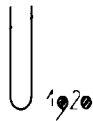


Figura 11

Se observă tendința evidentă a orientării utilizatorilor spre CAD-urile de modelare 3D; totuși, dominația clară a CAD-urilor 2D rămâne semnificativă.

O altă tendință semnificativă se remarcă în larga popularizare a acestor sisteme. Figura 12 prezintă evoluția sistemelor CAD mecanice în aceleași condiții de mai sus. După cum se remarcă, numărul instalărilor pe sisteme main-frame este scăzut, dar cel mai semnificativ aspect este creșterea numărului de unități instalate pe calculatoare IBM-PC sau compatibile. Explicația acestui aspect este evoluția din ultimii ani a producției de microcalculatoare, a micro-



procesoarelor Intel și mai ales dezvoltarea sistemelor de operare Windows 95, 98 și Windows NT la un nivel oarecum apropiat de cel al stațiilor grafice UNIX.

Evoluția sistemelor CAD mecanice în funcție de platforma hardware

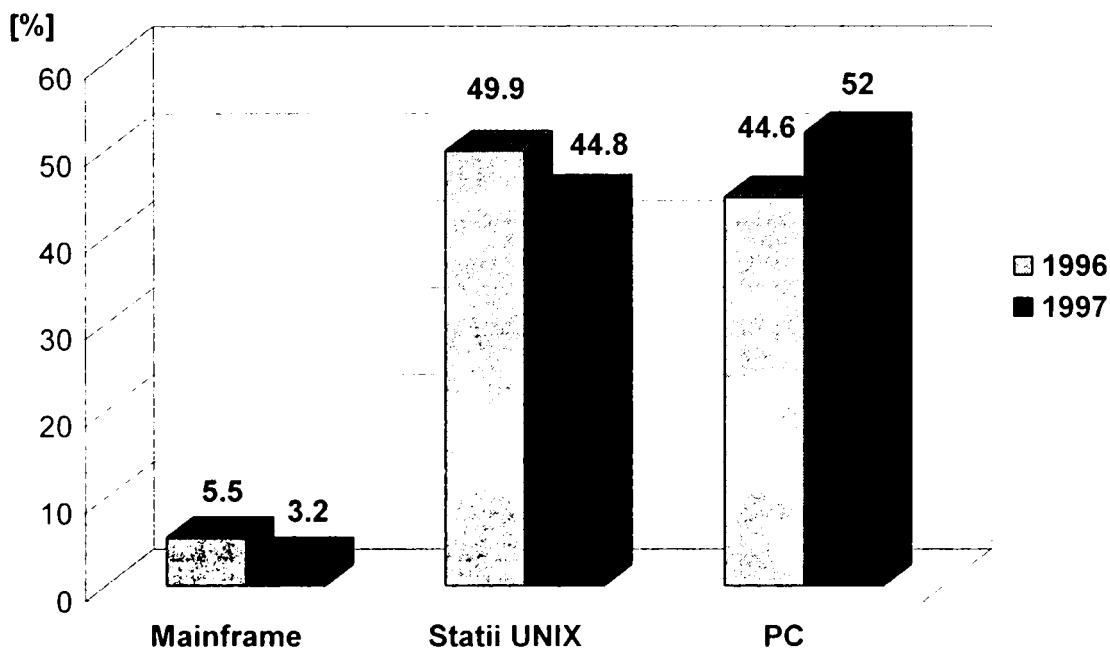


Figura 12

Unele dintre sistemele CAD actuale sunt considerate pre- și postparametrice. Majoritatea au adoptat standardele de export/import IGES, STEP, DXF/DWG, VRML, STL și altele. De asemenea ele au fost integrate confortabil cu biblioteci și aplicații dedicate, precum și cu modulele de FEM, CAM și PDM.

2.2.2. Sistemele CAM

Sistemele CAM nu s-au dezvoltat atât de repede ca și cele CAD. De la început, pachetele CAM au aparținut unei anumite clase de software, nestandardizată și independentă de clasa pachetelor CAD. Mai mult, majoritatea pachetelor aveau înfățișarea unui software “de casă”, dezvoltat de către o anumită firmă pentru rezolvarea unei anumite aplicații. Este adevărat că de la bun început s-au evidențiat avantajele implementării unui sistem CAD/CAM integrat.

Totuși, pachetele CAD și pachetele CAM au continuat să meargă în paralel până în zilele noastre și probabil că așa vor evolua lucrurile și în viitor. Rățiunea unei astfel de evoluții, oarecum surprinzătoare, se explică prin faptul că grupul utilizatorilor CAM rămâne totuși un grup independent în majoritatea companiilor, iar pachetele CAD–CAM complet integrate în același sistem țin de



zona visului “boutique-lui industrial” ce produce “piese la cerere” și care nu are șanse de realizare deocamdată.

2.2.3. Sistemele CAE

În domeniul pieselor injectate se impune problema integrării soluțiilor oferite de sistemele CAD CAM și CAE. Un astfel de sistem integrat presupune accesibilitatea fără rezerve la sistemul CAD, precum și procesul de simulare al pieselor injectate și a matrițelor aferente.

Analiza completă (și complexă) a piesei injectate face obiectul a diferite sisteme de calcul care determină soluții cu rezultate excelente, verificate în practică.

Obiectivele sistemului CAE

Obiectivele unui sistem CAE pentru realizarea unei piese injectate din material termoplastic sunt următoarele: scăderea costurilor, scurtarea timpilor de desfășurare și creșterea calității produselor. În prezent sistemele CAE reușesc mai mult sau mai puțin acest lucru, în funcție de implementare.

Scăderea costurilor. Proprietățile pieselor din materiale polimerice sunt influențate în mare măsură de procesul de fabricație. Încă din faza de prototip, se impun cerințe deosebite din punct de vedere al matriței. Costurile unei matrițe pentru injectare sunt cu mult mai ridicate decât ale unei matrițe pentru piese din tablă. Experimentele din domeniul matrițelor de injectat au arătat că, în special la piesele mari și piesele critice din punct de vedere al curgerii, utilizarea programelor reologice, termice și mecanice duce la scăderea costurilor. Ca un exemplu a celor precizate mai sus se prezintă cazul întreprinderii *Jokey France*, care, pentru realizarea proiectului unei matrițe de injectat comandată de firma *Mayr* a avut nevoie de trei ani de studii, iar prețul unei singure matrițe a depășit cu mult 500.000 FF.

Scurtarea timpilor de desfășurare. Timpul necesar pentru execuția matriței-prototip (virtuală) întârzie producția de serie, însă se remarcă reducerea numărului modificărilor pentru matrița de serie. Se crează astfel timp pentru modificări care nu erau până acum posibile, micșorându-se numărul rebuturilor calitative.

Creșterea calității produselor. Cu mijloacele software disponibile la ora actuală se pot obține în mod curent indicații privind comportamentul global al piesei injectate și predicții asupra diferitelor caracteristici, cum ar fi distribuția de temperaturi sau tensiuni în fiecare punct. Abaterile de la cerințe, ca de exemplu abaterea de la distribuția omogenă a temperaturii în piesă (în timpul răcirii în matriță), pot fi utilizate în luarea deciziilor corecte în timpul fazei de proiectare. Prin schimbarea condițiilor la limită, pe baza simulării numerice, pot fi împie-



dicate sau cel puțin minimizate efectele care la piesa reală ar putea conduce la calități slabe, ireversibile.

Este necesară utilizarea unor module de calcul precum și de date pentru generarea unor programe de calcul, de tipul sistem expert. Prin returnarea rezultatului sistemului CAD se poate realiza optimizarea construcției piesei prin buclă interactivă.

Alte informații se referă la materialul polimeric: tipuri de material, modificări posibile de material etc. Este necesară o bază de date care să conțină alături de datele noi, importante pentru construcții și coeficienții necesari pentru modelele descriptive.

În ultimile două decenii, în dezvoltarea sistemelor automatizate de tipul CAD/CAM/CAE s-a resimțit o tendință de standardizare și integrare la o anumită scară între diferitele structuri fizice și o serie de subsisteme cu funcții de proiectare și tehnologice în jurul unei baze de date care să conțină informațiile privitoare la forma, structura, materialul și parametrii tehnologici ai piesei de injectat.

2.3. Sisteme, pachete software, interfețe

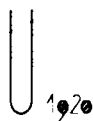
Procesul de creare și modificare a informațiilor care caracterizează piesa injectată se numește modelare geometrică. Implementarea hardware-software care facilitează modelarea geometrică se numește modelator geometric. Modelarea geometrică implică două elemente importante:

- sintetizează definiția analitică a piesei injectate din punct de vedere geometric, împreună cu proprietățile predominante ale acesteia
- utilizează toate metodele numerice specifice experimentelor matematice pentru a elimina și studia alte proprietăți ale piesei injectate, proiectate pe calculator, într-un proces anterior celui de fabricație.

Majoritatea firmelor reprezentative pe plan internațional, producătoare de pachete software CAD/CAM/CAE, furnizează sisteme la diferite grade de integrare. Sistemul primordial este baza de date care conține modelul geometric 3D al piesei și informații despre caracteristicile piesei.

Procesul de modelare este în mod natural realizat de către inginerul proiectant în faza de proiectare sau piesa este importată din alte sisteme. Modelarea piesei injectate se poate realiza pe diverse sisteme (Pro/ENGINEER[®], CATIA[®], STRIM[®], C-MOLD[®], MOLDFLOW[®] sau ANSYS[®]).

Sistemele CAD/CAM/CAE utilizează o bază de date centrală de proiectare pentru stocarea și regăsirea desenelor. Aceasta bază de date centrală permite



utilizatorilor din sectoare de proiectare și de fabricație diferite să partajeze informațiile (datele) proiectului.

Pentru schimbul de date între sistemele CAD/CAM/CAE se utilizează diferite standarde (IGES, DXF, VRML, STL, STEP și altele). Aceste standarde sunt indispensabile atunci când trebuie să comunice între ele diverse sisteme produse de firme diferite. Schimbul de date între două sisteme dezvoltate de firme diferite are nevoie de translatoare speciale, care să citească și să interpreteze informațiile conținute în baza de date a primului sistem și să le convertească în formatul bazei de date a celui de-al doilea sistem computerizat.

De aproape trei decenii inginerii se bazează pe sistemele CAE (Computer-Aided Engineering) pentru a-și simplifica munca și pentru a aduce cât mai repede pe piață produse de calitate superioară.

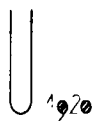
Firmele producătoare de software au incorporat baza de cunoștințe actuală din varii domenii (mecanică, termodinamică, electromagnetism, electrostatică, mecanica fluidelor etc.) în pachete software CAE, ce dezvoltă continuu tehnologia inovativă și flexibilă a sistemelor ingineresti din întreaga industrie, oferind clienților posibilitatea rezolvării unui larg spectru de probleme și posibilitatea maximizării beneficiilor de pe urma investițiilor în hardware și software.

În evoluția tehnicilor CAE, un exemplu relevant îl constituie firma ANSYS, Inc. John Swanson, pionier al analizei cu elemente finite, a fondat această firmă în 1970, cu viziunea conceptului de simulare pe calculator a activităților de proiectare în inginerie. Aceasta a fost scânteia industriei producătoare de software CAE. Astăzi, mai corporații multinaționale consideră programul ANSYS ca pe un standard. Să urmărim evoluția acestui program, pentru a înțelege locul în care au ajuns astăzi pachetele CAE.

Primul program ANSYS a fost un program tip "batch" (eng. – lot de comenzi) și oferea doar posibilitățile de transfer termic și analiză structurală liniară. Programul rula doar pe computere mainframe. La începutul anilor '70 echipa care dezvoltă programul a incorporat în următoarele versiuni noile tehnologii și mai ales a ținut seama de cerințele utilizatorilor.

O largă gamă de elemente au fost adăugate – nonliniarități, substructuri etc. – iar echipa care dezvoltă programul a început să privească spre minicalculatoare și terminale grafice vectoriale. În deceniile următoare, utilizarea posibilităților oferite de aceste dezvoltări hardware vor pava calea programului ANSYS în noua eră CAE.

Modul interactiv de operare a fost introdus la sfârșitul anilor '70. Cu el, generarea modelului și evaluarea rezultatelor (pre și post-procesarea) s-au simplificat într-un mod spectaculos. Grafica interactivă a putut fi utilizată pentru verificarea geometriei modelului, materialele și condițiile de graniță înainte de rularea programului. Prezentarea grafică a rezultatelor analizei s-au putut



realiza imediat – așa numitul principiu al verificării interactive. Astăzi, programul este extrem de puternic și simplu de utilizat. Cu fiecare nouă versiune aplicația software și-a mărit capabilitățile, a devenit mai flexibilă, mai ușor de utilizat și mai rapidă.

Pachetele CAE oferă analiza robustă și flexibilă a proiectului. Majoritatea lor operează astăzi pe un număr mare de sisteme de calcul, începând de la PC-uri și până la stații de lucru sau supercomputere.

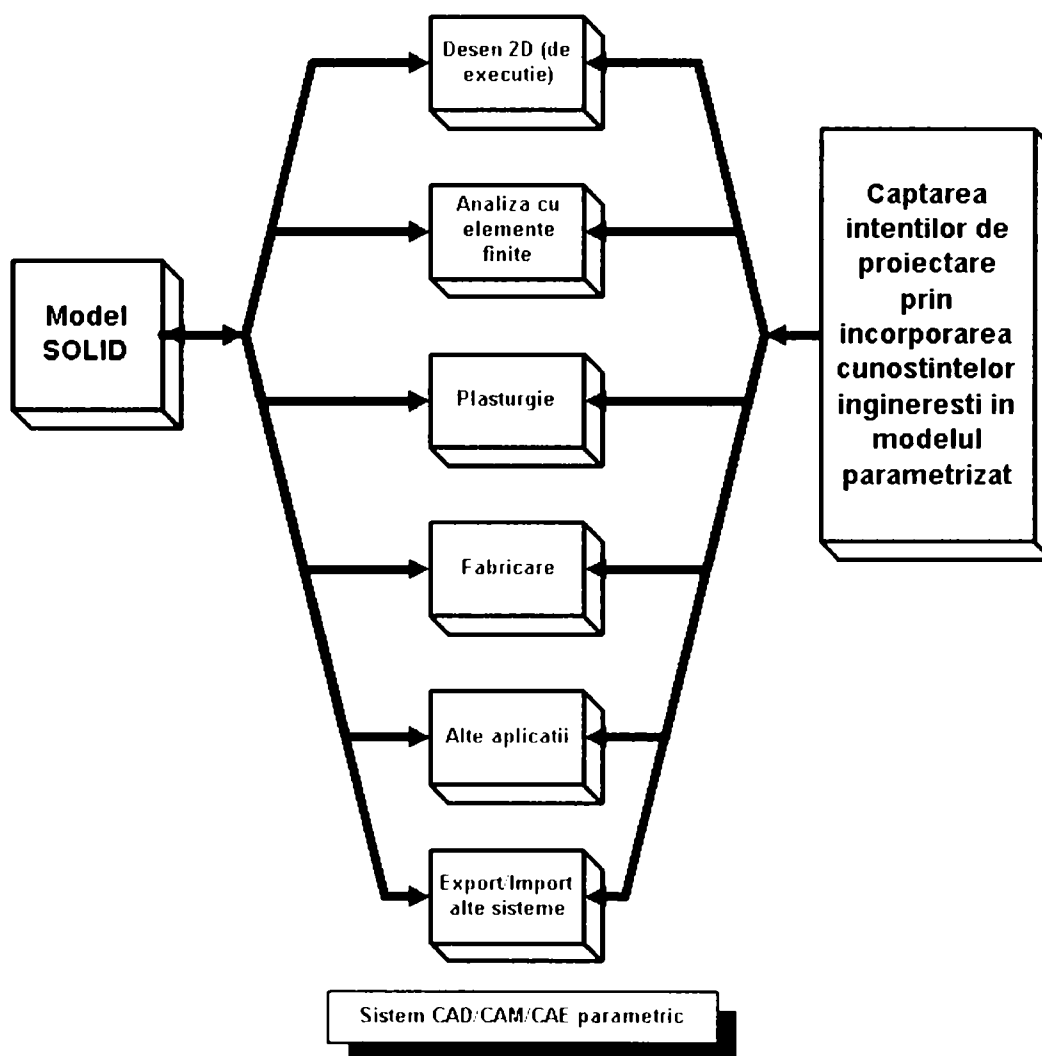
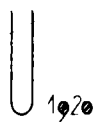


Figura 13

Natura multifizică a pachetelor CAE permite ca același model să poată fi utilizat la studiul multidisciplinar al solicitărilor și comportamentul acestuia în cazul aplicațiilor cuplate (multifizice), cum ar fi de exemplu studiul termic-structural sau electro-magnetic-fluido-termic.

Aceste posibilități oferă soluții pentru cele mai variate situații cu care inginerii se confruntă în edificarea proiectelor: calcul structural liniar și neliniar,



electromagnetism, calculul computațional al dinamicii fluidelor, optimizarea interactivă a proiectării, calculul solicitărilor de contact, discretizare adaptivă, adaptivitatea metodei “p”, studiul curgerii, deformații permanente, deplasări și rotații finite, cât și modelarea parametrică.

Ca regulă generală, sistemele CAE au adoptat sistemul de meniuri *Motif*, care oferă posibilitatea introducerii datelor și selectarea funcțiilor cu ajutorul casetelor de dialog, meniurile *pull-down* și submeniurile adiacente, utilizatorul fiind ghidat prin program cu ajutorul unui sistem de documentare (help) corespunzător. Modelarea solidă nu este punctul forte al acestor programe. Totuși, posibilitățile de modelare solidă includ reprezentarea NURBS, primitive geometrice și operații booleane.

Principala sursă a modelelor geometrice provine de la alte sisteme CAD. Pentru aceasta pachetele CAE dispun de sofisticate translatoare geometrice, foarte rapide și precise. Cele mai răspândite translatoare sunt IGES și mai nou STEP.

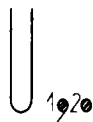
Actuala tendință este aceea de a incorpora tehnologia sistemelor CAE în pachetele CAD majore. Pe de altă parte, se constată și tendința ca sistemele CAE să-și dezvolte propriul sistem CAD integrat pachetului. Din punctul de vedere al proiectantului, prima soluție este cea convenabilă. Privit prin prisma tehnologului, se preferă însă a doua soluție.

Figura 13 prezintă un sistem CAD/CAM/CAE parametric. În bună măsură modelul pentru această figură a fost schițat după pachetul de programe Pro/ENGINEER. Cu mici diferențe acest model este similar cu cel de la CATIA sau UNIGRAPHICS. Modulul de plasturgie se remarcă în “miezul” sistemului, corelat evident, cu celelalte module de analiză tip CAE; o descriere mai pe larg a acestui modul se va face în capitolele următoare.

2.4. Limitele tehnologiei actuale în analiza constructivă și tehnologică asistată de calculator pentru produsele din materiale polimerice

Simularea procesului de realizare a pieselor din materiale polimerice se poate face la ora actuală cu suficient de multe pachete CAE. Pentru injecția materialelor polimerice s-au ales două produse reprezentative: C-MOLD și MOLDFLOW. De asemenea, pentru a analiza anumite procese specifice s-a folosit pachetul ANSYS. Pentru proiectarea globală, cât și pentru anumite analize se va folosi pachetul Pro/ENGINEER.

Să identificăm pe rând posibilitățile oferite de aceste programe la simularea pe calculator a realizării unui produs din materiale plastice.



2.4.1. Pachetul ANSYS®

Funcțiile ANSYS sunt organizate pe grupe numite procesoare. Programul ANSYS are un preprocesor, un procesor al soluției, două postprocesoare și mai multe procesoare auxiliare, ca de exemplu optimizatorul de proiectare. Preprocesoarele permit utilizatorului să creeze modelul cu elemente finite și să precizeze opțiunile necesare în rezolvarea problemei.

Procesorul soluției este utilizat pentru a aplica încărcările și condițiile de frontieră și pentru a analiza cum răspunde modelul matematic la acestea. Cu postprocesoarele utilizatorul poate examina rezultatele soluțiilor, evaluează răspunsul modelului și poate realiza anumite calcule suplimentare în zonele de interes.

Pachetul ANSYS utilizează o singură bază de date centralizată, așa cum rezultă și din Figura 14 [133]. Datele modelului – care conțin informații despre modelul solid, geometria modelului de elemente finite, materiale etc. – sunt scrise în baza de date utilizând preprocesorul. Datele despre încărcări și soluții sunt scrise în baza de date de către procesorul soluției (solverul). Rezultatele postprocesate sunt scrise de către postprocesoare. Avantajul este că datele scrise în aceeași bază de date de către un procesor pot fi citite de altul. De exemplu, postprocesorul general poate citi datele soluției la fel de bine ca și datele modelului și le poate folosi pentru calcule de postprocesare.

Fișierele ANSYS sunt de tipul baze de date, fișiere ce conțin rezultate, fișiere grafice și altele. Formatul fișierelor scrise de către program poate fi sau ASCII sau format binar (utilizând standardul IEEE). Formatul ASCII poate fi ușor de editat, iar formatul binar asigură transportabilitatea între diferite platforme hardware.

Datorită modulelor sale, programul ANSYS poate fi utilizat la optimizarea proiectării piesei, la analiza sculelor de injectare și la studiul termic al procesului de injectare (comportamentul sculelor și al reperului).

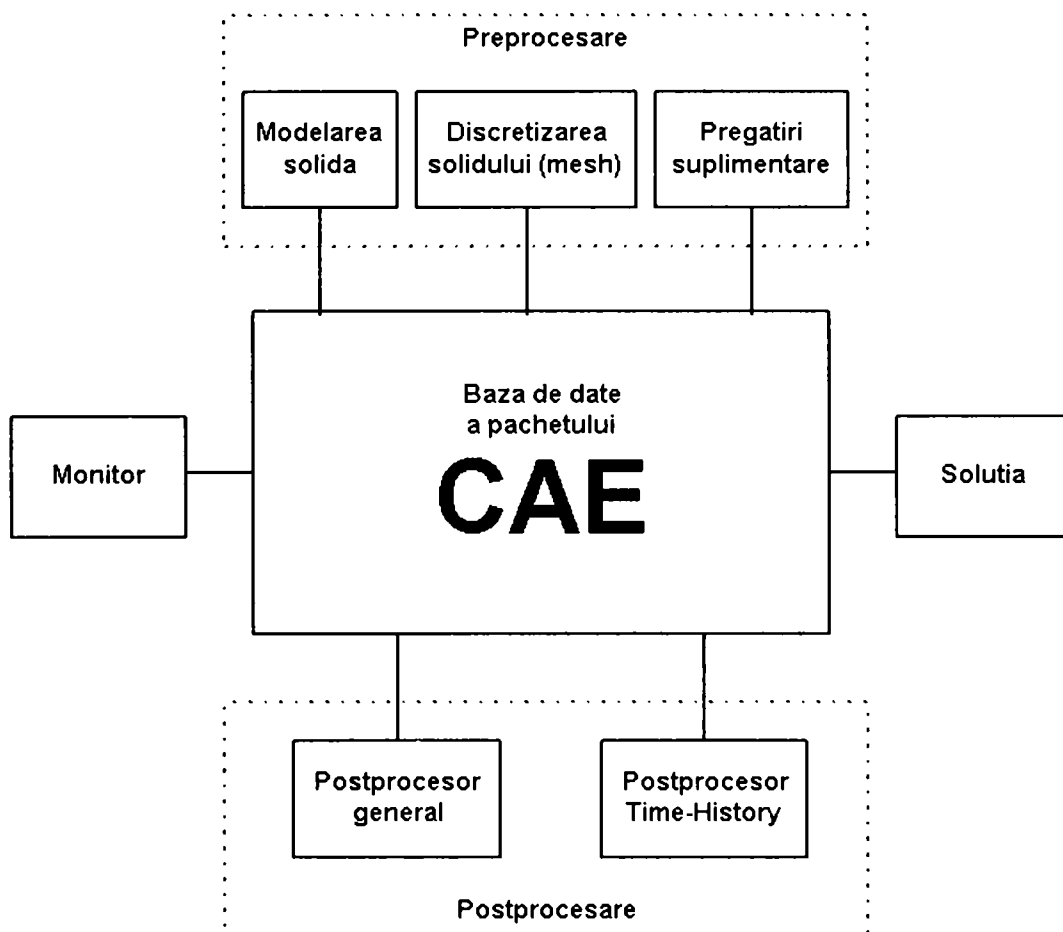


Figura 14

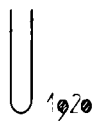
Utilizarea pachetului ANSYS este improprie pentru toate analizele procesului de injecție a materialelor polimerice. Pentru a depăși această limită, se dispune de două pachete software anume dedicate acestui scop, anume C-MOLD și Moldflow.

2.4.2. Pachetele C-MOLD[®] și Moldflow[®]

Aceste pachete – dintr-un anumit punct de vedere aproximativ identice – oferă soluții concrete în cazurile injecției, injecția/compresie, injecția asistată cu gaz, co-injecția, injecția reactivă, injecția prin suflare și termoformarea.

Deși în anumite privințe pachetul Moldflow este mai complet, s-a luat în calcul și produsul C-MOLD datorită compatibilității perfecte cu pachetul Pro/ENGINEER.

Aceste pachete au numeroase și diferite module. Ele permit utilizatorului testarea fezabilității proiectului și selectarea procedurii de injecție corespunzător. Metodele de simulare permit optimizarea piesei și a sculelor de injecție, precum și selectarea polimerului corespunzător, împreună cu parametrii de regim ai procesului.



Respectivele pachete software previn injectia incompletă, echilibrează curgerea în scule, evaluează poziția liniilor de sudură, poziționează culeea, canalele de distribuție, optimizează dimensiunile acestora, minimizează presiunea de injecție, stabilesc forța de închidere și optimizează viteza melcului. Se poate evalua reperul virtual injectat pentru conformitate dimensională și integritate structurală înainte ca sculele să se execute.

Limitele acestor pachete se referă la faptul ca modulul CAD precum și cel de discretizare cu elemente finite (mesh-ul) sunt mai slab reprezentate. De asemenea nu există o bună compatibilitate cu pachetul ANSYS pentru analiza unor anumite aspecte CAE.

2.4.3. Pachetul Pro/ENGINEER®

De departe acest program este unul dintre cele mai bine puse la punct. În suma de module (la versiunea 18 peste 40) și de biblioteci dintre cele mai diverse, produsul Pro/ENGINEER® oferă soluții pentru întreg spectrul mecanic. Simplitatea modelării 3D, perfecta integrare între module (datorată nativității lor în aceeași firmă) și totala compatibilitate cu pachetele CAE au făcut făcut din acest produs unul dintre cele mai performante medii integrate.

Pentru proiectarea pieselor din materiale plastice firma AC Technology, Inc., cea care produce și pachetul C-MOLD® a realizat un modul incorporat pachetului Pro/ENGINEER®, numit C-FLOW/EZ®. Utilizarea acestuia oferă bune rezultate. Totuși, pentru o analiză exhaustivă, modulele pachetului Pro/ENGINEER® sunt limitate în analizele tip CAE.

Inginerul tehnolog trebuie așadar să facă apel la produse precum Mold-flow sau C-MOLD® pentru analize precise. În aceasta constă limitele (altfel firești) ale pachetului Pro/ENGINEER®.

2.4.4. Concluzii la acest subcapitol

Înainte de a trece la concluzii să analizăm Figura 15 [133], care prezintă beneficiile oferite de incorporarea primară a analizelor CAE în procesul de proiectare-fabricare a produselor din materiale polimerice.

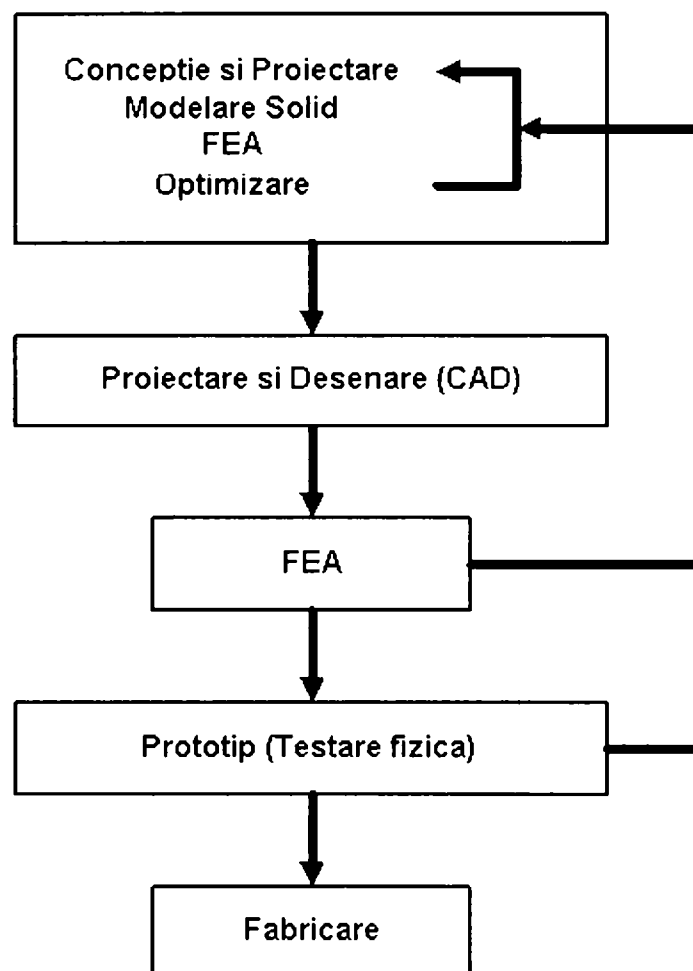
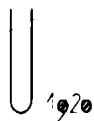
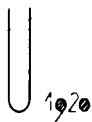


Figura 15

Inginerii proiectanți și tehnologi trebuie să utilizeze avantajele simulării CAE cât mai devreme în procesul de proiectare, pentru a optimiza procesul, reducând astfel costurile de producție.

Acest fapt oferă posibilitatea inginerilor să reducă execuția unor multiple prototipuri, testarea și ciclurile de reproiectare; se elimină astfel și costurile suplimentare cu reproiectarea și reexecuția sculelor de injecție, asigurându-se în același timp piese de calitate superioară.



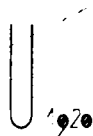
3. Tehnologia de realizare a pieselor injectate din materiale polimerice

3.1. Tehnologia polimerilor

Unul dintre materialele actuale de bază – anume polimerii – este cel mai nou și în același timp cel mai vechi dintre materialele cunoscute de om. Un *polimer* este un compus ce conține un lanț lung de molecule, fiecare moleculă fiind la rândul ei compusă din mai multe unități ce se repetă, conectate între ele.

Polimerii pot fi separați în două categorii: *materiale plastice* și *cauciucuri*. Ca materiale folosite în industrie, ei sunt relativ noi comparativ cu metalele și materialele ceramice, datând de la mijlocul secolului al XIX-lea. Din punct de vedere tehnic și anume al utilizării lor în industrie, polimerii se divid în trei categorii, unde (1) și (2) sunt materialele plastice, iar (3) reprezintă cauciucurile:

1. polimerii termoplastici, sau termoplastele (TP) – sunt materiale solide la temperatura camerei. Aceste materiale devin lichide vâscoase când sunt încălzite la temperaturi doar de câteva sute de grade. Această caracteristică le permite o punere în formă ușoară și foarte economică. De asemenea, aceste materiale pot fi supuse unor cicluri repetate de încălziri și răciri, fără o degradare semnificativă a polimerului.



2. polimerii termorigizi sau termoduri (TR) – nu tolerează ciclurile repetate de încălziri și răciri ca și polimerii termoplastici. Când sunt inițial încălziți, polimerii termostatați se înmoaie și curg în formă, dar temperaturile înalte produc o reacție chimică care ridică duritatea materialului și îl transformă într-un solid infuzibil.
3. elastomerii (E) – sunt de fapt cauciucurile. Elastomerii sunt polimeri care prezintă o extensibilitate elastică extrem de mare când sunt supuși unei tensiuni relativ scăzute. Anumiți elastomeri pot fi deformați elastic cu un factor de 1:10 și încă își mai pot recupera complet forma inițială. Deși proprietățile lor sunt diferite de termostatate, ei au o structură moleculară similară cu a acestora, care este foarte diferită de materialele termoplastice.

Din punct de vedere comercial, cele mai importante sunt materialele termoplastice, constituind aproximativ 70% din materialele polimerice produse sintetic. Materialele termorigide și elastomerii reprezintă în prezent aproximativ 30% din piață, deși au avut o importanță mult mai mare în trecut. Cei mai mulți polimeri de tipul TP includ polietilena, clorura de polivinil, polipropilena, polistirenul și nylonul. Polimerii de tipul TR sunt pe bază de fenol, epox și alți poliesteri. Cel mai cunoscut exemplu de elastomer este cauciucul natural (vulcanizat). Oricum, cauciucul sintetic este preponderent cauciucului natural.

Deși clasificarea polimerilor în TP, TR și E este una generală, se remarcă faptul că anumite tipuri se suprapun acestor categorii: astfel, anumiți polimeri care normal aparțin clasei termolasticelor pot fi transformați în termorigizi, precum și alți polimeri care pot aparține fie clasei termorigizilor sau a celei a elastomerilor (structura lor moleculară este similară). Alți elastomeri sunt termoplastici. Oricum, acestea sunt excepții de la schema generală de clasificare.

Rata de creștere a aplicațiilor polimerilor sintetici în industrie și în producția bunurilor de consum este cu adevărat impresionantă. Luând ca bază producția volumică anuală, pe plan mondial în ultimii două decenii polimerii sintetici au depășit volumul produselor din materiale metalice. Explicația importanței tehnologice și comerciale a polimerilor sintetici este dată de următoarele particularități ale acestora:

- 1). Materialele plastice pot fi puse într-o formă complexă din punct de vedere geometric prin injectare fără a mai avea nevoie de alte prelucrări ulterioare; ele sunt total compatibile cu producția de masă.
- 2). Materialele plastice posedă o atractivă listă de proprietăți pentru aplicațiile ingineresti în care rezistența mecanică a piesei nu este un factor primordial:



- densitate relativă scăzută față de metale sau materialele ceramice;
 - un foarte bun raport rezistență_mecanică/greutate pentru câțiva (dar nu toți) polimerii;
 - rezistență la coroziune foarte mare;
 - conductivitate electrică și termică foarte scăzută.
- 3). Materialele polimerice sunt mult mai ieftine decât metalele.
 - 4). Din punct de vedere volumic, energia consumată pentru producerea polimerilor este mult mai redusă decât cea pentru producerea metalelor. Aceasta se datorește în special faptului că temperatura de procesare a polimerilor este mult mai scăzută decât cea pentru prelucrarea metalelor.
 - 5). Câteva materiale plastice au proprietăți translucide sau transparente, care le face foarte competitive la înlocuirea sticlei în multe aplicații.
 - 6). Polimerii sunt larg răspândiți la producerea materialelor compozite.

Privitor la latura negativă a materialelor polimerice, în general se cuvine să amintim următoarele limite ale acestora:

- slabă rezistență mecanică, comparativ cu metalele sau materialele ceramice;
- modul de elasticitate scăzut (în cazul elastomerilor această este o caracteristică dezirabilă);
- temperatura de lucru este limitată la un interval îngust datorită înmuierii materialelor termoplastice și a degradării polimerilor termostatați;
- anumiți polimeri se degradează sub efectul razelor solare sau a altor forme de radiații;
- materialele plastice prezintă proprietăți vâscoelastice, lucru care reduce limita de încărcare a pieselor din aceste materiale.

Polimerii sintetici se obțin din reacții de polimerizare, de policondensare și de poliadiție. În reacția de policondensare se leagă între ele moleculele de același tip sau diferite, iar polimerul are masa egală cu suma maselor moleculare ale moleculelor de reacție. În cazul policondensării, combinarea moleculelor multiple și formarea polimerului se face cu punerea în libertate a unor substanțe (H_2O , HCl etc.). În cazul poliadiției au loc reacții prin care două

sau mai multe molecule de același fel sau diferite reacționează pentru a forma un compus [102].

Pentru caracterizarea proprietăților compușilor macromoleculari se folosește starea de agregare de fază, care în sens termodinamic reprezintă o porțiune dintr-un sistem omogenă din punct de vedere al compoziției și al proprietăților, separată de restul sistemului prin suprafețe nete. Se deosebesc două stări de fază ale polimerilor: cristalină și amorfă.

Starea de fază cristalină se caracterizează prin aranjarea pachetelor de macromolecule flexibile în forme regulate, formând rețele spațiale. Pachetul care cristalizează posedă limite de separație și tensiune superficială, însușiri caracteristice substanțelor cristaline.

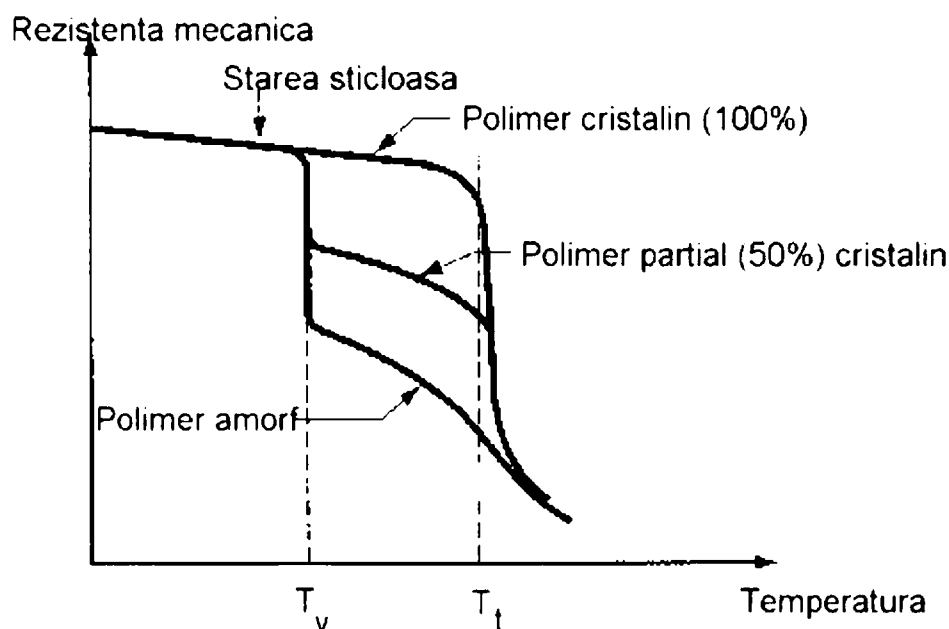
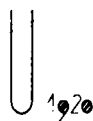


Figura 16

Starea de fază amorfă este opusul fazei cristaline, implicând elemente structurale neordonate și fără simetrie. Figura 16 [57] prezintă o caracteristică mecanică (rezistența mecanică) în funcție de starea de fază a polimerilor.

Proprietățile fizice ale fazei cristaline se schimbă după direcția de orientare, ele fiind anizotrope, iar ale fazei amorfă nu se schimbă cu orientarea, ele fiind izotrope.

La compușii macromoleculari, în afara stărilor de agregare și de fază, se definește și conceptul de stare fizică. Polimerii amorfă se prezintă în trei stări fizice: vâscoelastică, înalt elastică și vitroasă (sticloasă). Acestea se deosebesc între ele printr-o serie de proprietăți din modificarea cărora se determină temperaturile de transformare dintr-o stare în alta, cât și dependența lor de



structura și proprietățile polimerului. Starea sticloasă este caracterizată de deformații elastice foarte mici, care cresc liniar cu temperatura repectând legea lui Hooke și se aplică prin preponderența însemnată a forțelor inter- și intramoleculare asupra energiei de agitație termică [102].

Această stare se menține până la temperatura de vitrifiere T_v . Temperatura de vitrifiere scade cu micșorarea masei moleculare. Starea înalt-elastică începe deasupra temperaturii de vitrifiere. Pe intervalul corespunzător stării înalt-elastice deformațiile cresc rapid la început, după care rămân constante până la temperatura de curgere T_c ; în acest domeniu polimerul dezvoltă deformații mari, reversibile, datorate mișcărilor termice executate de segmentul de lanț, fără ca moleculele să se deplaseze independent.

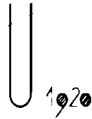
Starea vâscoelastică începe în cazul polimerilor amorfi la temperatura T_c . Acest domeniu se caracterizează printr-o mișcare termică intensă a segmentelor de lanț și a macromoleculor în întregime. Temperatura de curgere marchează apariția alături de deformația elastică reversibilă a deformației ireversibile. Temperatura de curgere nu reprezintă o valoare fixă, ci un interval caracteristic pentru fiecare polimer în parte, în funcție de configurația polimerului, de factorii cinetici (viteza de încălzire) și de durata aplicării sarcinii.

La T_c energia cinetică a macromoleculor învinge forțele de coeziune moleculare, ceea ce permite mișcarea lor relativă de alunecare. Temperatura crește cu mărimea macromoleculor.

Temperaturile caracteristice ale polimerilor sunt: temperatura de vitrifiere T_v , temperatura de curgere T_c , temperatura de fragilizare T_B , temperatura de topire T_P și temperatura de degradare termică T_D .

Temperatura de fragilizare T_B este temperatura minimă până la care materialul nu este casant. Practic, T_B este temperatura la care o epruvetă de polimer supusă unei solicitări instantanee se rupe. Temperatura de degradare termică T_D este temperatura la care începe descompunerea polimerului sub influența căldurii. Ea depinde de durata solicitării termice. Cu cât gradul de polimerizare este mai mare, cu atât stabilitatea termică a polimerului este mai mică. Temperatura de topire T_T este caracteristică polimerilor cristalini și marchează trecerea de la starea cristalină solidă la starea lichidă.

Prelucrarea materialelor plastice este dependentă de starea lor fizică, astfel încât un anumit procedeu de prelucrare poate fi aplicat numai într-un anumit interval de temperatură. Procedeu de injectare impune cunoașterea materialelor plastice și anume a caracteristicilor lor fizice care influențează procesul de prelucrare: schimbarea de stare, deformarea și curgerea. Utilizarea materialelor plastice – în schimb – impune cunoașterea altor caracteristici fizice la injectare: rezistența mecanică, comportarea în câmp electric, magnetic sau termic etc [102].



Structura moleculară a materialelor polimerice diferă în funcție de molecula polimerului. Există trei aspecte ale structurii moleculare: stereoregularitatea, ramificarea-întrețeserea, precum și aspectul copolimeric.

Deși structurile cristalină și amorfă se întâlnesc la polimeri, tendința de cristalinitate este mai redusă decât la metale și ceramicile nesticloase. Polimerii liniari sunt formați din molecule lungi, care conțin mii de meri repetitivi. Cristalinizarea acestor polimeri implică împachetarea înspre în față și în spate a lanțurilor lungi, unul după altul.

În mașina de injectat materialul trece din starea solidă (granulată sau pulverizată) în starea de topitură. Valorile paramerilor de lucru ai unei mașini de injectat (temperaturi, presiuni, viteze etc.) depind de materialul prelucrat, caracterizat de proprietățile sale fizice. Din aceste motive este necesară cunoașterea exactă a proprietăților fizice (termice, reologice, tribologice) ale materialelor plastice în stare solidă, granulară sau pulverulentă, în stare de topitură precum și în starea tranzitorie dintre granule sau pulbere și starea de topitură.

3.2. Proprietățile fizice ale materialelor termoplastice

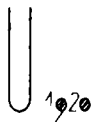
3.2.1. Proprietăți mecanice

Materialele plastice sunt materiale vâscoelastice, ele prezentând fenomenul de fluaj chiar la temperatura mediului ambiant. Fluajul, sau curgera lentă este fenomenul de variație al eforturilor unitare și a deformațiilor sub efectul sarcinilor aplicate. Pentru a caracteriza din punct de vedere al rezistenței mecanice un material termoplastic trebuie ținut cont de efectul concentrației diferitelor materiale din compoziția sa, de efectul unor factori de mediu (temperatură, umiditate, raze ultraviolete etc.) precum și de efectul trecerii timpului asupra valorii caracteristicilor mecanice [102].

3.2.2. Solicitarea de scurtă durată

În încercările de scurtă durată se urmărește determinarea dependenței dintre efortul unitar aplicat (σ și τ) și deformația specifică (ϵ sau γ), precum și stabilirea caracteristicilor ruperii (σ_r , τ_r și caracterul ruperii). Modulul de elasticitate dă informații asupra rigidității materialului.

La același efort unitar materialul mai rigid se deformează mai puțin și are un modul de elasticitate mai mare. Masa moleculară, precum și gradul de orientare al polimerului influențează valoarea caracteristicilor mecanice. La creșterea masei moleculare a materialului termoplastic crește rezistența sa la rupere. Ruperea materialelor termoplastice poate avea un caracter fragil, vâscoelastic sau vâscos. Un material care la viteze mici de încărcare se rupe



vâscos, la viteze mari de încărcare se poate rupe vâscoelastic sau fragil. La termoplaste se întâlnește în general ruperea vâscoasă, caracterizată printr-o lungire pronunțată (etirare) a piesei înainte de rupere.

Valorile caracteristicilor mecanice ale unui material termoplastic depind de natura și concentrația materialelor auxiliare, precum și de orientarea macromoleculilor. Astfel, pentru piesele obținute prin injectare, rezistența la rupere pe direcția curgerii este substanțial mai mare decât pe o direcție perpendiculară direcției de curgere. Ca și la alte materiale, existența concentratorilor de eforturi unitare pe suprafața unei piese (găuri, creștături, gătuiri etc.) determină în zona respectivă diminuarea rezistenței mecanice a materialului. Valoarea modulului de elasticitate E scade cu creșterea temperaturii. O variație similară se constată și pentru modulul de elasticitate transversal G .

Relația dintre proprietățile mecanice prezentate, ca rezistența la deformare în funcție de temperatură pentru termoplastele amorfе, termoplastele 100% cristaline (teoretic) și termoplastele parțial cristalizate este prezentată în Figura 16 [57].

3.2.3. Solicitarea de lungă durată

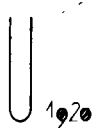
La piesele injectate se constată în timp o scădere a valorilor caracteristicilor mecanice și o creștere a deformațiilor. Efortul unitar la care se produce ruperea se micșorează cu trecerea timpului. Variația în timp a deformației specifice la temperatură și sarcină constantă depind de natura polimerului.

După o anumită durată, deformația crește accelerat într-un scurt interval de timp, momentul începerii acestui proces fiind de foarte mare importanță la utilizarea piesei injectate. În activitatea de proiectare se utilizează valoarea rezistenței de durată σ_d în funcție de timp, la diferite temperaturi și pentru fiecare material plastic. Durabilitatea (sau durata până la rupere) este influențată de efecte corozive și în general de mediul în care se află piesa.

3.2.4. Solicitarea la oboseală

Variația periodică în timp a efortului unitar poate fi urmarea unor solicitări mecanice sau datorată unor fluctuații periodice de temperatură. Supuse unor solicitări ciclice, materialele plastice se încălzesc datorită componentei vâscoase și conductivității termice relativ scăzute. Astfel, ruperea materialelor plastice poate avea loc după două mecanisme diferite:

- Temperatura crește un timp, după care se stabilizează. Ruperea are loc datorită propagării fisurii



- Temperatura crește continuu, motiv pentru care are loc înmuierea termică și în final materialul cedează.

Rezistența la oboseală prin vibrații atinge 20...30% din rezistența la rupere pentru solicitarea de scurtă durată, în cazul majorității materialelor plastice. Rezistența la oboseală scade în prezența concentratorilor de eforturi unitare. În același sens acționează și defectele interne ale piesei injectate.

Parametrii regimului de prelucrare. Influența regimului de prelucrare asupra caracteristicilor mecanice ale piesei injectate este substanțială. Parametrii regimului de prelucrare care influențează caracteristicile piesei din materiale termoplastice sunt:

- presiunea topiturii
- temperatura topiturii
- viteza de prelucrare
- viteza de răcire a piesei

Cei patru parametri enumerați mai sus determină starea de eforturi unitare permanente ale piesei rezultate în urma injectării. Alegerea unui regim de prelucrare optim determină în piesele injectate eforturi unitare minime.

Reducerea stării de tensiuni interne – și implicit mărirea durabilității piesei – se poate face pe calea unui tratament termic adecvat. La piesele injectate de configurații geometrice complexe, regimul de injectare nu poate fi modificat decât în limite strânse. Din acest motiv, reducerea la minim a eforturilor unitare remanente nu poate fi realizată numai prin modificarea regimului de prelucrare, ci și prin tratamentul termic al pieselor prelucrate.

3.3. Tratamentul termic al pieselor injectate.

Printr-un tratament termic adecvat aplicat piesei injectate se poate obține:

- Micșorarea eforturilor unitare remanente procesului de injectare
- Mărirea stabilității dimensionale a piesei injectate
- Mărirea rezistenței la agenții chimici
- Mărirea rezistenței la rupere
- Îmbunătățirea caracteristicilor electrice

Comportamentul termic al polimerilor cu structură cristalină este diferit de cel al polimerilor amorfii. Figura 17 [56] vine să ilustreze această afirmație.

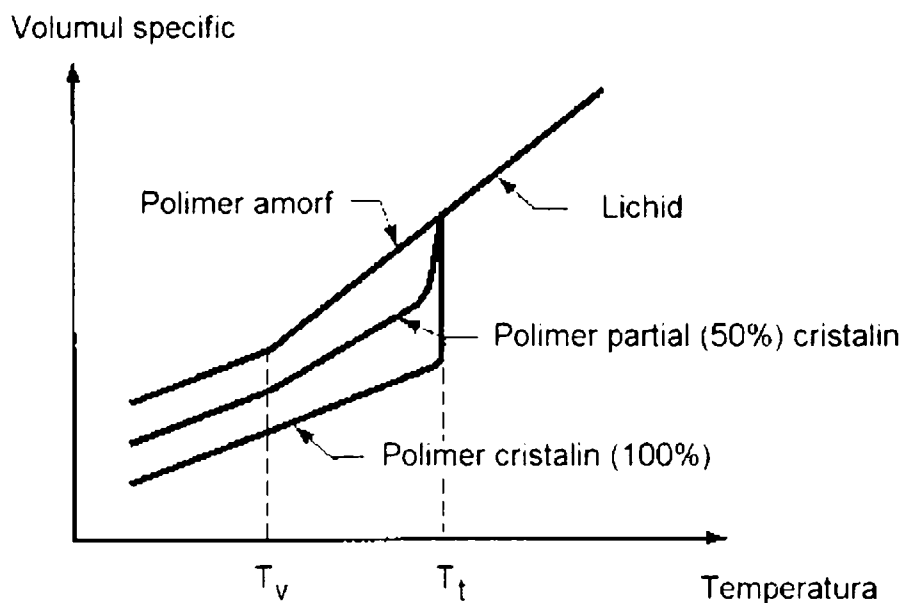


Figura 17

Eforturile unitare remanente scad cu mărirea duratei de menținere la temperatura de tratament termic și cu mărirea grosimii piesei. În timpul tratamentului termic se ridică temperatura piesei injectate deasupra temperaturii de utilizare, pentru a provoca variații dimensionale. Tratamentul termic se face într-un mediu neutru, pentru a evita oxidarea materialului [102].

Pentru evitarea șocurilor termice, creșterea și scăderea temperaturii băii se face treptat, înainte și după efectuarea tratamentului termic. În urma aplicării tratamentului termic se constată o ameliorare a constanței cotelor.

3.4. Proprietățile termodinamice ale materialelor polimerice

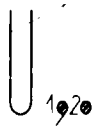
Proprietățile termodinamice ale materialelor termoplastice depind în principal de temperatură și de presiune, la care se adaugă influențele specifice polimerilor și anume: structura lor cristalină, semicristalină sau amorfă. Cunoașterea acestor proprietăți este necesară pentru stabilirea corectă a parametrilor de lucru ai mașinii de injectare [102].

Volumul specific depinde de temperatură și de presiune. Între volumul specific V al unui material și densitatea intrinsecă ρ există următoarea relație:

$$V = \frac{1}{\rho}$$

Ecuția 1

Dependența volumului specific de temperatură se exprimă astfel (Ecuția 2):



$$V = V_0[1 + \alpha(T - T_0)]$$

Ecuția 2

unde:

- V_0 – reprezintă volumul specific la temperatura T_0 (temperatura de schimbare de stare pentru polimerii cristalini și de vitrifiere pentru polimerii amorfii)
- α – reprezintă coeficientul de dilatare volumică, care indică efectul temperaturii asupra modificării volumului materialului.

Valorile T_0 , V_0 , α și ρ sunt date în tabelul de mai jos (Tabelul 2) [135]:

Tabelul 2

Materialul	Duritate la 20°C [kg/m ³]	T_0 [°C]	V_0 [m ³ /kg]	α [grad ⁻¹]
Polietilenă de joasă densitate	918	115	$1,249 \cdot 10^{-3}$	$0,69 \cdot 10^{-3}$
Polietilenă de înaltă densitate	954	131	$1,262 \cdot 10^{-3}$	$0,69 \cdot 10^{-3}$
Polipropilenă	914	186	$1,318 \cdot 10^{-3}$	$0,61 \cdot 10^{-3}$
PVC	1319	80	$0,730 \cdot 10^{-3}$	$0,73 \cdot 10^{-3}$
Polistiren	1047	84	$0,972 \cdot 10^{-3}$	$0,56 \cdot 10^{-3}$
Policarbonat	1196	150	$0,861 \cdot 10^{-3}$	$0,60 \cdot 10^{-3}$
Polietilentereftalat	1417	280	$0,857 \cdot 10^{-3}$	$0,64 \cdot 10^{-3}$
Polimetacrilat	1186	105	$0,866 \cdot 10^{-3}$	$0,58 \cdot 10^{-3}$
Poliamidă 6.6	1130	-	$0,8837 \cdot 10^{-3}$	$0,5499 \cdot 10^{-3}$

Mai trebuie precizat că volumul specific depinde și de condițiile termice ale piesei injectate în matriță, astfel încât V scade cu temperatura matriței de injectare.

La materialele polimerice se mai definește și volumul **specific relativ** V_r , ca raport între volumul specific la o anumită temperatură T și valoarea sa la 20°C (Ecuția 3):

$$V_r = \frac{V_{(T)}}{V_{20C}}$$

Ecuția 3

Densitatea unui material plastic provenit dintr-un anumit polimer depinde de natura materialelor auxiliare amestecate cu polimerul, de gradul de cristalinitate și de valoarea presiunii.



Coeficientul de dilatare liniară. Dimensiunile unei piese din material plastic cresc sub acțiunea căldurii, datorită fenomenului de dilatare termică. Fenomenul invers se numește contracție. Dimensiunea L a unei piese injectate se calculează cu formula (Ecuația 4):

$$L_T = L_0[1 + \alpha_L(T - T_0)]$$

Ecuația 4

unde L_0 este dimensiunea piesei injectate la temperatura de referință T_0 , iar α_L este coeficientul de dilatare liniară al materialului termoplastic. Coeficientul de dilatare liniară al materialului termoplastic α_L crește cu temperatura. El mai depinde și de natura și proporția materialului plastic ranforsat, precum și de direcția de orientare a fluxurilor de curgere.

Căldura specifică. Cantitatea de energie calorică necesară unei unități de masă dintr-un corp pentru a-și modifica temperatura cu un grad se numește căldură specifică c și se calculează cu formula (Ecuația 5):

$$c = \frac{dQ}{dT}$$

Ecuația 5

unde Q este cantitatea de energie calorică pe unitatea de masă, iar T este temperatura. În fapt, căldura specifică caracterizează proprietatea unui corp de a acumula căldură. În cazul încălzirii la volum constant, căldura specifică se numește căldură specifică la volum constant c_v , iar dacă încălzirea se face la presiune constantă, căldura specifică se numește căldură specifică la presiune constantă c_p . Pentru substanțele solide și lichide avem (Ecuația 6):

$$c_p \approx c_v \approx c$$

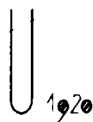
Ecuația 6

În cazul polimerilor cristalini, la temperatura de schimbare de stare T_s căldura specifică are un salt brusc (crește), iar la polimerii amorfi și cei semicristalini căldura specifică nu are salturi bruște în intervalul de schimbare de stare.

Istoricul solicitării termodinamice influențează variația căldurii specifice cu temperatura: odată cu creșterea vitezei de încălzire a unui polimer crește și valoarea căldurii specifice.

Conductivitatea termică. Capacitatea materialelor de a conduce căldura este dată de coeficientul de conductivitate termică λ . Materialele termoplastice nu sunt bune conducătoare de căldură. Coeficientul de conductivitate termică λ depinde de următorii factori:

- structura polimerului



- orientarea macromoleculilor în piesa injectată
- gradul de cristalinitate
- direcția transmiterii căldurii în raport cu orientarea macromoleculilor
- presiune
- temperatură
- umiditate
- porozitate

Valorile pentru coeficienții de dilatare termică liniară și conductivitatea termică în cazul câtorva polimeri reprezentativi sunt prezentate în tabelul următor (Tabelul 3):

Tabelul 3

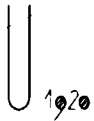
Polimerul	Coeficientul de dilatare termică liniară (experimental) [$\alpha \cdot 10^5 \text{ grad}^{-1}$]	Coeficientul de conductivitate termică [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{grad}^{-1}$]
Polistiren	7,77	0,163
Polimetacrilat de metil	7,56	0,197
Policlorură de vinil	6,61	0,168
Policarbonat	6,25	0,224

Difuzivitatea termică. Coeficientul de difuzivitate termică a caracterizează viteza de variație a temperaturii materialului termoplastice în procesele termice nestaționare. Difuzivitatea termică se caracterizează cu relația (Ecuația 7):

$$a = \frac{\lambda}{\rho c}$$

Ecuația 7

În cazul polimerilor, $a = 0,4 \cdot 10^{-7} \dots 1,8 \cdot 10^{-7} \text{m}^2/\text{s}$. Într-un material termoplastice, adaosul de plastifianți micșorează valoarea difuzivității termice și coboară temperatura de tranziție vitroasă a termoplastelor amorse. Valoarea coeficientului de difuzivitate termică crește cu creșterea gradului de cristalinitate al materialului termoplastice. Difuzivitatea termică a materialelor plastice expandate scade cu mărirea densității materialului expandat.



3.5. Selectarea materialului polimeric

În selectarea unuia sau a altuia dintre materialele termoplastice trebuie avute în vedere două grupe de constrângeri:

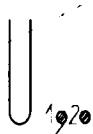
- comportamentul materialului termoplastic în timpul prelucrării
- condițiile impuse piesei injectate.

Factorii legați de procesul tehnologic de realizare a piesei injectate din materiale termoplastice sunt foarte variați. Dintre multitudinea acestora, precizăm mai jos pe cei mai importanți [102]:

- Uniformitatea granulelor. Granulele de material termoplastic trebuie să fie uniforme și să aibe același volum, pentru a se obține o dozare uniformă în cilindrul mașinii de injectat.
- Umiditatea granulelor trebuie să fie minimă. Apa din granulele supuse topirii provoacă evaporări în cilindrul mașinii de injectare, lucru ce perturbă procesul de injectare.
- Stabilitatea termică și chimică a materialului. Materialul plastic este supus în timpul procesului de injectare la presiuni și temperaturi înalte, îndeosebi în cilindrul mașinii de injectat și în matriță. Aceste solicitări se manifestă în timpul procesului de injectare pe o durată îndelungată. Un material plastic corespunzător trebuie să rămână stabil timp îndelungat: să nu se degradeze termic și să nu se descompună chimic. Degradarea materialului termoplastic în cilindrul mașinii de injectat duce la obținerea unor piese cu defecte, rezistență mecanică necorespunzătoare, precum și la poluarea mediului de lucru cu componente volatili și agresivi chimici.
- Contractii mici ale materialului. Pentru ca piesa injectată să rezulte în câmpul de toleranțe prescris, materialul termoplastic ales trebuie să fie stabil dimensional. Demn de subliniat este faptul că diverse materiale plastice au contractii diferite.

