

DEZVOLTAREA PRODUSULUI ÎN CONTEXTUL FABRICII DIGITALE

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

ing. Ioan Dorian Ștef

Conducător științific: prof. univ. dr. ing. George Drăghici
Referenți științifici: prof. univ. dr. ing. Ioan Bondrea
prof. univ. dr. ing. Constantin Bungău
conf. univ. dr. ing. Eugen Pămîntaş

Ziua susținerii tezei: 28 septembrie 2012

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

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

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

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2006

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

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

Cuvânt înainte

Teza de doctorat a fost elaborată pe parcursul activității mele în cadrul Departamentului de Ingineria Materialelor și Fabricației și al Centrului de Cercetări în Inginerie Integrată de la Universitatea „Politehnica” din Timișoara.

Cercetările întreprinse pentru realizarea unei teze de doctorat nu sunt doar rezultatul activităților întreprinse de autor. Teza de doctorat nu ar fi putut ajunge în etapa finală fără suportul și aportul unei întregi echipe.

Mulțumiri deosebite, la finalul acestei teze, se cuvin conducătorului științific Prof. univ. dr. ing. George Drăghici, pentru susținerea și consilierea constantă, îndrumarea atentă pe întreaga durată a realizării stagiului de doctorat, pentru ajutorul competent și răbdarea cu care a coordonat întreaga activitate desfășurată pe parcursul elaborării tezei precum și întregul suport oferit pentru depășirea momentelor neprevăzute.

Mulțumiri se cuvin membrilor comisiei de evaluarea și susținere a tezei de doctorat: Prof. univ. dr. ing. Ioan Bondrea de la Universitatea „Lucian Blaga” Sibiu, Prof. univ. dr. ing. Constantin Bungău de la Universitatea din Oradea și Conf. univ. dr. ing. Eugen Pămîntaş de la Universitatea „Politehnica” din Timișoara, cărora le sunt recunoscător pentru competența cu care au analizat și apreciat rezultatele muncii mele.

De asemenea, doresc să adresez mulțumiri colegilor din Departamentul de Ingineria Materialelor și Fabricației pentru opiniile exprimate și susținerea pe care mi-au oferit-o pe durata elaborării și finalizării tezei de doctorat.

Nu în cele din urmă doresc să exprim mulțumiri familiei mele, care m-a susținut în cele mai grele situații, prietenilor care mi-au oferit loialitatea și sprijinul moral și/sau profesional de-a lungul anilor și au contribuit la formarea mea.

Timișoara, septembrie 2012

Ioan Dorian ȘTEF

Ștef Ioan Dorian

Dezvoltarea produsului în contextul fabricii digitale

Teze de doctorat ale UPT, Seria 8, Nr. 44, Editura Politehnica, 2012, 156 pagini, 100 figuri.

ISSN: 1842-8967

ISBN: 978-606-554-510-6

Cuvinte cheie: Inginerie integrată, fabrică digitală, concepție/dezvoltare produs, planificarea producției, modelarea procesului de concepție, platformă integrată de concepție și fabricație digitală, IDEF0, UML.

Rezumat: Prin cercetările întreprinse în această lucrare s-a dorit a se da răspuns unuia dintre domeniile problematice ale fabricii digitale - procesul de concepție/dezvoltare a produsului.

Obiectivul general al tezei este elaborarea unui model metodologic care să constituie o structură implementabilă în cadrul procesului de concepție, în contextul fabricii digitale.

Pentru îndeplinirea acestui obiectiv, cercetările au fost efectuate în etape succesive: analiza și sintetiza stadiului actual al cercetărilor în domeniul fabricii digitale; elaborarea unei metodologii de concepție a produselor, în contextul fabricii digitale; integrarea de metode și mijloace pentru dezvoltarea unei platforme integrate de concepție și fabricație digitală; validarea metodologiei în cadrul platformei integrate de concepție și fabricație digitală.

În prima etapă s-a analizat stadiul actual al cercetărilor în domeniul fabricii digitale, cunoștințele fiind sintetizate pe două direcții: conceptul de fabrică digitală și procesele care se desfășoară în fabrica digitală.

Realizarea obiectivului a impus studierea metodologiei de concepție a produselor în contextul fabricii digitale, pornind de la ciclul de viață al produsului și finalizând cu modelarea procesului de concepție. Pentru modelarea procesului de concepție a produsului în fabrica digitală s-a folosit limbajul IDEF0, elaborându-se modelul structural, apoi, utilizând diagramele de clase UML, s-a obținut modelul metodologic.

În urma modelării ciclului de viață al produsului utilizând diagramele IDEF0 au fost identificate activitățile necesare dezvoltării produsului, a fost identificat un set preliminar de constrângeri ce apar pe durata ciclului de concepție, au fost identificate metodele și mijloacele de concepție și s-a trasat o formă primară a arhitecturii de dezvoltare a metodologiei. Analiza procesul de concepție după modelul lui Pahl și Beitz a permis trecerea progresivă de la general spre particular și recunoașterea constrângerilor care servesc elaborării modelului metodologic de concepție în contextul fabricii digitale.

Obiectivul final în demersul de cercetare a fost validarea modelului metodologic, pentru care a fost realizată o platformă informatică de concepție și fabricație digitală a produsului, fiind identificate și modelate secvențele de concepție a unui produs utilizând diagramele de secvențe UML.

Contribuțiile aduse sunt în principal de natură teoretică și metodologică. Modelarea procesului fabricii digitale și crearea unui instrument metodologic – prin dezvoltarea unei arhitecturi de concepție digitală – reprezintă elementul de noutate.

CUPRINS

NOTAȚII, ABREVIERI, ACRONIME.....	7
LISTA DE FIGURI	9
1 INTRODUCERE GENERALĂ	12
1.1 Tema de cercetare	13
1.2 Obiectivul general al tezei de doctorat	14
1.3 Demersul de cercetare.....	15
1.4 Structura tezei.....	17
2 STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR ÎN DOMENIUL FABRICII DIGITALE.....	19
2.1 Introducere	19
2.2 Conceptul de fabrică digitală	20
2.2.1 Definiții ale fabricii digitale	20
2.2.2 Viziuni asupra fabricii digitale	22
2.2.3 Arhitectura fabricii digitale.....	26
2.3 Procesele fabricii digitale.....	28
2.3.1 Concepția/dezvoltarea produsului.....	29
2.3.2 Planificarea producției.....	35
2.3.3 Controlul operativ al producției	48
2.4 Concluzii	51
3 METODOLOGIA DE CONCEPȚIE A PRODUSULUI ÎN CONTEXTUL FABRICII DIGITALE.....	53
3.1 Introducere	53
3.2 Ciclul de viață al produsului.....	53
3.2.1 Etapele ciclului de viață.....	53
3.2.2 Ciclul de viață în întreprindere	55
3.2.3 Abordări ale ciclului de viață	56
3.3 Modele de produs.....	61
3.3.1 Tipuri de reprezentare a informațiilor legate de produs	61
3.3.2 Modele de reprezentare geometrică	64
3.3.3 Modele de reprezentare prin domenii	66
3.3.4 Modele de reprezentare funcțională	66
3.3.5 Modele de reprezentare structurală și funcțională	67
3.3.6 Modele de reprezentare prin funcții și entități	67
3.3.7 Modele de reprezentare multi-vederi	68
3.4 Modele de concepție ale produsului	71
3.4.1 Tipuri de modele	71
3.4.2 Modele bazate pe noțiunea de fază	71
3.4.3 Modele bazate pe noțiunea de activitate.....	74
3.4.4 Modele bazate pe noțiunea de domeniu.....	75
3.5 Procesul de modelare	77
3.5.1 Standarde de modelare.....	77
3.5.2 Limbaje de modelare	77
3.6 Concluzii	80

4	MODELAREA PROCESULUI DE CONCEPȚIE A PRODUSULUI ÎN FABRICA DIGITALĂ..	81
4.1	Introducere	81
4.2	Elaborarea modelului structural	82
4.2.1	Modelarea în IDEF0	83
4.2.2	Modelarea ciclului de viață al produsului.....	84
4.2.3	Modelarea activității de concepție a produsului.....	86
4.3	Elaborarea modelului metodologic.....	93
4.3.1	Modelarea în UML.....	95
4.3.2	Modelarea interfeței.....	96
4.3.3	Modelarea resurselor	105
4.3.4	Diagrama de clase.....	108
4.4	Concluzii	109
5	PLATFORMA INTEGRATĂ DE CONCEPȚIE ȘI FABRICAȚIE DIGITALĂ A PRODUSULUI	112
5.1	Introducere	112
5.2	Dezvoltarea informatică a platformei	113
5.2.1	Mediul IT de dezvoltare.....	113
5.2.2	Specificațiile aplicației.....	115
5.2.3	Descrierea aplicației	120
5.3	Identificarea și modelarea secvențelor de concepție	123
5.3.1	Modelarea secvențelor în UML.....	123
5.3.2	Identificarea și modelarea secvențelor	123
5.3.3	Demararea unui nou proiect și notificarea atributelor.....	124
5.3.4	Crearea modelului primar.....	127
5.3.5	Testarea modelului conceput	128
5.3.6	Rezolvarea notificărilor în urma prototipării virtuale.....	131
5.3.7	Modelarea planului general de amplasare	132
5.3.8	Modelarea procesului de fabricație virtuală	133
5.3.9	Testarea modelului de fabricație	136
5.3.10	Validarea dosarului de produs	139
5.4	Concluzii	140
6	CONCLUZII GENERALE, CONTRIBUȚII ȘI PERSPECTIVE	141
6.1	Concluzii generale.....	141
6.2	Contribuții personale	142
6.3	Perspectivă de dezvoltare	143
	BIBLIOGRAFIE	144

NOTAȚII, ABREVIERI, ACRONIME

ASN	Active Semantic Network
BEM	Border Element Method
BPML	Business Process Modeling Language
B-Rep	Boundary Representation
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAPP	Computer Aided Process Planning
CAPS	Computer Animation Production System
CAQ	Computer Aided Quality
CAX	Computer aided x
CLR	Common Language Runtime
CNC	Computer Numeric Controller
CRM	Customer Relationship Management
CRP	Capacity Requirements Planning
CSG	Constructive Solid Geometry
DF	Digital Factory
DMU	Digital Mock-Up
DNC	Data Numeric Controller
DoD	Department of Defence
DPI	Dots per Inch
DRM	Design Research Methodology
ECA	Enterprise Collaboration Architecture
EF	Entity Framework
EF	Entitatea frontieră
EPC	Event Process Chain
ERP	Enterprise Resource Planning
ET	Entitatea tehnologică
FBS	Function-Behavior-State
FEA	Finite Element Analysis
FEM	Finite Element Method
FVM	Finit Volum Method
IDEF	Integration DEFINition language
IMM	Întreprinderi Mici și Mijlocii
IT	Informatics Technology
JIT	Just in Time
MRP	Material Requirements Planning
MU	Mașini-Unelte
NC	Numeric Controller
OEM	Original Equipment Manufacturer
OPM	Object Process Methodology
PDM	Product Data Management
PDML	Product Data Markup Language
PLC	Programmable Logic Controller
PLM	Product Lifecycle Management

PSL	Process Specification Language
SADT	Structured Analysis and Design Technique
STEP	STandard of Exchange Product model
UML	Unified Modeling Language
XML	Extensible Markup Language
XPDL	XML Process Definition Language

LISTA DE FIGURI

Fig. 1.1 Domenii problematice ale fabricii digitale, după (Wenzel ș.a., 2005)	14
Fig. 1.2 Demersul de cercetare DRM, după (Blessing și Chakrabarti, 2009)	15
Fig. 1.3 Demersul de cercetare folosit.....	16
Fig. 1.4 Structura tezei	17
Fig. 2.1 Fabrica digitală (model cuprinzător), după (Kuehn, 2006)	23
Fig. 2.2 Conceptul fabricii digitale, după (Kuehn, 2006)	24
Fig. 2.3 Viziunea asupra fabricii digitale, după (Bracht și Masurat, 2005)	25
Fig. 2.4 Modele de programare a diferitelor niveluri din fabrica digitală	26
Fig. 2.5 "Coloana vertebrală" a fabricii deschise, după (Kuehn, 2007).....	27
Fig. 2.6 Arhitectură de tip stea, după (Westkamper, 2003)	27
Fig. 2.7 Procesele fabricii digitale, după (Kuehn, 2006).....	28
Fig. 2.8 Definirea produsului și a procesului în Delmia (Dassault Systems)	29
Fig. 2.9 Modelul prototipului virtual complet, după (Wang, 2002).....	31
Fig. 2.10 Metoda elementelor finite	32
Fig. 2.11 Controlul sincron al concepției, după (Noel ș.a., 2003)	34
Fig. 2.12 Stabilirea unui aspect 3D prin utilizarea obiectelor predefinite	36
Fig. 2.13 Planul general de amplasare (Dassault Systems, 2012).....	37
Fig. 2.14 Construcția liniilor de producție folosind obiecte predefinite 3D.....	38
Fig. 2.15 Structura ierarhică a fabricii digitale.....	40
Fig. 2.16 Fabricația pe mașini-unelte comandate numeric (EspritCAM, 2011)	40
Fig. 2.17 Sistem NC (But, 2009)	41
Fig. 2.18 Sistemul CNC (But, 2009)	42
Fig. 2.19 Sistemul DNC (But, 2009)	43
Fig. 2.20 "Procesul de simulare" pentru simulare a proceselor de producție.....	44
Fig. 2.21 Simularea celulelor robotizate (Dassault Systems, 2011).....	45
Fig. 2.22 Simularea resurselor umane (Siemens PLM, 2010)	46
Fig. 2.23 Vizualizarea și simularea a unui loc de muncă de asamblare	46
Fig. 2.24 Echilibrul dinamic al liniei de producție (Delmia).....	48
Fig. 2.25 Controlul operativ al fabricației, după (Kuen, 2007)	49
Fig. 2.26 Sinteza modelului metodologic	52
Fig. 3.1 Etapele ciclului de viață al produsului (Drăghici, 1999).....	54
Fig. 3.2 Ciclul de viață al unui produs în întreprindere, după (Drăghici, 1999).....	55
Fig. 3.3 Demersul secvențial (Drăghici, 1999).....	57
Fig. 3.4 Compararea demersurilor de inginerie secvențială și simultană	58
Fig. 3.5 Costurile angajate și cheltuielile reale cumulate, după (Drăghici, 1999) ...	58
Fig. 3.6 Modul de organizare de tip colaborativ, după (Drăghici, 1999)	59
Fig. 3.7 Comparație între cele trei abordări, după (Lu și Conger, 2007)	60
Fig. 3.8 Tipuri de modele, după (Niemann ș.a., 2009)	61
Fig. 3.9 Modele de produs, după (Krause și Schlingheider, 1993).....	62
Fig. 3.10 Model de produs integrat, după (Niemann ș.a., 2009).....	63
Fig. 3.11 Evoluția sistemelor IT și a diferitelor sisteme de reprezentare grafică	63
Fig. 3.12 Modele geometrice, după (Drăghici, 1999).....	64
Fig. 3.13 Modele de reprezentare geometrică	65
Fig. 3.14 Reprezentarea grafică a modelului de produs (Drăghici, 2002)	68
Fig. 3.15 Formalismul modelului de produs, (Drăghici, 2002)	69

Fig. 3.16 Modelul de produs multi-vederi, (Drăghici, 2002)	70
Fig. 3.17 Sistemul de concepție integrată, (Drăghici, 2002).....	71
Fig. 3.18 Modelul sistematic, după (Pahl ș.a, 2007).....	72
Fig. 3.19 Concepția axiomatică, după (Suh, 1995)	76
Fig. 4.1 Demersul de cercetare	81
Fig. 4.2 Modelarea procesului de concepție	82
Fig. 4.3 Activitățile ciclului de viață (Banciu, 2011)	83
Fig. 4.4 Modelul unei activități	83
Fig. 4.5 Descompunerea diagramei A0.....	84
Fig. 4.6 Diagrama A0: Modelul ciclului de viață al produsului, (Banciu, 2011)	85
Fig. 4.7 Diagrama A2: Modelul activității de concepție (Banciu, 2011)	87
Fig. 4.8 Diagrama A22: Modelul activității de concepție constructivă	88
Fig. 4.9 Diagrama A221: Modelul activității de concepție virtuală (Ștef, 2012)	89
Fig. 4.10 Diagrama A222: Modelul activității de prototipare (Ștef, 2012)	90
Fig. 4.11 Diagrama A23: Descompunerea activității de concepție detaliată.....	91
Fig. 4.12 Diagrama A231: Modelul activității de fabricație virtuală.....	92
Fig. 4.13 Diagrama A232: Modelul activității de prototipare a fabricației	93
Fig. 4.14 Identificarea și modelarea procesului de concepție.....	94
Fig. 4.15 Reprezentarea unei clase în limbaj UML.....	95
Fig. 4.16 Reprezentarea claselor „Proiect” și „Proiect alternativ”	96
Fig. 4.17 Reprezentarea clasei „Soluție alternativă” de fabricație	97
Fig. 4.18 Diagrama de clase „Concepție Virtuală”	98
Fig. 4.19 Diagrama de clase „Prototipare Virtuală”	100
Fig. 4.20 Diagrama de clase „Fabricație Virtuală”	102
Fig. 4.21 Diagrama simplificată a interfeței	104
Fig. 4.22 Diagrama de clase reprezentând fluxul de informații de produs	105
Fig. 4.23 Reprezentarea clasei „Proces”	107
Fig. 4.24 Reprezentarea integrării constrângerilor	108
Fig. 4.25 Diagrama de clase UML	110
Fig. 5.1 Demersul de cercetare	112
Fig. 5.2 Diferențe între imagini tip Raster și vectoriale (Busselle, 2012)	116
Fig. 5.3 Arhitectura propusă	116
Fig. 5.4 Reprezentarea modulului de <i>Membership</i> al bazei de date	117
Fig. 5.5 Diagrama modulului al doilea al bazei de date.....	119
Fig. 5.6 Modul în care se face comunicarea între client și serviciu.....	119
Fig. 5.7 Arhitectura <i>Model View Controller</i> (Schmidt, 2012).....	120
Fig. 5.8 Adăugarea unui Entity Model la un proiect.....	121
Fig. 5.9 Alegerea tabelelor ce vor fi modelate și a procedurilor stocate	122
Fig. 5.10 O parte din clasele diagramei din Data Model	122
Fig. 5.11 Diagrama de secvențe pentru etapa de concepție virtuală.....	125
Fig. 5.12 Crearea unui nou proiect și notificarea atributelor.....	126
Fig. 5.13 Pagina de creare a unui nou proiect	126
Fig. 5.14 Modelul virtual al produsului	127
Fig. 5.15 Secvența de prototipare virtuală a produsului	128
Fig. 5.16 Remodelarea carcasei produsului.....	129
Fig. 5.17 Testarea produsului folosind tehnici numerice	130
Fig. 5.18 Simularea emanării căldurii.....	130
Fig. 5.19 Secvența de reluare a etapei de concepție virtuală	131
Fig. 5.20 Planul general de amplasare	132
Fig. 5.21 Procesul de fabricație a matriței de injecție a carcasei	134

Fig. 5.22 Planificarea și programarea resurselor de fabricație	135
Fig. 5.23 Proiectarea și planificarea asamblării.....	135
Fig. 5.24 Testarea procesului celulelor de fabricație.....	137
Fig. 5.25 Ergonomia locului de muncă	138
Fig. 5.26 Secvența de validare a produsului	139

1 INTRODUCERE GENERALĂ

Acum un secol (1911), Frederick Winslow Taylor a publicat *The Principles of Scientific Management*. Percepțiile sale despre fabricația modernă rămân raționale și valabile până în ziua de astăzi. Folosind spusele lui Taylor, în (Coze, 2009) se afirmă: "analizând activitatea de producție asupra proceselor elementare, cu metodologii bazate științific, acestea creează beneficiu în eficiența economică a întreprinderilor și a muncitorilor acesteia". Din literatura de specialitate se poate observa că, multe studii indică, de exemplu, că valoarea (costul) unui produs este stabilită în proporție de aproximativ 75% în timpul fazei de concepție, de unde rezultă că dacă vrem să modelăm ciclul de viață complet al produsului, atenția noastră ar trebui să se concentreze în principal pe activitatea de concepție, care este prin excelență activitatea creatoare de valoare (Tichkiewitch, 1995). De aceea, sistemele actuale de concepție și fabricație sunt bazate pe integrarea cunoștințelor și managementul ciclului de viață al produsului (*Product Lifecycle Management*).

În vremurile actuale, foarte dificile ale economiei, fabricanții trebuie să devină din ce în ce mai eficienți pentru a putea supraviețui și a se dezvolta. Vechiul proverb englezesc "atunci când progresul e dificil, dificil e să progresezi" devine din ce mai actual, iar prin interpretarea acestuia din punct de vedere industrial ajungem la concluzia că acesta este momentul în care, pentru ca întreprinderile de diferite dimensiuni să se dezvolte, trebuie implementate noi modele ale ingineriei. O soluție viabilă este adoptarea unui demers de concepție integrată și colaborativă a produselor și proceselor de fabricare (Banciu, 2011), care se poate materializa într-o platformă care folosește soluții ale fabricii digitale (Bley, 2004).

Principalul atu al fabricii digitale (*Digital Factory DF*) este că permite integrarea tuturor informațiilor legate de un produs sau serviciu și organizează toate aceste informații cu scopul de a îmbunătăți eficiența în și între diferite departamente ale companiei, încă din faza de concepție. Împărțind activitățile dintr-o companie pe mai multe departamente, cum ar fi proiectare, producție, service, se reduce complexitatea. Mărind eficiența activităților în fiecare departament, rezultă o creștere a productivității întregii companii (Stark, 2005).

Fabrica digitală este o strategie de management eficientă a concepției tuturor produselor, pe toată durata de viață a acestora. Fabrica digitală este construită pe accesul comun la o bază de date unică de cunoștințe, date și procese legate de produs și piață. Aceasta trebuie să capteze cele mai bune practici în cadrul sistemului de producție și să creeze posibilitatea de a vizualiza fluxurile de producție, să permită un management decizional eficient în situațiile critice, pe toată durata vieții produsului. În cadrul multor companii se pierde controlul asupra produselor fabricate, cu efecte dezastruoase pentru producător, dar mai ales pentru clienți. O fază importantă în ciclul de viață al unui produs, în care se poate pierde foarte ușor controlul, este faza de concepție, când produsul nu există efectiv. În faza de concepție, fabrica digitală creează avantaje, deoarece "proiectanții folosesc aproximativ 60% din timpul necesar concepției căutând informații, lucru care este caracterizat ca fiind una dintre cele mai frustrante activități întreprinse de către un inginer. Principalul atu al sistemelor informatice este pierdut dacă nu suntem competenți să preluăm și să reutilizăm ceea ce alții au creat în trecut" (Liu ș.a.,

2011). Odată ce produsul există fizic, el va fi utilizat de către clienți din diverse zone geografice și cu moduri de viață total diferite, motiv care îngreunează din nou menținerea controlului asupra produsului, de către compania fabricantă (Coze, 2009).

1.1 Tema de cercetare

Un vechi proverb spune că „a greși e omeneste”. Întregul ciclu de concepție al produselor și sistemelor de producție necesită, de la bun început, mari eforturi de planificare, și această activitate trebuie să fie efectuată de către om. În concluzie, acest lucru implică faptul că procesul de concepție este întotdeauna supus erorilor și că eșecul de a recunoaște erorile în timp util creează probleme considerabile în faza de implementare (Kuehn, 2007).

În prezent, fabricația digitală este încă un proiect pentru marile întreprinderi, în special pentru OEM (*Original Equipment Manufacturer*) din industria de automobile și aerospațială. Pentru a face ca viziunea să devină realitate sunt puse la dispoziție sume mari de capital. Cu toate acestea, întrebări cu privire la nivelul necesar de punere în aplicare primesc o atenție sporită. Conversia pentru costurile suportate pentru a obține un flux de producție cu rentabilitate financiară nu este încă posibilă. Desigur, multe dintre mijloacele software necesare pentru procesarea individuală a produsului și dezvoltarea producției sunt deja disponibile, au fost încercate și și-au dovedit aplicabilitatea. Cu toate acestea, resursele disponibile nu sunt încă suficiente pentru a permite o aplicare rapidă și utilă a acestor mijloace, în special în întreprinderile mici și mijlocii. Prin urmare, nu numai structurile interne trebuie supuse schimbării, ci și cooperarea dintre societăți trebuie să fie adaptată. În prezent, această chestiune este luată în considerare, iar obiectivul este de a atinge continuitatea cel puțin până la furnizorii de nivel 2.

În cursul acestor deliberări, totuși, o întrebare este rareori luată în considerare: sunt IMM-urile foarte susceptibile de a fi printre furnizorii de nivel 1 sau 2, și sunt cu adevărat capabile să pună în aplicare în mod adecvat fabrica digitală?

În esență, sunt patru domenii problematice majore rezultate din punerea în aplicare a fabricii digitale, prezentate în Fig. 1.1.

De obicei, companiile mai mici nu au departamente de specializate pentru dezvoltarea de produse proprii și nu își pot permite mijloace software corespunzătoare. Prin urmare, va fi dificil pentru ei de a utiliza potențialul oferit de fabrica digitală. Pentru multe companii mici, investițiile de acest tip sunt greu realizabile, deoarece nu sunt justificate economic, atâta timp cât prețul aplicațiilor software necesare rămâne ridicat, iar cheltuielile curente pot fi cu greu suportate de către întreprinderile mici. Abordări inițiale spre soluții posibile au fost deja încercate, dar nu au găsit încă acceptare pe scară largă. Motivele majore pentru această reticență includ lipsa de informare și absența unor structuri adecvate. Cu toate acestea, abordarea fabricației digitale nu este doar o necesitate inevitabilă, ci ea oferă o șansă pentru unii furnizori din clasa întreprinderilor mijlocii. În acest caz pot fi obținute economii prin aplicarea de măsuri structurale adecvate și cu sprijinul partenerilor de finanțare externi.

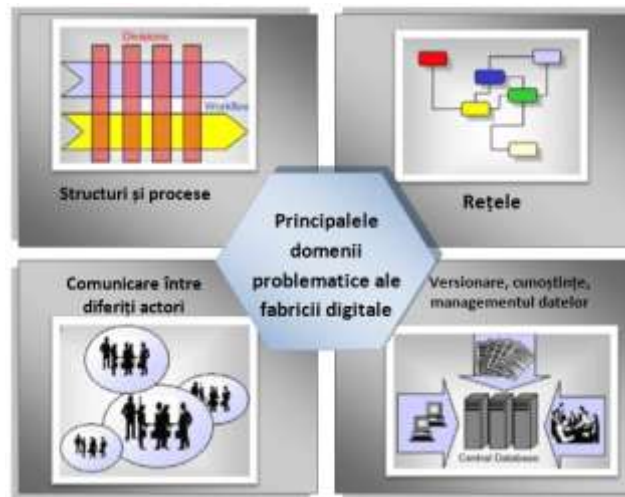


Fig. 1.1 Domenii problematice ale fabricii digitale, după (Wenzel ș.a., 2005)

Obiectivul fabricii digitale derivă din necesitatea de a asigura dezvoltarea produselor și proceselor, începând din timpul fazei de concepție, urmărind apoi evoluția produselor și producției, prin utilizarea modelelor digitale. Pe lângă aceasta, extinderea fabricii digitale față de procesul de logistică internă și externă a proceselor ar trebui să sporească cooperarea într-o rețea globală. Prin simularea diferitelor scenarii este posibil ca aceste întreprinderi să poată să își dimensioneze stocurile și soluția de distribuție, pentru a obține noi structuri organizaționale. Această abordare vizionară, axată pe fabrica digitală, ar putea fi descrisă ca o "întreprindere digitală".

Datorită acestor tendințe, activitatea de cercetare întreprinsă în cadrul acestei lucrări încearcă să răspundă la următoarele întrebări:

- Caracteristicile fabricii digitale corespund caracterului actual al ciclului de viață al produsului?
- Care sunt tendințele în domeniul procesului de concepție și cum se pot ele clasifica?
- Poate fi elaborat un model metodologic al fabricii digitale?

Răspunsul poate fi dat prin conceperea și testarea modelului metodologic al fabricii digitale într-un mediu virtual similar cu cel industrial.

1.2 Obiectivul general al tezei de doctorat

Teza de doctorat se înscrie în domeniul ingineriei industriale și este poziționată în special în cadrul dezvoltării produsului, în contextul fabricii digitale.

Astfel, ne propunem să abordăm următoarele aspecte:

- analiza și sintetiza stadiului actual al cercetărilor în domeniul fabricii digitale;
- elaborarea unei metodologii de concepție a produselor, în contextul fabricii digitale;
- integrarea de metode și mijloace pentru dezvoltarea unei platforme integrate de concepție și fabricație digitală;

- validarea metodologiei în cadrul platformei integrate de concepție și fabricație digitală.

Obiectivul general al tezei este elaborarea unui model metodologic care să constituie o structură implementabilă în cadrul procesului de concepție, în contextul fabricii digitale.

Contribuțiile aduse vor fi în principal de natură teoretică și metodologică. Modelarea procesului fabricii digitale și crearea unui instrument metodologic – prin dezvoltarea unei arhitecturi de concepție – reprezintă elementul de noutate și, în același timp, reprezintă problema prioritară care va fi dezbătută în cadrul lucrării. Dezvoltarea acestei metodologii va conduce la realizarea unei platforme integrate de concepție și fabricație digitală, care va constitui baza pentru implementarea la nivel de prim prototip de produs.

1.3 Demersul de cercetare

Demersul de cercetare pe care îl propunem pentru a elabora o metodologie cât mai viabilă de dezvoltare a unui produs în cadrul fabricii digitale are la bază modelul de concepție propus de Blessing și Chakrabarti (2009), sintetizat în „*DRM, a Design Research Methodology*”. Acesta reprezintă o abordare metodologică „standardizată” în domeniul de cercetare al procesului de concepție. Astfel, folosind modelul DRM, este necesară parcurgerea celor patru etape ilustrate în Fig. 1.2:

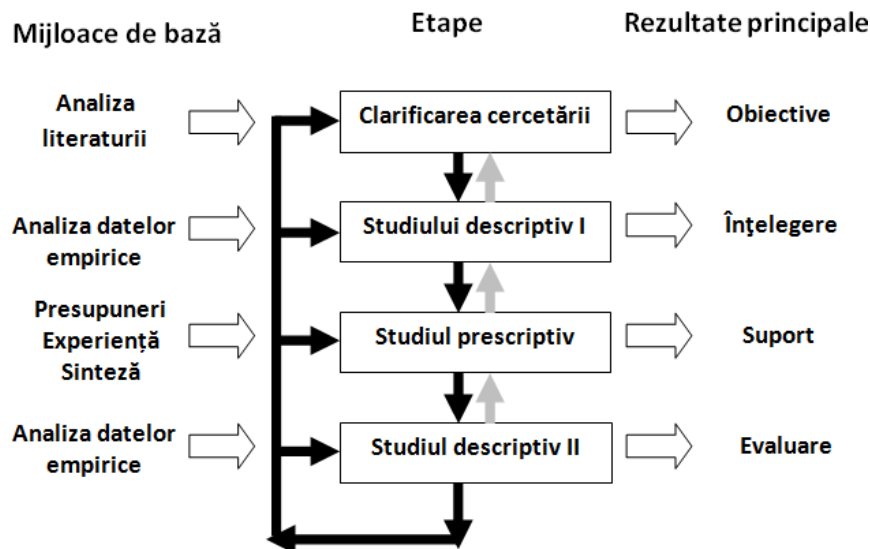


Fig. 1.2 Demersul de cercetare DRM, după (Blessing și Chakrabarti, 2009)

- Clarificarea cercetării (*Research Clarification*), care are la bază analiza stadiului actual în care se regăsește cercetarea, principalele rezultate obținute, pe baza cărora sunt definite obiectivele cercetării;
- Studiul descriptiv I (*Descriptive Study I*), în care cercetătorul are un obiectiv bine definit, revizuieste literatura de specialitate, pentru a elabora o descriere inițială a situației existente, cu scopul de a crea o

descriere destul de detaliată pentru a determina ce factori merită să fie îmbunătățiți și pentru a clarifica obiectivele;

- Studiul prescriptiv (*Prescriptive Study*), în care cercetătorul a înțeles obiectivele cercetării și va elabora propria descriere a situației cercetate;
- Studiul descriptiv II (*Descriptive Study II*), când cercetătorul supune propria idee la un test, pentru a investiga impactul și abilitățile acesteia.

Demersul de cercetare pentru atingerea obiectivelor propuse în cadrul acestei lucrări, utilizând modelul DRM, cuprinde următoarele etape (Fig. 1.3):

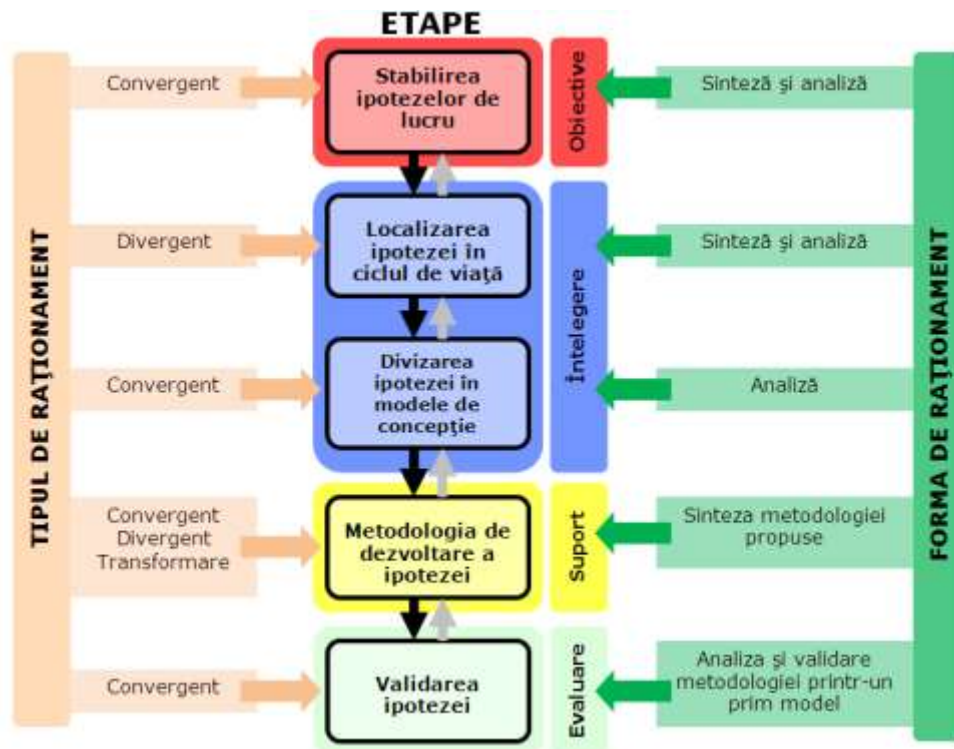


Fig. 1.3 Demersul de cercetare folosit

- stabilirea ipotezelor de lucru, definirea conceptului și a modului de implementare;
- localizarea ipotezei în cadrul ciclului de viață al produsului;
- analiza și sinteza modelelor și metodelor de concepție cunoscute în literatură, pentru a realiza cea mai bună alegere;
- dezvoltarea metodologiei propuse pentru rezolvarea obiectivului;
- validarea metodologiei propuse prin implementare la nivel de prim prototip de produs.

În cadrul acestui demers, în etape succesive s-au mai incorporat tipuri de forme logice și canonice de raționament.

Tipurile de raționament utilizate sunt:

- divergent - pentru a extinde plaja de căutare a soluțiilor;

- convergent - pentru reducerea progresivă a plajei de soluții și alegerea celei mai favorabile soluții;
 - transformare - actul de dezvoltare a unei structuri, model, soluție.
- Formele de raționament propuse sunt:
- analiză - pentru analizarea sistemelor, metodelor, soluțiilor;
 - sinteză - pentru alegerea celei mai bune variante de utilizat.

1.4 Structura tezei

Îndeplinirea obiectivului general al cercetării impune deci studiul modelelor de concepție, din punctul de vedere al fabricii digitale, în vederea elaborării unei noi metodologii, bazate pe principiile ingineriei integrate, și a unei arhitecturi de integrare virtuală a fabricii digitale.

În cadrul tezei se analizează diferite modele de concepție existente, pentru a propune un nou model de abordare a fabricii digitale, prin prisma unei vederi modulare a ciclului de concepție și fabricație.

Teza de doctorat este structurată în 6 capitole (Fig. 1.4).

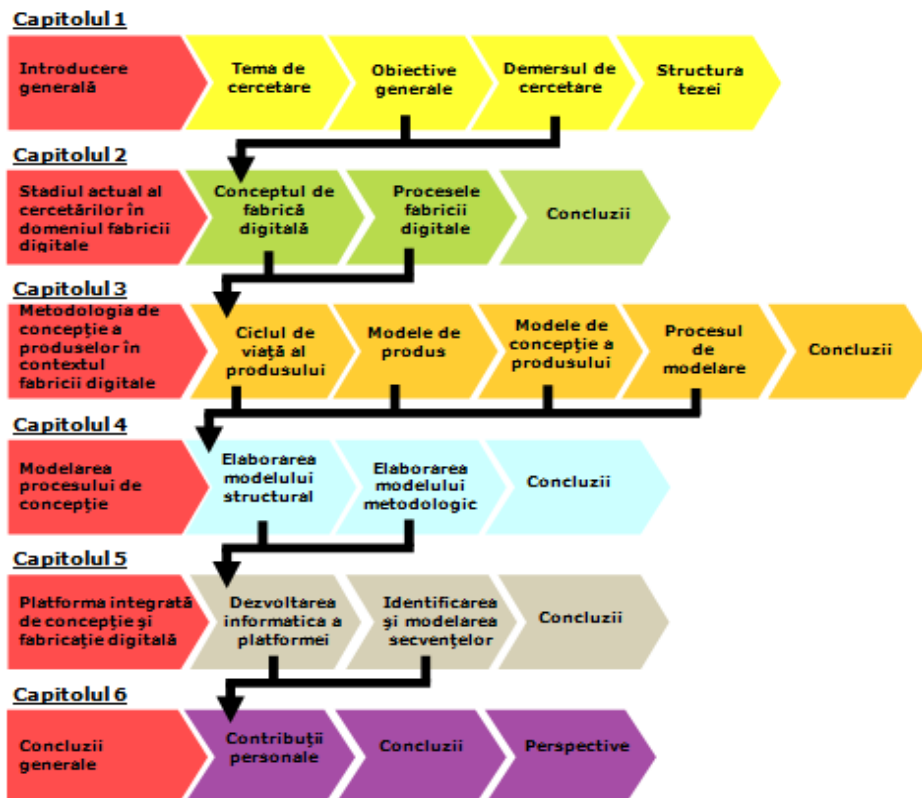


Fig. 1.4 Structura tezei

Analiza și sinteza stadiului actual al cercetării se prezintă în **capitolul al doilea**, care constituie o localizare a fabricii digitale în procesul de dezvoltare a produsului. Sunt tratate: conceptul de fabrică digitală, pornind de la definirea acesteia, viziunile și arhitectura fabricii digitale; procesele fabricii digitale, care pornesc de la concepție și continuă cu planificarea și controlul operativ al producției.

Capitolul trei prezintă sub o formă convergentă concepția produselor, pornind de la ciclul de viață, privit din punctul de vedere al fabricii digitale, și încheind cu procesul de modelare al produsului, folosind o formă de raționament bazată pe analiza și sinteza literaturii de specialitate, având ca scop prezentarea principalelor modele și procese de concepție ale produsului, în contextul fabricii digitale.

Capitolul patru prezintă modelarea procesului de concepție a produsului în fabrica digitală, pornind de la modelul ciclului de viață, pentru a extrage și detalia activitățile de concepție. Rezultatele descompunerii procesului de concepție și identificare a activităților necesare în cadrul fabricii digitale, folosind modulul IDEF0 al aplicației software iGrafx2011, vor fi folosite în demararea concepției diagramei de clase. Modelarea diagramei claselor, care descrie metodologia de dezvoltare a produsului în contextul fabricii digitale, prin modelul specific de relaționare între acestea, servește la ordonarea atributelor și operațiilor fiecărei clase.

Pornind de la concluziile reieșite în urma modelării folosind diagramele UML de clase, în **capitolul cinci** se prezintă, în prima parte, dezvoltarea informatică a platformei integrate de concepție și fabricație digitală, printr-o aplicație web colaborativă, iar în cea de a doua parte, implementarea metodologiei concepute folosind diagramele UML de secvențe, pentru concepția unui prim prototip de produs și trecerea acestuia prin toate etapele necesare pentru a fi lansat în fabricație.

În **capitolul șase** sunt prezentate concluziile generale desprinse din elaborarea tezei, contribuțiile proprii și direcțiile de dezvoltare a cercetărilor.

Lucrarea de doctorat a fost elaborată în cadrul școlii doctorale de la Universitatea „Politehnica” din Timișoara, proiectul POSDRU/88/1.5/S/50783, Proiect ID50783 (2009), co-finanțat de către Fondul Social European – Investește în Oameni, prin Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013.

2 STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR ÎN DOMENIUL FABRICII DIGITALE

2.1 Introducere

Prezentul capitol abordează prima etapă a demersului de cercetare: analiza și sinteza stadiului actual al cercetărilor în domeniul fabricii digitale. Scopul analizei este de a reține aspectele importante pentru propunerea unui model metodologic care să constituie o structură implementabilă în cadrul procesului de concepție.

Care este stadiul actual de dezvoltare a fabricii digitale? Trebuie menționat mai întâi că nivelul de punere în aplicare atins deja de unele companii nu poate fi determinat exact. Prin urmare, discuția următoare ar trebui să fie considerată ca un rezumat al analizei informațiilor publicate.

Companiile au atins un succes în anumite domenii parțiale și în proiecte pilot. Un exemplu este aplicarea aproape neîntreruptă a diferitelor mijloace de planificare de către producătorii auto în construcția caroseriei vehiculului. Marii producători de autoturisme germani au implementat sau sunt în stadiul de implementare a planificării producției utilizând fabrica digitală (Ruffa și Stephen, 2008). Corporația Daimler AG așteaptă de la implementarea fabricii digitale, pe care au demarat-o în 2005, o creștere substanțială a capacității de muncă, prin digitalizarea instalațiilor de producție, deci o eficiență sporită în concepția și planificarea noilor produse. Opel așteaptă de la planificarea digitală reduceri considerabile de timp și costuri în faza de lansare în fabricație (durata de lansare redusă cu aproximativ 30%, costul de lansare mai mic cu circa 15%). Unul dintre cele mai importante rezultate este acela de reducere a suprafeței necesare producției cu 20% prin optimizarea valorilor de utilizare a utilajelor din cadrul producției (utilizarea roboților crescând cu 30%) (CIMdata, 2011). Audi recunoaște că, prin implementarea anumitor module ale fabricii digitale, timpul de 48 de luni necesar lansării în fabricație a unui nou automobil a scăzut cu câteva luni (Zulch și Stowasser, 2005).

Integrarea datelor, simularea roboților și programarea *offline* au devenit deja sisteme stabile. Astfel, trei mari dezvoltatori de software constituie în prezent coloanele de susținere a fabricii digitale. Așa cum rezultă din cunoștințele actuale, nu este absolut sigur că o platformă software poate să acopere toate aspectele fabricii digitale. Cooperarea între furnizorii de software aplicabil în domeniul fabricii digitale, cerințele impuse de un sistem central și standardizarea mijloacelor adecvate de gestionare a datelor pot fi satisfăcute cu greu în prezent. Pentru întreprinderile mici și mijlocii, multe dintre mijloacele software sunt încă prea scumpe sau amortizarea nu este posibilă. Cu toate acestea, unele dintre aceste companii au solicitat deja livrarea de anumite dovezi sau date în format digital, pentru a se integra noilor cerințe ale fabricii digitale (Bracht și Masurat, 2005).

Un număr din ce în ce mai mare de dezvoltatori de servicii software oferă ajutor, în colaborare cu diferite sisteme de fabricație digitală. Odată cu diversificarea sistemelor CAx de proiectare, dezvoltare și planificare, furnizorii trebuie să ofere

sisteme de conectare cu o multitudine de interfețe. Mai mult, ei sunt obligați să păstreze aproape toate mijloacele software disponibile, pentru a putea satisface nevoile cât mai multor clienți cu puțință (Bracht și Masurat, 2005), (Zulch și Stowasser, 2005).

Prin urmare, trebuie să se concluzioneze că, în mod inerent, este necesară crearea de rețele de mijloace standardizate, ceea ce nu este deloc fezabil, deoarece structurile cu multe mijloace nu permit codarea cu alte module sau aplicații. În plus, nu au fost încă rezolvate problemele legate de traducere din diferite formate și de gestionare a datelor. Acești factori ar putea crește în continuare multitudinea de soluții software în diferite departamente ale companiei. Indiferent de decizia care se va lua, în favoarea unui furnizor de software general sau special pentru fabrica digitală, din această alegere vor rezulta întotdeauna anumite avantaje, precum și dezavantaje, deși, folosind un singur software mai apar probleme între interfețele diferitelor module ale acestuia (Wenzel ș.a., 2005).

Deoarece structurile existente ale companiei tind să reflecteze tiparele convenționale de gândire și muncă, și întrucât noile procese și metode de orientare nu sunt încă practice într-o manieră cuprinzătoare, doar o parte limitată din potențialul economiilor pot fi realizate folosind o soluție IT singulară. Posibilitățile reale oferite de fabrica digitală sunt accesibile numai printr-o rețea corespunzătoare a tuturor mijloacelor, în combinație cu o restructurare a proceselor și organizarea ierarhică a companiilor. Va fi, de asemenea, necesară revizuirea și redistribuirea de competențe și responsabilități (Zulch și Grieger, 2005).

În cele ce urmează se vor prezenta conceptul de fabrică digitală (definiții, viziuni, arhitectură) și procesele fabricii digitale (concepția/dezvoltarea produsului, planificarea producției și controlul operativ).

2.2 Conceptul de fabrică digitală

2.2.1 Definiții ale fabricii digitale

Conceptul de fabrică digitală a început să fie dezbătut de către mediul științific și industrial la sfârșitul anilor '90, enunțându-se pe parcurs diferite definiții, din diferite perspective.

În (Wiendahl, 2002), fabrica digitală este considerată un model cu ajutorul căruia omul poate să înțeleagă toate elementele care compun sistemul de producție.

Krause (2001) definește fabrica digitală ca o transpunere tehnico-informatică a întregului ciclu al activităților dintr-o întreprindere. Această digitalizare este bazată pe aplicații software de CAD, dar nu este obligatoriu ca toate operațiile de configurare sau de acționare să fie realizate automat. Fabrica digitală are rolul de a ilustra sub formă inteligibilă toate procesele din cadrul fabricii reale.

Un alt mod de definire a fabricii digitale este prin prisma dispunerii sistemelor de fabricație pe diferite plane (*layout*), utilizând mijloace de asistare informatică, fabrica digitală fiind considerată un model virtual (Dombrowski, 2001).

În percepția lui Schuh ș.a. (2002), fabrica digitală este definită ca fiind modelul digital al produselor, proceselor și resurselor care intră în activitatea de producție. Asemănătoare este și în percepția lui Westkamper (2003) și Schraft (2003), care spun că fabrica digitală este o imagine digitalizată a sistemului fabricii reale.

În literatura de specialitate se mai întâlnește termenul de producție virtuală (*Virtual Production*), în sensul de planificare, evaluare și comandă a proceselor de producție, utilizând modele digitale (Reinhart, 1999). Astfel, conceptul de fabrică digitală este considerat ca fiind legătura dintre sistemul de fabricație reală și sistemul de producție virtuală (Zah, 2004).

Un alt termen des întâlnit este acela de producție digitală (*Digital Production*), pe care unii autori îl folosesc pentru a descrie rețelele globale de producție dintr-o anumită companie (Schuh, 1998).

CIMdata (2011) definește termenul de fabricație digitală (*digital manufacturing*), ca fiind integrarea instrumentelor de care este nevoie pentru definirea datelor de produs, pentru a ajuta procesele de concepție, fabricație, vizualizare, simulare și alte analize necesare optimizării procesului de fabricație reală.

Gausemeier (2006) contopește termenii de fabricație digitală (*Digital Manufacturing*) și producție virtuală (*Virtual Production*) într-un singur termen, acela de fabrică digitală (*Digital Factory*), consemnând că nu este nevoie de doi termeni diferiți pentru a defini același model computerizat.

În 2008, Asociația Germană a Inginerilor (*VDI*) definește fabrica digitală în codul VDI-4499 astfel: „Fabrica digitală este un termen generic pentru spectrul larg de modele, metode și mijloace – inclusiv simularea și vizualizarea 3D – ce sunt integrate printr-un management continuu al datelor, cu scopul de a evalua și optimiza continuu produsul, procesele și resursele din cadrul fabricii reale”.

În urma analizării definițiilor din literatura de specialitate, termenul de fabrică digitală propus în această lucrare este definit astfel: *Fabrica digitală reprezintă totalitatea activităților necesare concepției, simulării și fabricației virtuale, desfășurate pentru a optimiza un produs, înaintea lansării acestuia în cadrul sistemului de fabricație reală.*

Fabrica digitală este definită ca o metodologie implementată în mediul industrial. Considerentele pentru care este foarte dificil de a se realiza o prioritate corectă a motivelor implementării fabricii digitale sunt determinate de faptul că aceste sisteme se pot regăsi în domenii din industrii total diferite și din zone geografice din cele mai diverse (Stark, 2005). O clasificare generală a motivelor pentru care fabrica digitală ar trebui implementată sunt:

- externalizarea diferitelor elemente componente ale lanțului de producție;
- complexitatea din ce în ce mai mare a produselor;
- liberalizarea piețelor;
- concurența;
- implementarea produs-servicii;
- personalizarea produselor;
- tendințele populației;
- globalizarea;
- protecția mediului;
- evoluția foarte rapidă a noilor tehnologii și sisteme de producție;
- dezvoltarea durabilă;
- durata de viață din ce în ce mai scurtă a produselor.

Argumentele prezentate au ca rezultat un mediu aflat într-o continuă schimbare și el determină dificultăți în concepția și fabricația produselor (Stark, 2005). Într-un asemenea mediu este greu de a avea controlul asupra produsului, iar dacă se pierde acest control, apare un set de riscuri, cum ar fi:

- comportarea produsului neconformă cu așteptările;

- deteriorarea imaginii companiei;
- pierderea clienților din cauza problemelor legate de produs;
- pierderea segmentului de piață;
- scăderea profitului (din cauza costurilor de retragere de pe piață a produsului);
- despăgubiri din cauza defectării produsului.

Implementarea fabricii digitale trebuie să permită obținerea unui avantaj competitiv, prin îmbunătățirea performanțelor. Accelerarea procesului de concepție și fabricație, după (Kuehn, 2007), implică colaborarea între echipe multidisciplinare și are ca rezultat simplificarea procesului de concepție. Astfel, implementarea fabricii digitale necesită:

- integrarea modelelor de concepție;
- sincronizarea proceselor de concepție care necesită întregul lanț de valori;
- munca mai eficientă în echipele de concepție;
- configurarea produsului folosind componente reutilizabile.

Beneficiile pe care le implică un management integrat al fabricii digitale sunt:

- creșterea flexibilității produselor;
- scurtarea timpului de introducere de noi produse, *Time-to-Market* și *Time-to-volume*;
- optimizarea dimensiunilor stocului tampon;
- asigurarea nivelului minim de manipulare a produsului.

2.2.2 Viziuni asupra fabricii digitale

În contextul industrial, fabrica digitală câștigă din ce în ce mai mult teren. Cercetările actuale sunt axate pe două direcții diferite (Er Shi Qi, 2010):

- pe prima direcție sunt cei care consideră fabrica digitală ca fiind o rețea de aplicații software de virtualizare cu o rază mică de aplicare, producția fiind inima activității unei întreprinderi;
- pe cealaltă direcție sunt cei care consideră fabrica digitală ca fiind o rețea cuprinzătoare din care fac parte furnizori, distribuitori, clienți etc.

Fabrica digitală este considerată ca un concept de metode și instrumente (inclusiv o rețea de modele digitale, cum ar fi simularea și vizualizarea 3D (Zulch și Stowasser, 2005)) care sunt integrate prin intermediul unor module de gestionare flexibilă a datelor. Produsele, procesele și resursele sunt modelate într-o fabrică virtuală bazându-se pe date reale (Sacco, 2007). Pe baza datelor reale și a modelelor de produse planificate, procesele de producție pot fi îmbunătățite prin folosirea unor modele virtuale, până la momentul în care procesele sunt considerate pe deplin dezvoltate, testate și, mai ales, fără erori pentru utilizarea lor în fabrica reală (Bley, 2004).

Viziunile asupra conceptului de fabrică digitală sunt diferite, dar ideea esențială este aceeași, iar unul dintre cele mai apreciate puncte de vedere este acela al lui Kuehn (2007) care expune acest concept ca fiind: „integrarea metodelor și instrumentelor disponibile la diferite niveluri de planificare, testare a produsului și a procesului de fabricație, pentru a se putea controla operativ fabricația”. Astfel, în viziunea lui Kuehn (2007) fabrica digitală integrează următoarele procese:

- dezvoltarea, testarea și optimizarea produsului;
- dezvoltarea și optimizarea procesului de producție;

- proiectarea și îmbunătățirea planurilor de producție;
- planificarea operativă și controlul producției.

O altă viziune a fabricii digitale, foarte apreciată de mediul academic, este rezumată astfel: „totalitatea instrumentelor asistate de calculator, necesare pentru planificarea și simularea noilor produse și instalațiile de producție, precum și pentru funcționarea fabricii, interconectate printr-o bază de date centrală” (Schuh, 1998), (Bley, 2004), (Wenzel ș.a., 2005).

Fabrica digitală este o abordare cuprinzătoare, care constă în integrarea fabricii virtuale în fabrica digitală, așa cum este prezentat în Fig. 2.1.

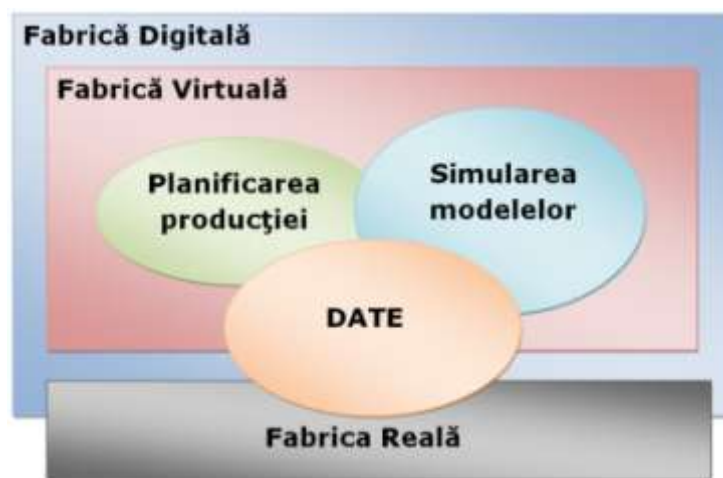


Fig. 2.1 Fabrica digitală (model cuprinzător), după (Kuehn, 2006)

Pentru concepția sistemelor digitalizate și lansarea producției reale, sistemele de fabrică digitală trebuie să aibă la bază demersul de inginerie simultană (Bley, 2004). Datorită acestui demers, durata de timp pentru lansarea în fabricație se va reduce semnificativ (*Time-to-volume*) și poziția competitivă a companiei poate fi îmbunătățită. Mai mult, fabrica digitală scurtează timpul de lansare pe piață a produsului (*Time-to-Market* și *Time-to-Customer*). Dezvoltarea de produse și planificarea producției trebuie să fie în interacțiune directă, în scopul de a planifica și a produce la cât mai eficient posibil *Cost – effectively* (Dombrowski, 2001).

Fabrica digitală depășește întreaga sumă de instrumente de planificare și se concentrează pe:

- integrarea dezvoltării produsului și planificării producției, optimizarea planificării, în ceea ce privește eficiența economică, flexibilizarea și reducerea perioadei de planificare (*Time-to-Market*);
- reducerea costurilor prin planificarea datelor reale, evitarea erorilor etc.;
- începerea producției rapid și în condiții de siguranță (*Time-to-Volum*);
- reducerea costurilor de producție și a costurilor de schimbare a produsului, prin standardizarea soluțiilor și creșterea productivității;
- examinarea integrală a producției și optimizarea lanțului de aprovizionare (*Time-to-Client*).

Fabrica digitală (Fig. 2.2) poate fi văzută ca o întreprindere, incluzând o strategie de informare pentru a gestiona și integra procesele mai multor locații ale

companiei într-o rețea globală (Kuehn, 2007). Această rețea oferă metode și soluții software pentru concepția unui portofoliu de planificare, dezvoltarea digitală a produsului, digitalizarea fabricației, vânzări, și în sprijinul scăderii timpului de livrare (*Time-to-Value*). Soluțiile colaborative suportă procese implicate în fiecare etapă majoră din viața produsului și a ciclului de producție (Krause, 2001).

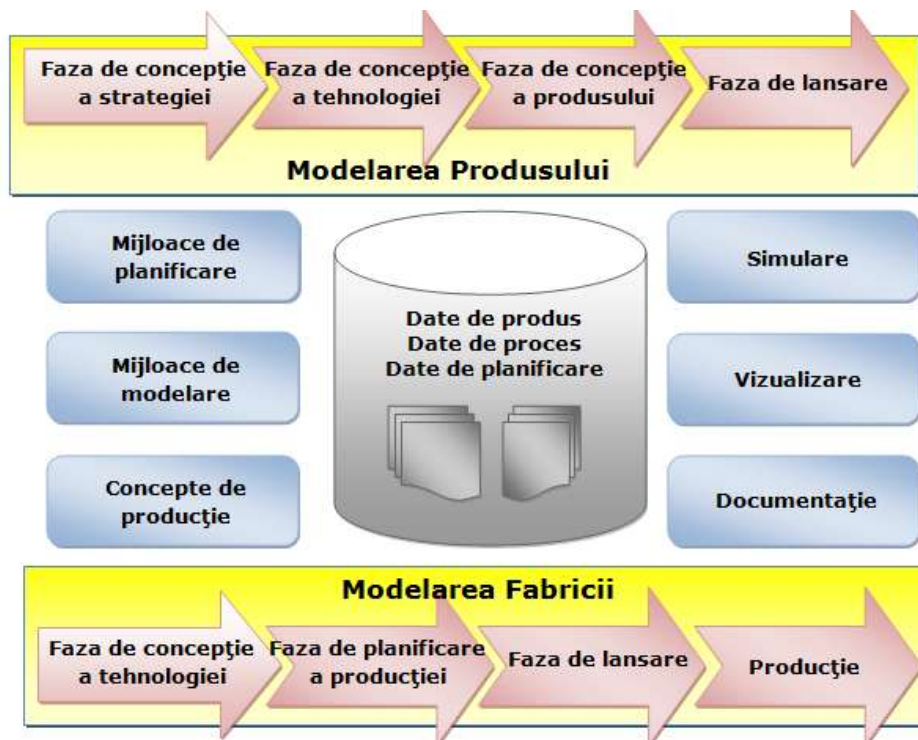


Fig. 2.2 Conceptul fabricii digitale, după (Kuehn, 2006)

Prin urmare, conceptul fabricii digitale integrează baze de date pentru produs, proces și modelarea fabricației, vizualizare avansată, simulare, pentru a îmbunătăți calitatea produsului și dinamica proceselor de producție implicate. Obiectivele care trebuie atinse folosind modulele organizatorice, tehnice și economice din cadrul fabricii digitale, ar fi:

- îmbunătățirea profitabilității;
- îmbunătățirea capacității de planificare a calității;
- scurtarea timpului de lansare a produsului;
- comunicare transparentă;
- standardizarea procesele de planificare;
- competențe în cunoștințe de management.

Demersul luat în considerare de (Bracht și Masurat, 2005) este acela de implementare a unui sistem de gestiune a datelor care să asigure, în plus, o versionare corectă, cu acces permanent, cu posibilitate de transfer biunivocă între diferite sisteme ce aparțin fabricii digitale, pentru o cooperare interdisciplinară între diferiți experți (Fig. 2.3).

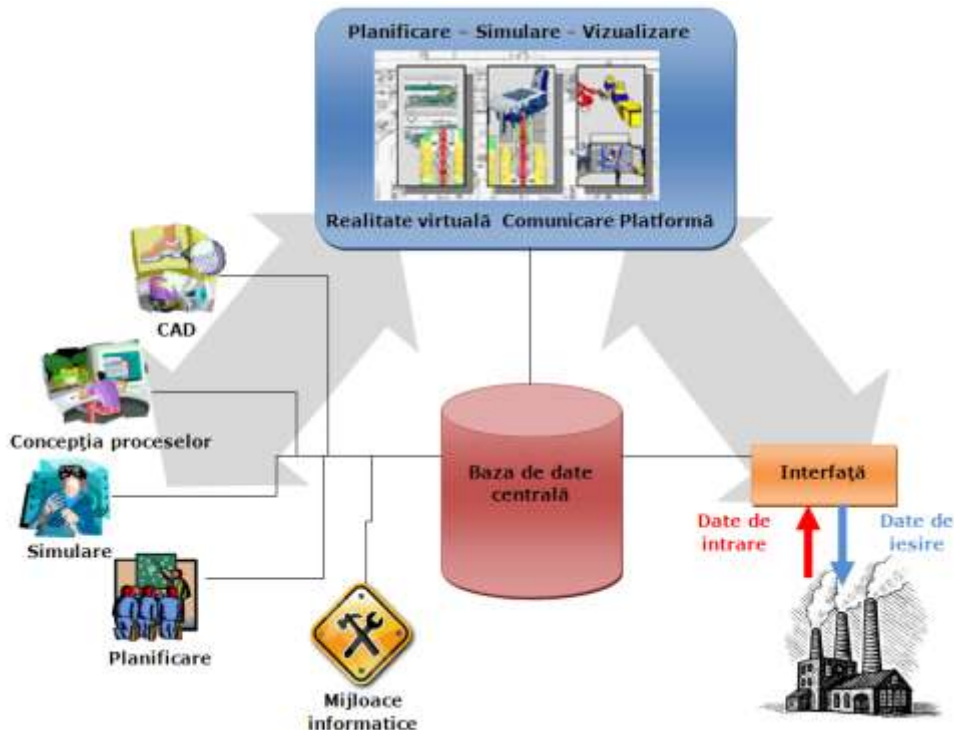


Fig. 2.3 Viziunea asupra fabricii digitale, după (Bracht și Masurat, 2005)

Astfel, s-a ajuns la concluzia că producția pilot nu mai este necesară, deoarece se pot realiza teste virtuale de încredere. În consecință, curbele de start pentru producție sunt foarte abrupte, deoarece mai pot apărea numai câteva erori, în sistemele logistice sau a interconexiunilor acestora. În timpul fazelor de producție, simulare a fluxului de materiale și control al funcționării fabricii, se oferă un suport pentru programarea locurilor de muncă (Wiendahl, 2002). În cazul în care apar disfuncționalități majore sunt generate rapid și simulate scenarii de urgență. Astfel, instrucțiuni clare de procedură pot asigura o reacție eficientă. Conversia și optimizarea proceselor pot fi simulate, creându-se condiții optime pentru fazele de reorganizare. Modificările în structură conduc la o adaptare automată a modelului asociat fluxului de materie primă și pot fi imediat comparate cu rezultatele simulate. Prolungind funcțiile de simulare, este posibilă o monitorizare permanentă a costurilor. În acest context, fabrica digitală funcționează ca un instrument de control și din considerente economice (Bracht și Masurat, 2005).

Prin urmare, în timpul fazelor de dezvoltare, fabrica digitală funcționează practic în același mod cum ar trebui să funcționeze o fabrică reală. În plus, este permanent cuplată cu procesul de producție real. După realizarea planurilor, acestea pot fi utilizate pentru monitorizarea, controlul și îmbunătățirea continuă a proceselor de planificare.

2.2.3 Arhitectura fabricii digitale

Conceptul fabricii digitale integrează informații legate de produs, fabricație, planificare, simulare, comunicare și mijloacele de control la toate nivelurile de planificare și de fabricație. Fiecare dintre mijloacele speciale sunt concepute prin utilizarea de algoritmi specifici și date specifice.

Abordarea fabricii digitale vizează utilizarea de date comune pentru toate aplicațiile de la diferite niveluri din fabrica digitală (Fig. 2.4), pentru a permite colaborarea cu modele virtuale, în scopuri și la niveluri de detaliu diferite (Zah, 2004). Prin urmare, o arhitectură deschisă este o caracteristică importantă a conceptului fabricii digitale. În practică, aplicațiile fabricii digitale necesită utilizarea unor aplicații software diverse (Wagner și Blumenau, 2003). Pentru integrarea informațiilor în dezvoltare și rețele sunt concepute interfețe deschise, cu excepția celor de proprietăți. Interfețele deschise și interoperabilitatea sunt factorii cheie pentru punerea în aplicare a conceptelor de producție digitală. În schimb, lipsa unor standarde în mediul fabricii digitale îngreunează semnificativ integrarea și provoacă eforturi mari de implementare pentru clienți (Kuehn, 2007).

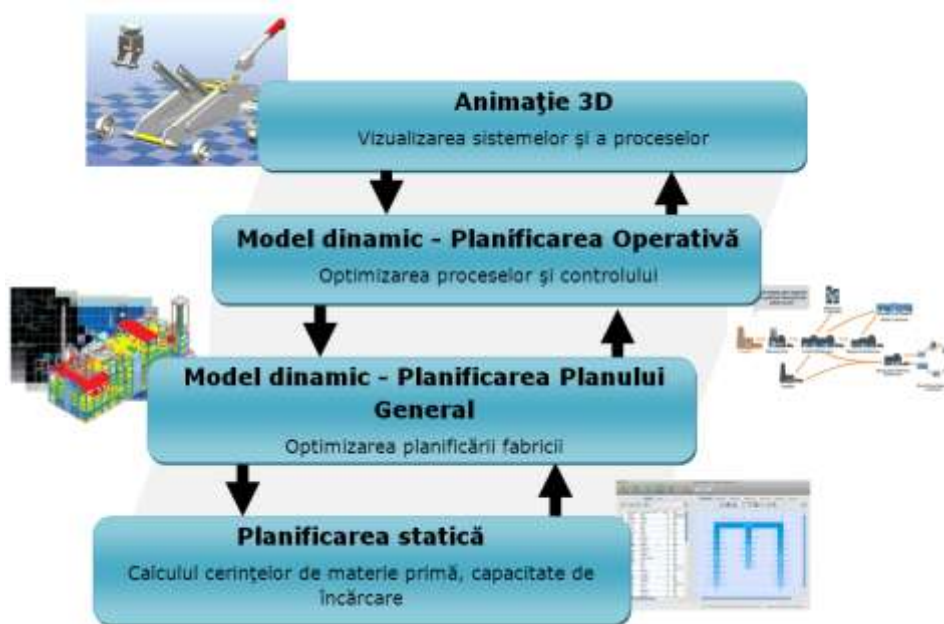


Fig. 2.4 Modele de programare a diferitelor niveluri din fabrica digitală, după (Kuehn, 2007)

O arhitectură deschisă de integrare a fabricii digitale în cadrul unei întreprinderi reale este de formă liniară, pe care (Kuehn, 2007) o consideră ca fiind similară cu o "coloană vertebrală", scalabilă, pentru a putea transforma procesul acesteia (Fig. 2.5). Abordarea sub această formă oferă o platformă deschisă pentru integrarea soluțiilor software, chiar și a celor independente, care să conlucreze cu un alt mediu într-o fabrică digitală (Wohlke, 2005). Un sistem deschis al "coloanei vertebrale" a fabricii oferă o platformă tehnologică din care au beneficii atât utilizatorii cât și dezvoltatorii de aplicații software specializate, care să se conecteze la un mediu integrat al fabricii digitale (Kuehn, 2007).



Fig. 2.5 „Coloana vertebrală” a fabricii deschise, după (Kuehn, 2007)

Westkamper (2003) consideră fabrica digitală ca fiind un mediu de planificare a fabricației, în care se vor introduce toate datele și resursele de fabricație. Astfel, acesta propune o abordare, des întâlnită în literatură, pentru concepția arhitecturii fabricii digitale în formă de stea (Fig. 2.6), în care toate informațiile legate de produs, procese de fabricație, planificare și simulare sunt direcționate către o bază de date centrală, aceasta putând fi accesată de diferiți experți, din diferite zone geografice și de la diferite nivele de planificare. Baza de date nu este una statică, ci dinamică, pentru a adapta în permanent datele și documentele, acestea urmărind din aproape în aproape ciclul de fabricație.

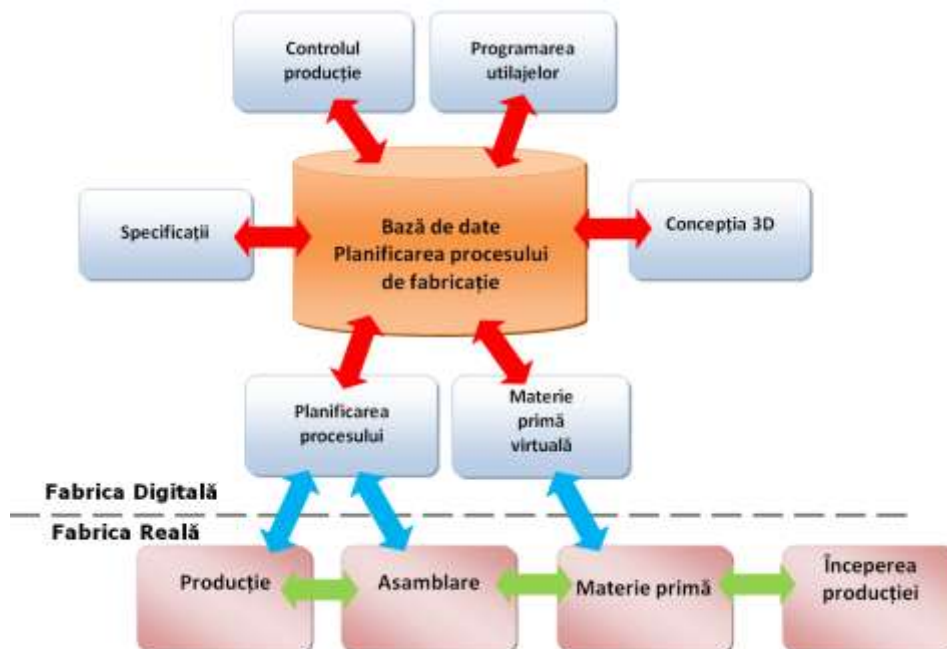


Fig. 2.6 Arhitectură de tip stea, după (Westkamper, 2003)

2.3 Procesele fabricii digitale

Procesele fabricii digitale sunt reprezentate în Fig. 2.7. Accelerarea inovării în concepția produsului și în planificarea producției/fabricației, va permite o colaborare mai bună între echipele de experți. În conceptul fabricii digitale, planificarea procesului de fabricație trebuie să aducă avantaje pentru companie prin intermediul îmbunătățirii performanțelor.

Conceptul fabricii digitale necesită (Kuehn, 2006):

- integrarea modelelor CAD/CAM și CAE;
- sincronizarea proceselor de concepție, care necesită participarea întregului lanț de valori, accesarea tuturor informațiilor necesare pentru un produs;
- colaborarea în mod eficient a tuturor membrilor echipei de experți, fără ca aceștia să fie în același loc fizic;
- accelerarea livrării caietului de sarcini al produsului către echipele de concepție;
- integrarea și colaborarea cât mai bună între echipele de concepție și cele de fabricație;
- configurarea produsului folosind informații reutilizabile;
- stabilirea configurației produsului prin reutilizarea sistemului de fabricație după terminarea unui ciclu de viață.

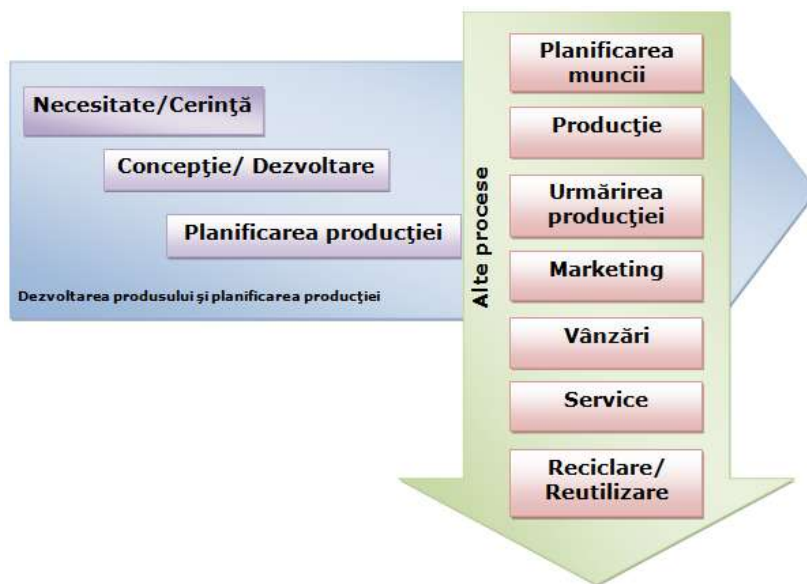


Fig. 2.7 Procesele fabricii digitale, după (Kuehn, 2006)

Fabrica digitală necesită un management integrat al procesului colaborativ pentru echipe de lucru multisite, care folosesc o varietate de aplicații software, pentru aceasta fiind nevoie de o structură de gestionare a tuturor informațiilor referitoare la produs, nu doar anumite formate de fișiere. Trebuie gestionate toate informațiile relevante (CAD, CAM, CAE etc.), precum și anumite specificații, cum ar fi: documente, cerințe și alte tipuri de informații privind produsul. Integrarea

formatelor CAD necesită conectări multiple între sisteme diferite (CATIA, Creo, Pro/Engineering, SolidWorks, Unigraphics NX Series, Solid Edge, AutoCAD etc.), colaborare multisite pentru a putea participa la proiectare, automatizare și procese de fabricație (Fig. 2.8).

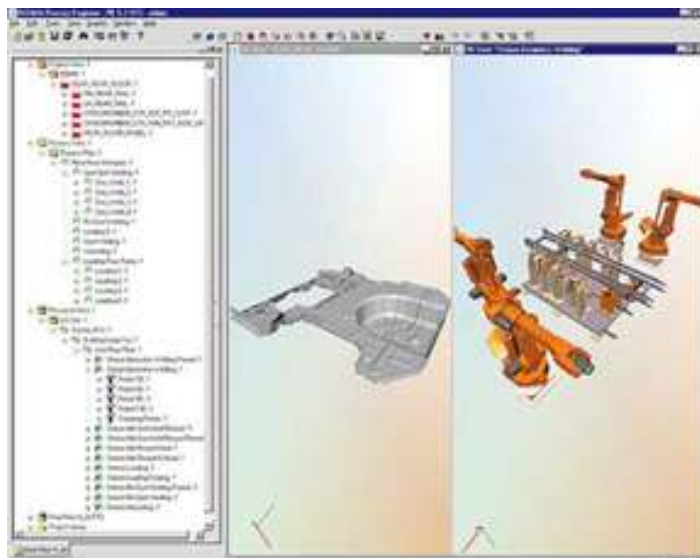


Fig. 2.8 Definirea produsului și a procesului în Delmia (Dassault Systems, 2010)

Capacitățile de gestiune a proceselor permit definirea corectă a fluxurilor tehnologice, inclusiv prin folosirea normelor specifice impuse de către companie și execuția eficientă a automatizării proceselor de producție. Beneficiile unui management avansat de fabricație sunt:

- creșterea inovării produselor și a flexibilității;
- creșterea proiectării și fabricației concurente;
- descoperirea, încă din faze incipiente, a greșelilor de proiectare care pot fi costisitoare;
- permiterea membrilor echipei să acceseze în siguranță toate informațiile relevante;
- îmbunătățirea comunicării între diferite companii, furnizori și parteneri;
- sincronizarea activităților echipelor distribuite la nivel global;
- integrarea fișierelor aplicațiilor software curente (CAD, CAM, CAE).
- În cele ce urmează ne concentrăm atenția pe principalele procese ale fabricii digitale: concepția/dezvoltarea produsului și planificarea producției.

2.3.1 Concepția/dezvoltarea produsului

În viitoarea abordare a organizării companiilor, folosirea la o scară largă a computerelor și a aplicațiilor software de concepție este crucială pentru așa numitul mediu virtual. La baza mediului virtual stă procesul de dezvoltare virtuală a produsului, care poate fi accesat de diferiți membri ai echipei de concepție (Wörn, 2000).

Concepția virtuală (*Virtual design*) cuprinde fazele în care sunt elaborate toate documentele cu privire la produs (modelul CAD, prototipul funcțional *Digital Mock-Up* DMU) și producție (lista pieselor, documente pentru fabricație).

Scopul concepției virtuale este de creare a DMU, care conduce la înlocuirea prototipului fizic cu cele virtual, incluzând un model cât mai realist al produsului și funcționalitatea completă a acestuia. Utilizând DMU, echipa de concepție este capabilă de a realiza teste cât mai realiste de proiectare, optimizare și chiar a ciclul viață al produsului.

2.3.1.1 Modelarea geometrică a produsului

Sistemele CAD au devenit mijloace esențiale în concepția de noi produse. Sistemele CAD actuale permit modelarea 3D folosind modele CSG (*Constructiv Solid Geometry*), combinate cu suprafețe complexe reprezentate prin modele B-Rep (*Boundary Representation*) (Wörn, 2000).

Sistemele CAD moderne au implementate o serie consistentă de aplicații suplimentare, prin care au capacitatea de a se adapta la cerințele utilizatorului (Wörn, 2000).

2.3.1.2 Modelarea ergonomică a produsului

Concepția asistată de calculator în ergonomie a apărut din dorința de a simula viitoarele locuri de muncă și activități ale operatorului uman, pentru creșterea siguranței în utilizarea sistemelor de muncă și pentru minimizarea riscurilor de accidente. Concepția ergonomică se focalizează pe simularea efectivă a mișcărilor diferitelor segmente ale corpului sau ansamblului său, pentru realizarea unor sarcini de muncă manuale - utilizarea unor produse, activități de montaj manual, de mentenanță etc. – și constă în (Drăghici, 2007):

Definirea operatorului uman (*human builder*). Această secțiune permite definirea și crearea utilizatorului cel mai probabil din cadrul sistemului de muncă analizat, ceea ce înseamnă de fapt reprezentarea acestuia printr-un manechin 3D. Astfel, trebuie definit sexul și dimensiunile antropometrice corespunzătoare unei grupe de dimensiuni; această alegere conduce la definirea dimensională a utilizatorului celui mai probabil (considerând distribuția normală Gauss a dimensiunilor populației operatorilor).

Definirea dimensiunilor operatorului uman. Această secțiune permite personalizarea manechinului din punct de vedere al dimensiunilor sale antropometrice și selectarea poziției sale de lucru: ortostatic, șezând, înclinat frontal sau lateral, aplecat etc., după cum o impune situația de concepție. Manechinul poate fi manipulat după necesități, pentru a defini cât mai precis interfața cu utilizatorul ce se dorește a fi optimizată și, de asemenea, poate fi poziționat (așezat, ortostatic, în genunchi, cu membrele întinse înaintea sau lateral etc.).

Analiza posturală permite analiza cantitativă și calitativă a diferitelor posturi ale manechinului, simulând diferite situații reale de muncă. Astfel, secțiunea facilitează analize posturale ale întregului corp, examinarea operatorului, simultan cu performanțele impuse unui proces de muncă.

2.3.1.3 Testarea produsului prin prototipare virtuală

Prototiparea virtuală este o tehnologie informatică care permite conceptoriilor să examineze, manipuleze și să testeze forma produsului conceput

folosind diferite aplicații software, care facilitează comunicarea între diferite departamente implicate în concepție.

Departamentul de Apărare (DoD) al USA definește prototipul virtual (*Digital Mock-Up*) ca fiind „o simulare bazată pe folosirea aplicațiilor software a unui sistem sau subsistem cu un grad de realism funcțional comparabil cu un prototip fizic”, și mai definește procesul de prototipare virtuală ca fiind: „procesul de utilizare a unui prototip virtual în locul unui prototip real, pentru testarea și evaluarea caracteristicilor specifice ale unui concept” (Garcia, 1993).

O altă definiție a prototipării virtuale este enunțată de Wang (2002), care spune: „prototipul virtual (*Digital Mock-Up*) este o simulare grafică într-o aplicație software a unui produs fizic care poate fi prezentată, analizată și testată din punct de vedere al ciclului de viață al produsului în fazele de concepție/proiectare, producție, vânzare/servicii și reciclare, ca pe un prototip real; construcția și testarea unui prototip virtual este denumită prototipare virtuală.”

Prototiparea virtuală înlocuiește prototipurile reale foarte costisitoare și greu de construit pentru testarea diferitelor caracteristici. Piplani (1994) observa că trendul este de a utiliza soluții mult mai sofisticate ale prototipării virtuale și de a omite faza de construcție a prototipurilor reale în timpul procesului de analiză. Atul prototipării virtuale este acela că are un răspuns prompt și poate interacționa cu o gamă largă de aplicații software.

Utilizând sistemele de prototipare virtuală se poate „ilustra” potențialul unui concept încă din faza studiului conceptual sau faza timpurie a concepției constructive, conducând la modele de concepție mult mai mature în fazele de concepție detaliată (James și Schaaf, 1997).

a. Componentele prototipării virtuale

Pentru prototiparea virtuală este nevoie de elaborarea componentelor prototipului virtual (*Digital Mock-Up*), primul pas fiind simularea produsului. În această etapă, majoritatea aplicațiilor software de simulare acceptă un model 3D parametrizat. Următoare etapă, pentru un prototip virtual, este să fie „egalat” cu un prototip real. Este de dorit concepția unui model de interacțiune om-produs, însă în mod ideal ar fi ca un produs virtual să poată fi examinat vizual, tactil, olfactiv, auditiv, de către conceptor. În concluzie, un prototip virtual complet ar trebui să includă în esență: modelul 3D, interacțiunea om-produs și perspectivele de testare a produsului (Fig. 2.9).



Fig. 2.9 Modelul prototipului virtual complet, după (Wang, 2002)

b. Metode de testare a produsului

Un model determinist, prin definiție, este un model perfect, ceea ce înseamnă că acesta are valorile caracteristice fixe și egale. Totuși, în realitate, nu este chiar așa (Coze, 2009). Pentru a crea un model virtual ancorat în realitate, cu o mare exactitate, este nevoie a se lua în considerare imperfecțiunile. Pentru că natura are întotdeauna o manifestare aleatorie, sunt necesare sisteme probabilistice pentru a concepe simulări cât mai reale.

Metoda elementelor finite (Finite Element Method FEM). În practică este denumită Analiza cu elemente finite (*Finite Element Analysis FEA*) (Fig. 2.10). Este tehnica numerică pentru calcularea soluțiilor aproximative ale ecuațiilor cu derivate parțiale, precum și a ecuațiilor integrale.

Metoda elementelor finite permite vizualizarea detaliată a structurii conceptului prin indicarea distribuției tensiunilor și a deplasărilor. Aplicațiile software care folosesc analiza cu elemente finite au o gamă largă de opțiuni de simulare pentru controlul complexității atât de modelare cât și de analiză a nivelului de precizie și calculul duratei de viață a produsului (Hastings ș.a., 1985).

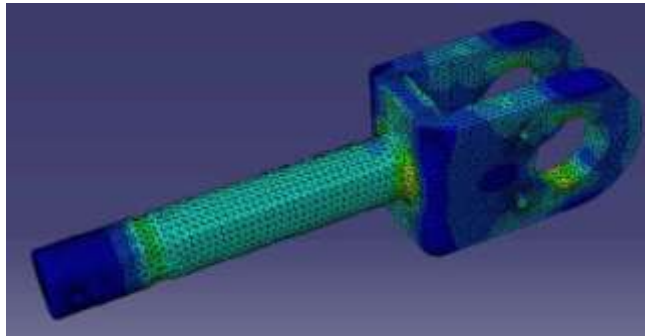


Fig. 2.10 Metoda elementelor finite (Putz, Ștef, Șerban, 2010)

Metoda volumelor finite (Finite Volume Method FVM). Este o metodă de reprezentare și evaluare a ecuațiilor derivate parțial sub formă de ecuații algebrice (LeVeque, 2002).

Această metodă este similară cu metoda elementelor finite, ceea ce înseamnă că valorile sunt calculate în locuri discrete pe un caroiaj. Volumele finite se referă la un volum mic, încadrând fiecare punct de pe un nod al caroiajului, acestea fiind evaluate ca fluxul de suprafață pentru fiecare volum finit. Fluxul înregistrat pentru fiecare volum dat este identic cu fluxul ce a părăsit volumul adiacent, Această metodă este considerată a fi o metodă conservatoare. Metoda volumelor finite este în general utilizată în calculul dinamici fluidelor.

Metoda elementelor de frontieră (Border Element Method BEM). Este o metodă numerică de calcul pentru rezolvarea ecuațiilor liniare cu derivate parțiale, care sunt formulate ca ecuații integrale.

Metoda elementelor de frontieră este de multe ori mai eficientă decât alte metode, inclusiv metoda elementelor finite, în ceea ce privește resursele de calcul pentru probleme în cazul unei suprafețe (unui volum) de mici dimensiuni. Conceptual, aceasta funcționează prin constituirea unei „plase” pe suprafața care necesită analiza. Pentru suprafețe de analizat de dimensiuni mari, această metodă nu se pretează, datorită faptului că cerințele de stocare și timpul necesar efectuării calculului va tinde să crească (Beer, 2008).

Această metodă este aplicabilă în principal în domeniile ale mecanicii fluidelor, acustică, electromagnetism și rezistența la rupere a materialelor.

2.3.1.4 Concepția colaborativă a produsului

a. Sisteme de concepție colaborativă

Pentru a ajuta la construirea de elemente software au fost dezvoltate diferite sisteme de concepție colaborativă a produsului, care permit reprezentarea în mai multe vizualizări a concepției produsului. Cu toate acestea, nici unul nu sprijină complet definirea constrângerilor, iar gama de cerințe de management este incoerentă.

Janaki Ram ș.a. (1997) propun un model de obiecte pentru concepția colaborativă bazată pe obiecte și constrângeri meta-obiect. Fiecare obiect de concepție are un spațiu de constrângere asociat, constând din unul sau mai multe constrângeri meta-obiecte. Orice obiect de concepție intern este controlat de constrângeri meta-obiect. Acest model oferă un mediu flexibil de separare a constrângerilor din definiția de clasă în care pot fi inserate, șterse și modificate fără a se modifica conținutul programului de aplicație. Abordarea propusă necesită un manual de programare în C++ pentru captarea constrângerilor obiectelor și meta-obiectelor.

Goonetillake ș.a. (2002) descriu un cadru bazat pe conceptul versionării constrângerilor obiectelor (VCO), capabil să prevadă un mecanism de integrare a diferitelor versiuni ale obiectelor. Fiecare VCO conține un set de constrângeri de integrare care trebuie îndeplinite pentru o anumită versiune de către un anumit obiect. Componente ale obiectului și VCO asociate sunt distribuite în întregul sistem. VCO au fost clasificate ca locale pentru subcomponentele din spațiul de lucru din cadrul nivelului local și global pentru configurații complexe de obiecte în spațiul de lucru la nivel mondial.

Roller ș.a. (2002) au propus o rețea semantică activă (*Active Semantic Network ASN*). ASN este un obiect activ, distribuit, a sistemului de orientare a bazei de date care acceptă definirea constrângerilor, care se vor evalua printr-un sistem bazat pe reguli. Restricțiile sunt folosite pentru a modela orice tip de dependență între datele produsului. Normele ECA legate de constrângerea obiect precizează comportamentul activ al constrângerii și sunt evaluate în timpul rulării. Conform regulilor ECA, un obiect de constrângere constă din trei componente: un eveniment, o condiție și o acțiune. De îndată ce apare un eveniment asupra unei entități în anumite condiții, o acțiune este în mod automat executată, propagând noi evenimente. În unele cazuri, agentul de politici ale acțiunilor poate fi utilizat în mod automat pentru a răspunde la diferite evenimente. Deoarece unele acțiuni nu sunt automate, poate fi implicată o activitate umană în propagarea constrângerilor de către procedurile de notificare.

În concepția lui Wang și Nnaji (2004), "conexiunea universală a modelului" este dezvoltată pentru a reprezenta informații legate de concepție pentru produse mecanice într-o formă distribuită. Aceasta include constrângeri geometrice, cu geometrie tradițională și elemente de topologie. Acesta oferă o reprezentare unificată a constrângerilor pentru planurile detaliate ale proiectării și optimizării.

Cu toate acestea, cercetările iau în considerare numai valori bazate pe constrângeri și care nu implică alte tipuri de constrângeri. Nu există nici un mecanism pentru a controla o rețea de constrângeri și pentru a urmări modificările de concepție pentru modificarea copiilor.

b. Schimbul de informații

Există două abordări majore pentru a realiza conceptul de partajare și de realizare a schimbului de informații între diferiți experți, legate de concepția colaborativă a produsului:

- prima abordare (Okada și Tanaka, 1998) este aceea a schimbului direct de elemente de concepție a produsului și a diferitelor reprezentări, prin metode de comunicare sau a standardelor, cum ar fi STEP (2011);
- a doua abordare (Noel ș.a., 2003) este cea indirectă, care în general implică un server. Fiecare aplicație este integrată unic în cadrul sistemului, pentru a oferi o înțelegere sinonimă a elementelor comune ale modului de colaborare. Această abordare permite integrarea elementelor eterogene ale concepției și un suport de lucru într-un mediu de colaborare distribuit.

c. Metode de concepție colaborativă

Există două categorii de metode care pot realiza operația de partajare a diferitelor modele de concepție în cadrul unui server colaborativ.

Controlul sincron al concepției (Fig. 2.11) (Noel ș.a., 2003) permite manipularea simultană în cadrul unui sistem de către doi sau mai mulți experți din cadrul echipei. În cadrul colaborării sincrone, membrii echipei împărtășesc un punctul de vedere comun și unic în ceea ce reprezintă modelul de concepție pe care se lucrează. Modificările efectuate de către unul dintre membrii echipei de concepție va reflecta modificări în toate reprezentările care pot fi văzute de către ceilalți membri ai echipei.

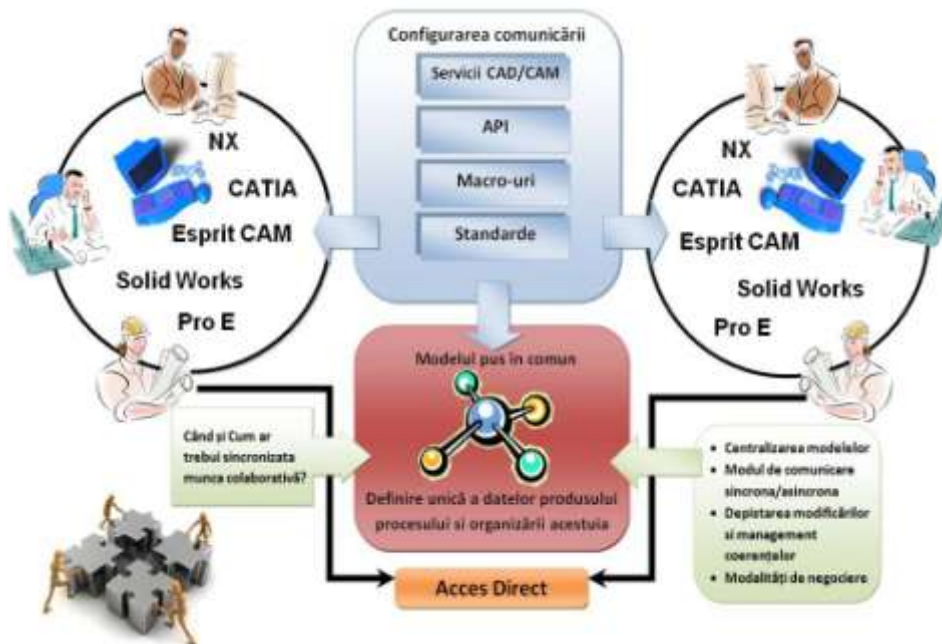


Fig. 2.11 Controlul sincron al concepției, după (Noel ș.a., 2003)

Controlul asincron al concepției (Hicks, 2004) permite concepția alternativă a modelelor. Crearea modelelor se va realiza prin copii alternative și îmbinate

asincron. În cadrul accesului asincron, membrii echipei de lucru vor trebui să își descarce ultima versiune a modelului într-un spațiu privat al fiecărui membru, pentru a avea ultima versiune și a avea un spațiu de lucru stabil în timpul realizării modificărilor.

Unul dintre principalele avantaje ale concepției produsului într-un mediu centralizat asincron este capacitatea de a avea participanți distribuiți geografic în cadrul echipei de lucru, care pot realiza diferite schimburi de informații în cadrul proiectului. Acest lucru permite participanților din cadrul echipei de proiect să își impună puncte de vedere specifice sau un set de parametri de simulare pentru anumite valori specifice, pentru a realiza o clarificare a opiniilor sugerate asupra unei anumite secvențe din cadrul concepției produsului. Aceasta oferă tuturor participanților din cadrul echipei de lucru un context comun de a își împărtăși opiniile și de a schimba informații referitoare temei proiectului.

Pentru a reduce neînțelegerile și divergențele apărute în timpul derulării proiectului este important ca informațiile puse în comun de către membrii echipei să fie clare. În cadrul concepției colaborative este important ca participanții din cadrul echipei să poată fi capabili de a pune informațiile referitoare la concepția produsului într-un context adecvat.

2.3.2 Planificarea producției

Planurile de proiectare și optimizare se concentrează pe optimizarea fluxului de materiale, utilizarea resurselor și a logisticii pentru toate nivelurile de planificare, pornind de la rețele de producție globale, prin intermediul planurilor locale, până la liniile specifice, cu următoarele obiective (Kuehn, 2007):

- scurtarea timpului de introducere a noilor produse (*Time-to-Market* și *Time-to-Volume*);
- îmbunătățirea randamentului producției și reducerea investițiilor;
- asigurarea locului potrivit pentru mașini și echipamente;
- asigurarea cantității de echipamente necesare pentru manipularea materialelor;
- optimizarea dimensiunilor stocului tampon;
- asigurarea nivelului minim de manipulare a produsului.