Factorii legați de condițiile tehnice ale piesei injectate din materiale termoplastice sunt și ei foarte diverși. Precizăm mai jos câțiva factori – mai importanți – care conferă calitățile tehnice ale piesei [102]:

- Durata de viață a piesei injectate. Este un factor important, mai ales în cazul pieselor funcționale supuse la solicitări mecanice severe.
- Configurația geometrică a piesei. Datorită progreselor tehnologiei actuale de injectare a materialelor termoplastice, foarte multe reperi injectate au forme geometrice complexe,



intersecții ale pereților, variația grosimii pereților, inserții metalice sau alte ranforsări etc.

- Calități optice și de transparentă. Nu toate materialele termoplastice prezintă calități optice sau de transparentă. Anumiți polimeri (polistiren, policarbonat, polimetacrilat de metil etc.) pot fi folosiți cu succes, dar trebuie testați pe prototipuri.
- Solicitarea termică în exploatare. Se cunoaște comportamentul slab al pieselor din materiale injectate la temperaturi înalte. Un număr redus de materiale termoplastice satisface această condiție. Domeniul se restrânge și mai mult în cazul condiției de neinflamabilitate.
- Solicități mecanice. În funcție de rolul funcțional al piesei injectate se alege materialul termoplastic corespunzător.
- Solicități de natură electrică și chimică. Deseori piesele din materiale termoplastice se folosesc ca izolatori în aparatura electrică sau electronică. De asemenea, condițiile de exploatare ale piesei injectate în medii agresive din punct de vedere chimic restricționează domeniul de selecție al materialului termoplastic.
- Costul materialului. Un factor hotărâtor este cel al materiei prime, care influențează direct costul piesei injectate, lucru ce trebuie avut în vedere încă din primul stadiu de concepție al piesei.

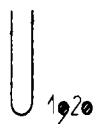
3.6. Tipuri de materiale polimerice comerciale mai importante

Materialele termoplastice se întâlnesc sub formă de piese injectate, extrudate, fibre, filme și folii, ambalaje, vopsele sau lacuri. Ele sunt livrate în mod normal sub formă de pulberi sau granule. Cei mai importanți polimeri termoplastici sunt prezentați în anexa 1 [57], în ordine alfabetică. Pentru fiecare material se prezintă formula chimică, proprietățile și volumul desfacerii pe piață.

3.6.1. Concluzii privind proprietățile materialelor polimerice

Tabelul 4 prezintă condițiile tipice de injectare pentru materialele termoplastice cele mai uzuale. Parametrii de referință respectivi au fost preluați din pachetul software Moldflow[®] [135] și au fost utilizați în analizele realizate în această lucrare.

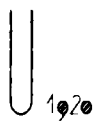
Pentru mai multe detalii privind proprietățile materialelor termoplastice se vor consulta lucrări reprezentative din bogata literatură de specialitate.



Tabelul 4

1.1.1.1. Materialul		Temperatura			Maximum pentru	
Simbol	Descrierea ⁴	Ma- triței [°C]	de topire tipică [°C]	de topire ma- ximă [°C]	Tensiunea de forfecare [Mpa]	Coef. de forfecare [1/sec]
ABS	Acrylonitrile butadiene styrene	40-80	200-260	280	0.300	50000
ABS	Plating Grade	40-80	200-260	270	0.200	30000
EVA	Ethylene vinyl acetate	10-40	140-220	220	0.100	30000
GPS	Polystyrene (general purpose)	20-70	180-260	280	0.250	40000
HIPS	High impact polystyrene	40-60	200-260	280	0.300	40000
LDPE	Low Density Polyethylene	20-60	180-240	280	0.100	40000
HDPE	High density polyethylene	20-60	180-240	280	0.200	40000
PA6	Nylon 6	40-80	230-280	320	0.500	60000
PA66	Nylon66	40-80	270-320	360	0.500	60000
PBTP	Polybutylene terephthalate	40-80	220-260	300	0.400	50000
PC	Polycarbonate	80-120	280-320	320	0.500	40000
PES	Polyether sulphone	140- 180	310-400	400	0.500	50000
PETP	Polyethylene terephthalate	100- 120	280-310	340	0.500	*
PMMA	Polymethyl methacrylate	50-90	240-260	280	0.400	40000
POM	Polyoxymethylene polyformaldehyde (acetal)	60-120	190-230	240	0.450	40000
PPO	Polyphenylene oxide (modified)	60-100	260-300	300	0.450	*
PPS	Polyphenylene sulphide	80-120	310-340	360	0.500	50000
PP	Polypropylene	20-60	200-260	300	0.250	100000
PSU	Polysulphone	120- 160	330-400	420	0.500	50000
PUR	Polyurethane	10-80	190-220	260	0.250	40000
PPVC	Flexible polyvinyl chloride	30-60	140-200	230	0.150	20000
RPVC	Rigid polyvinyl chloride	30-60	140-200	210	0.200	20000
SAN	Styrene acrylonitrile	30-80	220-260	280	0.300	40000

⁴ Pentru a păstra compatibilitatea cu "Simbolul" materialului, descrierea polimerului a fost preluată din limba engleză.



3.7. Injecția materialelor polimerice. Procesul și echipamentul

Injecția materialelor polimerice este procesul în care un polimer este încălzit până în zona de înaltă plasticitate și forțat să curgă sub presiune ridicată în cavitatea matriței, unde polimerul se solidifică. Piesa injectată este scoasă din matriță. Procesul de injectare este un fenomen ciclic, fiecare ciclu fiind format din mai multe operații. Aceste operații sunt enumerate mai jos:

- 1). alimentarea materialului (dozarea)
- 2). încălzirea și topirea materialului în cilindrul mașinii
- 3). închiderea matriței
- 4). introducerea materialului topit sub presiune în matriță
- 5). solidificarea și răcirea materialului termoplastice din matriță
- 6). deschiderea matriței
- 7). eliminarea piesei injectate din matriță

În urma procesului de injectare rezultă piese care aproape întotdeauna au forma finală. Durata unui ciclu de injectare este uzual între 10 și 30 de secunde; un ciclu de 1 minut sau mai lung este foarte rar întâlnit. De asemenea, matrițele sunt adesea multicuib, deci mai multe piese sunt produse simultan în urma ciclului.

Formele geometrice ale pieselor injectate sunt foarte variate. Piese sofisticate, cu forme geometrice cât mai complexe sunt în mod uzual realizate prin procesul de injectare. Limitări sub acest aspect se remarcă doar prin abilitatea de prelucra matrițe a căror cavitate să fie negativul formei geometrice a piesei, precum și posibilitatea de a extrage piesa din respectiva matriță. Dimensiunile reperelor variază și ele foarte mult, de la reperi care cântăresc câteva grame până la reperi de dimensiuni impresionante de 25 Kg sau peste.

Ca exemple de piese mari se pot aminti ușile de frigider, barele de protecție ale autovehiculelor și alte reperi mari. Matrița determină forma și dimensiunile piesei și este principalul echipament în procesul de injecție. Ca ordin de mărime, se precizează că pentru reperele mari și sofisticate prețul unei matrițe poate fi de câteva sute de mii de dolari. Chiar și pentru piesele mici, dacă matrița este multicuib, prețul ei este de asemenea ridicat. Aceste aspecte duc la concluzia că seria de fabricare a pieselor injectate trebuie să fie mare sau de masă, pentru ca procesul să devină economic.

În procesul de injectare a pieselor se folosesc materiale termoplastice, prezentate în capitolul corespunzător. Anumiți polimeri termorigizi, precum și câțiva elastomeri pot fi de asemenea prelucrați prin procesul de injectare, cu modificări ale utilajului de injectare și cu parametrii de prelucrare speciali.



3.7.1. Condițiile de formare

Principalii factori care determină procesul de formare al materialelor termoplastice sunt:

- proprietățile chimice, fizice și de curgere ale materialului termoplastic în condițiile specifice procesului de injectare
- regimul temperaturilor
- durata necesară formării

Proprietățile chimice, fizice și termodinamice ale polimerului sunt determinante pentru desfășurarea procesului de injectare.

3.7.2. Regimul temperaturilor

Transmiterea căldurii de la peretele cilindrului la materialul termoplastic și transformarea prin fricțiune a energiei mecanice în energie termică duce la topirea polimerului (polimerilor). Cu cât temperatura materialului termoplastic este mai ridicată, cu atât acesta este mai fluid, matrița se umple mai ușor, iar durata ciclului de injectare se reduce [102].

Pentru faza de răcire (solidificare) a reperului, temperatura matriței este hotărâtoare. Materialul plastic ce alimentează mașina de injectat are temperatura T_1 . În interiorul mașinii are loc încălzirea la temperatura T_c și pastifierea. Pe parcursul stadiului de umplere, topitura curge în cilindrul și duza mașinii și se încălzește ca urmare a transformării energiei mecanice în căldură până la temperatura T_s . Temperatura și vâscozitatea topiturii în timpul umplerii matriței se modifică puțin numai în interiorul matriței, pe când în interiorul cilindrului temperatura rămâne constantă. În stadiile de răcire, după umplerea matriței temperatura materialului din matriță scade mult. Descreșterea temperaturii are loc și în canalele de curgere, iar după un timp de răcire foarte mare poate avea loc chiar și în cilindrul mașinii.

3.7.3. Regimul presiunilor

Asupra materialului termoplastic se dezvoltă o serie de forțe care exercită presiuni importante în timpul procesului de injectare. Presiunea exercitată de melcul mașinii de injectat transportă materialul plastic topit din camera cilindrului mașinii, prin duză și canalele matriței, în matriță, până la umplerea cavității acesteia [102]. Presiunea din matriță atinge valori maxime la sfârșitul cursei melcului și depinde de:

- forța exercitată de melcul-piston
- vâscozitatea polimerului
- rezistența hidraulică a traseului



În tehnologia procesului de injectare se folosesc următoarele noțiuni [102]:

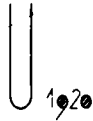
- presiunea exterioară p_e – reprezintă presiunea exercitată asupra materialului plastic în interiorul cilindrului de injectare
- presiunea interioară p_i – reprezintă presiunea din cavitatea matriței. Între presiunea interioară și cea exterioară avem relația $p_i < p_e$ datorită pierderilor de presiune care apar la trecerea materialului prin duza mașinii, duza matriței, rețeaua de injectare și pereții piesei injectate
- presiunea ulterioară p_{ul} – reprezintă presiunea exercitată de melc asupra materialului din cavitatea matriței. Această presiune este necesară deoarece ea compensează contracția rezultată în urma răcirii materialului
- presiunea de sigilare p_s – reprezintă presiunea exercitată asupra materialului plastic în cavitatea matriței, în momentul solidificării culeei, corespunzător punctului de sigilare
- presiunea interioară remanentă p_r – reprezintă presiunea din materialul piesei injectate în momentul deschiderii matriței

După punctul de sigilare, materialul piesei injectate se contractă datorită răcirii; în consecință presiunea scade, fără însă a atinge o valoare nulă. La începutul ciclului de injectare, presiunea rămâne constantă, iar apoi, în momentul umplerii, presiunea crește brusc la valoarea p_i . În stadiul de compactizare polimerul se răcește și volumul scade. După aplicarea p_{ul} , aceasta determină introducerea unor noi cantități de topitură. Astfel, se ajunge până la o valoare $p_{i \max}$, după care presiunea va scădea până la valoarea presiunii de sigilare p_s . În urma solidificării, răcirea piesei se caracterizează printr-o scădere mai lentă a presiunii.

Durata de formare a piesei injectate depinde de caracteristicile polimerului, de dimensiunile reperului injectat și de sistemul de răcire al matriței. Durata de formare este un parametru foarte important, el influențând productivitatea agregatului și calitatea piesei injectate. O durată de formare redusă este dată de un bun raport între greutatea piesei de injectat și capacitatea de plastifiere a utilajului.

3.7.4. Plastifierea

Procesul de plastifiere se realizează prin transferul de căldură de la peretele cilindrului la materialul plastic și prin căldura dezvoltată în procesul de fricțiune din interiorul materialului [102]. Forfecarea din interiorul canalului melcului provoacă pe lângă încălzire și amestecare intensă; acest lucru mărește



eficiența transferului de căldură de la peretele cilindrului la masa de formare prin convecție forțată.

În urma plastifierii se asigură topituri omogenitate din punct de vedere material, reologic și termic, precum și o vâscozitate suficient de redusă pentru a permite fenomenele de transfer de presiune și de curgere. În ceea ce privește sistemul de mărimi care influențează procesul de plastifiere, se precizează următorii parametrii [102]:

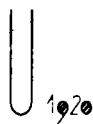
- T_{tr} – valoarea de reglare a termoregulatorului. Cilindrul de plastifiere este împărțit în 4...6 zone de încălzire, fiecare zonă având un termoregulator propriu, care poate fi reglat la o valoare dată T_{tr} . Odată cu creșterea T_{tr} scade vâscozitatea topitului și umplerea matriței se realizează mai bine
- n – turația melcului. Turația influențează timpul de rotație al melcului și mai puțin plastifierea
- p_c – contrapresiunea de plastifiere. Cu cât p_c este mai ridicată, cu atât mai ridicată este rezistența față de mișcarea axială a melcului și implicit amestecarea și forfecarea în canalul melcului este mai intensă
- T_m – temperatura masei de formare. Temperatura T_m este temperatura topitului, măsurată cu un termoelement în axa spațiului de acumulare, înainte de începerea umplerii matriței.
- P_i – proprietățile reperului. Proprietățile reperului influențate în timpul plastifierii sunt privitoare la omogenitatea materială, omogenitatea termică și degradarea termică a materialului

3.7.5. Umplerea matriței

Materialul termoplastic pătrunde prin orificiul de intrare în matriță, frontul de curgere având o formă parabolică. În contact cu pereții reci ai matriței, părțile exterioare ale materialului termoplastic topit se solidifică, formând astfel în matriță un strat marginal termoizolant. Astfel, pentru materialul termoplastic aflat sub presiune, canalul de curgere nu mai este format din conturul matriței, ci din stratul marginal întărit [102].

Ca efect al temperaturilor pereților matriței, în stratul marginal viteza de forfecare este mai mică decât în stratul interior. Astfel, frontul de curgere are o formă parabolică, determinată de vitezele de forfecare diferite, în cele două straturi prezentate mai sus (efectul Fountain).

Cu cât stratul marginal este mai gros, cu atât aportul de căldură al topitului de polimeri este mai mic, respectiv căldura care ia naștere prin forfecare este mai mică. Deoarece pe parcursul curgerii topitura pierde căldură, pentru



punctele mai îndepărtate de culeea de injectare aportul de căldură în unitatea de timp este mai mic și stratul marginal mai gros decât în zona culeei de injectare.

Din punctul de vedere al solidificării materialului termoplastic topit, hotărâtor nu este lungimea drumului parcurs, ci timpul. Astfel, la o creștere a grosimii stratului marginal, la depărtare de culee apare curgera lentă. În cazul pieselor injectate cu pereți subțiri, apare o creștere foarte importantă a rezistenței de umplere a matriței în cazul unor viteze reduse de umplere.

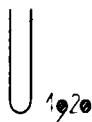
Datorită problemelor care apar la umplerea matriței, piesele injectate se caracterizează în funcție de raportul lungimea drumului parcurs de topitura de polimeri și grosimea peretelui piesei. Cu cât umplerea matriței are loc într-un timp mai scurt, cu atât acest raport poate fi mai mare. Pentru ca materialul plastic să poată curge prin canalele – reduse ca dimensiune – ale rețelei de injectare și pentru ca umplerea cuibului matriței să se facă cât mai rapid, se impune creșterea presiunii de injectare. Deși presiunea crește, curgerea materialului se face laminar, datorită creșterii vâscozității, care împiedică curgerea turbulentă.

Efectele secundare – și nedorite – ale creșterii vitezei de umplere a matriței sunt prezentate mai jos:

- încălziri suplimentare în duză – prin forfecare – care pot duce la degradarea materialului plastic
- orientări macromoleculare în piesa injectată, care pot provoca anizotropii, cu efecte asupra caracteristicilor produsului injectat
- dificultăți în eliminarea aerului din cuib și, implicit, defecte ca arsuri pe suprafața piesei injectate.

În analiza procesului de injectare, deosebit de utili sunt parametrii de proces, care măsoară umplerea matriței. Parametrii procesului de umplere a matriței sunt prezentați mai jos:

- Q – debitul de transport. Este debitul furnizat de pompa sistemului hidraulic al mașinii de injectare
- p_u – presiunea de umplere
- T_m – temperatura materialului polimeric. Temperatura materialului polimeric în procesul de umplere este determinată prin punctul de lucru al procesului de plastifiere. Creșterea temperaturii T_m , rezistența de curgere a topiturii în sistemul de injectare și cuibul (cuiburile) matriței scade puternic. T_m mai are efect, pe lângă cel enunțat mai sus, și asupra comportamentului la solidificare al topiturii pe parcursul de curgere. Cu cât valoarea T_m este mai ridicată, cu atât mai lung poate fi timpul de



umplere t_u înainte de apariția defectului “reper incomplet injectat”

- T_M – temperatura matriței. Scăderea temperaturii matriței provoacă o creștere a părții de rezistență, dependentă de gradul de umplere al matriței. Efectul este mai pregnant la piesele injectate cu pereți subțiri decât la reperatele cu pereți groși
- t_u - timpul de umplere al matriței. Este o mărime importantă a procesului de umplere a matriței. Mărimea t_u este de domeniul secundelor.

Proprietățile reperelor injectate, mai ales defectele cele mai importante, dependente de umplerea matriței sunt următoarele:

- Starea de umplere. O stare de umplere insuficientă (reper injectate insuficient) apare datorită fenomenelor de solidificare pe parcursul de curgere.
- Starea de orientare. În timpul injectării se produc orientări puternice ale macromoleculelor. Pentru timpi mici de umplere orientările sunt puternice, iar la timpi de umplere mari, datorită topiturii care se solidifică la sfârșitul procesului de umplere, orientările se mențin. Minimul de orientare se află la reperatele cu pereți subțiri, la timpi de umplere mai reduși decât la cele cu pereți groși.
- Rezistența liniei de sudură. În cazul unui timp de umplere mare, fronturile de curgere, care se întâlnesc în spatele unor obstacole ce există în calea curgerii, se sudează incomplet, deoarece topitura este prea rece.
- Degradări termice ale materialului termoplastice. Acestea se petrec în duză, la forfecări intense, mai ales la timp de umplere redus.
- Arsuri locale în zona sudurii. În zona sudurii frontului de curgere, ca urmare a supraîncălzirii aerului (efectul Diesel) apar arsuri locale ale materialului piesei.

3.7.6. Procesul și echipamentul

Injectarea împreună cu extrudarea reprezintă principalele tehnici de formare a materialelor termoplastice. Procesul de injectare presupune introducerea materialului aflat sub presiune într-o matriță. Materialul ia forma cavității și după răcire este eliminat (demulat). Mașinile de injectat se caracterizează prin două elemente constructive de bază:

- unitatea de injectare
- unitatea de închidere.

Unitatea de injectare cuprinde sistemul de alimentare cu material, sistemul de plastifiere și sistemul de injectare. Unitatea de închidere realizează mișcările de deschidere și închidere ale matriței de injectat.

Variantele constructive ale mașinilor de injectat sunt foarte diverse. După sistemul de acționare, mașinile pot fi: manuale, pneumatice, electromecanice și electrohidraulice. Mașinile electrohidraulice sunt cele mai răspândite mașini; atât injectarea cât și închiderea este hidrostatică la aceste mașini. În ceea ce privește poziția cilindrului mașinii, cele mai răspândite mașini de injectat sunt cele orizontale, cu un singur cilindru de injectare.

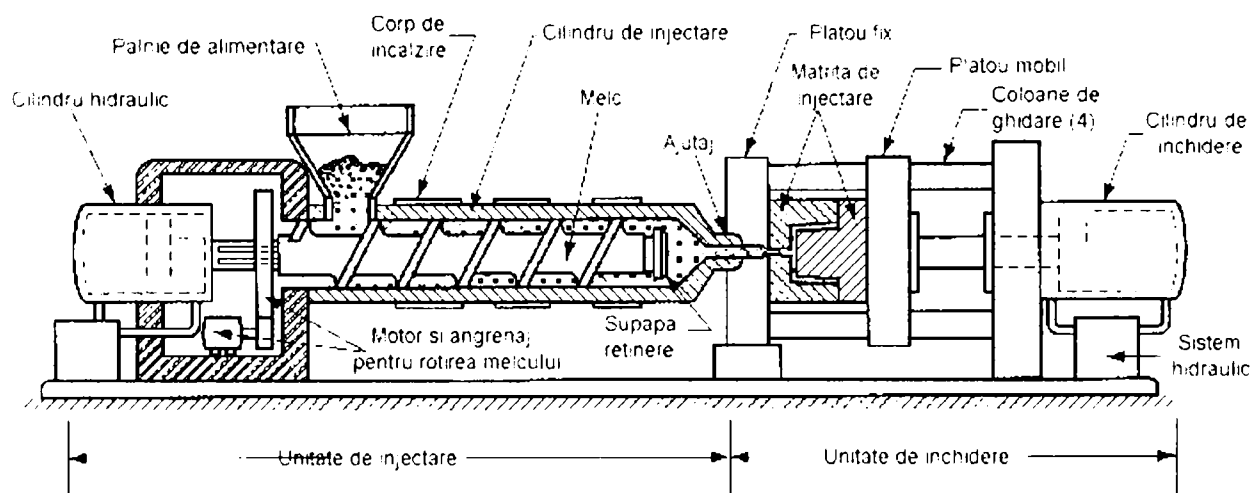


Figura 18

Figura 18 [57] prezintă schematic o mașină de injectat, cu cele două unități principale: unitatea de injectare și unitatea de închidere. Unitatea de injectare este de fapt mai mult un extrudor. Ea constă dintr-un cilindru de injectare care este alimentat de la o pâlnie de alimentare în care se află materialul termoplastic sub formă de granule sau pulberi. În interiorul cilindrului se află melcul care realizează două funcții: (i) se rotește și prin aceasta mixează și încălzește granulele de polimeri, și (ii) acționează ca un piston și prin aceasta injectează materialul termoplastic topit în interiorul matriței.

Supapa de reținere montată chiar în capătul melcului împiedică revenirea topiturii de polimeri înspre pâlnia de alimentare prin canalul elicoidal al melcului. Mai târziu, în timpul ciclului de injectare, melcul se retrage în poziția anterioară, pentru alimentare. Mașinile de injectat mai vechi utilizează un melc simplu, fără mișcare axială. Superioritatea mișcării combinate a melcului a impus mașinile de injectare cu mișcare reciprocă a melcului, care se găsesc astăzi în majoritatea atelierelor.

Unitatea de închidere acționează matrița. Funcțiile sale sunt caracteristice unui ciclu de injectare a unei piese din material termoplastice:

- păstrarea unei poziții reciproce corespunzătoare între cele două ansambluri ale matriței
- aplică o forță de închidere suficient de mare ca să compenseze forța de injectare rezultată în timpul fazei de injectare a topiturii de polimeri
- deschide și închide matrița la timpul corespunzător ciclului de injectare.

Unitatea de închidere conține două platouri: platoul fix și platoul mobil, precum și un mecanism de închidere. Mecanismul este similar unei prese hidraulice de putere, care operează asupra unui piston hidraulic, iar de aici, prin intermediul unui mecanism cu pârghii se dezvoltă o forță de închidere care uneori poate ajunge la sute de tone, în cazul mașinilor de injectare mari.

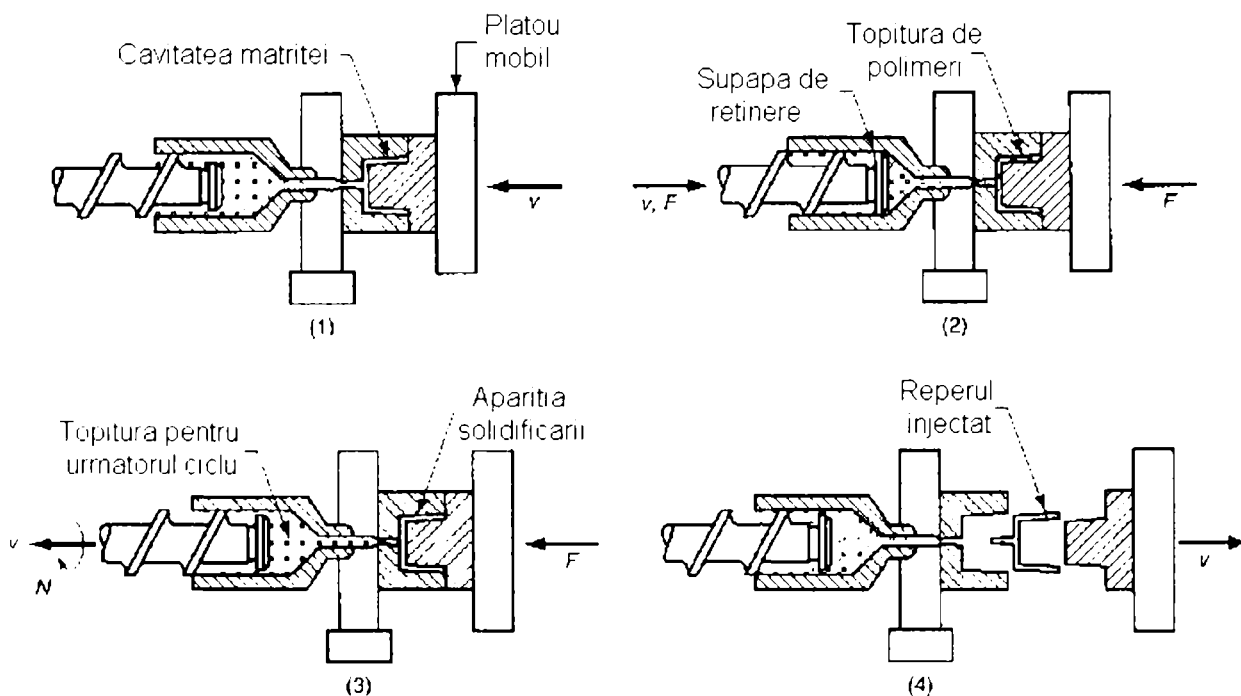
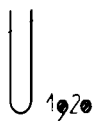


Figura 19

Figura 19 [57] prezintă ciclul de injectare al unei piese din polimeri termoplastici. După cum se observă, putem distinge patru faze ale operației de injectare a unei piese:

- 1). la început, matrița este închisă și i se asigură forța de închidere de către unitatea de închidere



- 2). se injectează topitura de polimeri în interiorul matriței. Topitura trebuie să fie la temperatura și vâscozitatea corectă. De asemenea, trebuie să se asigure o presiune corespunzătoare materialului termoplastic topit. Materialul polimeric începe să se răcească în contact cu pereții reci ai matriței. Melcul asigură o presiune continuă în materialul polimeric, presiune ce compactează materialul și în același timp aduce material suplimentar care să compenseze contracțiile ce apar în timpul răcirii
- 3). melcul se rotește și se retrage în poziția inițială, cu supapa de reținere deschisă, pentru a permite unui nou material topit să curgă în interiorul cilindrului, în partea din față. Între timp, materialul polimeric s-a solidificat complet în matriță
- 4). se deschide matrița și reperul este demulat și îndepărtat.

3.7.7. Matrița

Matrița este scula specială a procesului tehnologic de injectare. Ea este special proiectată și realizată astfel încât să corespundă piesei care urmează să fie produsă. Se utilizează câteva tipuri de matrițe la injectarea materialelor termoplastice.

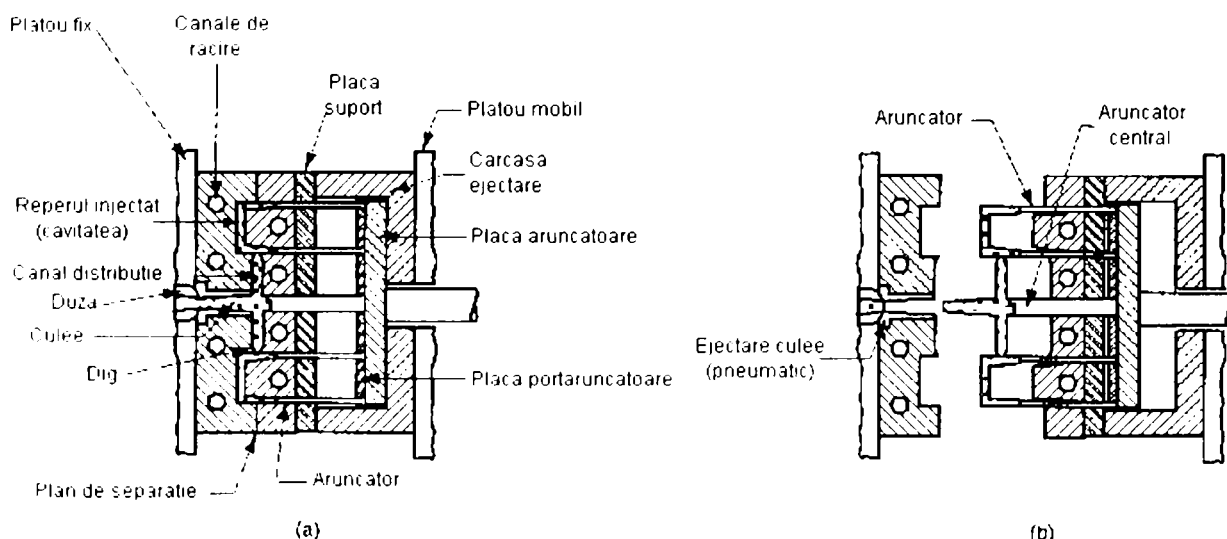


Figura 20

Figura 20 [57] prezintă o matriță convențională, formată din două ansamble care se fixează pe platoul mobil și cel fix al mașinii de injectat. Cele două poziții distincte sunt prezentate în figurile (a) și (b). Cea mai pretentioasă parte a unei matrițe este partea activă, reprezentată de cavitatea de injectare (cuibul), care



cel mai adesea se realizează prin aşchiere pe maşini-unelte cu CNC, de obicei freze conduse numeric cu 2, 2½, 3 sau 5 axe.

Matrițele se întâlnesc în construcții cu unul sau mai multe cuiburi; acestea din urmă pot produce mai multe repere la un singur ciclu de injectare. Figura la care ne referim prezintă o matriță cu două cuiburi. Alături de partea activă a matriței, mai sunt și alte părți cu rol funcțional important în procesul de injecție. O matriță trebuie să aibe unul sau mai multe canale de distribuție prin care materialul polimeric topit curge prin duză, din cilindrul mașinii de injectare în matriță. Rețeaua de distribuție consistă din:

- culee, care face legătura de la duză până la matriță
- canale de distribuție, care conduc materialul polimeric de la culee până la cavitatea matriței
- digul (digurile), care formează o reducere de diametru (sau secțiune) între canalul de distribuție și cavitate. Pentru fiecare cavitate există unul sau mai multe diguri.

Sistemul de ejectare (aruncare sau demulare) este necesar pentru a îndepărta piesa injectată la sfârșitul ciclului. În mod uzual, știfturile aruncătoare îndeplinesc această funcție. Cavitatea din interiorul matriței este divizată în așa fel de către planul de separație încât, în mod natural, datorită contactiilor la răcire, piesa trebuie să se demuleze de pe ansamblul mobil. Când matrița se deschide, aruncătoarele demulează piesa de pe ansamblul fix.

Sistemul de răcire este necesar în anumite cazuri de injectare. Sistemul consistă în într-o pompă exterioară, care circulă un agent termic (adesea apă) prin matriță pentru a îndepărta caldura degajată de topitura de polimeri. De asemenea, aerul trebuie să fie evacuat din cavitatea matriței în timp ce aceasta este umplută de materialul termoplastice topit. Pentru aceasta, se folosesc orificii de aerisire de diametre foarte mici (adesea 0,03...0,05 mm) care permit evacuarea aerului, dar nu permit și curgerea materialului polimeric datorită vâscozității acestuia.

Deși matrița formată din două subansamble (mobil și fix) este cea mai răspândită, se mai utilizează și alte tipuri de matrițe. Figura 21 [57] prezintă o matriță cu trei plăci. Sistemul acestei matrițe este mai avantajos decât cel din figura precedentă. Primul avantaj ar fi faptul că poziția punctului de injecție în cavitate (poziția digului) este în centrul piesei care se injectează.

La figura precedentă, datorită lipsei de simetrie a punctului de injectare, materialul termoplastice curge în jurul miezului, cele două fronturi de curgere unindu-se după o linie de sudură, care reduce proprietățile mecanice ale piesei, precum și aspectul acesteia. Al doilea avantaj apare la demularea reperului. Deschiderea matriței cu trei plăci duce automat la separarea rețelei de injectare

față de piesa propriuzisă, care cade din sculă datorită gravitației (eventual cu un posibil ajutor realizat cu un braț robotic sau prin suflare cu aer comprimat).

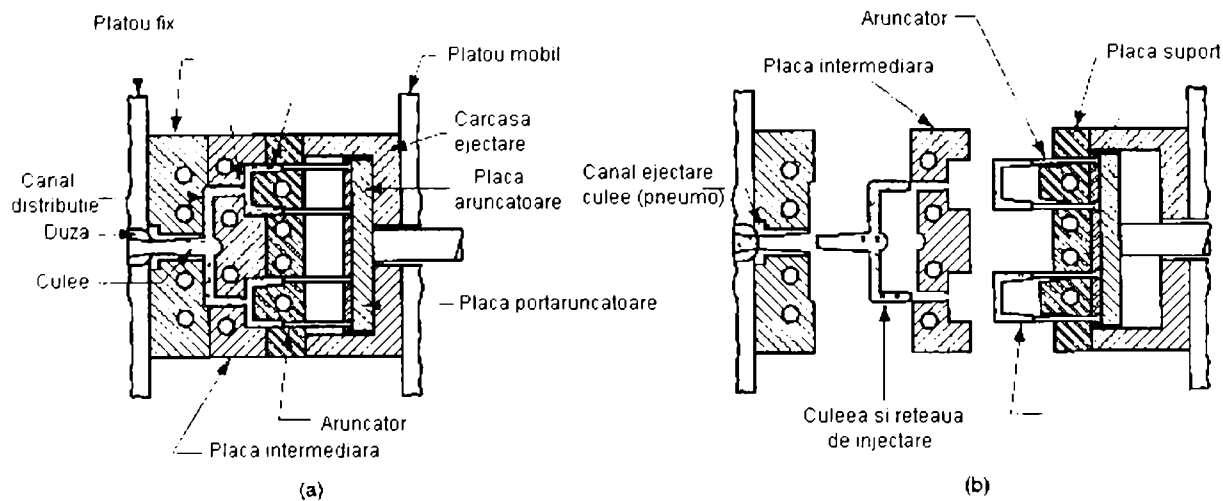


Figura 21

Culeea și rețeaua de turnare de la o piesă injectată reprezintă deșeul. În multe cazuri deșeul este reutilizabil.

Încălzirea canalelor de distribuție prezintă avantajul că elimină solidificarea materialului polimeric în culee și canale. În timp ce materialul topit se solidifică în interiorul cavității (cavităților) matriței, materialul polimeric din culee și din canalele de distribuție rămâne în stare topită, gata de injectare la următorul ciclu.

3.7.8. Mașini de injectare

Între mașinile de injectare se remarcă diferențe atât după unitatea de închidere cât și după unitatea de injectare. Numele mașinii de injectare este dat îndeobște după tipul unității de injectare.

3.7.9. Unitatea de injectare

Două sunt tipurile de unități de injectare larg răspândite la ora actuală. Cea mai răspândită mașină este cea prezentată în Figura 18. Ea se numește mașina cu melc reciproc, iar ca o caracteristică de proiectare se observă că materialul plastic este topit și apoi injectat, utilizând același cilindru.

Alternativa la această soluție constructivă este utilizarea unui cilindru separat pentru plasticizare și a altui cilindru pentru injectarea polimerului, așa cum se observă în Figura 22 (a) [57]. Această mașină se mai numește și mașină de injectat cu melc de pre-plastifiere sau mașină cu două stadii. Granulele de material polimeric sunt topite de către corpul de încălzire al

primului cilindru, precum și prin frecarea din canalul melcului. Primul cilindru alimentează cel de-al doilea cilindru, care utilizează un piston pentru a injecta materialul plastic în matrită. Mașinile mai vechi (b) utilizau un piston pentru injectarea materialului plastic – mașini de injectare cu piston.

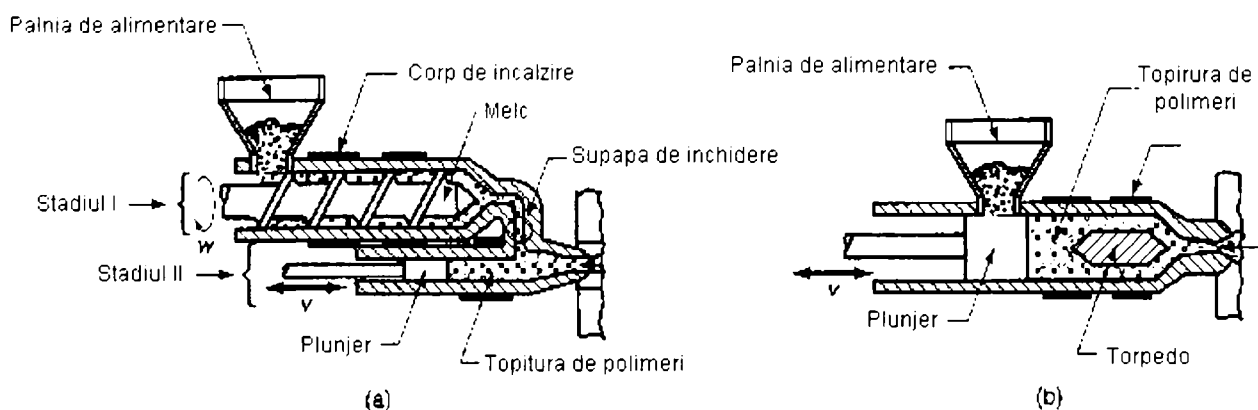


Figura 22

3.7.10. Unitatea de închidere

Unitățile de închidere se clasifică în trei tipuri: mecanice, hidraulice și hidromecanice. Unitățile de construcție mecanică prezintă diverse soluții constructive, din care una este ilustrată în Figura 23 (a) [57]. Un motor hidraulic liniar acționează mecanismul de închidere care deplasează platoul mobil înspre cel fix. La începutul mișcării, forța de închidere este mică și viteza de deplasare este mare. La sfârșitul mișcării lucrurile se petrec invers. Prin proiectare, mecanismul oferă atât forță cât și viteză în diverse puncte ale ciclului de injectare, așa după cum se dorește.

Unitățile de închidere de construcție mecanică pot fi acționate atât hidraulic (ca în această schemă) cât și electromecanic, cu ajutorul unui motor electric și a unui șurub cu bile. Soluția de închidere mecanică este mai des întâlnită la mașinile de injectat de tonaj relativ redus.

Figura 23 (b) prezintă o unitate de închidere hidraulică. Această soluție constructivă este de preferat în cazul mașinilor de injectat de tonaj ridicat, în intervalul 150...1000 tone (1300...8900 kN). Aceste mașini sunt mult mai flexibile în reglarea forței de închidere (și implicit a presiunii de menținere).

Unitățile hidromecanice sunt proiectate pentru mașini de injectat de mare tonaj, în mod obișnuit peste 1000 tone (8900 kN). Sistemul lor de funcționare este următorul:

- utilizează cilindrul hidraulic pentru poziționare rapidă

- blochează poziția printr-un sistem mecanic
- utilizează presiunea înaltă din cilindrul hidraulic pentru a închide matrita și a o menține în această poziție.

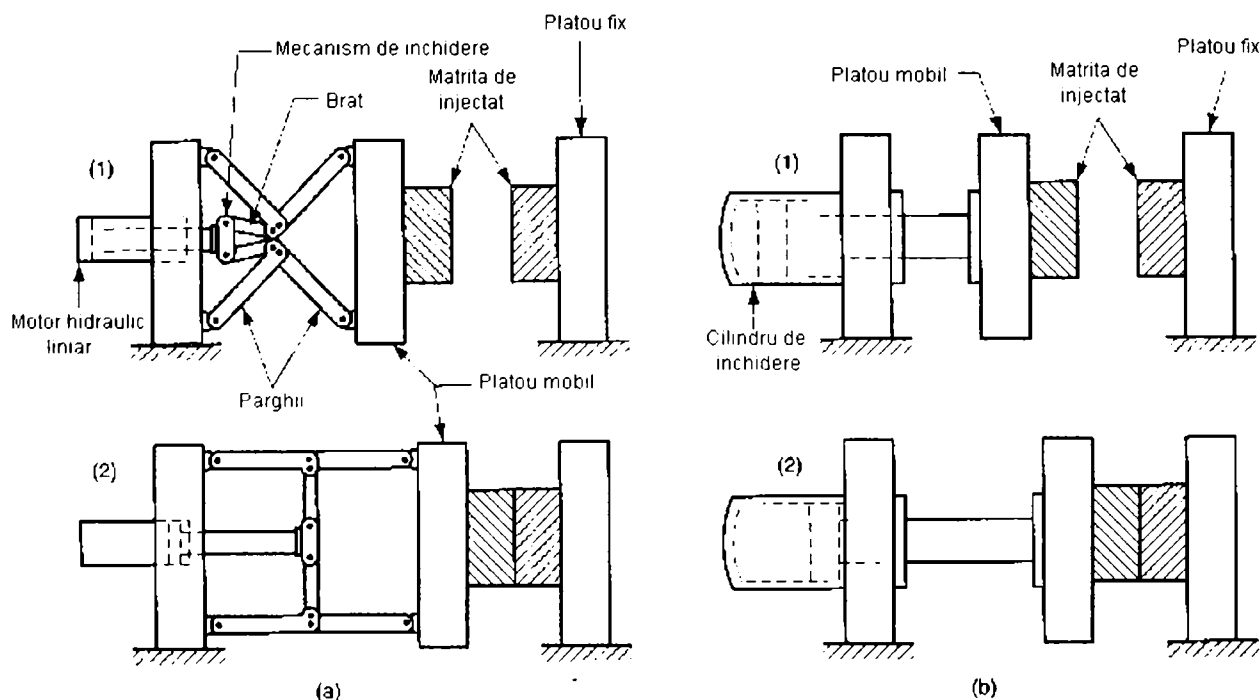


Figura 23

Mașinile de injectat trebuie să satisfacă două exigențe: (i) să realizeze piese de calitate și (ii) costuri scăzute de fabricație. La aceste aspecte, în ultimii ani s-a mai adăugat încă unul: să fie capabile să comunice cu calculatorul de proces. Îmbunătățirile aduse mașinilor de injectat au vizat creșterea preciziei, a fiabilității, economicitatea constructivă și posibilitatea de automatizare a procesului de injectare și controlul acestuia.

Controlerul adaptiv al mașinilor moderne de injectat supraveghează condițiile și conduce procesul de injectare. Acest controler ajustează modelul matematic utilizat pentru calcularea parametrilor procesului conform cu mecanismul de feedback, răspunzând la performanțele curente ale mașinii și ținând cont de dinamica sistemului. Figura 24 [135] prezintă schema de principiu a unui controler adaptiv la mașina de injectat materiale polimerice.

Dinamica sistemului poate varia de la o mașină la alta și în cadrul aceleiași mașini, în funcție de matritele de injecție și de proprietățile materialului. Parametrii procesului sunt reglați on-line, în timpul funcționării mașinii, pentru a asigura realizarea calității profilelor sofisticate și repetabilitatea procesului.

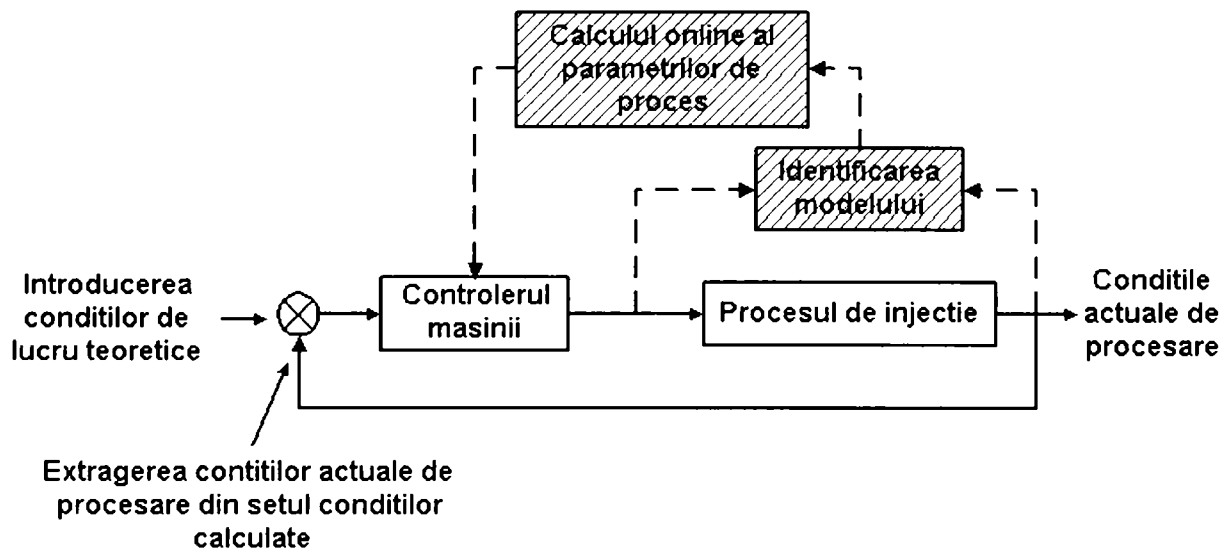
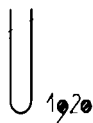


Figura 24

Această lucrare nu este direcționată înspre partea constructivă, de echipament și utilaj a procesului de injectare. Sunt recunoscute diverse lucrări în literatura de specialitate care tratează în mod exhaustiv aceste aspecte.



4. Modulul unui sistem parametric CAD/CAM/CAE utilizat la analiza și designul procesului de injectare al pieselor din materiale polimerice

Numărul produselor injectate din materiale polimerice este în continuă creștere, atât în industria constructoare, cât și în industria bunurilor de consum.

În acest capitol se studiază modulul de injectare⁵ al unui sistem CAD/CAM/CAE parametric⁶, precum și conexiunea acestuia nativă cu nucleul sistemului [132]. Se studiază relațiile care apar între nucleul sistemului, modulul de injectare, modulul de fabricație⁷, modulul de desenare⁸ și bibliotecile electronice⁹ ale sistemului. De asemenea, se studiază interfața cu terțe

⁵ Prin modulul de injectare al unui sistem CAD/CAM/CAE parametric se face referință la modulul **Pro/MOLDESIGN™** al pachetului Pro/ENGINEER™

⁶ În sistem CAD/CAM/CAE parametric se face referință la produsul existent pe piață **Pro/ENGINEER™** versiunea 18.

Modulul de fabricație se referă la modulul **Pro/MANUFACTURING™**.

⁸ Modulul de desenare se referă la **Pro/DRAFTING™**.

⁹ Modulul de biblioteci CAD/CAM/CAE se referă la modulul **Pro/LIBRARY™**.



produse CAE¹⁰ și posibilitățile de analize suplimentare oferite de acestea încă din fazele incipiente ale designului.

Orientarea cercetării a fost dată de firul călăuzitor al realizării produsului de injectat la o calitate înaltă și cu eforturi minime, pe cele două direcții:

- proiectare produs;
- proiectare tehnologică

și îmbinarea transparentă a activităților din aceste compartimente.

În ultimul subcapitol se studiază proprietățile reologice ale polimerilor și comportamentul reologic al topiturilor de polimeri, direcție de cercetare utilă, care va fi aprofundată în capitolele următoare – ce vor avea în vedere optimizarea proiectării piesei de injectat din interiorul sistemului CAD/CAM/CAE utilizând posibilitățile de analiză ale unor terțe produse, dedicate acestei etape.

4.1. Considerații teoretice asupra FEA

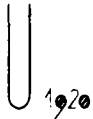
Metoda elementelor finite (MEF) s-a dezvoltat pornind de la metoda deplasărilor, metodă cunoscută din mecanica corpului deformabil [24]. Ecuațiile teoriei elasticității sunt cunoscute și nu vor mai fi demonstrate. Ele vor fi utilizate în continuare într-o formă matricială. Ecuațiile teoriei elasticității se pot grupa în trei categorii:

- ecuații de echilibru;
- relații diferențiale între deplasări și deformații specifice;
- ecuații fizice, care leagă tensiunile de deformațiile specifice.

Pe de altă parte, din punct de vedere al dificultăților de ordin matematic, problemele teoriei elasticității se împart în două categorii: problema unidimensională și problemele bi- sau tridimensionale [24].

- În problema unidimensională, necunoscutele – care pot fi tensiuni sau deplasări – se pot exprima în funcție de o singură variabilă independentă. Exemple clasice ale acestei probleme sunt cazul calcului barelor sau discurilor în mișcare de rotație și a tuburilor cu pereți groși, care se reduc la probleme unidimensionale, prin luarea în considerare a simetriei. În acest caz, ecuațiile teoriei elasticității se sintetizează în ecuații diferențiale ordinare, cu soluții închise și relativ simple.

¹⁰ Prin terțe produse CAE se face referință la pachetele existente pe piață **Moldflow**[™] și **C-MOLD**[™].



- Dacă funcțiile necunoscute depind de două sau trei variabile independente, avem cazul problemelor bi- sau tridimensionale, în care sistemele de ecuații diferențiale cu derivate parțiale sunt dificil sau imposibil de rezolvat sub formă închisă.

Pentru problema unidimensională a calcului barelor se utilizează metoda deplasărilor; ea se bazează pe relațiile cunoscute din rezistența materialelor. În schimb, MEF rezolvă problemele descrise matematic de ecuații diferențiale cu derivate parțiale. Între problemele bi- și tridimensionale nu există diferențe calitative, pentru că ambele utilizează derivate parțiale, ci doar cantitative – care rezidă din două, respectiv trei variabile independente.

4.1.1. Stări de tensiuni

Asupra unui element de volum izolat dintr-un corp supus unor solicitări pot acționa tensiuni pe diferite direcții, ca în Figura 25 (a) [24].

Starea triaxială de tensiune este descrisă de șase componente independente, care se scriu sub forma:

$$\{\sigma\} = [\sigma_x \quad \sigma_y \quad \sigma_z \quad \tau_{xy} \quad \tau_{yz} \quad \tau_{zx}]^T$$

Ecuția 8

Alături de componentele prezentate în ecuația de mai sus, mai există trei componente tangențiale ce nu sunt independente, ele fiind legate prin relațiile de mai jos, conform dualității tensiunilor tangențiale:

$$\tau_{xy} = \tau_{yx}$$

$$\tau_{yz} = \tau_{zy}$$

$$\tau_{zx} = \tau_{xz}$$

Ecuția 9

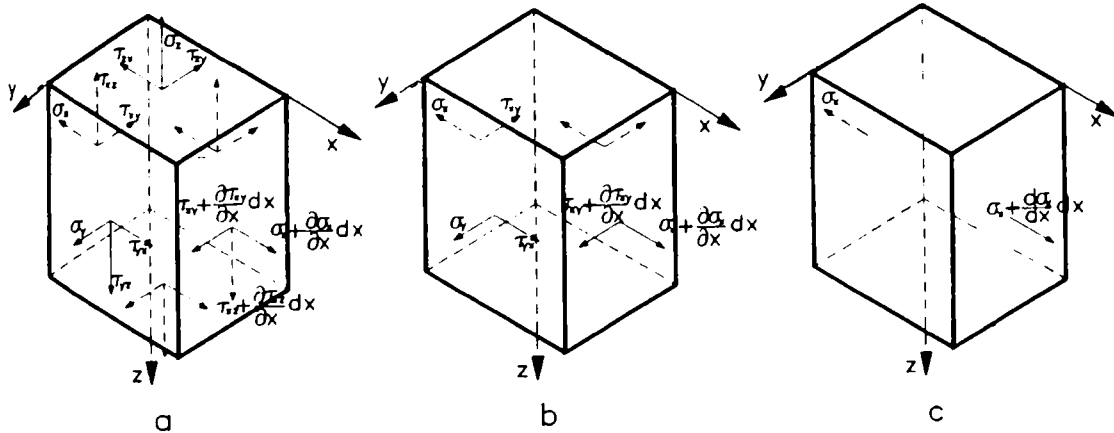
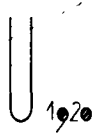


Figura 25

În starea biaxială de tensiune (plană) apar componentele tensiunilor într-un singur plan, ca în Figura 25 (b). Tensiunile din planul XY au trei componente independente:

$$\{\sigma\} = [\sigma_x \ \sigma_y \ \tau_{xy}]^T$$

Ecuția 10

Starea uniaxială de tensiune are o singură componentă σ_x (sau σ_y ori σ_z). Pentru Figura 25 (C) avem:

$$\{\sigma\} = \{\sigma_x\}$$

Ecuția 11

4.1.2. Deformații specifice

Sub acțiunea componentelor tensiunii în toate direcțiile, elementul de volum din figură se va deforma și va ajunge ca în Figura 26 [24]. Prin proiectarea fețelor elementului deformat pe cele trei plane ortogonale ale sistemului de axe se poate realiza analiza deformației. Deplasarea punctului O care ajunge în O' se definește prin componentele u , v și w ale vectorului:

$$\{\Delta\} = \{\Delta(x, y, z)\} = [u(x, y, z) \ v(x, y, z) \ w(x, y, z)]^T$$

Ecuția 12

Cunoscând cele șase deformații specifice – trei axiale (ϵ_x , ϵ_y , ϵ_z) și trei unghiulare (γ_{xy} , γ_{yz} , γ_{zx}) – deformația elementului se poate defini complet. Ca și la starea de tensiune, descrierea deformației se poate face complet sau parțial.

Descrierea triaxială a deformației cuprinde toate cele șase componente de mai sus, reprezentate prin vectorul:

$$\{\varepsilon\} = [\varepsilon_x \ \varepsilon_y \ \varepsilon_z \ \gamma_{xy} \ \gamma_{yz} \ \gamma_{zx}]^T$$

Ecuția 13

Deformația biaxială este descrisă de către trei componente:

$$\{\varepsilon\} = [\varepsilon_x \ \varepsilon_y \ \gamma_{xy}]^T$$

Ecuția 14

Deformația uniaxială se reduce la precizarea componentei după o axă:

$$\{\varepsilon\} = \{\varepsilon_x\}$$

Ecuția 15

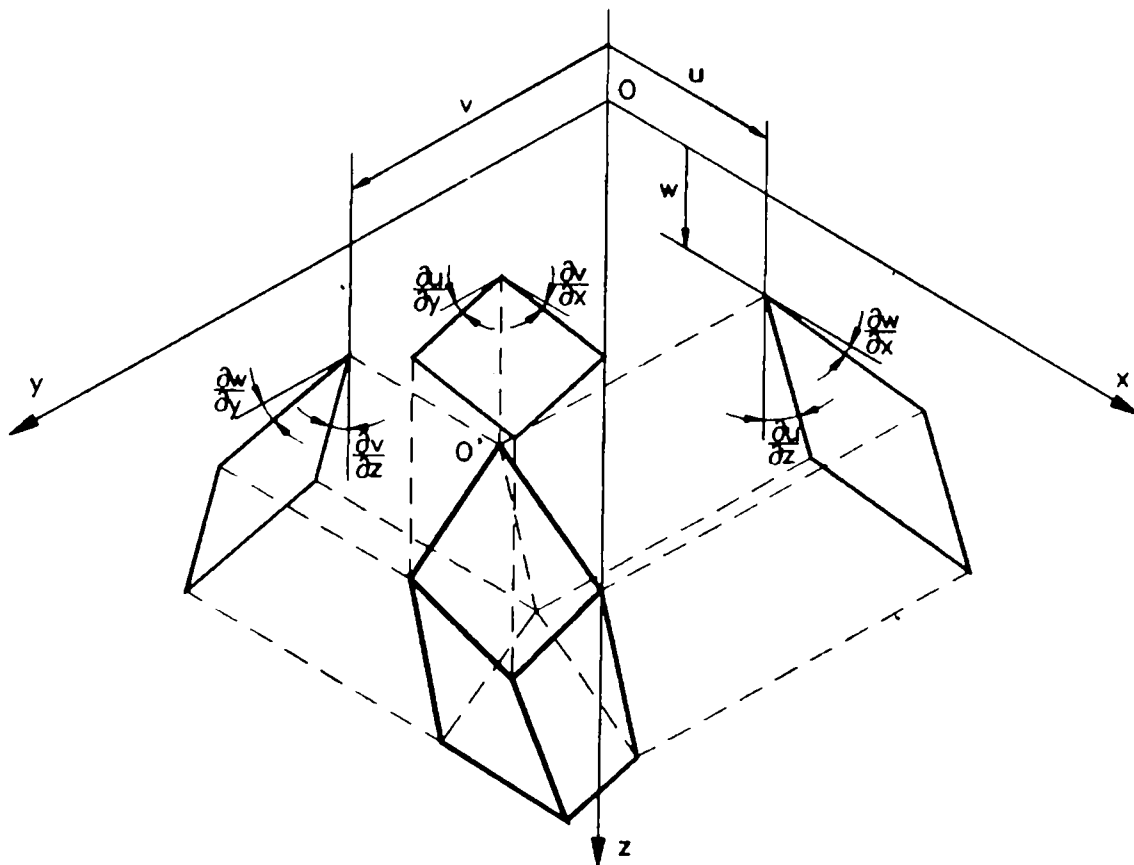


Figura 26

4.1.3. Ecuțiile teoriei elasticității. Ecuțiile de echilibru

Dacă tensiunile pe fețele negative sunt definite de componentele vectorului și se admit variații infinit de mici ale acestora ca în Figura 26 [24], ecuațiile de echilibru ale acestui element conduc la relațiile:



$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + X = 0 \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + Y = 0 \\ \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + Z = 0 \end{cases}$$

Ecuția 16

în care X,Y,Z reprezintă forțele volumice.

Aceste relații, care formează prima grupă de ecuații a teoriei elasticității reprezintă o problemă de mecanică, ele nefiind legate de modul cum se deformează corpul.

4.1.4. Relații între deplasări și deformații specifice

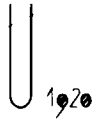
A doua categorie de ecuații reprezintă rezolvarea unei probleme de geometrie în care se exprimă deformațiile specifice în funcție de deplasările vârfului elementului. În cazul deformațiilor mici, acceptate de teoria elasticității, aceste relații sunt [24]:

$$\begin{cases} \varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}; \gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \\ \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}; \gamma_{yz} = \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \\ \varepsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z}; \gamma_{zx} = \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \end{cases}$$

Ecuția 17

4.1.5. Ecuațiile fizice (constitutive) ale unui corp liniar și izotrop

Legea lui Hooke generalizată descrie legătura dintre tensiuni și deformații specifice pentru un material cu comportare liniară și izotropă:



$$\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_x = \frac{\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)}{E}; \gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G} \\ \varepsilon_y = \frac{\sigma_y - \nu(\sigma_z + \sigma_x)}{E}; \gamma_{yz} = \frac{\tau_{yz}}{G} \\ \varepsilon_z = \frac{\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)}{E}; \gamma_{zx} = \frac{\tau_{zx}}{G} \end{array} \right.$$

Ecuția 18

unde:

- E – modulul de elasticitate longitudinal;
- G – modulul de elasticitate transversal;
- ν – coeficient de contracție transversală.

Între cele trei constante (E, G și ν) numai două sunt independente pentru un material izotrop, deoarece între ele există relația:

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

Ecuția 19

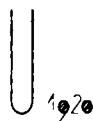
4.1.6. Căi de soluționare a problemelor teoriei elasticității

Cele trei categorii de ecuații ale teoriei elasticității reprezintă în cazul triaxial un sistem de 15 ecuații cu derivate parțiale, având ca necunoscute 15 funcții ce depind de x, y și z, astfel [24]:

- 6 funcții reprezentând tensiuni;
- 3 funcții reprezentând deplasări;
- 6 funcții reprezentând componentele deformațiilor specifice.