În funcție de obiectivele speciale sunt necesare diferite niveluri de detaliu (Fig. 2.12). Pentru sarcini complexe de simulare, în fabrica digitală este necesară mai degrabă definirea de sub-activități pentru gestionarea separată a modelelor decât de folosire a unui singur model de simulare pentru toate scopurile. De exemplu, traseele de mișcare ale roboților într-o celulă de producție complexă pot fi modelate și programate prin utilizarea unui model detaliat, având în vedere parametrii detaliați ai mișcării de control și a strategiilor. La nivelul următor, rezultatele selectate doar pentru acest model, cum ar fi manipularea, pot fi utilizate pentru modelul logistic al fluxului de producție (Bley, 2004).

Mai exact, simularea fabricii digitale poate fi efectuată pe mai multe niveluri, prin utilizarea de modele ierarhice. În unele aplicații, cum ar fi programarea roboților sau a utilajelor care folosesc comandă numerică, este necesară simularea mișcărilor modelelor geometrice și cinematice. În alte domenii, cum ar fi planificarea fluxului de producție și cel de control, în principal este aplicată simularea discretă a evenimentelor.

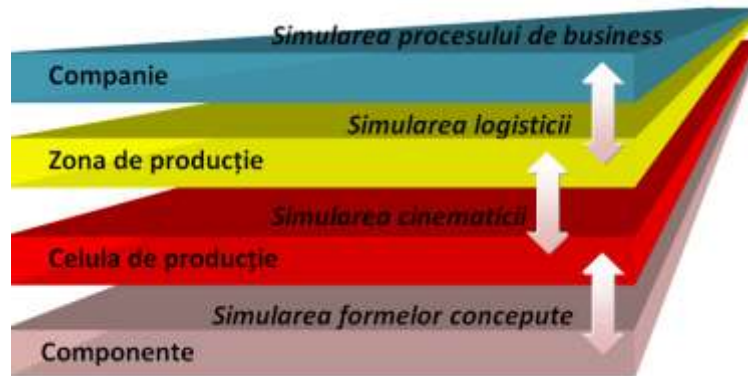


Fig. 2.12 Stabilirea unui aspect 3D prin utilizarea obiectelor predefinite, după (Siemens PLM, 2010) și (Kuehn, 2007)

Abordarea fabricii digitale necesită o coerență între datele diferitelor niveluri și sub-activități. Tehnicile de modelare și simulare permit o analiză dinamică, pentru a se asigura că problemele de proiectare și erorile sunt descoperite înainte de lansarea în fabricație a produsului (Westkamper, 2003). Tehnologia de simulare asigură, încă de la începerea producției, că fabrica reală va fi în măsură să îndeplinească cerințele eficiente pentru operațiunile la care a fost gândită. Aplicațiile tipice de simulare în fabrica digitală sunt (Kuehn, 2007):

- analiza statică și simularea dinamică a fluxurilor logistice și de producție;
- echilibrarea liniei de procesare;
- simularea manipulării produselor complexe;
- mișcările complexe ale roboților;
- simularea produselor fabricate;
- simularea resurselor umane;
- simularea ergonomicității;
- simularea logisticii producției;
- simularea controlului software-ului de testare;
- simularea controlului operativ al producției.

Conceptul de integrare a fabricii digitale necesită interfețe cu sistemele de baze de date, pentru utilizarea în comun a datelor reale, între module la diferite niveluri de complexitate (integrare pe verticală) și între diferite zone operaționale (integrare orizontală).

2.3.2.1 Planul general de amplasare

Timpul până la lansarea pe piață a unui produs este influențat de frecvența de reconfigurare a sistemului său de fabricație. De fiecare dată când un produs este schimbat sau îi sunt aduse anumite modificări în ceea ce privește componentele (subansambluri) sale esențiale sau doar se adaugă componente noi (care să confere caracteristici noi), procesul de fabricație trebuie modificat. Amplasarea sistemului de fabricație trebuie reconfigurată (Sacco, 2007).

Planul general de amplasare (Fig. 2.13) este o reprezentare generată pe calculator a fabricii reale și care este constituită din: utilaje de prelucrare, roboți, linii de fabricație și asamblare, depozite, dispozitive de transport și chiar personalul uman care intră în componența unei fabrici (Wörn, 2000).

Opțiunile CAD pentru concepția planului general de amplasare a fabricii sunt disponibile și oferă module predefinite pentru crearea de modele detaliate a fabricii. Aceste mijloace permit lucrul cu obiecte predefinite, care reprezintă, practic, resursele utilizate într-o fabrică, de la "podea" și conveioare suspendate, până la macarale pentru containere de manipulare a materialelor și operatori (Zulch și Grieger, 2005).

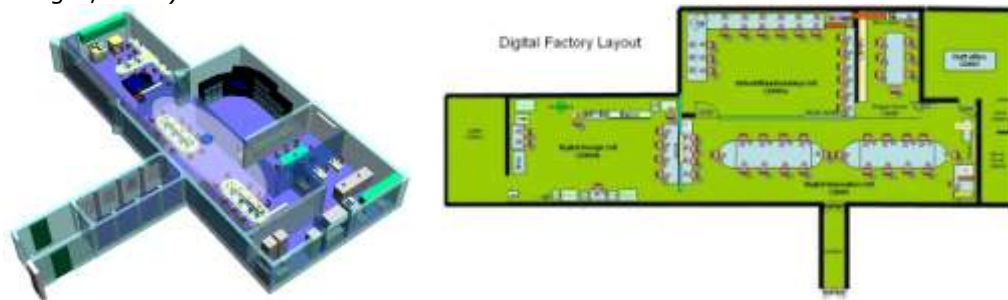


Fig. 2.13 Planul general de amplasare (Dassault Systems, 2012)

Prin modelarea planului general de amplasare acesta trebuie să fie o imagine a realității, care să permită concepția de animații virtuale pentru inspectarea modului de amplasare și, mai mult, pentru a detecta anumite mișcări ale diferitelor componente (utilaje sau sisteme de fabricație) (Wenzel ș.a., 2005).

Proiectarea fabricii și a planului general de amplasare. Ideea fabricii modulare digitale este de a importa paradigma orientată pe model în activitatea de concepție și crearea fabricii digitale. Pentru a implementa concepția fabricii modulare este adoptată tehnica modelării orientate pe obiect. Utilizând algoritmi de reprezentare grafică a produsului și opțiunile din aplicațiile software CAD (bibliotecile de date) se poate modela grafic planul general de amplasare a fabricii. Pentru acestea sunt disponibile și se oferă module predefinite pentru crearea de modele detaliate ale fabricii. Pentru stocarea tuturor modulelor de resurse și a arhitecturii de referință, baza de date centrală este orientată pe obiecte și este denumită bibliotecă de facilități standard (*Standard Facility Library*) (Sacco, 2007). Prin combinarea acestor mijloace, care permit lucrul cu obiecte predefinite, se reprezintă, practic, resursele utilizate într-o fabrică reală, de la "podea", hală de producție, conveioare suspendate, macarale pentru manipularea materialelor, până la modelări grafice ale operatorilor și a mișcărilor făcute de aceștia. Cu aceste mijloace, care permit lucrul cu obiecte modulare pentru crearea planului general de amplasare, cum este cel prezentat în Fig. 2.14, pot fi puse în aplicare în vedere 3D, într-un mod rapid și eficient, diferite scenarii de dezvoltare și extindere a planului general a fabricii (Kuehn, 2007).

Mijloacele de simulare a evenimentelor discrete permit redarea repetată a procesului de producție derulat în cadrul fabricii digitale concepute, folosind aplicațiile software CAD. Toate resursele necesare fabricii pot fi modelate cu un efect de vizualizare intuitiv și puternic, folosind grafica tridimensională. Astfel, rezultatele obținute în urma modelării fabricii și a planului de amplasare se pot ușor verifica și optimiza. În mod corespunzător pot fi evaluate impactul asupra mediului, consumul de resurse și energie.

Arhitectura recomandată pentru a concepe și a construi modelul fabricii este constituită din metode predefinite standardizate, care includ planul general, precum și informații referitoare la viitorul proces de fabricație. Această metodă de concepție

este aplicabilă tuturor nivelelor sistemului de fabricație (fabrică, sector, linie de fabricație, atelier, celulă de fabricație, lucru individual).



Fig. 2.14 Construcția liniilor de producție folosind obiecte predefinite de vizualizare 3D (Siemens, 2010)

2.3.2.2 Planificarea fluxului de fabricație

Machetele fabricii pot fi analizate într-o primă etapă prin utilizarea unei părți de informații de rulare, cerințe de depozitare a materialelor, specificații ale echipamentelor de manipulare și informații de ambalare. Astfel, poate fi identificată distanța cea mai scurtă între oricare două puncte, cel mai apropiat punct de intrare a materiei prime și zona de depozitare, de asemenea distanțele până la punctul de utilizare. Studii ale fluxului de materiale pot fi efectuate prin configurații alternative ale planului fabricii digitale și pot fi comparate în scopul de a găsi cel mai bun plan de amplasare și îmbunătățire a eficienței producției (Blumenau și Wuttke, 2005).

Îmbunătățirea planului de amplasare a fabricației are la bază o metodă care ține cont de distanțele fluxului de materiale, frecvența și costurile de producție și care va conduce la eficientizarea planului de amplasare a fabricației, aceasta având ca efect direct reducerea numărului de manipulări a materialelor și îmbunătățirea producției (Schuh ș.a., 2002).

2.3.2.3 Procesul de planificare a producției

Planificarea cerințelor de material (Material Requirements Planning MRP) este un sistem de planificare a producției și al controlului magaziei, pentru a gestiona procesele de fabricație. În principal, sistemele MRP sunt bazate pe aplicații software, deși această planificare este posibil de a se efectua și manual (Waldner, 1992).

Un sistem MRP este destinat pentru a îndeplini simultan următoarele obiective:

- asigurarea disponibilului de materie primă pentru cursivitatea producției;
- asigurarea disponibilului de produse pentru livrarea către clienți;

- menținerea stocului la un nivel minim;
- concepția planului de producție, termene de livrare și activități de achiziții.

Planificarea capacității de încărcare (Capacity Requirements Planning CRP) este procesul de determinare a capacității de producție necesară pentru a satisface cerințele pieței. Planificarea capacității de încărcare este suma maximă de muncă pe care producția este capabilă de a o realiza într-o anumită perioadă de timp (Gunther, 2007).

O discrepanță între capacitatea de producție și cerințele clienților conduce la ineficiența sistemului de producție. Scopul planificării capacității de încărcare este de a minimiza această discrepanță.

Capacitatea de încărcare se calculează cu formula:

(număr de mașini sau operatori) X (număr de schimburi) X (utilizare) X (eficiență).

Planificarea capacității de încărcare se poate împărți în următoarele clase de strategii:

- Strategia de plumb – constă în anticiparea unei creșteri a cererii și deci creșterea producției; este o strategie agresivă, cu scopul de a atrage clienți noi. Dezavantajul este o creștere a inventarului, care în general este o situație costisitoare;
- Strategia de întârziere – constă în creșterea productivității numai după ce întreprinderea funcționează la capacitate maximă; este o strategie conservatoare. Dezavantajul este posibilitatea pierderii de noi clienți;
- Strategia de competiție – constă în creșteri treptate, în cantități mici, ale productivității, ca răspuns a schimbărilor pieței; este o strategie moderată (Gunther, 2007).

Strategia de planificare a producției Kanban este un concept legat de *lean-production* și de strategia de planificare a producției *Just in Time (JIT)*. Potrivit lui Taiichi Ohno, dezvoltarea strategiei de planificare JIT este concepută pe baza strategiei Kanban.

Strategia de planificare Kanban nu este un sistem de control al magaziei, ci mai degrabă este un sistem de planificare care explică ce, când și cât să se producă (Ohno, 1989).

Strategia de planificare a producției (Just in Time JIT) este o strategie de producție care are ca obiectiv îmbunătățirea rentabilității unei afaceri, prin reducerea inventarelor și a costurilor conexe de transport. Strategia JIT mai este cunoscută sub denumirea de sistem de producție Toyota (Shingo, 1989).

Strategia JIT are la bază strategia Kanban. Corect aplicată, strategia JIT se concentrează pe îmbunătățirea continuă și îmbunătățirea randamentului fabricației pe domenii ca: investițiile, calitatea și eficiența (Ruffa și Stephen, 2008).

2.3.2.4 Fabricația pe utilaje și sisteme comandate numeric

Aplicațiile în fabricația de repere solicită conlucrarea sarcinilor între inginerii de fabricație, programatorii NC, proiectanții de scule așchietoare, în timpul extinderii accesului la spațiului de lucru virtual. Astfel, fabrica digitală are abilitatea de a crea în toate echipele de lucru o structură ierarhică și secvențială a procesului (Fig. 2.15), utilizând editare grafică (Kuehn, 2006).

Simularea 3D a programului NC (Fig. 2.16) permite detectarea coliziunilor, analiza îndepărtării de material și reducerea duratei ciclurilor de lucru. Mai mult, informații detaliate referitoare la proces pot fi livrate spre atelierul de producție, pot

fi create diferite trasee de prelucrare a sculei prin programarea NC, luând în considerare scăderea duratei ciclului pentru fiecare operație de prelucrare (Zulch și Grieger, 2005).



Fig. 2.15 Structura ierarhică a fabricii digitale

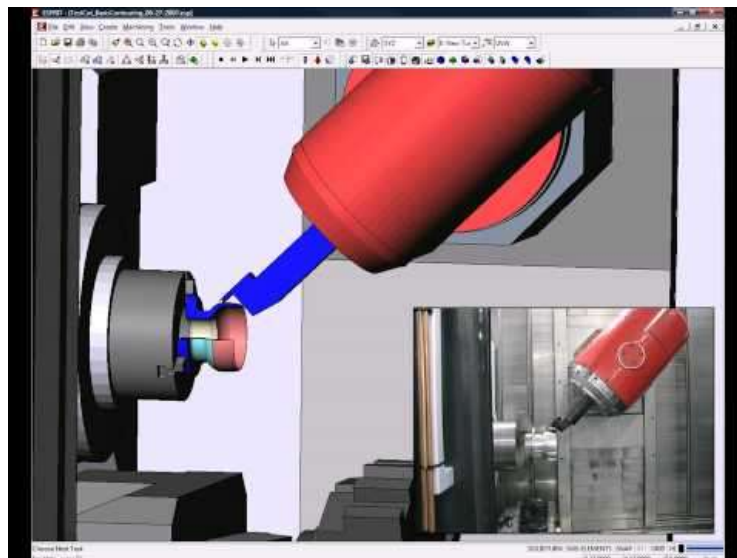


Fig. 2.16 Fabricația pe mașini-unelte comandate numeric (EspritCAM, 2011)

Sisteme NC (Numeric Controller). Structura bloc a acestor sisteme de tip NC (Fig. 2.17) este capabilă să asigure introducerea, convertirea datelor în cadrul echipamentelor numerice, efectuarea calculelor necesare, cât și transmiterea informațiilor către organele de execuție a mașinilor-unelte MU.

Echipamentele de tip NC sunt cu logică cablată, adică toate operațiile se efectuează după un algoritm care nu poate fi modificat. O modificare impune modificarea construcției echipamentului.

O particularitate de funcționare a acestui echipament numeric constă în faptul că prelucrarea datelor se execută simultan în toate blocurile, ceea ce reprezintă un avantaj.

Dezavantajele echipamentelor NC sunt:

- imposibilitatea memorării programului, motiv pentru care se impune de fiecare dată citirea port-programelor, fapt ce duce la uzura purtătorului de program și, implicit, la defecțiuni de citire;
- fiind cu logică cablată, nu se poate schimba algoritmul decât prin modificarea construcției;
- nu pot fi introduse funcții noi;
- nu pot fi conduse direct prin calculator.

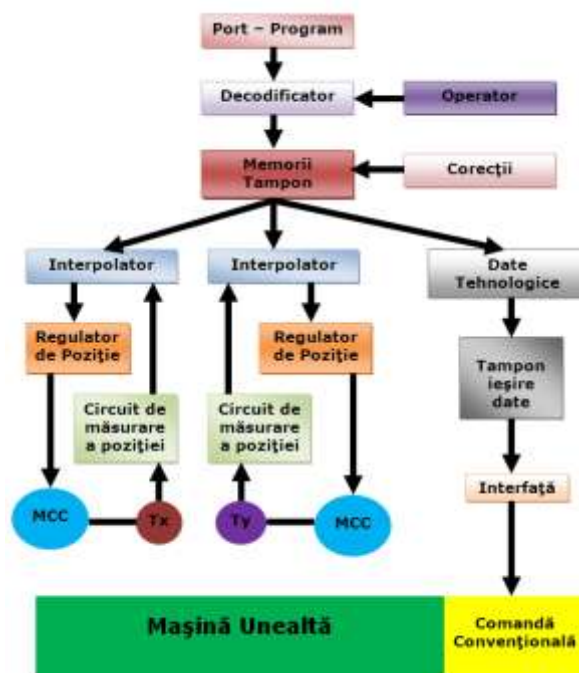


Fig. 2.17 Sistem NC (But, 2009)

Sistemele NC se folosesc, de regulă, pentru MU cu număr redus de deplasări.

Sisteme CNC (Computer Numeric Controller). Acestea au două componente:

- echipamentul CNC propriu-zis;
- blocul pentru mărimile de referință și circuitele de măsurare.

Echipamentele CNC sunt înzestrate cu un calculator de putere mică, purtând denumirea de microprocesor. El se compune din unitatea centrală de calcul și blocul memoriilor (But, 2009).

În principiu, se găsesc aceleași blocuri ca și la echipamentele NC, dar cu următoarele modificări:

- nu mai sunt necesare regulatoare de poziție, compararea între mărimile de referință și cele reale fiind făcută de către unitatea centrală de calcul;
- calculele se execută succesiv, din acest motiv ciclul temporar pentru efectuarea unei operații trebuie să fie foarte scurt, astfel încât să se poată distribui în timp scurt toate comenzile necesare MU.

Structura echipamentele CNC este redată în Fig. 2.18.

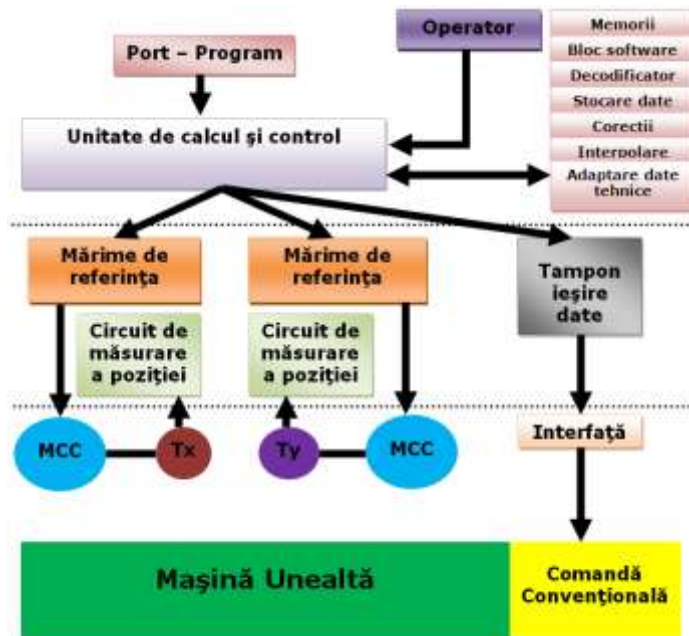


Fig. 2.18 Sistemul CNC (But, 2009)

Sistemele CNC se caracterizează prin următoarele:

- în blocul tampon de date de ieșire se înmagazinează din timp comenzile de conducere ale MU, cum ar fi informațiile referitoare la turație, avansuri, modalitatea de prindere a piesei etc.;
- citirea programului se face o singură dată, programul fiind memorat de unitatea centrală de calcul și comandă. Se elimină astfel centrul benzii, eliminându-se astfel erorile care pot să apară la citirea repetată a acestuia;
- pot să se facă corecții ale programului fără a fi necesară modificarea benzii port-program;
- are capacitate mare de memorare a programelor (până la 200 de programe cu subprogramele aferente);
- pot fi făcute conversații între unitatea de calcul și operator;
- posibilitatea de vizualizare pe ecran a programului;
- posibilitatea verificării traiectoriei sculelor prin vizualizarea directă pe ecranul calculatorului;
- funcție de capacitatea calculatorului mai pot fi introduse și alte funcții, de regulă aceste echipamente au posibilități mai mari din punct de vedere a realizării operațiilor matematice de a prelucra datele utilizând parametrii introduși putând efectua calcule geometrice și alte funcții auxiliare.

Cu astfel de echipamente se utilizează strunguri, mașini de frezat, putând prelucra piese de mare complexitate (But, 2009).

Sisteme DNC (Data Numeric Controller). Sunt cele mai performante, fapt datorat calculatorului, care poate conduce simultan două până la patru mașini.

În structura lui (Fig. 2.19) se observă circuitul paralel de comandă de la port-program și, respectiv, de la unitatea centrală de calcul. Această posibilitate de cuplare paralelă se face în scopul de a asigura o comandă a MU atunci când, din anumite motive, unitatea centrală de calcul s-a defectat (But, 2009).

Se observă posibilitatea de conversație între calculator și celelalte elemente ale MU, în cazul defectării calculatorului se cuplează port-programul direct la mașină, pe baza căreia aceasta poate funcționa (But, 2009).

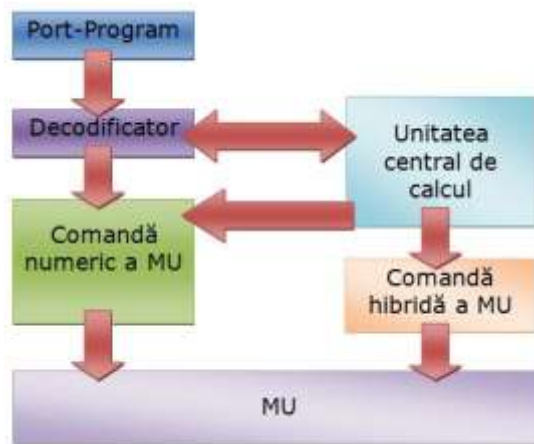


Fig. 2.19 Sistemul DNC (But, 2009)

Are aceleași avantaje ca și sistemul CNC, în plus, datorită capacității mult mai mari de prelucrare a informațiilor, permite prelucrarea pieselor complexe și conducerea simultană a mai multor MU (But, 2009).

Sisteme PLC (Programmable Logic Controller). Pentru impulsivitatea producției, cu scăderea timpului și costuri minime, precum și pentru introducerea de noi produse și modificări de producție, sistemele PLC nu sunt tratate ca fiind o funcție izolată, independentă la nivelul atelierului de producție. Generarea de programe PLC poate fi parte dintr-un mediu virtual 3D integrat, care permite lucrul în paralel și punerea în comun a informațiilor din ambele părți, cel de proiectare mecanică, cât și din partea departamentului de control.

Ingineria integrată în fabrica digitală include procesele legate de sisteme mecanice și electrice.

Acest lucru permite o generare automată a programelor PLC direct din modulul de fabricație virtuală, după cum se arată în Fig. 2.20, și permite teste virtuale extinse, înainte de construirea echipamentelor în atelierul de producție. Beneficiile includ (Kuehn, 2007):

- vizualizarea din timp a optimizării funcționalității și a comportamentului în faza de concepție a tehnologiei;
- creșterea vitezei, coerența și fiabilitatea proceselor de proiectare;
- dovedirea fezabilității controlului logic;
- corectarea erorilor logice înainte de lansarea în fabricație;
- reducerea timpului de prelucrare și a costurilor prin crearea documentației *offline*;
- evaluarea schimbărilor de program pe un model virtual, în schimbul asumării de riscuri direct pe echipamentele reale.

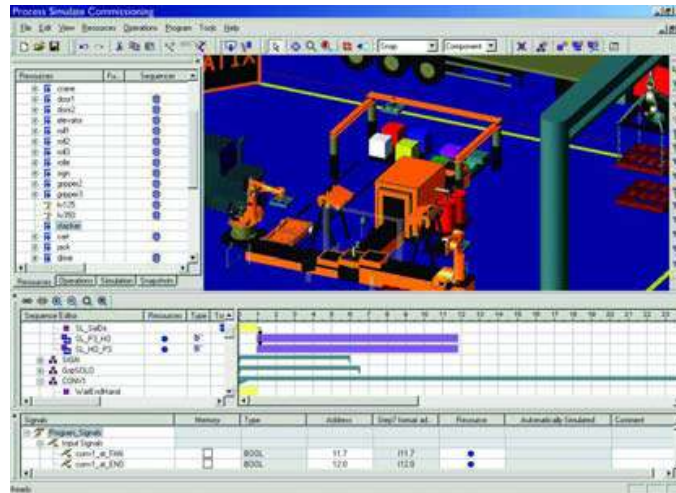


Fig. 2.20 "Procesul de simulare" pentru simulare a proceselor de producție (Siemens, 2010) și (Kuehn, 2007)

Integrarea modului de programare bazat pe programarea *offline* automată, inclusiv simularea și verificarea prin folosirea unui model de fabricație virtuală și aplicarea de date reale de automatizare pot optimiza procesul de producție și ajuta la reducerea în mod semnificativ a timpului de lansare în producție.

2.3.2.5 Simularea planului, a liniei și a procesului de fabricație

Simularea planului, a liniei și a procesului de fabricație poate fi efectuată prin intermediul unor mijloace de simulare discretă a evenimentelor. Aceste mijloace permit analiza sistemelor și proceselor în vederea îmbunătățirii fluxului de materiale, utilizarea resurselor și logistica pentru toate nivelurile de planificare (Gausemeier, 2006). Aceasta include planificarea locațiilor de producție la nivel mondial, prin intermediul planificării locale și planificarea liniilor specifice (Reinhart, 1999). Tehnologia de simulare discretă a evenimentelor permite:

- reducerea costurilor de investiții pentru liniile de producție și, în același timp, îndeplinirea cerințelor necesare de producție;
- detectarea și eliminarea problemelor care ar necesita costuri și sunt consumatoare de timp, măsuri de corecție în timpul producției;
- îmbunătățirea performanțelor sistemelor de producție existente, prin implementarea măsurilor care au fost verificate într-un mediu de simulare, înainte de punerea în aplicare.

Simularea permite rularea de experimente și scenarii posibile, fără a perturba un sistem de producție existent. De asemenea, sunt posibile explorarea caracteristicilor sistemului și optimizarea performanțelor de producție planificate, a sistemelor logistice, cu mult înainte ca sistemele reale să fie instalate, iar pentru sistemele de producție dinamice și sistemele complexe, oferă beneficii mari planificatorului producției (Bracht și Masurat, 2005). Mai mult, simularea oferă o platformă puternică pentru a îmbunătăți comunicarea deschisă și transparentă între toate departamentele și persoanele implicate în procesul de planificare și operare.

Aspectele critice pot fi discutate și verificate în avans. Prin fiabilitatea planificării se obține economie de timp și bani (Garcia, 1993).

2.3.2.6 Simularea celulelor robotizate

Digitalizarea producției și simularea celulelor robotizate (Fig. 2.21) se concentrează pe planificarea, simularea, optimizarea, analiza/programarea *offline* a celulei robotizate și automatizarea proceselor de fabricație (Garcia, 1993). Acest lucru necesită o platformă de inginerie integrată cu modele virtuale (*Digital Mock-Up*, DMU) ale celulei de fabricație, cu ajutorul graficii 3D pentru optimizarea proceselor și calcularea duratei ciclului de fabricație (Bracht și Masurat, 2005).

Propunerea de simulare și sincronizare a roboților și a mai multor mecanisme, inclusiv definirea traseelor în vedere 3D, sunt necesare pentru a efectua controale de accesibilitate, detectarea coliziunilor și optimizarea duratei ciclului de fabricație. Caracteristicile tipice sunt:

- proiectarea planului de lucru și modelarea din fișiere CAD;
- biblioteci de roboți, mașini-unelte și echipamente;
- modelarea cinematică complexă a roboților și a altor mecanisme;
- calibrarea robotului pentru a îmbunătăți precizia;
- planificarea automată a traiectoriei;
- detectarea coliziunilor;
- ordinea operațiilor;
- programarea *offline*.



Fig. 2.21 Simularea celulelor robotizate (Dassault Systems, 2011)

Modelele care vor fi utilizate pentru programarea *offline* trebuie să pună în aplicare caracteristicile fizice de control ale roboților și a altor dispozitive automate. Programarea *offline* a robotului necesită simularea exactă a secvențelor de mișcare ale acestuia, în vederea descărcării programului pe controlerul real al mașinii. Informațiile specifice din controler, inclusiv procesul de mișcare și atribute, trebuie să fie adăugate la traseele generate ale robotului (Kuehn, 2007).

2.3.2.7 Simularea resurselor umane

Prin acuratețea modelării, simulării și analizei proiectelor de asamblare manuală, locurile de muncă manuale și operațiile umane cu modele umane virtuale

3D detaliate pot reduce execuția și pot preveni problemele de securitate a muncii. Simularea resurselor umane se axează pe:

- proiectarea detaliată a operațiilor manuale;
- verificarea fezabilității sarcinilor;
- analiza ergonomică a locului de muncă;
- analiza timpului;
- generarea instrucțiunilor de muncă.



Fig. 2.22 Simularea resurselor umane (Siemens PLM, 2010)

Simularea resurselor umane îmbunătățește ergonomia locului de muncă (Fig. 2.22), a ciclului de asamblare, de planificare și comunicare a rezultatelor planului de lucru, creșterea productivității atelierului de producție, generează o documentație cuprinzătoare a operațiunilor umane și promovarea refolosirii celei mai bune practici. Evaluarea și eficiența în proiectarea locurilor de muncă poate ajuta la creșterea motivației muncitorilor din atelierul de producție și, prin urmare, la creșterea profitabilității (Drăghici, 2007).

Prin acuratețea modelării, simulării și analizei proiectelor de asamblare manuală, locurile de muncă manuale și operațiile umane cu modele umane virtuale 3D detaliate pot reduce execuția și pot preveni problemele de sănătate a muncii (Drăghici, 2007).



Fig. 2.23 Vizualizarea și simularea a unui loc de muncă de asamblare (Siemens PLM, 2010)

Simularea și analiza activităților umane permite maximizarea confortului, a securității și performanței umane în cazul unor analize ergonomice, folosind mijloace specifice care reflectă numeroase aspecte de analiză virtuală a interacțiunii operatorului uman, cu mijloacele de muncă sau cu diferite obiecte ce intervin în procesul de muncă (Fig. 2.23). Sunt realizate simulări ale activităților și proceselor simple, care îl implică pe operator. Combinând aceste mijloace se poate crea o soluție mai complexă de simulare a activităților umane.

Principalele metode de analiză și evaluare folosite sunt (Drăghici, 2007):

- *Analiza RULA* (evaluarea mișcărilor rapide ale membrilor superioare) care permite evaluarea riscului ocupațional ce poate interveni în cazul activităților de muncă manuale derulate în condiții organizatorice determinate. Acest demers verifică gradul de oboseală și/sau riscul apariției unor accidente la nivelul membrilor superioare, în cazul efectuării unor munci fizice;
- *Analiza operației ridicare/aplecare* permite determinarea gradului de oboseală a operatorului în momentul efectuării unei munci fizice (manipularea greutăților) care presupune încărcarea descărcarea repetată. Evaluarea oboselii se realizează prin stabilirea poziției inițiale și finale a mișcării de realizarea și stabilire a unui set de ecuații algebrice care corespund diferitelor operații cerute de către locul de muncă. Ecuațiile se aplică la determinarea gradului de oboseală la efectuarea unor munci de tipul ridicare/aplecare cu greutăți, împingeri/trageri sau deplasarea unei greutăți pe o anumită distanță. Stabilirea ecuațiilor ia în considerare sexul și dimensiunile antropometrice ale operatorului uman, precum și de condițiile generale de muncă și cerințele impuse de sarcina de lucru;
- *Analiza operației tragere/împinge* permite stabilirea gradului de oboseală în cazul unor mișcări de tragere/împingere;
- *Analiza operației Carry* (analiza operației de a căra) permite determinări ale gradului de oboseală a operatorului în cazul în care va trebui realizată o operație de transport a unei greutăți pe o anumită distanță.

2.3.2.8 Ergonomia mediului

Conform definiției date de Societatea Internațională de Ergonomia Mediului (www.environmental-ergonomics.org), domeniul de cercetare ergonomia mediului are ca obiect de studiu interacțiunea operatorului uman cu mediul său fizic de muncă. Aceasta este caracterizată prin: caracteristici de microclimat (temperatură, umiditate, curenți de aer, cantitatea și calitatea aerului inspirat), zgomote, vibrații, condiții de iluminat, condiții de presiune (lucru la altitudine sau în condiții de presiune scăzută) radiații etc. (Drăghici, 2007).

Principalele mijloace de analiză și evaluare ergonomică a sistemelor de fabricație sunt: lista de control ergonomic, metoda IEMRCM, metoda ERGOMUN, metoda RUNR, metoda LEST, metoda SAVIEM. Metodele amintite se aplică în funcție de domeniul de interes, de cunoștințele fiziologice și antropometrice, de măsurătorile efectuate în cadrul sistemului de muncă, de obiectivele urmărite. Fiecare criteriu ergonomic de evaluare a sistemului de muncă este definit și însoțit de valori și date specifice nivelului de apreciere, în final realizându-se grafice sugestive pentru caracterizarea profilului sistemului de producție (Drăghici, 2007).

2.3.2.9 Balansul dinamic al liniei de producție

Echilibrul liniei de producție și planificarea prelucrărilor necesită calculul duratei ciclului de funcționare și generarea instantanee a traseului comandat numeric corespunzător. În cazul simulării modelelor discrete trebuie să se prevadă o perspectivă dinamică a echilibrului liniei de producție (Fig. 2.24). Acestea permit analize tranzitorii la locul de muncă în timpul procesului, utilizând resurse și dimensiuni tampon, în scopul de a îmbunătăți echilibrul liniei (Bracht și Masurat, 2005).

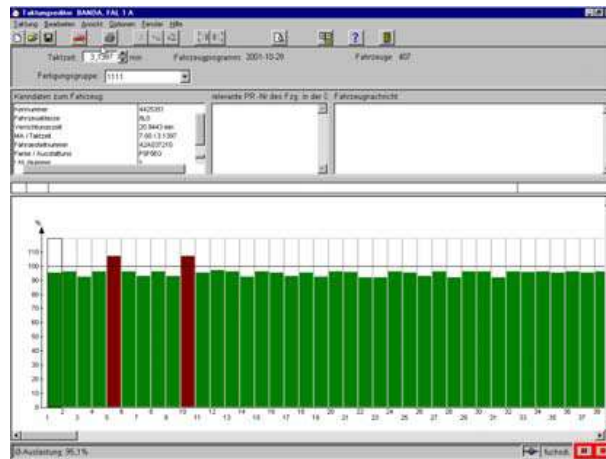


Fig. 2.24 Echilibrul dinamic al liniei de producție (Delmia) (Dassault Systems, 2011)

2.3.2.10 Baza de date a resurselor

Baza de date a resurselor furnizează o bibliotecă care trebuie gestionată având o gamă largă de date cu resurse de producție. Aceasta include resurse de prelucrare, mașini-unelte, scule așchietoare și mijloace de măsură, roboți și șabloane pentru procesul de planificare a fabricației, care ajută la o cartografiere completă și corectă a fabricii reale (Weber ș.a., 2002).

2.3.3 Controlul operativ al producției

Abordarea fabricii digitale utilizând simularea planificării producției și a controlului operativ extinde proiectarea planurilor și optimizarea. Obiectivele atinse sunt următoarele:

- îmbunătățirea colaborării între planificarea producției și execuție;
- îmbunătățirea procesului de control și reducerea problemelor de calitate;
- ajustarea programelor și proceselor de producție în timp real;
- livrarea *just in time* a comenzilor clienților;
- îmbunătățirea calității și reducerea costurilor din cauza erorilor;
- reducerea stocurilor și a costurilor cu rebuturi;
- îmbunătățirea vizibilității proceselor de producție pentru planificarea lanțului de aprovizionare.

Această abordare necesită o simulare pe bază de *feedback* constant de la atelierul de fabricație, în scopul de a actualiza datele generale, structurarea modelului și a parametrilor modelului cu situația reală din fabrică. Pentru a obține rezultate precise, un model trebuie întotdeauna să fie inițiat cu actualul mod de lucru real și cu situația reală a resurselor (Zulch și Grieger, 2005).

Pentru ca modele să fie utilizate pentru planificarea producției și controlul operativ (Fig.2.25), există cerințe speciale, cum ar fi:

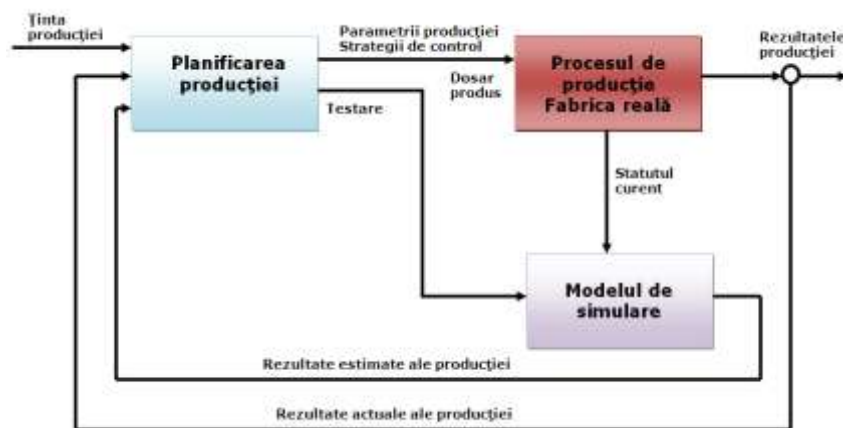


Fig. 2.25 Controlul operativ al fabricației, după (Kuehn, 2007)

- parametrizarea modelului - automatizarea parametrizării modelului prin utilizarea de interfețe standardizate (bază pe date cu interfețe, XML, UML etc.);
- simulări rapide în timp - modelele de simulare trebuie rulate rapid pentru a oferi planificarea operativă a producției cu rezultate în timp util;
- modularitate - o structură consistentă ierarhică și modularizată permite asamblarea de modele flexibile prin utilizarea de module de pretestare;
- generarea automată a modelului - pentru utilizarea operativă este utilă generarea modelelor în mod automat, folosind datele actuale;
- precizie - aceasta trebuie adaptată la cazul particular al operației;
- producția în curs - inițializarea modelelor se realizează luând date din producția reală;
- comunicare - este necesară sudarea comunicării între procesele operative și modulele de simulare.

Modelele de referință sunt elemente importante ale fabricii digitale, în special în zona de control operativ și de optimizare, deoarece oferă un sprijin considerabil în planificarea eficientă. Modelele de referință sunt modele testate și validate, care oferă o informație generală pentru definirea soluțiilor și practicilor. Modelele de referință trebuie să fie ușor de înțeles, universal valabile și să ofere modele caracteristice și independente față de o anumită aplicație software de punere în aplicare. În plus, structura modulară și deschisă oferă posibilitatea de a adapta cu ușurință aceste modele la noi domenii de aplicare (Kuehn, 2006).

În general, în scopul de a menține efortul de modelare în limite acceptabile pot fi utilizate două modalități alternative pentru construirea unui model:

- module predefinite, testate și validate, care trebuie să fie parametrizate cu date reale pentru a fi utilizate operativ;
- generarea automată a modelului și parametrizarea în timp rapid pentru date actuale.

2.3.3.1 Managementul producției

Managementul producției stabilește relații și asocieri între produs, proces, plan și resurse, care sunt baza pentru crearea unui plan de fabricație. Scopul general este de a permite tuturor utilizatorilor să evalueze impactul deciziilor luate rapid asupra produsului, procesului, planului și resurselor necesare (Bley, 2004), (Kuehn, 2007).

O soluție de management a producției necesită un spațiu de lucru complet și scalabil, care permite organizațiilor o îmbunătățire a agilității, captarea cunoștințelor operaționale și o creștere a eficienței. Integrarea conectează nivelul procesului de planificare la nivelul de control, de la sistemele de execuție a producției la monitorizarea procesului în timp real (Wenzel ș.a., 2005).

2.3.3.2 Secvențierea planificării producției

Sistemul de planificare a producției necesită secvențierea, planificarea și direcționarea ordinii resurselor de producție. Ordonanțarea atelierului de fabricație pe linii unice, linii paralele sau mai multe linii, precum și divizarea și funcționarea liniilor necesită informații detaliate, parțial complexe, și strategii. În special în cazul în care trebuie realizate produse diferite și variate, iar succesiunea de comenzi este restricționată de un număr mare de reguli, suportul software este obligatoriu (Zah, 2004). Un instrument de simulare secvențial poate ajuta la reducerea efortului manual pentru a produce programe fezabile și la îmbunătățirea calității programului. Sistemele moderne utilizează tehnologii de optimizare de ultimă oră, pentru a permite planificatorului de producție să genereze rapid programele de optimizare (Bracht și Masurat, 2005).

2.3.3.3 Calitatea producției

Conceptul fabricii digitale îmbunătățește calitatea (*Six Sigma*) și sprijină inițiativele de asigurare a unui mediu de analiză a variabilelor dimensionale a datelor de producție, generare completă, programe de inspecție verificabile pe baza CAD pentru echipamente de măsurare și mașini de distribuție a datelor de calitate într-un mediu digital (Kuehn, 2007).

2.3.3.4 Urmărirea producției

Pentru planificarea producției și controlului operativ este obligatorie o conectare la atelierul de fabricație (fabrica reală), iar pentru a integra diferitele niveluri de control cu cele de planificare sunt necesare interfețe deschise bazate pe standarde industriale. O proiectare a arhitecturii de tip multisite permite desfășurarea unei game largi de arhitecturi flexibile. Acestea pot fi folosite pentru a construi aplicații virtuale, pornind de la interfața om-mașină, până la sisteme complexe și dificil de supravegheat și sisteme de control a achizițiilor de date (Blumenau și Wuttke, 2005).

Pentru planificarea resurselor întreprinderii și pentru o cartografiere corectă într-un mediu al fabricii digitale, planificarea producției și controlului operativ necesită, de asemenea, conectarea la atelierul de fabricație. Un conector de tip ERP ar trebui să furnizeze:

- date și facilități de import și export de rute (trasee), consumuri, echipamente și utilizatori;
- conectări între sistemele om-mașină, sistemele de achiziții de date și sistemele de management ale producției;
- actualizări în timp real ale sistemului de management ale producției cu date din fabricație.

Software-urile de urmărire a producției, de captare și de comunicare în mod automat a datelor de fabricație din atelierul de producție oferă o imagine în timp real a mediului de producție. Urmărirea producției oferă posibilitatea de a vizualiza datele din mai multe perspective diferite, cum ar fi cea a produsului, a locului de muncă, rutei, echipamentului, materialelor și forței de muncă. Acest lucru ajută la capacitatea de a îndeplini diverse cerințe ale utilizatorilor în cadrul organizației (Bley, 2004).

Urmărirea producției completează sistemele ERP și CRM prin captarea datelor de fabricație la un nivel de detaliu și cu o precizie de neegalat. Informațiile rezultate permit identificarea rapidă a cauzelor problemei și o reacție rapidă pentru a limita impactul acestora (Kuehn, 2006).

2.4 Concluzii

În cadrul acestui capitol s-a analizat stadiul actual al cercetărilor în domeniul fabricii digitale. Cunoștințele au fost sintetizate pe două direcții: conceptul de fabrică digitală și procesele care se desfășoară în fabrica digitală.

În ceea ce privește conceptul de fabrică digitală, au fost puse în evidență următoarele aspecte:

- definițiile fabricii digitale, care exprimă diferite puncte de vedere ale cercetătorilor;
- viziunea asupra fabricii digitale, reflectată ca un concept de metode și instrumente, inclusiv o rețea de modele digitale, cum ar fi simularea și vizualizarea 3D, care sunt integrate prin intermediul unor module de gestionare flexibilă a datelor;
- arhitectura deschisă, care permite integrarea soluțiilor software.

Concluzia principală privind conceptul fabricii digitale este că aceasta satisface nevoia de integrare a datelor/informațiilor legate de concepția produsului, fabricație, planificare, simulare, comunicare și mijloace de control, la toate nivelurile de planificare și de fabricație.

Pentru termenul de fabrică digitală propunem următoarea definiție: *Fabrica digitală reprezintă totalitatea activităților necesare concepției, simulării și fabricației virtuale, desfășurate pentru a optimiza un produs, înaintea lansării acestuia în cadrul sistemului de fabricație reală.*

Dintre procesele fabricii digitale, au fost analizate următoarele:

- concepția/dezvoltarea produsului, cuprinzând modelarea geometrică, modelarea ergonomică și testarea produsului, în mediu colaborativ virtual;

- planificarea producției, în cadrul căreia au fost analizate planul de amplasare al fabricii, planificarea fluxului de fabricație, fabricația pe mașini-unelte cu comandă numerică, simularea fabricației, ergonomia mediului etc.;
- controlul operativ al producției, în care s-a urmărit managementul producției, secvențierea planificării, urmărirea producției și calitatea acestora.

În urma analizei și sintezei proceselor fabricii digitale, pentru atingerea obiectivului general al tezei, de dezvoltare a unui model metodologic de concepție a unui produs în contextul fabricii digitale, propunem descompunerea procesului de concepție/dezvoltare a produsului în trei categorii interconectate, și anume: concepția virtuală, prototiparea virtuală și fabricația virtuală (Fig. 2.26).

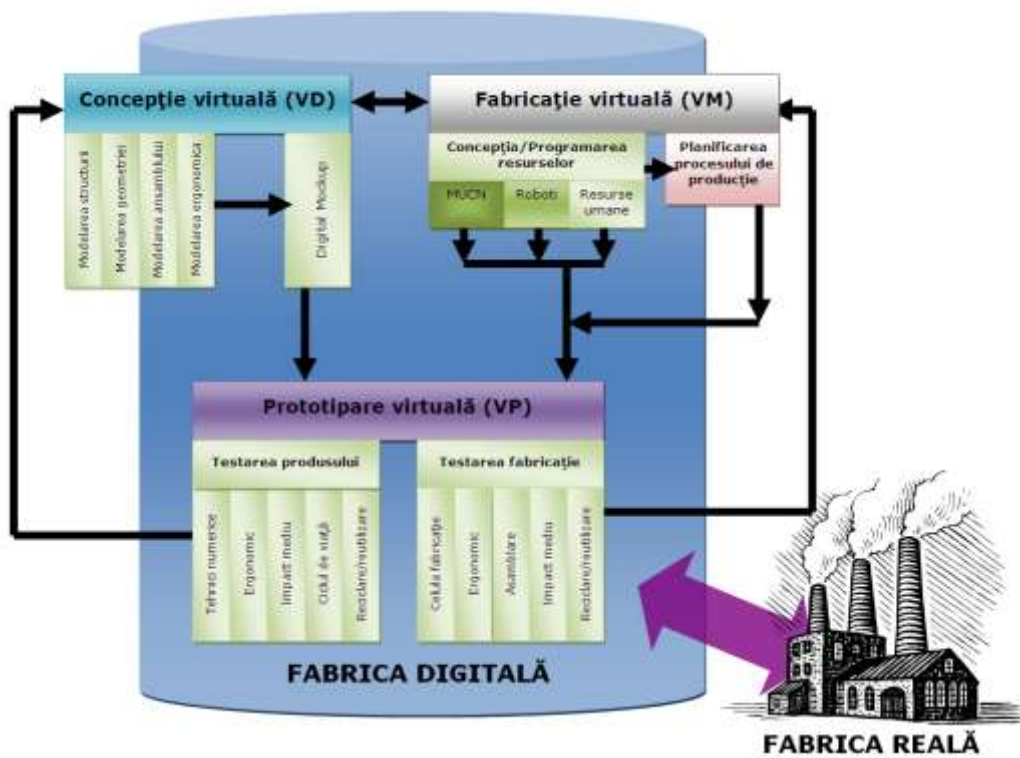


Fig. 2.26 Sinteza modelului metodologic

Rezultatele fiecărei categorii a ciclului fabricii digitale reprezintă activități ale procesului de concepție/dezvoltare a unui produs. Ele sunt rezultatul muncii colaborative ale unor echipe formate din specialiști din domenii diferite.

Obiectivul cercetărilor care vor fi întreprinse în continuare este acela de analiză a modelelor de concepție a produsului, în vederea adaptării lor la contextul fabricii digitale.

3 METODOLOGIA DE CONCEPȚIE A PRODUSULUI ÎN CONTEXTUL FABRICII DIGITALE

3.1 Introducere

Organizarea structurală a departamentelor companiei se va schimba pe măsură ce fabrica digitală va deveni tot mai răspândită. Pentru a dezvolta procese de concepție integrate și eficiente va fi necesară o redistribuire a funcțiilor și responsabilităților. Personalul în cauză se va confrunta cu noi proceduri de planificare. Modelele convenționale de muncă la un proiect trebuie să fie eliminate, deoarece o delimitare clară a etapelor individuale nu mai are sens în cazul în care potențialul fabricii digitale este utilizat în întregime.

Globalizarea piețelor și creșterea concurenței, impune reducerea costurilor de producție, a termenelor de livrare și îmbunătățirea calității produselor. În acest context, ingineria integrată este o necesitate, iar posibilitățile sale trebuie utilizate la maximum.

În demersul de cercetare adoptat în continuare, primul raționament, de tip divergent, urmărește localizarea proceselor fabricii digitale în ciclul de viață al unui produs și analiza modelelor de produs. Al doilea raționament, de tip convergent, va fi folosit pentru a analiza modelele de concepție existente, în vederea reținerii unor aspecte importante sau a unor modele de interes pentru adaptarea lor la contextul fabricii digitale.

Obiectivele detaliate pe care le vom urmări, așadar, în cadrul acestui capitol, sunt:

- analiza ciclului de viață al unui produs și abordările sale, din punctul de vedere al fabricii digitale;
- analiza modelelor de produs, din punct de vedere al integrării ciclului de viață;
- analiza modelelor de concepție care pot constitui o bază de pornire pentru elaborarea modelului metodologic de concepție și fabricație digitală;
- metodele folosite în procesul de modelare.

3.2 Ciclul de viață al produsului

3.2.1 Etapele ciclului de viață

Toate acțiunile întreprinse în cadrul unei întreprinderi sunt legate de ciclul de viață al produsului, care cuprinde 10 activități fundamentale, și anume (Drăghici, 1999):

- analizarea necesității produsului;

- studierea fezabilității produsului;
- concepția produsului;
- proiectarea produsului;
- industrializarea produsului;
- omologarea produsului;
- fabricarea produsului;
- comercializarea produsului;
- utilizarea produsului;
- eliminarea produsului.

Pornind de la perceperea necesității și până la eliminarea sa, produsul trece printr-o succesiune de faze care se derulează în trei etape (Fig. 3.1): crearea, fabricarea / distribuirea, eliminarea produsului.

În etapa de creație, produsul nu există fizic, decât în realitate virtuală, prin folosirea de aplicații software. După studiul de piață, produsul se dezvoltă în stadiu de proiect, trecând prin diferite faze: studiu de fezabilitate, concepție, proiectare, prototipare, manufacturare. Principalele obiective ale acestei etape sunt (Drăghici, 1999):

- îmbunătățirea concepției, în scopul de a asigura o producție eficientă;
- punerea la punct a previziunilor asupra costurilor și asupra performanțelor produsului;
- îmbunătățirea încercărilor și a caracteristicilor în faza de prototip;
- reducerea termenului de lansare în fabricație;
- planificarea fabricii și a sistemului de fabricație al produsului.

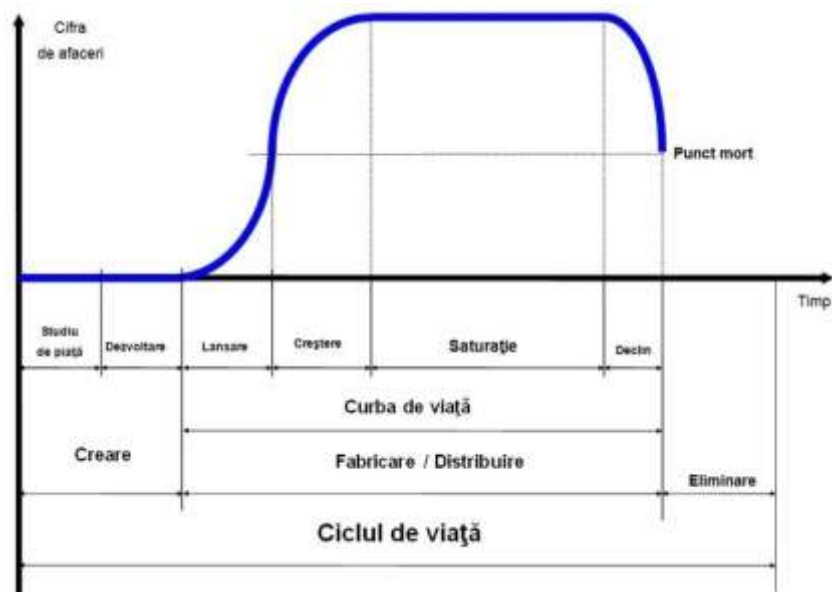


Fig. 3.1 Etapele ciclului de viață al produsului (Drăghici, 1999)

Produsul începe să existe odată cu punerea lui în fabricație și distribuție. Această etapă este marcată prin curba de viață a produsului, care exprimă variația cifrei de afaceri de-a lungul fazelor derulate succesiv: lansare, creștere, saturație, declin. În timpul acestei etape, produsul este fabricat, comercializat și urmărit în

utilizare, asigurarea mentenanței trebuind să preocupe fabricantul din momentul începerii comercializării și utilizării. Problemele esențiale care se pun sunt (Drăghici, 1999):

- care componente să fie fabricate în propria întreprindere și care să fie externalizate;
- cum să se reacționeze cât mai prompt posibil la cererile clienților;
- cum să se mențină calitatea produsului;
- cum să se mărească productivitatea și să se reducă costurile.

Ultima etapă a ciclului de viață, eliminarea produsului, cuprinde: reciclarea materialelor, reutilizarea/remanufacturarea unor componente, distrugerea sau stocarea deșeurilor. În ceea ce privește producția, ea este destinată doar pentru asigurarea pieselor de schimb. Soluțiile care pot fi adoptate pentru satisfacerea cererilor sunt următoarele (Drăghici, 1999):

- continuarea producției pe bază de previziuni;
- continuarea producției pe bază de comenzi;
- continuarea producției pe bază de contracte;
- cesionarea producției și a distribuției pieselor de schimb.

3.2.2 Ciclul de viață în întreprindere

În ciclul de viață al produsului se pot distinge două parcursuri (Drăghici, 1999):

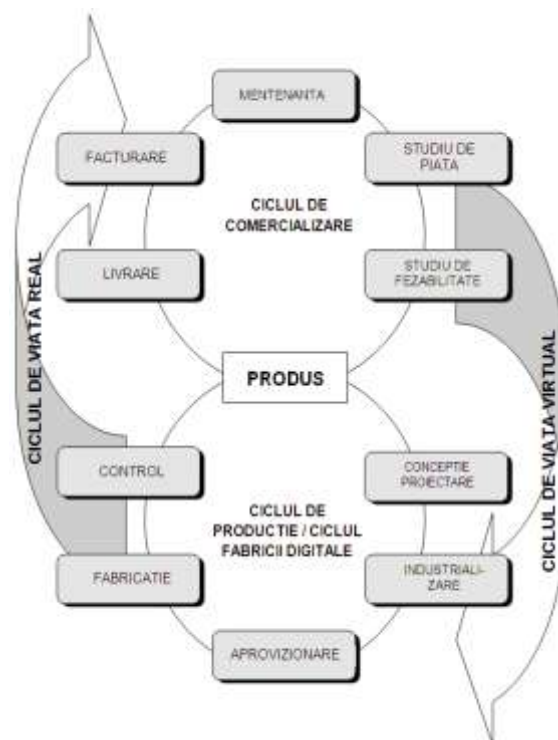


Fig. 3.2 Ciclul de viață al unui produs în întreprindere, după (Drăghici, 1999)

- un parcurs în întreprindere, care desemnează ciclul de viață virtual al produsului, imaginat de către inginerul de concepție;
- un parcurs la utilizator, care desemnează ciclul de viață real al produsului.

În ceea ce privește parcursul produsului în întreprindere, acesta poate fi descompus în (Fig. 3.2):

- ciclul de comercializare, care pornește de la studiul de piață și preluarea comenzii, continuă cu studiul de fezabilitate și sfârșește cu livrarea, facturarea și asigurarea mentenanței produsului;
- ciclul de producție, care constă în concepția și industrializarea produsului, aprovizionarea cu materiale, fabricația și controlul produsului fabricat.

Intersecția celor două cicluri este materializată de către produs, care trece din starea virtuală spre starea reală. Ciclul de viață virtual al produsului în întreprindere poate fi considerat ciclul fabricii digitale

3.2.3 Abordări ale ciclului de viață

3.2.3.1 Ingineria secvențială

Activitățile ingineresti, până în anii 70, se axau pe un demers liniar, iar serviciile din cadrul unei întreprinderi lucrau în mod izolat. Biroul de proiectare transmitea dosarul tehnic „peste zid” la biroul tehnologic, iar acesta, la rândul său, îl trimitea mai departe sau îl întorcea pentru modificări (Oriță, 2011). Acest demers era impus de modul de organizare al întreprinderii și de fluxul de informații dintre diferitele servicii. Demersul implică o durată mare de timp pentru lansarea produsului (*time-to-market*), iar costul aferent este ridicat. Diviziunea muncii între diferite servicii, cât și în interiorul acestora, determină o specializare îngustă a personalului și regruparea după criteriul sarcinilor de îndeplinit. Astfel, fiecare grup se închide în propria sa idee asupra produsului, în cultura și limbajul său de comunicare. Într-adevăr, oamenii de la marketing nu au aceeași viziune asupra produsului ca și specialiștii în proiectare, tehnologie, cei din atelier sau cei de la mentenanță (Drăghici, 1999).

Organizarea unei întreprinderi pe servicii atașate activităților ciclului de viață al produsului (Fig. 3.3), dotarea lor cu mijloace informatice software (CAD, CAM, CAPP etc.) și hardware (rețea de calculatoare) conduce mai degrabă către un model CIM decât de fabrică digitală, dar rămâne totuși o structură liniară, care prelungește durata ciclului de producție, de la perceperea necesității și preluarea comenzii până la livrarea produsului. Această viziune tradițională, moștenire a taylorismului, este calificată, în general, ca secvențială, ținând cont de anclanșarea cronologică a activităților. Ea are meritul de a defini o ordine necesară în parcurgerea ciclului de viață al unui produs, a proceselor sale, precum și stabilirea clară a responsabilităților (Drăghici, 1999).

3.2.3.2 Ingineria simultană/integrată

Pentru a reuși lansarea la timp pe piață a unui produs, cu un preț just și cu un nivel de calitate cât mai ridicat, o soluție o constituie „spargerea zidului” demersului liniar și secvențial, de la concepție până la producție, încercându-se o paralelizare a activităților ciclului de viață al produsului (Fig. 3.4), ceea ce aduce un

câștig de timp și reduce termenele de lansare și de punere în distribuție a produsului (Drăghici, 1999).

În consecință, liniarității organizării secvențiale i se opun în prezent diferite modele de inginerie simultană, care permit a obține, dacă nu simultaneitatea unor activități, cel puțin suprapunerea lor parțială. Să luăm exemplul activităților realizate în mod secvențial, repartizate în trei etape. Se poate imagina realizarea unei suprapuneri a activităților, făcând să dispară, în primul rând, frontierele celor trei etape. Astfel, când o activitate ajunge să dispună de suficiente informații, ea va putea începe înainte de încheierea activității precedente. Punerea în aplicare a unei asemenea situații necesită ca fiecare activitate, fază sau lucrare ce urmează, să cunoască stadiul efectuării lucrărilor precedente, pentru a-și putea decide singură propriul demaraj (Drăghici, 1999).

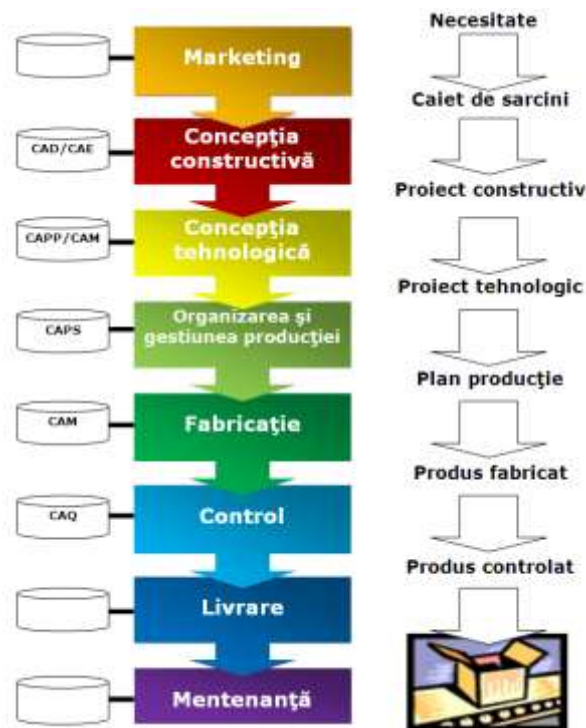


Fig. 3.3 Demersul secvențial (Drăghici, 1999)

Crearea unei structuri de date comună, interactivă, bazată pe punerea în rețea a mijloacelor specializate, garantează coerența fluxului de informații, indispensabil unui demers de inginerie simultană. Această bază de date conține ansamblul informațiilor relative la produs și trebuie să fie, de aceea, o bază de date dinamică, evoluând în același timp cu actul de concepție. Pentru a ajunge la o concepție integrată, etapa următoare constă în realizarea integrării cunoștințelor și constituirea modelului de produs, care explicitează funcțiile îndeplinite, fazele ciclului de viață ale produsului virtual, fabricația, mentenanța și reciclarea sa.

În ciclul de viață al unui produs, etapele de analiză a necesității și de dezvoltare sunt cele a căror responsabilitate este foarte importantă, cu consecințe asupra costurilor, calității și termenelor de realizare. Costurile angajate și cheltuielile

reale cumulate pe întregul ciclu de viață al produsului sunt prezentate în Fig. 3.5. Sub aspectul cheltuielilor, în raport cu demersul secvențial, curba demersului simultan se apropie sensibil de curba costurilor angajate, ceea ce permite urmărirea în timp real a consecințelor financiare a deciziilor luate pe parcursul proiectului (Drăghici, 1999).

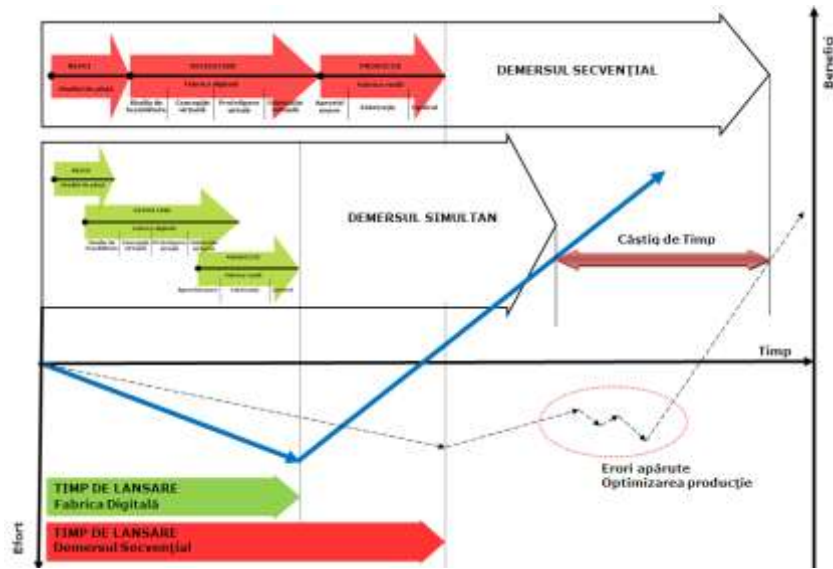


Fig. 3.4 Compararea demersurilor de inginerie secvențială și inginerie simultană, după (Drăghici, 1999), (Coze, 2009) și (Kuehn, 2007)

Punerea în aplicare a unei organizări de lucru în paralel nu rezolvă totuși absolut toate aspectele. Una dintre dificultăți este legată de probleme umane. Pentru a facilita această restructurare, o soluție constă în reguruparea fizică a participanților la proiect în aceeași încăpere, ceea ce nu este deloc simplu, căci intervin în mod frecvent probleme de comunicare între diferitele profesii.

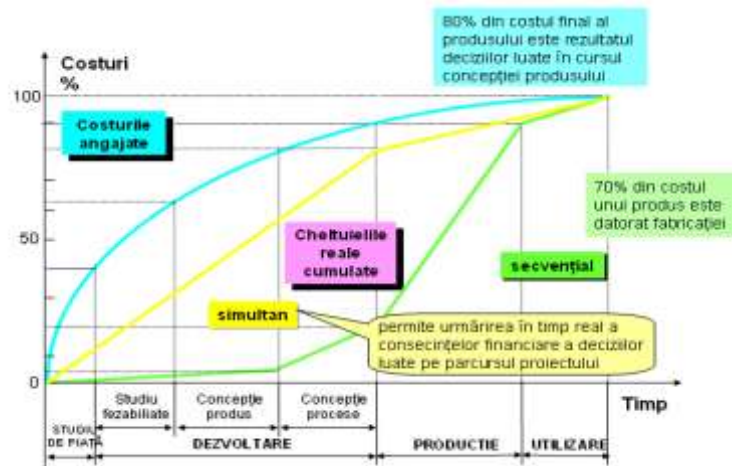


Fig. 3.5 Costurile angajate și cheltuielile reale cumulate, după (Drăghici, 1999)

3.2.3.3 Ingineria colaborativă

Dincolo de organizarea simultană/integrată, pentru proiecte de anvergură desfășurate în întreprinderi extinse/virtuale, este necesară constituirea de echipe multidisciplinare, care regrupează specialiști din zone geografice diferite, care intervin de-a lungul ciclului de viață al proiectului (Drăghici, 1999).

Se trece deci de la o întreprindere structurată pe funcții și sarcini, la o întreprindere care se organizează în jurul unui produs, dezvoltat sub forma unui proiect născut dintr-o necesitate exprimată de client. Acest proiect este încredințat unui șef de proiect, care coordonează trei echipe de circa douăsprezece persoane, fiecare regrupând mai multe grupe de specialități (Fig. 3.6) (Drăghici, 1999):

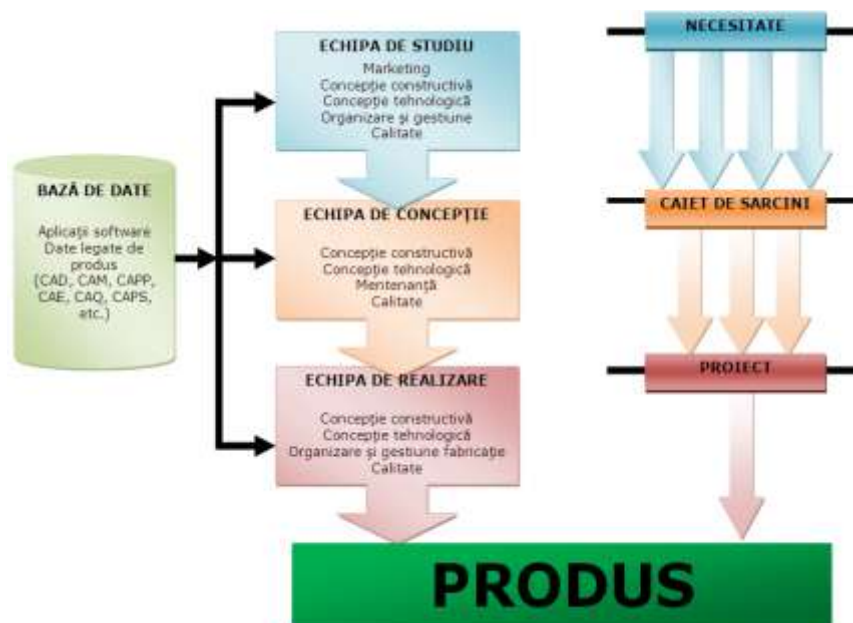


Fig. 3.6 Modul de organizare de tip colaborativ, după (Drăghici, 1999)

- echipa de studiu, constituită din specialiștii din marketing, proiectare, tehnologie, producție, logistică, aprovizionare, calitate, are ca misiune fixarea obiectivelor, validarea caietului de sarcini, definirea în linii mari a produsului și, bineînțeles, de a face o primă estimare a costurilor;
- echipa de concepție, reprezentată de inginerii de proiectare, tehnologie, mentenanță, calitate, traduce specificațiile caietului de sarcini în soluții tehnologice, ținând cont de procesele de fabricație și mijloacele de producție ale întreprinderii;
- echipa de realizare a produsului industrializează desenele, procesele și logistica. Această echipă, regrupând specialiștii din proiectare, tehnologie și logistică, management și calitate, realizează desenele de detalii, concepe procesele de prelucrare, desenele echipamentelor speciale, și asistă la realizarea produsului.

O comparație între cele trei abordări (secvențială, simultană/integrată și colaborativă) este prezentată în Fig. 3.7.

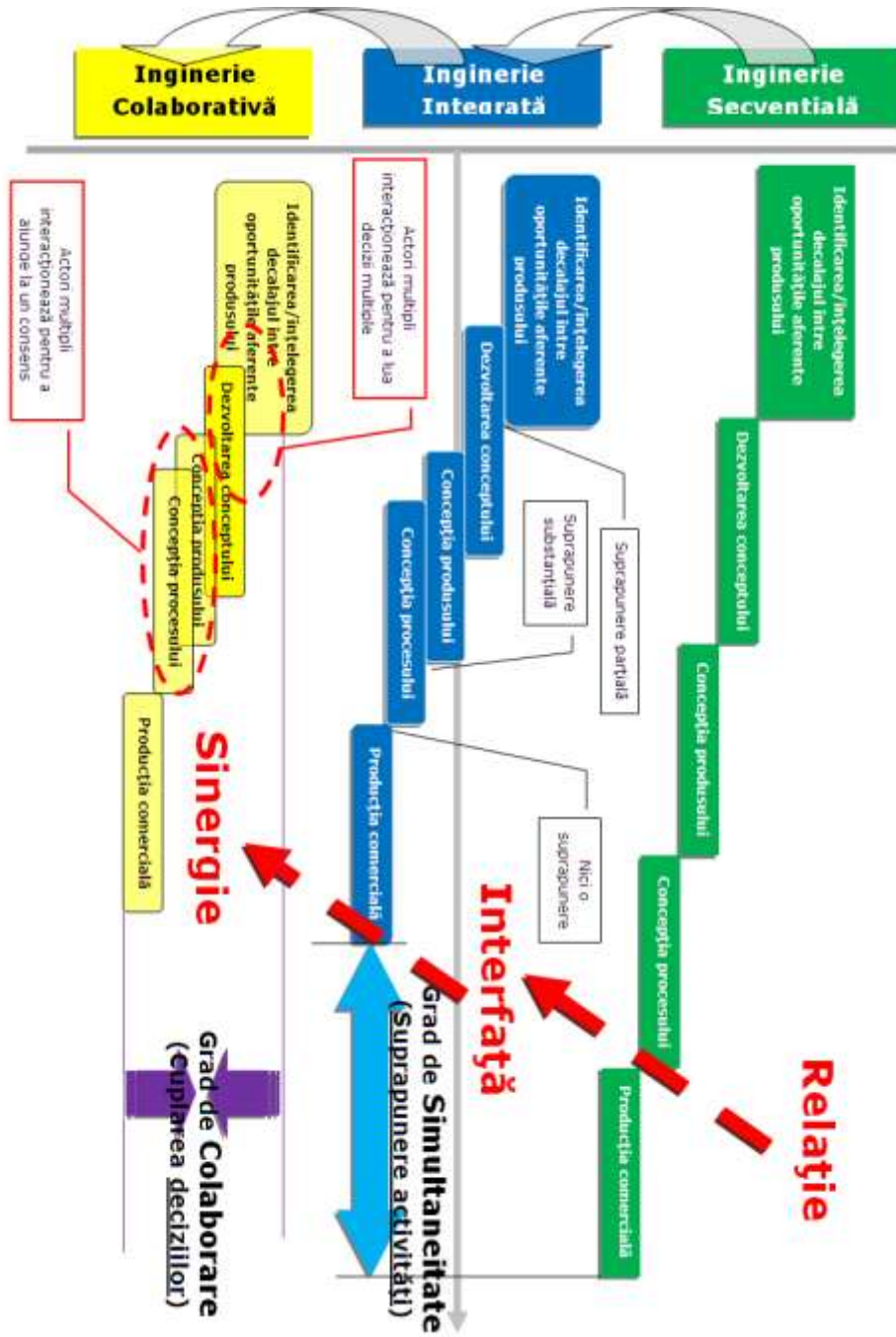


Fig. 3.7 Comparație între cele trei abordări, după (Lu și Conger, 2007)

3.3 Modele de produs

3.3.1 Tipuri de reprezentare a informațiilor legate de produs

Prin derivare, toate informațiile legate de produs se pot reduce la procesul de modelare, care implică diferite tipuri de modele care, prin natura lor, sunt interdependente. Informațiile referitoare la modelele de reprezentare se cataloghează în trei tipuri, des întâlnite în procesul de modelare (Niemann ș.a., 2009):

- modele fizice;
- modele conceptuale;
- modele analitice;

După cum se poate observa din Fig. 3.8, modelele fizice, conceptuale și analitice sunt folosite pentru reprezentarea grafică a obiectelor din diferite puncte de vedere și pentru a introduce diverse informații legate de produs, cum ar fi:

- modelul fizic, pentru reprezentările convenționale;
- modelul conceptual, relevant în momentul când principalele interese sunt informațiile din faza de concepție constructivă;
- modelul analitic, pentru reprezentări grafice folosind metode parametrice sau modelări de solide.

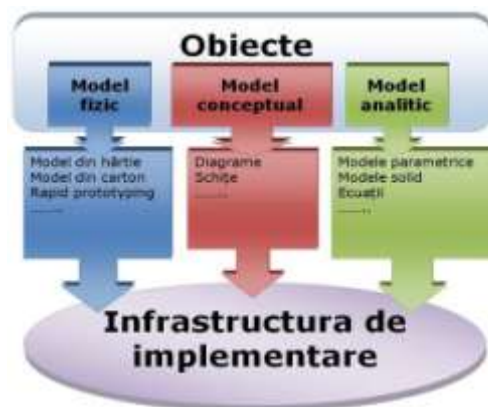


Fig. 3.8 Tipuri de modele, după (Niemann ș.a., 2009)

Krause și Schlingheider (1993) propuneau următoarele categorii ale modelelor de produs (Fig. 3.9):

- Modelul de produs orientat pe structură – este prima aplicație actuală în tehnica de modelare a produsului, utilizând sisteme informatice pentru reprezentarea grafică a produsului. Structura produsului este inima activităților de concepție, cum ar fi datele referitoare la specificațiile produsului, care pot fi stocate folosind modelele orientate pe structură. Deși aceste tipuri de modele sunt mult limitate în ceea ce privește reprezentările grafice ale produsului, cum ar fi reprezentarea formei produsului, este importantă asigurarea unei baze pentru viitoarele optimizări, folosind alte tehnici de modelare;

- Modelul de produs orientat pe geometrie – a fost dezvoltat ca o extindere a modelului orientat pe structură și are ca principală funcție reprezentarea grafică a produsului. Modelul orientat pe geometrie este utilizat pe scară largă de aplicațiile CAD/CAM, satisface cerințele de bază pentru reprezentarea de formă, dar nu este capabil să descrie informații non-geometrice referitoare la produs;
- Modelul de produs orientat pe caracteristici – este conceput în primă instanță pentru reprezentarea modelelor de formă generală, ale suprafețelor și sub forma unui produs cu elemente coerente de geometrie (Seltes, 1978). Ulterioarele modificări au condus la o largă utilizare a modelului orientat pe caracteristici în aplicațiile CAD, o caracteristică de bază devenind modul de informare generală pentru reprezentarea grafică a diferitelor repere din componența unui produs (Bhandarkar și Ngai, 2000). În procesul de modelare al produsului se disting caracteristici de concepție, fabricație, asamblare și abstracte, fiecare caracteristică având propriul său domeniu de implementare;

Categorie de model	Descrierea componentelor	Rolul elementelor
Model de produs integrat	Combinatii ale geometriei/ caracteristicilor-/structurii-/ cunoștințelor modelului de produs	Dezvoltarea produsului cu ajutorul suportului integrat
Model de produs bazat pe cunoștințe	Caracterizat prin utilizarea tuturor tehnicilor	Stocarea expertizelor umane și experiențelor în ceea ce privește produsul
Model de produs orientat pe caracteristici	Caracterizat de forma	Reprezentarea adesea a formelor suport, care sunt strans legate de geometria obiectului
Model de produs orientat pe geometrie	Cadru de sarma	Computer model
	Suprafata	
	Solid	
	Hibrid	
Model de produs orientat pe structura	Tipul structurii de material din documentatie	Reprezentarea structurii produsului
	Clasificarea structurii	
	Structura ce descrie versiuni si variante	

Fig. 3.9 Modele de produs, după (Krause și Schlingheider, 1993)

- Modelul de produs bazat pe cunoștințe – este un model evoluat, care folosește tehnicile inteligenței artificiale. Acest model tolerează informații raționale, referindu-se la expertize și experiența conectorului asupra unei clase de produse deja existente, pe durata procesului de

modelare. În prezent, unele metode implementate pot fi folosite în modelele bazate pe cunoștințe, cum ar fi modele bazate pe reguli, modele bazate pe constrângeri și tehnici orientate pe obiect;

- Modelul de produs integrat sau modelul global al produsului (Fig. 3.10) – este combinația funcțională a tuturor modelelor de produs prezentate. Modelul de produs integrat este folosit pentru a ajuta toate activitățile de concepție, pornind de la analiza funcțională, studiul conceptual, concepția detaliată, planificarea procesului, programarea numerică, fabricarea și asamblarea produsului, până la controlul final.

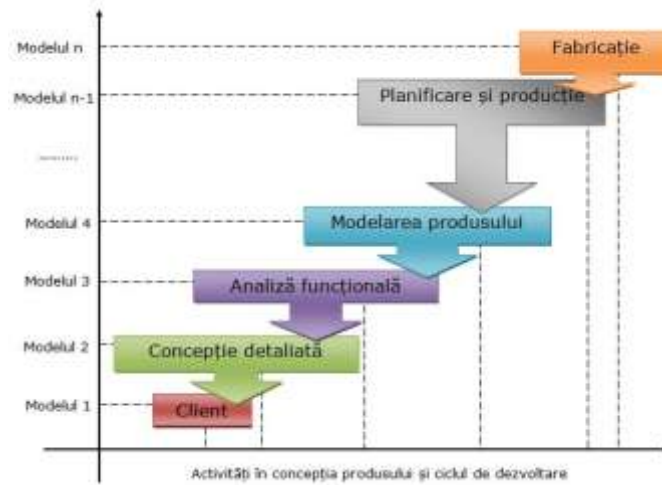


Fig. 3.10 Model de produs integrat, după (Niemann ș.a., 2009)

Din anii 80, în metodele și modurile de producție au început să se implementeze, într-un mod foarte alert, sistemele digitale. Evoluția sistemelor IT și a diferitelor sisteme de reprezentare grafică CAD (Fig. 3.11), de la 2D la 3D și așa numitele modele „Digital Mock-Up”, s-a intrat în era fabricației digitale.

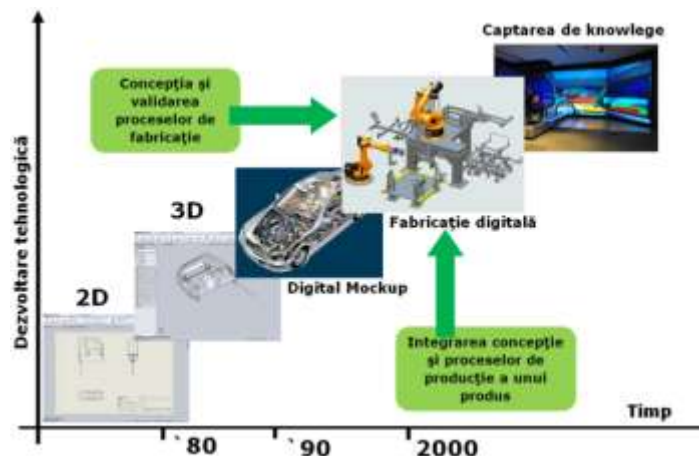


Fig. 3.11 Evoluția sistemelor IT și a diferitelor sisteme de reprezentare grafică CAD, după (Coze, 2009)

În general, algoritmi de reprezentare grafică a produsului se bazează pe reprezentarea ortogonală și lucrează vectorial, în coordonate omogene, folosind curbe analitice și sintetice, parametrice. Modelarea și vizualizarea reprezintă tehnici de abstractizare și de reprezentare a diferitelor fenomene la care este supus viitorul produs, în contextul modelării, prin intermediul utilizării diferitelor sisteme informatice care au atins un nivel ce permite înlocuirea cu succes, în multe cazuri, a realizării unui prototip real sau a testelor pe acesta (Seiculescu, 2007).

3.3.2 Modele de reprezentare geometrică

Un model geometric este definit ca o reprezentare completă a unui obiect cuprinzător, prin utilizarea atât a informațiilor grafice (desene, schițe etc.), cât și a celor non-grafice (caiet de sarcini, liste de funcții, caracteristici etc.). Din punct de vedere grafic, obiectele pot fi reprezentate 2D, caz în care au o secțiune transversală constantă, și 3D, având o secțiune transversală variabilă (Fig. 3.12).

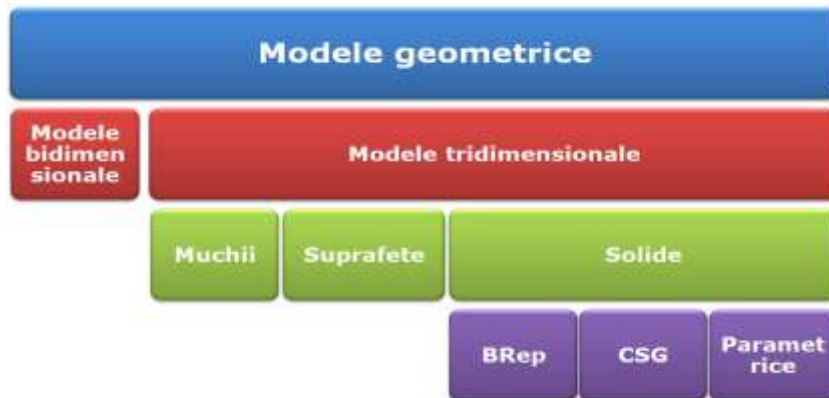


Fig. 3.12 Modele geometrice, după (Drăghici, 1999)

În general, în aplicațiile inginerești, pentru reprezentări grafice ale obiectelor spațiale (3D) se folosesc trei tipuri de modele:

- modele de reprezentare prin *muchii* (*Wireframe Models*) - sunt cele mai simple, dar și cele mai sărace în informații. Pentru a reda obiectul, de fapt un schelet al său, asemănător cu o rețea de sârmă, se utilizează doar puncte și elemente liniare (segmente și arce) de lungime finită;
- modele de reprezentare prin *suprafețe* (*Surface Models*) - delimitează un obiect tridimensional, se bazează pe modelarea de tip „coajă” a obiectului 3D, elementele geometrice utilizate sunt fațete (patrulater, triunghiuri) de arie finită, elemente liniare finite;
- modele de reprezentare prin *volume* (*Solid Models*) - sunt cele mai e modele de redare a unui obiect spațial. Obiectul este generat din forme simple, majoritatea descriabile analitic, combinate între ele pentru a genera forma spațială dorită. Modelului i se poate asocia o densitate de material, se pot determina proprietăți de corp fizic (centru de masă, momente de inerție, rază de girație etc.)

Modele reprezentate prin suprafețe utilizează o rețea de tip plasă (*Mesh*), care generează între muchii definite ale modelului diferite curbe (un caroiaj cu un

anumit pas). Un alt mod de vizualizare este acela al folosirii tehnicilor de umbrire (*Shading*), acesta punând în evidență muchiile modelului, sau printr-o umbrire graduală (*Rendering*), utilizând una sau mai multe surse de iluminare în raport cu obiectul modelat și direcția de observare (Seiculescu, 2007).

Modelele de solid, bazate pe arborele constructiv (*Constructive Solid Geometry CSG*), sunt generate vectorial ca și mulțime a punctelor delimitate de suprafața obiectului și referite relativ la spațiul de reprezentare (Fig. 3.13). Ele pot fi reprezentate atât prin muchii vizibile cât și prin muchii ascunse, caz în care se poate aprecia mai ușor poziția și orientarea piesei față de utilizator.

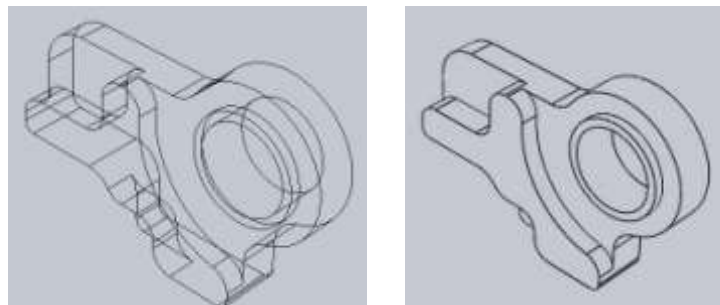


Fig. 3.13 Modele de reprezentare geometrică

De asemenea, solidul poate fi prezentat prin suprafețe care îl mărginesc, utilizând un carcoaj de tip *mesh*, cât și prin randarea acestuia, iar prin alegerea unui sistem de iluminare orientat adecvat se pot pune în evidență mult mai sugestiv aspecte ale geometriei obiectului.

Principalele aplicații software CAD realizează modelarea produsului prin crearea arborelui constructiv (*Constructive Solid Geometry CSG*), care este cea mai populară schemă de creare a solidelor, fiind bazată pe faptul că, din punct de vedere topologic, un obiect fizic poate fi descompus în volume primitive. Prin compunerea mai multor volume primitive operate boolean se realizează un obiect compozit (Seiculescu, 2007).

Aplicațiile software CAD din domeniul produselor mecanice sunt bazate pe dezvoltarea solidelor primitive pe baza schițării bidimensionale parametrice. Modelul geometric este dezvoltat pornind de la schițarea parametrică, într-un plan de referință, al unui contur închis sau deschis. După realizarea completă a constrângerilor geometrice cât și topologice ale conturului, acesta este transformat în corp de bază, printr-unul din procedeele: extrudare, revoluție, translatare sau potrivire spațială.

Modelul solid astfel conceput este asociat în totalitate cu ansamblul din care face parte, respectiv cu desenul bidimensional dezvoltat automat prin proiecțiile ortogonale programate de utilizator. Aceste documentații, în vedere bidimensională, sunt necesare pentru concepția viitoarelor operații tehnologice de prelucrare a produsului, desenul incorporând și alte informații, cum ar fi: standardul de desenare, netezimea suprafețelor, materialul și starea termomecanică a acestuia, protecția suprafețelor, condiții de asamblare etc.

Prin combinarea a două sau mai multe componente solide într-un singur document se pot realiza diferite ansambluri. Aceste componente pot fi poziționate și relaționate între ele prin folosirea diferitelor constrângeri tridimensionale. Prin

editarea componentelor aflate în asamblare se pot realiza diferite simulări ale funcționării ansamblului (Seiculescu, 2007).

3.3.3 Modele de reprezentare prin domenii

Modelarea prin domenii abordează concepția unui sistem mecanic pornind de la o descriere abstractă spre una concretă.

Un sistem mecanic poate fi reprezentat prin patru domenii (Andreasen, 1992), (Drăghici, 2002):

- domeniul de proces (*Process Domain*), care descrie transformările fizice care au loc în sistem;
- domeniul de funcționalitate (*Function Domain*), care exprimă rezultatele așteptate ale sistemului;
- domeniul de organologie (*Organ Domain*), care reprezintă entitățile care răspund la rezultatele așteptate ale sistemului;
- domeniul componentelor (*Parts Domain*), care precizează elementele de realizare (componente sau piese) ale organelor sistemului.

Domeniile întrețin relații cauzale, permițând trecerea de la unul la altul, în interiorul modelului. Produsul este definit cu ajutorul unei reprezentări genetice, cromozomul traducând rezultatele concepției. Această reprezentare se bazează pe elementele celor patru domenii (*Process, Functions, Organs* sau *Parts*).

Activitatea de concepție se efectuează cu ajutorul a trei operații de bază, care modifică compoziția cromozomului și influențează asupra elementelor domeniilor:

- operația *detaching* permite separarea unui element de concepție a modelului de produs, ajustarea lui în scopul satisfacerii unei nevoi specifice;
- operația *synthesis* asigură crearea unui nou element de concepție pornind de la compunerea sau descompunerea elementelor existente;
- operația *weaving* traduce inserarea în modelul de produs a unui nou element, creând relațiile necesare cu mediul său.

3.3.4 Modele de reprezentare funcțională

Modelul FBS (*Function-Behavior-State*) propune o reprezentare funcțională a obiectului în termen de entități, atribute ale acestor entități și relații între entități (Shimomura, 1995), (Drăghici, 2002).

Entitatea *function* reprezintă expresia intențiilor de concepție. Entitatea *behavior* se definește ca secvența schimbărilor entității *state* a unui obiect. Obiectul este văzut după trei niveluri de abstractizare.

Pentru evaluarea modelului au fost definite patru tipuri de relații între entități: relația *decomposed into* arată transformarea unei entități în sub-entități; relația *condition by* exprimă nevoia exhaustivă a unei entități *function* B de a preciza entitatea *function* A, această relație trebuind suportată de o relație cauzală la nivelul entităților *behavior* asociate entităților *function*; relația *enhanced by* pune în evidență complementul de informație pe care îl aduce o entitate *function* B la *modifier* A legată de entitatea *function* A; relația *described as* explicitează detaliile date prin *modifier* în mod din ce în ce mai concret.

Modelul FEP (*Functional Evolution Process*) este o evoluție a modelului FBS. Acest model reprezintă operarea entităților *function* în procesul de concepție. Descrierea funcțională a obiectului este afinată și detaliată în mod graduat. Procesul se descompune în etape declinabile în trei activități: *functional description*, *functional actualization* și *functional evaluation*. Activitatea *functional description* revede, modifică și îmbunătățește modelul la fiecare etapă nouă a procesului. Activitatea *functional actualization* corespunde traducerii în termen de entități *behavior* a entităților *function* modificate pe parcursul descrierii. Activitatea *functional evaluation* asigură controlul conformității între descrierile entităților *function* și *behavior*.

3.3.5 Modele de reprezentare structurală și funcțională

Concepția unui produs poate fi mai eficientă dacă datele sunt structurate. Pornind de la această constatare a fost propus un model de produs structural și funcțional capabil să integreze definirea funcțiilor, crearea arhitecturii, alegerile tehnologice etc. (Mony, 1992), (Drăghici, 2002). Aspectul structural definește limita (frontiera) sistemului și organizarea componentelor sale în spațiu. Aspectul funcțional reprezintă identificarea proceselor care intervin în cadrul sistemului: schimburi, transferuri, fluxuri etc.

Modelarea produsului constă în definirea elementelor structurale (entități, relații, frontiere, componente și constrângeri), la care sunt adăugate informații sau noțiuni capabile să reprezinte comportamentele produsului. Entitățile sunt atomi de modelare (nedecompozabili). Relațiile traduc interacțiunea între două sau mai multe entități. Frontiera este un subansamblu de entități care intervin în interacțiunile pe care un produs le întreține cu mediul său. O componentă este un ansamblu de entități alăturate prin relații, care posedă o frontieră și parametri de definire. O constrângere reprezintă dependențele între parametrii de definire a entităților, relațiilor și componentelor.

Demersul de concepție funcțională, pornind de la caietul de sarcini funcțional, constă în căutarea într-o bază de componente pe cele care sunt susceptibile să constituie o soluție tehnologică care să satisfacă funcțiile. Acest demers se bazează pe anumite principii: independență, decompozabilitate, neredondanță, coerență. Procesul este segmentat prin stări de concepție care corespund ansamblului de informații prezente în modelul de produs înainte de a interveni o nouă decizie. Fiecare decizie poate fi asimilată cu o tranziție între două stări de concepție. La modelul de produs se asociază un graf "stare-tranziție", care poartă istoricul deciziilor care au fost luate pentru concepția produsului.

3.3.6 Modele de reprezentare prin funcții și entități

Modelul creat permite legarea descrierii funcționale de reprezentarea geometrică a produsului. El se bazează pe conceptele de funcții, entități tehnologice și entități frontiere (Eynard, 1997), (Eynard, 1999), (Drăghici, 2002).

Funcția ușurează transcrierea rezultatelor caietului de sarcini funcțional (graful de interacțiuni, diagrama FAST etc.) și desfășurarea unei concepții orientată spre satisfacerea obiectivelor. Funcția se exprimă printr-un verb și, dacă e necesar, un complement. Aceasta se reprezintă grafic printr-un dreptunghi, pentru a păstra formalismul folosit în analiza funcțională. Ea se definește printr-un ansamblu de

parametri și este limitată printr-un ansamblu de constrângeri, numite "meserii". Funcția permite specificarea entității tehnologice prin identificarea entităților frontiere.

Entitatea tehnologică (ET) asigură legătura cu componentele modelelor geometrice și / sau fizice manipulate în mod curent de conceptori, permițând concretizarea materială a produsului. Entitatea tehnologică se poate defini ca un obiect conceptual, coerent din punct de vedere tehnologic și semantic față de funcție. Formalismul grafic folosit este o elipsă, fiind caracterizat prin numele său, un ansamblu de parametri și entitățile sale frontiere.