Acest sistem de 15 ecuații nu are o soluție generală, deoarece pe de o parte ecuațiile au derivate parțiale, iar pe de altă parte trebuie să se verifice și condițiile la limită (pe conturul corpului) care pot fi:

4. Condiții în tensiuni. Tensiunile date de funcțiile-soluție trebuie să fie egale cu sarcinile repartizate pe suprafața corpului sau, dacă acestea nu există, să fie nule.
5. Condiții în deplasări. Anumite puncte ale corpului sunt împiedicate să se deplaseze prin rezemare pe alte corpuri.



În majoritatea cazurilor condițiile sunt mixte, conținând atât tensiuni cât și deplasări. Rezolvarea unei probleme din teoria elasticității se poate face în diferite moduri, dar principalele metode de abordare sunt [24]:

- *Metoda directă.* Cunoscând sistemul de forțe și condițiile de rezemare se caută determinarea celor 15 funcții menționate anterior, prin rezolvarea directă a sistemului de ecuații.
- *Metoda inversă.* Pentru deplasări date ale unor porțiuni ale corpului se determină deformațiile specifice și tensiunile. Prin calculul valorilor tensiunilor pe suprafața corpului se determină sarcinile ce au produs deplasările de la care s-a pornit.

Din punct de vedere matematic, metoda inversă este mai comodă deoarece, presupunând cunoscute deplasările, deformațiile specifice se determină prin derivare, se determină apoi tensiunile și în final ecuațiile de echilibru se verifică din nou prin derivare. Metoda inversă este caracteristică metodei elementelor finite.

4.1.7. Ideile fundamentale ale Metodei Elementelor Finite

La început, MEF a reușit să rezolve probleme pluridimensionale ale teoriei elasticității, pe baza unei metodologii inspirată din metoda deplasărilor. Ulterior s-a dovedit că MEF poate fi aplicată cu succes și la problemele care impun soluționarea unor ecuații sau sisteme de ecuații cu derivate parțiale [24]. Ideile principale, care se regăsesc în orice aplicație a MEF, indiferent de problema specifică abordată se prezintă în continuare:

Discretizarea domeniului fizic D. Aceasta presupune împărțirea acestuia în elemente, care pot avea diferite forme; de exemplu în plan elementele pot fi: triunghiuri, dreptunghiuri, patrulatere oarecare, triunghiuri cu laturi curbilinii etc. Discretizarea domeniului D (care poate fi un corp, o suprafață, o structură etc.) se face pentru a căuta o soluție a ecuațiilor, nu pentru întreg domeniul, ci pentru fiecare element.

Aproximarea funcției necunoscute prin ipoteze locale. Presupunând o ecuație diferențială cuprinzând derivate parțiale ale unei funcții necunoscute $\varphi(x, y, z)$, în loc să se caute forma exactă de variație a funcției, ea se înlocuiește printr-o variație aproximativă $\tilde{\varphi}(x, y, z)$, aleasă de către utilizator. Deși această aproximație este diferită de forma exactă, ea este corespunătoare ca și aproximație locală, referindu-se doar la elementul studiat.

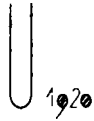


4.2. Modulul de injectare al unui sistem CAD/CAM/CAE parametric. Privire generală

Cel mai adesea, modulul de injectare al pieselor din materiale polimerice este un modul opțional al sistemului CAD/CAM/CAE. Acest modul oferă posibilități de simulare a procesului de injectare a materialelor polimerice și vine să completeze sistemul CAD/CAM, oferind inginerului mijloacele de proiectare și analiză a matritelor de injectat, inclusiv o sincronizare rapidă a modificărilor în întregul ansamblu reper-matrită-tehnologie.

Procesul tipic de proiectare a produselor din materiale polimerice – proces asistat de calculator – constă în următoarele etape [132]:

- 1). modelarea 3D a piesei de referință;
- 2). realizarea conicităților și verificarea acestora, pentru a se determina dacă înclinațiile sunt suficiente ca piesa să fie demulată corespunzător;
- 3). calculul și aplicarea contracțiilor pe reper. Contracțiile se pot aplica prin scalare izotropică asupra întregii piese sau, prin coeficienți de contracție asupra anumitor dimensiuni;
- 4). analiza umplerii matriței, pentru a se determina pozițiile punctelor de injectare, informații utile în proiectarea digurilor și a canalelor de distribuție. De asemenea, se analizează avansul frontului de topire și se obțin recomandări privind viteza relativă a melcului;
- 5). se adaugă reperului digurile, canalele de distribuție și culeea. Ele sunt utile la proiectarea modelului de injecție, cât și pentru verificările de interferență în timpul procesului de deschidere a matriței;
- 6). se definesc volumele de injectare și suprafețele de separație pentru divizarea semifabricatului în componente separate;
- 7). extragerea volumelor de injectare din semifabricat și asamblarea acestora în componente ale matriței. Odată extrase componentele de injectare, acestea devin piese independente, care pot fi direcționate spre modulul de desenare, spre modulul de fabricație etc.;
- 8). simularea umplerii cavității de injectare pentru obținerea reperului injectat. Sistemul CAD/CAM/CAE crează reperul de injectare automat, prin determinarea volumului rămas după extragerea volumelor de injectare;



- 9). se definesc etapele de deschidere ale matriței. Prin simularea deschiderii se verifică interferența cu părțile statice pentru fiecare etapă. Eventual se modifică anumite componente dacă acest lucru este necesar;
- 10). se estimează dimensiunile preliminare ale matriței de injectat;
- 11). se assemblează matrița. O parte din componentele matriței, și anume cele standard, se obțin din bibliotecile electronice corespunzătoare sistemului CAD/CAM/CAE;
- 12). se realizează desenele de detaliu ale matriței, amplasarea sistemului de injecție și sistemul de răcire;
- 13). se proiectează tehnologia de fabricare pe mașini-unelte cu CNC a componentelor matriței.

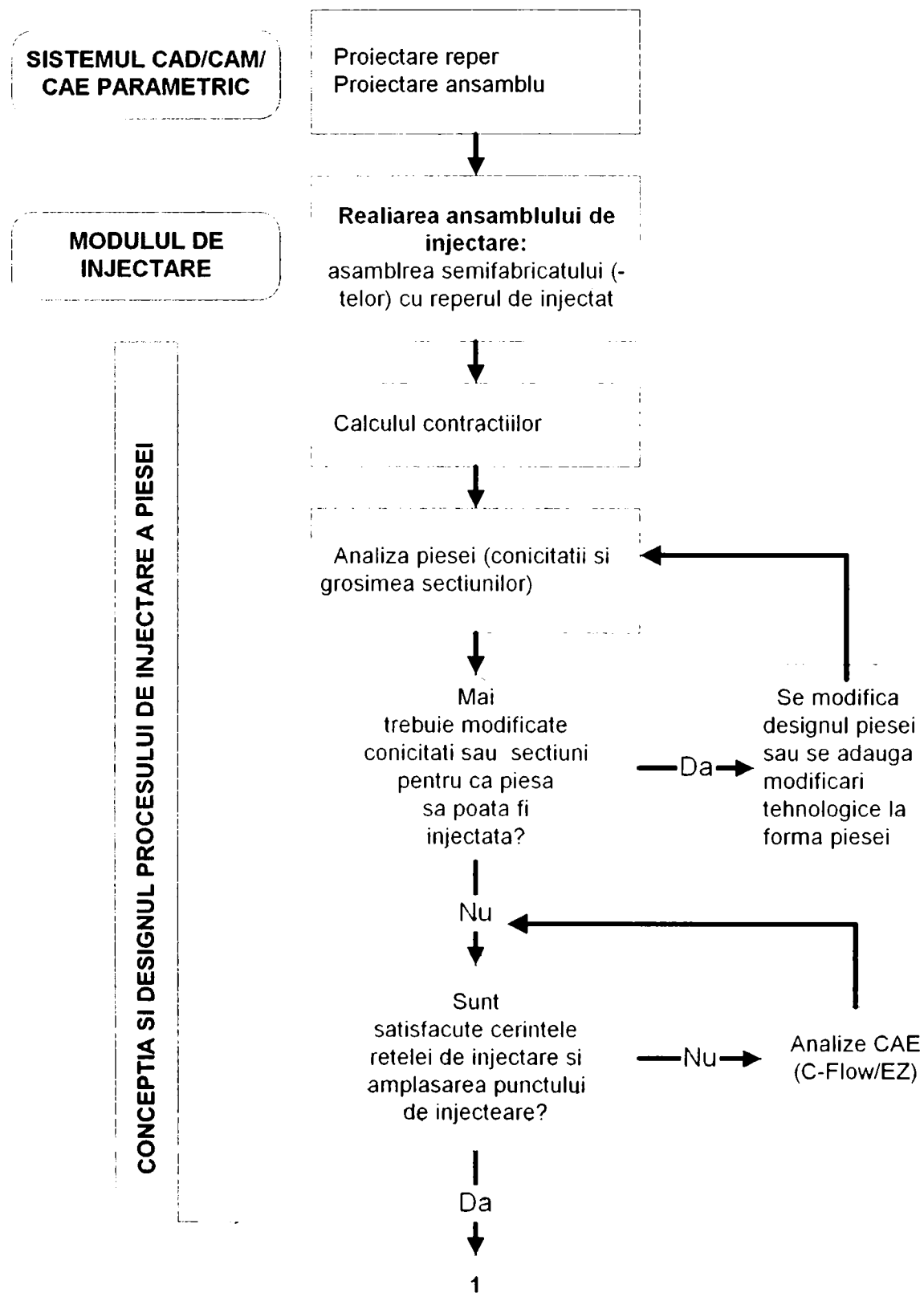


Figura 27

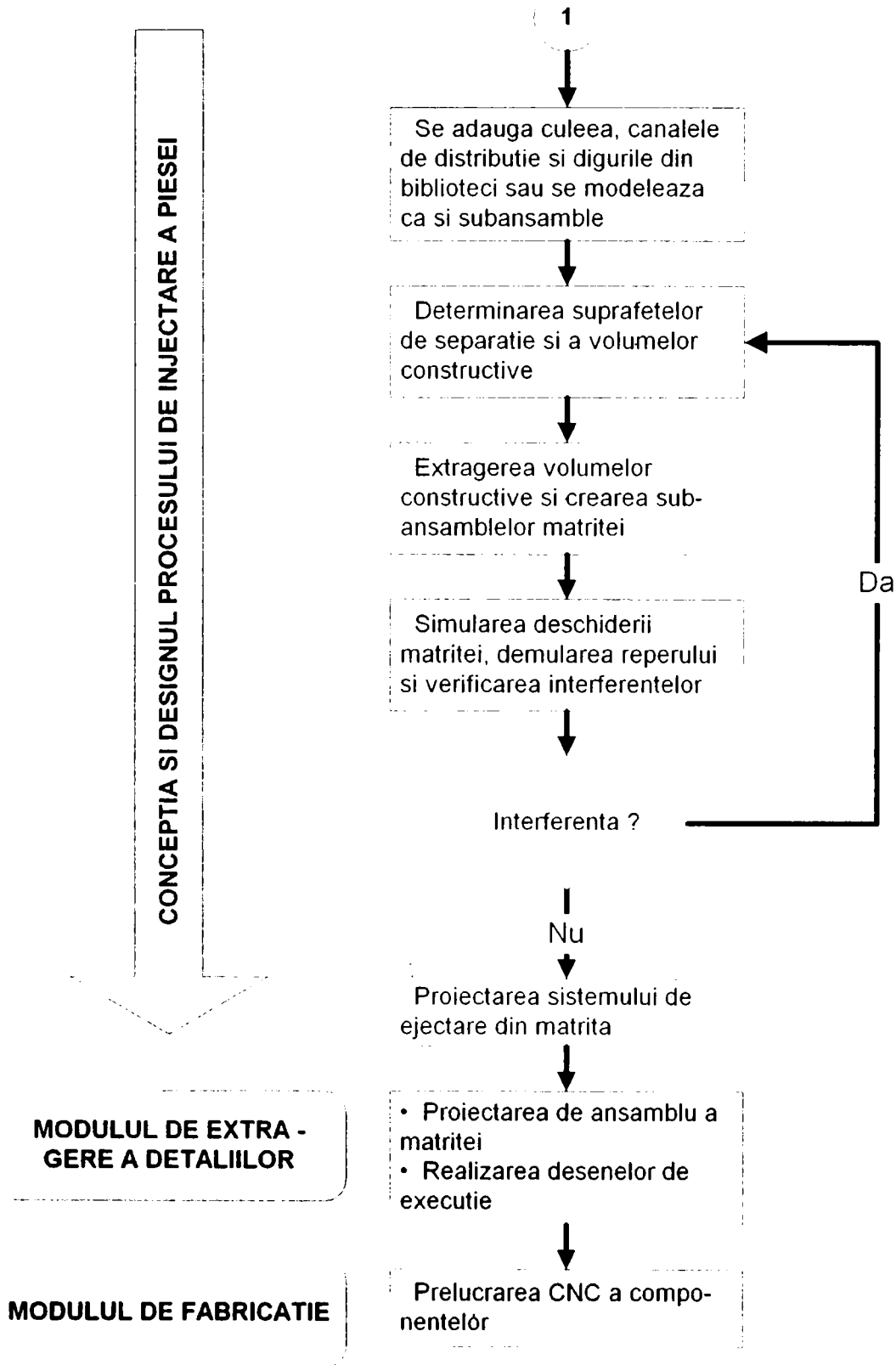


Figura 28



Algoritmizat, acest proces de proiectare este prezentat în Figura 27 [132], figură care se continuă cu Figura 28 [132]. Se remarcă faptul că, sistemul CAD/CAM/CAE utilizat în procesul de proiectare al unei piese din materiale polimerice este format din patru module distincte (de injectare, modelare cu elemente finite, de desenare 2D și de fabricație) la care se adaugă nucleul sistemului (Pro/ENGINEER®) și sistemul de analiză a umplerii matriței (C-Flow/EZ®).

Spre exemplificare, în Figura 29 [132] se prezintă o piesă oarecare de injectat, precum și simularea deschiderii matriței, toate realizate cu sistemul CAD/CAM/CAE respectiv.

În timpul procesului de proiectare al piesei injectate apar adesea modificări, unele chiar esențiale. Orice modificare care se produce la nivelul modelului piesei de injectat se propagă în toate aspectele procesului de proiectare, de la modificarea desenelor de execuție, la modificarea modelelor de analiză cu elemente finite, ansamble, informațiile conexe procesului de injectare, până la modificarea programelor CNC.

Deoarece procesul de proiectare al injectării piesei referă un model parametric, orice modificare a piesei se reflectă în toți pașii intermediari și este captată la nivelul reperului injectat.

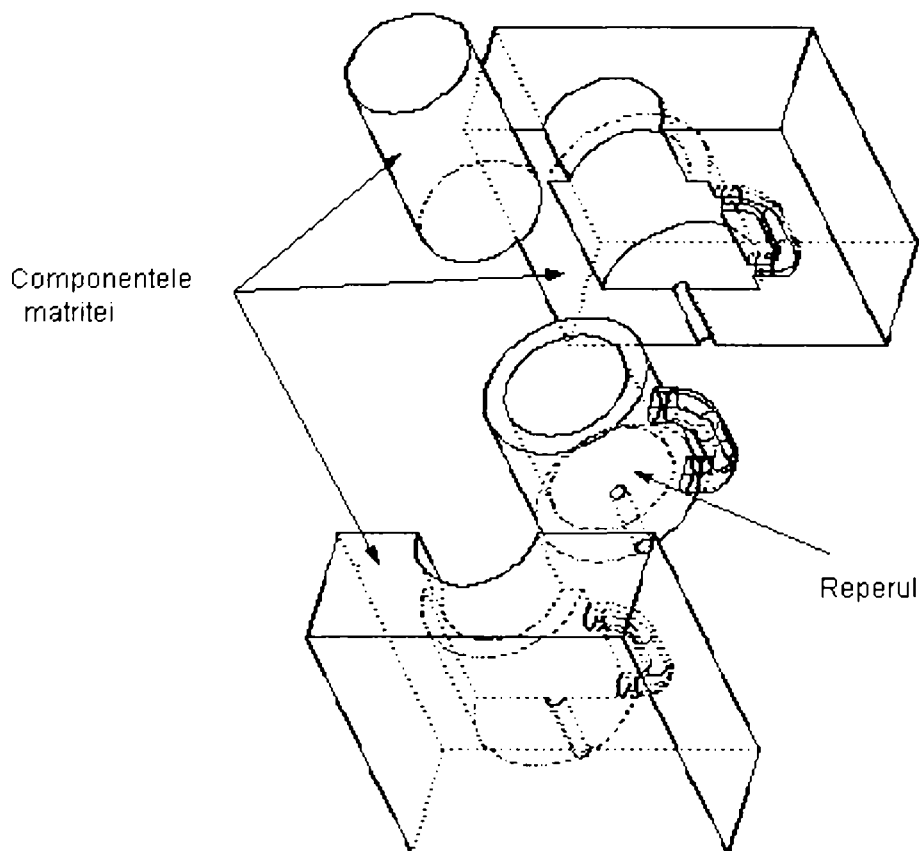


Figura 29

De aici rezultă utilitatea majoră, aceea de a putea apela de pe aceeași platformă software (Pro/ENGINEER) și alte pachete software (cum ar fi C-MOLD, Moldflow sau ANSYS, care sunt terțe produse) pentru analize cum ar fi umplerea matriței și comportamentul termic al plăcilor în timpul procesului de injectare.

4.3. Tehnologii de bază în conducerea procesului de proiectare al unei piese injectabile

Pentru a proiecta procesul de realizare al unei piese injectabile sistemele CAD/CAM/CAE, se utilizează câteva noțiuni particulare, pe care o să le precizăm în continuare, subliniind și faptul că aceste noțiuni sunt în cea mai mare parte comune majorității pachetelor software aflate curent pe piață sau au denumiri relativ diferite – în funcție de firma producătoare – dar cu aceeași semnificație. Chiar și în cazul unor concepții aparent diferite, soluția de bază rămâne aceeași.

4.3.1. Modelul de injectare

Modelul de injectare este de fapt un ansamblu care constă din unul sau mai multe modele ale piesei de referință și unul sau mai multe semifabricate.

Simplificat vorbind, acest ansamblu constă din piesa de referință (asupra căreia s-au făcut unele transformări) și semifabricat.

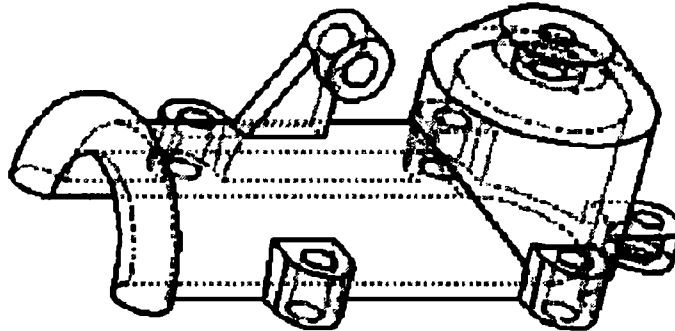


Figura 30

Reperul reprezintă produsul final și este utilizat ca bază pentru toate operațiile. Când piesa este plasată în ansamblul de injectare, ea este înlocuită prin reper, care referă de fapt piesa. Datorită acestei relații, orice modificări asupra reperului se răsfrâng asupra piesei.

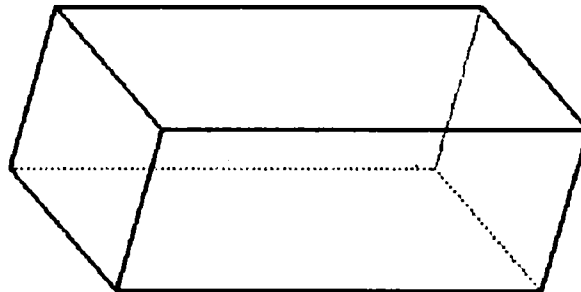


Figura 31

De exemplu, reperul prezentat în Figura 30 [132] se assemblează cu semifabricatul din Figura 31. Ansamblul rezultat este prezentat în Figura 32 [132].

Semifabricatul reprezintă volumul acoperitor al componentelor de injectare care participă direct la punerea în formă a materialului polimeric. Semifabricatul poate fi format și din două plăci, precum și din miezuri de inserare. Semifabricatul poate fi de dimensiune standard – și utilizat astfel împreună cu bibliotecile DME, HASCO sau FUTABA – sau poate avea orice dimensiuni date de proiectant, pentru a îndeplini constrângerile piesei. În ultimul caz, componentele matriței trebuie modificate corespunzător.

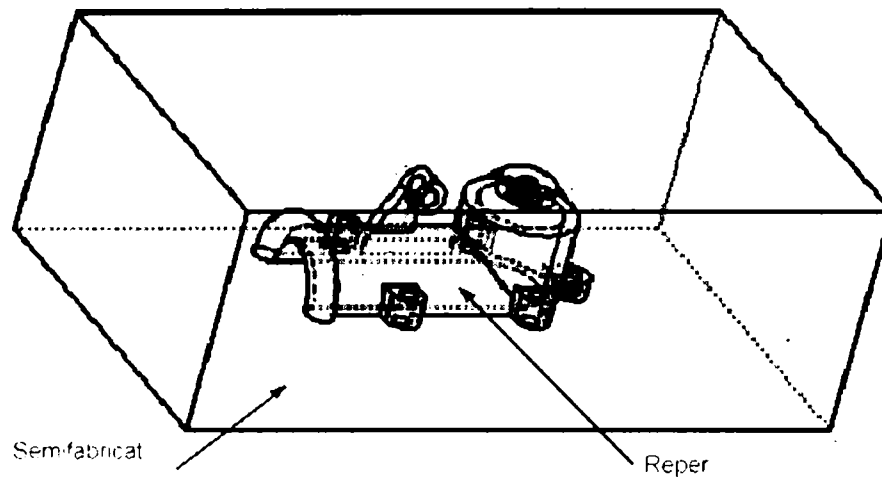


Figura 32

Figura 32 [132] prezintă modelul de injectare format din ansamblul semifabricat și reper. Pentru matricele cu mai multe cuiburi se pot asambla mai multe repere care formează modelul de injectare, așa cum rezultă și din Figura 33 [132].

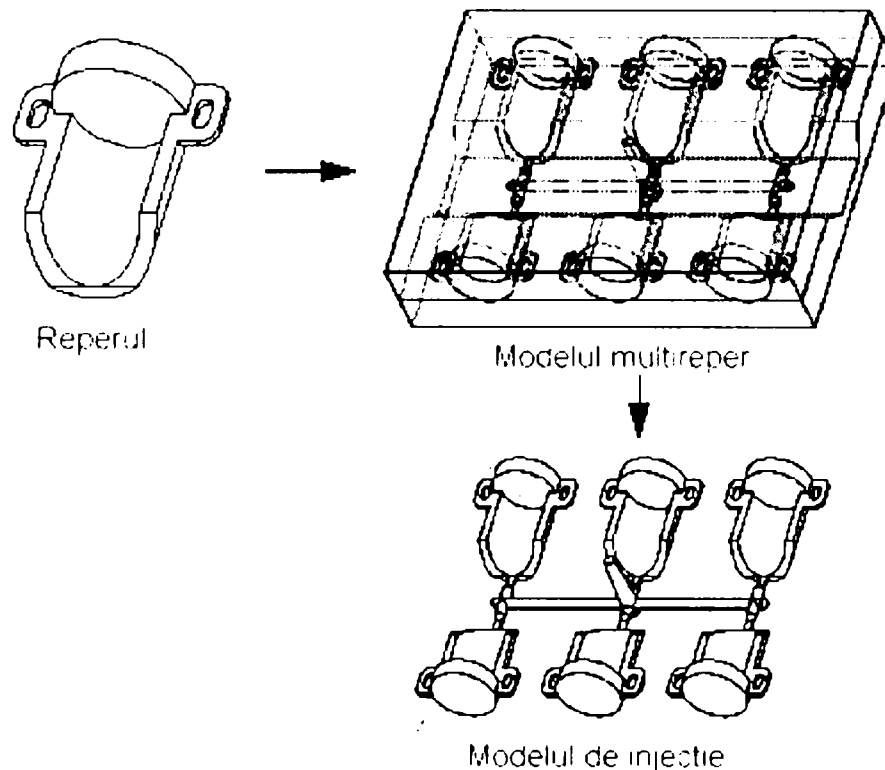


Figura 33

Divizarea semifabricatului după planul de separație și obținerea elementelor active ale matricei este prezentată în Figura 34 [132]. În această figură se observă și rețeaua de injectare care a fost adăugată reperului. Pentru

divizarea semifabricatului se folosesc așa numitele volume de injectare, care reproduc geometria piesei.

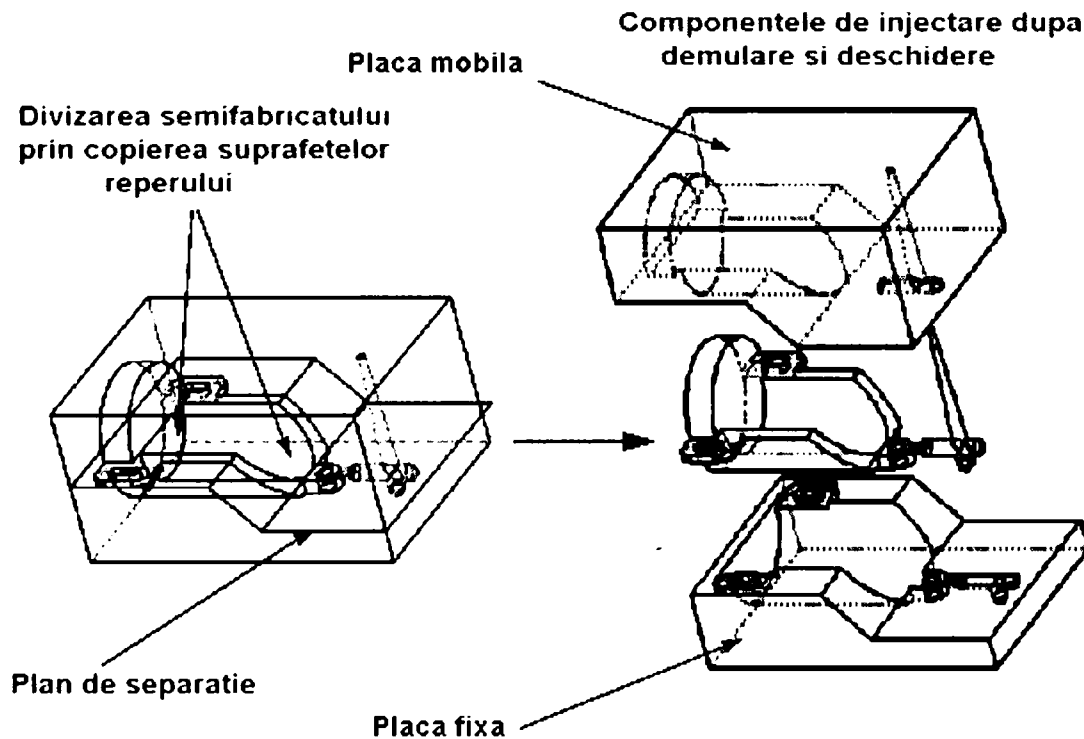


Figura 34

4.3.2. Contractia materialului

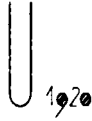
Înainte de a începe procesul de proiectare a tehnologiei de realizare a unei piese injectabile, trebuie luată în considerare contractia materialului și mărirea proporțională a dimensiunilor modelului de referință. Există două metode de aplicare a contractiilor:

- asupra fiecărei dimensiuni, individual
- prin scalare, asupra întregii piese.

De asemenea, contractiile se pot preciza ca factor în funcție de geometria finală pe care trebuie să o satisfacă piesa sau, cu un coeficient precalculat, ales din literatura de specialitate. Sunt două formule posibile:

$$d = d_1(1 + s)$$

Ecuatia 20



$$d = d_1 \frac{1}{1-s}$$

Ecuția 21

Ecuția 20 se bazează pe geometria originală a piesei. Ecuția 21 se bazează pe geometria rezultantă a piesei.

Aplicarea contractiilor asupra fiecărei dimensiuni individual se poate face (de asemenea) după Ecuția 20 sau Ecuția 21. Trebuie menționat că aplicarea contractiilor asupra unui lanț de dimensiuni nu este cumulativă.

Tehnicile acestea pot fi aplicate și combinat. La specificarea contractiei asupra unei dimensiuni, aceasta are întotdeauna prioritate asupra scalării întregii piese. De o deosebită importanță este și faptul că, coeficienții de contracție pot proveni din rezolvarea unor ecuații parametrice, a căror parametrii sau necunoscute survin din terțe aplicații.

4.3.3. Verificarea conicităților și determinarea direcției optime de extragere a reperului din matriță

Analiza conicităților reperului permite proiectantului să determine dacă reperul injectat are valori suficiente, astfel încât să permită extragerea piesei "curată" din matriță.

Verificarea conicității minime se bazează pe valorile acestora definite de către proiectant pe piesă și pe direcția de extragere, de asemenea definită de proiectant. Pentru a determina care suprafață a piesei corespunde și care nu, sistemul CAD/CAM/CAE compară fiecare dintre normalele la suprafețele piesei cu suprafața de referință.

Suficiența conicităților este prezentată de către sistemele CAD/CAM/CAE în două moduri:

- sub formă grafică;
- sub formă analitică.

Forma grafică prezintă suprafețele reperului într-o paletă de culori, alături de o legendă care prezintă cât de mult deviază de la unghiul optim. O astfel de analiză este prezentată în Figura 36.

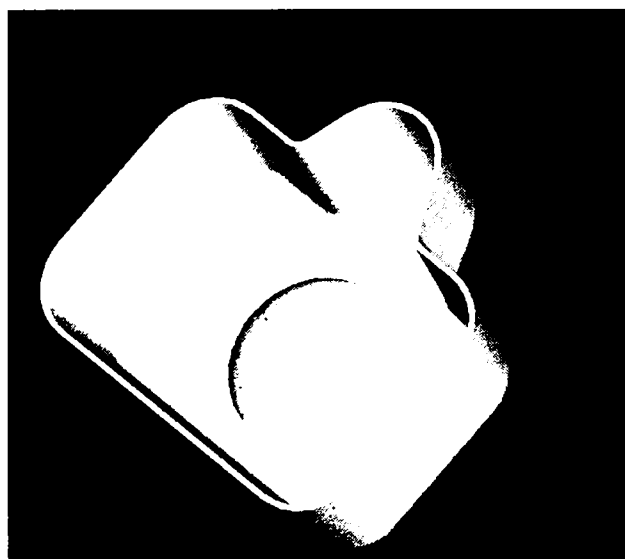


Figura 35

În Figura 35 este prezentată o piesă cu pereți subțiri, iar analiza conicităților acestei piese este prezentată în Figura 36. Sistemul CAD/CAM/CAE poate analiza conicitățile reperului cu ajutorul a trei culori de bază sau printr-un spectru mai larg de culori (în gradient). Cele trei culori de bază sunt albastru, roșu și galben. Albastru indică zonele cu valoarea conicității pozitivă și relativ mare (până la 90°). Roșul indică zone cu înclinații scăzute, iar galben indică zone intermediare.

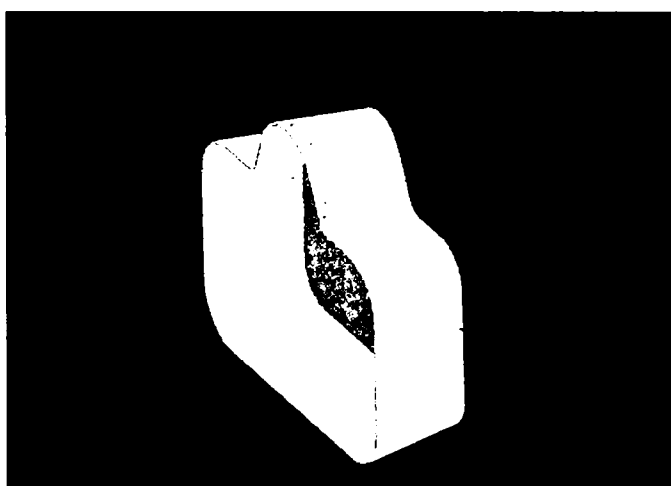
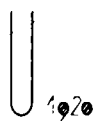


Figura 36

4.3.4. Verificarea grosimii pereților piesei

Un alt avantaj al utilizării sistemelor CAD/CAM/CAE la proiectarea pieselor din materiale polimerice îl reprezintă posibilitatea de a verifica grosimea pereților piesei, și anume simplificarea modului în care se determină dacă o pe anumită



regiune, grosimea peretelui este mai mare sau mai mică decât o anumită valoare.

Dacă într-o zonă a piesei grosimea pereților este mai mare sau mai mică decât valorile admisibile, acest lucru este prezentat grafic, așa cum rezultă și din Figura 37 [132].

Cea mai bună tehnică de verificare a grosimii pereților piesei este aceea de a secționa piesa prin mai multe plane paralele ("felii") distanțate cu o anumită valoare. Astfel există posibilitatea de analiză a grosimii pereților pentru zone mai mari din piesă.

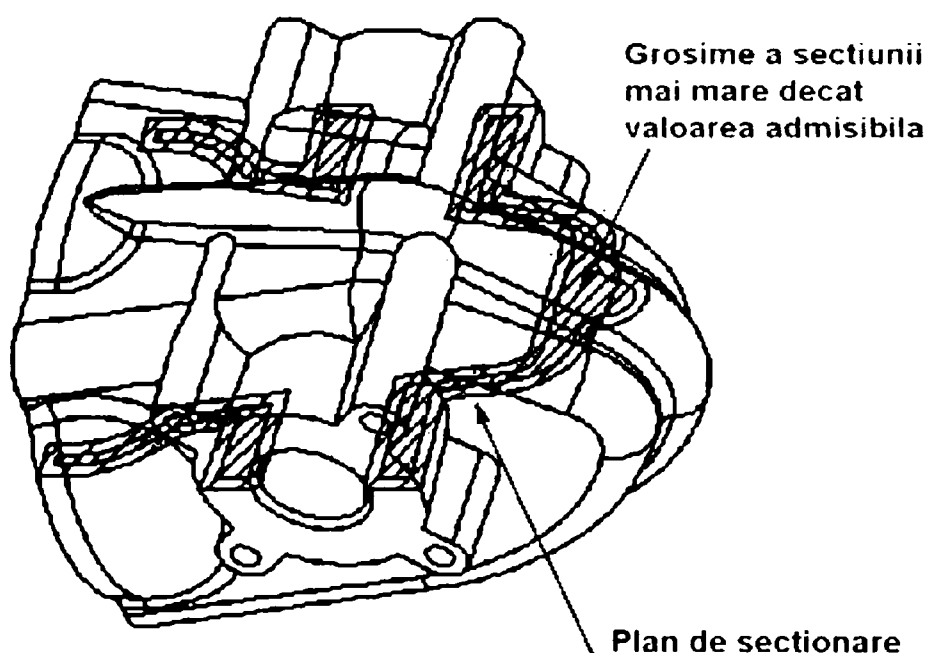


Figura 37

4.3.5. Proiectarea matritelor de injectare cu ajutorul cataloagelor și bibliotecilor electronice de componente tipizate

Bibliotecile electronice care însoțesc sistemele CAD/CAM/CAE oferă componente și ansambluri ale celor mai uzuale firme, despre care se poate spune că au devenit aproape standarde internaționale în domeniu: DME, HASCO și FUTABA.

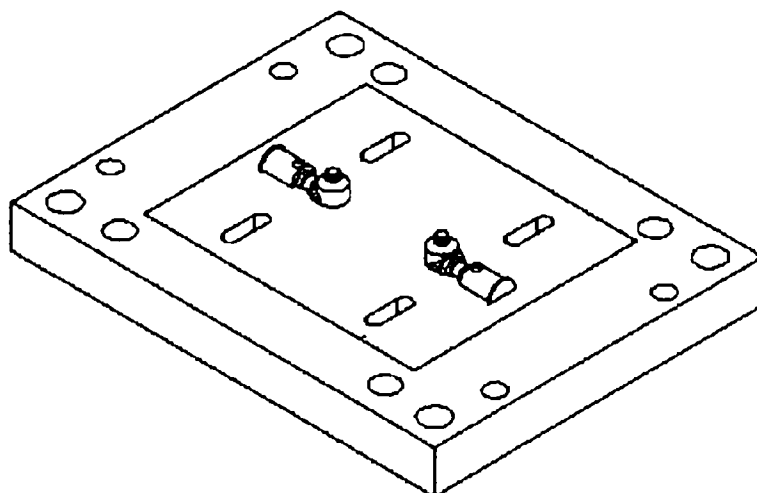
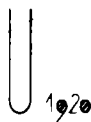


Figura 38

Figura 38 [132] prezintă o placă pastilată selectată dintr-o bibliotecă electronică de tipizate, la care s-au adăugat elementele active de injectare.

Pentru toate posibilitățile constructive ale matrițelor de injectat (care pot fi de o largă diversitate), bibliotecile electronice oferă cele mai variate componente tipizate: tije de aruncare, bușe de conducere, șuruburi, plăci de prindere, plăci aruncătoare, plăci portaruncătoare, plăci distanțiere, plăci suport, plăci de formare, bușe de ghidare, pastile, poansoane, duze de injectare, inele de centrare, bușe centrale, știfturi, știfturi tampon și readucătoare, aruncătoare etc.

Pastilele (elementele active) și poansoanele care pun în formă materialul plastic primesc evident forma constructivă a volumelor de injecție, prin separarea semifabricatului, așa cum s-a prezentat în capitolele anterioare.

Două sunt avantajele majore ale bibliotecilor electronice, dintre care al doilea este caracteristic numai celor electronice:

- proiectarea rapidă a matriței utilizând componente tipizate, în cazul în care piesa se încadrează în dimensiunile tipizatelor;
- modificarea simplă a componentelor tipizate, în cazul în care piesa are o geometrie diferită de cea a tipizatelor.

Figura 39 [132] prezintă un ansamblu matriță de injectat, la care s-au folosit componente tipizate din bibliotecile electronice ale unui sistem CAD/CAM/CAE ce dispune de modulul de injectare și de modulul care oferă acces la bibliotecile electronice.

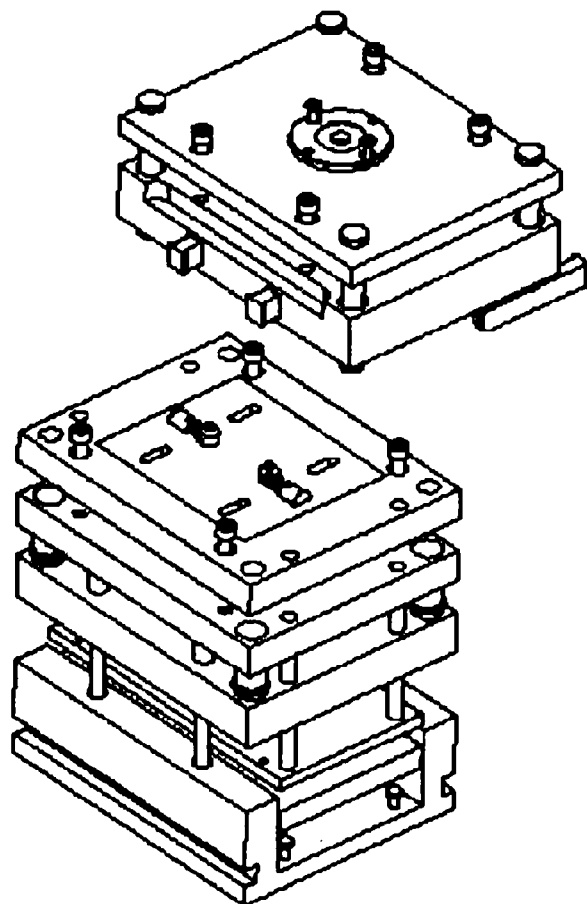
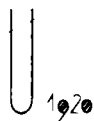


Figura 39

Privitor la cele prezentate până acum se pot prezenta câteva idei generale. În urma analizei unui modul de proiectare aparținând unui sistem CAD/CAM/CAE reprezentativ, desprindem următoarele concluzii:

- partea de proiectare constructivă este foarte bine pusă la punct. Uneltele aflate la îndemâna inginerului proiectant sunt corespunzătoare, oferindu-i toate posibilitățile necesare automatizării proiectării:
 - acces la nucleul sistemului din modulul de injectare;
 - acces la modulul de desenare;
 - acces la modulul de fabricație;
 - acces la modulul de modelare cu elemente finite (FEM);
 - acces la bibliotecile electronice ale sistemului CAD/CAM/CAE;
 - nu în ultimul rând, export/import spre/dinspre alte pachete software.



- propagarea modificărilor constructive și de analiză la toate nivelurile sau numai la nivelul dorit de inginerul proiectant;
- calculul automatizat al contracțiilor piesei;
- partea de analize în vederea optimizării concepției produsului se referă la:
 - analiza conicităților piesei și a direcției optime de demulare;
 - analiza grosimii pereților piesei.

Până la acest subcapitol nu a fost analizată umplerea matriței. Acest lucru se va face în paragrafele următoare.

4.4. Proprietățile reologice ale polimerilor

4.4.1. Introducere

Pentru inginerii proiectanți de piese de injectat și de matrițe, problema umplerii cuibului matriței este de cea mai mare importanță. Știința care se ocupă cu studiul curgerii corpurilor sub acțiunea unor forțe și răspunsul corpurilor ca urmare a aplicării acestor forțe este *reologia*.

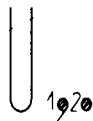
Calitatea piesei injectate – ca factor principal de caracterizare a procesului de injectare – este direct dependentă de fenomenul de umplere al matriței cu material plastic. Transportul topiturii de material polimeric din cilindrul mașinii de injectat în matriță este îngreunat de vâscozitatea ridicată a topiturii. Problemele de curgere la umplerea matriței sunt în plus îngreunate de o serie de alți factori: pereții subțiri ai piesei (pentru obținerea unor timpi de răcire reduși și a unor contracții mici), secțiuni înguste ale canalelor de curgere, solidificarea rapidă a frontului de curgere etc.

Tocmai datorită acestor cauze, prezentul capitol face rezumatul proprietăților reologice ale polimerilor, proprietăți fundamentale folosite în toate tehnicile de simulare pe calculator a umplerii matriței [102].

4.4.2. Proprietățile corpurilor în general

Când un corp este deformat, sub acțiunea solicitărilor își modifică forma sau volumul. Deformarea solidelor are loc până la atingerea echilibrului între forțele externe și cele interne. După îndepărtarea forțelor, deformația se poate recupera – proprietatea de elasticitate. La lichide, prin aplicarea unei unei forțe neomogene și anizotrope nu se ajunge la o deformație de echilibru, iar gradul de deformare se modifică continuu în timp.

Curgerea este deformația a cărei valoare crește continuu și și nu se mai recuperează după îndepărtarea forței. Deși fluidele opun rezistențe mici la



deformare, în timpul curgerii iau naștere forțe de frecare internă care diminuează viteza de deformare. Sub acțiunea unei forțe externe, viteza de deformare crește până când se stabilește echilibrul cu forța de frecare, după care forța de frecare rămâne constantă. Proprietatea fluidelor de a opune rezistență la schimbarea ireversibilă a poziției elementelor de volum constituente și de a disipa energia mecanică sub formă de căldură se numește vâscozitate.

Corpurile la care componenta elastică și componenta vâscoasă se manifestă simultan se numesc vâscoelastice (sau elastovâscoase). Datorită faptului că posedă componenta vâscoasă, o topitură de polimeri va curge, iar după îndepărtarea forței externe, o mică parte din deformație se recuperează datorită componentei elastice.

O solicitare continuu crescătoare asupra unui corp poate avea ca efect asupra acestuia trecerea de la starea de elasticitate la cea de vâscozitate, în care caz corpul se numește plastic. Dacă forța depășește o valoare critică, corpul plastic va curge ca un fluid. La solicitări mici, toate corpurile plastice sunt elastice sau rigide (corespunzător stării solide), iar peste valoarea critică a solicitării apare curgerea vâscoasă, (specifică stării lichide).

Corpurile vâscoelastice prezintă fenomenele de fluaj și relaxare. Dacă asupra unui corp acționează o tensiune constantă în timp și acesta nu se deformează instantaneu sau cu o viteză constantă, fenomenul se numește fluaj. Tensiunea necesară menținerii unei deformații constante pentru un corp vâscoelastic scade lent în timp – fenomenul de relaxare [102].

4.4.3. Corpuri cu comportare ideală

Corpurile ideale (sau corpuri cu proprietăți unitare) sunt corpuri despre care se consideră că au o singură proprietate. Se consideră următoarele corpuri reologice particulare:

- solidul lui Hooke, perfect elastic;
- fluidul lui Newton, pur vâscos;
- plasticul lui St.Venant, perfect plastic.

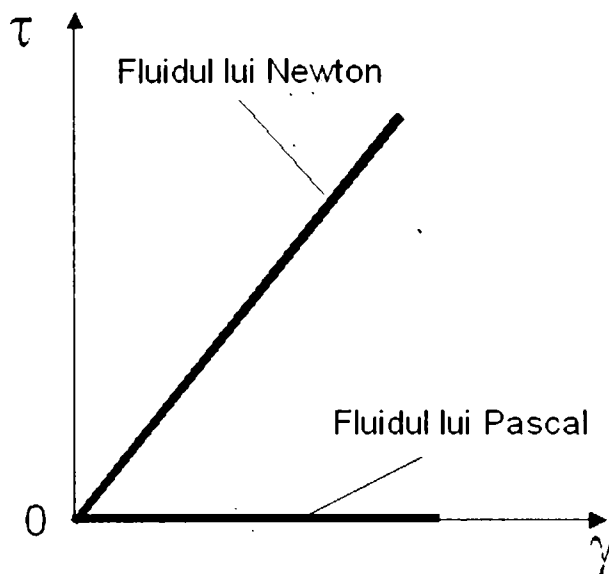


Figura 40

Solidul lui Hooke are o comportare perfect elastică: răspunde la o forță exterioară aplicată brusc printr-o deformare elastică și revine la forma inițială după îndepărtarea forței care a produs-o. Ecuația reologică – sau legea lui Hooke – reprezintă relația dintre efortul unitar și deformare. Comportarea corpului elastic supus la forfecare simplă este dată de relația:

$$\tau = G\gamma$$

Ecuația 22

unde τ reprezintă efortul unitar de forfecare, γ este alunecarea specifică, iar G este modulul de elasticitate transversală.

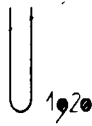
Fluidul lui Newton (sau corpul perfect vâscos) opune o rezistență la deformare datorită vâscozității. Acest corp posedă numai vâscozitate. Ecuația 23 descrie comportarea unui astfel de corp – ecuația lui Newton:

$$\tau = \eta\dot{\gamma}$$

Ecuația 23

unde η este coeficientul vâscozității de forfecare. Ecuația 23 reprezintă o dependență între efortul unitar de forfecare τ și viteza de forfecare sau reopanta $\dot{\gamma}$. Reograma fluidului newtonian este prezentată în Figura 40 [102].

Corpul perfect plastic (St.Venant) posedă numai plasticitate, fiind necesar un efort limită τ_0 pentru deformare, care este nelimitată și ireversibilă, viteza de deformare putând lua valori între 0 și infinit. Ecuația reologică a corpului perfect plastic este dată de Ecuația 24.



$$\tau = \tau_0$$

Ecuția 24

4.4.4. Fluide vâscoase newtoniene

Topitura polimerică are o comportare nenewtoniană, ca de altfel toate fluidele întâlnite în practica industrială. În condiții izoterme, la fluidele nenewtoniene dependența tensiune–viteză este neliniară, iar vâscozitatea nu este constantă, depinzând de parametrii solicitării [102]. Fluidele vâscoase nenewtoniene se împart în două categorii: independente de timp și dependente de timp.

Fluidele independente de timp au viteza de forfecare dintr-un punct dat exclusiv dependentă de tensiunea de forfecare din acel punct. Fluidele pseudoplastice au vâscozitatea dependentă de structură. Tensiunea de forfecare și mișcarea browniană acționează asupra fiecărei molecule din fluidul pseudoplastic. La viteze mici de forfecare determinantă este mișcarea browniană; creșterea vitezei de forfecare nu produce modificări în structură. Fluidele dilatante sunt acele fluide la care în condiții izoterme vâscozitatea crește cu viteza de forfecare. La aceste fluide se manifestă fenomenul de îngroșare. Polimerii fac parte din categoria fluidelor pseudoplastice. La anumite concentrate de polimeri apare și comportarea dilatantă.

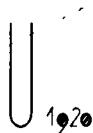
Fluidele dependente de timp au vâscozitatea dependentă de parametrii solicitării. Solicitate la forfecare, aceste fluide suferă modificări lente de structură. Comportarea lor depinde de istoria solicitărilor și se datorește proceselor de modificare a structurii prin forfecare.

4.4.5. Materiale cu proprietăți multiple

În practică, corpurile posedă proprietăți multiple – vâscozitate, elasticitate, plasticitate – asociate în diverse proporții. Materialele polimerice prezintă proprietăți vâscoplastice și vâscoelastice.

Materialele vâscoplastice se mai numesc și materiale plastice sau fluide cu prag de tensiune. Curgerea acestor corpuri nu începe decât în momentul când tensiunea tangențială limită este minimă, numită prag de tensiune. În domeniul $\tau \leq \tau_0$ materialul se comportă ca un solid, iar pentru $\tau \geq \tau_0$ materialul se comportă ca un lichid vâscos. Această comportare se explică prin structura tridimensională a materialului, capabilă să împiedice curgerea la valori ale tensiunii tangențiale mai mici decât pragul de tensiune.

Materialele reale, supuse solicitărilor, înmagazinează o parte din energie, iar o parte o disipează. După descărcare, deformația este parțial recuperată. Corpurile cu proprietăți multiple vâscoase și elastice se numesc vâscoelastice. Aceste materiale manifestă comportări care depind de timp. Răspunsul mate-



rialului depinde de proprietățile sale, de scara de timp a solicitării și de istoria solicitării. Topiturile și soluțiile de polimeri au comportări vâscoelastice [102].

4.5. Comportamentul reologic al topiturilor de polimeri

În procesul de injectare a polimerilor au loc deformații însoțite de modificări structurale și de variații ale proprietăților reologice. Comportarea reologică a termoplastelor se prezintă în reograme care redau dependența între efortul unitar de forfecare τ și reopanta $\dot{\gamma}$ (gradientul de viteză) [102].

Reogramele se obțin din experimente de forfecare simplă a fluidelor. Reogramele $\dot{\gamma} = f(\tau)$ se mai numesc și curbe de fluiditate. Complexitatea comportării reologice a materialelor termoplastice se datorează multiplilor factori care o influențează: temperatura, scara timpului de deformare, masa molară și distribuția masei molare, structura monomerului și polimerului etc.

Factorii principali care influențează vâscozitatea topiturilor de polimeri sunt: masa molară, temperatura, presiunea și materialele auxiliare. Topiturile de polimeri se comportă newtonian dacă masa lor moleculară depășește 5000. Creșterea masei moleculare determină creșterea vâscozității. Vâscozitatea topiturilor depinde și de temperatură; temperatura este un factor tehnologic important, deoarece sensibilitatea vâscozității la temperatură determină nu numai regimul de prelucrare ci și calitatea produselor obținute. Dependența vâscozității de temperatură se poate exprima cu Ecuația 25

$$\eta = Ae^{\frac{E}{RT}}$$

Ecuația 25

unde R este constanta gazelor, T temperatura, E energia de activare și A este un termen de frecvență. Cu creșterea presiunii se micșorează distanțele intermoleculare, se măresc forțele de atracție dintre molecule și în consecință vâscozitatea crește. Funcția vâscozitate–presiune este o funcție exponențială.

Indicele de curgere I_c (eng. "melt index") este mărimea care caracterizează comportarea la curgere a diferiților polimeri în stare topită. Studiul curgerii fluidelor nenenewtoniene prin canale cu secțiuni inelare, plăci paralele și orificii circulare este de mare importanță pentru prelucrarea prin injectare. Topiturile de material termoplastic manifestă următoarele tipuri de curgere:

- curgere laminară;
- curgere turbulentă;
- curgerea în domeniul de tranziție de la laminar la turbulent.

Curgerea turbulentă (sau nestaționară) apare datorită faptului că oscilațiile elastice ale mediului devin atât de intense, încât nu mai pot fi amortizate de



frecarea vâscoasă. Perturbația curgerii care duce la apariția curgerii nestaționare poate fi provocată de perturbația profilului de viteze la intrarea într-o capilară sau ajutor, lungimea capilarei sau ajutorului, natura și rugozitatea suprafeței capilarei sau ajutorului.

În timpul procesului de curgere nenevtonian apare fenomenul de transfer de căldură, atât în curgerea laminară cât și în cea turbulentă. Transferul termic este preponderent convectiv, fiind influențat de curgere, iar curgerea depinde de comportarea reologică a topiturii. Ecuațiile de transfer de căldură prin convecție depind de geometria spațiului de curgere, de condițiile limită etc.

Proprietățile reologice ale polimerilor sunt deosebit de importante pentru realizarea umplerii cuibului matriței. Capacitatea de curgere a materialului termoplastic este determinantă în timpul procesului de injectare.

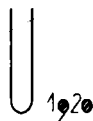
Factorii principali care influențează vâscozitatea topiturilor de polimeri sunt: masa molară, temperatura, presiunea și materialele auxiliare.

Cel mai adesea, sisteme CAD/CAM/CAE consideră topitura materialului polimeric ca pe un fluid newtonian, fără a lua în considerare elasticitatea și plasticitatea fluidului. Există și alte sisteme dedicate CAE, care consideră fluidul real, luând în considerare toate proprietățile acestuia.

În urma analizei modulului de injectare a unui sistem CAD/CAM/CAE și a posibilităților deschise de către acesta, se disting următoarele aspecte:

- modulul de injectare dispune de majoritatea uneltelor soft necesare proiectării piesei injectate;
- totuși, este de preferat ca analizele de tip CAE cum ar fi dimensionarea rețelei de injectare, verificarea grosimilor pereților piesei, localizarea punctului (punctelor) de injectare, a liniilor de sudură, a ultimului punct de umplere a zonelor cu aer, a drumului dominant de curgere etc. nu se pot efectua în prezent de cât de către terțe pachete software, dedicate acestor tipuri de analize, dar nededicat proiectării moderne în general.

O posibilă soluție ar fi schimbul de date între aplicația de bază (sistemul CAD/CAM/CAE) și aplicațiile terțe, efectuarea analizelor în aceste din urmă aplicații și, în funcție de rezultatele obținute în aceste aplicații continuarea proiectării în sistemul CAD/CAM/CAE.



5. Definirea modelului FEM al piesei de injectat

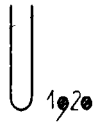
În paginile următoare se va determina cât de mult poate să rezolve inginerul proiectant al unei piese injectate din materiale polimerice cu ajutorul unui sistem CAD/CAM/CAE (parametric și relațional) în vederea unor soluții de interconectare a acestui sistem cu un pachet dedicat activităților de proiectare tehnologică a reperului din materiale termoplastice.

De asemenea, se va urmări dacă sunt necesare analize multifizice ale procesului de injectare și dacă acestea pot – în vreun fel – oferi deschideri noi procesului de proiectare al piesei.

Se va analiza în continuare și posibilitatea de modelare cu elemente finite a piesei, etapele și liniile generale ale tehnicii de obținere a planului mijlociu (mai numit și neutru sau de comprimare) al piesei. Se vor studia ce elemente trebuie exportate spre terțe produse din sistemul CAD/CAM/CAE și ce parametri pot acestea să ofere suplimentar proiectantului

5.1. Introducere

Analiza umplerii matriței este o etapă opțională în majoritatea sistemelor CAD/CAM/CAE. Sunt însă și sisteme CAE care se bazează în exclusivitate pe această analiză (dedicate acestui tip de analiză).



Scopul analizei este acela de stabilire a poziției optime a canalelor de alimentare și de dimensionare a acestora în funcție de piesă. În urma analizei se obțin informații despre golurile de aer, liniile de sudură, avansul frontului de topire și altele.

Nu cu mulți ani în urmă metodologia de realizare a unei astfel de analize era în întregime manuală. Metodologia era următoarea:

- 1). analiza geometriei piesei;
- 2). simplificarea geometriei reale;
- 3). desfășurarea în plan a piesei;
- 4). stabilirea numărului de canale și lungimea acestora;
- 5). construirea imaginii umplerii;
- 6). evaluarea imaginii umplerii;
- 7). efectuarea calculelor reologice la drumurile de curgere lungi și pentru pereții cu grosimi reduse;
- 8). stabilirea pozițiilor pentru canalele de curgere.

Pașii 1–8 se introduc într-o structură repetitivă (de tip buclă) până la obținerea optimului, sau – pentru că aceste operații se executau manual – până la obținerea unor rezultate acceptabile.

Ca principiu, metodologia actuală este aceeași, doar că astăzi se dispune de o foarte mare putere de calcul, care într-adevăr poate oferi optimul inginerului proiectant, simultan realizând prezentări grafice atrăgătoare, intuitive și pragmatice, toate acestea într-un timp rezonabil pentru activitatea de proiectare.

5.2. Considerații tehnologice privind curgerea topiturii de polimeri în matriță. Tehnici de modelare computațională

Drumul de curgere reprezintă calea de minimă rezistentă (care duce la scăderea minimă de presiune între punctul de injectare și ultimul punct de umplere, așa numitul drum dominant de curgere. Din punctul de vedere al analizei CAE, sunt patru tipuri de curgere utilizate la modelarea fenomenului: curgerea circulară, inelară, rectanculară și radială – ca în Figura 41 a, b, c și d [135].

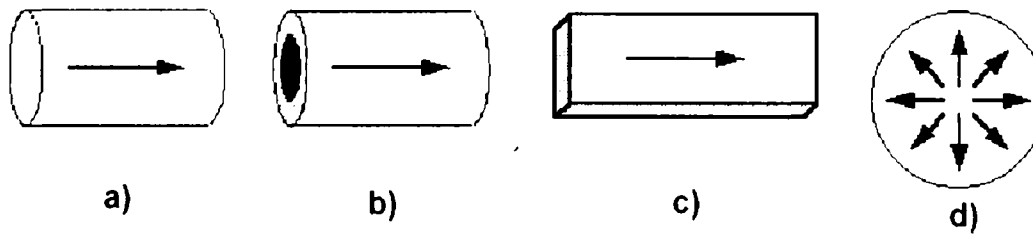
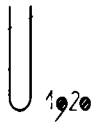


Figura 41

Tipul circular este utilizat atât pentru modelarea piesei cât și pentru modelarea canalelor de distribuție. Tipul inelar este utilizat pentru modelarea canalelor de distribuție încălzite intern sau extern. Tipul rectangular este utilizat pentru modelarea cavităților matriței. Tipul radial este utilizat pentru a descrie curgerea radială care pornește dintr-un punct de injectare central – ca de exemplu centrul unui disc.

Există două concepte importante în modelarea umplerii matriței: drumul dominant de curgere și ultimul punct de umplere [135]. În funcție de lungimea de curgere a materialului plastic, inginerul proiectant poate găsi răspunsuri la:

- grosimea minimă de perete pentru un drum de curgere dat;
- dacă cuibul matriței poate fi umplut printr-un singur punct de injectare sau mai multe;
- dacă presiunea de injectare este suficientă pentru umplerea cuibului.

Grosimea pereților piesei nu poate fi oricât de mică, ea depinzând de capacitatea de curgere a materialului și de lungimea pe care acesta o parcurge. Cunoașterea grosimii minime a peretelui pentru un anumit parcurs este foarte importantă. Lungimea de parcurs a materialului este în funcție de temperatura materialului, de viteza de injectare, de sinuozitatea drumului parcurs în matriță și de presiunea de injectare. Producătorii materialelor termoplastice oferă diagrame pentru calculul grosimii pereților.