Entitatea frontieră (EF) este interfața sau punctul de atașare dintre o funcție și o entitate tehnologică. Ea este considerată ca o subentitate tehnologică, deci va avea ca formalism grafic tot o elipsă. Parametrii săi reprezintă un subansamblu al parametrilor entității tehnologice la care este atașată. Ea aparține unei singure entități tehnologice și este legată cel puțin cu încă o entitate frontieră, trecând printr-o funcție.

Formalismul grafic al modelului de produs astfel definit este reprezentat în Fig. 3.14.

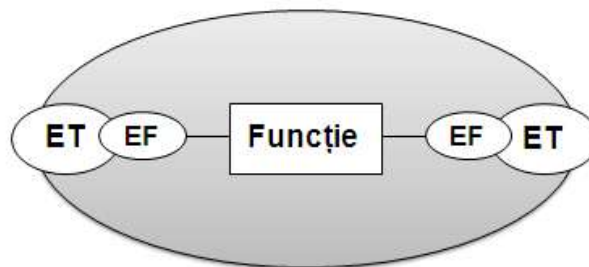


Fig. 3.14 Reprezentarea grafică a modelului de produs (Drăghici, 2002)

Pentru a asigura exploatarea modelului se aplică următoarele principii (reguli): descompunerea, agregarea, nivelurile de abstractizare și conformitatea. Aceste principii permit structurarea rezultatelor în acord cu dinamica procesului de concepție, urmărind desfășurarea progresivă a acestuia.

Pe baza caietului de sarcini funcțional, pornind de la funcțiile de serviciu, graful de interacțiuni (APTE) și diagrama FAST de ordonare a funcțiilor, conceptorul definește entitățile tehnologice care concretizează arhitectura produsului susceptibil să răspundă obiectivelor fixate în expresia necesității. Caracterizarea entităților tehnologice făcându-se prin afinări succesive a entităților lor de frontiere și a parametrilor lor, este posibil să se deducă primitive geometrice care pot fi reprezentate în modelul CAD.

3.3.7 Modele de reprezentare multi-vederi

Unul dintre cele mai complete modele de produs este modelul multi-vederi, care integrează ciclul de viață al produsului în faza de concepție, prin integrarea ansamblului de specialiști care intervin (Tichkiewitch, 1995), (Tichkiewitch, 1996), (Tichkiewitch, 1999), (Drăghici, 2002). El se bazează pe metodologia de inginerie integrată, permițând intervenția simultană a tuturor participanților în faza de concepție a produsului.

3.3.7.1 Metodologia de concepție integrată

Concepția unui produs începe de la caietul de sarcini, care descrie funcționalitățile dorite. Într-o primă etapă, de concepție inițială, se definește graful funcțional-structural. Cea de-a doua fază corespunde concepției detaliate, care face obiectul unei veritabile faze de integrare a diferitelor profesii ce concurează la definirea produsului. Cunoștințele diferitelor profesii ale conceptorilor sunt modelate prin entități, reguli de fabricație sau module tehnologice.

3.3.7.2 Formalismul modelului de produs

Modelul de produs definește structurarea și asocierea elementelor (componentelor) într-un sistem, precizând interfețele (legăturile) elementelor cu exteriorul. Asocierea elementelor este realizată de-a lungul legăturilor prin uniuni (relații). Formalismul modelului de produs este prezentat în Fig. 3.15.

Componentul reprezintă un ansamblu material identificabil, putând fi o parte a unei piese (dantura unei roți dințate), o piesă unică (roata dințată) sau un grup de piese (cutia de viteze). El va fi schematizat printr-un dreptunghi care conține denumirea.

Legătura este o caracteristică a unui component, care permite o privire exterioară asupra componentului (cercul de divizare al danturii, alezajul roții dințate, arborele de intrare al cutiei de viteze). Legătura va fi schematizată printr-un oval care conține denumirea.

Relația exprimă o uniune între două sau mai multe legături. Ea este reprezentată printr-un dreptunghi rotunjit care conține denumirea.

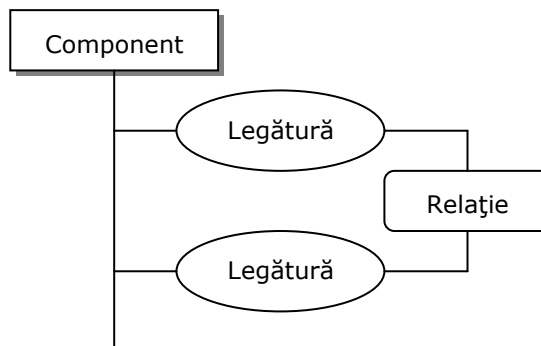


Fig. 3.15 Formalismul modelului de produs, (Drăghici, 2002)

3.3.7.3 Modelul de date

Modelul de date este completat prin operatori de descompunere, operatori de substituție, și prin reprezentarea multi-vederi:

- *descompunerea* unui component permite obținerea diferitelor niveluri de abstractizare;
- *substituția* permite înlocuirea, la același nivel de abstractizare, a unei relații printr-un ansamblu de componente, legături și relații, în scopul specificării relației înlocuite;
- *reprezentarea multi-vederi* permite diferite descompuneri ale unui component din puncte de vedere diferite.

3.3.7.4 Modelul de produs multi-vederi

Modelul de produs multi-vederi reprezintă produsul văzut din punctul de vedere specific al fiecărui specialist participant la concepție (Fig.3.16). Perpendicular pe axa vederilor sunt reprezentate succesiv diferitele modele ale produsului, privite din punct de vedere funcțional, structural, al prelucrării, al asamblării, al mentenanței, al reciclării etc.

3.3.7.5 Modelorul de concepție integrată

Modelorul de concepție integrată se bazează pe modelul de produs prezentat. El permite accesul diferiților participanți la concepție, fiecare conectat prin stația lui de lucru, la baza de date produs. Construcția modelului de produs, folosind formalismul modelului de date, se face prin decizia fiecărui participant de a adăuga componente, legături sau relații la modelul existent.

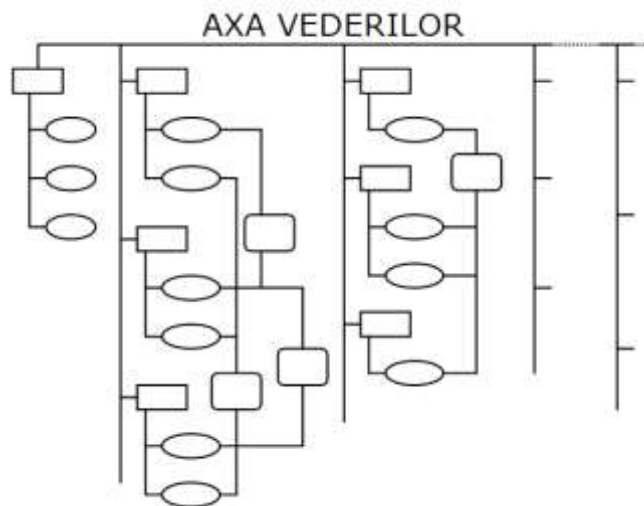


Fig. 3.16 Modelul de produs multi-vederi, (Drăghici, 2002)

Modelorul permite fiecărui participant la concepție să utilizeze biblioteca de entități proprie specialității sale. Noțiunea de vedere permite separarea descrierilor unui component în raport cu interesele diferite. În mod normal, ansamblul modelului de produs nu este distribuit fiecărui participant, doar informațiile generale. Restul informațiilor, specifice unui participant de o anumită specialitate, sunt accesibile pe baza unei autorizări speciale. O selectare a vederilor direct accesibile este făcută în funcție de specialitatea participantului la concepție. Trebuie deci administrate mai multe vederi ale produsului. Informațiile fiecăreia dintre ele trebuie să fie stocate și să poată fi accesibile. Nucleul acestui sistem de concepție este format de bază de date asupra produsului. Orice participant, de o anumită profesie, trebuie să poată avea acces la această bază de date. Sistemul de concepție integrată este realizat într-o arhitectură client-server (Fig. 3.17).

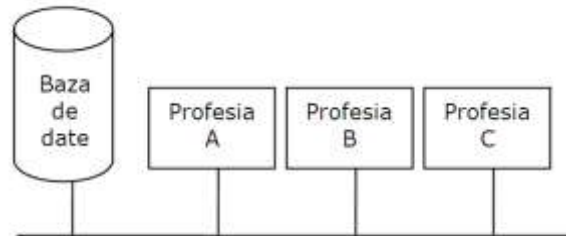


Fig. 3.17 Sistemul de concepție integrată, (Drăghici, 2002)

3.4 Modele de concepție ale produsului

3.4.1 Tipuri de modele

Procesul de concepție reprezintă ansamblul de activități necesare dezvoltării produsului și alegerea mijloacelor necesare pentru atingerea obiectivelor impuse de cerințele clientului. Procesul de concepție poate induce descoperirea de soluții noi, alegerea unei soluții deja existente sau combinarea acestora.

În (Reymen, 2001) modelele de concepție sunt împărțite în două categorii:

- *modele descriptive*, care în general răspund la întrebările "ce este" și "cum se realizează" concepția. Subiectele de cercetare sunt procesul de concepție, dar și produsul care urmează să fie conceput, enunțând teorii de concepție care descriu procesele cognitive, abilitățile și atitudinile conectorilor, cât și activitățile de concepție, structura și organizarea procesului și contextului concepției.
- *modele prescriptive*, care răspund în general la întrebările "cum să concep și cum să sprijin concepția". Subiectele de cercetare sunt aplicarea și dezvoltarea strategiilor, metodologia, tehnicile și activitățile procesului de concepție. Se pune accentul pe dezvoltarea de aplicații software pentru sprijinirea activității de concepție și pe comunicarea dintre actorii implicații în procesul de concepție.

3.4.2 Modele bazate pe noțiunea de fază

Concepția inginerască (*engineering design*) include toate stagiile ciclului de viață al produsului, de la analiza necesității până la reciclarea și scoaterea sa din uz. Literatura de specialitate împarte *engineering design* în diferite faze, dar este acceptat că există trei faze principale: concepția preliminară (*early design*), concepția detaliată (*detailed design*) și analiza concepției (*design analysis*) (Banciu, 2011).

Shah și Mantyla (1995) considerau că *early design* include concepția funcțională și studiul conceptual (*conceptual design*), însă Ullman (2002), Buede (2000) și Pahl ș.a. (2007) plasează *conceptual design* în concepția preliminară, înainte ca formele geometrice ale produsului să constituie repere importante în dezvoltare. Principala preocupare a conectorului în faza de *conceptual design*, este

de a recunoaște funcțiile și structura generală, decât de a detalia forma geometrică a produsului.

3.4.2.1 Modelul lui Pahl și Beitz

Unul dintre modelele prescriptive cu cea mai mare răspândire printre concepători, și reprezentativ, este modelul sistematic, al lui Pahl și Beitz (Pahl ș.a., 2007). Acest model este bazat pe o descompunere secvențială a procesului de concepție, utilizând conceptul de fază. Autorii spun că „nu este posibil întotdeauna să se traseze o graniță clară între aceste faze principale. De exemplu, aspecte ale dispunerii, amplasării (*layout*-ului) ar trebui să fie adresate în timpul fazei *conceptual design* (studiul conceptual) sau ar putea fi nevoie ca anumite procese de producție să fie determinate în detaliu în timpul fazei *embodiment design* (concepție constructivă). Nu este posibil să se evite întoarcerea înapoi, de exemplu în cadrul fazei *embodiment design*, când pot fi descoperite noi funcții auxiliare și pentru care trebuie găsite noi principii de soluție. Cu toate acestea, divizarea planificării și controlului unui proces de dezvoltare în fazele principale este întotdeauna de folos.”

Sucesiunea ierarhică a fazelor este baza acestui model de concepție, logica predominantă fiind cea a convergenței, iar această ordine este (Fig. 3.18):

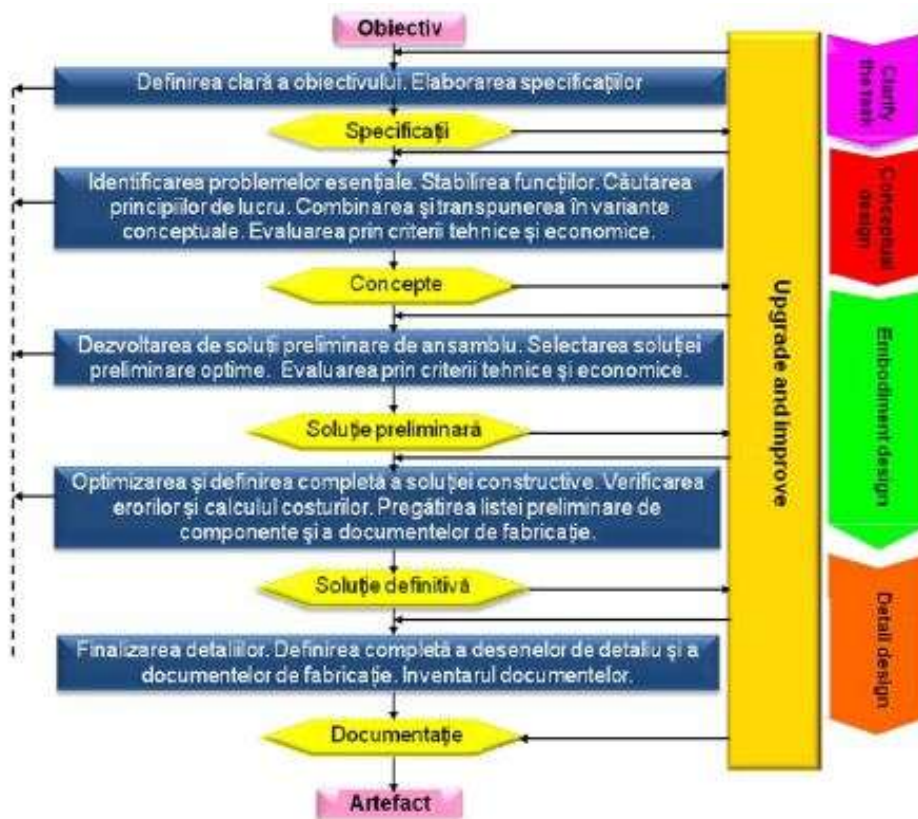


Fig. 3.18 Modelul sistematic, după (Pahl ș.a, 2007)

- prima fază - *clarify the task* (clarificarea și planificarea sarcinilor), care are ca rezultat descrierea inițială a produsului, enunțată sub forma unei liste de funcții și caracteristici pe care produsul trebuie să le îndeplinească, cu un sistem de constrângeri și anumite obiective asupra costului și termenului de lansare pe piață;
- a doua fază - *conceptual design* (studiul conceptual) conduce la o soluție de principiu sau la un concept pentru produs;
- a treia fază - *embodiment design* (concepția constructivă) conduce la o primă soluție fizică a produsului, bazată pe soluția principală determinată în faza de studiu conceptual;
- a patra fază - *detailed design* (concepția detaliată) are ca rezultat final elaborarea tuturor documentațiilor necesare fabricării produsului.

3.4.2.2 Modelul lui French

French (1985) consideră că studiul conceptual este faza în care știința inginerescă, cunoștințe practice, metode de producție și aspectele comerciale trebuie corelate, și în care se iau cele mai importante decizii.

3.4.2.3 Modelul lui Roozenburg și Eekels

Roozenburg și Eekels propun ca modelarea concepției să fie realizată pe calea iterațiilor ciclului elementar de concepție (Roozenburg, 1995). Diferența dintre modelul propus de Pahl și Betz și modelul succesiv cu o structură iterativă, propus de Roozenburg și Eekels, conduce la soluții de concepție și specificații care evoluează concomitent.

3.4.2.4 Modelul lui March

March propune un model de concepție care pornește de la trei interfețe (Perrin, 2001):

- *Producție* (P) - funcție de datele și specificațiile primite se va concepe o primă soluție a produsului;
- *Deductie* (D) - în urma soluției primare și a cunoștințelor acumulate de conceper sunt derivate principalele performanțe pe care soluția le poate atinge;
- *Inducție* (I) - se evaluează soluțiile și performanțele caracteristicilor soluției.

Modelele de concepție prezentate relevă că ciclul de concepție este constituit din etape succesive și poate fi descris printr-un sistem de tratare a informației. Pornind de la această ipoteză au fost elaborate principalele sisteme CAD.

3.4.2.5 Modelul lui Ulrich și Eppinger

Ulrich și Eppinger descriu procesul de concepție ca o succesiune de șase faze, în cadrul fiecărei faze membrii echipei de concepție desfășurând diverse activități (Ulrich, 2000).

3.4.2.6 Modelul lui Ullman

Modelul procesului de concepție propus de Ullman (2002) consideră derularea succesivă a cinci faze, fiecare din ele implicând realizarea unor sarcini generice, iar succesul derulării unei faze este aprobat de o revizuire a concepției, care notează finalizarea ei.

3.4.2.7 Modelul lui Pugh

În (Pugh, 1991) procesul de concepție este văzut ca fiind organizat în jurul unui nucleu central de faze care se înlănțuie într-o manieră iterativă. Centrat în jurul noțiunii de fază, demersul propus de autor ia în considerare parțial noțiunea de domenii coexistente. Se consideră că acest nucleu de concepție este înconjurat de specificațiile de concepție ale produsului, care controlează derularea activităților.

3.4.3 Modele bazate pe noțiunea de activitate

3.4.3.1 Modelul EVAD

Validarea metodelor prescriptive de concepție existente se bazează în principal pe experiența conectorilor și nu pe observarea activităților. Ahmed și Hansen (2002) spun că: „În general, metodele prescriptive au redat o mică apreciere, observare a muncii de reconcepție. Ele s-au concentrat pe organizarea globală, generală, a activităților procesului de concepție, și nu au luat în considerare elementul uman sau experiența conectorilor implicați”.

Modelul propus de Hansen și Adreasen este denumit „nod de activitate”, în acest caz luarea deciziilor fiind o activitate centrală. Este un model care corelează activitățile decizionale (*decision making activities*), fiind format din 6 sub-activități: specificarea, evaluarea alternativă a soluțiilor, validarea, „navigarea” în spațiul soluției/activității, unificarea deciziei și decizia.

3.4.3.2 Modelul lui Purcell

Strategiile urmărite de un conector pe parcursul unei proiect de concepție sunt studiate de Purcell ș.a. (1994), care propun o clasificare pe strategii și micro-strategii în patru categorii: analiza problemei, propunerea soluției, analiza soluției și strategii explicite. În schimb, Lonchamp (2004) clasifică aceste strategii drept activități.

3.4.3.3 Modelul lui Girod

Modelul propus de Girod ș.a. (2000) are la bază un studiu bazat pe discuțiile avute de membrii echipelor de concepție pe anumite teme. În urma acestui studiu s-a ajuns la identificarea a 12 categorii de activități și pentru 6 dintre categorii se definesc și subcategoriile.

3.4.4 Modele bazate pe noțiunea de domeniu

3.4.4.1 Modele raționale

Concepția rațională (*Design Rationale* DR) a fost dezvoltată de către Kunz și Rittel în 1970 sub denumirea de *Issue Based Information Systems* (IBIS), dar în decursul anilor au existat numeroase modificări ale acestuia.

Horner și Atwood (2006) afirmă că „principalul scop al DR este de a sprijini concepția prin oferirea de mijloace care să înregistreze, să comunice argumentarea și raționamentele din spatele procesului de concepție”.

Sistemele DR pot urma demersurile bazate pe argumente, modele descriptive și demersuri bazate pe procese (*Process-Based Approaches*). Sisteme recente de DR și scheme de reprezentare sunt: JANUS, COMET, ADD, REMAP, HOS, PHIDIAS, DRIVE, IBIS. Este vorba de prototipuri și sisteme DR pentru domeniile de aplicații *Mechanical Design, Software Engineering, Artificial Intelligence, Civil Engineering, Human-Factors and Human-Computer Interaction Research* (Hu ș.a., 2000), (Banciu, 2011).

3.4.4.2 Modele din Europa de Nord

Hubka și Eder (1992) propun un nou model de concepție, în care acțiunea este percepută de actorii implicați ca o acțiune asupra unor atribute manipulabile (dimensiuni, specificații) și a altor atribute nemanipulabile (performanțe) care pot influența luarea deciziilor. O clasificare a acestor atribute manipulabile cuprinde: caracteristicile, proprietățile și calitățile.

În (Weber ș.a., 2002), concepția poate fi „controlată de proprietăți”, în sensul că obiectivul concepțiilor este de a determina caracteristicile produsului care permit redarea proprietăților dorite.

În (Andreasen, 1992) se consideră că sinteza unei mașini constă în stabilirea succesivă a patru sisteme corespondente la patru domenii de lucru ale concepătorului. Ulterior, Hansen și Andreasen (2000) mai propun, pentru o mai bună înțelegere a naturii unui concept, că este necesară distingerea a două laturi ale acestuia: latura cu privire la produs, care relevă interacțiunea sa cu mediul înconjurător și ideea că produsul este în interacțiune cu contextul său de concepție.

3.4.4.3 Modelul valoric

Se consideră concepția ca fiind trecerea de la abstractizarea domeniului fizic, prin traducerea nevoii în termeni funcționali și realizarea acestor nevoi, grație soluțiilor funcționale, apoi retraducerea acestor soluții funcționale în termen de principii fizice (gândirea funcției înaintea gândirii soluției) (Banciu, 2011). Astfel, în (Perrin, 2001) se descrie produsul ca având două fețe distincte, și anume: latura funcției/valori, care descrie aprecierea produsului în termeni de servicii redede și latura produs/costuri, care desemnează obiectul fizic realizat pentru a reda acel serviciu.

3.4.4.4 Modelul axiomatic

În (Suh, 1995) concepția constă din două procese, unul creativ și altul analitic. Cel creativ conduce la noi soluții, pe când cel analitic evaluează noile soluții și conduce la decizii raționale. Concepția axiomatică (*Axiomatic Design* AD) este

considerată utilă în faza analitică, nu în cea creativă. În vederea realizării scopului propus, AD oferă un proces de căutare sistematică în spațiul concepției pentru a minimiza procesul de căutare aleator și pentru a determina soluția cea mai bună dintre mai multe alternative. Cel mai important concept în AD este existența axiomelor de concepție (Suh, 2001). AD tratează principii și metodologii, mai degrabă decât algoritmi sau mijloace (*tools*).

Concepția implică efectul combinat al unei părți „CE dorim să obținem” asupra celeilalte „CUM dorim să obținem”. Pentru a sistematiza procesul de gândire implicat în această interacțiune (influența reciprocă) s-a creat conceptul de domenii, care este elementul de bază în concepția axiomatică. Astfel, au fost create patru domenii: domeniul client, domeniul funcțional, domeniul fizic și domeniul proces (Fig. 3.19).

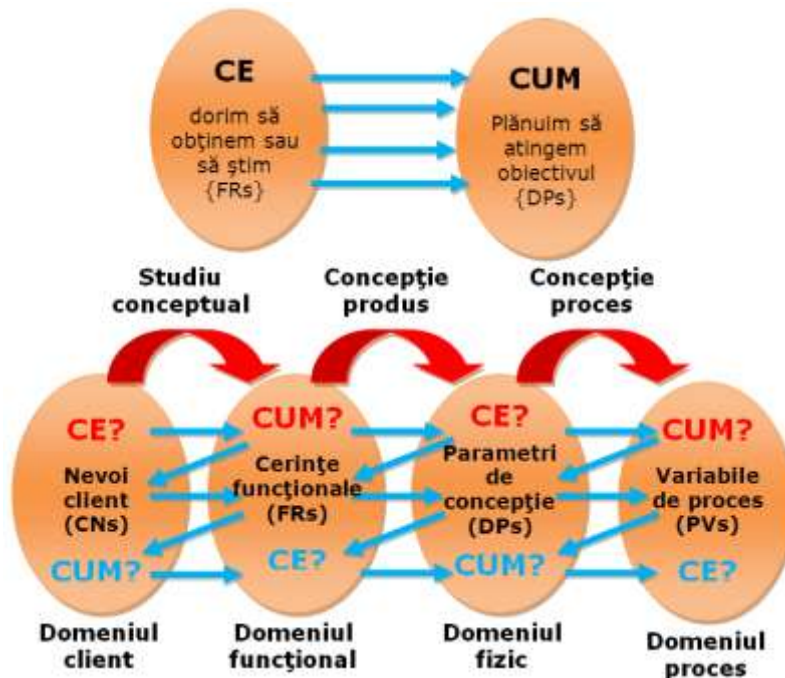


Fig. 3.19 Concepția axiomatică, după (Suh, 1995)

Cele patru concepte de bază cu care se operează sunt: domeniu, *zig-zagging* și ierarhii, mapping.

Concepția axiomatică permite dezvoltarea rapidă a unor sisteme complexe și produse diverse (software, hardware, mașini, materiale, organizații, fabricație), fără a depinde de repetări extensive și costisitoare ale ciclului *design-build-test-redesign-build-test* până când sunt descoperite toate problemele. Concepția axiomatică oferă o înregistrare a logicii concepției, când sunt introduse schimbări în timpul fazei de dezvoltare a produsului și de-a lungul ciclului său de viață, facilitând abilitatea de inovare a conectorilor, dezvoltarea muncii în echipă (Banciu, 2011).

3.5 Procesul de modelare

3.5.1 Standarde de modelare

Integrarea informațiilor referitoare la proces și produs, transferul informațiilor legate de concepția produsului de la un sistem la altul, nu poate fi realizată fără compatibilitatea sau inter-conectivitatea datelor (Chan și Gu, 1993). Prin urmare, este necesară concepția unui model de produs integrat, care să poată fi utilizat în diferite activități, pe durata întregului ciclu de concepție, și care să aibă abilitatea de a putea partaja, transfera informații legate de produs, într-un mediu integrat.

Principalele standarde sunt prezentate în continuare.

3.5.1.1 STEP (Standard for Exchange of Product)

Formatul STEP (ISO 10303) este standardul pentru transferul datelor legate de produs. Obiectivul Organizației Internaționale de Standardizare (ISO) este de a asigura un mecanism care să poată fi capabil de a descrie datele produsului pe întregul ciclu de viață al său, independent de oricare sistem particular. Natura acestui format îl descrie ca fiind susceptibil, nu numai pentru formatele neutre, dar și ca bază de punere în aplicare a transferului bazelor de date ale produsului (ISO2005a), (ISO2005b).

3.5.1.2 PLCS (Product Life Cycle Support)

Formatul PLCS, dezvoltat de organizația de standardizare OASIS, asigură un model al informațiilor generic, care defalchează structura produsului, procesului, cerințelor etc., cu informații adiționale legate de proprietăți, structura ciclului de viață și multe altele. Acest standard permite diferitelor sisteme de concepție și fabricație să devină integrabile prin folosirea unei baze de date comune pentru ciclul de viață al produsului (Niemann ș.a., 2009).

3.5.1.3 PDML (Product Data Markup Language)

PDML este un limbaj extensibil (XML) care realizează interschimbabilitatea informațiilor de produs între diferite sisteme comerciale (cum ar fi sistemele PDM) sau sisteme guvernamentale (cum ar fi sistemul JEDMICS). PDML este un „vocabular” (bază de date) integrat pe un domeniu specific. Acest „vocabular” traduce prin corelare între diferite formate (Niemann ș.a., 2009).

3.5.2 Limbaje de modelare

În procesul de modelare există mai multe limbaje de modelare, cum ar fi IDEF (*Integration DEFinition Language*), PSL (*Process Specification Language*), XPDML (*XML Process Definition*) sau BPML (*Business Process Modelling Language*), iar pentru procesele de modelare specifice se pot utiliza diferite subansamble din sisteme, cum ar fi UML (*Unified Modelling Language*), EPC (*Event Process Chain*) sau OPM (*Object Process Methodology*).

3.5.2.1 IDEF (Integration DEFINition Language)

Limbajul de modelare grafică IDEF (*Integration DEFINition Language*) a fost dezvoltat prin programul ICAM (*Integrated Computer Aided Manufacturing*) de US Air Force.

Din seria de 14 (IDEF0...IDEF14), limbajul de modelare funcțională IDEF0 este conceput pentru a modela decizii, acțiuni și activități ale unei organizații sau sistem (Grover și Kettinger, 2000). El derivă din limbajul de modelare grafică SADT (*Structured Analysis and Design Technique*). În forma de bază, metoda de modelare IDEF0 include atât definiții ale limbajului de modelare grafică (sintaxă și semantică) cât și o descriere a unei metodologii cuprinzătoare pentru modelele în curs de dezvoltare (Ravi ș.a., 2011).

IDEF0 poate fi folosit pentru modelarea unei mari varietăți de sisteme, de la cele non-automate la cele automatizate. Pentru sistemele noi, acesta metodă poate fi folosită prima dată pentru definirea cerințelor, precizarea funcțiilor și chiar pentru a proiecta punerea în aplicare care trebuie să îndeplinească cerințele și funcțiile cerute. În cazul sistemelor deja existente metoda de modelare funcțională IDEF0 poate fi folosită pentru analiza funcțională a sistemului și pentru a recunoaște mijloacele și mecanismele prin care acestea sunt realizate. Rezultatul aplicării IDEF0 la un sistem este un model care constă într-o serie ierarhică de diagrame. Principalele două componente sunt funcțiile de modelare (reprezentate în diagramă prin „cutii”) precum și datele și obiectele care inter-relaționează cu aceste funcții (reprezentate prin săgeți).

3.5.2.2 PSL (Process Specification Language)

Limbajul PSL a fost dezvoltat la Institutul Național de Standarde și Tehnologii, nu numai pentru definirea și identificarea formalităților de concepție, dar și pentru concepția de structuri semantice intrinseci, pentru a capta și schimba, partaja, informații discrete ale procesului. Date referitoare la proces sunt folosite pe întregul ciclu de viață al produsului, din primele indicații ale procesului de fabricație evidențiate în timpul proceselor de concepție, planificare și/sau validare și până la planificarea producției și control. În plus, noțiunea de proces stă la baza întregului ciclu de fabricație, coordonând fluxul de fabricație cu ajutorul inginerilor de fabricație și a informațiilor culese din producție (Niemann ș.a., 2009).

3.5.2.3 XPDL (XML Process Definition Language)

Limbajul XPDL reprezintă definirea modelelor meta-date pentru a asigura o metodă comună de accesare și descriere a definițiilor fluxului de fabricație. Aceste modele meta-date identifică entitățile folosite în mod uzual în procesul de definire al fluxului de fabricație. Există însă o varietate de atribute care descriu caracteristicile acestui set limitat de entități. Bazat pe acest model există aplicații special concepute pentru transferul datelor conceptului, care utilizează un format comun (WfMC, 2002).

Elementul cheie al limbajului XPDL este capacitatea sa de a cuprinde și de a putea utiliza informații din diferite aplicații, dar oricum, acest limbaj nu va putea utiliza toate informațiile suplimentare care sunt produse de aplicațiile folosite în procesul ciclului de viață (Lubell ș.a., 2004).

Limbajul XPDL suportă un număr limitat de abordări diferite, bazându-se pe un număr limitat de entități descrise în definirea procesului. Unul dintre cele mai

importante elemente ale XPDL este acela al construcție generică, suportând atribute specifice care vor fi utilizare prin reprezentării comune.

3.5.2.4 BPML (Business Process Modelling Language)

Limbajul BPML este un meta-limbaj pentru modelarea procesului de management, pe aceleași baze precum este conceput limbajul XML de modelare a meta-datelor de management. Limbajul BPML definește activități cu complexitate variabilă, managementul datelor și operații semantice. Limbajul BPML asigură gramatica de fond a schemei limbajului XML, pentru a permite durabilitatea și interschimbabilitatea definițiilor în cadrul sistemelor eterogene (Arkin, 2002).

3.5.2.5 UML (Unified Modelling Language)

Pentru procesul de modelare a produsului, din punctul de vedere al modelării orientate pe obiect, limbajul UML poate fi folosit pentru concepția diferitelor diagrame (Niemann ș.a., 2009):

- *diagrame de secvență*, care descriu comportamentul între obiecte, cunoscute și sub denumirea de diagrame de interacțiune. O diagramă de secvențe este în special folosită pentru modelarea diferitelor scenarii pentru a exemplifica fluxul unei operații. Diagrama poate fi extinsă pentru a descrie întreg algoritmul de fabricație, dar își pierde din claritate;
- *diagrama liniilor de interes (swim line)* este des utilizată alături de diagrama activităților, în care diferite subansamble ale unei organizări sau sistem sunt divizate în diferite linii de interes. Linia de interes este o metodă care grupează activități ale unui singur „actor” într-o diagramă de activități sau grupează activități într-un singur șir. Diagrama liniilor de interes grupează după linii verticale sau orizontale, care delimitează regiunile de interes;
- *diagrame globale*, care descriu comportamentul între obiecte, posibilitatea urmării produsului prin toate fazele ciclului său de viață, de la concepție și până la scoaterea din uz, sau poate fi concepută o diagramă globală pentru urmărirea execuției unei operații.

3.5.2.6 EPC (Event Process Chain)

La începutul anilor `90 o cercetare colaborativă a SAP AG și IDS Scheer AG a condus la apariția EPC (lanțul evenimentelor unui proces) care a fost folosit pentru concepția proceselor de referință în SAP. EPC este considerat a fi inima limbajului de modelare ARIS (*Architecture of Integrated Information Systems*)

Cu ajutorul EPC sunt generate grafice consistente al evenimentelor, funcțiilor și conectorilor pentru a vizualiza fluxul de control. Fiecare EPC pornește de la cel puțin un eveniment care declanșează o funcție, care la rândul ei se transformă într-un nou eveniment. Toate funcțiile și evenimentele sunt interconectate prin arce de control (Rufa, 2008) și (Niemann ș.a., 2009).

3.5.2.7 OPM (Object Process Metodology)

Metodologia OPM tratează modelarea produselor în medii reale sau virtuale cu ajutorul abordării orientate pe obiect. Metodologia OPM deschide noi fronturi

asupra sistemelor complexe de concepție, cuprinzând partea umană, modele fizice și informații referitoare la obiect (Dori, 2002) și (Niemann ș.a., 2009).

Această metodologie suportă nu doar limbaje de proces, ci și noțiuni grafice. Diagrama OPD (*Object Process Diagram*) este foarte folosită în concepție prin stimularea gândirii conectorului, dar și prin stimularea comunicării în echipa de concepție. Notațiile grafice reieșite din diagrama OPD se pot traduce într-un limbaj OPL (*Object Process Language*). Există două aplicații care combină diagrama OPD și limbajul OPL: OPCAT și Systematica.

3.6 Concluzii

Obiectivul cercetărilor întreprinse în acest capitol a fost acela de analiză și sinteză a modelelor de concepție a produsului, în vederea adaptării lor la contextul fabricii digitale.

În demersul de cercetare adoptat, primul raționament, de tip divergent, a permis localizarea proceselor fabricii digitale în ciclul de viață al unui produs și analiza modelelor de produs. Al doilea raționament, de tip convergent, a sintetizat modelele de concepție existente, în vederea reținerii unor modele de interes pentru adaptarea lor la contextul fabricii digitale, precum și metodele folosite în procesul de modelare.

Principalele concluzii desprinse sunt:

- ciclul de viață virtual al produsului în întreprindere poate fi considerat ciclul fabricii digitale;
- demersul cel mai adecvat pentru elaborarea unui model metodologic de concepție a produsului în contextul fabricii digitale îl reprezintă cel bazat pe ingineria colaborativă;
- modelul de reprezentare multi-vederi integrează ciclul de viață al produsului în faza de concepție; el se bazează pe metodologia de inginerie integrată, permițând colaborarea tuturor participanților în faza de concepție a produsului;
- baza de plecare în modelarea procesului de concepție în fabrica digitală va fi modelul sistematic, al lui Pahl și Beitz, acest model fiind bazat pe descompunerea secvențială a procesului de concepție;
- pentru integrarea informațiilor referitoare la proces și produs, transferul informațiilor legate de concepția produsului de la un sistem la altul, este necesară compatibilitatea sau inter-conectivitatea datelor, necesitând folosirea standardelor și limbajelor de modelare adecvate.

Pe baza concluziilor reținute din acest capitol și din cel anterior, pentru continuarea cercetării propunem următoarele obiective:

- modelarea procesului de concepție folosind limbajul IDEF0;
- identificarea și modelarea procesului de concepție utilizând diagramele de clase UML.

4 MODELAREA PROCESULUI DE CONCEPȚIE A PRODUSULUI ÎN FABRICA DIGITALĂ

4.1 Introducere

Din demersul de cercetare stabilit în Capitolul 1.3, următorul pas abordat în acest capitol este: modelarea procesului de concepție a produsului în fabrica digitală.

În urma concluziilor reieșite din capitolele anterioare, pentru elaborarea unui model metodologic de concepție a produselor în contextul fabricii digitale reținem următoarele idei:

- arhitectura deschisă;
- viziunea asupra fabricii digitale;
- conceptul fabricii digitale;
- procesele fabricii digitale;
- modelele de concepție a produsului.

Demersul de cercetare este prezentat în Fig. 4.1.

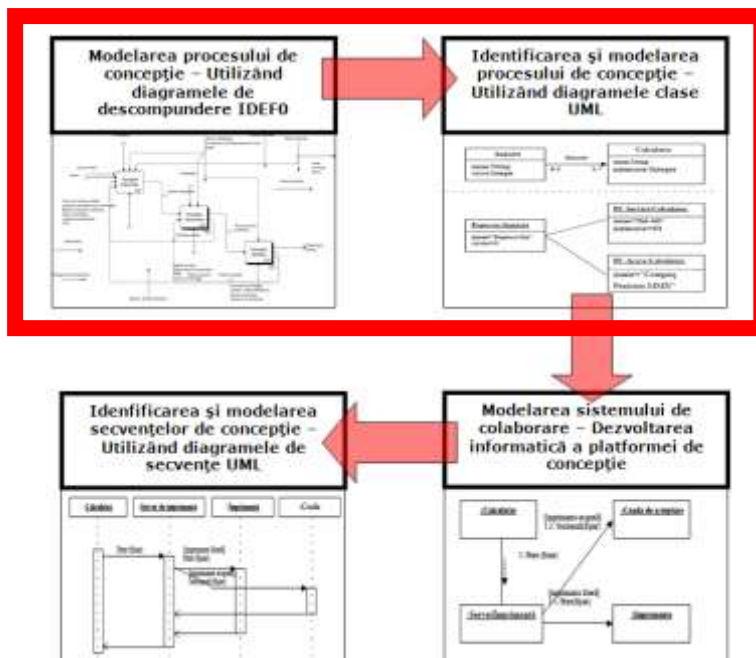


Fig. 4.1 Demersul de cercetare

Deoarece ciclul de concepție a produsului se caracterizează printr-o multitudine de bucle, iterații, adaptări absolut necesare în toate activitățile acestuia, în fabrica digitală sunt impuse cerințe speciale de întreținere a datelor și gestionare a versiunilor. Trebuie să se asigure că actualizarea datelor rezultate este continuă și imediat la dispoziția tuturor celor interesați, în special în cazul unor modificări.

Demersul pe cercetare pe care îl propunem pentru a concepe o arhitectură cât mai viabilă a metodologiei de dezvoltare a unui produs în cadrul fabricii digitale pornește de la modelarea ciclului de viață al unui produs. Pentru acesta, ciclul de viață al produsului s-a considerat ca fiind un ansamblu de activități. Pentru descompunerea ciclului de viață al produsului s-a folosit programul iGrafx 2011, care conține modulul IDEF0 (*Integration Definition Function*).

În urma modelării procesului de concepție, utilizând diagramele de descompunere ale ciclului de viață, prin identificarea activităților necesare concepției unui produs și a constrângerilor ce apar în cadrul ciclului fabricii digitale, aceste rezultate vor fi utilizate în concepția diagramei de clase, folosind limbajul de programare UML (*Unified Modelling Language*), pentru a identifica modul de integrare a activităților de concepție în viitoarea platformă integrată de concepție și fabricație digitală a produsului.

4.2 Elaborarea modelului structural

Demersul de modelare a procesului de concepție pornește de la descompunerea secvențială a activității de concepție din ciclul de viață al produsului (Fig. 4.2).

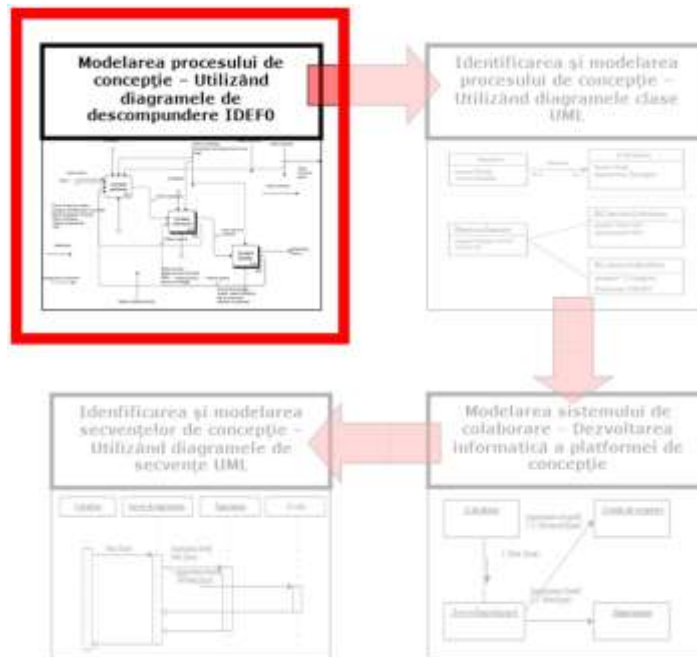


Fig. 4.2 Modelarea procesului de concepție

Se consideră ca reprezentativ modelul de concepție al lui Pahl și Beitz, caracterizat printr-o succesiune ierarhică și logică a fazelor. Pentru o modelare cât mai clară și completă se va adopta un demers descendent, care permite trecerea progresivă de la general spre particular.

Ciclul de viață al produsului este structurat dintr-un ansamblu de activități. Acesta include toate activitățile legate de existența unui produs, începând cu identificarea nevoilor și până la retragerea de pe piață. Cele 10 activități fundamentale, specificate în scap. 3.2.1, pot fi concentrate în șase activități: analiza necesității, concepție, fabricație, comercializare, utilizare și retragere (Fig. 4.3).



Fig. 4.3 Activitățile ciclului de viață (Banciu, 2011)

Pentru modelarea ciclului de viață al produsului se pot folosi diverse metode și mijloace specificate în scap. 3.5. Limbajul grafic IDEF0 (3.5.2.1) permite o modelare structurată, bazată pe metoda SADT (*Structured Analysis and Design Technique*). Pentru reprezentare se va folosi modulul IDEF0 al programului iGrafx 2011.

4.2.1 Modelarea în IDEF0

În IDEF0, fiecare activitate poate fi consemnată sub o formă modulară și grafică, prevăzută cu săgeți care au o semnificație anume. Activitatea are ca scop transformarea datelor de intrare în date de ieșire, folosind mijloace de asistare, respectiv de control, care permit declanșarea sau controlul desfășurării sale (Fig. 4.4).

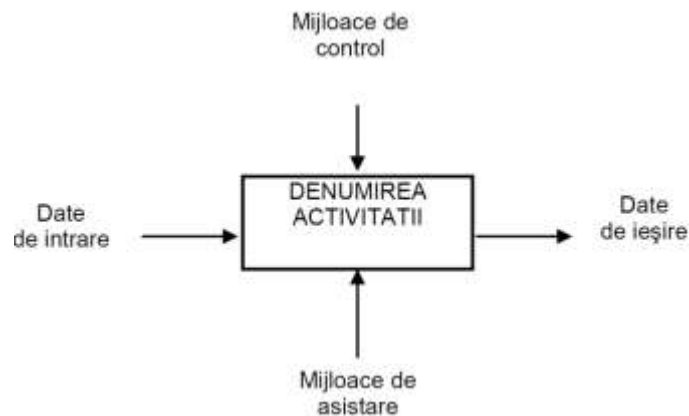


Fig. 4.4 Modelul unei activități

Diagrama de prim nivel (A0) oferă modelului cea mai generală sau abstractă descriere a subiectului. Aceasta este urmată de o serie de diagrame de nivel inferior, care oferă date din ce în ce mai detaliate despre subiect (Fig. 4.5).

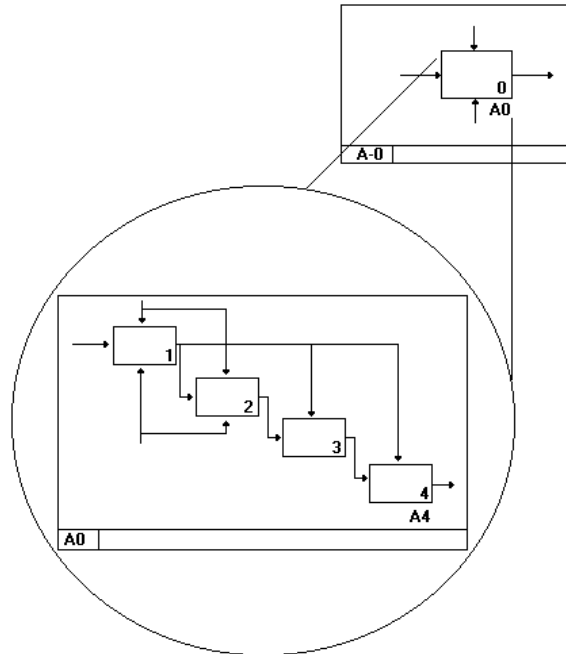


Fig. 4.5 Descompunerea diagramei A0

4.2.2 Modelarea ciclului de viață al produsului

Pentru a ajunge la modelarea procesului de concepție se pornește de la modelarea ciclului de viață al produsului. Astfel, diagrama de nivel superior, numită A0, conține activitățile ciclului de viață specificate anterior, luându-se în considerare intrările, ieșirile, metodele/mijloacele de asistare și constrângerile ce revin fiecărei activități în parte, așa cum este prezentat în Fig. 4.6.

4.2.2.1 Analiza necesității

Obiectivul activității de analiză a necesității este de a sesiza și enunța nevoile, cerințele fundamentale necesare pentru concepția unui produs. Acestea provin din mai multe surse, cum ar fi: noile percepții din piață, o idee, insatisfacția tehnico-comercială resimțită de către utilizatori. Analiza necesității corespunde unei funcții „de piață”, care constă în studii și acțiuni comerciale, care au ca obiectiv sesizarea, enunțarea și validarea nevoii (Banciu, 2011).

Așadar, un produs nu are sens dacă nu satisface nevoile utilizatorilor. În consecință, este necesar a se elabora un demers care să permită realizarea acestei finalități, și acesta este posibil în amonte, ca să se îmbunătățească la maxim constrângerile tehnologice, mijloacele sau opțiunile luate anterior. Altfel spus, acest demers trebuie să răspundă clar problemei: să definească PENTRU CE (la ce servește, ce servicii oferă, în ce scop...?), înainte de a impune CUM sau încă o soluție la fel de „strălucită”, dar care nu răspunde probabil nevoii inițiale a utilizatorului (Mihărtescu, 2011).

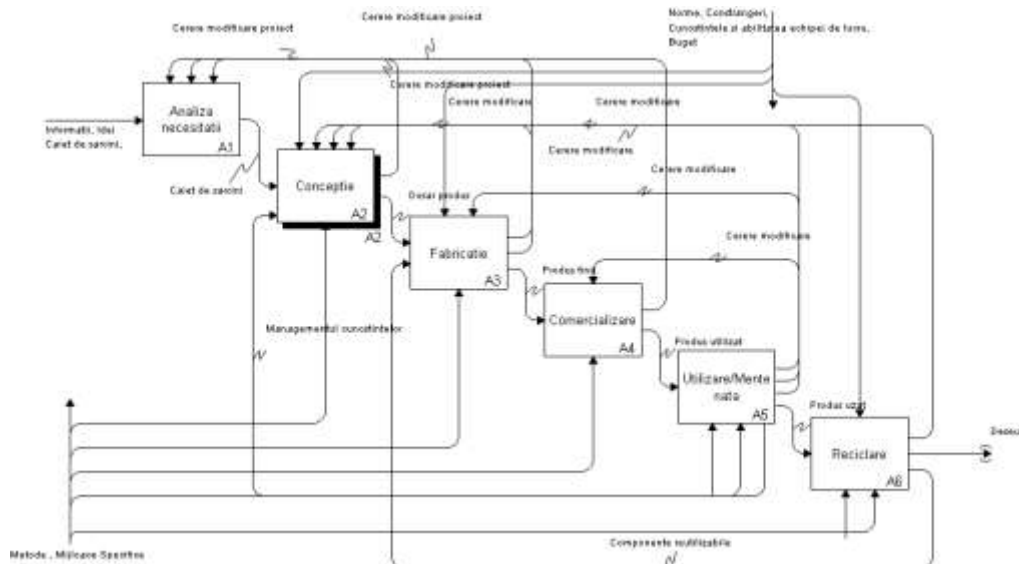


Fig. 4.6 Diagrama A0: Modelul ciclului de viață al produsului, după (Banciu, 2011)

4.2.2.2 Concepția

Activitatea de concepție a produsului are ca scop întocmirea corectă a dosarului produsului, pornind de la un caiet de sarcini stabilit în urma analizei necesității produsului. Pentru atingerea acestui scop produsul va străbate un lanț de activități care folosesc metode de creație, de calcul, evaluare, încercare, toate acestea utilizând aplicații software de modelare și simulare.

4.2.2.3 Fabricația

În cadrul activității de fabricație produsul trece de la stadiul de proiect (produs virtual) la stadiul fizic (produs real). Activitatea are scop de a exploata datele modelate în activitatea precedentă pentru a manufactura produsul, cu cerințele care apar în caietul de sarcini și respectând termenele de livrare propuse.

4.2.2.4 Comercializarea

Activitatea de comercializare reprezintă punctul în care produsul trece din „custodia” fabricantului în cea a clientului, moment în care fabricantul pierde contactul cu propriul produs, această activitate reprezentând scopul fabricării produsului.

Produsul fiind de acum realizat, este necesar să se procedeze în continuare la pregătirea lui pentru ambalare și trimitere către utilizator, în vederea vânzării. Acest ultim punct implică punerea în practică a unei politici de comunicare cu clienții potențiali, prin acțiuni de publicitate și promovare a produsului. Pentru parcurgerea acestei activități este deci necesară (Drăghici, 1999):

- conceperea și realizarea ambalajului;
- distribuirea produsului, alegând punctele și metodele de vânzare;

- împingerea produsului către consumator sau atragerea acestuia către produs.

4.2.2.5 Utilizarea/mentenanța

La modul general, această activitate poate fi descrisă din două puncte de vedere (Banciu, 2011):

- cel al utilizatorului;
- cel al furnizorului.

Ca producător prezintă interes asigurarea urmăririi logistice a produsului, evaluarea permanentă a performanțelor sale și luarea deciziilor care se impun. Pentru parcurgerea activității este necesară:

- urmărirea administrativă și economică a produsului, studiind în special regulamentul de utilizare, evidența clientului, garanția legală și garanția contractuală;
- urmărirea fizică relativ la mentenanță;
- evaluarea performanțelor, prin urmărirea cifrei de afaceri și a marjei asupra costului direct.

Ansamblul acestor acțiuni servesc drept bază pentru luarea de decizii care se încadrează într-o politică de calitate totală.

4.2.2.6 Retragerea

Această ultimă activitate se referă la acțiunile purtate după utilizarea produsului. Soluțiile reținute pentru retragerea produsului sunt (Drăghici, 1999):

- reciclarea / reutilizarea / remanufacturarea elementelor constitutive recuperabile;
- distrugerea elementelor nerecuperabile;
- stocarea în securitate a elementelor nerecuperabile și indestructibile.

4.2.3 Modelarea activității de concepție a produsului

Concepția este activitatea care se interpune între necesitatea pieței sau dorința clientului și funcțiile pe care trebuie să le ofere produsul, capacitatea de fabricare a produsului într-un interval cât mai scurt de timp și la un cost determinat. Cerințele asupra produsului trebuie să fie pe deplin înțelese și traduse într-un set de cerințe tehnice, pentru a putea fabrica produsul (Banciu, 2011).

În (Liu ș.a., 2011) se menționează că "proiectanții folosesc aproximativ 60% din timpul necesar concepției căutând informații, lucru care este caracterizat ca fiind una dintre cele mai frustrante activități întreprinse de către un inginer". Activitatea de concepție reprezintă etapa care necesită durata de timp cea mai îndelungată și este etapa cu cel mai mare consum de resurse din întreg ciclul de viață al unui produs.

Activitatea de concepție, descompusă pe baza modelului Pahl și Beitz (Pahl ș.a., 2007), descris în 3.4.2.1, este reprezentată de ultimele trei faze, deoarece faza de clarificare și planificare a sarcinilor corespunde activității de analiză a necesității.

În Fig. 4.7 este reprezentat modelul activității de concepție a produsului, care cuprinde cele trei activități (faze): concepția preliminară (studiul conceptual), concepția constructivă și concepția detaliată. Faza de concepție preliminară (studiul conceptual) a fost tratată în (Banciu, 2011). Abordarea modelului metodologic

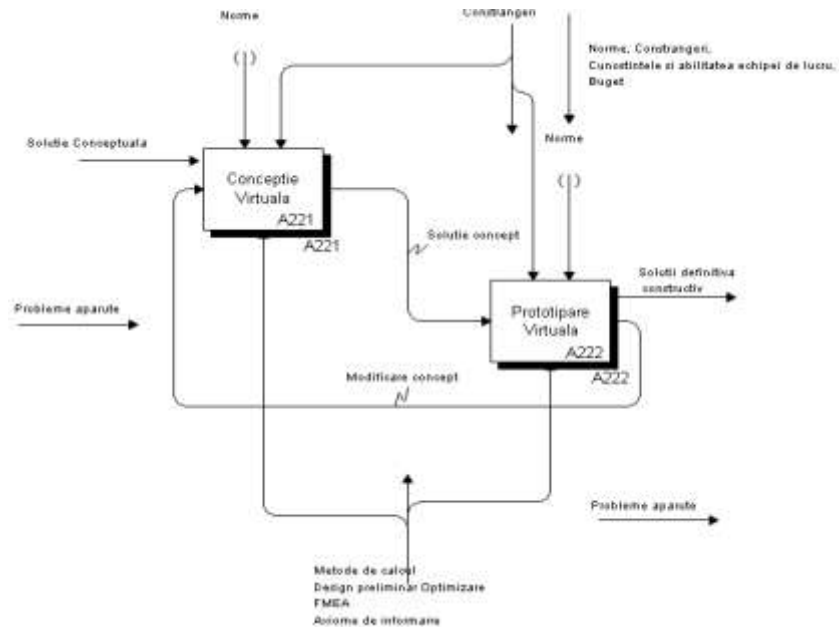


Fig. 4.8 Diagrama A22: Modelul activității de concepție constructivă (Ștef ș.a., 2012)

a. Concepția virtuală

Concepția virtuală reprezintă faza în care este elaborat modelul de produs (CAD și DMU). Conceptorul definește complet și în detaliu fiecare component, specificând dimensiunile sale, caracteristicile fizice (materiale), schemele și planurile detaliate, costurile, precum și o descriere a procesului său de funcționare și utilizare.

Modelarea și vizualizarea virtuală a conceptului reprezintă tehnici de abstractizare și de reprezentare a diferitelor fenomene la care este supus viitorul produs, în contextul modelării prin intermediul unor sisteme informatice de asistare.

Un model de produs este definit ca o reprezentare completă a unui obiect cuprinzător, prin utilizarea atât a informațiilor grafice (desene, schițe etc.), cât și a celor non-grafice (caiet de sarcini, liste de funcții, caracteristici etc.).

Concepția virtuală este descompusă în continuare în activități necesare abstractizării produsului, cum sunt (Fig. 4.9):

- Activitatea A2211 - *Concepția structurii* - structura produsului este inima activităților de concepție, cum ar fi datele referitoare la specificațiile produsului, care pot fi stocate folosind modelele orientate pe structură;
- Activitatea A2212 - *Modelarea geometriei* - modelele geometrice sunt utilizate pe scară largă de aplicațiile software de formă CAD, satisfac cerințele de bază pentru reprezentările de formă, dar nu sunt capabile de a descrie informații non-geometrice referitoare la produs;
- Activitatea A2213 - *Modelarea ansamblurilor* - sunt concepute în primă instanță pentru reprezentări ale modelelor de formă generală, ale conceptului sub forma unui produs cu elemente coerente de geometrie;
- Activitatea A2214 - *Modelarea ergonomică* - este un model evoluat care folosește tehnica inteligenței artificiale. Acest model tolerează informații

- raționale, referindu-se la expertize și experiența conceptorului asupra unei clase de produse deja existente, pe durata procesului de modelare;
- Activitatea A2215 – *Elaborarea Digital Mock-Up-ului* – DMU este combinația funcțională a tuturor modelelor de produse prezentate. DMU este un model de produs integrat, folosit pentru a ajuta toate activitățile ulterioare, pornind de la analiza funcțională, impactul asupra mediului, planificarea procesului, programarea numerică, fabricarea și asamblarea produsului, până la controlul final.

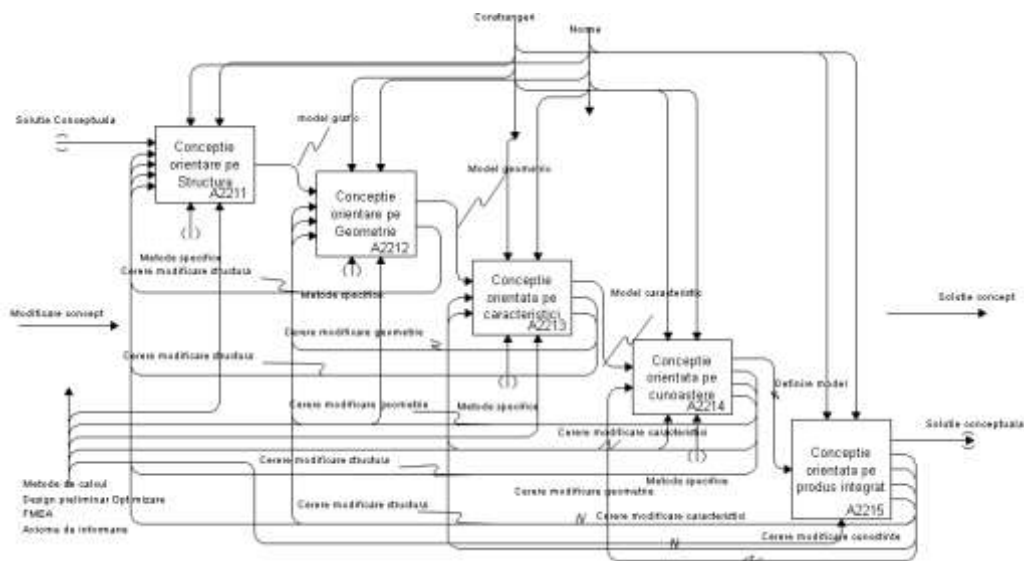


Fig. 4.9 Diagrama A221: Modelul activității de concepție virtuală (Ștef ș.a., 2012)

b. Prototiparea virtuală a produsului

Prototiparea virtuală a produsului este faza care permite conceptorilor să examineze, manipuleze și să testeze produsul conceput folosind diferite aplicații software, care facilitează colaborarea între diferite departamente implicate în faza de concepție constructivă.

Testarea primului produs (prototip fizic) se face cu o mare risipă de timp, energie și materiale, astfel încât produsul să respecte cerințele de proiectare. În urma activității de concepție virtuală a produsului, utilizând diferite aplicații software, este necesară realizarea unui set de teste. Astfel, DMU poate fi importat într-o aplicație specializată în care va fi supus la diferite teste ale solicitărilor care pot apărea în timpul funcționării produsului. Aceste teste pot fi atât de simulare cât și de evaluare a solicitărilor în urma acțiunii unor forțe asupra diferitelor subansambluri ale produsului.

Activitatea de prototipare virtuală este o simulare grafică într-o aplicație software a unui produs fizic, care poate fi prezentată, analizată și testată din punct de vedere al ciclului de viață al produsului, ca pe un prototip real.

Prin urmare, activitatea de prototipare virtuală se descompune în următoarele faze (Fig. 4.10):

- Activitatea A2221 - *Testarea produsului folosind tehnici numerice* - este tehnica numerică pentru calcularea soluțiilor aproximative ale ecuațiilor cu derivate parțiale, precum și a ecuațiilor integrale;
- Activitatea A2222 - *Testarea conceptului din punct de vedere ergonomic* - este tehnica de simulare și evaluare efectivă a mișcărilor necesare utilizării produsului, ale diferitelor segmente ale corpului sau ansamblului său, pentru realizarea unor sarcini manuale;
- Activitatea A2223 - *Testarea produsului la impactul asupra mediului* - este tehnica de simulare și evaluare a impactului asupra mediului, pe toată durata ciclului de viață;

Activitatea A2224 - *Testarea produsului la ciclul de viață* (estimarea duratei de viață) - este tehnica de evaluare și simulare a funcționării produsului și estimarea duratei de viață.

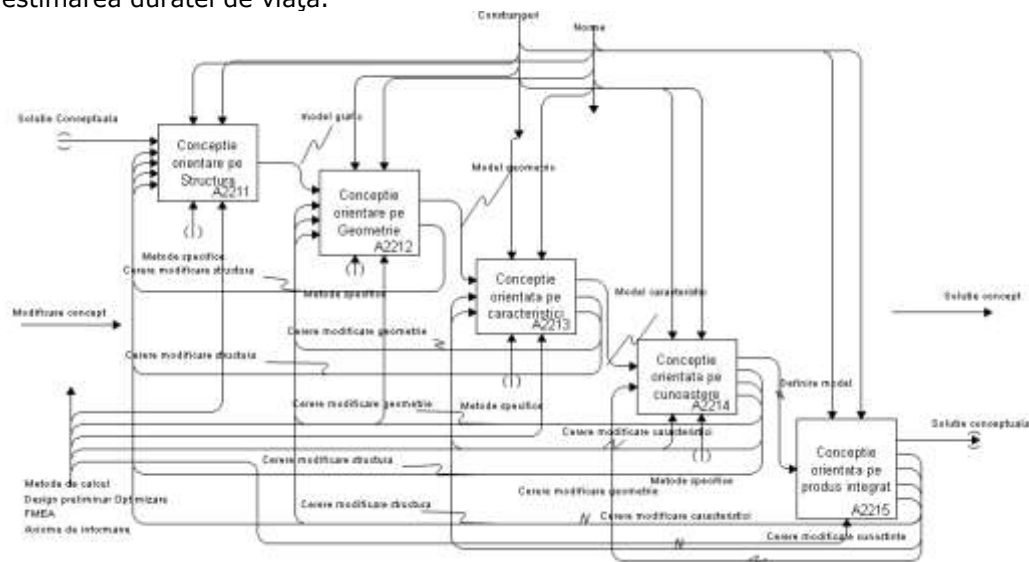


Fig. 4.10 Diagrama A222: Modelul activității de prototipare virtuală (Ștef ș.a., 2012)

4.2.3.2 Concepția detaliată

Concepția detaliată reprezintă activitatea în care echipa de concepție are ca date de intrare soluția constructivă definită în activitatea anterioară, iar transformarea o reprezintă modelarea tuturor etapelor care sunt necesare fabricării produsului, managementului de fabricare etc., având ca date de ieșire dosarul de produs. Transformarea în cadrul acestei activități este realizată în principal de specialiștii din echipa de concepție, care pot reîntoarce proiectul în faza anterioară sau chiar într-o fază mai timpurie de dezvoltare a produsului în cazul în care apar probleme sau sesizări asupra unei anume constrângeri, normă etc. nerespectată.

Faza de concepție detaliată este privită tradițional ca faza în timpul căreia este dezvoltată soluția fizică finală. În cursul acestei faze se va elabora documentația tehnică necesară pentru utilizator și pentru lansarea în fabricare a produsului conceput. Echipa de concepție definește complet și în detaliu tehnologia pentru fiecare component, specificând regimurile de prelucrare, schemele și planurile detaliate a fabricației, costurile, precum și o descriere a procesului său de

industrializare. De reținut că, în acest model de reprezentare, procesul de concepție nu este neapărat un proces liniar descendent. Modelul permite luarea în considerare a unor serii de acțiuni, *feed-back*-uri între fazele și etapele intermediare.

Modelarea activității de concepție detaliată are ca date de intrare soluția constructivă definită și, în urma aplicării constrângerilor și a normelor de fabricație, folosind metode specifice, conduce la elaborarea dosarului de produs (date de ieșire). Descompunerea activității de concepție detaliată pune în evidență următoarele activități (Fig. 4.11): fabricația virtuală și prototiparea virtuală (a fabricației).

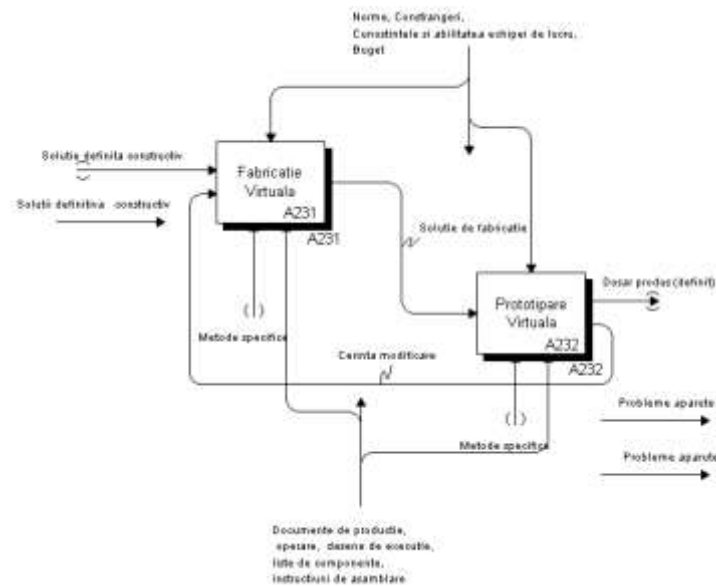


Fig. 4.11 Diagrama A23: Descompunerea activității de concepție detaliată

a. Fabricația virtuală

Fabricația virtuală a produsului reprezintă o activitate cu un consum mare de timp datorită duratei mari necesare calcului fluxului tehnologic, din care fac parte: planificarea procesului de fabricație, programarea mașinilor-unelte, concepția echipamentelor (dispozitive, scule etc.), modelarea linilor de fabricație, dimensionarea stocurilor etc.

Activitatea de fabricație virtuală are ca scop realizarea virtuală a produselor, exploatând datele existente în producție, în scopul asigurării calității, costurilor, cantității și termenelor de livrare prevăzute. Obiectivele reclamă, bineînțeles, competențe profesionale, dar trebuie reținut că este necesară informarea și implicarea personalului în vederea înlăturării obstacolelor ce izolează diferite activități și favorizării comunicării. Pornind de la soluția constructivă concepută și de la materiile prime din care va fi realizat produsul, este necesar să se parcurgă următoarele faze (Fig. 4.12):

- Activitatea A2311 - *Planificarea și programarea secvențelor de fabricație*, este activitatea care se axează pe concepția procesului de fabricație a produsului, compilarea acestuia în programe de comandă numerică pentru fiecare celulă flexibilă de fabricație, sincronizarea

tuturor elementelor mecanizate care vor intra în cadrul fabricației produsului;

- Activitatea A2312 – *Planificarea și programarea resurselor*, este activitatea în cadrul căreia se va determina capacitatea de producție necesară, se va planifica capacitatea de încărcare, de gestionare a stocurilor necesare și a duratei necesare de livrare;
- Activitatea A2313 – *Planificarea proceselor de asamblare*, este activitatea care se axează pe concepția pașilor necesari asamblării și ambalării produsului, folosindu-se resurse robotizate și/sau umane.

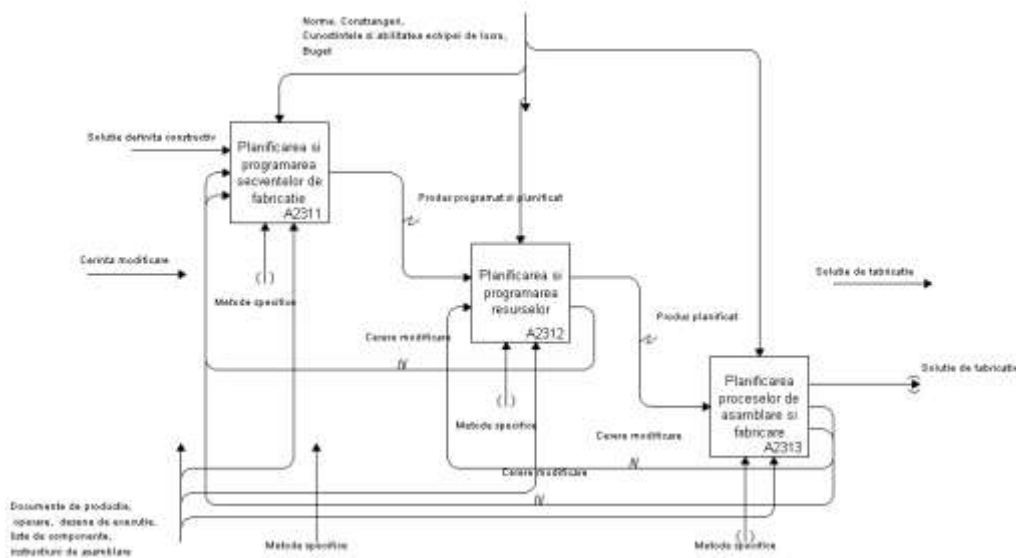


Fig. 4.12 Diagrama A231: Modelul activității de fabricație virtuală

b. Prototiparea virtuală a fabricației

În urma activității de fabricație virtuală rezultă o soluție de fabricație, pentru a nu mai fi necesară realizarea unui lot de teste reale. Pentru ca sistemul de producție să respecte toate cerințele și normele impuse se va recurge la un set de teste virtuale, cu un cost mult mai scăzut. Pentru aceasta, produsul, celula și linia de fabricație sau asamblare va trece printr-o serie de constrângeri, iar rezultatul acestora va fi inclus în dosarul de produs.

Sacco (2004) consideră că reducerea timpului de lansare pe piață a unui produs este influențată de capacitatea de reconfigurare a sistemului. Sistemele de prototipare virtuală a fabricației permit simularea fabricii (sistemului de fabricație) în cel mai amănunțit detaliu și iau în considerare procesul de fabricație și proiectul de amplasare a sistemului de fabricație.

Activitatea de prototipare virtuală a fabricației se va descompune în activitățile (Fig. 4.13):

- Activitatea A2321 – *Testarea procesului celulei de fabricație*, în care se va simula și testa celula de fabricație, pentru detectarea coliziunilor ce pot apărea în urma greșelilor de programare sau a folosirii de tehnologii de prelucrare neconforme;

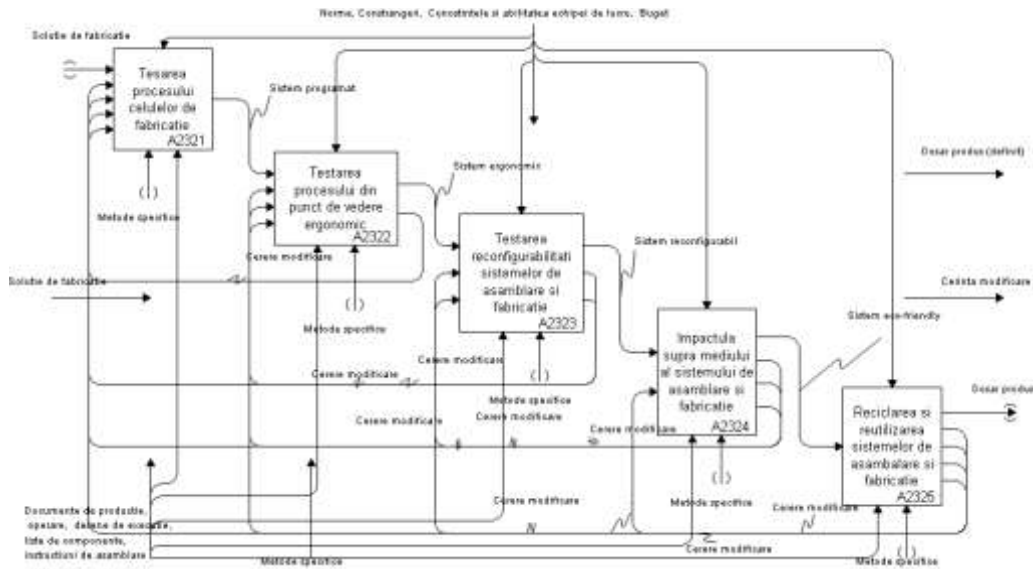


Fig. 4.13 Diagrama A232: Modelul activității de prototipare virtuală a fabricației

- Activitatea A2322 – *Ergonomia procesului*, în care se va simula ergonomia fiecărui loc de muncă în parte, pentru a recunoaște, în cazul introducerii în sistemul de fabricație, a unui post de lucru în care operatorul trebuie să aibă calificare sau pregătire specială. Activitatea de ergonomie a procesului nu se rezumă doar la atât, ci va trimitte cereri de reconfigurare a sistemului de fabricație în cazul în care se sesizează, prin simulare, posibilitatea apariției unor accidente sau a unor boli tehnice;
- Activitatea A2323 – *Reconfigurarea procesului* este un set de teste de simulare a procesului de planificare a producției, pentru a conduce la concepția celui mai eficient sistem de producție;
- Activitatea A2324 – *Impactul asupra mediului*, constată, în urma simulării sistemului de fabricație și a fabricii, dacă se poate determina impactul asupra mediului;
- Activitatea A2325 – *Reciclarea și reutilizarea*, reprezintă etapa în care se vor realiza simulări ale modului de reciclare sau de reutilizare a deșeurilor și a altor elemente care rezultă în urma procesului de fabricație.

4.3 Elaborarea modelului metodologic

După modelarea structurală a procesului de concepție folosind IDEF0, următorul pas este elaborarea modelului metodologic. Pentru aceasta vom utiliza limbajul de modelare UML, mai precis diagrama de clase (Fig. 4.14).

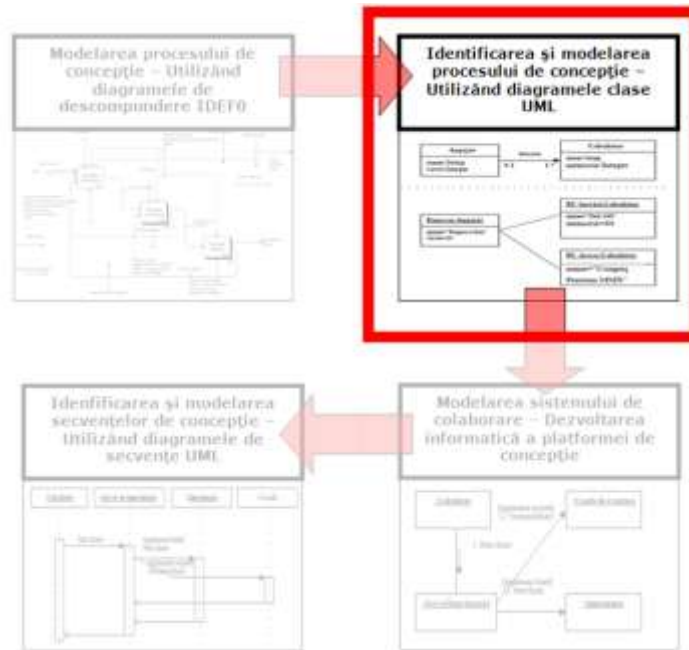


Fig. 4.14 Identificarea și modelarea procesului de concepție

În urma modelării în IDEF0 a activității de concepție, propunem descompunerea metodologiei folosind diagrama de clase, cu scopul de a defini clasele și relațiile dintre activități. Conceptele de care este nevoie sunt definite de către datele de intrare și ieșire, mijloacele de control și asistare din cadrul diagramei IDEF0. Principalele concepte extrase în urma modelării IDEF0 a activităților de dezvoltare a produsului în contextul fabricii digitale sunt:

- alternativa de proiectare - toate soluțiile posibile de concepție a produsului și trecerea acestuia prin toate stadiile de concepție;
- alternativa de fabricație - fabricația în „casă” sau externalizarea, tehnologii speciale de fabricație;
- procesele de concepție, testare și fabricație - identificarea constrângerilor care pot apărea asupra produsului, definirea și alegerea celui mai bun proces de concepție;
- modelul de interfață - reprezentarea produsului într-un mod specific pentru fiecare fază; în modele 3D, în cazul ilustrațiilor și text, în cazul descrierii produsului sau procesului;
- cerințele de concepție, testare și fabricație - toate acțiunile specifice asociate cu interfața, care definesc un set de atribute;
- resursele informaționale - pentru satisfacerea tuturor informațiilor legate de produs și proces;
- managementul - reprezentat de către „actor” sau echipa de concepție care va gestiona activitățile.

Scopul modelării, folosind diagrama de clase UML, este de a descrie modelul metodologic al concepției produsului în fabrica digitală, prin clase, relații între clase, cardinalitate, atribute și operațiuni.

4.3.1 Modelarea în UML

Limbajul UML (scap. 3.5.2.5) permite modelarea grafică și textuală pentru descrierea și înțelegerea cerințelor, specificațiilor și a documentației unui sistem, prin concepția unei arhitecturi logice care dezvoltă soluții. Limbajul UML poate cupla abordarea funcțională (practică), utilizată în ingineria mecanică, cu abordarea din ingineria software (aplicații software).

Limbajul UML este o metodologie de modelare orientată pe obiect, dezvoltată ca răspuns la propunerea lansată de organizația OMG (*Object Management Group*) în scopul de a defini noțiuni standard pentru aplicațiile de modelare, pornind de la un obiect. Acest limbaj este folosit pentru reprezentarea grafică, ca o completare a reprezentării textuale, și pentru diminuarea ambiguităților ce pot să apară pe durata concepției. Acest formalism permite înțelegerea unor probleme sau ale unui domeniu. Astfel, în limbajul UML sunt mai multe formalisme sau modele de reprezentare. În cazul de față, pentru reprezentarea metodologiei de dezvoltare a produsului în contextul fabricii digitale se va folosi modelul de clase (Booch ș.a., 1999).

Într-o metodologie de modelare orientată pe obiecte, clasele au atribute (variabile), operații (funcții) și relații între clase. Obiectul este considerat a fi o entitate care are o anumită semnificație în contextul aplicației. O clasă se descrie ca un grup de obiecte care au proprietăți similare, comportament și relații comune în raport cu alte obiecte. Instanța unui obiect se referă la un lucru specific, iar o clasă se referă la un grup de obiecte similare.

Diagrama de clase permite modelarea claselor, pe când diagrama de obiecte permite modelarea instanțelor. Într-o diagramă de clase, acestea sunt reprezentate prin (Fig. 4.15):

- nume;
- atribute - proprietăți comune ale tuturor obiectelor cuprinse într-o clasă;
- vizibilitate - indicată de semnul minus (-) în cazul atributelor private, plus (+) în cazul atributelor publice. Vizibilitatea unui atribut este utilizată în limbajul obiect pentru a indica dacă este sau nu este acces la acel atribut prin clasificare externă (în aceeași formă se aplică și în cazul operațiilor);
- operații și metode - pot fi funcții sau transformări și pot fi aplicate unei anumite clase.

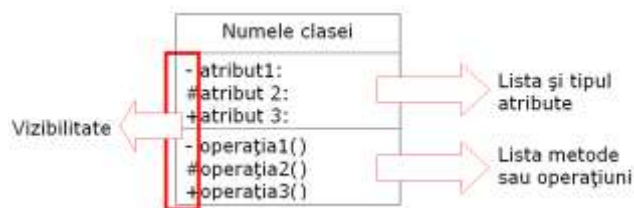


Fig. 4.15 Reprezentarea unei clase în limbaj UML

Mai multe clase sunt interconectate prin asocieri. Într-o asociere se pot conecta una sau mai multe clase. Astfel, acestea pot fi:

- asociere - reprezintă relația semantică între două sau mai multe clase care implică conexiuni între ele;

- moștenire - reprezintă un număr de elemente specifice care provin din includerea structurii și comportamentului mai multor factori generali;
- agregare - reprezintă forma de asociere care definește o relație întreg/parte, între agregat și compus.

Cardinalitatea reprezintă un set de valori care indică numărul posibil de instanțe care acționează asupra unei clase.

4.3.2 Modelarea interfeței

4.3.2.1 Soluția alternativă a produsului

Soluțiile alternative sunt soluții de produs care rezultă în urma integrării constrângerilor desprinse din caietul de sarcini sau a celor de fabricație. Definirea unui proiect de produs este identificat prin clasa „Proiect”. Pe lângă aceasta se mai integrează și clasa „Proiect alternativ”, specifică faptului că pe parcursul ciclului de concepție, după cum se poate observa și din modelarea acestuia în IDEF0, apar diferite soluții sau modificări. Reprezentarea acestor clase este redată în Fig. 4.16.

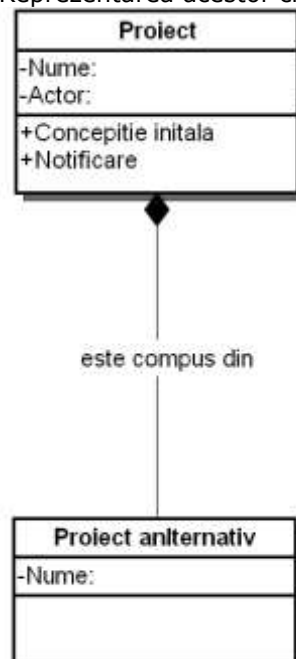


Fig. 4.16 Reprezentarea claselor „Proiect” și „Proiect alternativ”, legătura dintre ele

4.3.2.2 Soluții alternative

Unul din rezultatele așteptate în urma acestei cercetări este de a identifica cea mai bună soluție de fabricare a produsului. Pentru aceasta, în cadrul modelării în UML, pentru dezvoltarea produsului în cadrul fabricii digitale, se introduce clasa „Soluție alternativă” de fabricație (Fig. 4.17), care va conduce la alegerea celei mai bune modalități de concepție, testare și fabricare a unui produs.

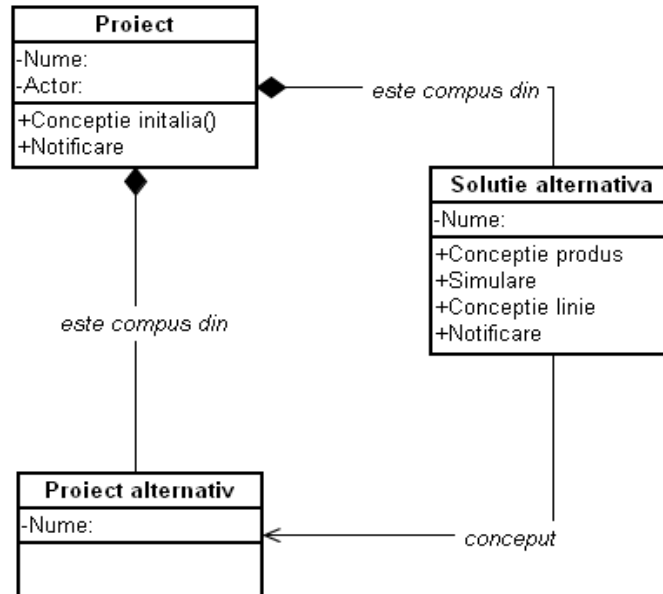


Fig. 4.17 Reprezentarea clasei „Soluție alternativă” de fabricație

Clasa „Soluție alternativă” este definită de un atribut privat „Nume” și de un șir de operații publice „Conceptie produs”, „Simulare”, „Conceptie linie”, care vor dezvolta o matrice din care se va alege cea mai bună soluție și operația „Notificare”, care va reprezenta soluția rezultată în urma activității de concepție.

4.3.2.3 Modelarea interfeței produs-proces

Pentru a atinge unul dintre obiectivele acestei cercetări, reprezentat de integrarea cât mai devreme în dezvoltarea produsului a proceselor de concepție, testare și fabricație, și a constrângerilor care apar pe durata ciclului de concepție a unui produs în contextul fabricii digitale, a fost creat un model de interfață de concepție bazat pe modelul fabricii digitale.

a. Concepția virtuală

Aceasta se caracterizează prin definirea completă și în detaliu a fiecărui component, specificând dimensiunile sale, caracteristicile fizice (materiale), schemele și planurile detaliate, costurile, precum și o descriere a procesului său de industrializare.

După cum a fost prezentat în sinteza modelului metodologic (Fig. 2.26) și după cum reiese și din modelarea în IDEF0 a activității A221 - concepția virtuală (Fig. 4.9), aceasta cuprinde:

- modelarea structurii;
- modelarea geometriei;
- modelarea ansamblului;
- modelarea ergonomică;
- elaborarea *Digital Mock-Up*-ului.

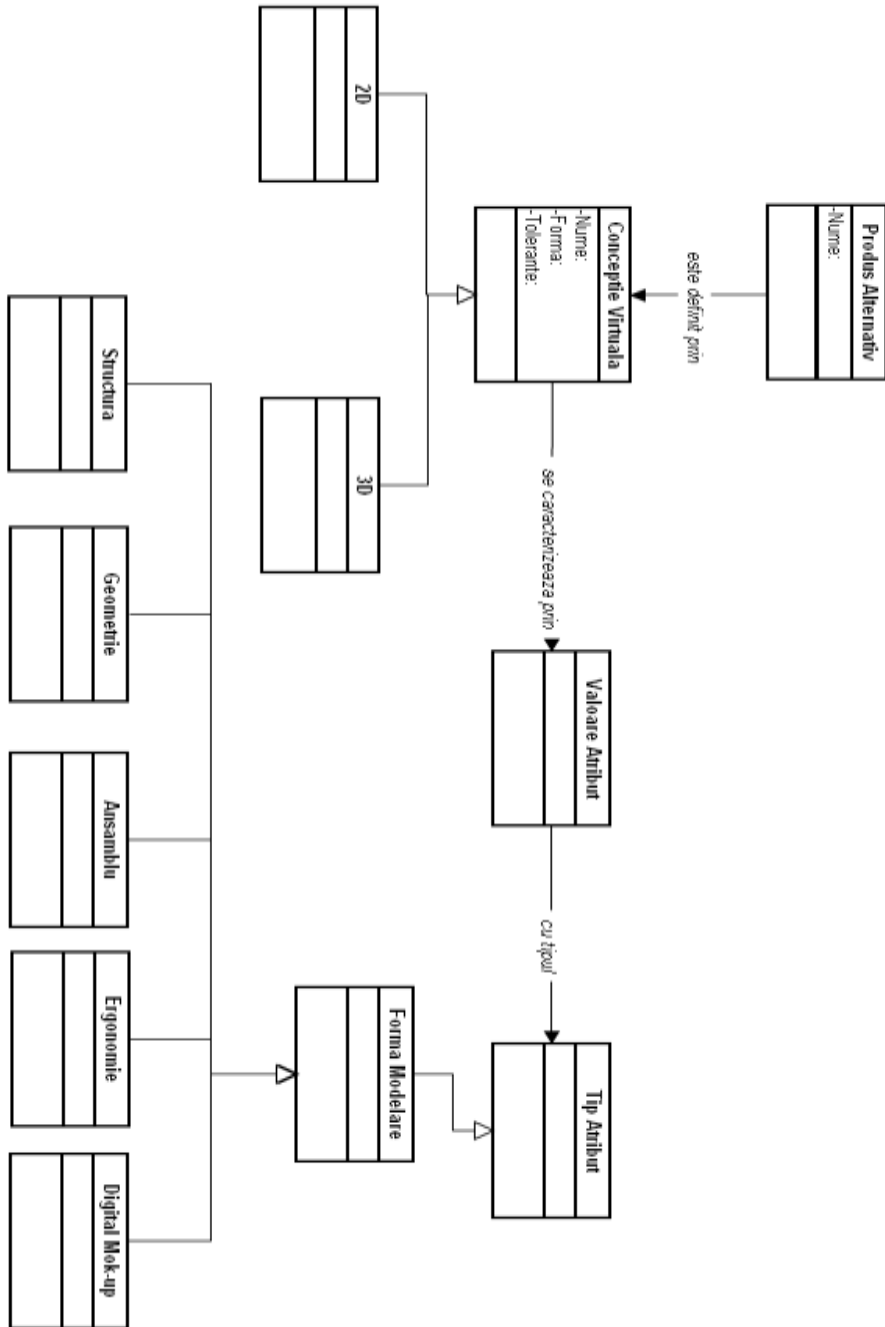


Fig. 4.18 Diagrama de clase „Conceptie Virtuală”

Pentru modelarea în UML a concepției virtuale, produsul alternativ este definit de una sau mai multe metode de modelare a produsului, după cum se observă în Fig. 4.18: modelarea bidimensională, care constituie clasa „2D” și modelarea tridimensională, care este reprezentată prin clasa „3D”.

În cadrul acestei cercetări ne limităm doar la aceste două clase, dar într-o cercetare viitoare aceste clase se pot extinde.

Clasei „Concepție Virtuală”, care cuprinde clasele „2D” și „3D”, îi sunt asociate atributele:

- nume, reprezentat printr-un șir de caractere;
- forma modelului;
- toleranțe.

Forma modelului este caracterizată prin mai multe atribute, care vor fi reprezentate în clasa „Valoare Atribut”. Fiecărei clase „Valoare Atribut” i se va asocia o clasa de atribute „Tip Atribut”, astfel:

- clasa „Tip Atribut” este o clasă generală a clasei „Formă Modelare”;
- clasa „Formă Modelare” este reprezentată prin asocierea cu clasele de modelare (structură, geometrie, ansamblu etc.);
- fiecare clasă de modelare va avea la rândul ei asocieri cu noi clase.

Pentru dezvoltarea produsului în contextul fabricii digitale este nevoie de cele două forme de reprezentare, și anume:

- modelul 3D: reprezentarea grafică spațială a tuturor componentelor, asocierea acestora în ansamblul din care fac parte, relaționarea între ele prin folosirea diferitelor constrângeri, din care va decurge modelul digital folosit în cadrul activității de prototipare virtuală;
- modelul 2D: reprezentarea grafică plană a tuturor componentelor (desene de execuție) și asocierea acestora în asamblare (desen de ansamblu la scară), utilizate în activitatea de fabricație virtuală.

b. Prototiparea virtuală

Prototiparea virtuală se caracterizează printr-o simulare bazată pe un grad de realism funcțional al produsului, în urma activității de concepție virtuală, dar și prin simularea bazată pe modul de producție al acestuia, în urma activității de fabricație virtuală.

În cadrul prototipării virtuale, după cum este prezentat în sinteza modelului metodologic (Fig. 2.26), și după cum reiese și din modelarea în IDEF0 reprezentată în diagramele A222 (Fig. 4.10) și A232 (Fig. 4.13), prototiparea virtuală cuprinde:

- prototiparea conceptului virtual: se introduc informații legate de produs, *Digital Mock-Up*, integrarea acestora prin intermediul atributelor; în plus, se pot asocia constrângeri dimensionale, de utilizare a produsului etc.
- prototiparea sistemului de fabricație virtual: se introduc informații legate de sistemul de fabricație și constrângeri asociate acestuia.

Modelarea procesului de prototipare virtuală, folosind limbajul UML, pornește de la produsul alternativ, care este definit prin „Prototiparea de Concepție” și „Prototiparea de Fabricație” (Fig. 4.19).

Clasa „Prototipare Virtuală” are următoarele atribute:

- nume, reprezentat printr-un șir de caractere;
- forma inițială a secțiunii, reprezentată prin tipul formei;
- forma finală a secțiunii, reprezentată prin tipul formei;
- variația formei sau secțiunii, reprezentată prin tipul de variație;

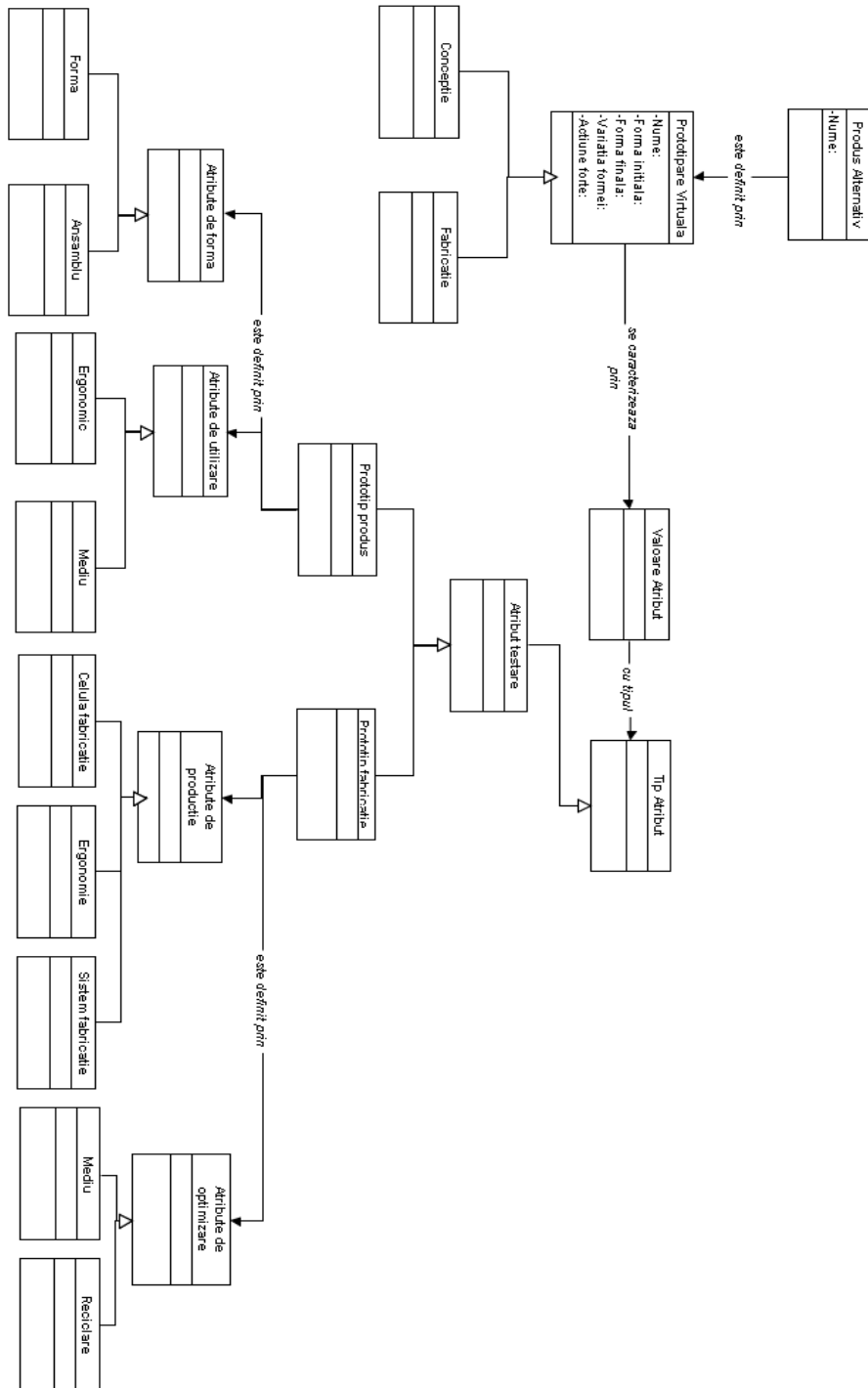


Fig. 4.19 Diagrama de clase „Prototipare Virtuală”

- acțiunea forțelor, reprezentată prin tipul acțiuni forțelor și modul de aplicare al acestora.