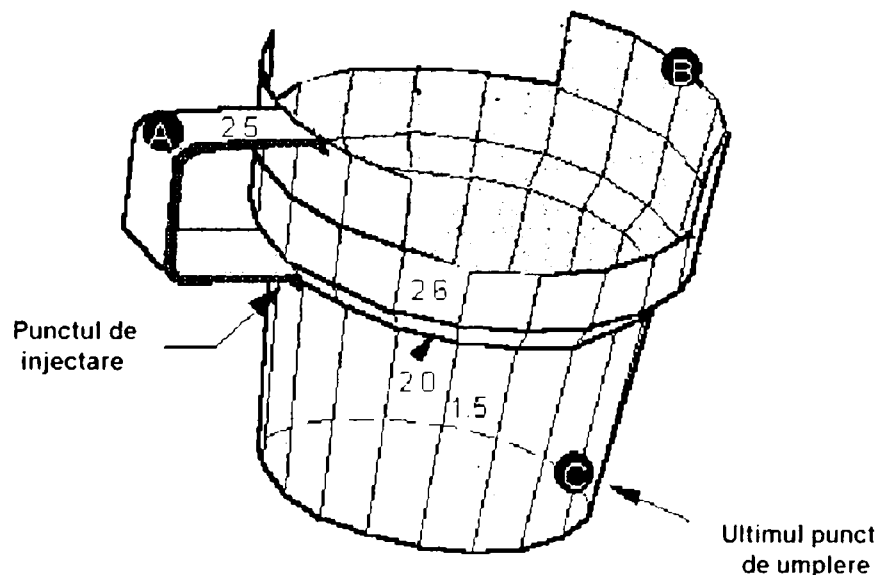


Figura 42

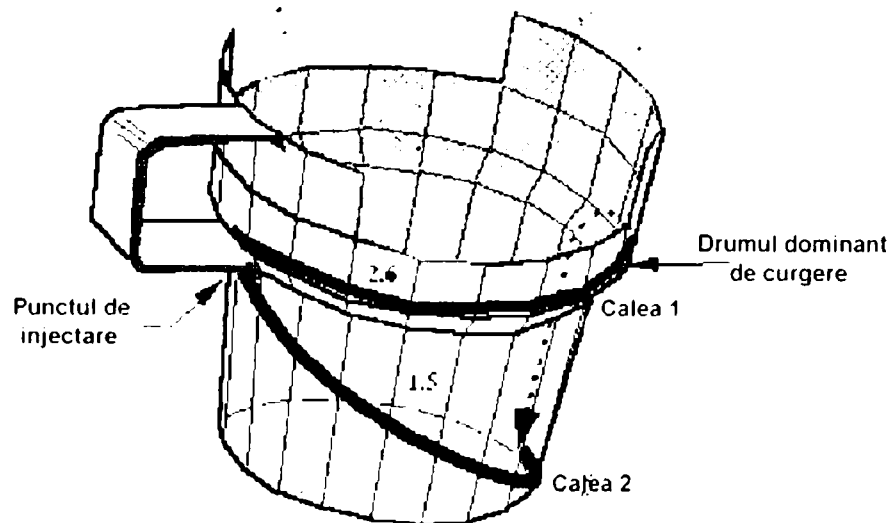
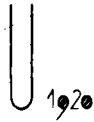


Figura 43

La ora actuală există pe piață suficiente pachete software de tip CAE care au drept scop analiza umplerii matriței. Figura 42 și Figura 43 prezintă concepte tipice pachetului software Moldflow®.



5.3. Ultimul punct de umplere

Poziția ultimului punct de umplere depinde de amplasarea punctului de injectare și de grosimea pereților piesei. Astfel:

- dacă toți pereții ar avea virtual aceeași grosime, ultimul punct de umplere ar fi punctul cel mai depărtat de punctul de injectare;
- dacă grosimea pereților este variabilă, ultimul punct de umplere este dictat de calea de cea mai înaltă rezistență la curgere (de exemplu pereți subțiri și distanță mare de punctul de injectare).

În general, ultimul punct de umplere este determinat de calea de cea mai înaltă rezistență la curgere. Aceasta va fi drumul de cea mai mare lungime, seria celor mai subțiri pereți sau o combinația a acestor doi factori.

Considerând reperul din Figura 42, se observă că piesa are pereți de diferite grosimi, iar punctul de injectare este sub mâner. Punctele A, B și C reprezintă trei posibile locații ale ultimului punct de umplere. Dacă luăm în considerație doar lungimea drumului parcurs de frontul topiturii de polimeri, punctul C este cel al ultimului punct de umplere.

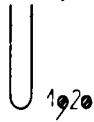
Dacă luăm în considerare atât lungimea drumului cât și grosimea pereților piesei, atunci apar următoarele situații:

- punctul A este foarte apropiat de punctul de injectare și grosimea de 2,5 mm a peretelui este foarte mare în comparație cu restul piesei, deci acest punct este exclus;
- punctul B este destul de departe de punctul de injectare. Pe de altă parte, grosimea peretelui de 2,6 mm reprezintă cel mai gros perete al piesei și deci nu oferă cea mai mare rezistență la înaintarea topiturii. Excludem și acest punct;
- punctul C este cel mai îndepărtat de punctul de injectare și se găsește pe perețele cel mai subțire. Este foarte probabil ca ultimul punct de umplere să fie acest punct.

Să analizăm acum drumul dominant de curgere, folosind pentru aceasta Figura 43. S-au prezentat două posibile căi dominante de curgere:

- cea mai scurtă cale este în întregime în perețele de 1,5 mm către ultimul punct de umplere;
- o altă cale se află pe perețele de 2,6 mm și pe urmă coboară pe perețele de 1,5 mm către ultimul punct de umplere.

Se cunoaște că topitura de polimeri va alege calea de curgere de minimă rezistență, dar respectiva cale este dificil de identificat vizual pentru această piesă. Între cele două posibile căi (calea mai lungă, dar cu perete mai gros și



cea de-a doua – calea mai scurtă, dar cu perete mai subțire) frontul de topire va prefera calea cu perete mai gros și apoi va coborâ către ultimul punct de umplere.

În general, atunci când nu se poate determina vizual drumul dominant de curgere, modelarea pe calculator servește la analiza tuturor variantelor. Oricum, drumul dominant de curgere va fi acela care necesită cea mai scăzută presiune de umplere.

5.4. Tehnici de discretizare cu elemente finite

5.4.1. Operații pregătitoare în vederea discretizării

Pentru a analiza felul în care modelul solid al piesei (3D) se umple cu topitura de polimeri trebuie ca piesa să fie discretizată în elemente finite de tip *shell*, adică trebuie realizat modelul tip shell al piesei.

Sistemele CAD/CAM/CAE dispun de generatoare automate pentru discretizarea piesei (realizarea *mesh*-ului). Pentru a discretiza cu succes o piesă (sau un ansamblu) trebuie îndeplinite următoarele operații pregătitoare:

- simplificarea reperului, prin îndepărtarea părților neesențiale din punctul de vedere al analizei cu elemente finite;
- atribuirea unui material polimeric reperului de analizat;
- atribuirea încărcărilor, a constrângerilor și a altor condiții modelului de analizat;
- aplicarea în generatorul automat de discretizare a unui control adecvat cu geometria piesei și a tipului de analiză efectuat;
- definirea suprafețelor pereche pentru realizarea modelului tip shell;
- definirea elementelor tip bară pentru entitățile rigide de legătură, elementele de sudură și de distanțare;
- pentru modelele tip ansamblu și pentru piesele non-3D (așa numitele *quilts* – suprafețe înfășurătoare) atribuirea contactului între suprafețe.

Ca principii generale pentru realizarea ușoară a discretizării piesei în elemente finite, piesa trebuie construită din pereți subțiri, extrudări subțiri, urechi, nervuri și suprafețe înfășurătoare cât mai multe. Trebuie șterse toate sub-obiectele secundare (racordări, rotunjiri, teșituri etc.).

5.4.2. Obținerea modelului de analiză a umplerii matricii prin discretizarea cavității de umplere în elemente finite tip shell

Există trei tipuri de discretizare pe care sistemele CAD/CAM/CAE sunt capabile să le realizeze: discretizarea tip pereche, discretizarea tip suprafață și discretizarea tip înfășurătoare.

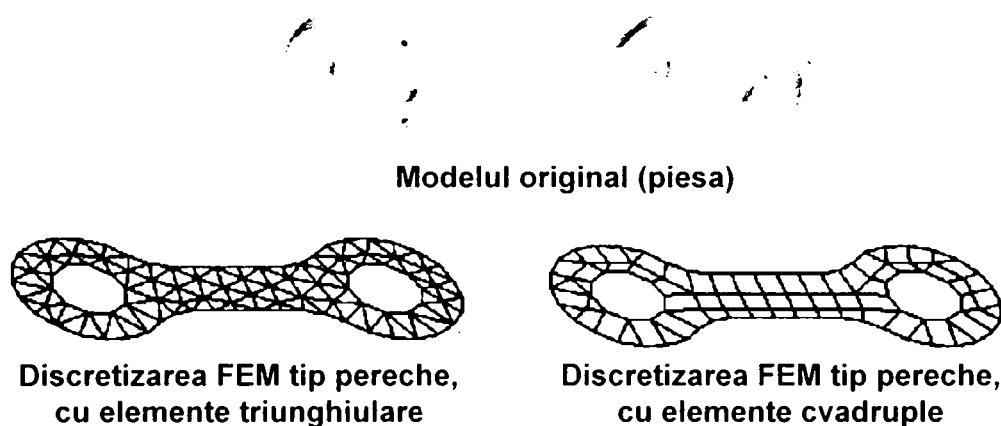


Figura 44

Cele trei tipuri de discretizare prezentate mai sus ce folosesc elemente de discretizare bidimensională de tip triunghiular sau cvadrilateral și sunt prezentate în paragrafele următoare.

5.4.3. Discretizarea tip pereche

Părțile perechi ale reperului sunt definite prin precizarea suprafețelor. Odată ce un model satisfăcător a fost definit, se procedează în două faze:

- modelul de discretizare este creat comprimând suprafețele pe un anumit plan (ca un sandwich);
- se aplică discretizarea asupra planului respectiv.

O astfel de discretizare este prezentată în Figura 44 [132]. Finisarea discretizării se realizează prin alegerea tipului de element de discretizare (trunghiuri sau dreptunghiuri). Diferența dintre cele două tipuri de elemente în rezultatele discretizării este prezentată în Figura 45 [132].

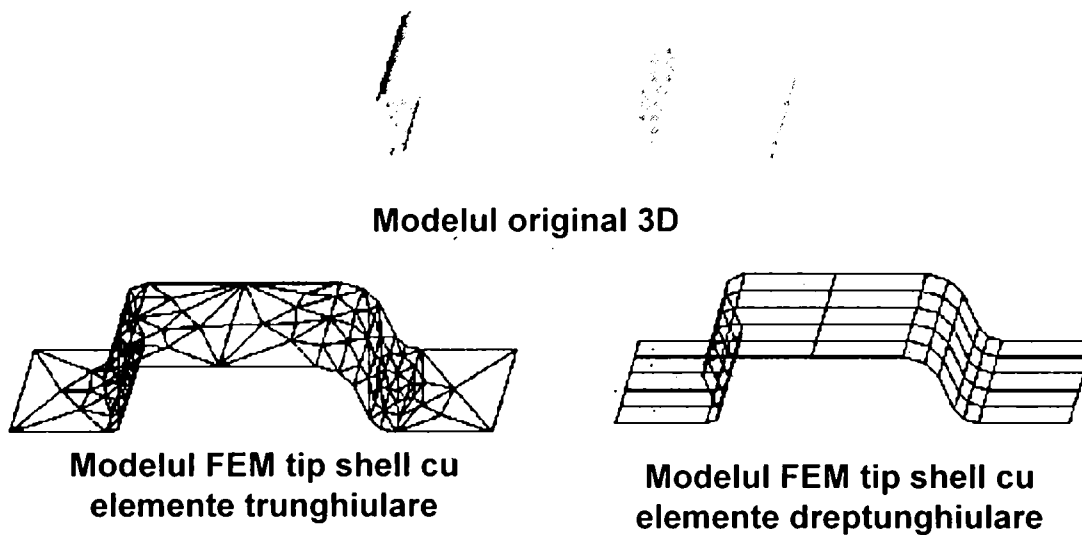


Figura 45

5.4.4. Discretizarea tip suprafață

Această opțiune aplică discretizarea cu elemente finite direct suprafețelor piesei. Interiorul piesei nu este discretizat. În cazul în care se dorește discretizarea interiorului piesei, trebuie generată discretizarea utilizând elemente 3D de tip tetraedric.

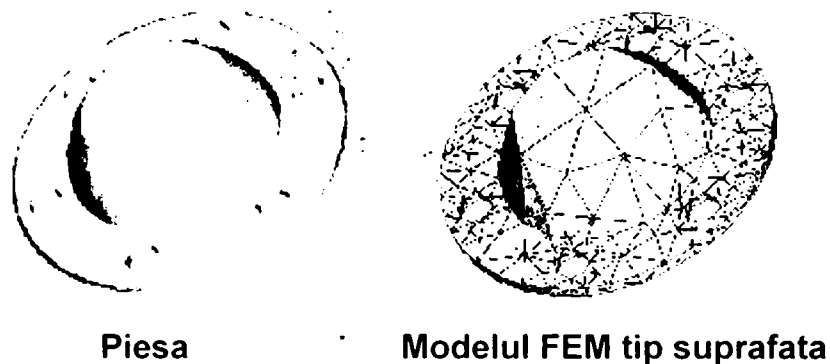


Figura 46

În Figura 46 [132] se prezintă un model cu 2 elemente finite tip *shell*, la care s-a aplicat discretizarea tip suprafață.

5.4.5. Discretizarea tip înfășurătoare

Această opțiune aplică o discretizare cu elemente finite tip *shell* utilizând elemente triunghiulare sau dreptunghiulare asupra suprafețelor înfășurătoare. Partile solide ale reperului nu pot fi modelate cu acest tip discretizare.

Discretizarea tip înfășurătoare și realizarea modelului FEM este prezentată în Figura 47 [132].

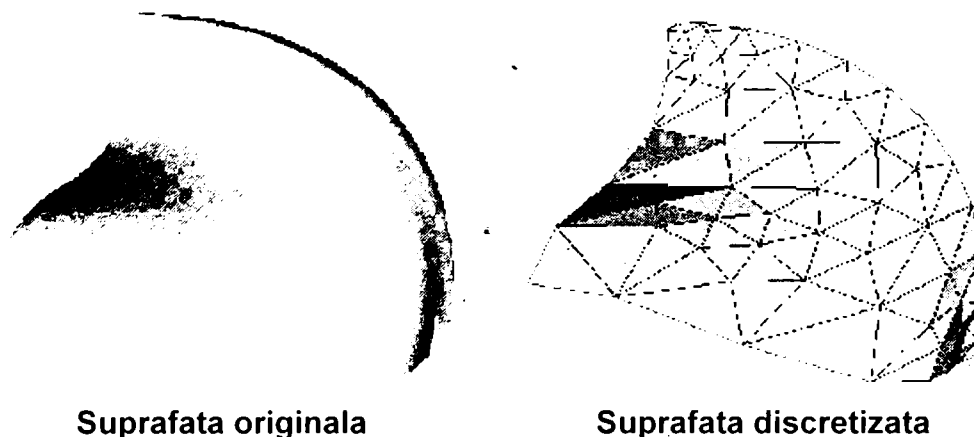


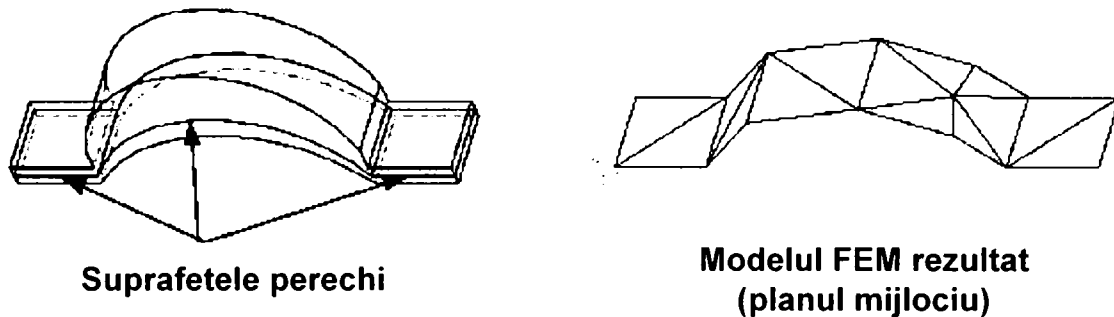
Figura 47

5.4.6. Definirea modelului FEM tip shell

Modelul FEM tip shell reprezintă o rețea de suprafețe formate prin împerecherea suprafețelor piesei și apoi comprimarea acestora, împreună formând o singură suprafață a modelului. Toate nodurile rețelei sunt constrânse să se afle pe suprafața specificată. Fiecare element de discretizare reține ca proprietate grosimea locală a peretelui piesei din care provine.

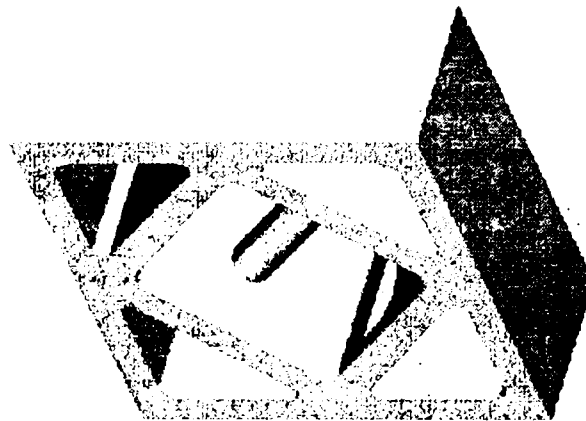
Precizarea perechilor suprafețelor se poate face automat, de către sistemul CAD/CAM/CAE sau manual, de către inginerul de analiză FEA. Precizarea perechilor manuală oferă mai mult control inginerului de analiză, dar este destul de laborioasă. Sistemele CAD/CAM/CAE comportă mixarea ambelor posibilități.

După precizarea perechilor suprafețelor se pot eventual modifica perechile, modifica poziția planului mijlociu (neutru) sau modifica atributul de grosime al perechilor. Precizarea planului mijlociu (neutru sau de compresie) este prezentată în Figura 48 [132].

**Figura 48**

5.4.7. Reguli generale privind modelarea tip shell

Să analizăm cazul piesei din Figura 49 [132]. Fiecare suprafață în discretizarea tip shell a unei piese trebuie să aibă perechea ei sau să fie în prelungirea grosimii peretelui respectiv. Altfel generatorul automat dă eroare.

**Figura 49**

Suprimarea geometriei neesențiale privind comportamentul piesei de injectat este un punct important și are următoarele avantaje: reduce numărul suprafețelor de împerecheat și simplifică modelul final FEM, lucru ce face ca soluția analitică oferită de postprocesor să fie mai robustă, reducând calculele solverului FEA. O astfel de simplificare este prezentată în Figura 50 [132].

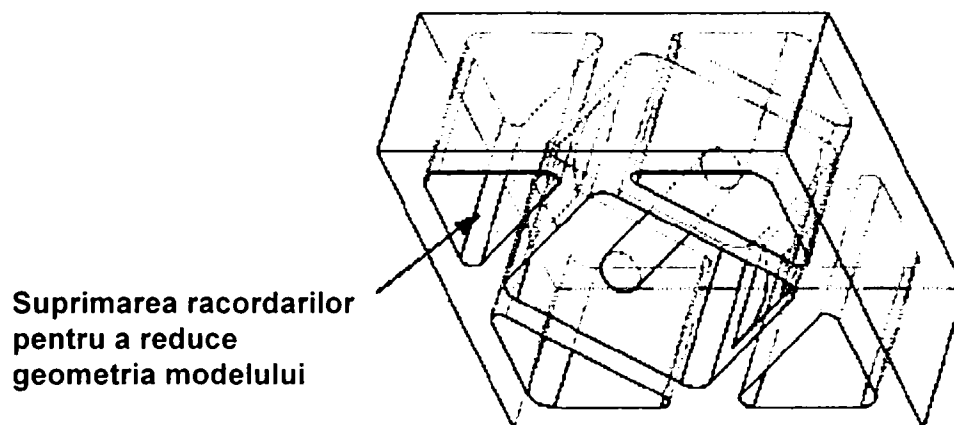


Figura 50

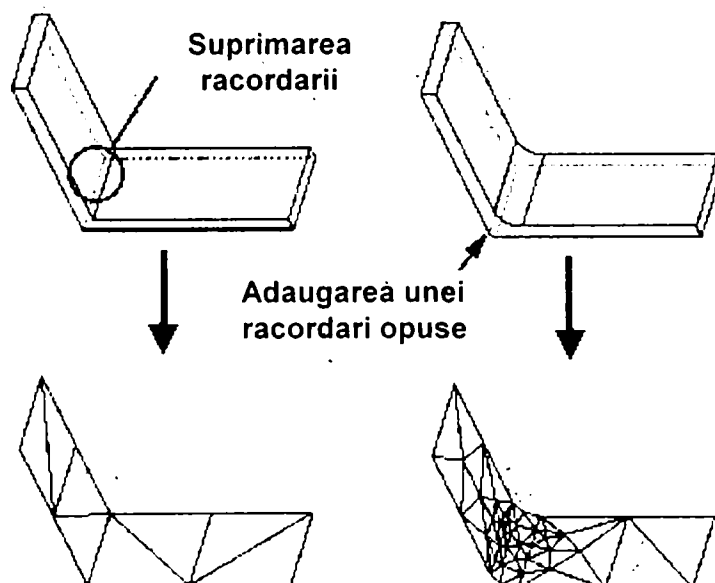


Figura 51

Selectarea perechilor pentru suprafețele care nu au corespondent pe celălalt perete poate fi rezolvată ca în Figura 51 [132].

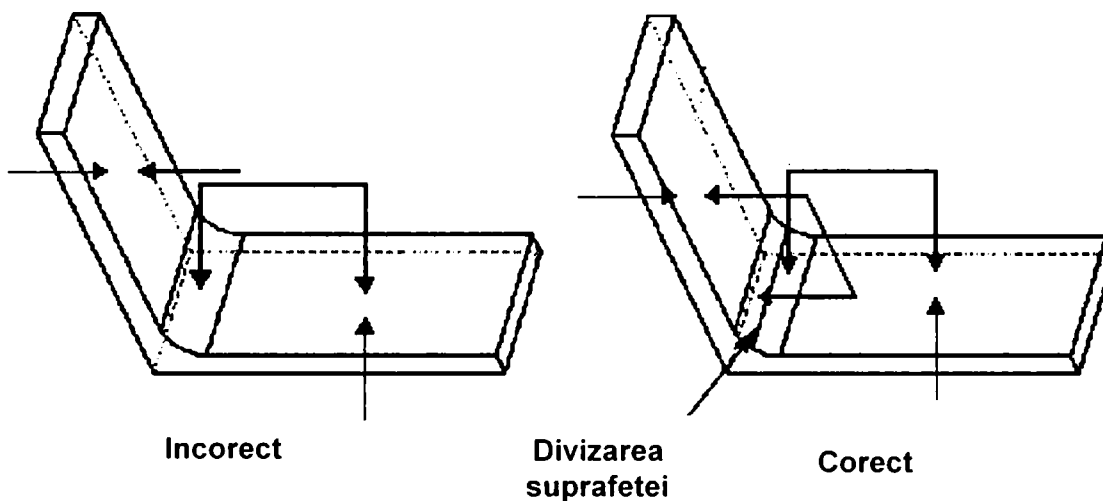


Figura 52

Discretizarea piesei poate prezenta probleme și în cazul perechilor de suprafețe tangente. Când o suprafață este tangentă la două plane simultan, generatorul automat nu realizează care este planul optim de compresie. Soluția rezolvării problemei este prezentată în Figura 52, prin divizarea suprafeței tangente.

În final, piesa din Figura 49, redusă la părțile ei simetrice, a fost discretizată ca în Figura 53 [132].

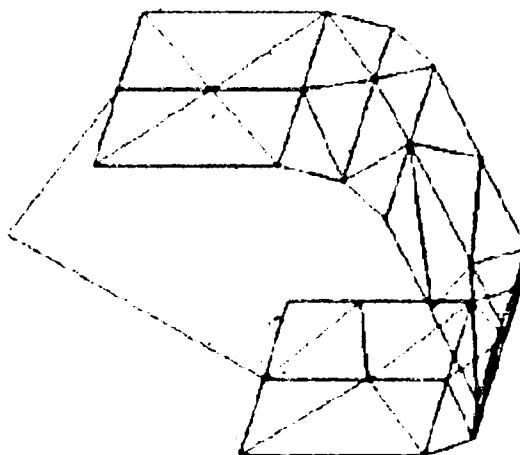


Figura 53

Se poate afirma că definirea modelului FEM al piesei de injectat este o etapă complexă și de o deosebită importanță pentru analiza CAE ulterioară, la care acest model va fi supus.

Sistemele CAD/CAM/CAE dispun de generatoare automate pentru discretizarea modelului solid într-un plan mijlociu (sau neutru sau plan de compresie) utilizând elemente finite 2D de tip shell (triunghiulare sau dreptunghiulare).



Definirea corectă a modelului FEM este de cea mai mare importanță în cazul exportului modelului spre terțe aplicații de analiză CAE.

5.5. Analiza umplerii cavității matriței. Tehnici de simulare și interpretare a rezultatelor

Odată obținut în sistemul CAD/CAM/CAE modelul FEM al piesei de injectat, se poate trece la analiza umplerii matriței cu terțe solvere.

Se precizează că, toate simularile s-au făcut cu solverul **C-FLOW/EZ**^{®11}, pe baza ipotezei simplificatoare că topitura de polimeri este un fluid newtonian. Analizele făcute cu C-FLOW/EZ[®] diferă de analiza geometrică structurală sub următoarele aspecte:

- grosimi;
- lungimi;
- material.

5.6. Exemplu de analiză CAE pentru o piesă injectată din material polimeric

Pentru piesa cană din Figura 42 s-au făcut următoarele analize: zonele de aer captiv, liniile de sudură, avansul frontului de topire, vectorii viteză relativă în funcție de procentul de umplere și tabelul procentual al materialului injectat în timp.

Piesa modelată 3D arată ca în Figura 54 în reprezentare wireframe și ca în Figura 55 în reprezentare "shade".

¹¹ C-FLOW/EZ[®] aparține lui **AC Technology**.

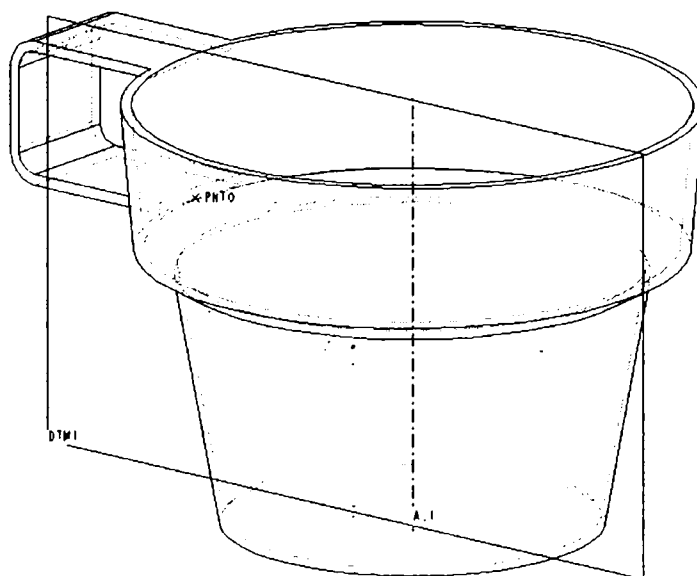
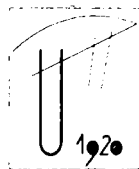


Figura 54



Figura 55

În urma discretizării rezultă modelul FEM tip shell în Figura 56 cu elemente 2D triunghiulare și în Figura 57 cu elemente dreptunghiulare.

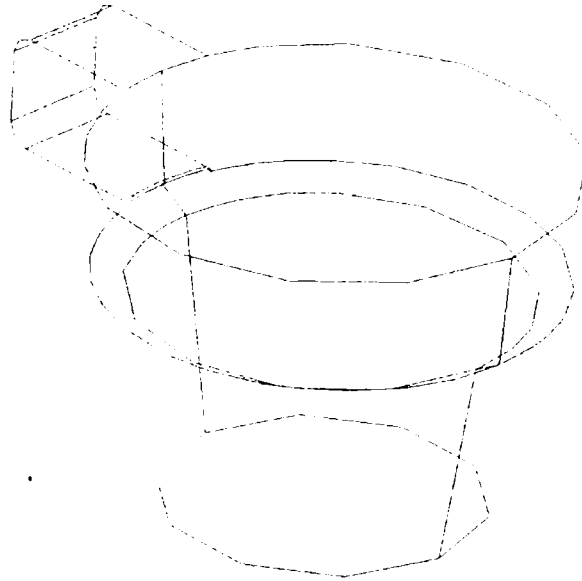


Figura 56

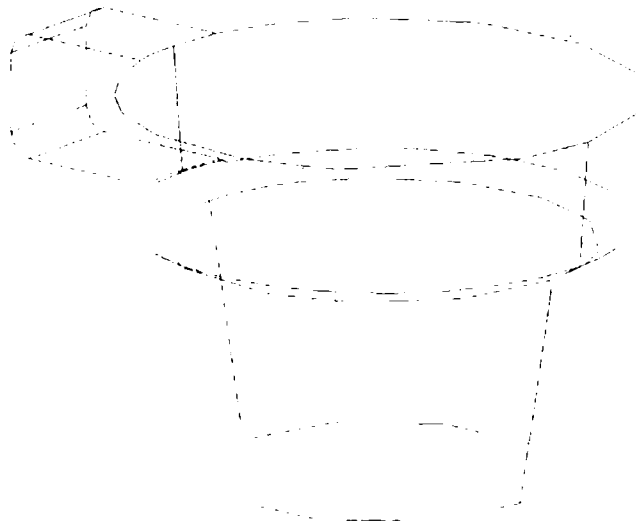


Figura 57

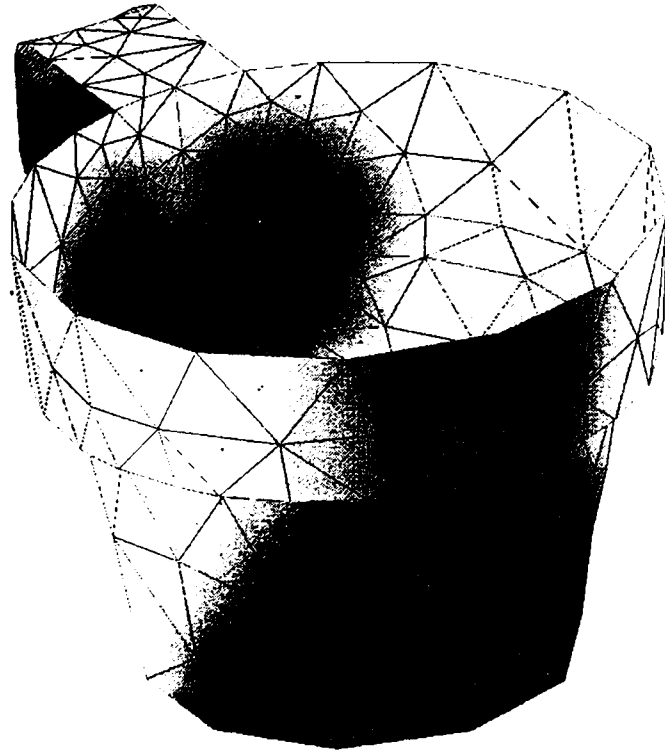
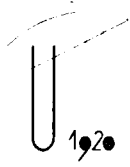


Figura 58

Figura 58 prezintă avansul frontului de curgere: modelul este în gradient de la albastru la roșu și indică prima zonă de umplere (albastru) și ultima (roșu).



REPORT ON FILLING OF CANA

Recommended ram speed profile (rel):

% stroke	% speed
0.0000e+000	3.1863e+001
1.0000e+001	7.4483e+001
2.0000e+001	9.8922e+001
3.0000e+001	8.2902e+001
4.0000e+001	7.9863e+001
5.0000e+001	8.9919e+001
6.0000e+001	9.2630e+001
7.0000e+001	9.8733e+001
8.0000e+001	1.0000e+002
9.0000e+001	8.1938e+001
1.0000e+002	8.1938e+001


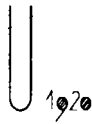
Hit Space or Return to continue ('q' to quit, )

Figura 59

Figura 59 prezintă un tabel de recomandări privind viteza melcului (procentual) în ciclul de injectare a piesei din material termoplastic. De asemenea, sunt prezentate în continuare și câteva informații privind calitatea modelului FEM (rezultatele discretizării).



Din cele prezentate până acum, rezultă că majoritatea analizelor se pot

```
FEM Information for PART CANA
MESH CONTROL :
0. hard point PNT0 (Entrance point)
SHELL MODEL :
0. Shell pair constant, number of surfaces on red side 1, on yellow side 1
   Placement on middle surfaces
1. Shell pair constant, number of surfaces on red side 1, on yellow side 1
   Placement on middle surfaces
2. Shell pair constant, number of surfaces on red side 1, on yellow side 1
   Placement on middle surfaces
3. Shell pair constant, number of surfaces on red side 1, on yellow side 1
   Placement on middle surfaces
4. Shell pair constant, number of surfaces on red side 1, on yellow side 1
   Placement on middle surfaces
5. Shell pair constant, number of surfaces on red side 1, on yellow side 1
   Placement on middle surfaces
6. Shell pair constant, number of surfaces on red side 1, on yellow side 1
   Placement on middle surfaces
7. Shell pair constant, number of surfaces on red side 1, on yellow side 1
   Placement on middle surfaces
8. Shell pair constant, number of surfaces on red side 1, on yellow side 1
   Placement on middle surfaces
9. Shell pair constant, number of surfaces on red side 1, on yellow side 1
   Placement on middle surfaces
10. Shell pair constant, number of surfaces on red side 1, on yellow side 1
   Placement on middle surfaces
11. Shell pair constant, number of surfaces on red side 1, on yellow side 1
   Placement on middle surfaces
```

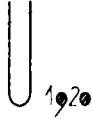
```
-----
MESH STATISTICS
Total number of nodes : 332
Total number of elements : 609
ELEMENTS TYPES
TRIANGLE : 609
-----
```

```
SOLUTION DATA
Analysis Type : Flow
Elements Type : Linear
Solved Constraint Cases :
List of poorly shaped elements.
  Quadrangles
=====
```

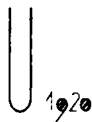
```
Element id Aspect ratio
-----
      51  8.76622
     306  7.87927
     323 10.47051
```

```
There are 1 hard points:
Node id 206 : PNT0
```

face în sistemul CAD/CAM/CAE. În cazul unor analize mai profunde s-a rezolvat exprtul/importul spre C-MOLD sau Moldflow. Acest lucru presupune transmiterea informațiilor privind nodurile și elementele, materialul, diametre, coeficienți de formă, umplerea inițială a canalelor de distribuție etc. În final se pot identifica următoarele concluzii la acest paragraf:



- în majoritatea cazurilor sistemul CAD/CAM/CAE este suficient pentru a analiza piesa de injectat și a lua cele mai corecte decizii în proiectare;
- pentru piese complicate și pentru analiza multifizică a fenomenelor întâlnite în procesul injectare se poate apela la terțe produse existente pe piață; se va asigura astfel cea mai corectă tehnologie. Pentru acest caz s-a pus la punct o metodă de interconectare a uneltelor software existente în prezent în acest domeniu și s-au stabilit principiile de lucru în această nouă tehnologie.

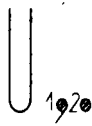


6. Metode de optimizare a proiectării produselor din materiale polimerice cu ajutorul sistemelor CAD/CAM/CAE parametrice

Începând din anii '80, mai multe companii, laboratoare și universități au dezvoltat programe pentru realizarea de tehnologii CAE, privind injectarea materialelor polimerice, ce se adresează industriei. Deși problema a ajuns în prezent la un anumit grad de rezolvare, încă mai există loc pentru simplificarea activităților de proiectare și de producție în acest domeniu.

Realizarea de software dedicat, care să ajungă pe masa de lucru a inginerului la un preț accesibil a fost scopul multora dintre instituțiile amintite mai sus. Ca exemplu, o companie reprezentativă, producătoare de software CAE pentru industria globală a materialelor polimerice dispune la ora actuală de peste 1200 de utilizatori și peste 25000 de pachete în serviciu, răspândite în întreaga lume.

Apariția pachetelor CAE dedicate industriei materialelor polimerice se datorează în special lipsei de tehnologie corespunzătoare, care s-a făcut simțită atunci când industria a început să facă migrarea de la producția care folosea ca materie primă metale spre materiale polimerice. Ideea este de a pune pe masa de lucru a inginerului un produs CAE pentru injectia materialelor polimerice, astfel încât inginerul proiectant al reperului injectat sau inginerul tehnolog să



beneficieze de un astfel de sistem expert asociat, încât rezultatele să asigure succesul indiferent dacă inginerii au sau nu experiență în domeniu – ultima afirmație trebuie privită evaziv, având un important grad de reclamă comercială (!), cât și de năzuință a oamenilor de știință, a tehnicienilor și inginerilor care realizează astfel de sisteme CAE.

Tendința notabilă, cât și explozia de care s-au bucurat sistemele CAE în adaptarea lor la microcalculatoarele de tipul IBM-PC, cele mai răspândite sisteme de calcul utilizate de proiectanți și tehnologi astăzi în industrie a apărut evidentă în ultimii 5 ani. Nu cu mult în urmă, nu era posibil să se facă o analiză de tip CAE, care să ofere mijloacele de simulare a proceselor complexe asociate reperului din material polimeric pe un microcalculator PC de condiție “modestă”.

Nu s-ar putea concepe un sistem CAE expert în domeniul injectării materialelor polimerice fără rezultatele notabile din domeniul inteligenței artificiale și a sistemelor expert de astăzi. Universalitatea și “democratizarea” informaticii largesc continuu sfera conceptelor din domeniul injectării materialelor polimerice. Să sintetizăm rapid “capul de pod” realizat de inteligența artificială și mai ales de sistemele expert în domeniul injectării acestor materiale.

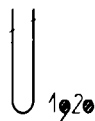
6.1. Inteligența Artificială și Sistemele Expert astăzi

Inteligența artificială (IA) este un domeniu al științei calculatoarelor care încearcă să perfecționeze calculatoarele prin dotarea lor cu unele dintre caracteristicile asociate cu inteligența umană, ca de exemplu capacitatea de a înțelege limbajul natural și de a raționa în condiții nesigure.

În prezent, un calculator nu poate prelucra o propoziție, cum ar fi “DI. Ionescu este în Timișoara”, fără informații suplimentare, ca de exemplu: “Când o persoană este în oraș, piciorul ei stâng este de asemenea în oraș”. Aceste exemple înlătură orice îndoială privind distanța pe scara inteligenței între om și calculatoarele actuale.

6.1.1. Introducere

IA se poate subdivide în câteva domenii relativ independente. Unele organizații (universități, institute de cercetare, companii, etc.) s-au concentrat în dezvoltarea de sisteme hardware, utilizate la rularea unui software de IA singular. Aceste sisteme includ produse ale marilor firme producătoare de calculatoare *main frame*, ca Digital Equipment Corporation sau companii care produc sisteme hard pentru AI singulare, cum ar fi Sun Microsystems, Inc., Symbolics, Inc. sau Xerox, până la sistemele de preț scăzut, cum ar fi calculatoarele IBM-PC. Alt major domeniu al IA se preocupă de dezvoltarea de software care poate să citească, să vorbească sau să înțeleagă limbajul uman.



Acest tip de programe este cel mai adesea referit ca procesarea limbajului natural și sinteza vocii.

Un alt domeniu major de cercetare se preocupă de dezvoltarea unui program de IA care utilizează cunoașterea simbolică pentru a simula comportamentul experților umani. Un alt grup de cercetători se preocupă de dezvoltarea unor roboți inteligenți și sisteme de vedere inteligentă sau alți senzori și este interesat în dezvoltarea unor programe tactile sau de vedere care vor permite roboților să răspundă la schimbările evolutive, atunci când acestea au loc.

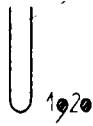
Primele succese ale IA sunt datorate programelor capabile să demonstreze teoreme ale logicii matematice; ulterior realizările s-au extins și asupra altor domenii, cum ar fi:

- vederea artificială – recunoașterea formelor, identică cu vederea umană;
- robotica – produce dispozitive mecanice și electrice, capabile să reproducă mișcarea;
- prelucrarea vocii – constituirea și sinteza vocii umane;
- limbajul natural – înțelegerea și vorbirea în limbaj natural;
- demonstrarea și producerea teoremelor – în matematică și logică;
- “General Problem Solving” – rezolvarea unei clase generale de probleme exprimate în limbaje formale;
- teoria jocurilor;
- învățarea automată – mașini ce acumulează cunoștințe prin observarea exemplilor.

6.1.2. Rădăcinile Inteligenței Artificiale

Istoria modernă a IA datează din anii '50. Diferența dintre timpurile de astăzi și cele de atunci este imensa expansiune a informației și necesitățile utilizatorilor de astăzi în a găsi căi noi și mai bune la accede și a utiliza această informație.

Câteva puncte esențiale în dezvoltarea științei și tehnicii au avut loc la începutul anilor 1950 și au dus la dezvoltarea ulterioară a IA. Matematicianul britanic Alan Turing a condus câteva experimente pentru a determina fezabilitatea inteligenței mașinilor. La început el a pregătit câteva argumente împotriva inteligenței mașinilor, pe care mai apoi le-a respins pe fiecare. Turing a concluzionat că existau câteva mașini care deja imitau părți ale corpului



uman, cum ar fi camera de televiziune–ochiul uman, microfonul–urechea și servomecanismele care simulează multe dintre sistemele de feedback uman.

Turing a făcut similitudinea între creierul unui nou născut și o mașină neorganizată, care așteaptă cunoștințe generale, rutine și alte informații care să o facă completă. Totuși, el a mai remarcat și diferența care există dintre un calculator digital și psihologia umană. În final, el a concluzionat că pătrunzând în interiorul unuia, vom înțelege mai bine interiorul celuilalt.

Termenul de “inteligentă artificială” a fost creat de profesorul John McCarthy de la Massachusetts Institute of Technology (MIT) în anul 1956, pentru a descrie subiectul conferinței despre IA.

6.1.3. Inteligența Artificială astăzi

Un mare număr de cercetări s-au axat pe obținerea minimumului în strategii de minimax. În ceea ce privește parcurgerea combinațională a arborilor de căutare, un număr mare de algoritmi au fost dezvoltați pentru o căutare cât mai eficientă. Acești algoritmi au un caracter euristic. *Metoda euristică* este o metodă de rezolvare a unei probleme folosind reguli practice, determinate din experiență.

Metodele euristice sunt rareori menționate în mod formal în manuale, dar ele fac parte din cunoștințele pe care experții umani le folosesc în rezolvarea problemelor. O metodă euristică nu dă rezultate concrete la orice moment de timp și nu se poate garanta că găsește cea mai bună soluție, dar în același timp poate reduce timpul de căutare.

În ultimii ani, în cadrul IA au apărut mai multe ramuri, așa cum se poate observa și din Figura 60 [31]. Una din ramurile IA este reprezentată de către sistemele expert. Prin sistem expert (SE) se înțelege un program pe calculator ce conține multe dintre cunoștințele folosite de către un expert (persoană) dintr-un anumit domeniu și care asistă pe cei care nu sunt experți în încercarea lor de a rezolva probleme. Deși cercetări majore în IA au loc de peste 25 de ani, SE sunt prima comercializare a acestui domeniu și, am putea spune, prima reușită. De fapt, SE-ul este un program inteligent pe calculator, care utilizează o bază de cunoștințe și un mecanism de inferență pentru a rezolva probleme ce sunt suficient de dificile pentru a avea nevoie o expertiză umană semnificativă la soluționare. Cunoștințele necesare la soluționare, plus procedurile de inferență folosite pot fi considerate ca un model de rezolvare al celor mai buni experți în domeniu.

SE conțin o bază de cunoștințe exprimată printr-o serie de reguli de tip IF-THEN și un sistem capabil să extragă concluzii din această bază de cunoștințe. Sistemul solicită utilizatorului să furnizeze informațiile necesare evaluării situației și apoi ajunge la o concluzie. Majoritatea sistemelor expert exprimă

concluziile cu un anumit factor de încredere, ce variază de la speculație la intuiție formală și concluzii ferme. Crearea unui SE este mult mai dificilă decât pare. O proporție surprinzător de mare din cunoștințele tehnice se bazează pe regulile învățate din experiența practică. De remarcă că unele reguli sunt ceva mai mult decât presupuneri sau intuiție [31].

Un SE conține fapte și metode euristice. Faptele constituie corpul informațiilor, care sunt larg cunoscute, publice și în general acceptate de majoritatea experților în domeniu. Metodele euristice au cel mai adesea un caracter privat, rareori fiind discutate ca reguli și legi după care se ghidează experții în domeniu. Performanța unui SE este primordial în funcție de mărimea și calitatea bazei de cunoștințe pe care o posedă.

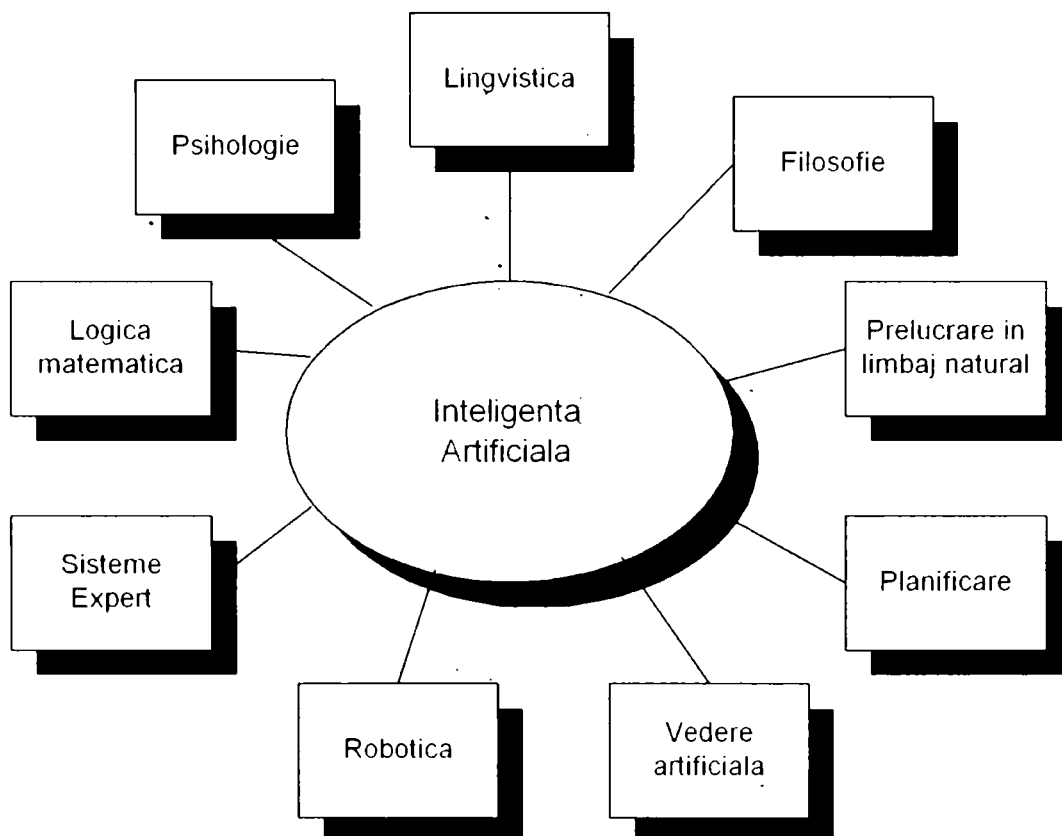


Figura 60

6.1.4. Sisteme Expert

Un SE este un program care urmărește cunoștințele și raționează pentru obținerea rezultatelor într-o activitate dificilă, întreprinsă uzual doar de experți umani. Expertul uman posedă cunoștințe într-un anumit domeniu; el raționează și ajunge la concluzii pe baza cunoștințelor pe care le posedă. La fel ca expertul uman, SE utilizează cunoștințele care sunt stocate într-o bază de cunoștințe și raționează pe baza acestora [31].

Cu alte cuvinte, un SE este un program care urmărește un grup de cunoștințe pentru obținerea în același mod ca și experții umani a rezultatelor despre activități dificil de examinat. Caracteristica SE este dată de baza sa de cunoștințe împreună cu algoritmul de căutare specific metodei de raționare. Un SE tratează cu succes probleme pentru care o soluție algoritmică clară nu există.

SE cunosc implementări de succes în acele domenii particulare în care experții umani existenți au suficientă experiență pe care o pot furniza. În evoluția SE de o mare importanță a fost dezvoltarea tehnicilor de programare specifice. Există două componente de bază ale unui SE [31]:

- tehnicile de programare;
- metodologiile pentru manipularea cunoștințelor.

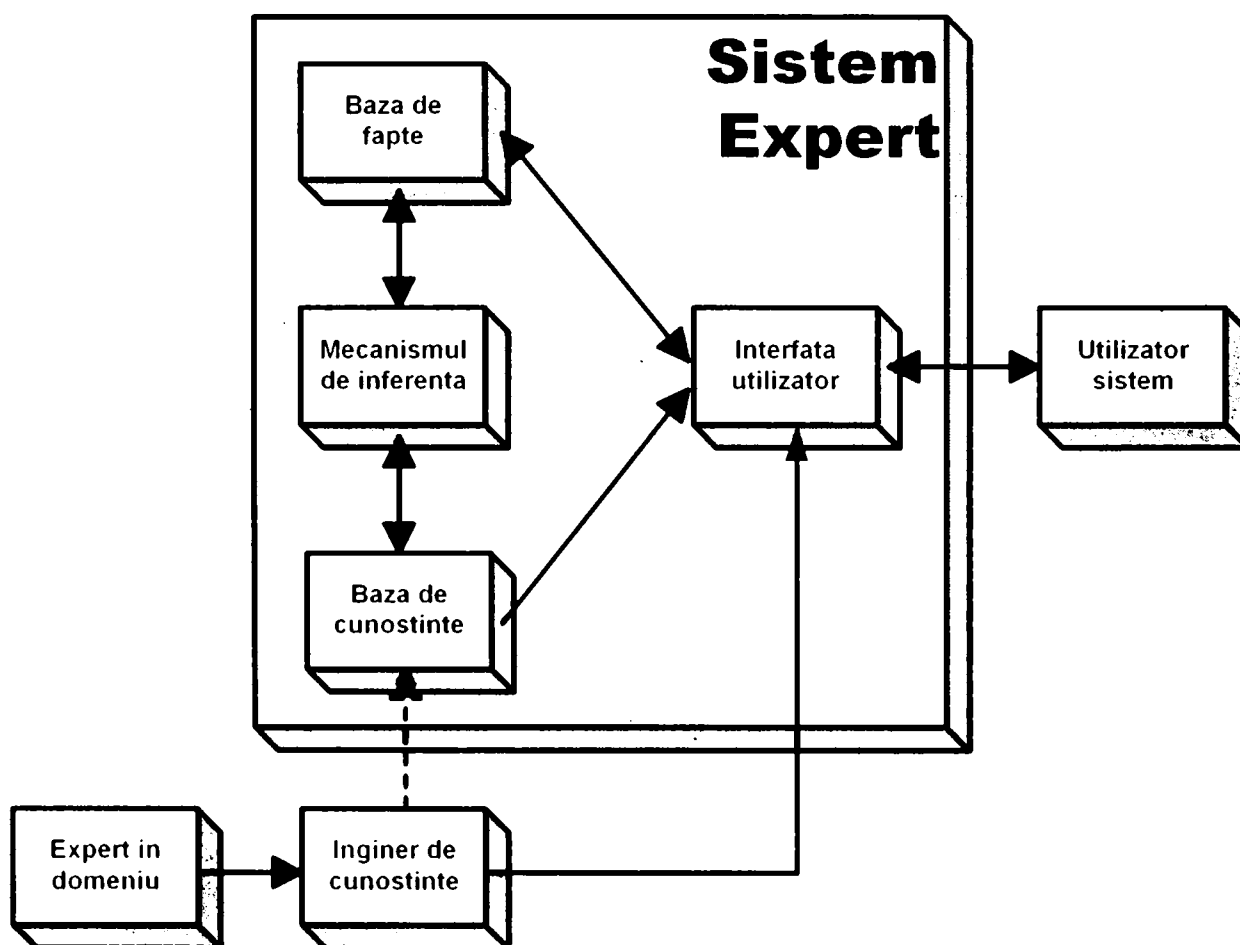
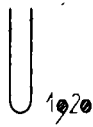


Figura 61

În dezvoltarea SE, fiecare tehnică nouă de programare este însoțită de un nou set de metodologii pentru utilizare. Aceasta ajută la creșterea eficienței utilizării SE și maximizării productivității. Utilizarea unui SE cu foarte multe cunoștințe



va implica necesitatea unui nou set de metodologii, bazate pe experiența crescută în dezvoltarea aplicațiilor. Succesul dezvoltării SE se bazează pe modul cum sunt combinate cele două obiective (tehnicile de programare și metodologiile de manipularea cunoștințelor). Trebuie să existe o armonizare între cunoaștere și raționare.

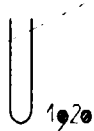
Pentru implementarea unui SE este nevoie de cel puțin două persoane: expertul în domeniul său de cunoaștere (să spunem inginerul mecanic, specialist în injectarea materialelor polimerice) și inginerul de cunoștințe (adică specialistul în calculatoare, cu cunoștințe în SE). În urma discuțiilor dintre cei doi, anumite cunoștințe ale expertului uman vor fi reformulate. De altfel, se va face un schimb între domeniile de experiență ale fiecăruia. Inginerul de cunoștințe – de obicei un ignorant al domeniului cunoașterii specifice expertului – și expertul cu foarte puține cunoștințe despre SE se vor pune de acord pentru realizarea respectivului SE.

Este destul de dificil pentru un expert să găsească un inginer de cunoștințe, deoarece cunoștințele sunt expansive și greu de formulat într-o manieră concisă. Acesta este și motivul pentru care inginerul mecanic trebuie să aibe mai multe cunoștințe despre SE. Deoarece în partea de proiectare a SE inginerul de cunoștințe depune cel mai mare efort, este mai eficient dacă expertul uman este și el cunoscător a tehnicilor de programare și a metodologiilor de manipulare a cunoștințelor, astfel încât cei doi să realizeze o colaborare optimă, realizând implementarea unui SE performant, cu minimum de efort.

6.1.5. Funcționarea unui SE

Obișnuit, un SE este compus din două componente: baza de cunoștințe și mecanismul de inferență [31]:

- 9). **Baza de cunoștințe** este o bază de date sau un set de baze de date (o structură de date) ce conține cunoștințele specializate codificate, care derivă de la expertul uman. Cunoștințele sunt descripții de obiecte și relațiile dintre acestea. Baza de cunoștințe face parte din sistemul cognitiv și este memorată într-un spațiu special organizat. Baza de cunoștințe trebuie contruită în așa fel încât să asigure: (i) căutarea pieselor de cunoaștere specificate direct prin simboluri identificatoare, (ii) căutarea pieselor de cunoaștere referite indirect prin proprietăți asociate sau valori atribuite acestora, (iii) căutarea pieselor de cunoaștere prin inferențe sau lanțuri inferențiale ce pornesc de la alte piese de cunoaștere sau de la proprietăți asociate acestora și (iv) menținerea bazei de cunoștințe în concordanță cu evoluția domeniului de expertiză.

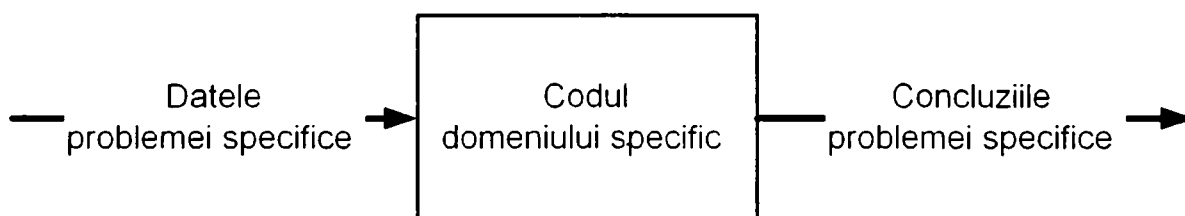


10). **Mecanismul de inferență** este un pachet software a cărui funcție este să aplice domeniul cunoștințelor specializate la datele problemei specifice de rezolvat, pentru a genera recomandările la problema specifică. Mecanismul de inferență este o noutate a SE. El preia cunoștințele de la baza de cunoștințe și le utilizează pentru construirea raționamentului. În funcționarea sa, mecanismul de inferență urmărește o serie de obiective majore:

- alege strategia de control în funcție de problema curentă de rezolvat;
- elaborează planul de rezolvare a problemei după necesitate;
- execută comutarea de la o strategie de control la alta;
- execută acțiunile prevăzute în planul de rezolvare;
- colectează informațiile de control pentru mecanismele fundamentale ale mecanismului de inferență.

Deși mecanismul de inferență este realizat dintr-un ansamblu de proceduri, modul cum utilizează cunoștințele nu este prevăzut în nici un program, el fiind condiționat de datele și cunoștințele pe care le posedă.

ARHITECTURA UNUI PROGRAM TRADITIONAL



ARHITECTURA UNUI PROGRAM SISTEM EXPERT

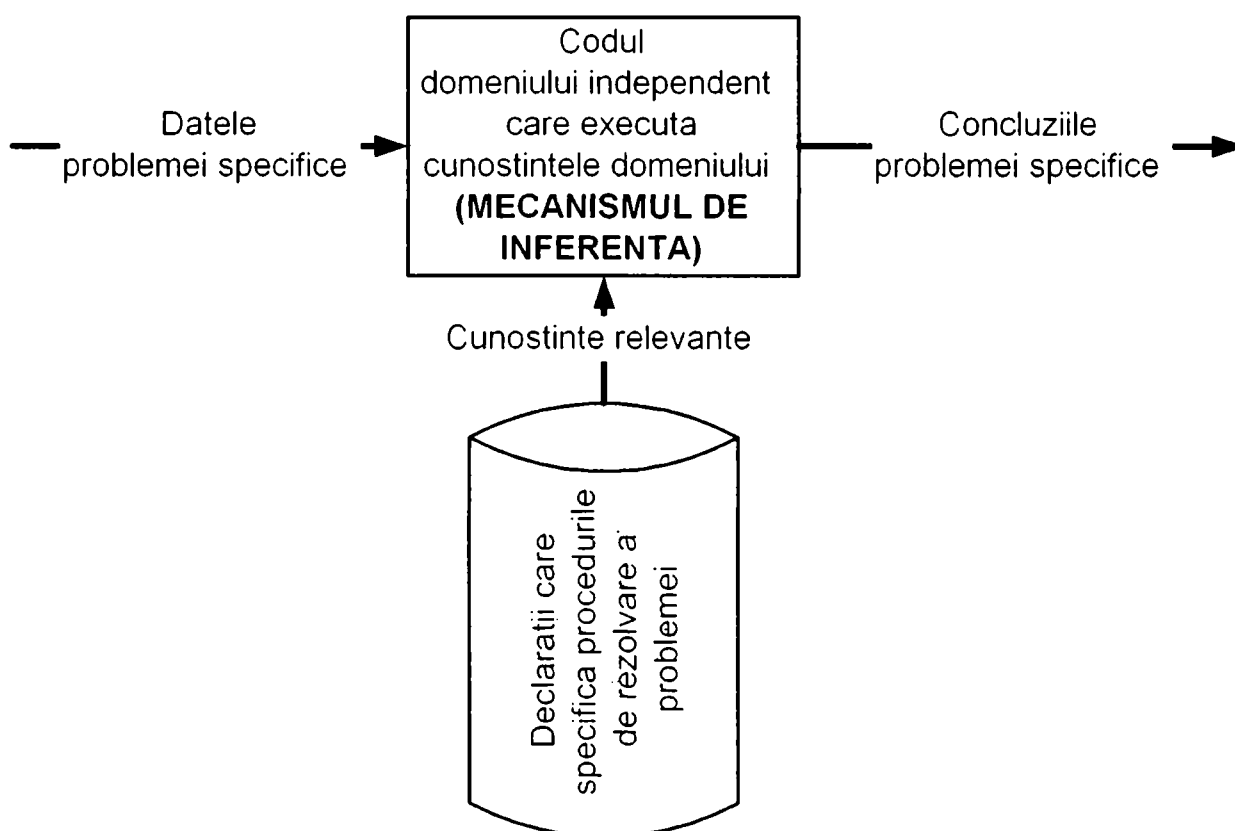
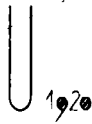


Figura 62

Alături de cele două componente principale prezentate mai sus, un SE obișnuit mai conține o următoarele module:

- **baza de fapte** – este o memorie auxiliară ce conține toate datele utilizatorului (faptele inițiale ce descriu enunțul problemei de rezolvat) și rezultatele intermediare produse în cursul procedurii de deducție;



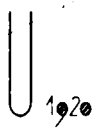
- **modulele de comunicație** – sunt destinate furnizării interfețelor specifice pentru utilizatorii SE cât și pentru achiziția de cunoștințe. Principalele module din această categorie sunt:
 - 1). interfața utilizator – asigură dialogul între utilizator și sistem în limbaj cvasinatural, prin translatarea limbajului intern. Ea comunică mecanismului de inferență cererile utilizatorului și furnizează acestuia rezultatele problemei. Interfața poate fi uneori foarte sofisticată, incluzând dicționare, fiind capabilă de analize lexico-sintactice, verificări semantice, corecții ortografice, gestiunea prescurtărilor etc.;
 - 2). modulul de achiziție al cunoștințelor – preia cunoștințele specializate de la expertul uman și le transpune într-o formă specifică reprezentării interne a calculatorului. Cunoștințele sunt furnizate prin fișiere specifice bazelor de date sau alte programe externe. Acest modul recepționează cunoștințele, verifică validitatea acestora și în final generează baza de cunoștințe coerentă;
 - 3). modulul de explicații – permite trasarea drumului urmat în raționare de către sistemul rezolutiv și emiterea justificărilor pentru soluțiile obținute, relevându-se în acest mod cauza greșelilor sau motivul eșecului. Acest modul ajută expertul să verifice consistența bazei de cunoștințe.

Structura generală a unui SE ce înglobează modulele de mai sus este prezentată în Figura 61. Figura 62 prezintă contrastul dintre arhitectura unui program tradițional pe calculator și un program SE.

6.2. Optimizarea proiectului unei piese din materiale polimerice cu ajutorul modulului CAE parametric

Un sistem CAE de performanță, dedicat simulării injectiei materialelor polimerice trebuie să confere o înaltă predicție a analizelor ce trebuie realizate în toate stadiile de proiectare, fabricare și asigurare a calității produsului. În prezent există sisteme CAE avansate, care acoperă un spectru larg al analizelor posibile, în care se utilizează materiale polimerice și anume: procese de injectare clasice, injectarea asistată cu gaz, co-injectarea, injectarea-comprimarea, injectarea reactivă, încapsularea microcircuitelor, injectarea rășinilor, injectarea structural-reactivă, injectarea cauciucurilor și termoformarea.

Adresabilitatea sistemului CAE trebuie să acopere toate aspectele privind produsul (reperul injectat), condițiile procesului de injectare, și asigurarea calității. Dintre analizele curente disponibile într-un sistem CAE, amintim aici



evaluarea grosimii pereților reperului, dimensionarea reperului, amplasarea punctelor de injectare, amplasarea circuitului de răcire, eficiența circuitului de răcire, optimizarea condițiilor de proces, evaluarea formei geometrice a reperului injectat, precum și integritatea structurală a acestuia.

Inginerul tehnolog dispune de facilități cum sunt: poziționarea digurilor, determinarea timpilor caracteristici ciclurilor de injectare, determinarea presiunii de injectare, determinarea temperaturilor și presiunii în timpul procesului, temperatura matriței și temperatura de injectare precum și cea de menținere, timpul de răcire sau dimensiunile matriței de injectat. Acești parametri, pe care sistemul CAE trebuie să-i ofere astfel încât procesul să se poată desfășura optim din punct de vedere calitativ și economic, trebuie să fie posibili de calculat și fără eforturi deosebite din partea inginerilor tehnologi și proiectanți.

În mod natural, sistemul CAE folosește ca date de intrare valori numerice, precizate de către inginerul proiectant, cum ar fi:

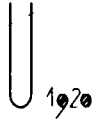
- lungimea maximă de curgere a topiturii
- grosimea nominală a pereților piesei
- dimensiunile piesei proiectate pentru a descrie geometria piesei.

Standardul STL a devenit specific sistemelor CAD/CAM/CAE pentru modelarea 3D a piesei și pentru exportul acestui model între diferitele pachete software concurente.

Cea mai completă analiză CAE posibil de realizat într-un sistem complex, dedicat tehnologiei pieselor injectate din materiale polimerice trebuie să ofere răspuns la toate problemele tehnologice, incluzând cele mai mici detalii. Astfel, sistemul CAE va fi utilizat pentru evaluarea materialelor polimerice posibile (dintr-o multitudine de sorturi teoretic posibile), selectarea tipului de dig, echilibrarea canalelor de distribuție, proiectarea și evaluarea circuitului de răcire, optimizarea ciclului de injectare, identificarea și controlul mecanismelor care provoacă contracția piesei și deformațiile acesteia. Aceste analize se realizează înainte de finalizarea proiectării piesei de injectat, pentru a nu mai menționa execuția matriței.

Eliminarea costurilor suplimentare, precum și eliminarea întârzierilor datorate unor greșeli de proiectare sau datorate unei proiectări bazate pe elemente empirice este de fapt esența unui sistem CAE complet, capabil de o expertiză pe care proiectantul și tehnologul nu o poate atinge în mod intrinsec.

Aplicarea avantajelor oferite de sistemul CAE în stadiile primare ale proiectării produsului injectat, în etapele dominante de proiectare, reprezintă adevărata forță a unui sistem complet CAD/CAM/CAE.



6.2.1. Funcțiile unui sistem CAE utilizat la analiza pieselor realizate din materiale termoplastice prin injectare

Un sistem CAE complet dispune de mai multe funcții de analiză, utilizate în luarea deciziilor de proiectare a reperului injectat. Fără a intra în prea multe detalii, se vor schița mai jos principalele funcții ale unui sistem CAE de înaltă performanță, la nivel mondial.

6.2.2. Funcția de estimare a procesului

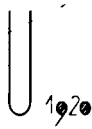
Majoritatea sistemelor CAE care dispun de o funcție estimativă utilizează baze de date care conțin peste 4200 tipuri de materiale polimerice. Estimarea procesului de injectare începe prin selectarea materialului optim (și implicit a caracteristicilor sale, folosite pe mai departe de restul funcțiilor CAE).

Funcția de estimare a procesului trebuie să evalueze cu precizie gradul de fezabilitate a piesei de injectat în funcție de configurația ei geometrică. Ea trebuie să ofere inginerului proiectant condițiile de intrare în procesele de simulare. Funcția de estimare a procesului trebuie să ghideze inginerul proiectant prin toate deciziile ce se iau în această etapă:

- alegerea materialului
- alegerea agentului termic de răcire
- selectarea materialului pentru matrită
- alegerea mașinii de injectat (din sute de variante posibile), în funcție de caracteristicile modelului.

Estimarea procesului are ca date de intrare valori introduse de către inginerul proiectant și îi oferă acestuia următoarele răspunsuri:

- caracteristica materialului
- simularea umplerii matritei, la care se adaugă și simulări privind contractia și deformația (deformațiile) reperului
- materialul matritei (30 de sorturi diferite) împreună cu conductivitățile termice respective
- 39 agenți termici de răcire
- 2660 de mașini de injectat
- determinarea drumului maxim de curgere, pentru un anumit material termoplastic, la o anumită temperatură
- optimizarea grosimii peretilor piesei



- determinarea combinației optime (Ecuția 26) pentru a minimiza problemele care apar în atelier

Material _piesa \Leftrightarrow Design _piesa \Leftrightarrow Design _matrita \Leftrightarrow Parametrii _proces

Ecuția 26

- estimarea numărului de puncte de injectare, în funcție de lungimea drumului parcurs de frontul topiturii de polimeri
- stabilirea corectă a parametrilor de proces, cum ar fi: temperatura topiturii, temperatura matriței, timpul de umplere, presiunea de injectare, forța de închidere a matriței și debitul lichidului de răcire
- estimarea gradului de contracție al reperului injectat
- modificarea geometriei piesei, precum și a variabilelor de proces astfel încât să se optimize (scurteze) durata ciclului de injectare
- estimarea costului de injectare, în funcție de material și de proces.

În prezent sunt câteva (3 sau 4) pachete software care fac aceste analize în mod complet.

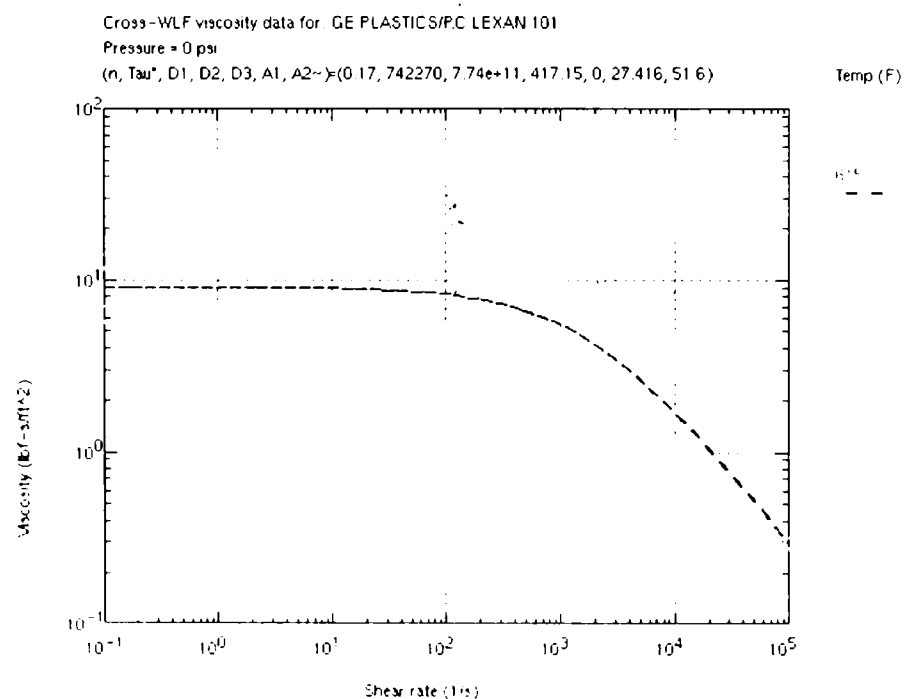


Figura 63



Figura 63 [134] prezintă modul în care se selectează materialul cu ajutorul funcției de estimare a procesului cu ajutorul unui sistem CAE pentru simularea injectării pieselor din materiale termoplastice.

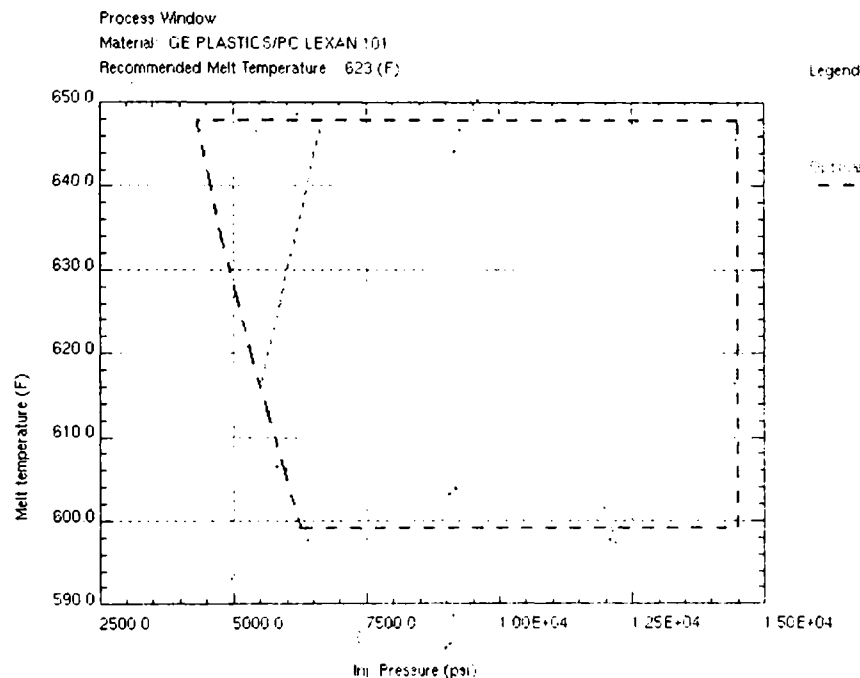


Figura 64

Figura 64 [134] prezintă o fereastră de proces obținută cu ajutorul funcției de estimare a procesului pentru un sistem CAE utilizat la injectia materialelor polimerice. Fereastra de proces permite inginerului să estimeze cu precizie gradul de fezabilitate al injectării unui reper pentru o anumită configurație geometrică și să determine condițiile procesului de simulare.

6.2.3. Funcția de modelare

Modelatorul geometric al sistemului CAE nu este unul strălucit. Principala sa funcție este aceea de a importa geometria de la alte CAD-uri 3D mai avansate. În mod natural, modelatorul este astfel realizat încât să importe geometria de la majoritatea pachetelor software utilizate astăzi în industrie. Principala sa caracteristică este aceea de a putea citi și utiliza cât mai repede geometrii create în terțe pachete software cu caracter industrial.

Funcția de modelare a sistemului CAE trebuie să permită discretizarea nu numai a piesei, ci și a culeei, canalelor de distribuție și a sistemului de răcire pentru a fi utilizate în toate simulările.

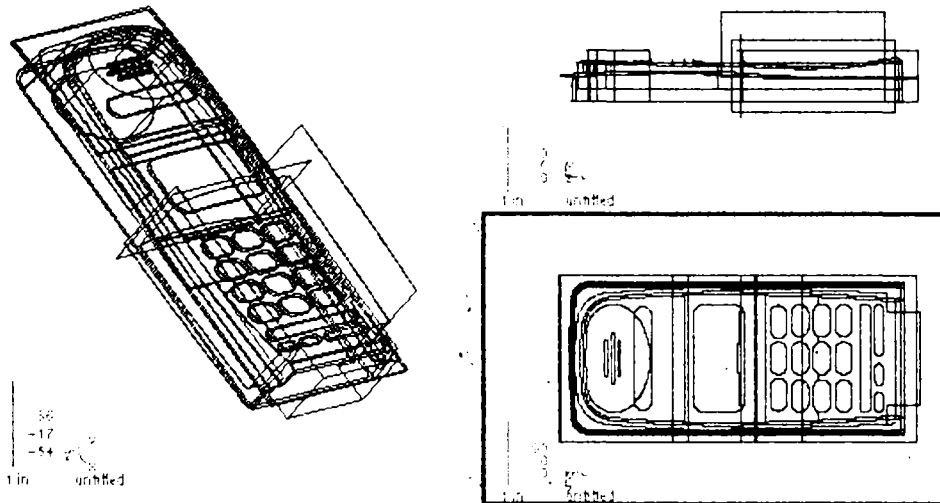


Figura 65

Figura 65 [134] prezintă un model citit dintr-un fișier IGES. Capabilitatea funcției de modelare de a citi cât mai repede și mai corect geometrii din alte CAD-uri este trăsătura de bază a sistemului CAE.

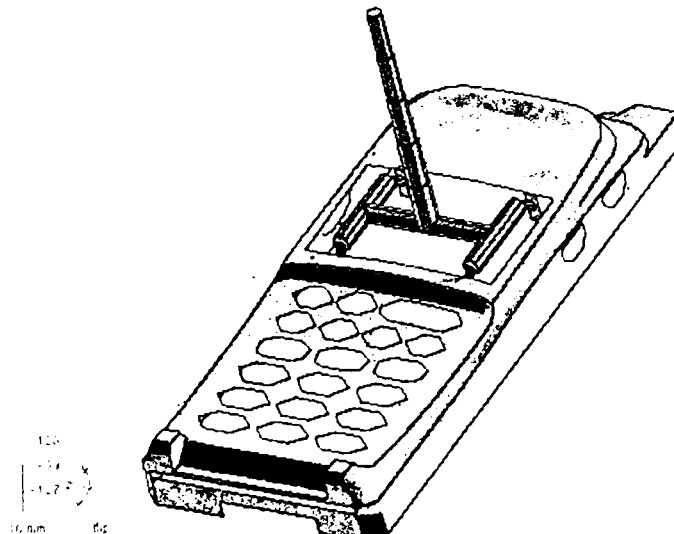
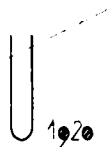


Figura 66

Figura 66 [134] prezintă reperul anterior în shade. Abilitatea de a roti virtual piesa cu mare precizie, manipularea ferestrelor fără a întrerupe editarea comenzilor și toate acestea combinate cu posibilitatea de a crea entități geometrice în diferite moduri, precum posibilitatea de a genera discretizarea în mod automat fac din funcția de modelare principalul argument al utilizării acesteia din interiorul mediului CAE.

Majoritatea sistemelor CAE pot importa modelul FEA din ANSYS Prep7, Patran Neutral și IDEAS. De asemenea, se pot importa modele mesh direct din Pro/ENGINEER, Unigraphics sau Intergraph. De remarcat că elementele geometrice de care se dispune sunt la nivelul suprafețelor spline bicubice și



curbe spline cubice. Nu mai există limitări în privința numărului de puncte, linii, arce, cercuri, curbe spline, suprafețe complexe, noduri sau elemente.

6.2.4. Funcția de vizualizare

Funcția de vizualizare trebuie să aibă o interfață grafică cu utilizatorul deosebit de puternică, care îi oferă acestuia posibilitatea să "vadă fenomenele din interiorul matriței" în timpul procesului de injectare.

Utilizatorul poate să examineze rezultatele pentru fiecare simulare, utilizând diferite formate grafice. Rotirea dinamică în 3D a modelului matriței în timpul procesului de injectare ajută proiectantul la luarea celor mai corecte decizii în vederea optimizării proiectului.

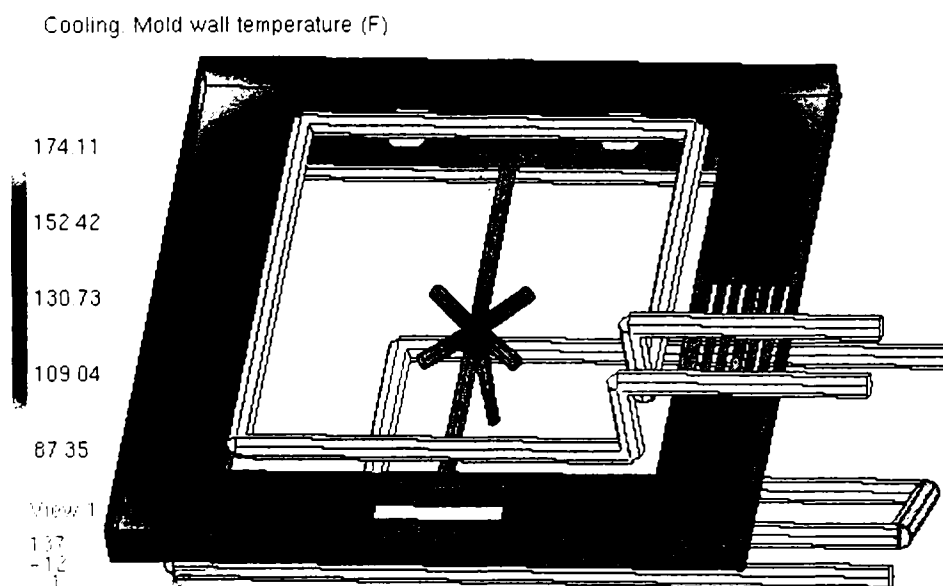


Figura 67

Figura 67 [134] prezintă imaginea în shade a rezultatelor unei simulări a procesului de injectare. Capabilitățile funcției de vizualizare a sistemului CAE încep de la rapoarte tip text și până la contururi colorate, contururi colorate în shade, diagrame, afișarea deplasărilor sau zone de atenționare pentru proiectant.

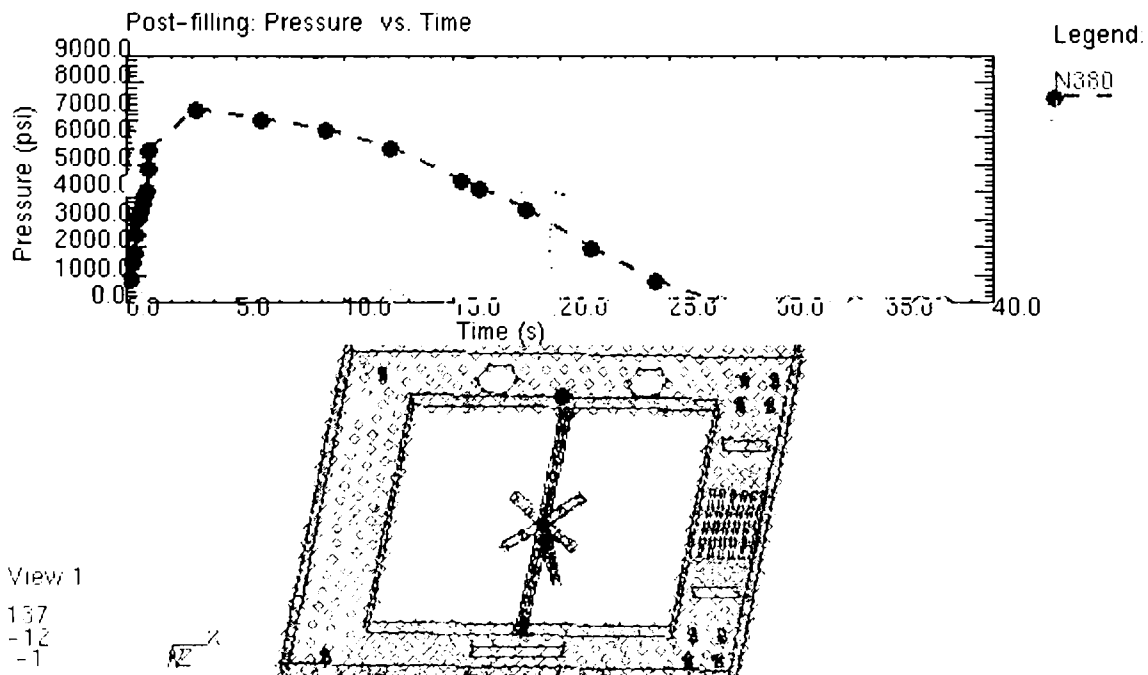
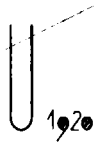


Figura 68

Figura 68 [134] prezintă capabilitatea funcției de vizualizare de a prezenta detalii privind selectarea tehnologiei pentru anumite zone ale matriței de injectat.

6.2.5. Funcția de simulare a umplerii matriței

Funcția de simulare a curgerii topiturii de polimeri prin matriță oferă cel mai eficient mod de a simula comportamentul sculei (matriței) în procesul de injectare.

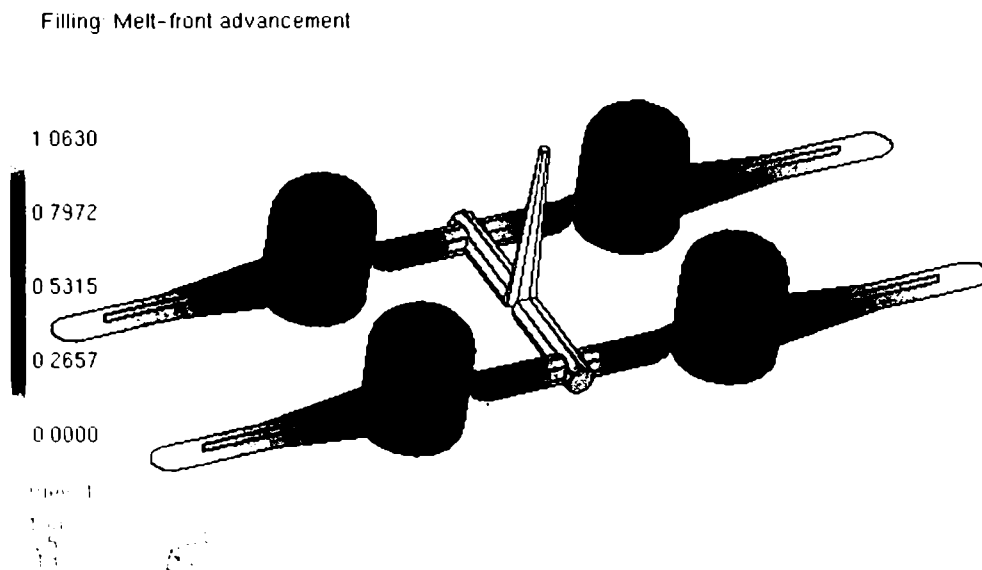


Figura 69



Proiectantul “vede” materialul curgând prin culee, canalele de distribuție, diguri și cavitatea matriței. Astfel el poate să optimizeze grosimea pereților piesei și să determine cu precizie poziția punctelor de injectare (și numărul lor), liniile de sudură, presiunea de injectare și forța de închidere.

Figura 69 [134] prezintă frontul topiturii în shade. Avansul frontului arată cum se deplasează materialul termoplastice în cavitatea matriței; calculul s-a făcut pe baza presiunii de injecție estimate.

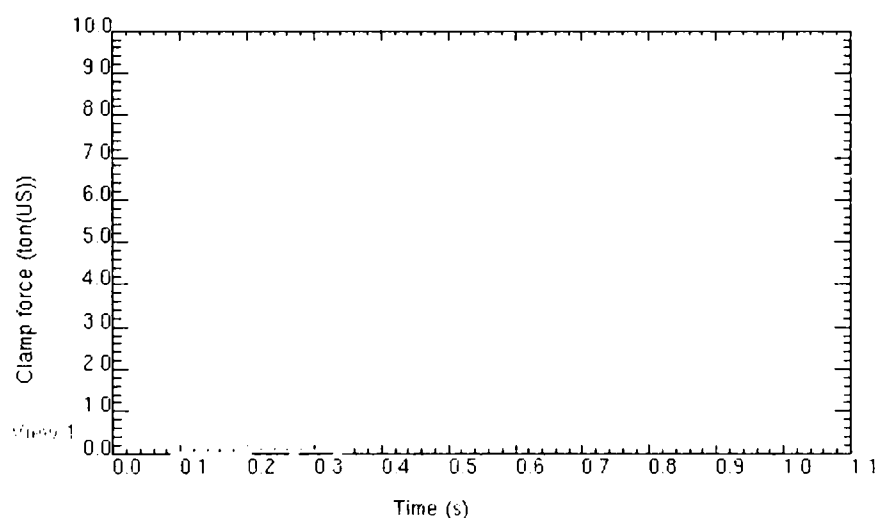


Figura 70

Figura 70 [134] prezintă diagrama “Forța de închidere – Timp” în timpul umplerii matriței utilă tehnologului pentru a selecta dimensiunea optimă a mașinii de injectat pentru reperul respectiv.

6.2.6. Funcția de simulare a proceselor post-umplere a matriței

Această funcție simulează starea de începere a solidificării materialului termoplastice în interiorul matriței. În special, cu această funcție se determină care este presiunea de menținere, necesară compensării contracției materialului în timpul răcirii.

Utilitatea acestei funcții stă în eliminarea retasurilor, evitarea suprapresiunilor, reducerea forței de închidere, reducerea timpului de menținere și a presiunii de menținere. Cu alte cuvinte, se determină precis presiunea de menținere, când începe scăderea presiunii și cât timp să se mențină presiunea până la solidificarea digurilor.

Simularea este de asemenea necesară pentru a determina cum variază contracția volumică în interiorul matriței la sfârșitul stadiului de împachetare. Variații mari în contracția volumică a piesei sunt principala cauză a inducerii stării de tensiuni în piesă. Prin reducerea variațiilor volumice multe din problemele tensionale ale reperelor injectate vor fi evitate.

Post-filling: Frozen layer fraction at Time = 14.7600 s

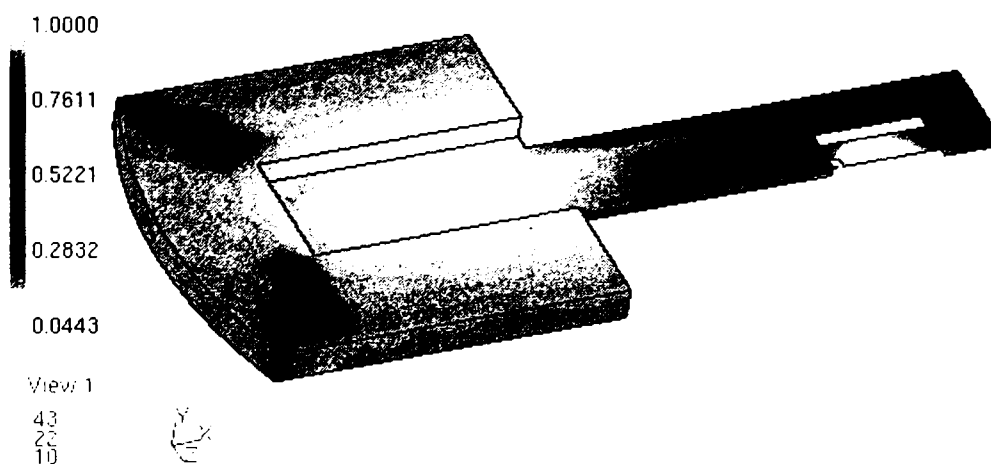


Figura 71

Figura 71 [134] prezintă stratul solidificat la orice moment în timpul ciclului de injectare. Se determină astfel care sunt pereții reperului ce se răcesc mai repede și care zonă a piesei se solidifică mai întâi.

Post-filling: Volumetric shrinkage (%) at Time = 27.2400 s

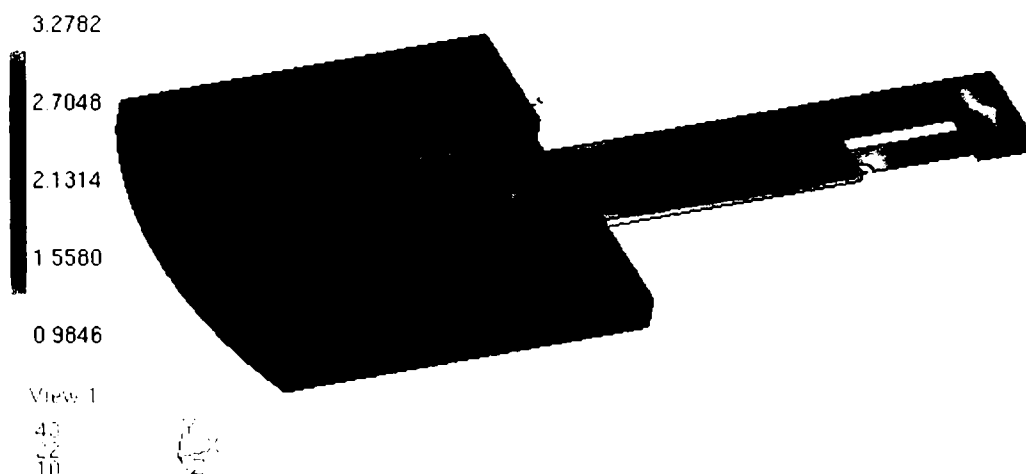


Figura 72

Figura 72 [134] prezintă contracția volumică a piesei, cu zonele afectate cel mai mult (colorat în gradient). Minimizând valoarea contracției volumice se minimizează problemele de tensiuni precum și cele de deformări ale reperului injectat.

6.2.7. Funcția de simulare a răcirii

Răcirea matriței este variabilă cu cel mai mare impact în costul producției și în calitatea reperului injectat. Funcția de simulare a răcirii matriței analizează întregul ciclu și oferă informații critice necesare optimizării condițiilor procesului de răcire, proiectării matriței cât și proiectării piesei.

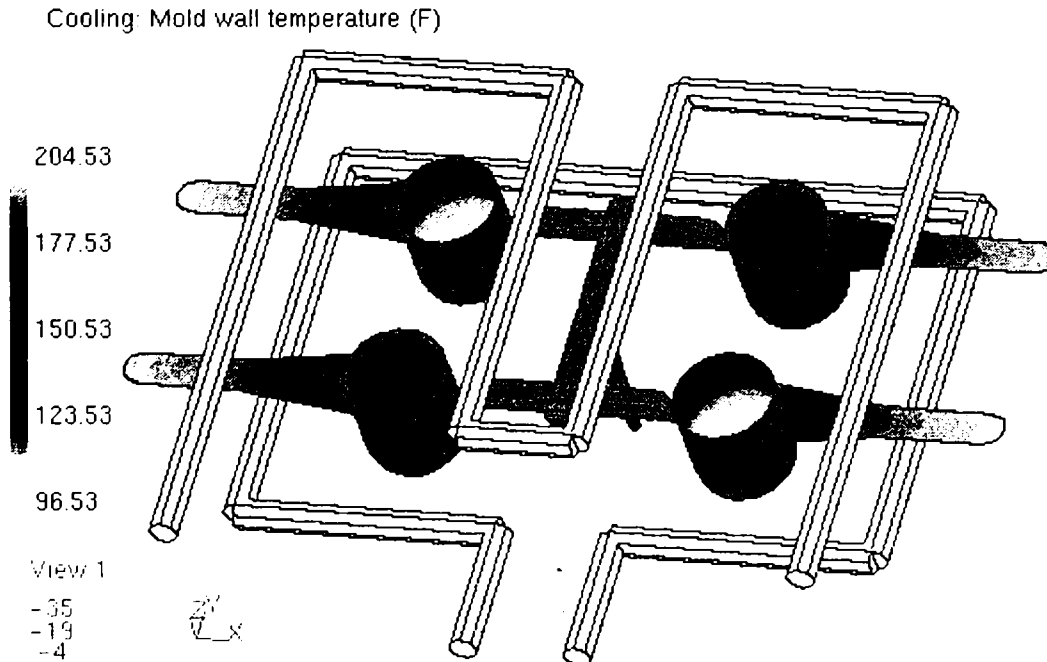


Figura 73

În majoritatea cazurilor, printr-o analiză corectă, această funcție are un mare impact asupra duratei ciclului de injectare, în sensul reducerii acestuia.

Se pot evalua modificări ale reperului sau ale matriței și efectul lor asupra reducerii ciclului de injectare și eficientizarea procesului de răcire. O importanță deosebită se acordă la cele mai avansate sisteme CAE în prezentarea explicită a condițiilor de răcire asimetrice dintre miezul matriței și pereții exteriori ai acesteia. Această facilitate suplimentară este utilă în reducerea (sau chiar eliminarea) problemelor de deformare ale reperului prin modificarea proiectului și echilibrarea răcirii.

Figura 73 [134] prezintă calculul răcirii medii a pereților matriței în timpul unui ciclu de injectare. Diferența de temperaturi este prezentată în gradient. Temperatura pereților matriței poate fi determinată cu precizie, pentru un anumit moment din ciclul de injectare.

Cooling Post-filling time (s)

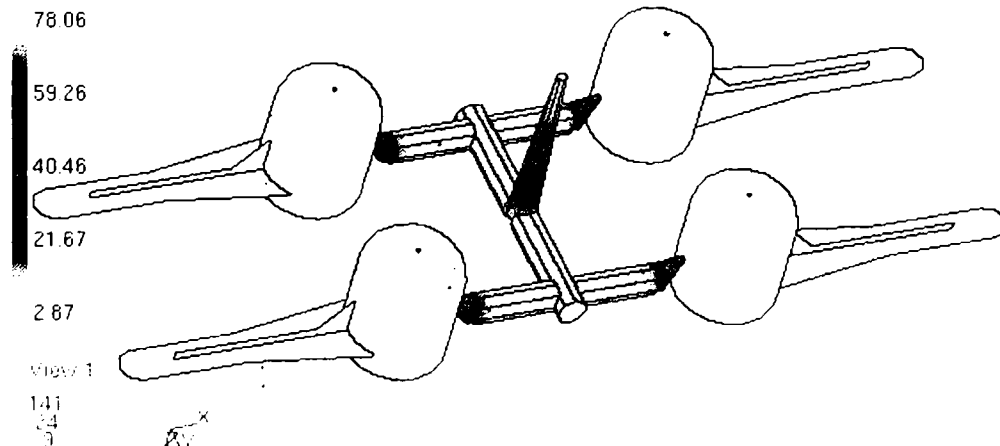


Figura 74

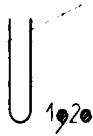
Figura 74 [134] examinează timpul de răcire necesar pentru diferite părți ale piesei până când ajung la temperatura de demulare, prin prezentarea timpului estimat (în secunde).

Funcția de estimare a răcirii este vitală pentru inginerul tehnolog, la proiectarea tehnologiei. O proiectare bună a sistemului de răcire va asigura atât o răcire uniformă a piesei cât și o răcire rapidă, scurtând prin aceasta durata unui ciclu de injectare și scăderea costurilor unitare.

6.2.8. Funcția de determinare a tensiunilor remanente

Când topitura de polimeri se deplasează prin cavitățile matriței sub presiune înaltă, lanțurile moleculare ale polimerilor sunt supuse unor mari tensiuni mecanice. Pe măsură ce materialul se răcește, aceste tensiuni sunt “înghețate” în reperul final. Ca rezultat, se obține un reper deformat și o integritate structurală compromisă. Determinarea tensiunilor remanente este o funcție esențială, care asistă proiectantul să înțeleagă fenomenele complexe și să minimizeze impactul acestora asupra calității reperului, prin modificări introduse în proiect asupra reperului și matriței.

La calcularea tensiunilor remanente dezvoltate în întregul ciclu de prelucrare, sistemul ține seama de efectele distribuției de temperatură și presiune, proprietățile polimerilor, orientarea fibrelor și forma geometrică a piesei (mai ales la colțuri). Se determină astfel cu precizie distribuția stării de tensiuni în orice punct al piesei rezultate. Starea de tensiuni rezultantă este folosită pe mai departe de către sistemul CAE la determinarea contracției și deformațiilor piesei, precum și la calculul formei finale a piesei după demulare (analiză structurală de tip ANSYS sau Abaqus).



Shrinkage and Warpage. Average res. stress (psi) Magnitude 1 at Time = 27 2400 s

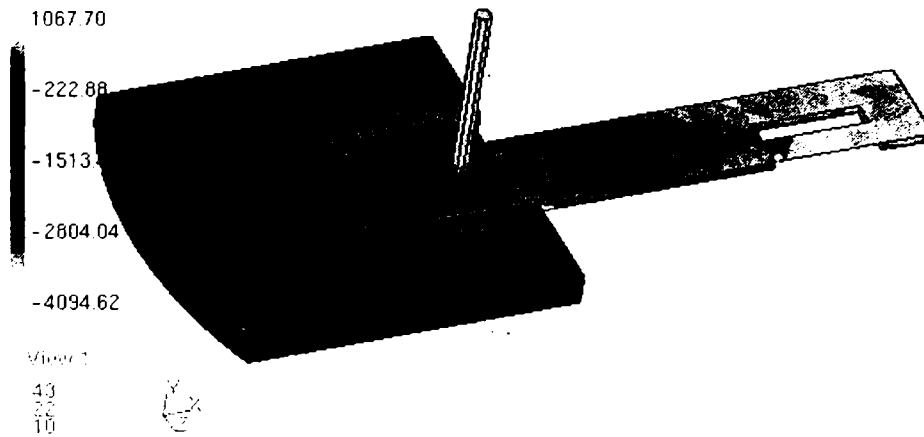


Figura 75

Figura 75 [134] prezintă media tensiunilor remanente ale piesei injectate (văzute din exteriorul reperului). Figura 76 [134] prezintă tensiunile remanente ale reperului injectat în interiorul piesei, pentru orice punct sau strat. Această facilitate permite proiectantului să evalueze efectul răcirii diferențiate dintre miezul matriței și pereții exteriori ai acesteia.

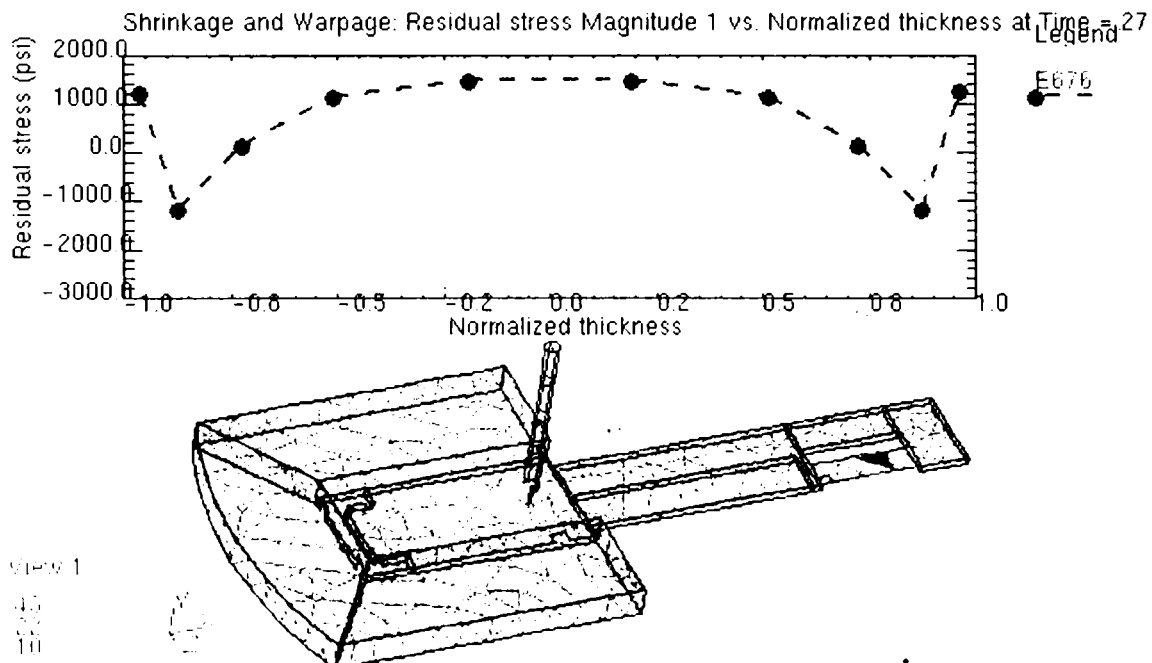
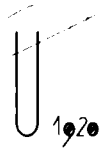


Figura 76

Determinarea tensiunilor remanente trebuie să țină seama de comportamentul tensiune-deformație de tip vâscoelastic al topiturii de polimeri aflată în răcire și de informații ca temperatura matriței aflată în regim tranzitoriu.



6.2.9. Funcția de determinare a contracțiilor și deformațiilor

Estimarea modului în care va arăta reperul injectat și cum se va comporta după extragerea din matriță este deosebit de importantă. Stabilitatea dimensională și precizia dimensională se pot atinge cu ușurință dacă se utilizează un sistem CAE în conjuncție cu sistemul CAD/CAM.

Shrinkage and Warpage. Displacement (total shrinkage) (in)

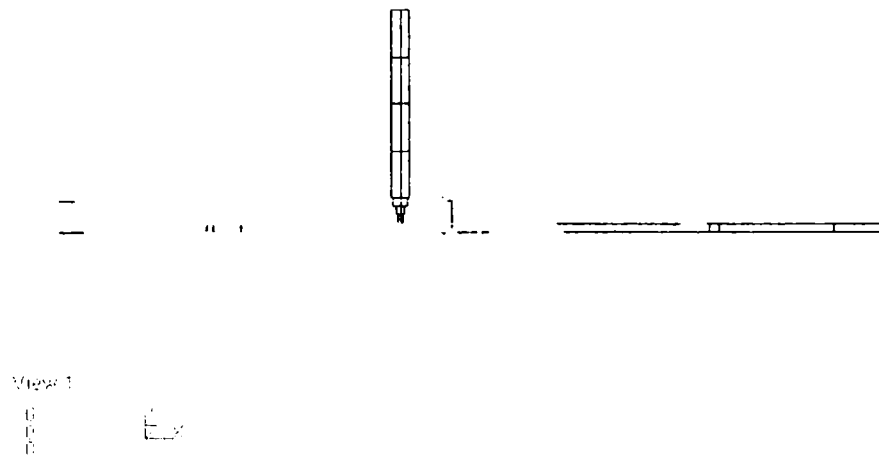


Figura 77

Figura 77 [134] prezintă estimarea deplasărilor piesei după contracție și deformare. Figura 78 [134] oferă posibilitatea de evaluare a valorilor deplasărilor cantitative pe axele X, Y și Z separat, deplasări care însumate dau deformația totală a piesei.

Shrinkage and Warpage. Displacement (total shrinkage) (in) Distance

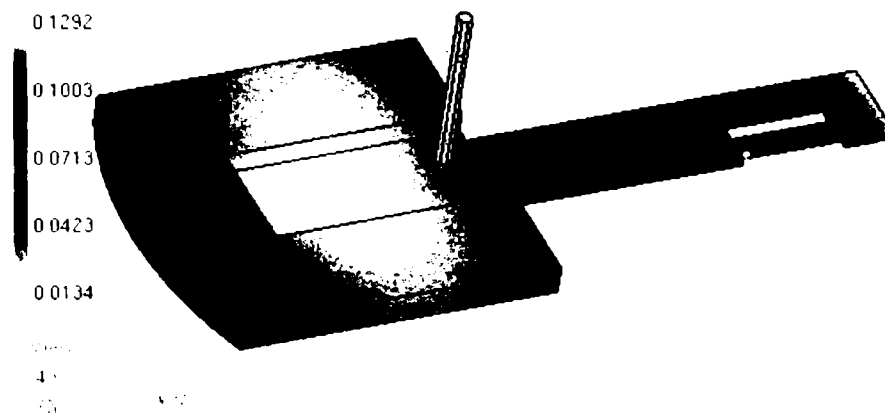
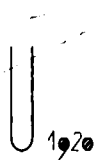


Figura 78



Sistemul CAE trebuie să identifice factorul dominant, cum ar fi contractia neuniformă sau răcirea diferențiată, adică unul din factorii care are contribuția cea mai mare la deformarea finală a reperului injectat.

6.2.10. Funcția de determinare a orientării fibrelor

Determinarea orientării fibrelor oferă un excelent instrument de analiză a rezistenței produsului. Cu ajutorul acestei funcții se elimină inconsistența reperului, un factor de mare importanță care poate conduce la probleme mari, cum ar fi deformația piesei, precum și la probleme structurale.

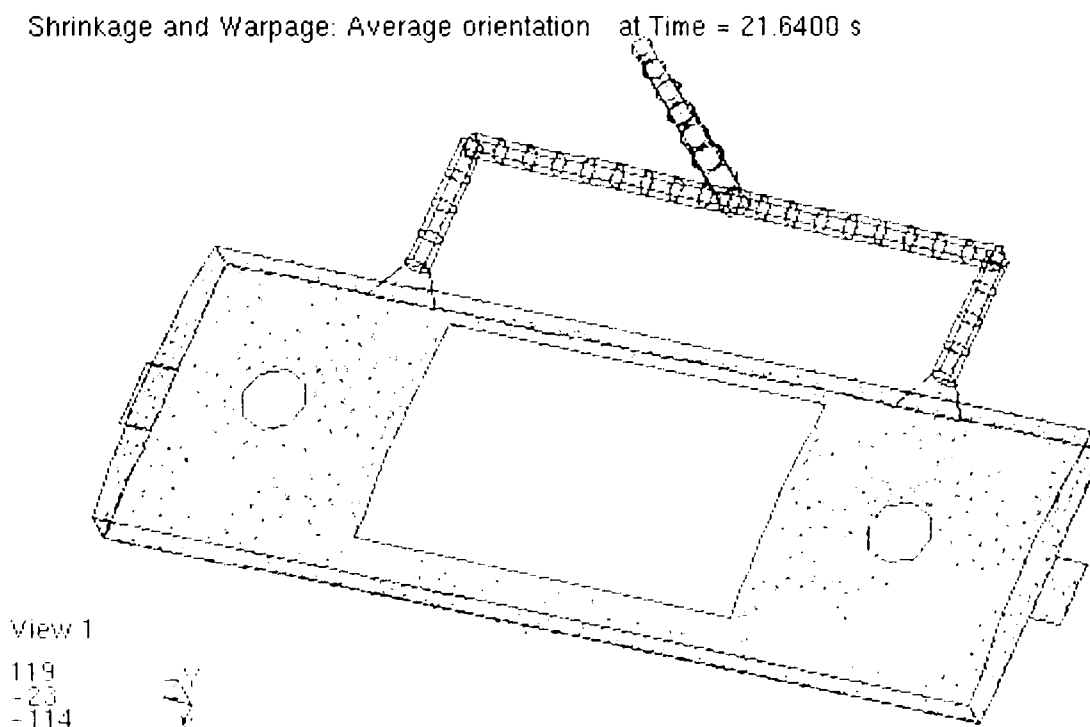
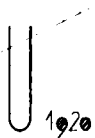


Figura 79

Figura 79 [134] prezintă orientarea medie a fibrelor în cazul unui reper injectat. Se poate remarca direcția dominantă și alinierea medie a fibrelor în peretele piesei. De asemenea, funcția permite și secțiuni prin piesă, astfel încât să se observe orientarea fibrelor în anumite straturi ale piesei, selectate de către utilizatorul sistemului CAE.

Această funcție elimină o mare parte din proiectarea intuitivă a inginerului, prin estimarea precisă a orientării fibrelor, precum și estimarea proprietăților termo-mecanice ale viitoarei piese injectate.

Aplicarea rezultatelor simulării asupra proiectului final piesă-matriță ajută inginerul proiectant să minimizeze variațiile proprietăților termo-mecanice, afectate puternic de către contractiile, deformațiile și tensiunile remanente de



după ciclul de injectare, îmbunătățind răspunsul piesei la solicitările funcționale, din timpul utilizării ei.

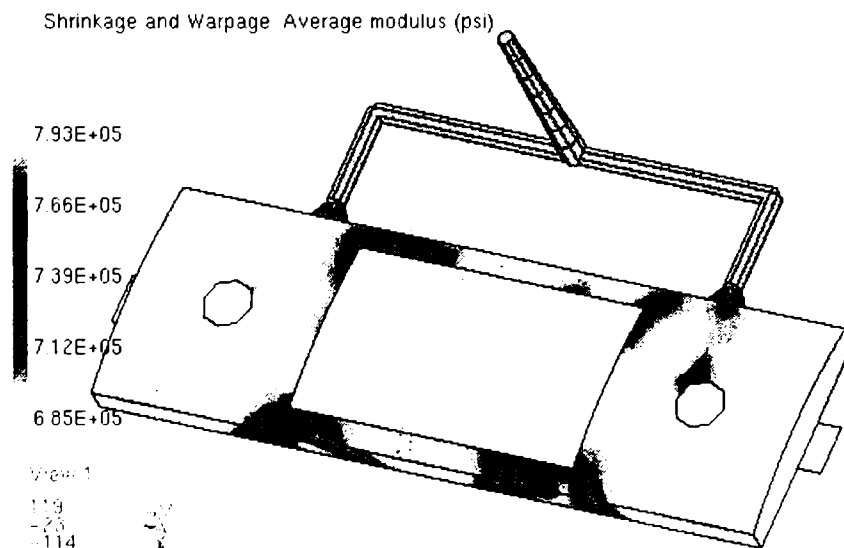


Figura 80

Figura 80 [134] subliniază faptul că estimarea orientării fibrelor poate evalua modulul de elasticitate al piesei în diferite zone ale reperului și în diferite straturi, atât după direcția de curgere, cât și după o direcție perpendiculară curgerii materialului.

Această informație suplimentară oferă inginerului proiectant să distingă diferențele mari care apar (mai ales la reperatele mari) între proprietățile mecanice ale diferitelor zone ale piesei și care pot conduce la probleme mari de deformare și la o slabă calitate a piesei.



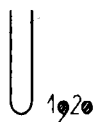
·
·

7. Soluționarea optimizării generale a proiectului în cazul procesului parametric de proiectare a pieselor din materiale polimerice

Când ne referim la optimizarea generală a procesului de proiectare pentru piesele din materiale polimerice, înțelegem de fapt utilizarea superioară a capacităților oferite de pachetele software existente pe piață și îmbunătățirea performanțelor acestora – privite ca un tot unitar – începând de la activitatea de proiectare reper, până la reglajele mașinii de injectat.

Așa cum am mai precizat, ținând cont de nivelul mondial pe piața produselor software, s-au ales pentru dezvoltarea cercetării trei pachete des întâlnite atât în domeniul industrial și în cel universitar. Să le nominalizăm și să sintetizăm mai jos principalele lor caracteristici de utilizare:

- S-a ales Pro/ENGINEER® ca platformă globală în ingineria mecanică; de fapt acesta este un sistem CAD/CAM/CAE total. În Pro/E se dezvoltă majoritatea proiectului: stilizarea piesei, proiectarea finală a reperului, proiectarea matriței (inclusiv apelul bibliotecilor de elemente standardizate), tehnologia de prelucrare a matriței. De asemenea, se mai elaborează și alte aspecte ale proiectului, cum ar fi listele de materiale, documentația tehnică generală a proiectului, interfața cu secțiile



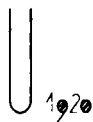
de producție și compartimentele de marketing etc. Datorită elementelor de proiectare specifice domeniului injectării materialelor polimerice, Pro/E nu oferă toată gama de analize CAE acestui proces de proiectare, de o factură deosebită. Din acest motiv se apelează la pachete software dedicate procesului de injectare a materialului polimeric, cum ar fi C-MOLD sau Moldflow. Pentru anumite analize, de o factură deosebită se mai apelează la pachetul ANSYS.

- Utilitatea pachetului software C-MOLD[®] s-a impus datorită calităților sale privind estimarea procesului de injectare, selectarea materialului polimeric, simularea umplerii matriței, simularea proceselor de post-umplere, simularea răcirii, determinarea tensiunilor remanente, a contracțiilor și deformațiilor piesei, determinarea orientării fibrelor, optimizarea procesului tehnologic de injectare etc. Deși de o mai mică importanță în cazul procesului de proiectare a unei piese injectate din materiale polimerice, ANSYS poate fi deosebit de util, de exemplu în primele stadii ale proiectului, anume atunci când se elaborează configurația geometrică a piesei sau, spre final, în studiul comportamentului întregului ansamblu matriță.

Mai trebuie făcută o remarcă: deși nu pare evident necesar în realizarea analizelor, în final s-a ajuns și la apelarea pachetului software ANSYS[®], în special pentru analize tip CAE de o factură mai deosebită, anume pentru studiul fenomenelor multifizice în mod detaliat, pe care pachetul de analiză CAE a procesului de injectare (de exemplu C-MOLD) nu a fost proiectat să le rezolve. În acest mediu, tipul analizelor CAE este foarte diversificat: presiune, forță, moment, deplasare, presiune pe muchii, temperatură, convecție, radiație, flux de suprafață, flux de muchii, încălzire punctuală și încălzire volumică. Mai mult, toate aceste analize pot fi realizate simultan (analize suprapuse sau multifizice).

Fără a avea pretenții exclusive, definitive și pseudo-generalizatoare, din experiența autorului – statistic – s-a constatat o anumită proporție în utilizarea acestor trei pachete software la realizarea proiectului unei piese injectate din materiale polimerice. Figura 81 prezintă proporția utilizării diferitelor aplicații software în proiectarea unei piese din materiale polimerice, în procente.

Mai subliniem faptul că cele trei produse software enumerate mai sus au fost alese de autor după o anumită experiență în utilizarea unor astfel de aplicații CAD/CAM/CAE. Aceasta nu înseamnă că sub aspect științific și tehnic ele nu pot fi înlocuite cu alte aplicații software similare, existente pe piață. În general însă, tripleta de păstrează (de exemplu CATIA – MOLDFLOW – NASTRAN).



Este o evidență care aparține de nivelul industriei naționale actuale, anume faptul că în multe cazuri analizele CAE sunt evitate de către ingineri. Practica industrială demonstrează – din păcate – că acest lucru deși este total neproductiv, se manifestă deseori. Explicația acestui fapt rezidă în pregătirea inadecvată a unora dintre ingineri, în relativa “economie de timp” care se face sau în “economii” la capitolul investiții în pachete software performante. Nu este mai puțin adevărat că până recent (aproximativ 5 ani în urmă) pachetele CAE dovedeau o interfață total neprietenosă cu utilizatorul, necesitau multă experiență în utilizare, erau lente în execuție și, mai ales, nu dispuneau de o grafică intuitivă în prezentarea rezultatelor (post-procesoare slabe).

PROPORTIA UTILIZARII DIFERITELOR APLICATII
SOFTWARE IN PROIECTAREA UNEI PIESE DIN
MATERIALE POLIMERICE (PROCENTE)

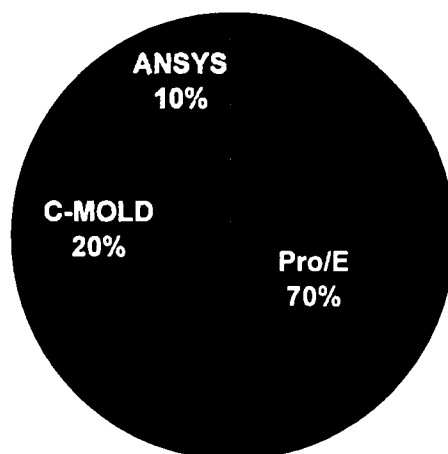


Figura 81

Din cele prezentate până acum s-a desprins faptul că toate cele trei pachete concură la realizarea proiectului. Utilizarea lor în parctică nu este însă una secvențială; pentru optimizarea proiectului, schimbul de date între cele trei pachete software ar trebui să desfășoare în mod nelimitat de impedimentul operațiilor de export-import fișiere, care sunt restrictive mai ales în ceea ce privește consumul de timp și efort uman. Schimbul de date **on-line** între cele trei pachete software este o necesitate evidentă.

Soluția propusă este una care satisface condiția prezentată în paragraful precedent. Astfel, pentru cercetare s-a utilizat un calculator compatibil IBM-PC, bazat pe arhitectura microprocesorului INTEL Pentium[®] II, la frecvența de ceas 300 MHz. Sistemul de operare folosit este Windows NT 4.0, iar ca

aplicații software sunt cele trei produse enumerate de atâtea ori în această lucrare: Pro/ENGINEER® 18, C-MOLD® 3.0 și ANSYS® 5.3.

Pornind de la stadiul succint prezentat anterior, s-a realizat o platformă software denumită **APPLAST**, acronim pentru “*Managementul Aplicațiilor de Plasturgie*”¹². Subliniem că marele impediment în rezolvarea problemei este faptul că cele trei pachete software sunt produse ale unor firme diferite (adică cu standarde de firmă diferite, cu structuri ale bazelor de date diferite etc.). Cu ajutorul acestei platforme cele trei produse software, deși rulează în instanțe independente, realizează schimbul de date on-line. Figura 82 prezintă sintetic această situație.