Clasa „Prototipare Virtuală” se caracterizează printr-o serie de valori de atribute, care sunt reprezentate în clasa „Valoare Atribut”. Pentru fiecare atribut corespunzător clasei „Valoare Atribut” se va atribui un tip valoare „Tip Atribut”.

Clasei „Atribut testare” îi sunt asociate două clase:

- „Prototip produs”, care se definește prin tipologia clasei, și care pot fi: „Atribute de formă”, corespunzătoare formelor geometrice, ansamblurilor și aspectului produsului; „Atribute de utilizare”, corespunzătoare funcționalității produsului, ergonomiei și impactului asupra mediului;
- „Prototip fabricație”, care se definește prin clasele: „Atribute de producție”, prin care se introduc atribute legate de celulă, sistemul de producție în sine, și ergonomia acestuia; „Atribute de optimizare”, care introduc atribute legate mai mult de controlul fabricației, protecției mediului și reciclării.

c. Fabricația virtuală

Fabricația virtuală se caracterizează printr-o serie de pași logici prin care produsul trece de la faza de concept la faza de produs fizic. În cazul de față se consideră fabricația virtuală ca logica pentru a dezvolta dosarul de produs necesar fabricației.

Din sinteza modelului metodologic propus (Fig. 2.26) și modelarea în IDEF0 a fabricației virtuale, aceasta are următoarele componente majore:

- concepția și programarea resurselor, activitate în care se vor concepe programele NC, sistemul de fabricație, resursele umane și materiale necesare etc.
- planificarea procesului, activitate în care se vor calcula stocurile necesare, se vor configura liniile de fabricație etc.

Pornind de la produsul alternativ, în modelarea activității de fabricație virtuală în UML se vor defini atributele acestuia, ca atribute de concepție și fabricație. Clasa „Valoarea Atribut”, care caracterizează fabricația virtuală, are la rândul ei anumite tipuri de atribute.

Pentru dezvoltarea cât mai corectă a activității de fabricație virtuală se propune asocierea la clasa atributelor de fabricație, a următoarelor clase:

- „Concepția și programarea resurselor”, care se definește prin: „Atribute de formă” ale produsului fabricat, care conțin forma fiecărui component și a ansamblului pe care acestea le formează; „Atribute de utilizare”, care se definesc prin introducerea atributelor care reprezintă dotarea sistemului de fabricație și resursele umane care sunt la dispoziție pentru fabricarea produsului;
- „Planificarea procesului de fabricație”, care se definește prin introducerea atributelor legate de: „Atribute de producție”, care cuprind informații legate de sistemul și fluxul de fabricație; „Atribute de optimizare”, care includ informații legate de magazii, timpuri de prelucrare etc.

Diagrama de clase „Fabricație Virtuală” este reprezentată în Fig. 4.20.

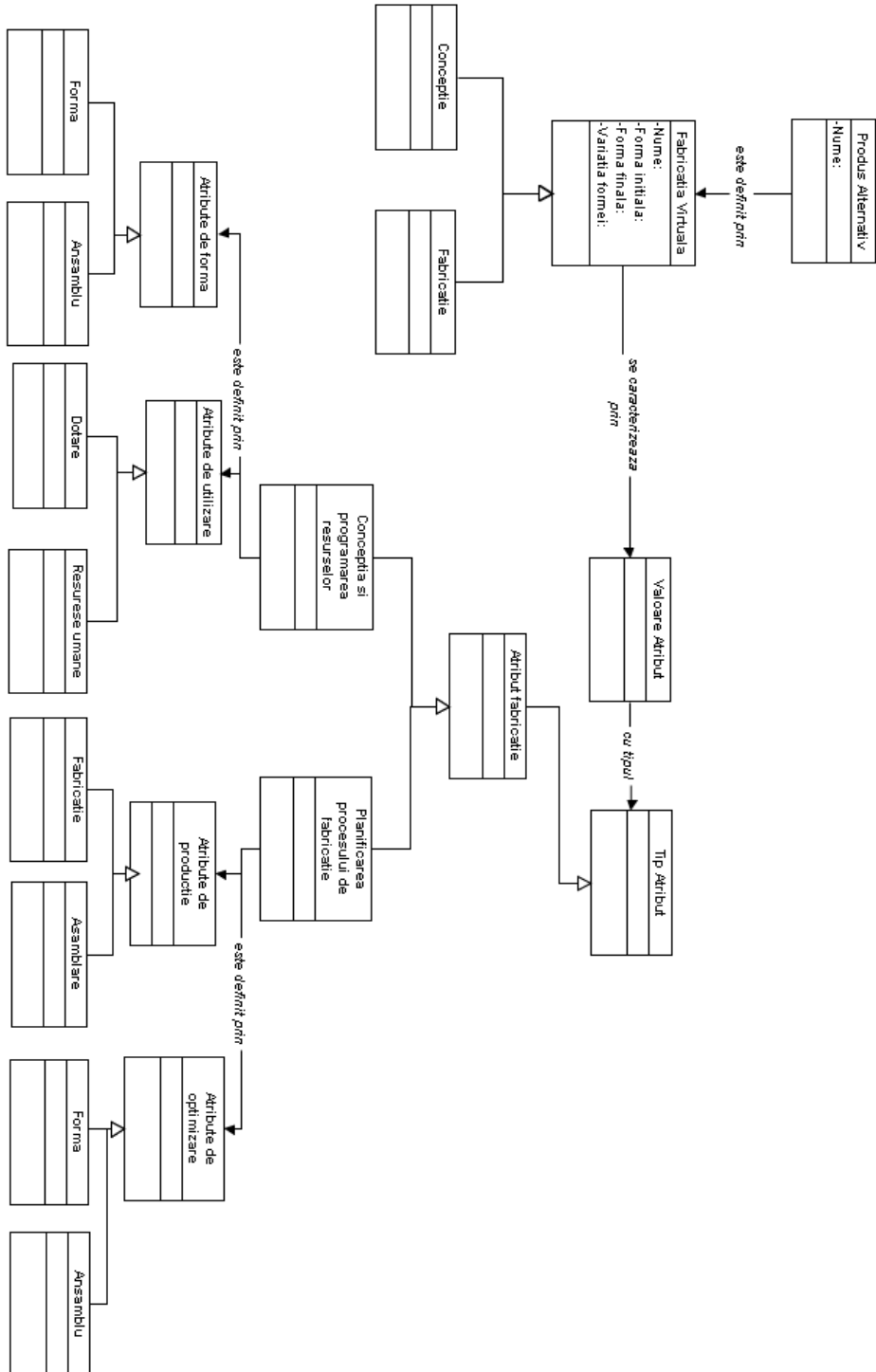


Fig. 4.20 Diagrama de clase „Fabricație Virtuală”

4.3.2.4 Asamblarea modelului de interfață

Pentru asamblarea soluției modelului de interfață a dezvoltării produsului în contextul fabricii digitale s-a creat o relaționare între cele trei componente: concepția, prototiparea și fabricația produsului. Această abordare este prezentată și în modelarea activității de concepție, prin relaționare conform activității A2 (Fig. 4.7). Subliniem că această relaționare va conduce și la un sistem de urmărire și reconfigurare a fabricației în timp real.

Relația de incluziune se prezintă astfel:

$$\begin{aligned} \text{Concepția produsului} &= CV + PV + FV \Rightarrow DP \\ DP + P + UP &\Rightarrow \text{Produs finit} \end{aligned}$$

unde:

CV reprezintă concepția virtuală;
 PV – prototiparea virtuală;
 FV – fabricația virtuală;
 DP – dosar produs;
 P – producție;
 UP – urmărirea producției.

În relația **DP+P+UP=Produs finit** se observă că **DP+P+UP** reprezintă de fapt sistemul de fabrică digitală.

În urma acestei relații se poate demara modul de operare:

- ca acțiune la combinarea dosarului de produs cu sistemul de producție, acesta va impune anumite constrângeri în activitatea de concepție și fabricație virtuală;
- ca reacțiune, nu impune reacții asupra activității de prototipare virtuală, dar va impune anumite constrângeri.

Această relație se traduce într-un set de reguli și relații între activitățile concepție, în contextul fabricii digitale, și anume:

- pentru lansarea la timp a unui produs, cu un preț just și cu un nivel de calitate cât mai ridicat, se va aplica un demers de concepție colaborativ;
- reprezentarea informațiilor legate de produs trebuie să fie clară;
- procesul trebuie să fie capabil să capteze cele mai bune constrângeri ce reies din caietul de sarcini, modelul de utilizare și din sistemul de fabricație al produsului;
- deoarece regulile de relaționare sunt cuantificabile (forme, dimensiuni, timp, calitate etc.), există posibilitatea de a fi verificate în mod automat sau manual în timpul concepției. În cadrul cercetării s-a ales ca verificarea acestor reguli să rămână la latitudinea echipei de concepție.

În Fig. 4.21 este reprezentarea simplificată a diagramei de clase a interfeței.

4.3.3 Modelarea resurselor

Pentru a crea modelul de interfață s-au considerat activitățile care compun modelul de concepție al produsului: concepția constructivă și concepția detaliată. Pentru ca metodologia să fie utilizabilă în cadrul modelului de dezvoltare a produsului în contextul fabricii digitale, trebuie integrate constrângerile ce apar în definirea produsului și a proceselor ce sunt legate de concepție, testare și fabricație. Astfel, este necesară analiza informațiilor referitoare la aceste entități. În fig. 4.22 este exemplificată asocierea activităților utilizate în concepția unui produs. Această asociere corespunde cu modelul de concepție reprezentat în IDEF0 și constituie mijloacele de control.

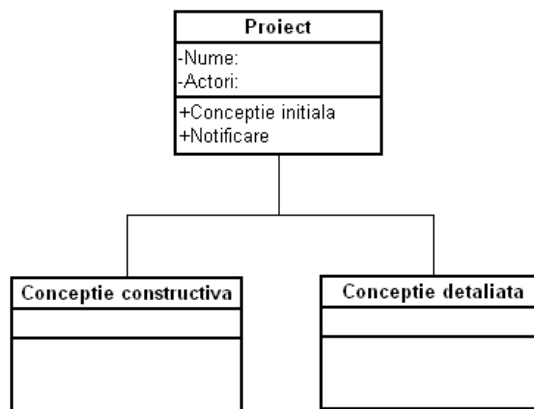


Fig. 4.22 Diagrama de clase reprezentând fluxul de informații legate de produs

Cazurile posibile de identificare a modului de a utiliza interfața, referitoare la modul de abordare a problemei, sunt:

- alegerea demersului de concepție ce va fi utilizat în procesul de dezvoltare a unui produs, din care va rezulta arhitectura procesului de concepție (componenta, numărul de experți ai fiecărei echipe etc.);
- echipa de concepție trebuie să identifice caracteristicile de modelare, echipa de testare identifică testele la care trebuie supus modelul și, în cele din urmă, echipa de fabricație identifică modul de fabricare a produsului; în urma identificării acestor procese este necesară integrarea lor prin impunerea de constrângeri;
- echipa de concepție identifică caracteristicile de utilizare ale produsului, dar nu oferă specificații de fabricație;
- echipa de testare analizează caracteristicile de utilizare propuse de concepție și va identifica un set de constrângeri;
- echipa de fabricație oferă caracteristici și specificații de fabricație și va identifica un nou set de constrângeri.

4.3.3.1 Gestiunea informațiilor legate de proces

După elaborarea modelului de interfață, care include elemente legate de activitățile de concepție, prototipare și fabricație, se prezintă modul de gestiune a informațiilor legate de acestea, prin integrarea constrângerilor.

Procesul de gestiune a informațiilor conține două aspecte principale: formalizarea, apoi utilizarea informațiilor legate de folosirea tehnologiilor selectate.

Utilizarea acestor date este gestionată de atributele de concepție, testare și fabricație. Gestiunea informațiilor referitoare la aceste atribute este de a caracteriza constrângerile impuse de soluțiile tehnologice folosite pentru concepție, testare și fabricare. Este foarte importantă formalizarea conexiunilor dintre soluțiile tehnologice și modul de concepție utilizat.

Fiecare proces impune un set de constrângeri care vor modifica forma, structura sau utilitatea produsului. Aceste constrângeri sunt bine definite în modelul IDEF0 al activității de concepție, ele fiind:

- mijloacele de control;
- mijloacele de asistare;
- activitatea de prototipare virtuală A222 și A232, care impune constrângeri de natură funcțională și dimensională;
- activitatea de fabricație virtuală A231, care impune constrângeri de natură dimensională.

4.3.3.2 Modelarea informațiilor legate de proces

Informațiile referitoare la procesul de dezvoltare a produsului în contextul fabricii digitale sunt specificate în clasa „Proces”. În această clasă se fac asocieri cu datele stabilite în procesul de concepție, prototipare, fabricație. Astfel, fiecărui proces îi va fi atribuită o clasă „Model ilustrat” și o clasă „Descriere produs”. Acestea nu apar în modelul IDEF0, ci vor fi utilizate de către o bază de date, în cadrul definirii diferitelor procese prin care trece produsul până la momentul când este lansat în fabricație (Fig. 4.23).

Clasa „Proces” este definită prin atributele: „Nume”, care este un șir de caractere și de operațiile publice; „Creare proces” și „Notificare proces ales”, care vor crea procesele de interogare a bazei de date și procesul de raportare ales. Resursele informaționale ale procesului de concepție în contextul fabricii digitale, reieșite în urma modelării IDEF0, reprezintă datele de intrare și ieșire de la o activitate la alta.

Un proces de concepție îl putem descompune în două categorii: „Tehnologii” și „Principii”, care la rândul lor generează parametri. Fiecare „Parametru” este limitat de una sau mai multe constrângeri. Astfel, cum s-a precizat anterior, constrângerile introduc limitări în clasa „Valoare atribut”. Informațiile generate de clasa „Proces” dau naștere unei baze de date caracterizată prin valori limită (constrângeri).

În urma alegerii proceselor și integrării constrângerilor în procesul de concepție a produsului, acesta poate fi implementat în clasa „Valoare atribut”, datorită conlucrării celor două modele, cel de interfață și cel de date.

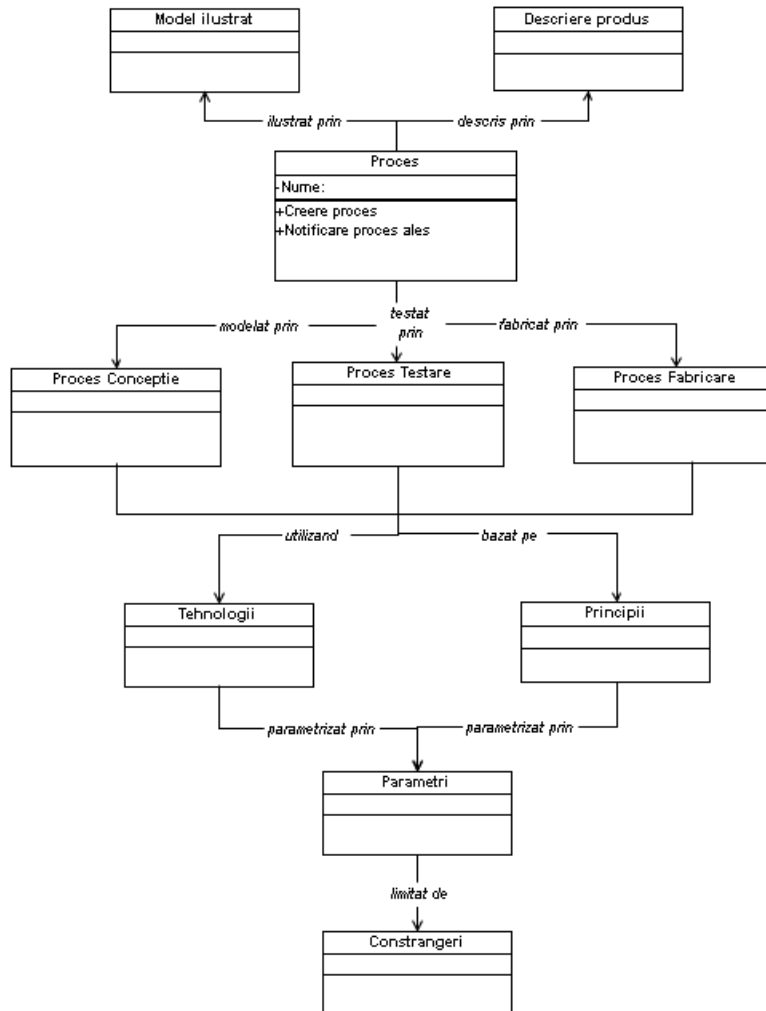


Fig. 4.23 Reprezentarea clasei „Proces”

4.3.3.3 Integrarea constrângerilor

Clasa „Valoare atribut” reprezintă clasa care realizează legătura între modelul de interfață și modelul de date. Astfel, în abordarea noastră, trei clase intră în procesul de integrare a constrângerilor, și anume (Fig. 4.24): clasa „Proces”, clasa „Constrângeri” din modelul de date și clasa „Valoare atribut” din modelul de interfață. O valoare de atribut pornită din clasa „Valoare atribut” poate implica o serie de procese în clasa „Proces” care, la rândul ei, va introduce o gamă de constrângeri prin clasa „Constrângeri” și care va ajunge din nou în clasa „Valoare atribut”, ca un set de limitări ale atributului. Bucla astfel creată între clasele „Proces”, „Constrângeri” și „Valoare atribut” permite:

- alegerea progresivă a proceselor care reprezintă legătura dintre clasa „Proces” și clasa „Valoare atribut”;

- integrarea constrângerilor care reprezintă legătura dintre clasa „Constrângere” și clasa „Valoare atribut”.

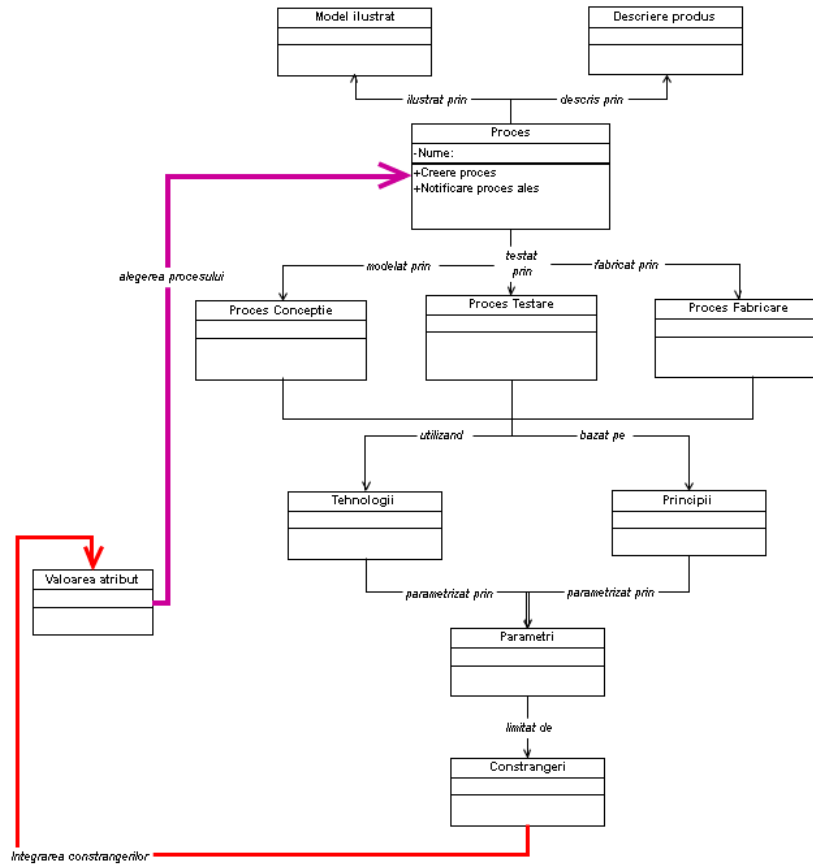


Fig. 4.24 Reprezentarea integrării constrângerilor

În sinteza modelului metodologic (Fig. 2.26) se precizează că fiecare proces din dezvoltarea unui produs în contextul fabricii digitale definește una sau mai multe acțiuni asupra produsului. Aceste acțiuni conduc la integrarea de constrângeri în clasa „Valoare atribut”.

Metodologia de concepție a produsului în contextul fabricii digitale, folosind diagramele de clase UML, verifică relația de includere:

$$\begin{aligned} \text{Concepția produsului} &= CV + PV + FV \Rightarrow DP \\ DP + P + UP &\Rightarrow \text{Produs finit} \end{aligned}$$

4.3.4 Diagrama de clase

Faza principală a modelării produsului este extragerea conceptelor principale ale metodologiei, pornind de la modelarea activităților de concepție în IDEF0. Acestea sunt:

- resursele umane - reprezintă actorii care fac parte din diferite echipe de concepție;
- alternativa de produs - reprezintă setul de soluții de concepție alternative ce decurg din integrarea constrângerilor și din buclele pe care modelul produsului le face în ciclul de concepție;
- procese - reprezintă alegerea celui mai bun proces (arhitectură de dezvoltarea a produsului), identificarea și integrarea constrângerilor care conduc la dezvoltarea unei bazei de date legate de concepție, prototipare și fabricare;
- modelul de interfață - este reprezentarea modelului pornind de la datele de intrare, și care are ca rezultat (date ieșire) dosarul de produs;
- cerințele - reprezintă toate specificațiile asociate cu modelul produsului, care definesc un set de atribute;
- resursele informaționale - satisfac toate informațiile legate de dezvoltarea unui produs în contextul fabricii digitale. Aceste informații sunt utilizate de diferite activități, și deci introduc atribute.

În cadrul modelării în UML a ciclului de concepție s-au introdus două modele:

- modelul de interfață, care include clase ce reprezintă modelul de produs. Acestea sunt: clasa „Proiect”, care reprezintă necesitatea sau caietul de sarcini; clasa „Produs alternativ”, care reprezintă soluțiile alternative a modului de concepție a produsului; clasa „Demers concepție”, care reprezintă alegerea modului de abordare a activității de concepție; clasele „Concepție virtuală”, „Prototipare virtuală” și „Fabricație virtuală”, care definesc soluții pentru produsul alternativ; clasa „Soluție alternativă”, care reprezintă soluția alternativă asupra căreia echipele de concepție s-au pus de acord;
- modelul de date, care cuprinde, în esență, clasa „Proces” și legăturile legate cu aceasta. Clasa „Proces” reprezintă baza de procese la care este supus produsul pe durata ciclului de concepție. În această clasă se definește modul de dezvoltare a produsului, care se caracterizează prin diferite constrângeri.

Legătura dintre cele două modele o reprezintă traseul de asocieri „Alegerea procesului” și „Integrarea constrângerilor”.

Diagrama de clase UML este reprezentată în Fig. 4.25.

4.4 Concluzii

Pentru a atinge obiectivul general al cercetării, de elaborare a unui model metodologic care să constituie o structură implementabilă în cadrul procesului de concepție a produsului în fabrica digitală, cercetările au fost abordate în două etape, și anume:

- modelarea procesului de concepție utilizând diagramele IDEF0;
- identificarea și modelarea procesului de concepție utilizând diagramele de clase UML.

În urma modelării ciclului de viață al produsului utilizând diagramele IDEF0:

- au fost identificate activitățile necesare dezvoltării unui produs;
- a fost identificat un set preliminar de constrângeri ce apar pe durata ciclului de concepție;
- au fost identificate metodele și mijloacele de concepție;
- s-a trasat o formă primară a arhitecturii de dezvoltare a metodologiei.

Scopul urmărit în cadrul primei etape a fost de a analiza procesul de concepție după modelul lui Pahl și Beitz. Acesta permite trecerea progresivă de la general spre particular și recunoașterea constrângerilor ce apar pe durata ciclului de concepție, care servesc elaborării modelului metodologic de concepție în contextul fabricii digitale. Analiza și integrarea proceselor și constrângerilor de concepție în diagramele UML decurge din gestiunea datelor și este extrasă din modelarea procesului de concepție utilizând IDEF0.

Modelarea folosind diagramele UML a condus la o arhitectură de integrare a datelor legate de concepția unui produs în contextul fabricii digitale. Prin aceasta au fost introduse diferite enunțuri ale modului de definire a produsului și al resurselor implicate în dezvoltarea produsului, prin integrarea constrângerilor impuse de procesele la care este supus produsul, principiile și tehnologiile ce vor fi folosite în cadrul fabricii reale.

A doua etapă în demersul de cercetare abordat în cadrul acestui capitol a condus la atingerea obiectivului general al cercetării: elaborare unui model metodologic de concepție a produsului în contextul fabricii digitale.

Obiectivul final în demersul de cercetare este validarea modelului metodologic, pentru care sunt necesare:

- realizarea unei platforme informatice de concepție și fabricație digitală a produsului;
- identificarea și modelarea secvențelor de concepție a unui produs utilizând diagramele de secvențe UML.

5 PLATFORMA INTEGRATĂ DE CONCEPȚIE ȘI FABRICAȚIE DIGITALĂ A PRODUSULUI

5.1 Introducere

Concepția unui produs în contextul fabricii digitale vizează obținerea unui produs conform cu cerințele enunțate în caietul de sarcini, prin combinarea cunoștințelor, informațiilor și tehnologiei. Acesta trebuie să țină cont de influența mediului de dezvoltare a produsului, care generează specificații ce vor conduce la modificarea sau evoluția acestuia. În contextul fabricii digitale este foarte important a se ține seama de constrângerile de proiectare și fabricație ce apar.

Prezentul capitol are ca obiectiv validarea modelului metodologic elaborat în capitolul 4, în cadrul unei platforme web de concepție și fabricație digitală.

Pentru dezvoltarea informatică a platformei integrate de concepție și fabricație digitală a produsului și validarea modelului metodologic propus, se continuă demersul de cercetare din capitolul anterior, prin următoarele etape (Fig. 5.1):

- identificarea și modelarea sistemului de colaborare, utilizând diagramele de colaborare UML;
- identificarea și modelarea secvențelor de concepție, utilizând diagrama de secvențe UML.

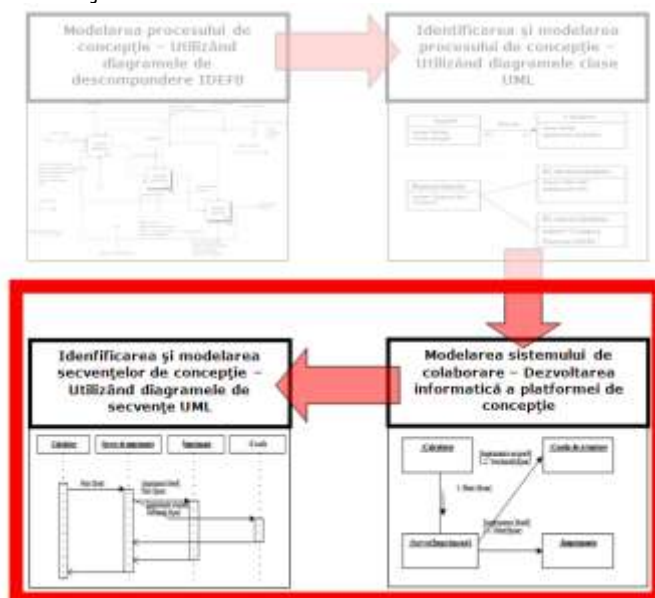


Fig. 5.1 Demersul de cercetare

5.2 Dezvoltarea informatică a platformei

Pentru dezvoltarea informatică a platformei integrate de concepție și fabricație digitală a produsului se propune ca punct de plecare modelul ingineriei colaborative prezentat în capitolul 3.2.3.3. Alegerea acestui model este determinată de simplul fapt că dezvoltarea produsului în contextul fabricii digitale impune munca în echipe multidisciplinare. Un alt atu important în alegerea acestei opțiuni este dorința ca aplicația web concepută să constituie un mediu în care membrii echipelor de concepție să poată comunica și să aibă tot timpul acces la cele mai noi versiuni ale proiectului în care sunt implicați.

Aplicația web propusă în această cercetare face parte din categoria aplicațiilor web colaborative cu un conținut dinamic, în care utilizatorii au "libertatea" de a alege modul de utilizare a bazei de date stocate pe serverul web în funcție de nevoile lor, pentru a duce la bun sfârșit proiectele în care sunt angrenați.

5.2.1 Mediul IT de dezvoltare

Termenul de proiectare "Web 2.0" este frecvent asociat cu aplicațiile web care facilitează schimbul de informații interactive, interoperabilitatea (*User-Centric-Orientate*) și colaborarea pe *World Wide Web*. O aplicație Web 2.0 permite utilizatorilor să interacționeze unii cu alții, fiind colaboratori la conținutul aplicației, spre deosebire de aplicațiile unde drepturile utilizatorilor sunt limitate la vizualizarea pasivă a informațiilor furnizate. Exemple de aplicații Web 2.0 sunt cele care includ comunități bazate pe web, găzduite de servicii, aplicații web, site-uri *social-networking*, site-uri *video-sharing*, *wiki-uri*, *blog-uri*, *mashups*, și *folksonomies*.

Aplicațiile Web 2.0 permit utilizatorilor să facă mai mult decât preluarea de informații. Ei pot să se bazeze pe facilități interactive de "Web 1.0" pentru a asigura "Rețeaua ca platformă" de calcul, permițând utilizatorilor să ruleze aplicații software în întregime printr-un *browser* - pot deține date pe un site Web 2.0 și exercita control asupra acestora (Graham, 2005).

Web 2.0 atrage împreună capacitățile de client și software de tip *server-side*, sindicalizare de conținut și utilizare de protocoale de rețea. *Browser*-ele standard orientate spre Web pot utiliza *plug-in-uri* și extensii de software pentru a gestiona conținutul și interacțiunile utilizatorului. Site-urile Web 2.0, oferă utilizatorilor posibilități de stocare a informației, creare, difuzare și capabilități care nu au fost posibile în mediul cunoscut sub numele de "Web 1.0" (O'Reilly, 2005).

Aplicațiile Web 2.0 includ, de obicei, unele dintre următoarele caracteristici și tehnici:

- căutarea - găsirea informațiilor prin cuvinte cheie;
- link-uri - conectează informații într-un ecosistem de informații semnificative, utilizând modelul de pe Web, și oferă instrumente sociale;
- autorizarea - abilitatea de a crea și actualiza conținutul ce duce la munca în colaborare; în *wiki-uri*, utilizatorii pot extinde, anula și reface munca celui alt; *blog-urile*, *post-urile* și comentariile persoanelor fizice se pot construi în timp;
- *tag-uri* - categorii de conținut obținute de către utilizatori adăugând "etichete" - pe scurt, de obicei, un singur cuvânt pentru descriere - pentru a facilita căutarea, fără dependență de categorii; colecțiile de

tag-uri create de către mai mulți utilizatori într-un singur sistem pot fi menționate ca *folksonomies* (taxonomii populare);

- extensii - software care face Web-ul o platformă de aplicații, precum și un server de documente;
- semnale - utilizarea tehnologiei de sindicalizare, cum ar fi RSS pentru a notifica utilizatorii asupra modificărilor de conținut.

5.2.1.1 Tehnologii informatice folosite în dezvoltarea platformei

Microsoft .NET Framework este un *framework* software care poate fi instalat pe computerele care rulează sistemele de operare Microsoft Windows. Acesta include o bibliotecă mare de soluții codificate pentru probleme de programare comune și o mașină virtuală care gestionează executarea de programe scrise special pentru .NET Framework, acceptând mai multe limbaje de programare într-o manieră care permite interoperabilitatea acestora, prin care fiecare limbaj ar putea utiliza cod scris în alte limbaje, în special, biblioteca .NET care este disponibilă pentru toate limbajele de programare pe care .NET le cuprinde.

Biblioteca de clase de bază a *framework*-ului (*Base Class Library*) oferă o gamă largă de caracteristici, inclusiv o interfață cu utilizatorul, de acces la date, conectivitate cu baze de date, criptografie, dezvoltare de aplicații web, algoritmi numerici și rețea de comunicații. Librăria de clase este utilizată de către dezvoltatorii de software, care în combinație cu propriul lor cod, conduce la dezvoltarea de noi aplicații software.

Programele scrise pentru .NET Framework se execută într-un mediu software care gestionează cerințele programului în timpul rulării. De asemenea, partea din .NET Framework, acest mediu de rulare este cunoscut sub denumirea de *Common Language Runtime* (CLR). CLR prevede apariția unei mașini virtuale, astfel încât programatorii nu trebuie să ia în considerare capacitățile specifice procesorului care va executa programul. CLR prevede, de asemenea, alte servicii importante, cum ar fi securitatea, gestionarea memoriei, manipularea de excepții. Biblioteca de clase și CLR sunt constituite împreună de *.NET Framework*.

Versiunea 3.0 a .NET Framework este inclusă în platformele Windows Server 2008 și Windows Vista. Versiunea 3.5 este inclusă doar în platforma Windows 7, dar poate fi instalată la cerere și pe platforma Windows XP și familia de sisteme de operare Windows Server 2003. În 2011 a apărut versiunea .NET Framework 4, care îmbunătățește CLR și biblioteca Clase de bază etc.

.NET Framework include, de asemenea, două versiuni pentru utilizarea dispozitivelor mobile sau încorporate. Este o versiune mai redusă a *framework*-ului, denumită .NET Compact. *Framework*-ul este disponibil pe platformele Windows CE, inclusiv pe dispozitivele Windows Mobile, cum ar fi *smartphone*-uri. În plus, NET Micro. Framework se adresează dispozitivelor sever de resurse limitate (Guthrie, 2008).

5.2.1.2 Teorii privind modelarea bazelor de date

Microsoft ADO.NET *Entity Framework* (EF) reprezintă o schimbare semnificativă în abordarea bazelor de date SQL Server, prin creșterea capacității de programabilitate, de interogare și rapiditate de actualizare a datelor relaționale. De la lansarea inițială a Visual Studio .NET în 2002, setul de date (*DataSet*) a fost în centrul strategiei Microsoft ca set de instrumente de gestiune a datelor. Setul de date este o reprezentare în memoria *cache* a unui *DataTable* (Tabel de date).

Acestea se pot popula din baza de date și/sau din documente XML, dintr-un sistem de fișiere sau tabele, într-un sistem relațional de gestiune a bazelor de date (RDBMS).

De ce este nevoie de o nouă tehnologie de acces la bazele de date? După mulți ani în care dezvoltatorii au fost forțați să treacă de la DAO la RDO, la ADO și acum la ADO.NET, prin evoluția Visual Studio și .NET Framework a evoluat și ADO.NET, ca accesoriu al acestora, dar în plus fiind compatibil cu versiunile dezvoltate de-a lungul timpului (Jennings, 2009).

Entity Framework este un alt accesoriu al ADO.NET, oferind dezvoltatorilor un mecanism pentru accesarea datelor și lucrul cu rezultatele acestora, în plus față de *DataReaders* și *DataSets*. Toate datele de acces și depozitare sunt reprezentate prin prisma unui model de date conceptual, care se reflectă în obiecte proprii *Business Layer*-ului.

Unul dintre beneficiile principale ale Entity Framework este că nu trebuie să fie în cauză cu structura bazei de date (Jennings, 2009).

5.2.2 Specificațiile aplicației

Aplicația web pe care o propunem în această cercetare dorește să răspundă cerințelor de implementare a modelului metodologic de concepție în contextul fabricii digitale, elaborat în capitolul anterior. Aplicația web este concepută pe o arhitectură client-server, în care clientul poate accesa diferite aplicații software integrate sau singulare, dedicate implementării metodologiei de concepție în contextul fabricii digitale și care, utilizate în comun, pot acoperi toate etapele ciclului de concepție.

Pentru a răspunde scopului propus în dezvoltarea aplicației web, acela de a pune la dispoziția echipelor de concepție toate aplicațiile software necesare concepției unui produs, ideea de bază în cursul dezvoltării aplicației web pornește de la metoda de redare a informațiilor.

Imagini Raster – denumirea pare puțin pompoasă - se referă la imaginile pe care suntem obișnuiți să le găsim pe calculatorul nostru personal, imagini standard, care pot fi interpretate și redare de toate softurile existente în momentul de față, incluzând web *browser*-ul (Fig. 5.2).

Aceste formate de imagini/fișiere reprezintă o colecție de pixeli de diferite culori. Pentru fiecare pixel component al unei imagini, pentru transmisia imaginii trebuie memorate anumite informații referitoare la poziția în imagine și culoarea sa. Bineînțeles că reprezentarea acestor pixeli este strâns legată de rezoluția la care a fost creată imaginea, calitatea sa depinzând însă de DPI (*Dots Per Inch*). Cu cât numărul de puncte dintr-un DPI este mai mare, cu atât calitatea imaginii este mai bună, ceea ce se traduce prin numărul de pixeli care generează informație. Ca urmare, fișierul care conține informația ajunge la dimensiuni imense în cazul imaginilor de rezoluții mari. Scalarea acestor imagini, în multe cazuri, are ca rezultat deformarea acesteia, este greoaie și ineficientă în momentul în care DPI-ul este mic. Un alt impediment major îl reprezintă culoarea. În momentul în care se dorește modificarea acesteia pe anumite zone, chenare și suprafețe rotunjite, apar mari dificultăți.



Fig. 5.2 Diferențe între imagini tip Raster și vectoriale (Busselle, 2012)

Imagini vectoriale – acestea sunt semnificativ diferite de cele prezentate mai sus. Pornind de la formatul fișierului, se înțelege că ele reprezintă o colecție de puncte conectate între ele prin curbe și linii definite matematic. Astfel, cunoscând poziția punctelor, culoarea și relația matematică prin care acestea se conectează, scalarea devine independentă de DPI-ul calculatorului – “e ca și cum am înmulți o funcție cu un scalar”, prin urmare, calitatea imaginii vectoriale nu se schimbă, indiferent de rezoluția imaginii. Modificarea culorii se face mult mai simplu, zonele fiind bine delimitate de către vectorii ce compun imaginea (“ca și cum ai colora într-o carte de colorat”) (Fig. 5.2).

Browser-ele web nu au în librăria standard posibilitatea să reprezinte imagini vectoriale, din acest motiv ele trebuie prelucrate din standardul vectorial și transpuse în imagini raster și invers, pentru a putea fi vizualizate/editate. Având în vedere că aceste transformări sunt absolut necesare, accesul la biblioteci grafice trebuie implementat la unul dintre actorii implicați (server sau client).

În urma analizei opțiunilor s-a ales ca transformările să fie făcute la client, iar pentru ca comunicarea între server și client să fie minimă se trimite *stream* de fișier de la server la client și se reprezintă imaginea transformată la client, în *browser* (Fig. 5.3).

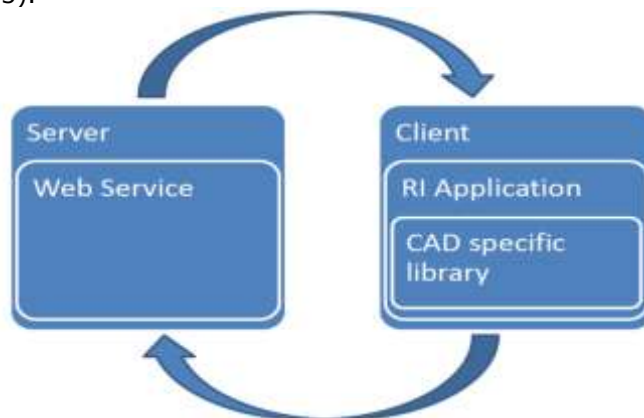


Fig. 5.3 Arhitectura propusă

Pentru implementarea în arhitectura aplicației s-au folosit următoarele mijloace:

- Microsoft silverlight 4.0;
- WCF service (specific .NET);
- biblioteci de vectori specifici fiecărei aplicații software implementate.

5.2.2.1 Diagrama bazei de date proiectate

Baza de date proiectată pentru această aplicație este divizată logic în două părți mari, care au ca scop modularizarea acesteia.

Prima parte a bazei de date este compusă din tabele generate automat de .NET Framework, mai exact de limbajul ASP.NET. Acestea conțin informații absolut necesare oricărei aplicații web colaborative, și anume informații despre membrii echipei, rolul fiecărui membru în sistemul descris, aplicațiile caracteristice, prin crearea unei comenzi rapide (mapare automat) în sistem, folosind serviciul de *Membership* specific ASP.NET, având reprezentate clase specifice de autogenerare în *Data Layer*-ul aplicației.

În Fig. 5.4 sunt prezentate simplificat tabelele din modulul de *Membership* și relațiile între ele. Aceste tabele sunt:

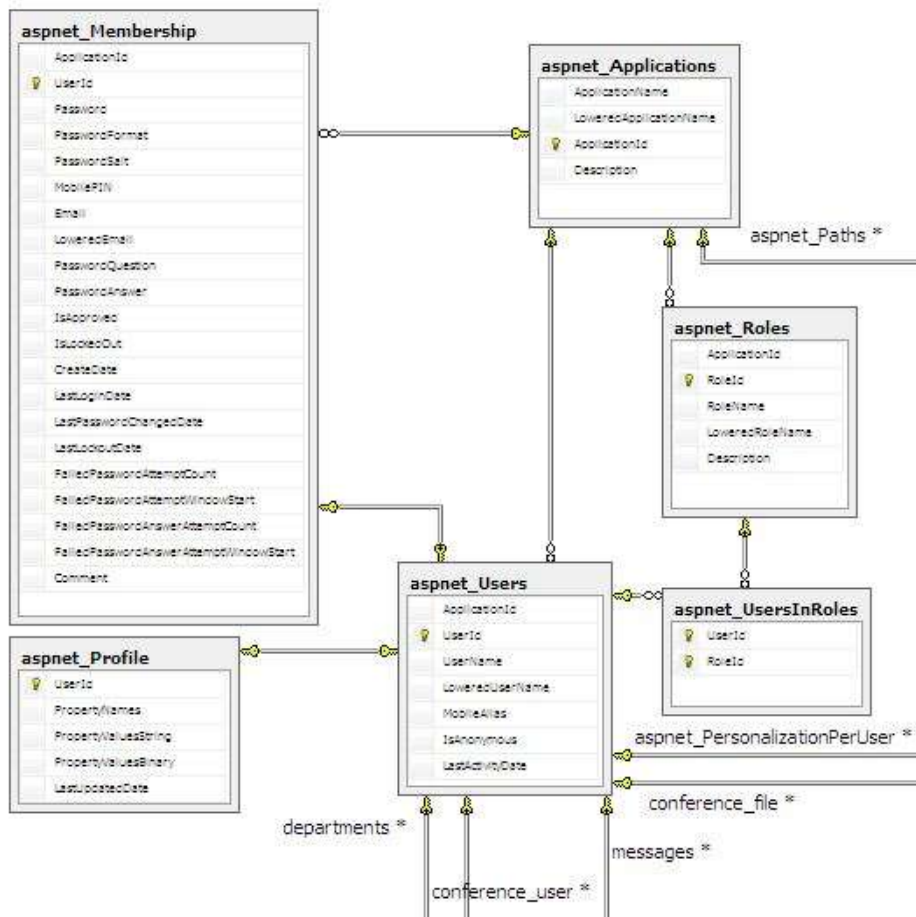


Fig. 5.4 Reprezentarea modulului de *Membership* al bazei de date

- `aspnet_Users` –tabela are ca scop memorarea în baza de date a utilizatorilor aplicației, de exemplu *id*-ul utilizatorului, numele *user*-ului, dacă *user*-ul este anonim sau nu; este considerat ca și tabel cheie, datorită faptului că este singurul care are o legătură relațională cu celelalte tabele specifice aplicației;
- `aspnet_Membership` – tabela este una de legătură, care păstrează ca informații parolele și informațiile despre statutul membrilor;
- `aspnet_Applications` – în această tabelă se află toate aplicațiile web ce ar fi într-o soluție completă;
- `aspnet_Roles` – este o tabelă importantă în cazul în care este necesară autentificarea membrilor în cadrul aplicației; se referă la tipul de utilizatori ce accesează aplicația; pe baza acestui tabel se pot concepe tipuri de permisiuni pentru utilizatori;
- `aspnet_Profile` – tabela este utilă în cazul aplicațiilor care pun accent pe informații detaliate asupra membrilor din cadrul aplicației; poate fi pre-configurată din cadrul aplicației (*webconfig*), având posibilitatea de a stoca informații de tip adresă, număr de telefon etc.; în general, se folosește la extinderea câmpului de informații cu privire la utilizatori.

Partea a doua a bazei de date este compusă din tabelele construite preferențial pentru a modela modulele de utilitate pe care le cere aplicația. Acestea sunt puse în legătură cu tabela de interes major din modulul prezentat anterior `aspnet_Users`, pentru a modela relația logică între utilizatori și restul tabelelor.

Modulul se mai împarte în trei zone logice, care sunt folosite la implementarea funcțională a trei alte module ce apar în aplicație, cum ar fi: modulul de conferință, modulul de parteneri și modulul pentru departamente, care va fi implementat odată cu creșterea în complexitate a aplicației.

În continuare se va explica rolul tabelelor din modul, cu ajutorul diagramei din Fig. 5.5, care conține:

- tabelele *departments* sunt utilizate pentru adăugarea departamentelor;
- tabelele *conferences* sunt folosite pentru adăugarea de documente și aplicații software necesare pentru funcționalitatea modulului de conferință al aplicației web, în plus în cadrul acesteia;
- tabelul *partners* este folosit pentru stocarea informațiilor despre parteneri.

5.2.2.2 Structura serviciilor folosite

Serviciul folosit în cadrul modulului de conferință al aplicației este de tipul WCF (*Windows Communication Foundation*) și este un serviciu propriu creat aplicației. Acesta are sarcina de a colecta și asambla mesajele trimise de utilizatorii ce iau parte la o anumită conferință și de a trimite înapoi la client un obiect de tip *String*, ce conține toate mesajele care au fost trimise la un moment dat în cadrul conferinței de către utilizatorii autentificați (Fig. 5.6). Unul dintre modurile de a folosi serviciul WCF este prin utilizarea Microsoft silverlight.