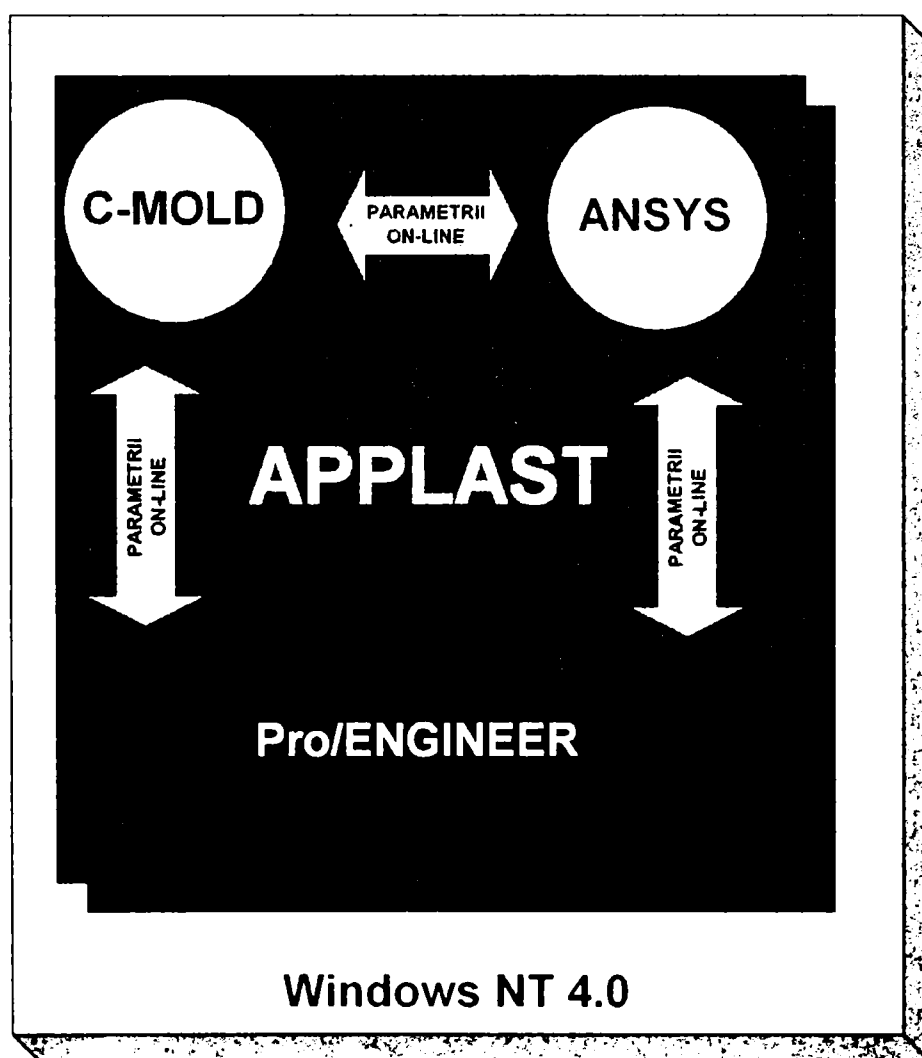
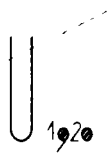


Figura 82

Această figură relevă deschiderea posibilităților (acum evidente) în optimizarea proiectului piesei injectate din materiale polimerice. Cele trei aplicații

¹² Acronimul provine din engleză (Application Manager of the Plastic Design System)



parametrice pot schimba date on-line, realizându-se astfel comunicarea algoritmilor de proiectare dezvoltată în fiecare dintre cele trei aplicații distincte (Pro/E, C-MOLD și ANSYS). Putem spune astfel că avem un singur algoritm global de optimizare (de exemplu optimizarea grosimii pereților piesei) prin toate cele trei pachete software.

7.1. Descrierea metodei de interfațare a celor trei pachete software care concură la realizarea proiectării asistate a pieselor din materiale polimerice

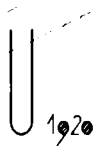
Metoda de interfațare a celor trei aplicații software prezentată în acest paragraf reprezintă o soluție originală a autorului. După modelarea 3D a piesei de injectat, în sistemul Pro/E se poate realiza un export de date spre un alt sistem software, dedicat anumitor tipuri de analiză. Se cunosc două metode de export:

- realizarea unei conexiuni off-line cu un program CAE dedicat injectării pieselor din materiale polimerice;
- realizarea unei conexiuni on-line cu un program CAE dedicat injectării pieselor din materiale polimerice, pentru analiză.

Atunci când se urmărește realizarea unei analize CAE pentru modelul 3D al piesei de injectat printr-o conexiune off-line, se realizează în Pro/E un fișier de export (output) al modelului discretizat în elemente finite. Acest fișier trebuie în mod obligatoriu să conțină:

- informații despre elementele și nodurile modelului discretizat, într-un format compatibil cu baza de date a pachetelor C-MOLD și ANSYS
- toate cazurile de constrângere (cazurile de studiu) aplicate deja modelului
- toate datele cunoscute despre materialul atribuit modelului.

Formatul fișierului de output al lui Pro/E depinde de pachetul software căruia i se adresează. Pro/E este capabil să exporte fișiere în formate compatibile cu bazele de date ale pachetelor ANSYS și C-MOLD. Până la versiunea 18, Pro/E nu exportă direct fișiere pentru pachetul Moldflow, cea mai bună soluție fiind în acest caz formatul PATRAN, acceptat cu relativ mici pierderi de către Moldflow. Se va prezenta în continuare exportul și importul datelor în conexiunile Pro/E – ANSYS și Pro/E – C-MOLD.



7.1.1. Exportul și importul datelor în conexiunea Pro/E – ANSYS

Exportul/importul fișierelor de date între Pro/E și ANSYS se face fără probleme, cunoscut fiind faptul că între cele două firme există un parteneriat strategic ce există de peste un deceniu.

Pro/E exportă spre ANSYS fișiere în formatul *Version 5.3 PREP7* (în format ASCII), așa numitele fișiere:

nume_fișier.ans

în care se salvează informațiile privitoare la piesa de analizat. În funcție de configurarea lui Pro/E se specifică dacă fișierul va fi utilizat drept *input* al unuia dintre solvele ANSYS: *Frontal*, *Iterative* sau *Powersolver*. (Predefinit este solverul *Frontal*).

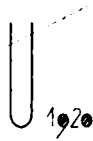
Descrierea elementelor utilizate la export este prezentată mai jos. Se mai precizează că elementele tip SHELL sunt triunghiulare sau cuadrice, iar elementele SOLID sunt tetraedrice:

- SHELL57/STIF57 este un element liniar cu 3 sau 4 noduri, utilizat în analiza termică
- SHELL63/STIF63 este un element liniar cu 3 sau 4 noduri, utilizat în analiza structurală
- SHELL93/STIF93 este un element *shell* parabolic cu 6 sau 8 noduri
- SOLID70/STIF70 este un element tetraedric solid cu 4 noduri de tip liniar, utilizat în analiza termică
- SOLID87/STIF87 este un element isoparametric solid cu 10 noduri de tip parabolic, utilizat în analiza termică
- SOLID72/STIF72 este un element tetraedric solid cu 4 noduri de tip liniar
- SOLID92/STIF92 este un element solid cu 10 noduri de tip parabolic.

Mai trebuie subliniat că elementele de tip bară cu lungimea zero sunt ignorate de către translator. Să vedem în continuare care este modul de transmitere a datelor spre pachetul C-MOLD.

7.1.2. Exportul și importul datelor în conexiunea Pro/E – C-MOLD

Exportul din Pro/E spre C-MOLD este posibil numai dacă se dispune de modulul Pro/MOLDESIGN®. În urma acestui export se generează un fișier în format standard caracteristic bazei de date a firmei AC Technology. Acest fișier se numește:



nume_fișier.fem

Fișierul de comunicație conține informații despre nodurile și elementele care au rezultat în urma discretizării modelului piesei de injectat sau a matriței, de exemplu: materiale, diametre, factori de formă, umplerea inițială a canalelor de injectare, cazurile de contrângere, poziția și numărul punctelor de injectare etc.

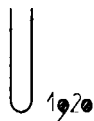
Trebuie de asemenea subliniat și în acest paragraf că există o foarte bună comunicație între Pro/E și C-MOLD, cele două firme având o lungă și fructuoasă colaborare.

7.1.3. Analize de tip CAE în ANSYS sau C-MOLD ale unui model realizat în Pro/E

După generarea modelului 3D al piesei de injectat sau a altor repere (de exemplu a matriței) se generează mesh-ul tot în Pro/E. Utilizând anumite facilități constructive ale produsului Pro/E, fără a încheia sesiunea Pro/E, direct din acest program, se pot apela solvele din alte pachete software (în cazul nostru C-MOLD sau ANSYS). Așa cum s-a precizat, solvele pot fi rulate on-line sau în background (off-line):

- Utilizarea solverelor C-MOLD sau ANSYS în regim on-line întrerupe temporar sesiunea Pro/E, până când procesarea este completă. Pro/E salvează datele într-un fișier "*nume_fișier.fmd*", le transmite solverului respectiv și după procesare reîncarcă datele provenite de la solver în post-procesorul Pro/E corespunzător.
- Rularea solverelor C-MOLD și ANSYS în regim off-line (background) presupune faptul că Pro/E crează un fișier "*nume_fișier.fmd*" în care se salvează datele reperului de analizat. Sesiunea în Pro/E nu este întreruptă și utilizatorul poate continua lucrul la alt model. După ce procesarea datelor a fost realizată de către solvele C-MOLD sau ANSYS, sistemul de operare avertizează utilizatorul sesiunii Pro/E că s-au obținut soluțiile (soluțiile). În acest caz, utilizatorul trebuie ca manual să încarce soluțiile provenite de la solvele C-MOLD sau ANSYS în post-procesorul lui Pro/E.

După cum se observă, rularea solverelor în regim off-line este mai puțin avantajoasă, deoarece un algoritm de global optimizare este fragmentat, fluxul datelor fiind întrerupt de operațiunea manuală a reîncărcării a datelor transmise de solvele spre Pro/E (numai direcția Pro/E → C-MOLD sau Pro/E → ANSYS realizându-se în mod automat).



Cea mai avantajoasă soluție o reprezintă rularea solverelor în regim on-line. Figura 83 prezintă abordarea sistemică în realizarea unei piese injectate din materiale polimerice, începând de la proiectarea reperului și până proiectarea tehnologiei și reglarea utilajului.

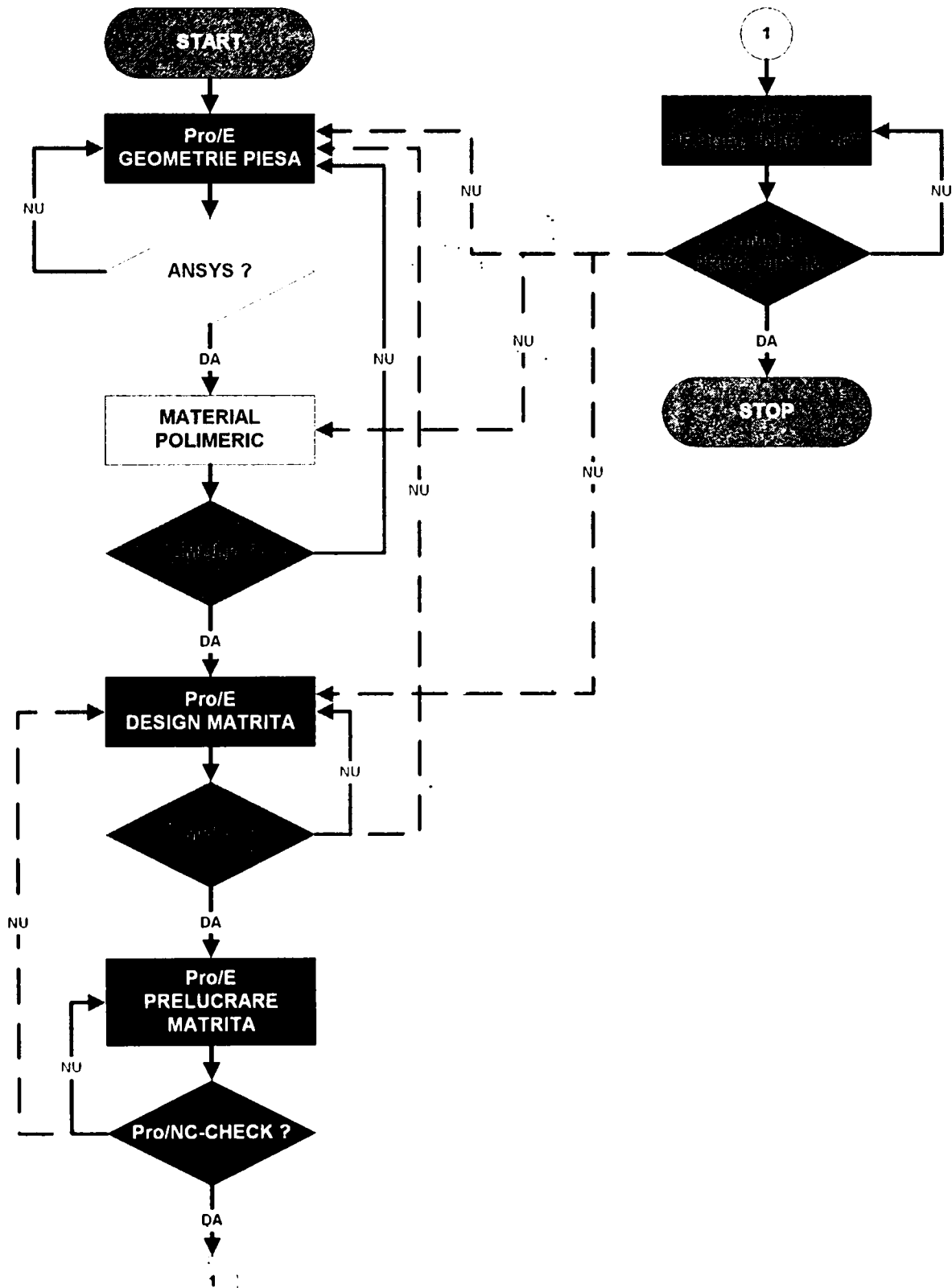


Figura 83

În această figură au fost simbolizate cu linii întrerupte buclele de feedback între etape ale algoritmului care nu sunt consecutive. Se presupune că la un



anumit grad de finețe al proiectării (care depinde foarte mult de inginerii implicați în acest proces), nu sunt necesare întoarceri cu un număr mare de pași. Este însă la latitudinea șefului de proiect să stabilească buclele de feedback ale algoritmului, astfel încât proiectul să tindă spre optimum.

Această figură nu își propune să prezinte în detaliu algoritmul de optimizare a proiectului unei piese injectate din materiale polimerice. Ea însă relevă însă cu argumente științifice și tehnice faptul că acest lucru devine acum posibil pentru întregul proiect, sub toate aspectele sale. Pentru a avea o comparație cât de sofisticat poate fi acest algoritm în ansamblu, se prezintă din literatura de specialitate procedura principală de construcție a matritelor de injectare. Figura 84 aparține lui Mengas Mohren.

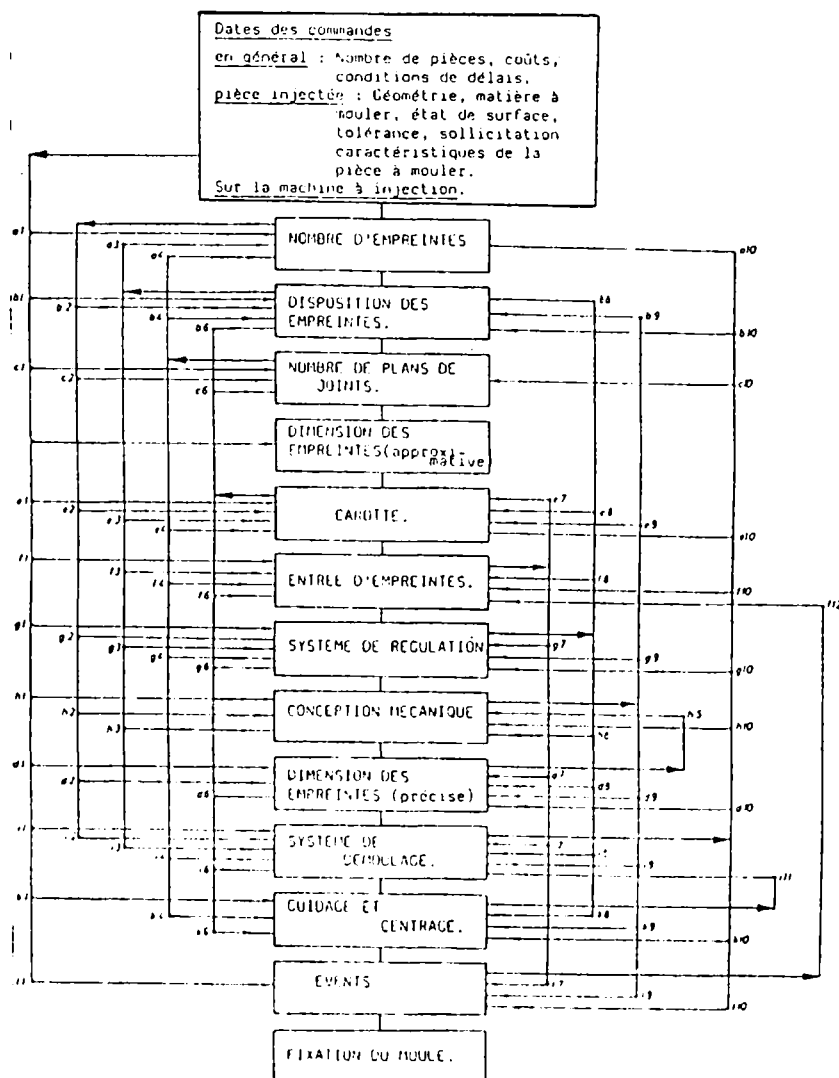


Figura 84

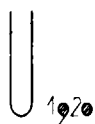


Figura 83 relevă facilitățile deosebit de importante introduse de aplicația software “*Managementul Aplicațiilor de Plasturgie*” (APPLAST) în optimizarea procesului de proiectare a unei piese injectate din materiale polimerice. Dacă privim acest proces ca pe unul parametric, atunci algoritmul de optimizare poate fi gândit ca unul global, care nu mai ține seama de faptul că trei pachete software diferite (ca baze de date, ca procese concurente etc.) participă la realizarea desigului piesei de injectat.

7.2. Aplicația software APPLAST – “Managementul Aplicațiilor de Plasturgie”

Aplicația APPLAST reprezintă platforma de proiectare care integrează cele trei programe majore (Pro/E, C-MOLD și ANSYS) utilizate în această cercetare. Figura 85 prezintă fereastra generică (sau “splash-ul”) acestei aplicații

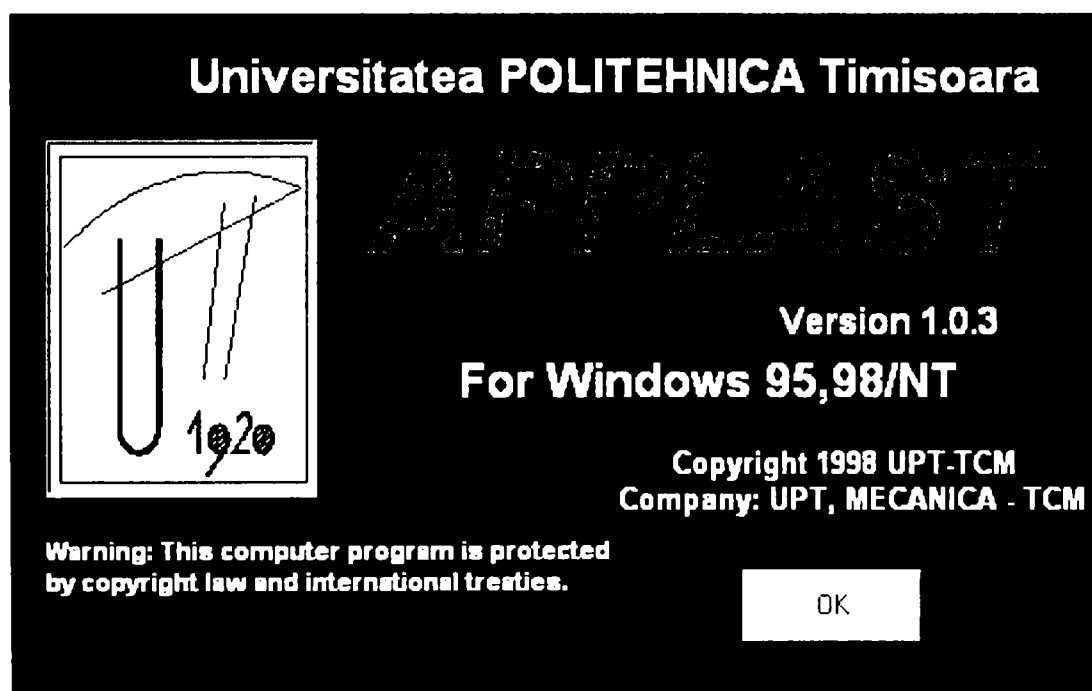


Figura 85

Odată lansată aplicația, programul afișează un mediu MDI (eng. Multiple Document Interface), caracteristic aplicațiilor Windows 95, 98 sau NT. În această lucrare se prezintă o soluție bazată pe sistemul de operare Windows[®] NT 4.0, dar principiul general de realizare este același și pentru platforme care utilizează alte sisteme de operare, cum ar fi diversele versiuni UNIX.

Figura 86 prezintă interfața programului APPLAST în versiunea Windows, utilizată pe calculatoare compatibile IBM-PC.

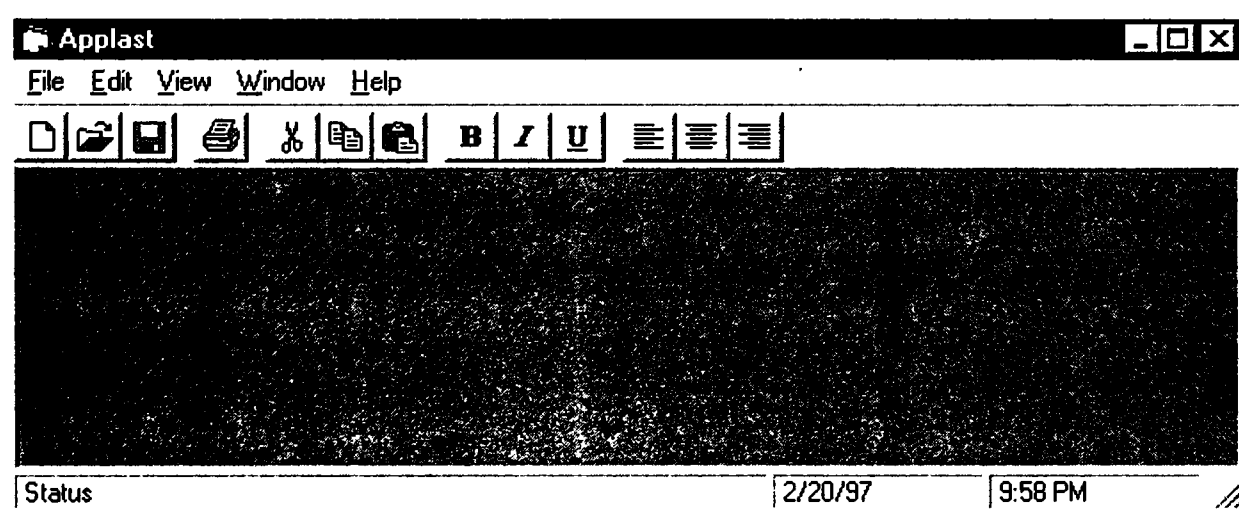
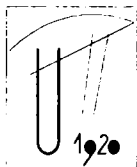


Figura 86

Meniul principal este unul clasic, cu care utilizatorii Windows s-au obișnuit, conținând opțiunile standard (*File, Edit, View, Window* și *Help*). Mai există o bară de unelte (*Tool Bar*) și o bară de status a aplicației (*Status Bar*), bare ce pot fi cuplate/decuplate din meniul *View*.

O deosebit de mare importanță o are meniul *View* cu submeniul *Options* din această aplicație. Cu ajutorul opțiunilor se setează modul de funcționare al aplicației APPLAST.

Figura 87 prezintă o fereastră caracteristică setării opțiunilor unei aplicații Windows. După cum se remarcă, trei sunt posibilele tabulatoare de setat:

- Conexiune
- Aplicații
- FEM Neutral.

Tabulatorul *Conexiune* stabilește tipul schimbului de date între aplicații. După cum se remarcă, sunt două tipuri de conexiuni care pot fi selectate:

- ON-LINE
- OFF-LINE.

Implicit tabulatorul *Conexiune* este setat pe tipul *ON-LINE*.

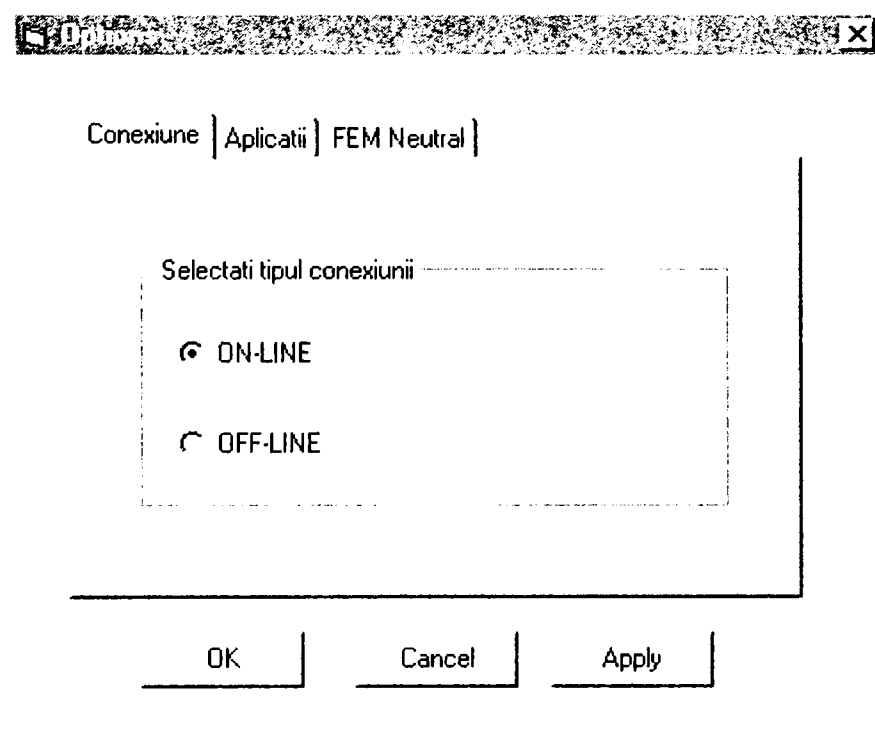
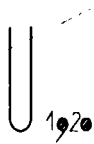


Figura 87

Tabulaturul *Aplicații* setează numărul de aplicații cuplate simultan. Figura 88 prezintă tabulaturul *Aplicații* din submeniul *Options*.

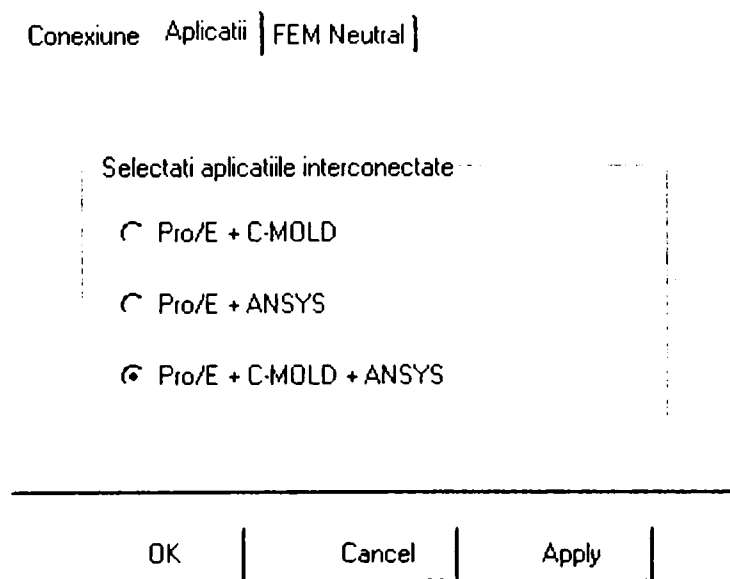


Figura 88

Se remarcă trei posibilități de interconectare a celor trei pachete software utilizate la proiectarea pieselor din materiale polimerice, piese realizate prin injectare. De precizat rămâne faptul că întotdeauna aplicația Pro/E trebuie să

fie cuplată, Pro/E fiind sistemul CAD/CAM/CAE major, în care se realizează de fapt cea mai mare parte din activitatea de proiectare. Cele trei opțiuni sunt:

- Pro/E + C-MOLD
- Pro/E + ANSYS
- Pro/E + C-MOLD + ANSYS.

Ultima opțiune este cuplată în mod implicit. Explicația de ce sunt cele trei posibilități la acest tabulator este una simplă: cu cât sunt mai multe aplicații interconectate, cu atât programul APPLAST rulează mai încet. Pentru un câștig semnificativ de viteză, se propune utilizatorului interconectarea a doar două aplicații – probabil că cei mai mulți utilizatori vor fi satisfăcuți de interconectarea Pro/E + C-MOLD, cu performanțe excelente în ceea ce privește viteza.

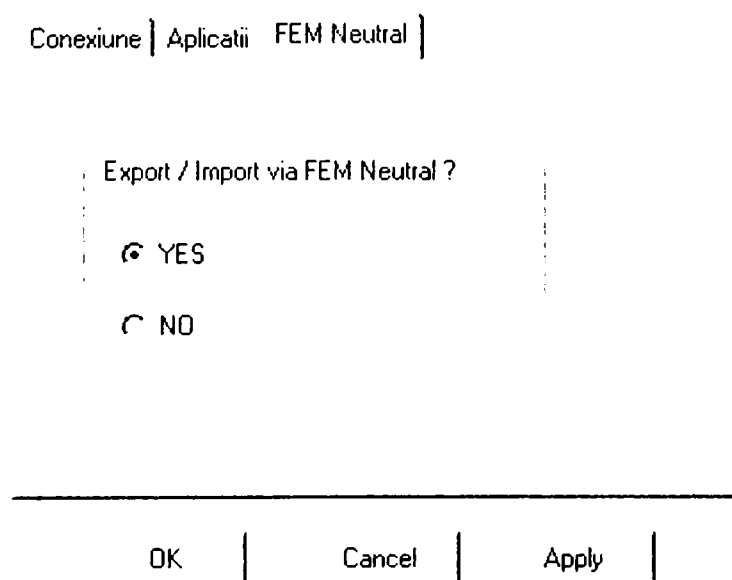
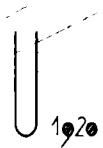


Figura 89

Figura 89 prezintă ultimul tabulator din submeniul *Options*, anume *FEM Neutral*. Acest tabulator stabilește tipul schimburilor de date între aplicațiile interconectate, știut fiind faptul că Pro/E are pentru fiecare dintre direcțiile ANSYS și C-MOLD o altă structură a fișierelor de export/import de date. Cele două opțiuni sunt:

- YES
- NO.

Implicit se propune utilizatorului ca schimbul de date să se facă cu ajutorul fișierelor tip *FEM Neutral*, opțiune care mărește viteza de execuție a aplicației



APPLAST, fără o alterare¹³ a datelor. Pentru o siguranță sporită a calculelor se poate renunța însă la această transmitere a datelor cu ajutorul fișierelor *FEM Neutral*.

După setarea opțiunilor de lucru, acestea pot fi salvate într-un fișier de configurare cu caracter permanent și vor fi considerate la următoarea rulare a aplicației drept condiții inițiale.

În mod uzual, aplicația APPLAST rulează în condiții minimizate pe bara se *START* a sistemului Windows; ea nu ocupă în mod inutil spațiu pe *Desktop*, spațiu atât de util celorlalte aplicații de proiectare.

7.3. Exemplu de utilizare

Ca exemplu de utilizare a aplicației APPLAST se prezintă reperul FAR 10 R al autoturismului DACIA NOVA. Reperul este produs al societății comerciale ELBA S.A. Figura 90 prezintă modelul 3D al acestui reper, vederea din față prezentată în *wireframe*.

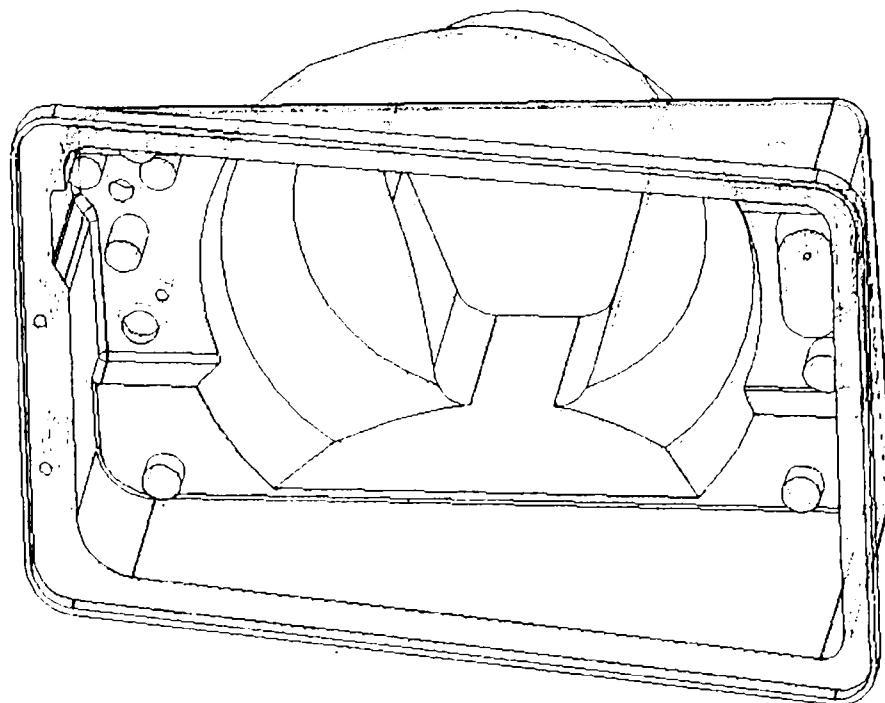


Figura 90

Figura 91 prezintă același reper, vederea din spate prezentată de asemenea în *wireframe*. Pentru o prezentare mai intuitivă, se prezintă reperul FAR 10 R și sub formă *shade*.

¹³ Cel puțin din testele de până acum autorul nu a observat pierderi de informații (ex. geometrie a piesei, puncte de injectare etc) la schimbul de date via FEM Neutral.

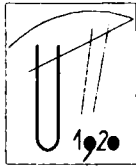


Figura 92 prezintă reperul FAR 10 R în shade, vederea din față.

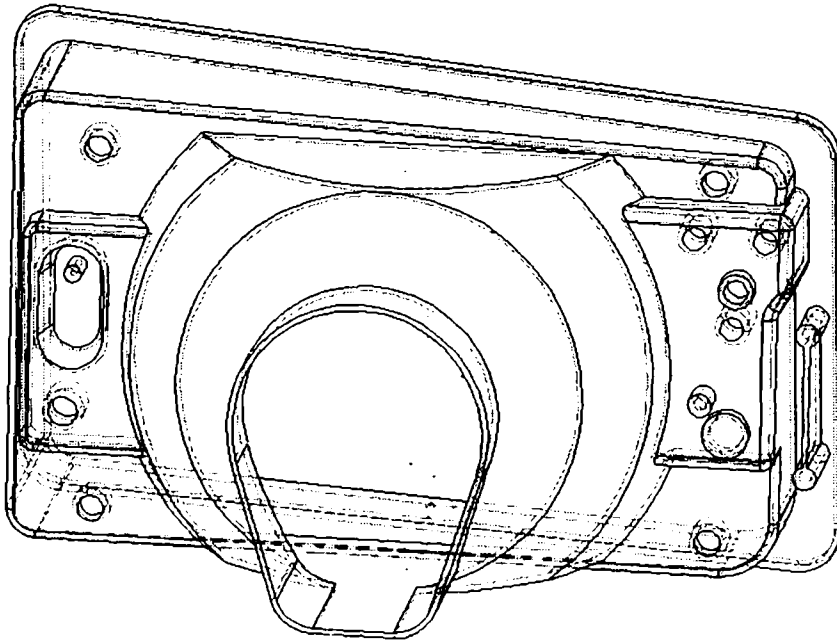


Figura 91

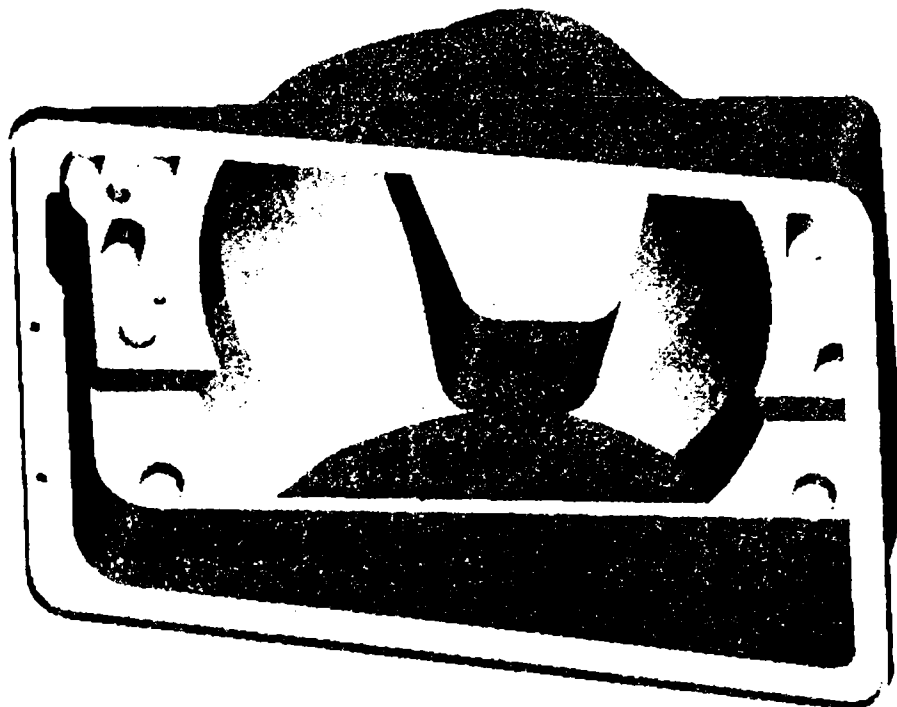


Figura 92

Figura 93 prezintă reperul FAR 10 R în shade, vederea din spate.

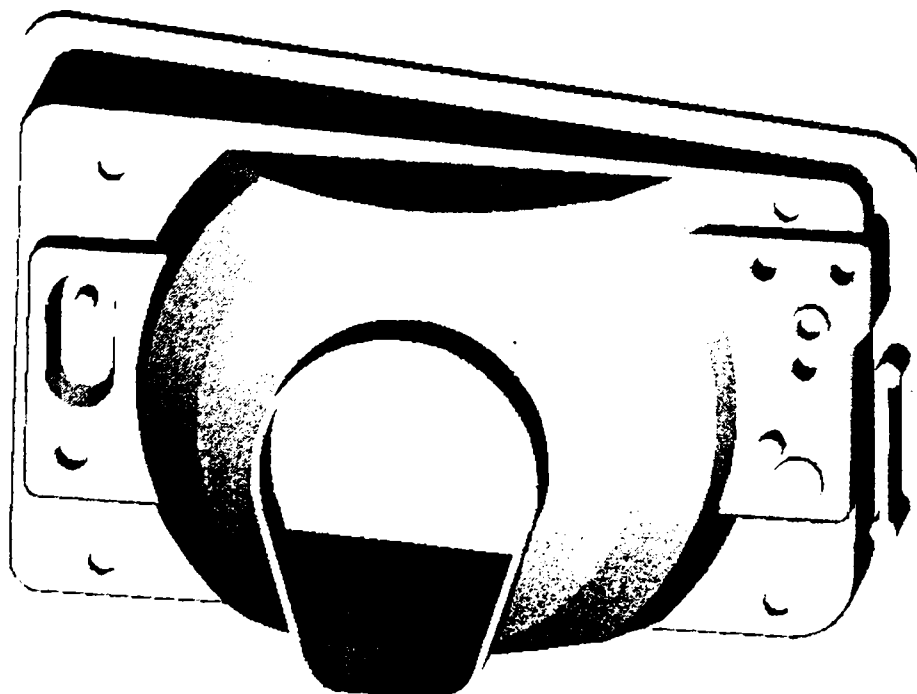


Figura 93

Reperul a fost modelat în Pro/E. În urma analizelor efectuate cu ANSYS s-a ajuns la perfecționări ale formei geometrice. Figura 94 prezintă discretizarea modelului în elemente finite tip *shell*, caracteristice analizelor la care este supus reperul. În urma discretizării reperului au rezultat 4.894 de elemente și 2.468 noduri.

Mai trebuie precizat că s-a construit un algoritm de discretizare a reperului, generarea automată a *mesh*-ului nefiind posibilă de realizat cu Pro/MESH.

Pentru comunicația de date între Pro/E, ANSYS și C-MOLD s-a utilizat fișiere tip *FEM Neutral*. În anexa 2 se prezintă o parte a fișierului "far.fem", deoarece fișierul ASCII are peste 200KB și ar necesita 148 de pagini.

Codul sursă al aplicației APPLAST este prezentat într-o anexă independentă, cu regim confidențial, pentru a asigura protejarea preliminară a drepturilor de autor și este destinat în exclusivitate referenților oficiali. În anexa 3 este prezentată coperta acestei anexe independente.

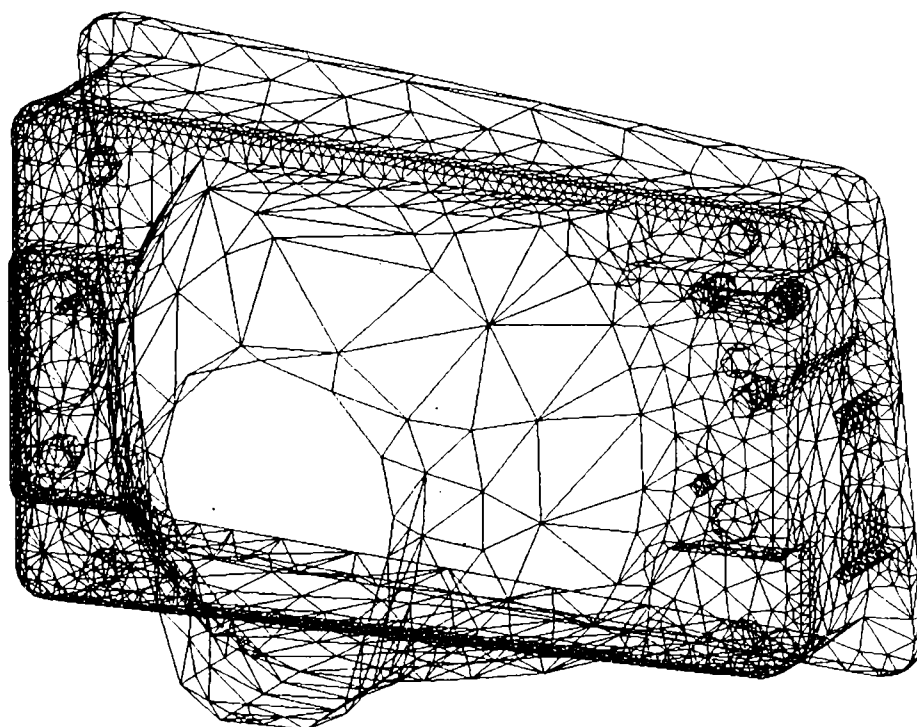


Figura 94

În acest stadiu al proiectării s-a apelat la apelat la programul C-MOLD, pentru diverse analize, cum ar fi:

- analiza frontului de curgere a materialului polimeric în matriță
- poziția pungilor de aer captiv în timpul injectării materialului
- poziția liniilor de sudură
- direcția orientării fibrajului
- viteza de injectare (viteza de avans a melcului)

Figura 95 prezintă frontul de curgere pentru cazul analizat.

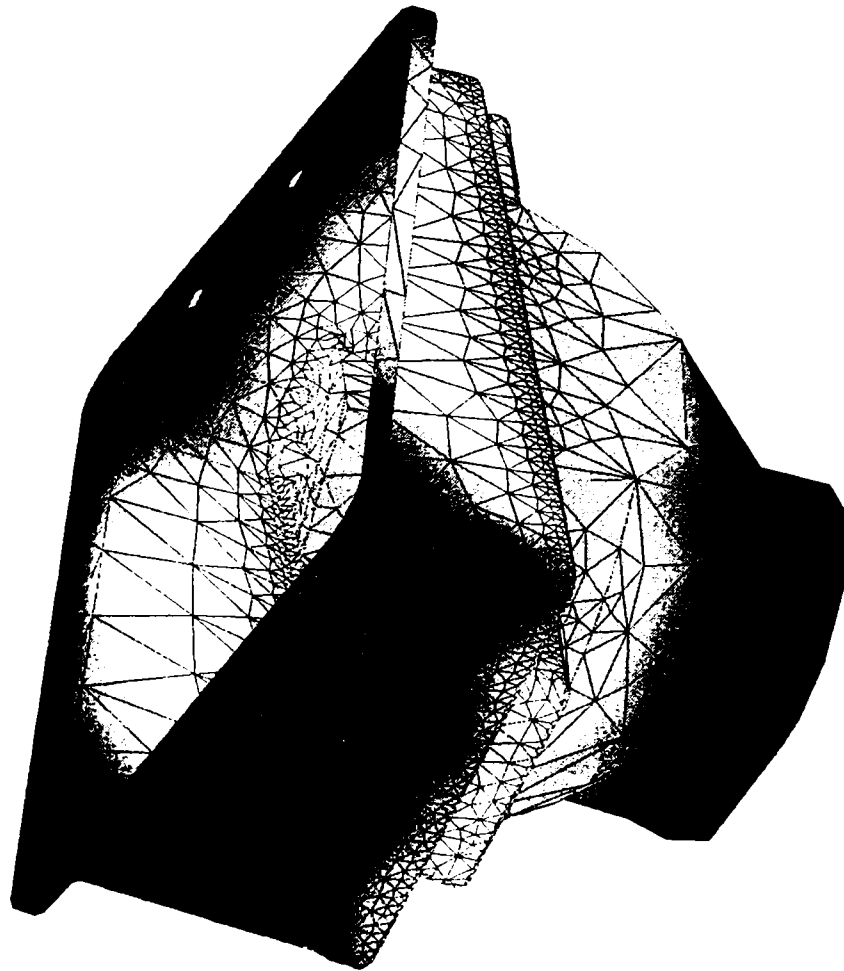
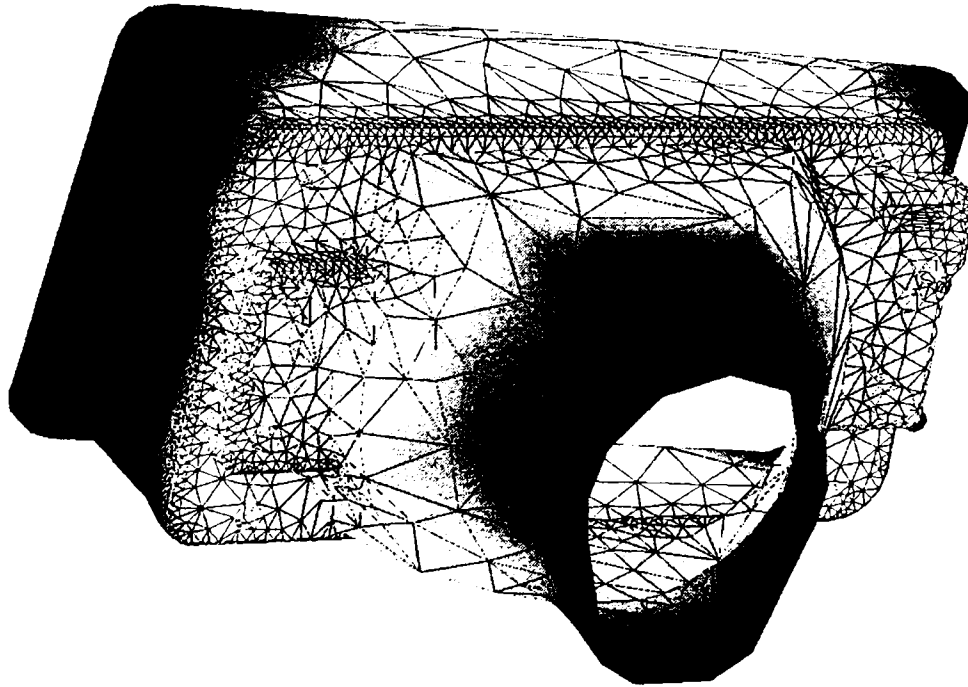


Figura 95

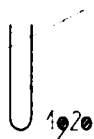
Pentru o mai bună percepție determinării poziției punctelor de injectare în cazul acestui reper se prezintă Figura 96, care prezintă aceeași analiză, dar în care reperul a fost orientat în altă poziție.

**Figura 96**

În urma optimizării proiectului reperului FAR 10 R se impun câteva scurte concluzii. Astfel economiile se pot grupa pe câteva capitole:

- **Matrița:**
 - numărul de modificări asupra matriței a scăzut.
- **Materialul:**
 - s-a redus greutatea piesei la 300g (cu aproximativ 6%)
 - s-a substituit materialul (din polipropilenă în ABS), costul reprezentând aproximativ 25%
- Reducerea duratei ciclului de injectare.
- **Calitatea piesei:**
 - eliminarea totală a bavurilor de pe reper
 - eliminarea urmelor liniilor de sudură
 - reducerea tensiunilor remanente din piesă.
- Reducerea duratei proiectării cu: (5 zile) x (8 ore) x (4 ingineri)
= 160 ore

În mod sintetic, aceste date au fost concentrate în Tabelul 5 și Tabelul 5 prezentate mai jos, după costuri fixe și variabile.



Tabelul 5

Costuri Fixe	US\$
Reducerea costurilor matriței printr-o nouă proiectare	5000
Reducerea costurilor matriței printr-un număr redus de modificări	6600
Economii la realizarea prototipului	7500
Total	19100

Tabelul 6

Costuri Variabile	US\$
Reducerea duratei ciclului de injectare	0,43 /reper
Economii datorate materialului	0,1 /reper
Scăderea numărului rebuturilor	0,02 /reper
Total	0,45 /reper

Dacă alăturăm la reducerea costurilor reperului (prezentată în cele două tabele) și importanța creșterii calității piesei, precum și scurtarea timpului de apariție pe piață a reperului, se relevă importanța introducerii acestei noi tehnologii de realizare prin injectare a pieselor din materiale polimerice.



8. Concluzii finale

8.1. Aprecieri de sinteză

Sub titulatura de "*Contribuții la dezvoltarea mediilor de proiectare asistată pentru realizarea produselor din materiale polimerice*", prezenta lucrare propune o metodologie unitară de abordare științifică și inginerescă a procesului de realizare prin injectare a reperelor din materiale polimerice, la costuri cât mai reduse, de calitate cât mai ridicată, într-un timp cât mai scurt și cu efort minim.

Adresabilitatea metodei și a lucrării în esență este atât către stadiile conceptuale cât și către cele postconceptuale. Lucrarea abordează rezolvarea corelării unor problematici care apar în ambele stadii, știut fiind faptul că în procesul de injectare a unei piese din materiale polimerice, sub aspect tehnic nu există o separație clară între fazele de proiectare și cele tehnologice.

Pentru atingerea dezideratelor prezentate mai sus, lucrarea propune:

- o structură metodologică de asistare a procesului de optimizare a proiectului unei piese injectate din materiale polimerice
- un studiu critic asupra a trei dintre cele mai performante sisteme CAD/CAM/CAE existente la ora actuală pe piață (Pro/E, ANSYS și C-MOLD)



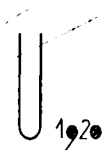
- studiul critic și al altor sisteme CAD/CAM/CAE existente pe piață, care oferă aproximativ aceleași soluții cu sistemele de la punctul precedent
- studiul materialelor polimerice cele mai des utilizate astăzi în industrie, precum și tehnologia de realizare a pieselor injectate
- studiul modulului unui sistem parametric CAD/CAM/CAE utilizat la analiza și designul procesului de injectare a pieselor din materiale polimerice
- exemplificarea capabilității modelului FEM al unei piese injectate și posibilități de import/export între sistemele CAD/CAM/CAE
- determinarea componentelor funcționale oferite de un sistem CAE dedicat injectării materialelor polimerice și a modulului general de interacțiune al acestuia cu alte sisteme CAD/CAM/CAE
- o aplicație software de management al activităților de plasturgie **APPLAST**, aplicație care să gestioneze cele trei pachete software de mare capacitate în domeniul proiectării procesului de plasturgie
- exemplificarea posibilităților aplicației APPLAST și a structurii unitare oferite de aceasta în domeniul proiectării procesului de plasturgie.

8.2. Concluzii privind gradul de atingere al obiectivului temei și de respectare a direcțiilor de cercetare propuse

Obiectivul propus prin această teză, acela de a crea premisele optimizării generale a sistemului de proiectare a pieselor din materiale polimerice, pornind de la utilizarea unor produse CAD/CAM/CAE existente pe piață, prin lărgirea și îmbunătățirea facilităților oferite de acestea, se poate considera atins, dacă se au în vedere următoarele argumente:

- s-a reușit structurarea și dezvoltarea unei metodologii unitare și coerente, care să ia în considerare atât aspectele de proiectare cât și cele tehnologice¹⁴
- s-a determinat modul în care diferite sisteme CAD/CAM/CAE pot face schimburi de date în regim on-line și off-line

¹⁴ Autorul – ca și mulți alți autori din acest domeniu – folosește pentru aceasta o relativ nouă noțiune: "proiect" și "managementul proiectului"



- s-a conceput și realizat o aplicație software numită APPLAST care să permită optimizarea proiectului de plasturgie, trecând prin toate cele trei pachete software CAD/CAM/CAE, produse ale unor firme diferite
- se poate aprecia că metodologia are un caracter de generalitate suficient de ridicat, astfel încât să fie independentă de platforma hardware, sistem de operare sau produsele CAD/CAM/CAE
- s-a realizat aplicarea cercetării în sfera industrială, prin cooperarea cu două mari societăți comerciale de nivel național, cu puternică orientare în plasturgie.

Respectarea direcției de cercetare definirea, sistematizarea și dezvoltarea unor elemente generale privind sistemele CAD/CAM/CAE utilizate la proiectarea pieselor din materiale polimerice se poate considera realizată datorită faptului că pe cuprinsul tezei se pot identifica și proba aceste elemente:

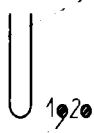
- la baza metodei stau un set de noțiuni definitorii identificate, selectate și parțial redefinite de către autor pentru a putea fi asociate corect și complet cu specificul sistemelor CAD/CAM/CAE actuale
- elementele operante sunt integrate în cadrul unor proceduri metodologice globale și unitare, dar care pot fi și modulate, după felul în care se face apel la unul sau altul dintre modulele pe care sistemele CAD/CAM/CAE actuale le dețin.

Respectarea direcției de cercetare structurarea procesului complex de realizare a pieselor injectate din materiale polimerice se poate considera realizată prin:

- structurarea tehnologiei de realizare a pieselor injectate din materiale polimerice
- accentul este pus pe utilizarea sistemelor CAD/CAM/CAE parametrice în tehnologia actuală de realizare a pieselor injectate din materiale polimerice

Respectarea direcției de cercetare aprofundarea conceptelor asociate modulului unui sistem parametric CAD/CAM/CAE utilizat la analiza și designul procesului de injectare a pieselor din materiale polimerice se poate considera realizată prin:

- conceptul de modul al unui sistem parametric CAD/CAM/CAE utilizat la analiza și designul procesului de injectare a pieselor din materiale polimerice este aprofundat începând cu



principalele abordări în literatura de specialitate, continuând cu sistematizarea, încadrarea metodologică și detalierea conceptului

- datorită faptului că în lucrare s-a utilizat cu preponderență pachetul software Pro/E, se aprofundează mai ales modulul Pro/MOLDESIGN al acestui sistem CAD/CAM/CAE utilizat cu succes în plasturgie.

Respectarea direcției de cercetare analiza definirii modulului FEM pentru piesele injectate, în cazul unui sistem CAD/CAM/CAE parametric se poate considera realizată prin:

- analiza definirii modulului FEM pentru piesele injectate, în cazul unui sistem CAD/CAM/CAE parametric este făcută într-o manieră originală, prin considerarea aspectelor de generalizare, lucru necesar ținând seama de marele număr de aplicații existente pe piață dedicate domeniului plasturgiei
- datorită faptului că în lucrare s-a utilizat cu preponderență pachetul software Pro/E, se aprofundează mai ales modulul Pro/MESH și Pro/FEM-POST al acestui sistem CAD/CAM/CAE utilizat cu succes în plasturgie. De asemenea se ține seama și de pachetele ANSYS, Moldflow și C-MOLD, mai ales în realizarea planului median.

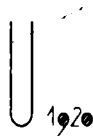
Respectarea direcției de cercetare structurarea metodelor de optimizare a proiectării produselor din materiale polimerice cu ajutorul sistemelor CAD/CAM/CAE parametrice se poate considera realizată prin:

- deteminarea posibilității de utilizare a sistemelor de inteligență artificială și a sistemelor expert în domeniul plasturgiei
- structurarea funcțiilor unui sistem CAE parametric și a metodei de interconectare a acestuia cu sistemul CAD/CAM – în speță Pro/E.

Respectarea direcției de cercetare dezvoltarea unui produs software care ofere posibilitatea optimizării generale a sistemului de proiectare a pieselor din materiale polimerice se poate considera realizată prin:

- concepția și realizarea aplicației software APPLAST, aplicație ce permite optimizarea proiectului de plasturgie, utilizând trei produse software majore în domeniul CAD/CAM/CAE, anume Pro/E, C-MOLD și ANSYS.

Respectarea direcției de cercetare testarea în practică metodologiei și a aplicației elaborate se poate considera realizată prin:



- aplicarea metodologiei dezvoltate și a programului APPLAST la optimizarea unui proiect de plasturgie (în lucrare s-a ales drept reper un far de automobil)
- prezentarea rezultatelor acestei optimizări.

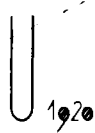
8.3. Concluzii privind contribuțiile științifice ale lucrării

Studiul sistemelor CAD/CAM/CAE reprezintă un domeniu privit de ingineri și cercetători cu deosebită atenție și – de ce nu? – pasiune.

Dezvoltarea fără precedent a acestor sisteme s-a făcut simțită în întreaga lume mai ales după anii '90. Piața produselor CAD/CAM/CAE dedicate plasturgiei a depășit 3 miliarde de dolari în 1998 și numărul celor implicați în cercetare-dezvoltare este de peste 10.000 de ingineri și programatori în întreaga lume. Mai trebuie ținut seama că această piață este într-o continuă creștere și dezvoltare, bazată pe dinamica industriei materialelor polimerice în general.

În acest peisaj, prezenta lucrare dorește să contribuie la progresul general în domeniul plasturgiei. Considerând modestia dotărilor universitare, precum și limitele resurselor actuale în achiziția de hardware și software performant, totuși, această lucrare aduce câteva contribuții la dezvoltarea mediilor de proiectare asistată pentru realizarea produselor din materiale polimerice:

- relevă importanța abordării aspectelor conceptuale și tehnologice în domeniul plasturgiei
- identifică un set de noțiuni și termeni care pot fi considerați definitorii pentru sistemele actuale CAD/CAM/CAE dedicate injectării pieselor din materiale polimerice
- fundamentează o metodologie de interconectare a unor soluții discrete ce țin de metodele de simulare actuale, oferind premisele de optimizare globală a proiectului cu ajutorul sistemelor CAD/CAM/CAE parametrice
- oferă premisele științifice pentru definirea unui model practic de rezolvare a problemelor de optimizare în domeniul realizării prin injectare a produselor din materiale polimerice
- evidențiază sistemic interdependența etapelor de realizare a unui produs în domeniul plasturgiei



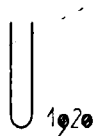
8.4. Concluzii privind contribuțiile lucrării în domeniul aplicativ

Înainte de a prezenta concluziile privind contribuțiile lucrării în domeniul aplicativ, menționăm faptul că această lucrare se bazează în mare măsură pe cele două contracte de cercetare pe care autorul le-a derulat pe parcursul a mai mulți ani (începând din 1995) cu societatea comercială FERONERIA S.A. din Arad. De asemenea, au mai existat cooperări aplicative și cu societatea comercială ELBA S.A. din Timișoara.

Se poate considera că rezultatele acestei cercetări au găsit o totală aplicare în sfera industrială, iar direcțiile cercetării au fost impuse de realitatea practică, prin aceasta bucla de feedback închizându-se deplin.

Acum, la capătul a mai multor ani de aplicații practice ale cercetării, se pot face următoarele aprecieri:

- aplicația APPLAST realizează integrarea sistemului CAD/CAM/CAE, oferind o abordare continuă, pe întregul parcurs, a proiectului
- aplicația APPLAST crează premisele de optimizare globală a proiectului, a întregului proces parametric de proiectare
- aplicația APPLAST reprezintă o platformă confortabilă și utilă, care nu reduce viteza de execuție a altor produse software de firmă
- aplicația APPLAST permite schimbul de date între diferite pachete software, produse ale unor firme diferite
- aplicația APPLAST este un mediu de lucru interactiv, prietenos și facil din punct de vedere al operării
- aplicația APPLAST prezintă o documentare interactivă (help la context)
- prin utilizarea aplicației APPLAST se reduce substanțial durata proiectării produsului (a se vedea rezultatele obținute)
- prin utilizarea aplicației APPLAST crește substanțial calitatea produsului (a se vedea rezultatele obținute)
- prin utilizarea aplicației APPLAST scad substanțial costurile de fabricație prin optimizarea reperului, optimizarea matriței, reducerea duratei ciclului de injectare, eliminarea rebuturilor și a greșelilor de proiectare (a se vedea rezultatele obținute)



- prin utilizarea aplicației APPLAST se deschide mai larg posibilitatea lucrului în echipă pentru ingineri cu specializări diferite.

8.5. Elemente de extindere a cercetării și dezvoltării

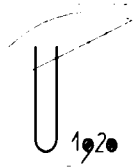
Așa cum s-a mai precizat, domeniul pasturgiei este unul foarte dinamic. În această problematică, lucrarea prezentă nu este decât un început. Nu se poate spune că cercetarea pe care autorul a realizat-o până acum are un punct final.

Pe de altă parte, dezvoltatorii aplicațiilor software pe care programul APPLAST le integrează (am numit aici producătorii produselor Pro/E, ANSYS, C-MOLD etc.) nu stau pe loc. Cu fiecare nouă versiune aceste produse devin tot mai performante și prin aceasta își schimbă caracteristicile. Deși este o practică curentă aceea de a păstra compatibilitatea cu vechile versiuni, se prea poate ca noile versiuni să producă mutații importante în viziunea pe care noi o avem astăzi despre plasturgie.

Nu ar fi de mirare dacă viitoare versiuni a acestor pachete profesionale vor cuprinde ca pe un modul propriu o aplicație similară cu acest program APPLAST. Pentru autor acest lucru ar însemna o mare satisfacție.

În plan concret, două direcții se remarcă în extinderea cercetării:

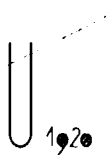
- pe timp scurt și mediu, "finisarea" programului, eliminarea "bug-urilor" care apar în exploatare și permanentul feedback cu industria
- pe timp lung, păstrarea pasului cu producători mondiali de produse software dedicate plasturgiei.



9. Anexe

9.1. Anexa 1

Polimerul :	Polioximetilena sau poliace- talul $(OCH_2)_n$
Simbol :	POM
Metoda de polimerizare :	Condensare
Gradul de cristalinitate :	75%
Modulul de elasticitate :	3500 MPa
Rezistența la tracțiune :	70 MPa
Alungire la rupere :	25...75%
Densitatea specifică :	1,42
Temperatura de vitrifiere :	-80° C
Temperatura de topire :	180° C
Volumul pe piață :	mult sub 1%
Observații:	Acetatul este numele polular pentru polioxime- tilena, polimer obținut prin prelucrarea form- aldehidei CH_2O , cu o bună rezistență mecanică



și la uzură. În plus, are un punct de topire ridicat, impermeabil și insolubil în solvenții comuni la temperatura ambientală. Datorită combinației acestor remarcabile proprietăți, materialul este folosit ca înlocuitor de succes al bronzului și zincului în industria automobilului, în feronerie (mânere de uși etc.), la carcasele pompelor și la alte aplicații industriale ori în industria bunurilor de consum.

Polimerul :	Polimetilmetacrilat ($C_2H_4O_2$) _n
Simbol :	PMMA
Metoda de polimerizare :	Adiție
Gradul de cristalinitate :	Nul (Amorf)
Modulul de elasticitate :	2800 MPa
Rezistența la tracțiune :	55 MPa
Alungire la rupere :	5%
Densitatea specifică :	1,2
Temperatura de vitrifiere :	105° C
Temperatura de topire :	200° C
Volumul pe piață :	aproximativ 1%
Observații:	Acrilii sunt polimeri derivați din acidul acrilic ($C_2H_4O_2$) și amestecuri provenite din acesta. Cel mai important polimer din această categorie este polimetilmetacrilatul (PMMA); Plexiglas-ul, produs al firmei Rohm & Haas este numele cel mai cunoscut. Proprietatea sa cea mai importantă este transparența, care îl face competitiv înlocuitor al sticlei. Exemple de utilizare: lentilele farurilor de automobil, instrumente optice, ferestrele avioanelor etc.
Polimerul :	Terpolimer acrilonitrilic (C_2H_3N), butadienă (C_4H_6) și stiren (C_8H_8)
Simbol :	ABS
Metoda de polimerizare :	Adiție
Gradul de cristalinitate :	Nul (Amorf)
Modulul de elasticitate :	2100 MPa
Rezistența la tracțiune :	50 MPa
Alungire la rupere :	10...30%
Densitatea specifică :	1,06
Temperatura de vitrifiere :	105° C



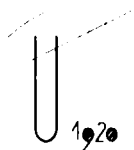
Temperatura de topire :	200° C
Volumul pe piață :	aproximativ 3%
Observații:	Acrlonitril-Butadien-Stiren (ABS-ul) se mai numește și materialul plastic al aplicațiilor ingineresti, datorită excelentei combinații de proprietăți mecanice. ABS-ul este teropolimer bifazic: o fază o reprezintă copolimerul stiren-acrlonitril și cealaltă este copolimerul stiren-butadienă. ABS-ul rezultă din copolimerizarea a trei monomeri: acrlonitril, butadienă și stiren. Variația proporțiilor din fiecare monomer conduce la obținerea unor tipuri de ABS cu diferite proprietăți. Aplicații tipice ale ABS-ului includ componente pentru automobile, aparate electromenajere, țevi și fittinguri.
Polimerul :	Acetatul de celuloză ($C_6H_9O_5-COCH_3)_n$
Simbol :	CA
Metoda de polimerizare :	Condensare
Gradul de cristalinitate :	Amorf
Modulul de elasticitate :	2800 MPa
Rezistența la tracțiune :	30 MPa
Alungire la rupere :	10...50%
Densitatea specifică :	1,3
Temperatura de vitrifiere :	105° C
Temperatura de topire :	306° C
Volumul pe piață :	sub 1%
Observații:	Celuloza ($C_6H_{10}O_5$) este un polimer carbohidratat, foarte des întâlnit în natură. Fiblele de lemn și bumbac conțin polimerul în proporție de 50%, respectiv 95%. Celuloza singură nu poate fi folosită ca material termoplastice, deoarece la încălzire se descompune înainte de punctul de topire. Celuloza se găsește ca amestec în mai multe materiale termoplastice de importanță comercială, ca de exemplu acetatul de celuloză (CA) și acetobutiratul de celuloză (CAB). Ca utilizare, de exemplu CA-ul se folosește în industria de automobile (volane, ornamente, butoane etc.), truse de scule (mânere de clește, mânere de surubelnițe), industria optică,



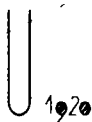
	industria de mobilă, articole de menaj, aparate electrice și electronice (carcase pentru televizoare și radio, telefoane) articole de birou (corpuri de pixuri, șabloane, liniare), articole cosmetice (mânere de perii, piepteni) jucării etc. Piesele injectate din acest material se prelucrează pin așchiere fără dificultate, se pretează la vopsire, imprimare, metalizare în vid etc. În utilizări similare se găsește și CAB-ul.
Polimerul :	Politetrafluoretilena (C₂F₄)
Simbol :	PTFE
Metoda de polimerizare :	Adiție
Gradul de cristalinitate :	Înalt cristalin, aproximativ 95%
Modulul de elasticitate :	425 MPa
Rezistența la tracțiune :	20 MPa
Alungire la rupere :	100...300%
Densitatea specifică :	2,2
Temperatura de vitrifiere :	127° C
Temperatura de topire :	327° C
Volumul pe piață :	sub 1%
Observații:	Politetrafluoretilena (PTFE) cunoscută și sub numele de Teflon reprezintă aproximativ 85% din familia polimerilor fluorați, în care atomii de F înlocuiesc atomii de H lanțul de hidrocarbon. Materialul prezintă rezistență ridicată la temperaturi înalte, păstrându-și proprietățile mecanice și electrice până la 260° C. are coeficient de frecare foarte scăzut. Se folosește la construcția de vehicule (garnituri), construcția de mașini (lagăre, inele piston), pompe cu roți dințate și centrifuge, electrotehnică (ștechere, socluri etc.).
Polimerul :	Nylon (PA) 6.6 [(CH ₂) ₆ (CONH) ₂ (CH ₂) ₄] _n
Simbol :	PA-6.6
Metoda de polimerizare :	Condensare
Gradul de cristalinitate :	Înalt cristalin
Modulul de elasticitate :	700 MPa
Rezistența la tracțiune :	70 MPa
Alungire la rupere :	300%



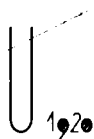
Densitatea specifică :	1,14
Temperatura de vitrifiere :	50° C
Temperatura de topire :	260° C
Volumul pe piață :	1% pentru toate poliamidele
Observații:	Sunt polimeri importanți, ce rezultă din policondensarea aminelor, în general dinamice cu acizi, sau din polymerizarea acizilor aminici. Cel mai important membru al familiei PA este nylonul. Există mai multe tipuri de poliamide. Clasificarea uzuală a poliamidelor este cea numerică, bazată pe indicarea numărului de atomi de carbon din amina respectivă, urmată de numărul de atomi de carbon din acid. Cele mai cunoscute poliamide sunt: poliamida 6 (PA 6), PA 6.6, PA 6.10, PA 7, PA 9, PA 11 și PA 12. Nylonul 6.6 a fost realizat la Du Pont în anii 1930. Proprietățile nylonului 6, realizat în Germania sunt similare. În general, nylonul este rezistent, cu bună elasticitate, rezistent la uzură, și autolubrifiant. Păstrează proprietăți mecanice bune până la temperatura de 125° C. Un dezavantaj îl reprezintă faptul că absoarbe apa și se degradează. Aplicațiile ingineresti ale acestui material sunt: înlocuirea metalelor în lagăre, roți dințate etc.
Polimerul :	Policarbonat $(C_3H_6(C_6H_4)_2CO_3)_n$
Simbol :	PC
Metoda de polymerizare :	Condensare
Gradul de cristalinitate :	Amorf
Modulul de elasticitate :	2500 MPa
Rezistența la tracțiune :	65 MPa
Alungire la rupere :	110%
Densitatea specifică :	1,2
Temperatura de vitrifiere :	150° C
Temperatura de topire :	230° C
Volumul pe piață :	sub 1%
Observații:	Policarbonații (PC) sunt polimeri termoplastici cu structură amorfă și se remarcă printr-o serie de proprietăți ce depind de masa moleculară și de natura componentelor. În general, ei au excelente proprietăți mecanice, sunt transparentți și



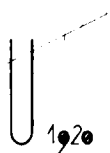
	rezistenți la foc. Sunt folosiți de exemplu la piese injectate pentru industrie (rotoare de pompe, căști de protecție etc.
Polimerul :	Polietilentereftalat $(C_2H_4-C_8H_4O_4)_n$
Simbol :	PET
Metoda de polimerizare :	Condensare
Gradul de cristalinitate :	Amorf până la 30% cristalinitate
Modulul de elasticitate :	2300 MPa
Rezistența la tracțiune :	55 MPa
Alungire la rupere :	200%
Densitatea specifică :	1,3
Temperatura de vitrifiere :	70° C
Temperatura de topire :	256° C
Volumul pe piață :	aproximativ 2%
Observații:	Poliesteri teroplastici formează o familie de polimeri care conține grupa estică (CO-O). Materialul polietilentereftalat (PET) poate fi amorf sau cu cristalinitate diferită (până la 30%), în funcție de care variază și anumite proprietăți mecanice. Ca exemple de utilizare se folosește în industria electronică și electrotehnică (ștechere, carcase, comutatoare, piese pentru taste de telefoane sau calculatoare) în industria de aparate electrocasnice (carcase, capace, mânere), în industria automobilului (capace de distribuție, carcase, bobine, manivele, ferestre), piese cu destinație diversă (bucșe și role de alunecare, roți dințate, piese pentru pompe de vid), ambalaje alimentare etc. De asemenea, se folosește la fiole de îmbuteliere suflate, filme fotografice sau benzi magnetice.
Polimerul :	Polietilenă $(C_2H_4)_n$
Simbol :	LDPE
Metoda de polimerizare :	Adiție
Gradul de cristalinitate :	55%
Modulul de elasticitate :	150 MPa
Rezistența la tracțiune :	15 MPa
Alungire la rupere :	100%... 500%
Densitatea specifică :	0,92
Temperatura de vitrifiere :	-100° C



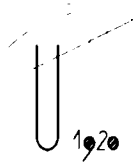
Temperatura de topire :	115° C
Volumul pe piață :	aproximativ 20%
Polimerul :	Polietilenă (C ₂ H ₄) _n
Simbol :	HDPE
Metoda de polimerizare :	Adiție
Gradul de cristalinitate :	92%
Modulul de elasticitate :	700 MPa
Rezistența la tracțiune :	30 MPa
Alungire la rupere :	20%... 100%
Densitatea specifică :	0,96
Temperatura de vitrifiere :	-115° C
Temperatura de topire :	135° C
Volumul pe piață :	aproximativ 15%
Observații:	<p>Polietilenele (PE) sunt polimeri termoplastici rezultați din polimerizarea monomerului etilenă. Structura moleculară este liniară, cu un număr mai mic sau mai mare de ramificații. PE a fost sintetizată prima oară în 1930, iar astăzi reprezintă cel mai des utilizat material plastic (ca producție volumică). Caracteristicile PE o fac atractivă pentru activitățile ingineresti: preț de cost scăzut, inerție chimică și procesare ușoară. Polietilenele fabricate prin diverse tehnologii se deosebesc prin valorile unor caracteristici ca: masă moleculară, grad de ramificare, cristalinitate, densitate, proprietăți mecanice, proprietăți termice etc. După modul de obținere, polietilenele se împart în: polietilene de joasă densitate și polietilene de înaltă densitate. Polietilena de joasă densitate (LDPE) are un grad de cristalinitate cuprins între 40% și 50%. Polietilena de înaltă densitate (HDPE) are o structură mai liniară, cu un grad mai mare de cristalinitate și densitate. Aplicațiile tipice LDPE sunt folii, filme și izolația firelor. Aplicațiile tipice HDPE sunt construcții civile și industriale (armături, robinete etc.), jucării, articole de uz casnic (castroane, cutii de alimente etc.), ambalaje (containere, recipiente etc.), aparate medicale, articole tehnice etc.</p>
Polimerul :	Polipropilenă (C ₃ H ₆) _n



Simbol :	PP
Metoda de polimerizare :	Adiție
Gradul de cristalinitate :	înalț, dar variază cu procesarea
Modulul de elasticitate :	1400 MPa
Rezistența la tracțiune :	35 MPa
Alungire la rupere :	10%...500%, depinzând de aditivi
Densitatea specifică :	0,9
Temperatura de vitrifiere :	-20° C
Temperatura de topire :	176° C
Volumul pe piață :	aproximativ 13%
Observații:	<p>Polipropilena (PP) a devenit un material termoplastice de importanță majoră – mai ales pentru procedeul de punere în formă prin injectare – încă de la producerea sa la sfârșitul anilor '50. Cel mai răspândit procedeu industrial de fabricare al polipropilenei este acela prin care se obține un polimer izotactic cu grad înalt de cristalinitate. Frațiunile amorse rezultate din proces în cantitate mai mică sunt eliminate prin solubilizare în diferiți solvenți. Tipurile de polipropilenă se clasifică în funcție de construcția chimică, destinație, indice de fluiditate și aditivii din compoziție. PP este cel mai ușor dintre materialele plastice și are coeficientul rezistență mecanică/greutate cel mai ridicat. PP este frecvent comparată cu HDPE, datorită costului și a proprietăților fizice similare. Ca exemple de utilizare se remarcă în articole de uz casnic (pahare, castroane, recipiente), jucării, industria electrotehnică și electronică, tehnica medicală, articole de cosmetică etc. O aplicație specială a PP este dată pieselor care trebuie să reziste la un ciclu mare de flexări fără rupere. Obiectele injectate se pot folosi în absența solicitărilor mecanice până la temperatura de 130°...140° C.</p>
Polimerul :	Polistiren (C ₈ H ₈) _n
Simbol :	PS
Metoda de polimerizare :	Adiție
Gradul de cristalinitate :	Nul (Amorf)
Modulul de elasticitate :	3200 MPa
Rezistența la tracțiune :	50 MPa



Alungire la rupere :	1%
Densitatea specifică :	1,05
Temperatura de vitrifiere :	100° C
Temperatura de topire :	240° C
Volumul pe piață :	10%
Observații:	Există câțiva polimeri, copolimeri și teropolimeri bazați pe monomerul stiren (C_8H_8). În funcție de destinație și de tehnologia de prelucrare în produse finite, polimerului pur obținut prin sinteză i se adaugă diverși aditivi (antioxidanți, lubrifianți, coloranți etc.) care pot influența proprietățile produsului. PS-ul este un polimer liniar, cu o structură amorfă remarcabilă pentru strălucirea sa. PS-ul este transparent, ușor de colorat și de injectat, dar se degradează la temperaturi înalte și se dizolvă în diverși solvenți. Din grupa polistirenului și a copolimerilor pentru injectare se folosesc: polistirenul de uz general, polistirenul rezistent la șoc, copolimerul stiren-acrilonitril, copolimerul acrilonitril-butadien-stiren. Datorită strălucirii sale, anumiți PS conțin între 5% și 15% cauciuc și se numesc polistireni de înalt impact (HIPS). Ca exemple de utilizare remarcăm elemente și piese izolatoare din industria electrotehnică și telecomunicații, articole de uz casnic, jucării, articole de scris etc.
Polimerul :	Policlorura de vinil (C_2H_3Cl)_n
Simbol :	PVC
Metoda de polimerizare :	Adiție
Gradul de cristalinitate :	Nul, (structură amorfă)
Modulul de elasticitate :	2800 MPa
Rezistența la tracțiune :	40 MPa
Alungire la rupere :	2% fără plastifianți
Densitatea specifică :	1,4
Temperatura de vitrifiere :	81° C
Temperatura de topire :	212° C
Volumul pe piață :	aproximativ 16%
Observații:	Policlorura de vinil (PVC) este un material termoplastic foarte răspândit, ale cărui proprietăți variază foarte mult în funcție de combinația



aditivilor cu polimerul. În funcție de sistemul de polimerizare se deosebesc tipurile de PVC: emulsie, suspensie în masă și special. Policlorurii de vinil i se adaugă, în vederea îmbunătățirii prelucrabilității și a creșterilor caracteristicilor sale, diferiți aditivi, plastifianți, lubrifianți, coloranți, materiale de umplură etc. În funcție de plastifiantele adăugați, policlorura de vinil variază de la PVC-ul rigid până la PVC-ul flexibil (cu o mare proporție de plastifianți). Variația proprietăților caracteristice PVC-ului îl fac un polimer foarte versatil, cu aplicații care includ țevi rigide (utilizate în construcții, armături, sisteme de canalizări și irigații), fittinguri, izolația cablurilor, piese componente pentru pompele care lucrează în condiții de coroziune, uz casnic etc. PVC este unul dintre cele mai rezistente materiale la intemperii; totuși, în timpul utilizării apare o degradare fotooxidativă.

9.2. Anexa 2

```
#PTC_FEM_NEUT_3
#DATE_06-Jul-98_13:57:51

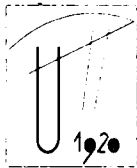
*START_SECT : HEADER
*TITLE : FAR
*STATISTICS : 1_0_1_1_2468_4894
*END_SECT

*START_SECT : ELEM_TYPES
/ELEM_TYPE_1_DEF : SHELL_TRIANGLE_LINEAR_3_3_2
/ELEM_TYPE_1_EDGE : 1_1_2
/ELEM_TYPE_1_EDGE : 2_2_3
/ELEM_TYPE_1_EDGE : 3_1_3
/ELEM_TYPE_1_FACE : 1_1_2_3
/ELEM_TYPE_1_FACE : 2_1_3_2
*END_SECT

*START_SECT : MATERIALS
/MATERIAL_1_DEF : Polipropilena_ISOTROPIC
*END_SECT

*START_SECT : PROPERTIES
/ELEM_PROP_1_DEF : 1
/ELEM_PROP_1_THICKNESS : 2_0
*END_SECT

*START_SECT : MESH
/NODE_1_DEF : 44_0.00000000
```

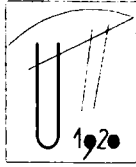


```
%NODE 2 DEF : 42.0057 -13.0966 0
%NODE 3 DEF : -44 -0.00402713 0
%NODE 4 DEF : 42.0057 -13.0966 25.362
%NODE 5 DEF : -42.0057 -13.0966 25.362
%NODE 6 DEF : 1.24641e-014 44 0
%NODE 7 DEF : -42.0057 -13.0966 0
%NODE 8 DEF : 42.0057 -13.0966 12.681
%NODE 9 DEF : -43.7368 4.80524 25.362
%NODE 10 DEF : -37.531 22.9657 25.362
...
-----
```

```
%ELEM 4893 DEF : 1 1 1 2461 2466 2465
%ELEM 4894 DEF : 1 1 1 2461 2460 2466
%END_SECT
```

```
%START_SECT : MESH_TOPOLOGY
%EDGE 1 DEF : 7
%EDGE 1 NODES : 2324 2458 2459 2460 2461 2462 1611
%EDGE 2 DEF : 2
%EDGE 2 NODES : 1 2
%EDGE 3 DEF : 3
%EDGE 3 NODES : 2 8 4
%EDGE 4 DEF : 8
%EDGE 4 NODES : 5 9 10 11 12 13 14 4
%EDGE 5 DEF : 3
%EDGE 5 NODES : 7 15 5
%EDGE 6 DEF : 4
%EDGE 6 NODES : 6 16 17 1
%EDGE 7 DEF : 4
%EDGE 7 NODES : 3 18 19 6
%EDGE 8 DEF : 2
%EDGE 8 NODES : 7 3
%EDGE 9 DEF : 11
%EDGE 9 NODES : 22 42 43 44 45 46 47 48 49 50 23
%EDGE 10 DEF : 2
%EDGE 10 NODES : 24 23
...
-----
```

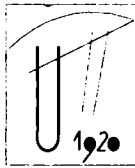
```
%EDGE 301 NODES : 1760 2353
%EDGE 302 DEF : 10
%EDGE 302 NODES : 2387 2394 2395 2396 2397 2398 2399 2400 2401 1604
%EDGE 303 DEF : 8
%EDGE 303 NODES : 2388 2402 2403 2404 2405 2406 2407 2387
%EDGE 304 DEF : 7
%EDGE 304 NODES : 2388 2389 2390 2391 2392 2393 1612
%SURFACE 2 DEF : 12
%SURFACE 2 FACES : 4883 1 4884 1 4885 1 4886 1 4887 1 4888 1 4889 1 4890 1 \
4891 1 4892 1 4893 1 4894 1
%SURFACE 3 DEF : 18
%SURFACE 3 FACES : 4850 1 4851 1 4852 1 4853 1 4854 1 4855 1 4856 1 4857 1 \
4858 1 4859 1 4860 1 4861 1 4862 1 4863 1 4864 1 4865 1 4866 1 4867 1
%SURFACE 4 DEF : 12
%SURFACE 4 FACES : 4820 1 4821 1 4822 1 4823 1 4824 1 4825 1 4826 1 4827 1 \
4828 1 4829 1 4830 1 4831 1
%SURFACE 5 DEF : 12
%SURFACE 5 FACES : 4793 1 4794 1 4795 1 4796 1 4797 1 4798 1 4799 1 4800 1 \
4801 1 4802 1 4803 1 4804 1
%SURFACE 6 DEF : 10
%SURFACE 6 FACES : 2447 1 2448 1 2449 1 2450 1 2451 1 2452 1 2453 1 2454 1 \
2455 1 2456 1
%SURFACE 7 DEF : 21
%SURFACE 7 FACES : 1 1 2 1 3 1 4 1 5 1 6 1 7 1 8 1 9 1 10 1 11 1 12 1 13 1 14 \
1 15 1 16 1 17 1 18 1 19 1 20 1 21 1
```

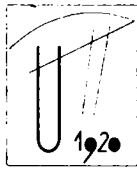
Universitatea Politehnica Timișoara
Facultatea de Mecanică – Catedra TCM

CONTRIBUȚII LA DEZVOLTAREA MEDIILOR DE PROIECTARE ASISTATĂ PENTRU REALIZAREA
PRODUSELOR DIN MATERIALE POLIMERICE

```
%SURFACE 8 DEF : 156
%SURFACE 8 FACES : 22 1 23 1 24 1 25 1 26 1 27 1 28 1 29 1 30 1 31 1 32 1 33 \
  1 34 1 35 1 36 1 37 1 38 1 39 1 40 1 41 1 42 1 43 1 44 1 45 1 46 1 47 1 48 1 \
  49 1 50 1 51 1 52 1 53 1 54 1 55 1 56 1 57 1 58 1 59 1 60 1 61 1 62 1 63 1 \
  64 1 65 1 66 1 67 1 68 1 69 1 70 1 71 1 72 1 73 1 74 1 75 1 76 1 77 1 78 1 \
  79 1 80 1 81 1 82 1 83 1 84 1 85 1 86 1 87 1 88 1 89 1 90 1 91 1 92 1 93 1 \
  94 1 95 1 96 1 97 1 98 1 99 1 100 1 101 1 102 1 103 1 104 1 105 1 106 1 107 \
  1 108 1 109 1 110 1 111 1 112 1 113 1 114 1 115 1 116 1 117 1 118 1 119 1 \
  120 1 121 1 122 1 123 1 124 1 125 1 126 1 127 1 128 1 129 1 130 1 131 1 132 \
  1 133 1 134 1 135 1 136 1 137 1 138 1 139 1 140 1 141 1 142 1 143 1 144 1 \
  145 1 146 1 147 1 148 1 149 1 150 1 151 1 152 1 153 1 154 1 155 1 156 1 157 \
  1 158 1 159 1 160 1 161 1 162 1 163 1 164 1 165 1 166 1 167 1 168 1 169 1 \
  170 1 171 1 172 1 173 1 174 1 175 1 176 1 177 1
%SURFACE 9 DEF : 67
%SURFACE 9 FACES : 178 1 179 1 180 1 181 1 182 1 183 1 184 1 185 1 186 1 187 \
  1 188 1 189 1 190 1 191 1 192 1 193 1 194 1 195 1 196 1 197 1 198 1 199 1 \
  200 1 201 1 202 1 203 1 204 1 205 1 206 1 207 1 208 1 209 1 210 1 211 1 212 \
  1 213 1 214 1 215 1 216 1 217 1 218 1 219 1 220 1 221 1 222 1 223 1 224 1 \
  225 1 226 1 227 1 228 1 229 1 230 1 231 1 232 1 233 1 234 1 235 1 236 1 237 \
  1 238 1 239 1 240 1 241 1 242 1 243 1 244 1
%SURFACE 10 DEF : 43
%SURFACE 10 FACES : 245 1 246 1 247 1 248 1 249 1 250 1 251 1 252 1 253 1 254 \
  1 255 1 256 1 257 1 258 1 259 1 260 1 261 1 262 1 263 1 264 1 265 1 266 1 \
  267 1 268 1 269 1 270 1 271 1 272 1 273 1 274 1 275 1 276 1 277 1 278 1 279 \
  1 280 1 281 1 282 1 283 1 284 1 285 1 286 1 287 1
%SURFACE 11 DEF : 172
%SURFACE 11 FACES : 288 1 289 1 290 1 291 1 292 1 293 1 294 1 295 1 296 1 297 \
  1 298 1 299 1 300 1 301 1 302 1 303 1 304 1 305 1 306 1 307 1 308 1 309 1 \
  310 1 311 1 312 1 313 1 314 1 315 1 316 1 317 1 318 1 319 1 320 1 321 1 322 \
  1 323 1 324 1 325 1 326 1 327 1 328 1 329 1 330 1 331 1 332 1 333 1 334 1 \
  335 1 336 1 337 1 338 1 339 1 340 1 341 1 342 1 343 1 344 1 345 1 346 1 347 \
  1 348 1 349 1 350 1 351 1 352 1 353 1 354 1 355 1 356 1 357 1 358 1 359 1 \
  360 1 361 1 362 1 363 1 364 1 365 1 366 1 367 1 368 1 369 1 370 1 371 1 372 \
  1 373 1 374 1 375 1 376 1 377 1 378 1 379 1 380 1 381 1 382 1 383 1 384 1 \
  385 1 386 1 387 1 388 1 389 1 390 1 391 1 392 1 393 1 394 1 395 1 396 1 397 \
  1 398 1 399 1 400 1 401 1 402 1 403 1 404 1 405 1 406 1 407 1 408 1 409 1 \
  410 1 411 1 412 1 413 1 414 1 415 1 416 1 417 1 418 1 419 1 420 1 421 1 422 \
  1 423 1 424 1 425 1 426 1 427 1 428 1 429 1 430 1 431 1 432 1 433 1 434 1 \
  435 1 436 1 437 1 438 1 439 1 440 1 441 1 442 1 443 1 444 1 445 1 446 1 447 \
  1 448 1 449 1 450 1 451 1 452 1 453 1 454 1 455 1 456 1 457 1 458 1 459 1
%SURFACE 12 DEF : 92
%SURFACE 12 FACES : 460 1 461 1 462 1 463 1 464 1 465 1 466 1 467 1 468 1 469 \
  1 470 1 471 1 472 1 473 1 474 1 475 1 476 1 477 1 478 1 479 1 480 1 481 1 \
  482 1 483 1 484 1 485 1 486 1 487 1 488 1 489 1 490 1 491 1 492 1 493 1 494 \
  1 495 1 496 1 497 1 498 1 499 1 500 1 501 1 502 1 503 1 504 1 505 1 506 1 \
  507 1 508 1 509 1 510 1 511 1 512 1 513 1 514 1 515 1 516 1 517 1 518 1 519 \
  1 520 1 521 1 522 1 523 1 524 1 525 1 526 1 527 1 528 1 529 1 530 1 531 1 \
  532 1 533 1 534 1 535 1 536 1 537 1 538 1 539 1 540 1 541 1 542 1 543 1 544 \
  1 545 1 546 1 547 1 548 1 549 1 550 1 551 1
%SURFACE 13 DEF : 12
%SURFACE 13 FACES : 552 1 553 1 554 1 555 1 556 1 557 1 558 1 559 1 560 1 561 \
  1 562 1 563 1
%SURFACE 14 DEF : 16
%SURFACE 14 FACES : 564 1 565 1 566 1 567 1 568 1 569 1 570 1 571 1 572 1 573 \
  1 574 1 575 1 576 1 577 1 578 1 579 1
%SURFACE 15 DEF : 13
%SURFACE 15 FACES : 580 1 581 1 582 1 583 1 584 1 585 1 586 1 587 1 588 1 589 \
  1 590 1 591 1 592 1
%SURFACE 16 DEF : 14
%SURFACE 16 FACES : 593 1 594 1 595 1 596 1 597 1 598 1 599 1 600 1 601 1 602 \
  1 603 1 604 1 605 1 606 1
%SURFACE 17 DEF : 218
%SURFACE 17 FACES : 607 1 608 1 609 1 610 1 611 1 612 1 613 1 614 1 615 1 616 \
  1 617 1 618 1 619 1 620 1 621 1 622 1 623 1 624 1 625 1 626 1 627 1 628 1 \
  629 1 630 1 631 1 632 1 633 1 634 1 635 1 636 1 637 1 638 1 639 1 640 1 641 \
  1 642 1 643 1 644 1 645 1 646 1 647 1 648 1 649 1 650 1 651 1 652 1 653 1 \
```

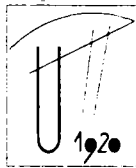
```
654 1 655 1 656 1 657 1 658 1 659 1 660 1 661 1 662 1 663 1 664 1 665 1 666 1 \
1 667 1 668 1 669 1 670 1 671 1 672 1 673 1 674 1 675 1 676 1 677 1 678 1 679 1 \
679 1 680 1 681 1 682 1 683 1 684 1 685 1 686 1 687 1 688 1 689 1 690 1 691 1 \
1 692 1 693 1 694 1 695 1 696 1 697 1 698 1 699 1 700 1 701 1 702 1 703 1 704 1 \
704 1 705 1 706 1 707 1 708 1 709 1 710 1 711 1 712 1 713 1 714 1 715 1 716 1 \
1 717 1 718 1 719 1 720 1 721 1 722 1 723 1 724 1 725 1 726 1 727 1 728 1 729 1 \
729 1 730 1 731 1 732 1 733 1 734 1 735 1 736 1 737 1 738 1 739 1 740 1 741 1 \
1 742 1 743 1 744 1 745 1 746 1 747 1 748 1 749 1 750 1 751 1 752 1 753 1 754 1 \
754 1 755 1 756 1 757 1 758 1 759 1 760 1 761 1 762 1 763 1 764 1 765 1 766 1 \
1 767 1 768 1 769 1 770 1 771 1 772 1 773 1 774 1 775 1 776 1 777 1 778 1 779 1 \
779 1 780 1 781 1 782 1 783 1 784 1 785 1 786 1 787 1 788 1 789 1 790 1 791 1 \
1 792 1 793 1 794 1 795 1 796 1 797 1 798 1 799 1 800 1 801 1 802 1 803 1 804 1 \
804 1 805 1 806 1 807 1 808 1 809 1 810 1 811 1 812 1 813 1 814 1 815 1 816 1 \
1 817 1 818 1 819 1 820 1 821 1 822 1 823 1 824 1
%SURFACE 18 DEF : 377
%SURFACE 18 FACES : 825 1 826 1 827 1 828 1 829 1 830 1 831 1 832 1 833 1 834 1 \
1 835 1 836 1 837 1 838 1 839 1 840 1 841 1 842 1 843 1 844 1 845 1 846 1 847 1 \
847 1 848 1 849 1 850 1 851 1 852 1 853 1 854 1 855 1 856 1 857 1 858 1 859 1 \
1 860 1 861 1 862 1 863 1 864 1 865 1 866 1 867 1 868 1 869 1 870 1 871 1 872 1 \
872 1 873 1 874 1 875 1 876 1 877 1 878 1 879 1 880 1 881 1 882 1 883 1 884 1 \
1 885 1 886 1 887 1 888 1 889 1 890 1 891 1 892 1 893 1 894 1 895 1 896 1 897 1 \
897 1 898 1 899 1 900 1 901 1 902 1 903 1 904 1 905 1 906 1 907 1 908 1 909 1 \
1 910 1 911 1 912 1 913 1 914 1 915 1 916 1 917 1 918 1 919 1 920 1 921 1 922 1 \
922 1 923 1 924 1 925 1 926 1 927 1 928 1 929 1 930 1 931 1 932 1 933 1 934 1 \
1 935 1 936 1 937 1 938 1 939 1 940 1 941 1 942 1 943 1 944 1 945 1 946 1 947 1 \
947 1 948 1 949 1 950 1 951 1 952 1 953 1 954 1 955 1 956 1 957 1 958 1 959 1 \
1 960 1 961 1 962 1 963 1 964 1 965 1 966 1 967 1 968 1 969 1 970 1 971 1 972 1 \
972 1 973 1 974 1 975 1 976 1 977 1 978 1 979 1 980 1 981 1 982 1 983 1 984 1 \
1 985 1 986 1 987 1 988 1 989 1 990 1 991 1 992 1 993 1 994 1 995 1 996 1 997 1 \
997 1 998 1 999 1 1000 1 1001 1 1002 1 1003 1 1004 1 1005 1 1006 1 1007 1 1008 1 \
1008 1 1009 1 1010 1 1011 1 1012 1 1013 1 1014 1 1015 1 1016 1 1017 1 1018 1 1019 1 \
1019 1 1020 1 1021 1 1022 1 1023 1 1024 1 1025 1 1026 1 1027 1 1028 1 1029 1 1030 1 \
1030 1 1031 1 1032 1 1033 1 1034 1 1035 1 1036 1 1037 1 1038 1 1039 1 1040 1 1041 1 \
1041 1 1042 1 1043 1 1044 1 1045 1 1046 1 1047 1 1048 1 1049 1 1050 1 1051 1 1052 1 \
1052 1 1053 1 1054 1 1055 1 1056 1 1057 1 1058 1 1059 1 1060 1 1061 1 1062 1 1063 1 \
1063 1 1064 1 1065 1 1066 1 1067 1 1068 1 1069 1 1070 1 1071 1 1072 1 1073 1 1074 1 \
1074 1 1075 1 1076 1 1077 1 1078 1 1079 1 1080 1 1081 1 1082 1 1083 1 1084 1 1085 1 \
1085 1 1086 1 1087 1 1088 1 1089 1 1090 1 1091 1 1092 1 1093 1 1094 1 1095 1 1096 1 \
1096 1 1097 1 1098 1 1099 1 1100 1 1101 1 1102 1 1103 1 1104 1 1105 1 1106 1 1107 1 \
1107 1 1108 1 1109 1 1110 1 1111 1 1112 1 1113 1 1114 1 1115 1 1116 1 1117 1 1118 1 \
1118 1 1119 1 1120 1 1121 1 1122 1 1123 1 1124 1 1125 1 1126 1 1127 1 1128 1 1129 1 \
1129 1 1130 1 1131 1 1132 1 1133 1 1134 1 1135 1 1136 1 1137 1 1138 1 1139 1 1140 1 \
1140 1 1141 1 1142 1 1143 1 1144 1 1145 1 1146 1 1147 1 1148 1 1149 1 1150 1 1151 1 \
1151 1 1152 1 1153 1 1154 1 1155 1 1156 1 1157 1 1158 1 1159 1 1160 1 1161 1 1162 1 \
1162 1 1163 1 1164 1 1165 1 1166 1 1167 1 1168 1 1169 1 1170 1 1171 1 1172 1 1173 1 \
1173 1 1174 1 1175 1 1176 1 1177 1 1178 1 1179 1 1180 1 1181 1 1182 1 1183 1 1184 1 \
1184 1 1185 1 1186 1 1187 1 1188 1 1189 1 1190 1 1191 1 1192 1 1193 1 1194 1 1195 1 \
1195 1 1196 1 1197 1 1198 1 1199 1 1200 1 1201 1
%SURFACE 19 DEF : 48
%SURFACE 19 FACES : 1202 1 1203 1 1204 1 1205 1 1206 1 1207 1 1208 1 1209 1 1210 1 \
1210 1 1211 1 1212 1 1213 1 1214 1 1215 1 1216 1 1217 1 1218 1 1219 1 1220 1 1221 1 \
1221 1 1222 1 1223 1 1224 1 1225 1 1226 1 1227 1 1228 1 1229 1 1230 1 1231 1 1232 1 \
1232 1 1233 1 1234 1 1235 1 1236 1 1237 1 1238 1 1239 1 1240 1 1241 1 1242 1 1243 1 \
1243 1 1244 1 1245 1 1246 1 1247 1 1248 1 1249 1
%SURFACE 20 DEF : 409
%SURFACE 20 FACES : 1250 1 1251 1 1252 1 1253 1 1254 1 1255 1 1256 1 1257 1 1258 1 \
1258 1 1259 1 1260 1 1261 1 1262 1 1263 1 1264 1 1265 1 1266 1 1267 1 1268 1 1269 1 \
1269 1 1270 1 1271 1 1272 1 1273 1 1274 1 1275 1 1276 1 1277 1 1278 1 1279 1 1280 1 \
1280 1 1281 1 1282 1 1283 1 1284 1 1285 1 1286 1 1287 1 1288 1 1289 1 1290 1 1291 1 \
1291 1 1292 1 1293 1 1294 1 1295 1 1296 1 1297 1 1298 1 1299 1 1300 1 1301 1 1302 1 \
1302 1 1303 1 1304 1 1305 1 1306 1 1307 1 1308 1 1309 1 1310 1 1311 1 1312 1 1313 1 \
1313 1 1314 1 1315 1 1316 1 1317 1 1318 1 1319 1 1320 1 1321 1 1322 1 1323 1 1324 1 \
1324 1 1325 1 1326 1 1327 1 1328 1 1329 1 1330 1 1331 1 1332 1 1333 1 1334 1 1335 1 \
1335 1 1336 1 1337 1 1338 1 1339 1 1340 1 1341 1 1342 1 1343 1 1344 1 1345 1 1346 1 \
1346 1 1347 1 1348 1 1349 1 1350 1 1351 1 1352 1 1353 1 1354 1 1355 1 1356 1 1357 1 \
1357 1 1358 1 1359 1 1360 1 1361 1 1362 1 1363 1 1364 1 1365 1 1366 1 1367 1 \
```



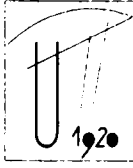
Universitatea Politehnică Timișoara
Facultatea de Mecanică - Catedra TCM

CONTRIBUȚII LA DEZVOLTAREA MEDIILOR DE PROIECTARE ASISTATĂ PENTRU REALIZAREA
PRODUSELOR DIN MATERIALE POLIMERICE

```
1368 1 1369 1 1370 1 1371 1 1372 1 1373 1 1374 1 1375 1 1376 1 1377 1 1378 1 \
1379 1 1380 1 1381 1 1382 1 1383 1 1384 1 1385 1 1386 1 1387 1 1388 1 1389 1 \
1390 1 1391 1 1392 1 1393 1 1394 1 1395 1 1396 1 1397 1 1398 1 1399 1 1400 1 \
1401 1 1402 1 1403 1 1404 1 1405 1 1406 1 1407 1 1408 1 1409 1 1410 1 1411 1 \
1412 1 1413 1 1414 1 1415 1 1416 1 1417 1 1418 1 1419 1 1420 1 1421 1 1422 1 \
1423 1 1424 1 1425 1 1426 1 1427 1 1428 1 1429 1 1430 1 1431 1 1432 1 1433 1 \
1434 1 1435 1 1436 1 1437 1 1438 1 1439 1 1440 1 1441 1 1442 1 1443 1 1444 1 \
1445 1 1446 1 1447 1 1448 1 1449 1 1450 1 1451 1 1452 1 1453 1 1454 1 1455 1 \
1456 1 1457 1 1458 1 1459 1 1460 1 1461 1 1462 1 1463 1 1464 1 1465 1 1466 1 \
1467 1 1468 1 1469 1 1470 1 1471 1 1472 1 1473 1 1474 1 1475 1 1476 1 1477 1 \
1478 1 1479 1 1480 1 1481 1 1482 1 1483 1 1484 1 1485 1 1486 1 1487 1 1488 1 \
1489 1 1490 1 1491 1 1492 1 1493 1 1494 1 1495 1 1496 1 1497 1 1498 1 1499 1 \
1500 1 1501 1 1502 1 1503 1 1504 1 1505 1 1506 1 1507 1 1508 1 1509 1 1510 1 \
1511 1 1512 1 1513 1 1514 1 1515 1 1516 1 1517 1 1518 1 1519 1 1520 1 1521 1 \
1522 1 1523 1 1524 1 1525 1 1526 1 1527 1 1528 1 1529 1 1530 1 1531 1 1532 1 \
1533 1 1534 1 1535 1 1536 1 1537 1 1538 1 1539 1 1540 1 1541 1 1542 1 1543 1 \
1544 1 1545 1 1546 1 1547 1 1548 1 1549 1 1550 1 1551 1 1552 1 1553 1 1554 1 \
1555 1 1556 1 1557 1 1558 1 1559 1 1560 1 1561 1 1562 1 1563 1 1564 1 1565 1 \
1566 1 1567 1 1568 1 1569 1 1570 1 1571 1 1572 1 1573 1 1574 1 1575 1 1576 1 \
1577 1 1578 1 1579 1 1580 1 1581 1 1582 1 1583 1 1584 1 1585 1 1586 1 1587 1 \
1588 1 1589 1 1590 1 1591 1 1592 1 1593 1 1594 1 1595 1 1596 1 1597 1 1598 1 \
1599 1 1600 1 1601 1 1602 1 1603 1 1604 1 1605 1 1606 1 1607 1 1608 1 1609 1 \
1610 1 1611 1 1612 1 1613 1 1614 1 1615 1 1616 1 1617 1 1618 1 1619 1 1620 1 \
1621 1 1622 1 1623 1 1624 1 1625 1 1626 1 1627 1 1628 1 1629 1 1630 1 1631 1 \
1632 1 1633 1 1634 1 1635 1 1636 1 1637 1 1638 1 1639 1 1640 1 1641 1 1642 1 \
1643 1 1644 1 1645 1 1646 1 1647 1 1648 1 1649 1 1650 1 1651 1 1652 1 1653 1 \
1654 1 1655 1 1656 1 1657 1 1658 1
%SURFACE 21 DEF : 18
%SURFACE 21 FACES : 1659 1 1660 1 1661 1 1662 1 1663 1 1664 1 1665 1 1666 1 \
1667 1 1668 1 1669 1 1670 1 1671 1 1672 1 1673 1 1674 1 1675 1 1676 1
%SURFACE 22 DEF : 50
%SURFACE 22 FACES : 1798 1 1799 1 1800 1 1801 1 1802 1 1803 1 1804 1 1805 1 \
1806 1 1807 1 1808 1 1809 1 1810 1 1811 1 1812 1 1813 1 1814 1 1815 1 1816 1 \
1817 1 1818 1 1819 1 1820 1 1821 1 1822 1 1823 1 1824 1 1825 1 1826 1 1827 1 \
1828 1 1829 1 1830 1 1831 1 1832 1 1833 1 1834 1 1835 1 1836 1 1837 1 1838 1 \
1839 1 1840 1 1841 1 1842 1 1843 1 1844 1 1845 1 1846 1 1847 1
%SURFACE 23 DEF : 30
%SURFACE 23 FACES : 1848 1 1849 1 1850 1 1851 1 1852 1 1853 1 1854 1 1855 1 \
1856 1 1857 1 1858 1 1859 1 1860 1 1861 1 1862 1 1863 1 1864 1 1865 1 1866 1 \
1867 1 1868 1 1869 1 1870 1 1871 1 1872 1 1873 1 1874 1 1875 1 1876 1 1877 1
%SURFACE 24 DEF : 121
%SURFACE 24 FACES : 1677 1 1678 1 1679 1 1680 1 1681 1 1682 1 1683 1 1684 1 \
1685 1 1686 1 1687 1 1688 1 1689 1 1690 1 1691 1 1692 1 1693 1 1694 1 1695 1 \
1696 1 1697 1 1698 1 1699 1 1700 1 1701 1 1702 1 1703 1 1704 1 1705 1 1706 1 \
1707 1 1708 1 1709 1 1710 1 1711 1 1712 1 1713 1 1714 1 1715 1 1716 1 1717 1 \
1718 1 1719 1 1720 1 1721 1 1722 1 1723 1 1724 1 1725 1 1726 1 1727 1 1728 1 \
1729 1 1730 1 1731 1 1732 1 1733 1 1734 1 1735 1 1736 1 1737 1 1738 1 1739 1 \
1740 1 1741 1 1742 1 1743 1 1744 1 1745 1 1746 1 1747 1 1748 1 1749 1 1750 1 \
1751 1 1752 1 1753 1 1754 1 1755 1 1756 1 1757 1 1758 1 1759 1 1760 1 1761 1 \
1762 1 1763 1 1764 1 1765 1 1766 1 1767 1 1768 1 1769 1 1770 1 1771 1 1772 1 \
1773 1 1774 1 1775 1 1776 1 1777 1 1778 1 1779 1 1780 1 1781 1 1782 1 1783 1 \
1784 1 1785 1 1786 1 1787 1 1788 1 1789 1 1790 1 1791 1 1792 1 1793 1 1794 1 \
1795 1 1796 1 1797 1
%SURFACE 25 DEF : 24
%SURFACE 25 FACES : 1878 1 1879 1 1880 1 1881 1 1882 1 1883 1 1884 1 1885 1 \
1886 1 1887 1 1888 1 1889 1 1890 1 1891 1 1892 1 1893 1 1894 1 1895 1 1896 1 \
1897 1 1898 1 1899 1 1900 1 1901 1
%SURFACE 26 DEF : 29
%SURFACE 26 FACES : 1902 1 1903 1 1904 1 1905 1 1906 1 1907 1 1908 1 1909 1 \
1910 1 1911 1 1912 1 1913 1 1914 1 1915 1 1916 1 1917 1 1918 1 1919 1 1920 1 \
1921 1 1922 1 1923 1 1924 1 1925 1 1926 1 1927 1 1928 1 1929 1 1930 1
%SURFACE 27 DEF : 22
%SURFACE 27 FACES : 1931 1 1932 1 1933 1 1934 1 1935 1 1936 1 1937 1 1938 1 \
1939 1 1940 1 1941 1 1942 1 1943 1 1944 1 1945 1 1946 1 1947 1 1948 1 1949 1 \
1950 1 1951 1 1952 1
%SURFACE 28 DEF : 43
```



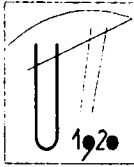
```
%SURFACE 28 FACES : 1953 1 1954 1 1955 1 1956 1 1957 1 1958 1 1959 1 1960 1 \
1961 1 1962 1 1963 1 1964 1 1965 1 1966 1 1967 1 1968 1 1969 1 1970 1 1971 1 \
1972 1 1973 1 1974 1 1975 1 1976 1 1977 1 1978 1 1979 1 1980 1 1981 1 1982 1 \
1983 1 1984 1 1985 1 1986 1 1987 1 1988 1 1989 1 1990 1 1991 1 1992 1 1993 1 \
1994 1 1995 1
%SURFACE 29 DEF : 64
%SURFACE 29 FACES : 1996 1 1997 1 1998 1 1999 1 2000 1 2001 1 2002 1 2003 1 \
2004 1 2005 1 2006 1 2007 1 2008 1 2009 1 2010 1 2011 1 2012 1 2013 1 2014 1 \
2015 1 2016 1 2017 1 2018 1 2019 1 2020 1 2021 1 2022 1 2023 1 2024 1 2025 1 \
2026 1 2027 1 2028 1 2029 1 2030 1 2031 1 2032 1 2033 1 2034 1 2035 1 2036 1 \
2037 1 2038 1 2039 1 2040 1 2041 1 2042 1 2043 1 2044 1 2045 1 2046 1 2047 1 \
2048 1 2049 1 2050 1 2051 1 2052 1 2053 1 2054 1 2055 1 2056 1 2057 1 2058 1 \
2059 1
%SURFACE 30 DEF : 50
%SURFACE 30 FACES : 2060 1 2061 1 2062 1 2063 1 2064 1 2065 1 2066 1 2067 1 \
2068 1 2069 1 2070 1 2071 1 2072 1 2073 1 2074 1 2075 1 2076 1 2077 1 2078 1 \
2079 1 2080 1 2081 1 2082 1 2083 1 2084 1 2085 1 2086 1 2087 1 2088 1 2089 1 \
2090 1 2091 1 2092 1 2093 1 2094 1 2095 1 2096 1 2097 1 2098 1 2099 1 2100 1 \
2101 1 2102 1 2103 1 2104 1 2105 1 2106 1 2107 1 2108 1 2109 1
%SURFACE 31 DEF : 175
%SURFACE 31 FACES : 2110 1 2111 1 2112 1 2113 1 2114 1 2115 1 2116 1 2117 1 \
2118 1 2119 1 2120 1 2121 1 2122 1 2123 1 2124 1 2125 1 2126 1 2127 1 2128 1 \
2129 1 2130 1 2131 1 2132 1 2133 1 2134 1 2135 1 2136 1 2137 1 2138 1 2139 1 \
2140 1 2141 1 2142 1 2143 1 2144 1 2145 1 2146 1 2147 1 2148 1 2149 1 2150 1 \
2151 1 2152 1 2153 1 2154 1 2155 1 2156 1 2157 1 2158 1 2159 1 2160 1 2161 1 \
2162 1 2163 1 2164 1 2165 1 2166 1 2167 1 2168 1 2169 1 2170 1 2171 1 2172 1 \
2173 1 2174 1 2175 1 2176 1 2177 1 2178 1 2179 1 2180 1 2181 1 2182 1 2183 1 \
2184 1 2185 1 2186 1 2187 1 2188 1 2189 1 2190 1 2191 1 2192 1 2193 1 2194 1 \
2195 1 2196 1 2197 1 2198 1 2199 1 2200 1 2201 1 2202 1 2203 1 2204 1 2205 1 \
2206 1 2207 1 2208 1 2209 1 2210 1 2211 1 2212 1 2213 1 2214 1 2215 1 2216 1 \
2217 1 2218 1 2219 1 2220 1 2221 1 2222 1 2223 1 2224 1 2225 1 2226 1 2227 1 \
2228 1 2229 1 2230 1 2231 1 2232 1 2233 1 2234 1 2235 1 2236 1 2237 1 2238 1 \
2239 1 2240 1 2241 1 2242 1 2243 1 2244 1 2245 1 2246 1 2247 1 2248 1 2249 1 \
2250 1 2251 1 2252 1 2253 1 2254 1 2255 1 2256 1 2257 1 2258 1 2259 1 2260 1 \
2261 1 2262 1 2263 1 2264 1 2265 1 2266 1 2267 1 2268 1 2269 1 2270 1 2271 1 \
2272 1 2273 1 2274 1 2275 1 2276 1 2277 1 2278 1 2279 1 2280 1 2281 1 2282 1 \
2283 1 2284 1
%SURFACE 32 DEF : 49
%SURFACE 32 FACES : 2457 1 2458 1 2459 1 2460 1 2461 1 2462 1 2463 1 2464 1 \
2465 1 2466 1 2467 1 2468 1 2469 1 2470 1 2471 1 2472 1 2473 1 2474 1 2475 1 \
2476 1 2477 1 2478 1 2479 1 2480 1 2481 1 2482 1 2483 1 2484 1 2485 1 2486 1 \
2487 1 2488 1 2489 1 2490 1 2491 1 2492 1 2493 1 2494 1 2495 1 2496 1 2497 1 \
2498 1 2499 1 2500 1 2501 1 2502 1 2503 1 2504 1 2505 1
%SURFACE 33 DEF : 23
%SURFACE 33 FACES : 2506 1 2507 1 2508 1 2509 1 2510 1 2511 1 2512 1 2513 1 \
2514 1 2515 1 2516 1 2517 1 2518 1 2519 1 2520 1 2521 1 2522 1 2523 1 2524 1 \
2525 1 2526 1 2527 1 2528 1
%SURFACE 34 DEF : 162
%SURFACE 34 FACES : 2285 1 2286 1 2287 1 2288 1 2289 1 2290 1 2291 1 2292 1 \
2293 1 2294 1 2295 1 2296 1 2297 1 2298 1 2299 1 2300 1 2301 1 2302 1 2303 1 \
2304 1 2305 1 2306 1 2307 1 2308 1 2309 1 2310 1 2311 1 2312 1 2313 1 2314 1 \
2315 1 2316 1 2317 1 2318 1 2319 1 2320 1 2321 1 2322 1 2323 1 2324 1 2325 1 \
2326 1 2327 1 2328 1 2329 1 2330 1 2331 1 2332 1 2333 1 2334 1 2335 1 2336 1 \
2337 1 2338 1 2339 1 2340 1 2341 1 2342 1 2343 1 2344 1 2345 1 2346 1 2347 1 \
2348 1 2349 1 2350 1 2351 1 2352 1 2353 1 2354 1 2355 1 2356 1 2357 1 2358 1 \
2359 1 2360 1 2361 1 2362 1 2363 1 2364 1 2365 1 2366 1 2367 1 2368 1 2369 1 \
2370 1 2371 1 2372 1 2373 1 2374 1 2375 1 2376 1 2377 1 2378 1 2379 1 2380 1 \
2381 1 2382 1 2383 1 2384 1 2385 1 2386 1 2387 1 2388 1 2389 1 2390 1 2391 1 \
2392 1 2393 1 2394 1 2395 1 2396 1 2397 1 2398 1 2399 1 2400 1 2401 1 2402 1 \
2403 1 2404 1 2405 1 2406 1 2407 1 2408 1 2409 1 2410 1 2411 1 2412 1 2413 1 \
2414 1 2415 1 2416 1 2417 1 2418 1 2419 1 2420 1 2421 1 2422 1 2423 1 2424 1 \
2425 1 2426 1 2427 1 2428 1 2429 1 2430 1 2431 1 2432 1 2433 1 2434 1 2435 1 \
2436 1 2437 1 2438 1 2439 1 2440 1 2441 1 2442 1 2443 1 2444 1 2445 1 2446 1
%SURFACE 35 DEF : 556
%SURFACE 35 FACES : 2859 1 2860 1 2861 1 2862 1 2863 1 2864 1 2865 1 2866 1 \
2867 1 2868 1 2869 1 2870 1 2871 1 2872 1 2873 1 2874 1 2875 1 2876 1 2877 1 \
```



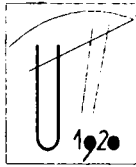
Universitatea Politehnica Timișoara
Facultatea de Mecanică - Catedra TCM

CONTRIBUȚII LA DEZVOLTAREA MEDIILOR DE PROIECTARE ASISTATĂ PENTRU REALIZAREA
PRODUSELOR DIN MATERIALE POLIMERICE

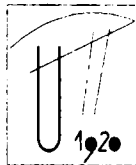
```
2878 1 2879 1 2880 1 2881 1 2882 1 2883 1 2884 1 2885 1 2886 1 2887 1 2888 1 \
2889 1 2890 1 2891 1 2892 1 2893 1 2894 1 2895 1 2896 1 2897 1 2898 1 2899 1 \
2900 1 2901 1 2902 1 2903 1 2904 1 2905 1 2906 1 2907 1 2908 1 2909 1 2910 1 \
2911 1 2912 1 2913 1 2914 1 2915 1 2916 1 2917 1 2918 1 2919 1 2920 1 2921 1 \
2922 1 2923 1 2924 1 2925 1 2926 1 2927 1 2928 1 2929 1 2930 1 2931 1 2932 1 \
2933 1 2934 1 2935 1 2936 1 2937 1 2938 1 2939 1 2940 1 2941 1 2942 1 2943 1 \
2944 1 2945 1 2946 1 2947 1 2948 1 2949 1 2950 1 2951 1 2952 1 2953 1 2954 1 \
2955 1 2956 1 2957 1 2958 1 2959 1 2960 1 2961 1 2962 1 2963 1 2964 1 2965 1 \
2966 1 2967 1 2968 1 2969 1 2970 1 2971 1 2972 1 2973 1 2974 1 2975 1 2976 1 \
2977 1 2978 1 2979 1 2980 1 2981 1 2982 1 2983 1 2984 1 2985 1 2986 1 2987 1 \
2988 1 2989 1 2990 1 2991 1 2992 1 2993 1 2994 1 2995 1 2996 1 2997 1 2998 1 \
2999 1 3000 1 3001 1 3002 1 3003 1 3004 1 3005 1 3006 1 3007 1 3008 1 3009 1 \
3010 1 3011 1 3012 1 3013 1 3014 1 3015 1 3016 1 3017 1 3018 1 3019 1 3020 1 \
3021 1 3022 1 3023 1 3024 1 3025 1 3026 1 3027 1 3028 1 3029 1 3030 1 3031 1 \
3032 1 3033 1 3034 1 3035 1 3036 1 3037 1 3038 1 3039 1 3040 1 3041 1 3042 1 \
3043 1 3044 1 3045 1 3046 1 3047 1 3048 1 3049 1 3050 1 3051 1 3052 1 3053 1 \
3054 1 3055 1 3056 1 3057 1 3058 1 3059 1 3060 1 3061 1 3062 1 3063 1 3064 1 \
3065 1 3066 1 3067 1 3068 1 3069 1 3070 1 3071 1 3072 1 3073 1 3074 1 3075 1 \
3076 1 3077 1 3078 1 3079 1 3080 1 3081 1 3082 1 3083 1 3084 1 3085 1 3086 1 \
3087 1 3088 1 3089 1 3090 1 3091 1 3092 1 3093 1 3094 1 3095 1 3096 1 3097 1 \
3098 1 3099 1 3100 1 3101 1 3102 1 3103 1 3104 1 3105 1 3106 1 3107 1 3108 1 \
3109 1 3110 1 3111 1 3112 1 3113 1 3114 1 3115 1 3116 1 3117 1 3118 1 3119 1 \
3120 1 3121 1 3122 1 3123 1 3124 1 3125 1 3126 1 3127 1 3128 1 3129 1 3130 1 \
3131 1 3132 1 3133 1 3134 1 3135 1 3136 1 3137 1 3138 1 3139 1 3140 1 3141 1 \
3142 1 3143 1 3144 1 3145 1 3146 1 3147 1 3148 1 3149 1 3150 1 3151 1 3152 1 \
3153 1 3154 1 3155 1 3156 1 3157 1 3158 1 3159 1 3160 1 3161 1 3162 1 3163 1 \
3164 1 3165 1 3166 1 3167 1 3168 1 3169 1 3170 1 3171 1 3172 1 3173 1 3174 1 \
3175 1 3176 1 3177 1 3178 1 3179 1 3180 1 3181 1 3182 1 3183 1 3184 1 3185 1 \
3186 1 3187 1 3188 1 3189 1 3190 1 3191 1 3192 1 3193 1 3194 1 3195 1 3196 1 \
3197 1 3198 1 3199 1 3200 1 3201 1 3202 1 3203 1 3204 1 3205 1 3206 1 3207 1 \
3208 1 3209 1 3210 1 3211 1 3212 1 3213 1 3214 1 3215 1 3216 1 3217 1 3218 1 \
3219 1 3220 1 3221 1 3222 1 3223 1 3224 1 3225 1 3226 1 3227 1 3228 1 3229 1 \
3230 1 3231 1 3232 1 3233 1 3234 1 3235 1 3236 1 3237 1 3238 1 3239 1 3240 1 \
3241 1 3242 1 3243 1 3244 1 3245 1 3246 1 3247 1 3248 1 3249 1 3250 1 3251 1 \
3252 1 3253 1 3254 1 3255 1 3256 1 3257 1 3258 1 3259 1 3260 1 3261 1 3262 1 \
3263 1 3264 1 3265 1 3266 1 3267 1 3268 1 3269 1 3270 1 3271 1 3272 1 3273 1 \
3274 1 3275 1 3276 1 3277 1 3278 1 3279 1 3280 1 3281 1 3282 1 3283 1 3284 1 \
3285 1 3286 1 3287 1 3288 1 3289 1 3290 1 3291 1 3292 1 3293 1 3294 1 3295 1 \
3296 1 3297 1 3298 1 3299 1 3300 1 3301 1 3302 1 3303 1 3304 1 3305 1 3306 1 \
3307 1 3308 1 3309 1 3310 1 3311 1 3312 1 3313 1 3314 1 3315 1 3316 1 3317 1 \
3318 1 3319 1 3320 1 3321 1 3322 1 3323 1 3324 1 3325 1 3326 1 3327 1 3328 1 \
3329 1 3330 1 3331 1 3332 1 3333 1 3334 1 3335 1 3336 1 3337 1 3338 1 3339 1 \
3340 1 3341 1 3342 1 3343 1 3344 1 3345 1 3346 1 3347 1 3348 1 3349 1 3350 1 \
3351 1 3352 1 3353 1 3354 1 3355 1 3356 1 3357 1 3358 1 3359 1 3360 1 3361 1 \
3362 1 3363 1 3364 1 3365 1 3366 1 3367 1 3368 1 3369 1 3370 1 3371 1 3372 1 \
3373 1 3374 1 3375 1 3376 1 3377 1 3378 1 3379 1 3380 1 3381 1 3382 1 3383 1 \
3384 1 3385 1 3386 1 3387 1 3388 1 3389 1 3390 1 3391 1 3392 1 3393 1 3394 1 \
3395 1 3396 1 3397 1 3398 1 3399 1 3400 1 3401 1 3402 1 3403 1 3404 1 3405 1 \
3406 1 3407 1 3408 1 3409 1 3410 1 3411 1 3412 1 3413 1 3414 1
%SURFACE 36 DEF : 214
%SURFACE 36 FACES : 2529 1 2530 1 2531 1 2532 1 2533 1 2534 1 2535 1 2536 1 \
2537 1 2538 1 2539 1 2540 1 2541 1 2542 1 2543 1 2544 1 2545 1 2546 1 2547 1 \
2548 1 2549 1 2550 1 2551 1 2552 1 2553 1 2554 1 2555 1 2556 1 2557 1 2558 1 \
2559 1 2560 1 2561 1 2562 1 2563 1 2564 1 2565 1 2566 1 2567 1 2568 1 2569 1 \
2570 1 2571 1 2572 1 2573 1 2574 1 2575 1 2576 1 2577 1 2578 1 2579 1 2580 1 \
2581 1 2582 1 2583 1 2584 1 2585 1 2586 1 2587 1 2588 1 2589 1 2590 1 2591 1 \
2592 1 2593 1 2594 1 2595 1 2596 1 2597 1 2598 1 2599 1 2600 1 2601 1 2602 1 \
2603 1 2604 1 2605 1 2606 1 2607 1 2608 1 2609 1 2610 1 2611 1 2612 1 2613 1 \
2614 1 2615 1 2616 1 2617 1 2618 1 2619 1 2620 1 2621 1 2622 1 2623 1 2624 1 \
2625 1 2626 1 2627 1 2628 1 2629 1 2630 1 2631 1 2632 1 2633 1 2634 1 2635 1 \
2636 1 2637 1 2638 1 2639 1 2640 1 2641 1 2642 1 2643 1 2644 1 2645 1 2646 1 \
2647 1 2648 1 2649 1 2650 1 2651 1 2652 1 2653 1 2654 1 2655 1 2656 1 2657 1 \
2658 1 2659 1 2660 1 2661 1 2662 1 2663 1 2664 1 2665 1 2666 1 2667 1 2668 1 \
2669 1 2670 1 2671 1 2672 1 2673 1 2674 1 2675 1 2676 1 2677 1 2678 1 2679 1 \
2680 1 2681 1 2682 1 2683 1 2684 1 2685 1 2686 1 2687 1 2688 1 2689 1 2690 1 \
2691 1 2692 1 2693 1 2694 1 2695 1 2696 1 2697 1 2698 1 2699 1 2700 1 2701 1 \
```



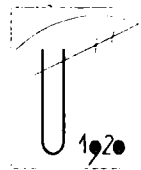
```
2702 1 2703 1 2704 1 2705 1 2706 1 2707 1 2708 1 2709 1 2710 1 2711 1 2712 1 \
2713 1 2714 1 2715 1 2716 1 2717 1 2718 1 2719 1 2720 1 2721 1 2722 1 2723 1 \
2724 1 2725 1 2726 1 2727 1 2728 1 2729 1 2730 1 2731 1 2732 1 2733 1 2734 1 \
2735 1 2736 1 2737 1 2738 1 2739 1 2740 1 2741 1 2742 1
%SURFACE 37 DEF : 21
%SURFACE 37 FACES : 2743 1 2744 1 2745 1 2746 1 2747 1 2748 1 2749 1 2750 1 \
2751 1 2752 1 2753 1 2754 1 2755 1 2756 1 2757 1 2758 1 2759 1 2760 1 2761 1 \
2762 1 2763 1
%SURFACE 38 DEF : 35
%SURFACE 38 FACES : 2764 1 2765 1 2766 1 2767 1 2768 1 2769 1 2770 1 2771 1 \
2772 1 2773 1 2774 1 2775 1 2776 1 2777 1 2778 1 2779 1 2780 1 2781 1 2782 1 \
2783 1 2784 1 2785 1 2786 1 2787 1 2788 1 2789 1 2790 1 2791 1 2792 1 2793 1 \
2794 1 2795 1 2796 1 2797 1 2798 1
%SURFACE 39 DEF : 20
%SURFACE 39 FACES : 2799 1 2800 1 2801 1 2802 1 2803 1 2804 1 2805 1 2806 1 \
2807 1 2808 1 2809 1 2810 1 2811 1 2812 1 2813 1 2814 1 2815 1 2816 1 2817 1 \
2818 1
%SURFACE 40 DEF : 16
%SURFACE 40 FACES : 2819 1 2820 1 2821 1 2822 1 2823 1 2824 1 2825 1 2826 1 \
2827 1 2828 1 2829 1 2830 1 2831 1 2832 1 2833 1 2834 1
%SURFACE 41 DEF : 6
%SURFACE 41 FACES : 2835 1 2836 1 2837 1 2838 1 2839 1 2840 1
%SURFACE 42 DEF : 6
%SURFACE 42 FACES : 2841 1 2842 1 2843 1 2844 1 2845 1 2846 1
%SURFACE 43 DEF : 6
%SURFACE 43 FACES : 2847 1 2848 1 2849 1 2850 1 2851 1 2852 1
%SURFACE 44 DEF : 6
%SURFACE 44 FACES : 2853 1 2854 1 2855 1 2856 1 2857 1 2858 1
%SURFACE 45 DEF : 32
%SURFACE 45 FACES : 3415 1 3416 1 3417 1 3418 1 3419 1 3420 1 3421 1 3422 1 \
3423 1 3424 1 3425 1 3426 1 3427 1 3428 1 3429 1 3430 1 3431 1 3432 1 3433 1 \
3434 1 3435 1 3436 1 3437 1 3438 1 3439 1 3440 1 3441 1 3442 1 3443 1 3444 1 \
3445 1 3446 1
%SURFACE 46 DEF : 20
%SURFACE 46 FACES : 3461 1 3462 1 3463 1 3464 1 3465 1 3466 1 3467 1 3468 1 \
3469 1 3470 1 3471 1 3472 1 3473 1 3474 1 3475 1 3476 1 3477 1 3478 1 3479 1 \
3480 1
%SURFACE 47 DEF : 18
%SURFACE 47 FACES : 3481 1 3482 1 3483 1 3484 1 3485 1 3486 1 3487 1 3488 1 \
3489 1 3490 1 3491 1 3492 1 3493 1 3494 1 3495 1 3496 1 3497 1 3498 1
%SURFACE 48 DEF : 14
%SURFACE 48 FACES : 3499 1 3500 1 3501 1 3502 1 3503 1 3504 1 3505 1 3506 1 \
3507 1 3508 1 3509 1 3510 1 3511 1 3512 1
%SURFACE 49 DEF : 35
%SURFACE 49 FACES : 3513 1 3514 1 3515 1 3516 1 3517 1 3518 1 3519 1 3520 1 \
3521 1 3522 1 3523 1 3524 1 3525 1 3526 1 3527 1 3528 1 3529 1 3530 1 3531 1 \
3532 1 3533 1 3534 1 3535 1 3536 1 3537 1 3538 1 3539 1 3540 1 3541 1 3542 1 \
3543 1 3544 1 3545 1 3546 1 3547 1
%SURFACE 51 DEF : 8
%SURFACE 51 FACES : 3548 1 3549 1 3550 1 3551 1 3552 1 3553 1 3554 1 3555 1
%SURFACE 52 DEF : 8
%SURFACE 52 FACES : 3556 1 3557 1 3558 1 3559 1 3560 1 3561 1 3562 1 3563 1
%SURFACE 53 DEF : 18
%SURFACE 53 FACES : 3564 1 3565 1 3566 1 3567 1 3568 1 3569 1 3570 1 3571 1 \
3572 1 3573 1 3574 1 3575 1 3576 1 3577 1 3578 1 3579 1 3580 1 3581 1
%SURFACE 54 DEF : 22
%SURFACE 54 FACES : 3582 1 3583 1 3584 1 3585 1 3586 1 3587 1 3588 1 3589 1 \
3590 1 3591 1 3592 1 3593 1 3594 1 3595 1 3596 1 3597 1 3598 1 3599 1 3600 1 \
3601 1 3602 1 3603 1
%SURFACE 55 DEF : 23
%SURFACE 55 FACES : 3604 1 3605 1 3606 1 3607 1 3608 1 3609 1 3610 1 3611 1 \
3612 1 3613 1 3614 1 3615 1 3616 1 3617 1 3618 1 3619 1 3620 1 3621 1 3622 1 \
3623 1 3624 1 3625 1 3626 1
%SURFACE 56 DEF : 9
%SURFACE 56 FACES : 3627 1 3628 1 3629 1 3630 1 3631 1 3632 1 3633 1 3634 1 \
3635 1
```

```
%SURFACE 57 DEF : 7
%SURFACE 57 FACES : 3636 1 3637 1 3638 1 3639 1 3640 1 3641 1 3642 1
%SURFACE 58 DEF : 26
%SURFACE 58 FACES : 3643 1 3644 1 3645 1 3646 1 3647 1 3648 1 3649 1 3650 1 \
3651 1 3652 1 3653 1 3654 1 3655 1 3656 1 3657 1 3658 1 3659 1 3660 1 3661 1 \
3662 1 3663 1 3664 1 3665 1 3666 1 3667 1 3668 1
%SURFACE 59 DEF : 6
%SURFACE 59 FACES : 4771 1 4772 1 4773 1 4774 1 4775 1 4776 1
%SURFACE 60 DEF : 40
%SURFACE 60 FACES : 3669 1 3670 1 3671 1 3672 1 3673 1 3674 1 3675 1 3676 1 \
3677 1 3678 1 3679 1 3680 1 3681 1 3682 1 3683 1 3684 1 3685 1 3686 1 3687 1 \
3688 1 3689 1 3690 1 3691 1 3692 1 3693 1 3694 1 3695 1 3696 1 3697 1 3698 1 \
3699 1 3700 1 3701 1 3702 1 3703 1 3704 1 3705 1 3706 1 3707 1 3708 1
%SURFACE 61 DEF : 4
%SURFACE 61 FACES : 4777 1 4778 1 4779 1 4780 1
%SURFACE 62 DEF : 26
%SURFACE 62 FACES : 3709 1 3710 1 3711 1 3712 1 3713 1 3714 1 3715 1 3716 1 \
3717 1 3718 1 3719 1 3720 1 3721 1 3722 1 3723 1 3724 1 3725 1 3726 1 3727 1 \
3728 1 3729 1 3730 1 3731 1 3732 1 3733 1 3734 1
%SURFACE 63 DEF : 18
%SURFACE 63 FACES : 3735 1 3736 1 3737 1 3738 1 3739 1 3740 1 3741 1 3742 1 \
3743 1 3744 1 3745 1 3746 1 3747 1 3748 1 3749 1 3750 1 3751 1 3752 1
%SURFACE 64 DEF : 16
%SURFACE 64 FACES : 3757 1 3758 1 3759 1 3760 1 3761 1 3762 1 3763 1 3764 1 \
3765 1 3766 1 3767 1 3768 1 3769 1 3770 1 3771 1 3772 1
%SURFACE 65 DEF : 147
%SURFACE 65 FACES : 3773 1 3774 1 3775 1 3776 1 3777 1 3778 1 3779 1 3780 1 \
3781 1 3782 1 3783 1 3784 1 3785 1 3786 1 3787 1 3788 1 3789 1 3790 1 3791 1 \
3792 1 3793 1 3794 1 3795 1 3796 1 3797 1 3798 1 3799 1 3800 1 3801 1 3802 1 \
3803 1 3804 1 3805 1 3806 1 3807 1 3808 1 3809 1 3810 1 3811 1 3812 1 3813 1 \
3814 1 3815 1 3816 1 3817 1 3818 1 3819 1 3820 1 3821 1 3822 1 3823 1 3824 1 \
3825 1 3826 1 3827 1 3828 1 3829 1 3830 1 3831 1 3832 1 3833 1 3834 1 3835 1 \
3836 1 3837 1 3838 1 3839 1 3840 1 3841 1 3842 1 3843 1 3844 1 3845 1 3846 1 \
3847 1 3848 1 3849 1 3850 1 3851 1 3852 1 3853 1 3854 1 3855 1 3856 1 3857 1 \
3858 1 3859 1 3860 1 3861 1 3862 1 3863 1 3864 1 3865 1 3866 1 3867 1 3868 1 \
3869 1 3870 1 3871 1 3872 1 3873 1 3874 1 3875 1 3876 1 3877 1 3878 1 3879 1 \
3880 1 3881 1 3882 1 3883 1 3884 1 3885 1 3886 1 3887 1 3888 1 3889 1 3890 1 \
3891 1 3892 1 3893 1 3894 1 3895 1 3896 1 3897 1 3898 1 3899 1 3900 1 3901 1 \
3902 1 3903 1 3904 1 3905 1 3906 1 3907 1 3908 1 3909 1 3910 1 3911 1 3912 1 \
3913 1 3914 1 3915 1 3916 1 3917 1 3918 1 3919 1
%SURFACE 66 DEF : 10
%SURFACE 66 FACES : 3920 1 3921 1 3922 1 3923 1 3924 1 3925 1 3926 1 3927 1 \
3928 1 3929 1
%SURFACE 67 DEF : 80
%SURFACE 67 FACES : 3930 1 3931 1 3932 1 3933 1 3934 1 3935 1 3936 1 3937 1 \
3938 1 3939 1 3940 1 3941 1 3942 1 3943 1 3944 1 3945 1 3946 1 3947 1 3948 1 \
3949 1 3950 1 3951 1 3952 1 3953 1 3954 1 3955 1 3956 1 3957 1 3958 1 3959 1 \
3960 1 3961 1 3962 1 3963 1 3964 1 3965 1 3966 1 3967 1 3968 1 3969 1 3970 1 \
3971 1 3972 1 3973 1 3974 1 3975 1 3976 1 3977 1 3978 1 3979 1 3980 1 3981 1 \
3982 1 3983 1 3984 1 3985 1 3986 1 3987 1 3988 1 3989 1 3990 1 3991 1 3992 1 \
3993 1 3994 1 3995 1 3996 1 3997 1 3998 1 3999 1 4000 1 4001 1 4002 1 4003 1 \
4004 1 4005 1 4006 1 4007 1 4008 1 4009 1
%SURFACE 68 DEF : 8
%SURFACE 68 FACES : 4010 1 4011 1 4012 1 4013 1 4014 1 4015 1 4016 1 4017 1
%SURFACE 69 DEF : 149
%SURFACE 69 FACES : 4018 1 4019 1 4020 1 4021 1 4022 1 4023 1 4024 1 4025 1 \
4026 1 4027 1 4028 1 4029 1 4030 1 4031 1 4032 1 4033 1 4034 1 4035 1 4036 1 \
4037 1 4038 1 4039 1 4040 1 4041 1 4042 1 4043 1 4044 1 4045 1 4046 1 4047 1 \
4048 1 4049 1 4050 1 4051 1 4052 1 4053 1 4054 1 4055 1 4056 1 4057 1 4058 1 \
4059 1 4060 1 4061 1 4062 1 4063 1 4064 1 4065 1 4066 1 4067 1 4068 1 4069 1 \
4070 1 4071 1 4072 1 4073 1 4074 1 4075 1 4076 1 4077 1 4078 1 4079 1 4080 1 \
4081 1 4082 1 4083 1 4084 1 4085 1 4086 1 4087 1 4088 1 4089 1 4090 1 4091 1 \
4092 1 4093 1 4094 1 4095 1 4096 1 4097 1 4098 1 4099 1 4100 1 4101 1 4102 1 \
4103 1 4104 1 4105 1 4106 1 4107 1 4108 1 4109 1 4110 1 4111 1 4112 1 4113 1 \
4114 1 4115 1 4116 1 4117 1 4118 1 4119 1 4120 1 4121 1 4122 1 4123 1 4124 1 \
4125 1 4126 1 4127 1 4128 1 4129 1 4130 1 4131 1 4132 1 4133 1 4134 1 4135 1 \
```



```
4136 1 4137 1 4138 1 4139 1 4140 1 4141 1 4142 1 4143 1 4144 1 4145 1 4146 1 \
4147 1 4148 1 4149 1 4150 1 4151 1 4152 1 4153 1 4154 1 4155 1 4156 1 4157 1 \
4158 1 4159 1 4160 1 4161 1 4162 1 4163 1 4164 1 4165 1 4166 1
%SURFACE 70 DEF : 7
%SURFACE 70 FACES : 4167 1 4168 1 4169 1 4170 1 4171 1 4172 1 4173 1
%SURFACE 71 DEF : 4
%SURFACE 71 FACES : 3753 1 3754 1 3755 1 3756 1
%SURFACE 72 DEF : 12
%SURFACE 72 FACES : 4174 1 4175 1 4176 1 4177 1 4178 1 4179 1 4180 1 4181 1 \
4182 1 4183 1 4184 1 4185 1
%SURFACE 73 DEF : 32
%SURFACE 73 FACES : 4186 1 4187 1 4188 1 4189 1 4190 1 4191 1 4192 1 4193 1 \
4194 1 4195 1 4196 1 4197 1 4198 1 4199 1 4200 1 4201 1 4202 1 4203 1 4204 1 \
4205 1 4206 1 4207 1 4208 1 4209 1 4210 1 4211 1 4212 1 4213 1 4214 1 4215 1 \
4216 1 4217 1
%SURFACE 74 DEF : 6
%SURFACE 74 FACES : 4218 1 4219 1 4220 1 4221 1 4222 1 4223 1
%SURFACE 75 DEF : 31
%SURFACE 75 FACES : 4224 1 4225 1 4226 1 4227 1 4228 1 4229 1 4230 1 4231 1 \
4232 1 4233 1 4234 1 4235 1 4236 1 4237 1 4238 1 4239 1 4240 1 4241 1 4242 1 \
4243 1 4244 1 4245 1 4246 1 4247 1 4248 1 4249 1 4250 1 4251 1 4252 1 4253 1 \
4254 1
%SURFACE 76 DEF : 6
%SURFACE 76 FACES : 4255 1 4256 1 4257 1 4258 1 4259 1 4260 1
%SURFACE 77 DEF : 11
%SURFACE 77 FACES : 4261 1 4262 1 4263 1 4264 1 4265 1 4266 1 4267 1 4268 1 \
4269 1 4270 1 4271 1
%SURFACE 78 DEF : 7
%SURFACE 78 FACES : 4272 1 4273 1 4274 1 4275 1 4276 1 4277 1 4278 1
%SURFACE 79 DEF : 19
%SURFACE 79 FACES : 4279 1 4280 1 4281 1 4282 1 4283 1 4284 1 4285 1 4286 1 \
4287 1 4288 1 4289 1 4290 1 4291 1 4292 1 4293 1 4294 1 4295 1 4296 1 4297 1
%SURFACE 80 DEF : 4
%SURFACE 80 FACES : 4298 1 4299 1 4300 1 4301 1
%SURFACE 81 DEF : 15
%SURFACE 81 FACES : 4302 1 4303 1 4304 1 4305 1 4306 1 4307 1 4308 1 4309 1 \
4310 1 4311 1 4312 1 4313 1 4314 1 4315 1 4316 1
%SURFACE 82 DEF : 2
%SURFACE 82 FACES : 4317 1 4318 1
%SURFACE 83 DEF : 20
%SURFACE 83 FACES : 4319 1 4320 1 4321 1 4322 1 4323 1 4324 1 4325 1 4326 1 \
4327 1 4328 1 4329 1 4330 1 4331 1 4332 1 4333 1 4334 1 4335 1 4336 1 4337 1 \
4338 1
%SURFACE 84 DEF : 20
%SURFACE 84 FACES : 4339 1 4340 1 4341 1 4342 1 4343 1 4344 1 4345 1 4346 1 \
4347 1 4348 1 4349 1 4350 1 4351 1 4352 1 4353 1 4354 1 4355 1 4356 1 4357 1 \
4358 1
%SURFACE 85 DEF : 14
%SURFACE 85 FACES : 3447 1 3448 1 3449 1 3450 1 3451 1 3452 1 3453 1 3454 1 \
3455 1 3456 1 3457 1 3458 1 3459 1 3460 1
%SURFACE 86 DEF : 25
%SURFACE 86 FACES : 4359 1 4360 1 4361 1 4362 1 4363 1 4364 1 4365 1 4366 1 \
4367 1 4368 1 4369 1 4370 1 4371 1 4372 1 4373 1 4374 1 4375 1 4376 1 4377 1 \
4378 1 4379 1 4380 1 4381 1 4382 1 4383 1
%SURFACE 87 DEF : 16
%SURFACE 87 FACES : 4384 1 4385 1 4386 1 4387 1 4388 1 4389 1 4390 1 4391 1 \
4392 1 4393 1 4394 1 4395 1 4396 1 4397 1 4398 1 4399 1
%SURFACE 88 DEF : 40
%SURFACE 88 FACES : 4400 1 4401 1 4402 1 4403 1 4404 1 4405 1 4406 1 4407 1 \
4408 1 4409 1 4410 1 4411 1 4412 1 4413 1 4414 1 4415 1 4416 1 4417 1 4418 1 \
4419 1 4420 1 4421 1 4422 1 4423 1 4424 1 4425 1 4426 1 4427 1 4428 1 4429 1 \
4430 1 4431 1 4432 1 4433 1 4434 1 4435 1 4436 1 4437 1 4438 1 4439 1
%SURFACE 89 DEF : 23
%SURFACE 89 FACES : 4440 1 4441 1 4442 1 4443 1 4444 1 4445 1 4446 1 4447 1 \
4448 1 4449 1 4450 1 4451 1 4452 1 4453 1 4454 1 4455 1 4456 1 4457 1 4458 1 \
4459 1 4460 1 4461 1 4462 1
```



```
%SURFACE 90 DEF : 16
%SURFACE 90 FACES : 4463 1 4464 1 4465 1 4466 1 4467 1 4468 1 4469 1 4470 1 \
                    4471 1 4472 1 4473 1 4474 1 4475 1 4476 1 4477 1 4478 1
%SURFACE 91 DEF : 16
%SURFACE 91 FACES : 4479 1 4480 1 4481 1 4482 1 4483 1 4484 1 4485 1 4486 1 \
                    4487 1 4488 1 4489 1 4490 1 4491 1 4492 1 4493 1 4494 1
%SURFACE 92 DEF : 2
%SURFACE 92 FACES : 4495 1 4496 1
%SURFACE 93 DEF : 12
%SURFACE 93 FACES : 4497 1 4498 1 4499 1 4500 1 4501 1 4502 1 4503 1 4504 1 \
                    4505 1 4506 1 4507 1 4508 1
%SURFACE 94 DEF : 12
%SURFACE 94 FACES : 4509 1 4510 1 4511 1 4512 1 4513 1 4514 1 4515 1 4516 1 \
                    4517 1 4518 1 4519 1 4520 1
%SURFACE 95 DEF : 10
%SURFACE 95 FACES : 4521 1 4522 1 4523 1 4524 1 4525 1 4526 1 4527 1 4528 1 \
                    4529 1 4530 1
%SURFACE 96 DEF : 8
%SURFACE 96 FACES : 4531 1 4532 1 4533 1 4534 1 4535 1 4536 1 4537 1 4538 1
%SURFACE 97 DEF : 8
%SURFACE 97 FACES : 4539 1 4540 1 4541 1 4542 1 4543 1 4544 1 4545 1 4546 1
%SURFACE 98 DEF : 6
%SURFACE 98 FACES : 4547 1 4548 1 4549 1 4550 1 4551 1 4552 1
%SURFACE 100 DEF : 12
%SURFACE 100 FACES : 4781 1 4782 1 4783 1 4784 1 4785 1 4786 1 4787 1 4788 1 \
                    4789 1 4790 1 4791 1 4792 1
...
-----
...
%SURFACE 115 DEF : 10
%SURFACE 115 FACES : 4684 1 4685 1 4686 1 4687 1 4688 1 4689 1 4690 1 4691 1 \
                    4692 1 4693 1
%SURFACE 117 DEF : 77
%SURFACE 117 FACES : 4694 1 4695 1 4696 1 4697 1 4698 1 4699 1 4700 1 4701 1 \
                    4702 1 4703 1 4704 1 4705 1 4706 1 4707 1 4708 1 4709 1 4710 1 4711 1 4712 1 \
                    4713 1 4714 1 4715 1 4716 1 4717 1 4718 1 4719 1 4720 1 4721 1 4722 1 4723 1 \
                    4724 1 4725 1 4726 1 4727 1 4728 1 4729 1 4730 1 4731 1 4732 1 4733 1 4734 1 \
                    4735 1 4736 1 4737 1 4738 1 4739 1 4740 1 4741 1 4742 1 4743 1 4744 1 4745 1 \
                    4746 1 4747 1 4748 1 4749 1 4750 1 4751 1 4752 1 4753 1 4754 1 4755 1 4756 1 \
                    4757 1 4758 1 4759 1 4760 1 4761 1 4762 1 4763 1 4764 1 4765 1 4766 1 4767 1 \
                    4768 1 4769 1 4770 1
%END_SECT

%END
```




9.3. Anexa 3

Codul sursă al aplicației **APPLAST** este prezentat într-o anexă independentă, cu regim confidențial, pentru a asigura protejarea preliminară a drepturilor de autor și este destinat în exclusivitate referențelor oficiale. În această anexă este prezentată doar coperta anexei independente.

REGIM CONFIDENȚIAL

Universitatea Politehnică Timișoara
Facultatea de Mecanică – Catedra TCM

CODUL SURSĂ AL APLICAȚIEI
APPLAST

**ANEXA INDEPENDENTĂ LA TEZA DE
DOCTORAT CU TITLUL:**

***CONTRIBUȚII LA DEZVOLTAREA
MEDIILOR DE PROIECTARE ASISTATĂ
PENTRU REALIZAREA PRODUSELOR DIN
MATERIALE POLIMERICE***

AUTOR: ING. GEORGE BELGIU

**CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC:
PROF. DR. ING. TUDOR ICLĂNZAN**

**REFERENȚI ȘTIINȚIFICI:
PROF. DR. ING. CONSTANTIN STĂNCESCU
PROF. DR. ING. FLORIAN DRĂGĂNESCU
CONF. DR. ING. IOAN PIRCEA**

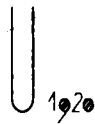
**PREZENTA ANEXĂ ARE REGIM CONFIDENȚIAL PENTRU A ASIGURA
PROTECȚIA PRELIMINARĂ A DREPTURILOR LEGALE DE AUTOR,
CONFORM *LEGII ROMÂNE A DREPTURILOR DE AUTOR ȘI A
DREPTURILOR CONEXE, CAPITOLUL IX, DIN 26 MARTIE 1996* ȘI ESTE
DESTINATĂ ÎN EXCLUSIVITATE REFERENȚILOR ȘTIINȚIFICI OFICIALI**

TIMIȘOARA, 1998



10. Bibliografie

- [1] ABADIE, J.M., *Initiation a la chimie des polymeres*, Universite de Montpellier II
- [2] AHLUWALIA, R.S., Ji, P., Manufacturing Knowledge Representation Using an Object Oriented Data Model, *CAD/CAM Robotics and Factories of the Future '90: 5th International Conference on CAD/CAM Robotics and Factories of the Future (CARS and FOF'90) Proceedings*, p. 130, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1991
- [3] AYRES, R.U., *Computer Integrated Manufacturing*, Volume I-IV, Chapman & Hall, London, 1991
- [4] BADIRU, A.B., Scheduling of concurrent manufacturing projects, *Concurrent Engineering: Contemporary issues and modern design tools*, p. 93, Chapman & Hall, London, 1993
- [5] BAHRAMI, A., DAGLI, C.H., Models of design processes, *Concurrent Engineering: Contemporary issues and modern design tools*, p. 113, Chapman & Hall, London, 1993
- [6] BĂRBAT, B., FILIP, F.G., *Informatica industrială. Ingineria programării în*



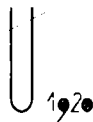
timp real, Editura Tehnică, București, 1997

- [7] BĂTRÂN, V., TODEA, P., BELGIU, G., Implementarea unui sistem CAD/CAM/CAE la SC Feroneria SA Arad, *A VIII-a Conferință internațională de inginerie managerială și tehnologică TEHNO '98*, Timișoara, 1998
- [8] BELGIU, G. *Dispozitive mecanice în FMS*, A III-a Conferință de dispozitive de prelucrare, control și asamblare, București, 1995
- [9] BELGIU, G. *Ingineria concurentă*, Al III-lea Simpozion internațional de management, Timișoara, 1994
- [10] BELGIU, G., *Rețele neuronale artificiale în proiectarea dispozitivelor*, A III-a Conferință de dispozitive de prelucrare, control și asamblare, București, 1995
- [11] BELGIU, G., *Managementul FMS*, Conferința de management, Iași, 1995
- [12] BELGIU, G., *Management în ingineria concurentă*, Conferința de management, Iași, 1995
- [13] BELGIU, G., *Sisteme informatice în ingineria mecanică*, Editura Mirton, Timișoara, 1998
- [14] BELGIU, G., *Fabricația virtuală*, Conferința de management, Iași, 1995
- [15] BELGIU, G., ICLĂNZAN, T., Metode în analiza modelelor solid-parametrice din materiale termoplastice, *A VIII-a Conferință internațională de inginerie managerială și tehnologică TEHNO '98*, Timișoara, 1998
- [16] BELGIU, G., KERI, D., Direcții în analiza cu elemente finite și aplicațiile lor în tehnologia presării la rece, *A VIII-a Conferință internațională de inginerie managerială și tehnologică TEHNO '98*, Timișoara, 1998
- [17] BELGIU, G., KERI, D., Modelul unui sistem expert utilizat în anumite aspecte ale elaborării ofertelor tehnice, *A VIII-a Conferință internațională de inginerie managerială și tehnologică TEHNO '98*, Timișoara, 1998
- [18] BELGIU, G., KERI, D., Proiectarea sculelor de presare la rece: mijloace hardware și software utilizate în analiza cu elemente finite, *A VIII-a Conferință internațională de inginerie managerială și tehnologică TEHNO '98*, Timișoara, 1998
- [19] BELGIU, G., TAUBERT, S., Aplicarea metodei elementului finit la analiza deformațiilor termice în timpul procesului de așchiere, A



VIII-a Conferință internațională de inginerie managerială și tehnologică TEHNO '98, Timișoara, 1998

- [20] BELGIU, G., TAUBERT, S., Studiul deformațiilor termice cu ajutorul metodelor elementului finit în timpul procesului de așchiere. Modelarea problemei, *A VIII-a Conferință internațională de inginerie managerială și tehnologică TEHNO '98, Timișoara, 1998*
- [21] BENJAMIN, C.O., HOSNY, O.A., EXSEMA – An Expert System for Selecting Simulation Software for Manufacturing Applications, *CAD/CAM Robotics and Factories of the Future '90: 5th International Conference on CAD/CAM Robotics and Factories of the Future (CARS and FOF'90) Proceedings*, p. 315, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1991
- [22] BENJAMIN, C.O., SMITH, M.L., HUNKE, D.A., Simulation Modeling in CIM Systems Design, *CAD/CAM Robotics and Factories of the Future '90: 5th International Conference on CAD/CAM Robotics and Factories of the Future (CARS and FOF'90) Proceedings*, p. 309, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1991
- [23] BHATNAGAR, H., KROLAK, P.D., Dispatching Mobile Robots in Flexible Manufacturing Systems: The Issues and Problems, *CAD/CAM Robotics and Factories of the Future '90: 5th International Conference on CAD/CAM Robotics and Factories of the Future (CARS and FOF'90) Proceedings*, p. 327, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1991
- [24] BLUMENFELD, M., *Introducere în metoda elementelor finite*, Editura Tehnică, București, 1995
- [25] BORANGIU, T., DOBRESCU, R., HOSSU, A., MOLIN, S., *Conducerea multiprocesor în timp real a structurilor flexibile de fabricație*, Editura Tehnică, București, 1989
- [26] BOTEA, T., BELGIU, G., Identificarea cu programe de simulare și analiză a defectelor la injectarea materialelor plastice, *A VIII-a Conferință internațională de inginerie managerială și tehnologică TEHNO '98, Timișoara, 1998*
- [27] BRAUER, J.R., *What Every Engineer Should Know About Finite Element Analysis*, Marcel Dekker, Inc., New York, 1993
- [28] BRAUN, E.D., LEMON, J.R., Strategic Value of Concurrent Product and Process Engineering, *CAD/CAM Robotics and Factories of the Future '90: 5th International Conference on CAD/CAM Robotics and Factories of the Future (CARS and FOF'90) Proceedings*, p. 259, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1991



- [29] BROWN, E. C., SPEIGHT, R. G., OLLEY, P., COATES, P. D., *Real-Time Process Analysis During Polymer Melt Extrusion Using Ultrasound Technology*, Moldflow International Pty. Ltd., ANTEC 1996
- [30] CARTIȘ, I., NICOARĂ, M., BELGIU, G., Contribuții privind optimizarea tehnologiei de producere a materialelor compozite cu matrice de aluminiu armate cu particule ceramice, *A VIII-a Conferință internațională de inginerie managerială și tehnologică TEHNO '98*, Timișoara, 1998
- [31] CÂRSTOIU, I.D., *Sisteme expert*, Editura ALL, București, 1994
- [32] CHANG, C.-H., Quality Function Deployment, a Technique of Design for Quality, *CAD/CAM Robotics and Factories of the Future '90: 5th International Conference on CAD/CAM Robotics and Factories of the Future (CARS and FOF'90) Proceedings*, p. 403, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1991
- [33] CHATAIN, M., *Conception d'un objet*, A3 810 a, *Techniques de l'ingenieur* 11, 1988
- [34] CHEN, F.F., Concurrent cell design and cell control system configuration, *Concurrent Engineering: Contemporary issues and modern design tools*, p. 231, Chapman & Hall, London, 1993
- [35] CREESE, R.C., SUDHAN, M., Improvement Curves in Manufacturing, *CAD/CAM Robotics and Factories of the Future '90: 5th International Conference on CAD/CAM Robotics and Factories of the Future (CARS and FOF'90) Proceedings*, p. 466, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1991
- [36] CREȚU, V.I., *Structuri de date și tehnici de programare avansate*, Litografia Universității Politehnice, Timișoara, 1992
- [37] CRISTEA, V., MOISA, T., ȚĂPUȘ, N., DAMIAN, V., *Rețele de calculatoare*, Editura Teora, București, 1992
- [38] CRISTEA, V., PĂNOIU, A., KALISZ, E., ATHANASIU, I., NEGREANU, L., CĂLINOIU, S., BABOESCU, F., *UNIX*, Editura Teora, București, 1993
- [39] D'SOUZA, K.A., Modeling Concurrent Manufacturing Systems Using Petri Nets, *CAD/CAM Robotics and Factories of the Future '90: 5th International Conference on CAD/CAM Robotics and Factories of the Future (CARS and FOF'90) Proceedings*, p. 271, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1991
- [40] DAGLI, C.H., POSHYANONDA, P., BAHRAMI, A., Neuro-computing

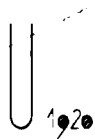


and concurrent engineering, *Concurrent Engineering: Contemporary issues and modern design tools*, p. 465, Chapman & Hall, London, 1993

- [41] DIMA, G., DIMA, M., *FoxPro*, Editura Teora, București, 1993
- [42] DOMINGUEZ, M., ESPINOSA, M.M., PEDRERO, J.I., PEREZ J.M., Implementation of a Computer Aided Quality System (CAQ) in CIM Environment: Advantages and Disadvantages, *CAD/CAM Robotics and Factories of the Future '90: 5th International Conference on CAD/CAM Robotics and Factories of the Future (CARS and FOF'90) Proceedings*, p. 413, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1991
- [43] DOUGLAS Jr., R.E., BROWN, D.C., Concurrent accumulation of knowledge: a view of concurrent engineering, *Concurrent Engineering: Contemporary issues and modern design tools*, p. 402, Chapman & Hall, London, 1993
- [44] DUMITRESCU, D., COSTIN, H., *Rețele neuronale. Teorie și aplicații*, Editura Teora, București, 1996
- [45] DWIVEDI, S.N., Concurrent Engineering: An Introduction, *CAD/CAM Robotics and Factories of the Future '90: 5th International Conference on CAD/CAM Robotics and Factories of the Future (CARS and FOF'90) Proceedings*, p. 3, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1991
- [46] DWIVEDI, S.N., PRASAD, R., LYONS, D.W., Transitioning CE Technology to Industry, *CAD/CAM Robotics and Factories of the Future '90: 5th International Conference on CAD/CAM Robotics and Factories of the Future (CARS and FOF'90) Proceedings*, p. 537, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1991
- [47] EARNSHAW, R.A., GIGANTE, M.A., JONES, H., *Virtual reality systems*, Academic Press, London, 1993
- [48] ELEȘ, P., CIOCÂRLIE, H., *Programarea concurentă în limbaje de nivel înalt*, Editura Științifică, București, 1991
- [49] EVANS, S., Implementation: common failure modes and success factors, *Concurrent Engineering: Contemporary issues and modern design tools*, p. 42, Chapman & Hall, London, 1993
- [50] FOTTA, M.E., DALEY, R.A., Improving interpersonal communications on multifunctional teams, *Concurrent Engineering: Contemporary issues and modern design tools*, p. 75, Chapman & Hall, London, 1993



- [51] FRENȚIU, M., PÂRV, B., *Elaborarea programelor. Metode și tehnici moderne*, Editura PROMEDIA, București, 1994
- [52] FRIEDL, C., *Progress Towards True 3D CAE Analysis for Injection Molding*, Moldflow International Pty. Ltd., ANTEC 1996
- [53] FUORI, W., AUFIERO, L.J., *Computers and information processing*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1989
- [54] GIUMALE, C., NEGREANU, L., CĂLINOIU, S., *Proiectarea și analiza algoritmilor. Algoritmi de sortare*, Editura ALL, București, 1996
- [55] GOPALAKRISHNAN, B., PANDIARAJAN, V., Feature Based Machining Analysis and Cost Estimation for the Manufacture of Complex Geometries in Concurrent Engineering, *CAD/CAM Robotics and Factories of the Future '90: 5th International Conference on CAD/CAM Robotics and Factories of the Future (CARS and FOF'90) Proceedings*, p. 205, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1991
- [56] GOPALAKRISHNAN, B., PATHAK, M.A., Expert System for Milling Process Selection, *CAD/CAM Robotics and Factories of the Future '90: 5th International Conference on CAD/CAM Robotics and Factories of the Future (CARS and FOF'90) Proceedings*, p. 293, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1991
- [57] GROOVER, M.P., *Fundamentals of Modern Manufacturing*, Prentice Hall, New Jersey, 1996
- [58] GUPTA, S.K., RAO, P.N., TEWARI, N.K., Use of Part Features for Process Planning, *CAD/CAM Robotics and Factories of the Future '90: 5th International Conference on CAD/CAM Robotics and Factories of the Future (CARS and FOF'90) Proceedings*, p. 211, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1991
- [59] HARDING, B.A., Database Exchange in the CAD/CAM/CIM Arena, *CAD/CAM Robotics and Factories of the Future '90: 5th International Conference on CAD/CAM Robotics and Factories of the Future (CARS and FOF'90) Proceedings*, p. 62, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1991
- [60] HERGERT, D., *Microsoft QuickBASIC*, Microsoft Press, 1989
- [61] HUNDAL, M.S., Designing to cost, *Concurrent Engineering: Contemporary issues and modern design tools*, p. 329, Chapman & Hall, London, 1993
- [62] ICLĂNZAN, T., *Invenția și ingineria valorii*, Lito Universitatea Tehnică Timișoara, 1994



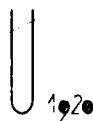
- [63] ICLĂNZAN, T., *Plasturgie: tehnologia prelucrării materialelor plastice*, vol. I și II, Centrul de multiplicare al Universității Tehnice Timișoara, 1995
- [64] ICLĂNZAN, T., Sisteme flexibile de fabricație la injectarea materialelor plastice, *A VIII-a Conferință internațională de inginerie managerială și tehnologică TEHNO '98*, Timișoara, 1998
- [65] ISKANDER, W.H., Jaraiedi, M., Production Planning and Control in the Factory of the Future, *CAD/CAM Robotics and Factories of the Future '90: 5th International Conference on CAD/CAM Robotics and Factories of the Future (CARS and FOF'90) Proceedings*, p. 281, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1991
- [66] JAVEL, G., *L'organisation et la gestion de production*, Masson, Paris, 1993
- [67] JO, H.H., PARSAEI, H.R., SULLIVAN, W.G., Principles of concurrent engineering, *Concurrent Engineering: Contemporary issues and modern design tools*, p. 3, Chapman & Hall, London, 1993
- [68] JUNG, J-Y., AHLUWALIA, R.S., Extraction of Manufacturing Features from an I-DEAS Universal File, *CAD/CAM Robotics and Factories of the Future '90: 5th International Conference on CAD/CAM Robotics and Factories of the Future (CARS and FOF'90) Proceedings*, p. 193, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1991
- [69] KARINTHI, R., NAU, D., Using a Feature Algebra in Concurrent Engineering Design and Manufacturing, *CAD/CAM Robotics and Factories of the Future '90: 5th International Conference on CAD/CAM Robotics and Factories of the Future (CARS and FOF'90) Proceedings*, p. 181, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1991
- [70] KENNEDY, P., YU, H., *Plastic CAE Analysis of Solid Geometry*, Moldflow International Pty. Ltd., ANTEC 1994
- [71] KIM, S.T., Integrated knowledge systems for adaptive, concurrent design, *Concurrent Engineering: Contemporary issues and modern design tools*, p. 413, Chapman & Hall, London, 1993
- [72] KUSIAK, A., YANG, H.-H., Modeling the design process with Petri nets, *Concurrent Engineering: Contemporary issues and modern design tools*, p. 447, Chapman & Hall, London, 1993
- [73] LAU, K.W.-N., RAMULU, M., A Databased Time and Cost Estimation Algorithm for Piece Part Design and Manufacturing, *CAD/CAM Robotics and Factories of the Future '90: 5th International*

Conference on CAD/CAM Robotics and Factories of the Future (CARS and FOF'90) Proceedings, p. 458, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1991

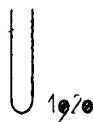
- [74] LESKIN, A.A., DWIVEDI, S.N., Integrated Models of FMS in Concurrent Engineering Environment, *CAD/CAM Robotics and Factories of the Future '90: 5th International Conference on CAD/CAM Robotics and Factories of the Future (CARS and FOF'90) Proceedings*, p. 553, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1991
- [75] LIU, S., MONTAN, V.R., RAMAN, R.S., Knowledge-Based Evaluation of Manufacturability, *CAD/CAM Robotics and Factories of the Future '90: 5th International Conference on CAD/CAM Robotics and Factories of the Future (CARS and FOF'90) Proceedings*, p. 136, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1991
- [76] MADDUX, G.A., SOUDER, W.E., Overcoming barriers to the implementation of concurrent engineering, *Concurrent Engineering: Contemporary issues and modern design tools*, p. 61, Chapman & Hall, London, 1993
- [77] MÂRȘANU, R., *Sisteme de calcul*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1997
- [78] MEANS, K.H., JIANG, J., Discrete Optimum assembly Methods for Automated Workcells, *CAD/CAM Robotics and Factories of the Future '90: 5th International Conference on CAD/CAM Robotics and Factories of the Future (CARS and FOF'90) Proceedings*, p. 382, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1991
- [79] MICROSOFT CORP., *QuickBASIC 4.50 Programmer's Guide*, 1988
- [80] MICȘA, I., BELGIU, G., Aplicația unui sistem expert în tehnologia construcțiilor de mașini, *A VIII-a Conferință internațională de inginerie managerială și tehnologică TEHNO '98*, Timișoara, 1998
- [81] MICȘA, I., BELGIU, G., Tendințe noi în tehnologia construcțiilor de mașini: metodologii generalizate de evaluare a tehnologiilor parametrice, *A VIII-a Conferință internațională de inginerie managerială și tehnologică TEHNO '98*, Timișoara, 1998
- [82] MISHRA, R.B., DWIVEDI, S.N., An Expert Sistem Model for the Use in Some Aspects of Manufacturing, *CAD/CAM Robotics and Factories of the Future '90: 5th International Conference on CAD/CAM Robotics and Factories of the Future (CARS and FOF'90) Proceedings*, p. 172, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1991



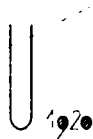
- [83] MISTREE, F., SMITH, W., BRAS, B., A decision-based approach to concurrent design, *Concurrent Engineering: Contemporary issues and modern design tools*, p. 129, Chapman & Hall, London, 1993
- [84] MOLLOY, E., BROWNE, J., A knowledge-based approach to design for manufacture using features, *Concurrent Engineering: Contemporary issues and modern design tools*, p. 386, Chapman & Hall, London, 1993
- [85] MOYNIHAN, G.P., Application of expert systems to engineering design, *Concurrent Engineering: Contemporary issues and modern design tools*, p. 375, Chapman & Hall, London, 1993
- [86] MUSCĂ, G., UNGUREANU, G., *Proiectarea asistată de calculator a tehnologiilor de prelucrare mecanică*, Editura PREINFORMATICA, Iași, 1996
- [87] NADIF, A., BALLOT, R.-P., MUTEL, B., Group Technology Analysis for Manufacturing Data, *CAD/CAM Robotics and Factories of the Future '90: 5th International Conference on CAD/CAM Robotics and Factories of the Future (CARS and FOF'90) Proceedings*, p. 321, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1991
- [88] NAU, D.S., ZHANG, G., GUPTA, S.K., KARINTHI, R.R., Evaluating product machinability for concurrent engineering, *Concurrent Engineering: Contemporary issues and modern design tools*, p. 264, Chapman & Hall, London, 1993
- [89] NIȚCHI, Ș.I., RACOVITAN, D., *Bazele prelucrării informațiilor & tehnologie informațională*, Editura INTELCREDO, Deva, 1996
- [90] NOBLE, J.S., Economic design in concurrent engineering, *Concurrent Engineering: Contemporary issues and modern design tools*, p. 352, Chapman & Hall, London, 1993
- [91] O'FLYNN, M.J., AHMAD, M.M., Computer-based concurrent engineering systems, *Concurrent Engineering: Contemporary issues and modern design tools*, p. 184, Chapman & Hall, London, 1993
- [92] PADHY, S.K., DWIVEDI, S.N., Feature Based Design Assembly, *CAD/CAM Robotics and Factories of the Future '90: 5th International Conference on CAD/CAM Robotics and Factories of the Future (CARS and FOF'90) Proceedings*, p. 187, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1991
- [93] PÂRV, B., VANCEA, A., *Fundamentele limbajelor de programare*, Editura Albastră, Cluj-Napoca, 1996



- [94] PIRCEA, I., Program de calcul pentru ordonanțarea operațiilor tehnologice în condițiile fabricației flexibile, *A VIII-a Conferință internațională de inginerie managerială și tehnologică TEHNO '98*, Timișoara, 1998
- [95] RADU, B., BELGIU, G., Thermal Evolution Model for Dissimilar Friction Weld Joints, *Buletinul științific al Universității Politehnica din Timișoara*, Timișoara, 1998
- [96] RAJUPALEM, v., TALWAR, K., FRIEDL, C., *Three-Dimensional Simulation of the Injection Molding Process*, Moldflow International Pty. Ltd., ANTEC 1994
- [97] REYNE, M., *Le renouveau des plastiques*, Hermes, Paris, 1990
- [98] ROWLAND, J., KAZMER, D., *An On-Line Quality Monitoring System for Thermoplastic Injection Molding*, Moldflow International Pty. Ltd., ANTEC 1996
- [99] ROWLAND, J.C., HO-LE, K., *Process Quality Assurance for Injection Molding of Thermoplastic Polymers*, Moldflow International Pty. Ltd., ANTEC 1994
- [100] STĂNCESCU, C., *AutoCAD – Manual de inițiere*, S.C. FAST 2000, București, 1993
- [101] ȘANDOR, O., *Interconectarea calculatoarelor*, Editura Carpe Diem, Timișoara, 1995
- [102] ȘEREȘ, I., *Injectarea materialelor termoplastice*, Editura Imprimeriei de Vest, Oradea, 1997
- [103] SAVII, G.G., *Bazele proiectării asistate de calculator*, Editura Mirton, Timișoara, 1997
- [104] SCHAAL, H.F., SLABEY, W.R., Implementing QFD at the Ford Motor Company, *CAD/CAM Robotics and Factories of the Future '90: 5th International Conference on CAD/CAM Robotics and Factories of the Future (CARS and FOF'90) Proceedings*, p. 563, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1991
- [105] SHANKAR, S.R., JANSSON, D.G., A generalized methodology for evaluating manufacturability, *Concurrent Engineering: Contemporary issues and modern design tools*, p. 248, Chapman & Hall, London, 1993
- [106] SHERBELIS, G., FRIEDL, C., *The Importance of Pressure Dependent Viscosity And Contraction Pressure Losses to Injection Molding CAE Analysis*, Moldflow International Pty. Ltd., ANTEC 1996

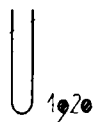


- [107] SHERBELIS, G., KAZMER, D., *The Methods and Benefits of Establishing a Process Window*, Moldflow International Pty. Ltd., ANTEC 1994
- [108] SPEIGHT, R. G., HULL, J.B., COATES, P. D., *Control of Polymer Melt Flow Front Position During the Injection Molding Process*, Moldflow International Pty. Ltd., ANTEC 1996
- [109] SPEIGHT, R.G., YAZBAK, E.P., COATES, P. D., *Molding*, Moldflow International Pty. Ltd., ANTEC 1996
- [110] SUBRAMANYA, P.S., LATINOVICI, V., OSMAN, M.O.M., Expert Control of Turning Process, *CAD/CAM Robotics and Factories of the Future '90: 5th International Conference on CAD/CAM Robotics and Factories of the Future (CARS and FOF'90) Proceedings*, p. 287, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1991
- [111] SUH, H., AHLUWALIA, R.S., Feature Recognition During Design Evolution, *CAD/CAM Robotics and Factories of the Future '90: 5th International Conference on CAD/CAM Robotics and Factories of the Future (CARS and FOF'90) Proceedings*, p. 187, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1991
- [112] Suru, P., Belgiu, G., Studiul introductiv asupra prelucrării de finisare a suprafețelor complexe (I), *A III-a Conferință MTeM*, Cluj-Napoca, 1995
- [113] TAYYARI, F., Design for human factors, *Concurrent Engineering: Contemporary issues and modern design tools*, p. 297, Chapman & Hall, London, 1993
- [114] TEMPELMEIER, H., Kuhn, H., *Flexible Manufacturing Systems: Decision Support for Design and Operation*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1993
- [115] THURSTON, D., LOCASCIO, A., Multiattribute design optimisation and concurrent engineering, *Concurrent Engineering: Contemporary issues and modern design tools*, p. 207, Chapman & Hall, London, 1993
- [116] TODEREAN, G., COȘTEIU, M., GIURGIU, M., *Rețele neuronale*, Editura Microinformatica, Cluj-Napoca, 1994
- [117] TROTIGNON, J.P., PIPERAUD, M., VERDU, J., DOBRACZYNSKI, A., *Precis de matieres plastiques. (Structures-Proprietes-Mis en oeuvre et Normalisation)*, ANFOR NATHAN, Paris, 1994
- [118] UNAL, R., Analysis of Quality Costs: A Critical Element in CIM, *CAD/CAM Robotics and Factories of the Future '90: 5th*



International Conference on CAD/CAM Robotics and Factories of the Future (CARS and FOF'90) Proceedings, p. 453, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1991

- [119] VASIU, L., *Visual BASIC 3.0*, Editura Tehnică, București, 1996
- [120] VENKATACHALAM, A.R., MELLICHAMP, J.M., MILLER, D.M., Automatic design for manufacturability through expert systems approaches, *Concurrent Engineering: Contemporary issues and modern design tools*, p. 426, Chapman & Hall, London, 1993
- [121] WILLSON, R.H., PALMER, G.M., Design of an IGES Post Processor and Integration with a Robotic Workcell, *CAD/CAM Robotics and Factories of the Future '90: 5th International Conference on CAD/CAM Robotics and Factories of the Future (CARS and FOF'90) Proceedings*, p. 376, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1991
- [122] WU, K.J., CHOONG, F., TWU, S., Data Models of Mechanical Systems for Concurrent Design, *CAD/CAM Robotics and Factories of the Future '90: 5th International Conference on CAD/CAM Robotics and Factories of the Future (CARS and FOF'90) Proceedings*, p. 123, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1991
- [123] YANG, F.Q., JARAIEDI, M., ISKANDER, W., Quality Value Function and Consumer Quality Loss, *CAD/CAM Robotics and Factories of the Future '90: 5th International Conference on CAD/CAM Robotics and Factories of the Future (CARS and FOF'90) Proceedings*, p. 409, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1991
- [124] YANNOULAKIS, N.J., JOSHI, S.B., WYSK, R.A., The Design Process for Concurrent Engineering, *CAD/CAM Robotics and Factories of the Future '90: 5th International Conference on CAD/CAM Robotics and Factories of the Future (CARS and FOF'90) Proceedings*, p. 265, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1991
- [125] YOSHIMURA, M., Concurrent optimization of product design and manufacture, *Concurrent Engineering: Contemporary issues and modern design tools*, p. 159, Chapman & Hall, London, 1993
- [126] ZHANG, C., WANG, H.-P.(B.), Concurrent optimisation of design and manufacturing tolerances, *Concurrent Engineering: Contemporary issues and modern design tools*, p. 280, Chapman & Hall, London, 1993
- [127] ZHANG, C.Y., LEONARD, J., SPEIGHT, R.G., *Adaptive Controller Performance Used for Ram Velocity Control During Filling Phase*, Moldflow International Pty. Ltd., ANTEC 1994



-
- [128] ZIEMKE, M.C., SPANN, M.S., Concurrent engineering's roots in the World War II era, *Concurrent Engineering: Contemporary issues and modern design tools*, p. 24, Chapman & Hall, London, 1993
 - [129] ZIRBEL, J.H., COMBS, S.B., *Utilizarea programului AutoCAD versiunea 13 pentru Windows*, Editura Teora, București, 1996
 - [130] *** – ARBURRG, *Allrounder Technology Guarantee for Innovative Injection Molding*, 0024W128 UKI GB – 01, 1994
 - [131] *** – Colecția revistei *Hello CAD_Fans*, 1990 – 1998
 - [132] *** – *Pro/ENGINEER 18.0*, Documentația tehnică, 1997
 - [133] *** – *ANSYS 5.3*, Documentația tehnică, 1996
 - [134] *** – *C-MOLD 3.0*, Documentația tehnică, 1998
 - [135] *** – *Moldflow 2.0*, Documentația tehnică, 1995
 - [136] *** – *Bulletin d'information d'ADITEC Pas-de-Calais – CEEI*, Association pour le developpement de l'innovation et de la technologie dans le Pas-de-Calais, no. 19, Janvier & fevrier 1999
 - [137] *** – *The Edge, Competitive Advantages Through Rapid Prototyping and Manufacturing*, Vol. IV, No. 3, 3D Systems, 1996