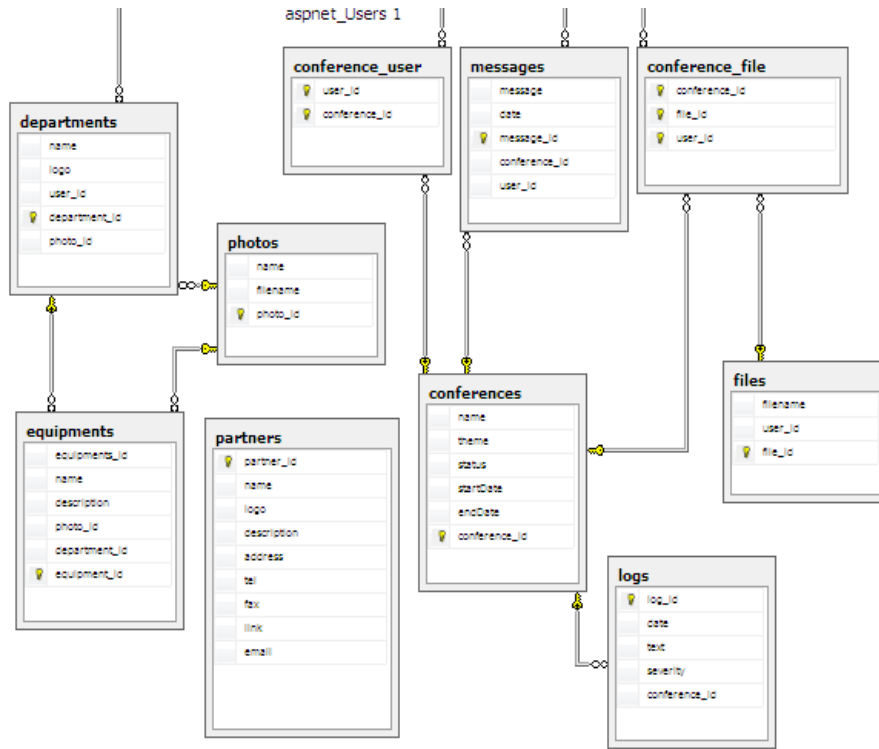


Fig. 5.5 Diagrama modului al doilea al bazei de date

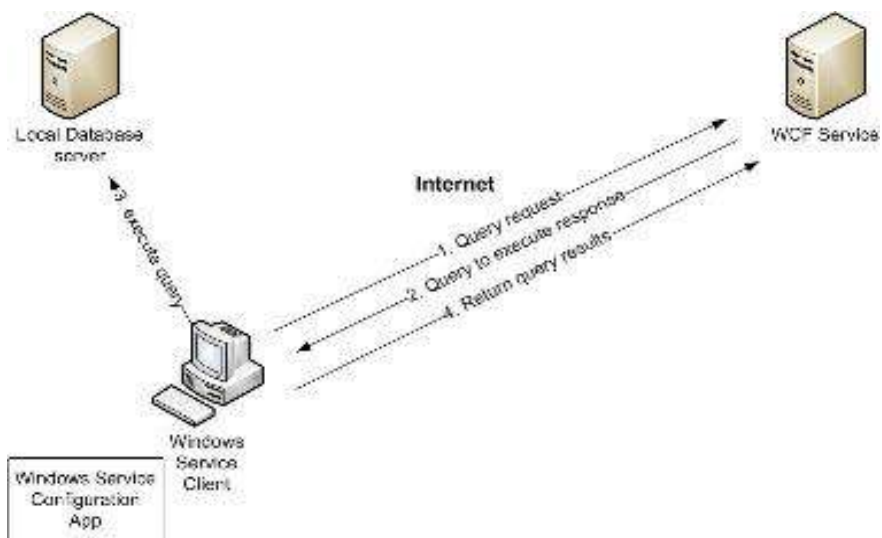


Fig. 5.6 Modul în care se face comunicarea între client și serviciu (Jennings, 2009)

Cientul scrie mesajele sale într-un *textbox* încărcat în pagina sa, acesta face o cerere asincronă (AJAX) la server (în particular la serviciu), în care se trimite mesajul text. Acest lucru este posibil prin apelarea unei funcții implementată în prealabil în cadrul serviciului. Serviciul primește de la client mesajul și îl concatenează cu celelalte mesaje primite, trimițând la client toate mesajele din conferința respectivă. Clienții care nu trimit în acel moment mesaje vor primi și ei, la rândul lor, din cauză că la momentul autentificării lor în conferință se mai face odată apel la funcția de asamblare a mesajelor, dar de data aceasta însoțită de un *timer* (perioadă de timp). Se mai numește și apel periodic la serviciu sau *pooling*.

5.2.2.3 Interfața cu utilizatorul

Interfața cu utilizatorul este specifică aplicațiilor ASP.NET, prin faptul că este compusă dintr-o serie de pagini web de tipul *.aspx*, care îi dau funcționalitate. Toate aceste pagini sunt derivate dintr-o pagină părinte sau *MasterPage*, o pagină creată în prealabil pentru a asigura omogenitatea paginilor ce o moștenesc. Prin urmare, este de ajuns să se realizeze design-ul unei singure *MasterPage*, iar apoi să se deriveze conținutul acesteia în paginile următoare. *MasterPage*-ul se comportă ca o clasă pentru celelalte pagini sau, mai simplu, conține tot codul comun acestora.

5.2.3 Descrierea aplicației

5.2.3.1 Arhitectura aplicației

Arhitectura *Model View Controller* este una dintre cele mai cunoscute arhitecturi software (Fig. 5.7), fiind compusă din trei mari părți, după cum sugerează și numele acesteia:

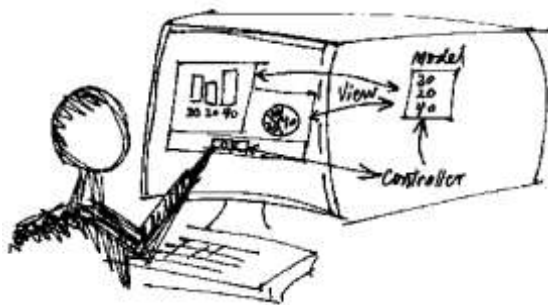


Fig. 5.7 Arhitectura *Model View Controller* (Schmidt, 2012)

- modelul (*Model*) – se referă la modelul bazei de date și la *Data Layer*-ul aplicației (clasele care mapează modelul bazei de date) – în cazul de față este vorba despre modelul *Entity Framework*; acest nivel este "cel mai de jos" al aplicației, din această cauză este importat ca proiectarea și implementarea acestuia să fie cât mai bună;
- modulul de prezentare (*View*) – se referă de data aceasta la "cel mai de sus nivel" al aplicației, și anume interfața cu utilizatorul; în cazul de față este vorba de paginile web *.aspx* implementate în cadrul aplicației;

- modulul care dă funcționalitate aplicației (*Controller*) – este modulul care face legătura între cele două părți componente ale arhitecturii descrise mai sus; se referă la clasele care oferă interconectivitate și funcționalitate între toate aceste trei module.

Modul de operare al acestei arhitecturi este relativ simplu, interfața trimite cereri către modulul de control, acesta procesează cererile, ajutându-se de modulul bazei de date, și retrimite interfeței datele cerute.

5.2.3.2 Proiectarea bazei de date

Proiectarea bazei de date se face relativ facil în acest caz, urmărind o serie de pași standard, specifici limbajului ASP.NET și al *Entity Framework*. În următoarele rânduri se va prezenta modul în care s-a făcut generarea automată a modelului bazei de date prin *Entity Framework*, profitând de facilitățile mediului de programare Visual Studio 2008.

De la apariția Service Pack 1 pentru .NET Framework 3.5, mediul Visual Studio 2008 permite adăugarea de entități model ce mapează baza de date. În cele ce urmează se prezintă (Fig. 5.8) modul de adăugare al modelului în cadrul aplicației, pe bază de date proiectate anterior.

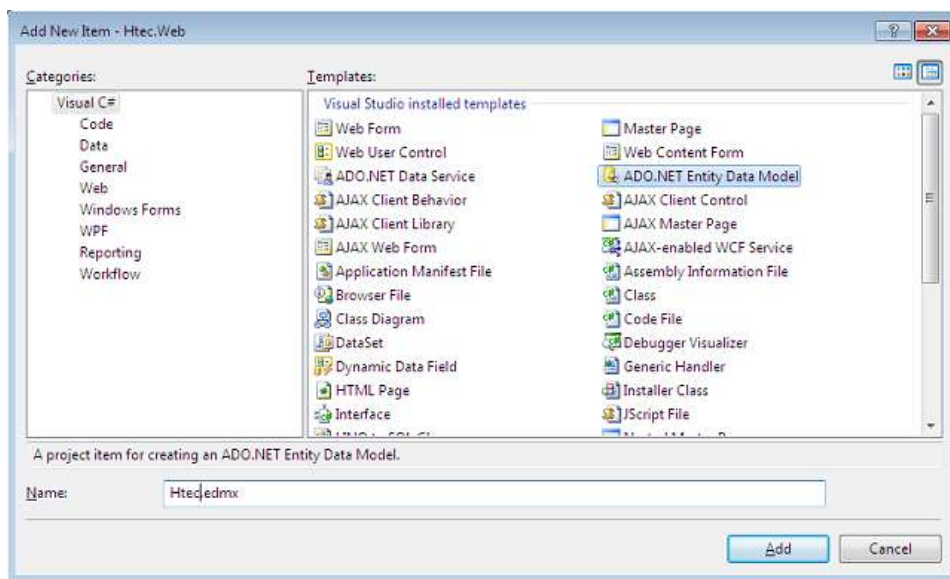


Fig. 5.8 Adăugarea unui Entity Model la un proiect

Pasul 1 (Fig. 5.9): se adaugă un nou obiect proiectului, și anume baza de date modelată prin clasele specifice Entity Framework.

Pasul 2 (Fig. 5.10): se alege din baza de date tabelele care vor fi modelate ca și clase în cadrul proiectului; în cazul de față se selectează doar tabelele care nu aparțin modulului de autentificare, acesta fiind deja modelat în sistem prin intermediul mecanismului de *membership*, caracteristic .NET 3.5.

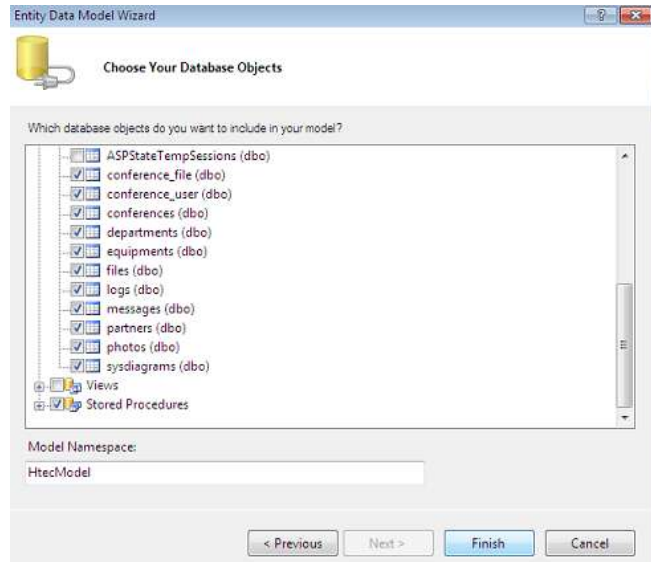


Fig. 5.9 Alegerea tabelor ce vor fi modelate și a procedurilor stocate

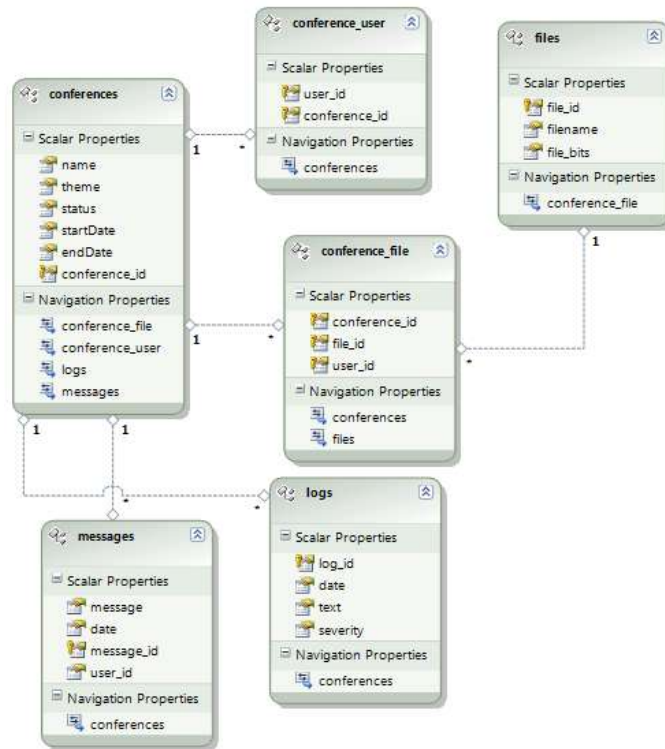


Fig. 5.10 O parte din clasele diagramei din Data Model

5.3 Identificarea și modelarea secvențelor de concepție

Modelarea secvențelor de concepție utilizând diagramele de secvențe UML are ca scop validarea modelului metodologic elaborat, prin recunoașterea și integrarea în baza de date a cât mai multor constrângeri care apar pe durata ciclului de concepție, utilizând platforma informatică prezentată anterior.

Modelarea secvențelor de concepție reprezintă o continuare a cercetărilor întreprinse în cadrul Centrului de Cercetări în Inginerie Integrată de la Universitatea „Politehnica” din Timișoara.

Diagrama de secvențe pe care o vom elabora în cele ce urmează reprezintă etapele dezvoltării unui produs în contextul fabricii digitale, urmărind modelul activității de concepție reprezentat în IDEF0 și a diagramei de clase UML, prezentate în capitolul anterior.

5.3.1 Modelarea secvențelor în UML

Diagrama de secvențe prezintă colaborarea dinamică între două sau mai multe obiecte, mai precis prezintă secvențele de mesaje care sunt trimise între acestea, pe măsura trecerii timpului.

Obiectele sunt reprezentate prin linii verticale distribuite pe orizontală, iar durata de timp este reprezentată pe verticală, pornind de sus în jos. Mesajele transmise între obiecte sunt reprezentate prin săgeți între liniile verticale ce corespund obiectelor implicate în mesaj.

Diagrama de secvențe constă din următoarele:

- obiectul - instanța unei clase;
- linia directoare a unui obiect, reprezentat printr-o linie verticală punctată, reprezintă existența unui obiect pe o perioadă de timp;
- durata acțiunii, reprezentată de un dreptunghi (bandă), definește pe ce durată de timp se întinde o acțiune;
- notificarea, reprezentată printr-o săgeată, reprezintă un set de informații, specifice comunicării între obiecte purtătoare de informații, cu scopul de a declanșa o activitate.

5.3.2 Identificarea și modelarea secvențelor

Obiectivul principal în elaborarea diagramei de secvențe îl constituie reprezentarea, identificarea și integrarea constrângerilor rezultate în urma secvențelor de concepție necesare în dezvoltarea unui produs.

Pentru modelarea corespunzătoare a secvențelor de concepție, scenariul propus identifică și exemplifică colaborarea activităților diferitelor clase (obiecte) ale modelului metodologic, dar și activitățile interne fiecărei clase. Prin această modelare se urmărește crearea unei cronologii a tuturor mesajelor transmise și recepționate între clase.

În această cercetare, diagrama de secvențe reflectă secvențele temporare cronologice ale activităților și proceselor care conduc la integrarea constrângerilor de dezvoltare a produsului în contextul fabricii digitale. Reprezentarea prin diagramele

de secvențe este o combinație între diagramele modelate cu IDEF0 și diagrama de clase UML.

Concepția diagramei de secvențe din 0 conduce la identificarea etapelor și mesajelor ce se transmit între clase, cele mai importante fiind:

- crearea unui produs nou;
- notificarea (de exemplu, introducerea anumitor date legate de produs) în clasele „Valoare atribut” și „Tip atribut”;
- căutarea în baza de date a proceselor, procedurilor, constrângerilor etc. care au fost procesate pentru produse anterioare;
- inițializarea variantei de concepție (metoda care va fi urmată în concepția produsului);
- introducerea valorilor atributelor (în funcție de cerințele ce reies din caietul de sarcini al produsului);
- analiza soluțiilor reieșite în urma modelării, în cazul în care sunt mai multe forme ce reies din caietul de sarcini;
- crearea dosarului de produs, modelul final al produsului.

5.3.3 Demararea unui nou proiect și notificarea atributelor

Demararea concepției unui nou produs de către echipa multidisciplinară de proiect pornește prin inițializarea clasei „Proiect”, după cum se observă din diagrama de clase UML (Fig. 4.25) și din diagrama de secvențe (Fig. 5.11). În prima etapă, caietul de sarcini este analizat în cadrul secvenței „Proiect”, iar în urma analizei vor rezulta o serie de constrângeri preliminare, care vor apărea în clasa „Valori atribut”. Acestea sunt:

- forma produsului (designul);
- dimensiunile produsului (dimensiuni de gabarit);
- acționarea produsului (pornit/oprit);
- grosimea de tăiere maximă;
- puterea motorului de acționare;
- materialele folosite;
- componentele standardizate.

În urma identificării constrângerilor preliminare se demarează secvența „Proces”, care interoghează baza de date și va declanșa dezvoltarea arhitecturii de concepție a produsului, prin definirea diferitelor procese la care acesta este supus pe durata ciclului de concepție.

Arhitectura de concepție astfel dezvoltată, prin trimiterea unei notificări, este supusă analizei echipei de proiect, pentru validare. După validarea arhitecturii de concepție se declanșează o instanță în baza de date a platformei de concepție și fabricație, pentru găsirea de soluții alternative de concepție. Următorul pas, după interogarea bazei de date prin clasa „Soluții alternative” este trimiterea unei serii de notificări cu rezultatele interogării. Aceste rezultate sunt supuse analizei echipei, care va identifica noi atribute pentru produsul dezvoltat.

Simultan cu interogarea bazei de soluții alternative are loc interogarea bazei de produse alternative, care la rândul ei va trimite o notificare cu atributele produselor asemănătoare existente în baza de date, pentru a fi analizate de către echipa de concepție (Fig. 5.12).

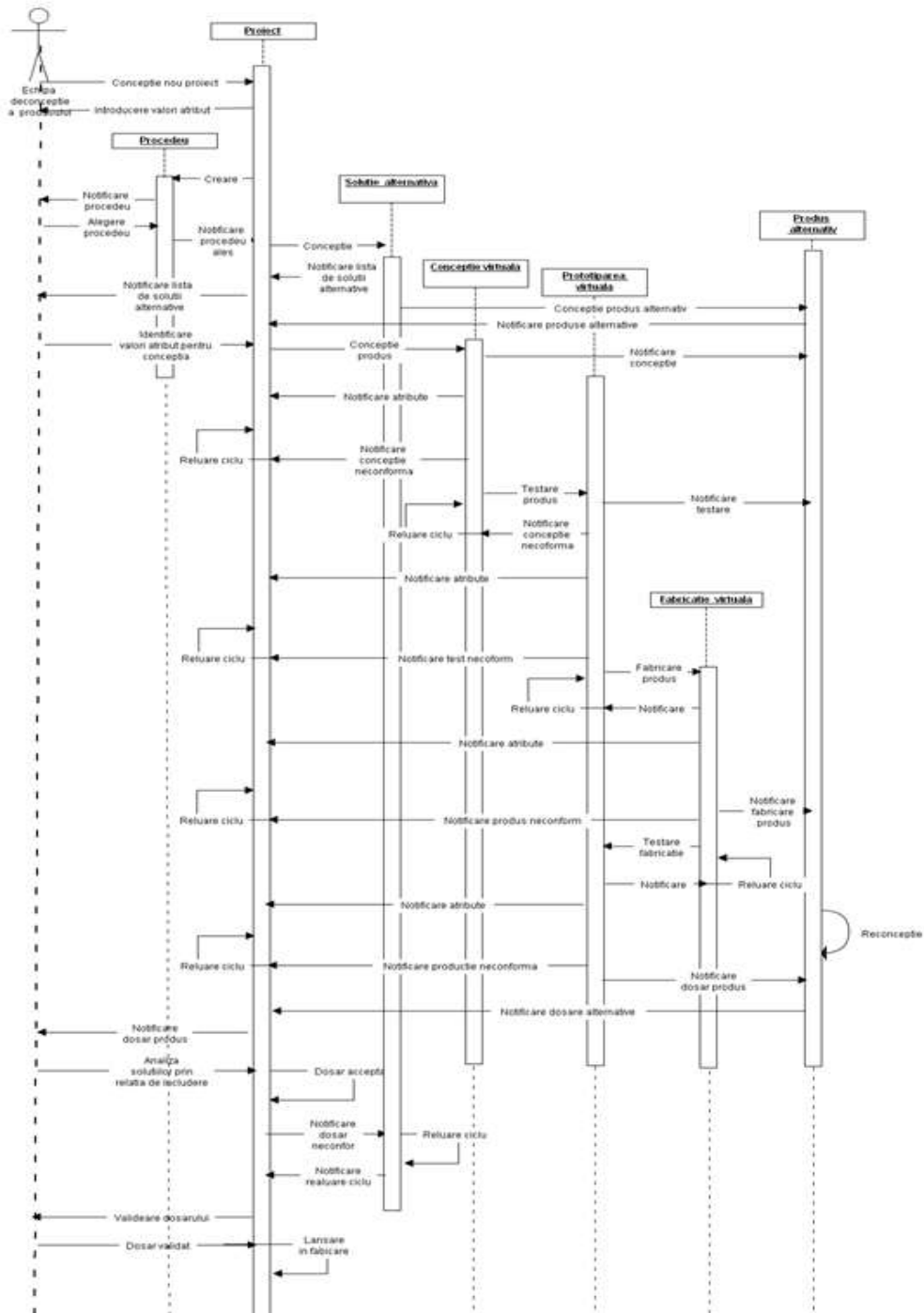


Fig. 5.11 Diagrama de secvențe pentru etapa de concepție virtuală

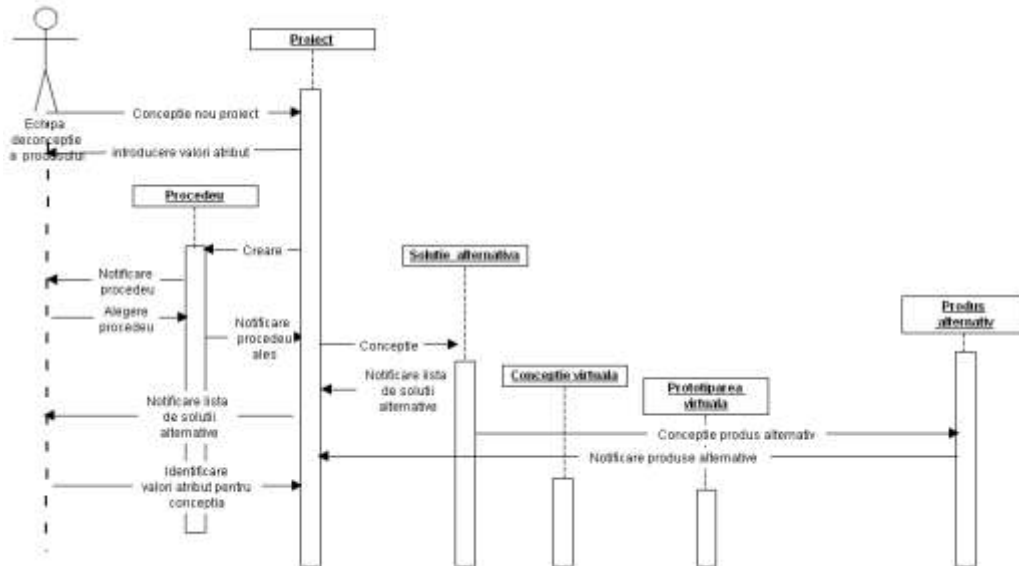


Fig. 5.12 Crearea unui nou proiect și notificarea atributelor

Pentru demararea unui nou proiect în cadrul platformei se va accesa pagina de conferință (pagina de start a platformei), prin autentificare în cadrul aplicației web. În momentul când unul din membrii echipei de proiect se autentifică, se accesează pagina de start, în cadrul căreia sistemul de gestiune va afișa toate proiectele în care utilizatorul curent este înregistrat. La cererea sa, acesta poate apela din tabel un anumit proiect în care este implicat, iar la subsolul listei de proiecte îi va fi prezentat un tabelul cu toți utilizatorii din proiectul respectiv și toate fișierele ce fac parte din acesta. Un nou proiect în cadrul platformei poate fi introdus prin butonul „Add Conference” (Fig. 5.13). De asemenea, utilizatorul are posibilitatea de a adăuga și de a șterge date, funcție de gradul pe care îl are în cadrul proiectului.

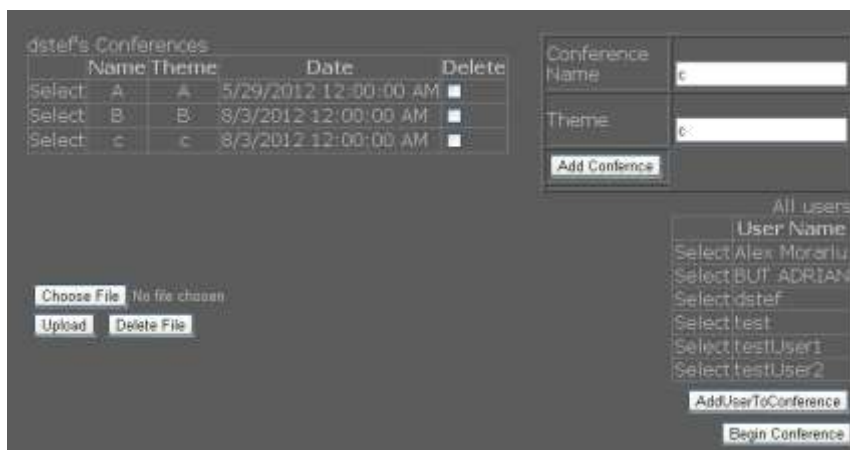


Fig. 5.13 Pagina de creare a unui nou proiect

În urma analizei notificărilor primite de către echipa de proiect se demarează secvența de concepție propriu-zisă a produsului.

5.3.4 Crearea modelului primar

Secvența de concepție virtuală se caracterizează prin definirea în detaliu a tuturor componentelor produsului, specificând caracteristicile dimensionale și fizice, dezvoltând modele, scheme, desene la scară și estimând costurile de industrializare a produsului.

Secvența de concepție virtuală demarează după analiza atributelor și deci trebuie să respecte anumite constrângeri:

- modul de reprezentare;
- forma produsului (designul);
- dimensiunile produsului (dimensiuni de gabarit);
- materialele folosite;
- ergonomia produsului;
- componentele standardizate;
- arhitectura de asamblare.

Pentru reprezentarea grafică a produsului se recurge la modelul 3D de solid bazat pe arbore constructiv (CSG), datorită faptului ca acesta este generat vectorial ca și mulțime a punctelor delimitate de suprafața obiectului și are referințe relative în spațiul de reprezentare. El poate fi reprezentat atât prin muchii vizibile cât și prin muchii ascunse, caz în care se poate aprecia mai ușor poziția și orientarea piesei față de utilizator.

Prin respectarea constrângerilor s-a modelat o primă formă a componentelor produsului, urmată de o asamblare a acestora (Fig. 5.14). Produsul este un ferestru alternativ, a cărui soluție conceptuală a fost dezvoltată în (Banciu, 2011).

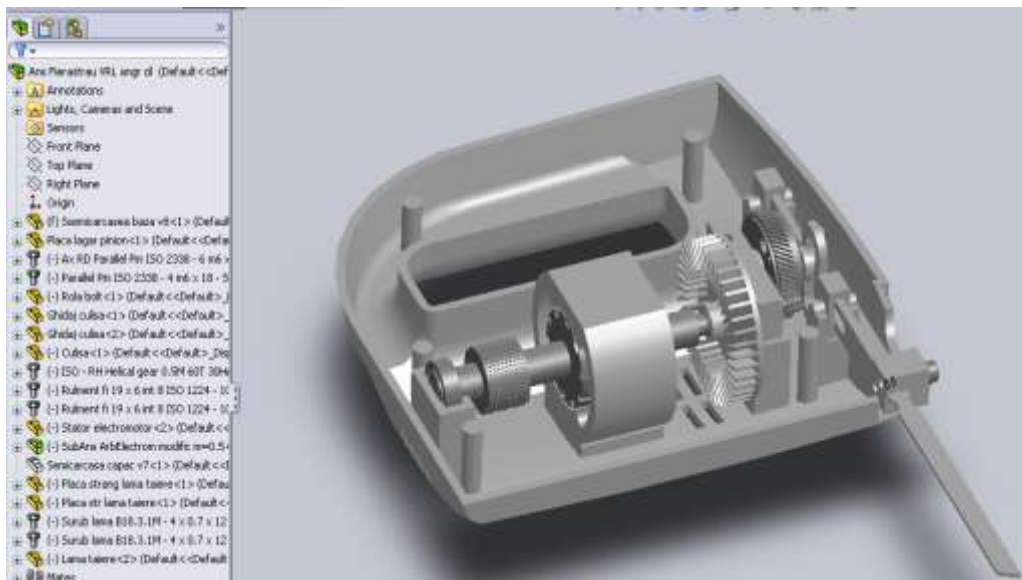


Fig. 5.14 Modelul virtual al produsului

5.3.5 Testarea modelului conceput

Rezultatul activității de concepție virtuală este prima soluție constructivă a produsului, care este trimisă spre activitatea de prototipare virtuală, cum se observă în diagrama A22 modelată cu IDEF0 (Fig. 4.8).

Secvența de prototipare virtuală cuprinde o serie de simulări grafice a soluției constructive primare, care poate fi prezentată, analizată și testată din punct de vedere al diverselor scenarii de utilizare pe durata ciclului de viață al produsului.

În cadrul cercetării propunem testarea soluției primare și a anumitor componente, pentru a recunoaște și identifica principalele constrângeri de care echipa de proiect va fi notificată pentru a remodela produsul după noile cerințe, cât mai corect și cu un impact cât mai puternic pe piață.

5.3.5.1 Testarea din punct de vedere ergonomic

Datorită faptului că produsul (ferestrăul alternativ) este destinat utilizării manuale, s-a luat decizia testării ergonomice a mânerului acestuia. Pentru acest test s-a folosit antebrațul unui manechin cu o constituție europeană (înălțime 1.75m), constrângerile preliminare fiind:

- greutatea produsului;
- confortul în timpul lucrului;
- nivelul de zgomot produs;
- manevrabilitatea.

La simularea prinderii mânerului de către manechin, pentru debitarea unui material cu grosime peste medie și cu un timp de tăiere mai îndelungat, s-a observat că forma mânerului nu este una confortabilă și deci se impune introducerea unei constrângeri în concepția carcasei produsului. Ca urmare a acestei concluzii s-a transmis o notificare de concepție neconformă către echipa de proiect, prin care s-a introdus constrângerea de modificare a carcasei (Fig. 5.15).

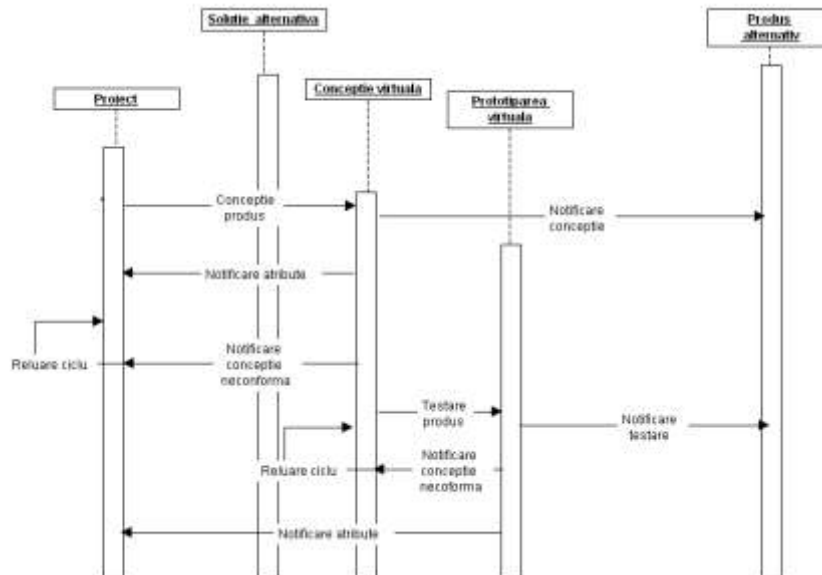


Fig. 5.15 Secvența de prototipare virtuală a produsului

Datorită notificării survenite în urma testului de ergonomie, s-a luat decizia modificării formei mânerului, ceea ce a condus la modificarea dimensională și de formă a acestuia (Fig. 5.16).

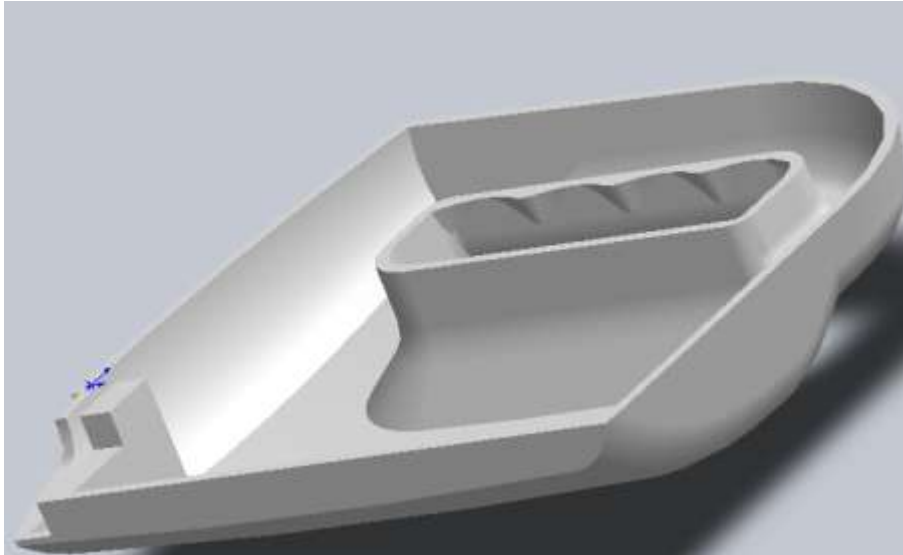


Fig. 5.16 Remodelarea carcasei produsului

5.3.5.2 Testarea folosind tehnici numerice

Evaluarea produsului folosind metode și tehnici de testare numerice conduce la rezultate strict constatative, care ulterior, prin notificări trimise spre secvența de concepție, vor fi remediate. Principalele constrângeri care sunt introduse și la care produsul trebuie să „răspundă” în urma testării folosind tehnicile numerice, sunt:

- încărcarea periculoasă;
- evaluarea riscurilor;
- uzura prematură;
- durata de viață;
- identificarea pieselor de uzură.

În urma analizei constrângerilor s-a constatat că lama produsului constituie reperul cu o uzură accentuată, care introduce cele mai multe riscuri, și asupra căreia acționează cele mai multe forțe pe durata ciclului de utilizare. Datorită acestui fapt propunem testarea reperului lamă la o acțiunea forțelor ce pot să apară în decursul acestui ciclu.

În urma testului efectuat (Fig. 5. 17) se observă concepția corectă a lamei, dar în urma supunerii acesteia la un set de valori extreme se poate introduce un set nou de constrângeri în secvența de concepție, și anume:

- un element de ghidare;
- un element de protecție;
- norme de utilizare a produsului.

5.3.5.3 Testarea la impactul asupra mediului

Unul dintre testele la care este supus produsul este impactul asupra mediului înconjurător. Pentru demararea acestui test se vor urmări constrângerile:

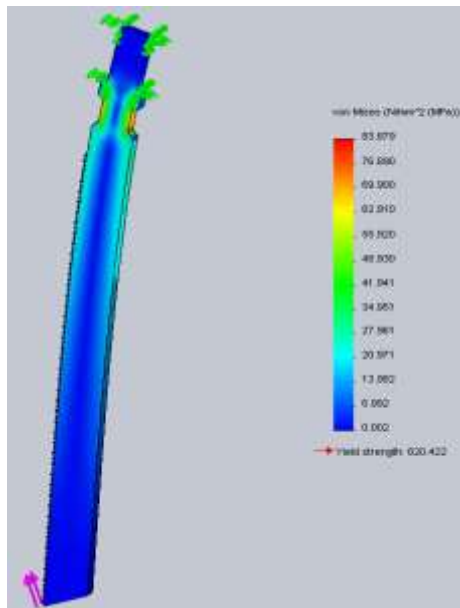


Fig. 5.17 Testarea produsului folosind tehnici numerice

- comportamentul materialelor componente;
- lubrifierea produsului;
- ciclul de utilizare.

În cadrul acestui test propunem simularea cantității de căldură emanată de produs pe durata unui ciclu de utilizare intens. După cum se observă din Fig. 5.18, în zona în care este plasat motorul electric se degajă o cantitate însemnată de căldură. În urma acestui test se va trimite o notificare echipei de proiect, prin care se cere realizarea unor orificii de ventilare pentru eliminarea mai rapidă a căldurii.

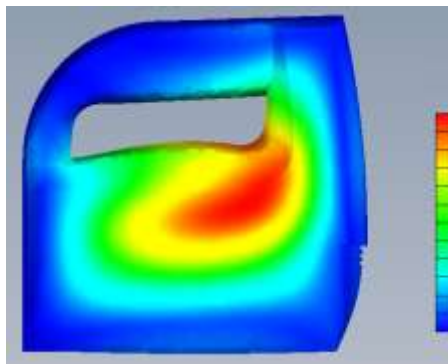


Fig. 5.18 Simularea emanării căldurii

- materiale folosite;
- dimensionale și funcționale;
- asamblare.

Noul model al produsului conceput respectă notificările și deci rezultă o soluție definită constructiv.

5.3.7 Modelarea planului general de amplasare

Pe durata activității de concepție este necesar a se modela sistemul de fabricație, mai precis planul general de amplasare. Această modelare este necesară pentru a putea realiza simulări realiste a resurselor de fabricație, pornind de la poziționarea în spațiu a fabricii, „podeaua fabricii”, sistemul de manipulare și chiar până la angajat. Prin concepția planului general, se pot defini rapid și eficient diferite scenarii în vedere 3D, se pot pune în discuție strategii de dezvoltare și extindere a spațiilor de fabricație etc.

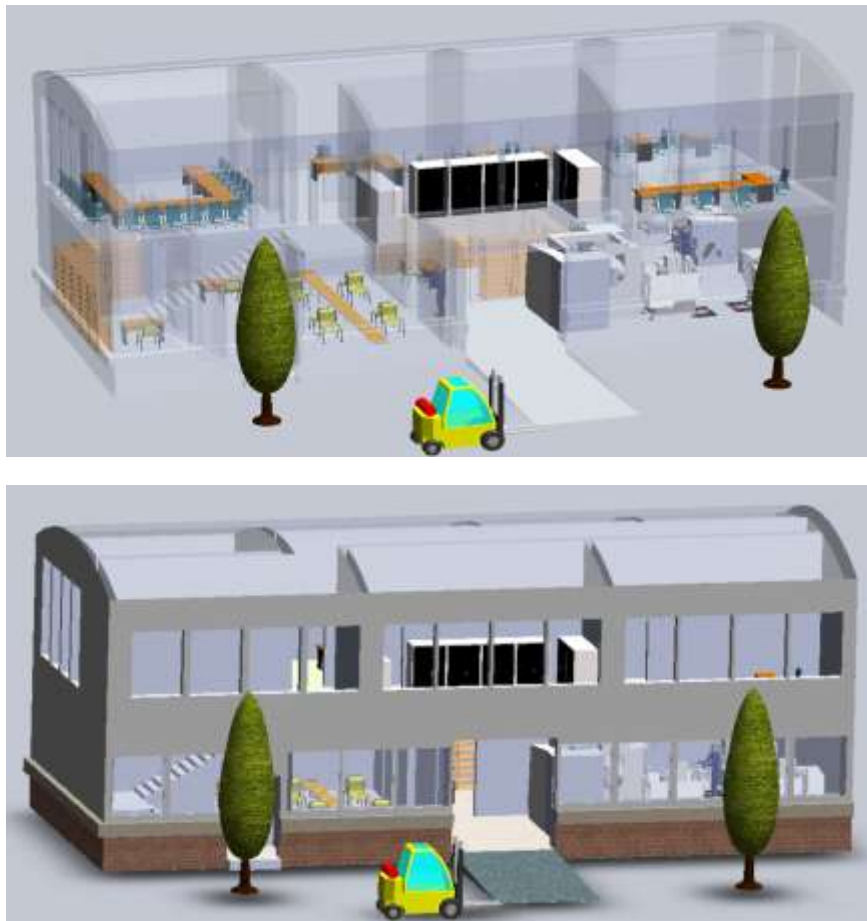


Fig. 5.20 Planul general de amplasare

Prin concepția planului general de amplasare se dorește exemplificarea spațiului în care produsul va fi fabricat. În cadrul cercetării propunem o întreprindere de mici dimensiuni, având ca referință laboratorul de concepție și fabricație al Departamentului de Ingineria Materialelor și Fabricației de la Universitatea „Politehnica” din Timișoara (Fig. 5.20). Întreprinderea pe care o propunem are spații bine delimitate, destinate pentru diferite faze ale ciclului de fabricație, pornind de la spațiul destinat fabricării componentelor produsului, un spațiu în care este amplasată linia de asamblare, spații de depozitare pentru componente și produse finite.

Datorită concepției planului de asamblare al fabricii și datorită alegerii unei întreprinderi de mici dimensiuni, sunt introduse în cadrul metodologiei un set de noi constrângeri, datorită echipamentelor și a spațiilor de care dispunem. Aceste constrângeri sunt:

- numărul de angajați;
- utilajele disponibile;
- capacitatea de fabricație și asamblare;
- capacitatea de depozitare a magaziei.

5.3.8 Modelarea procesului de fabricație virtuală

În momentul în care echipa de concepție consideră că soluția definită constructiv este finală, se demarează secvența de fabricație virtuală. Secvența de fabricație virtuală va urmări activitățile modelate cu IDEF0 în capitolul 4.2 și arhitectura metodologiei modelată în diagrama de clase UML din capitolul 4.3.4.

5.3.8.1 Planificarea secvențelor de fabricație

În cadrul cercetării considerăm o secvență de fabricație ca fiind un set de operații realizate pe un anumit utilaj pentru obținerea unui reper. În urma acestei considerații se va demara planificarea procesului pentru fiecare utilaj din cadrul sistemului de fabricație.

Pentru exemplificare, vom considera o singură secvență de fabricație. Prin urmare, secvența pe care o considerăm reprezentativă este secvența de execuție a matriței de injecție a carcasei produsului.

Planificarea procesului de fabricație a matriței de injecție a carcasei produsului (Fig. 5.21) impune următoarele constrângeri preliminare:

- alegerea utilajului;
- alegerea/concepția dispozitivelor;
- alegerea sculelor așchietoare;
- alegerea/concepția verificatoarelor.

În urma acestor constrângeri se trimite o notificare pentru concepția și/sau alegerea tuturor elementelor necesare fabricației.

După clarificarea notificărilor se demarează etapa de planificare a procesului de fabricație a reperului propus.

Pentru planificarea procesului de prelucrare prin așchiere se recurge la modelul 3D de solid reprezentat prin arbore de construcție (CSG), datorită faptului că acesta este generat vectorial, ca o mulțime de puncte delimitate prin lanțul de fabricație (o curbă directoare care limitează suprafața de prelucrat) și are referințe relative în spațiul de reprezentare. Reprezentarea poate fi atât prin muchii vizibile

cât și prin muchii ascunse, caz în care se poate aprecia mai ușor poziția și orientarea sculei față de piesă.

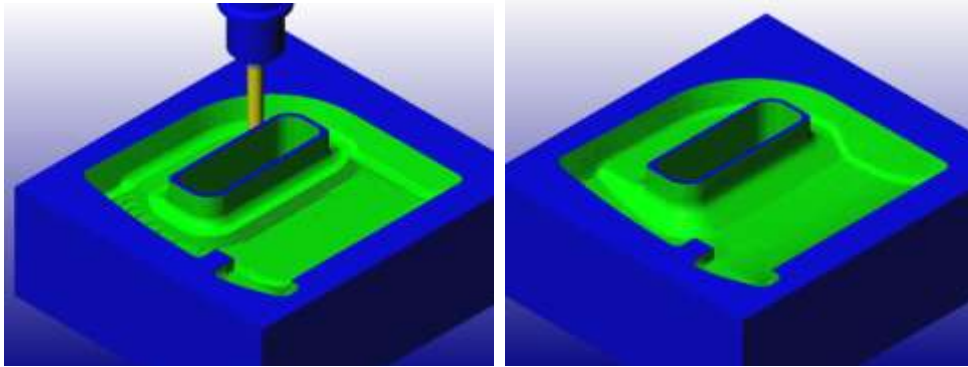


Fig. 5.21 Procesul de fabricație a matriței de injecție a carcasei

Prin respectarea tuturor constrângerilor impuse în urma concepției s-a demarat planificarea procesului de prelucrare a reperului.

5.3.8.2 Planificarea și programarea resurselor de fabricație

Planificarea și programarea resurselor de fabricație se referă la procesul de determinare a ordinii de trecere a reperelor de la un loc de muncă la altul în vederea executării lor (ordonanțarea fabricației), cu respectarea următoarelor constrângeri:

- la un loc de muncă, la un moment dat, poate fi realizat numai un set de operații specifice;
- pentru fiecare reper, prelucrarea se face respectând succesiunea operațiilor indicată în procesul de prelucrare;
- operație odată începută la un loc de muncă, nu poate fi întreruptă pentru abordarea altei operații.

Se mai introduc o serie de constrângeri referitoare la criteriile de performanță, acestea putând fi diverse, astfel:

- minimizarea duratei totale de fabricație a tuturor reperelor;
- maximizarea coeficientului de utilizare a mașinilor-unelte;
- minimizarea stocurilor inter-operaționale;
- minimizarea *Time-to-Client* și *Time-to-Market*;
- minimizarea duratei ciclului de fabricație;
- diminuarea volumului fondului de rulment.

Modelarea procesului de planificare și programare a resurselor de fabricație se face utilizând aplicații software specializate. Menirea acestora este de a repartiza activitățile productive așa cum rezultă din procesul de execuție a fiecărui reper, pe locurile de muncă disponibile, cu respectarea tuturor constrângerilor impuse. Problemele cele mai dificile în cazul planificării și programării resurselor de fabricație apar în cazul producției de serie mică și unicate, unde există o mare varietate de reperi și procese de fabricație, care se succed cu o frecvență ridicată. La acest tip de fabricație, modul de organizare a atelierelor este pe grupe de mașini-unelte, sarcina de coordonare revenind unui maestru sau șef de echipă. În aceste condiții, planificarea și urmărirea fabricației care se realizează pe grupe diferite de mașini-unelte, subordonate unor persoane diferite, ridică mult mai multe probleme față de

organizarea în flux tehnologic, unde o singură persoană deține responsabilitatea de conducere și control. Această răspundere unică ușurează urmărirea prelucrărilor și ridică garanția livrărilor ritmice.

În Fig. 5.22 se prezintă spațiul destinat pentru planificarea și programarea resurselor de fabricație.

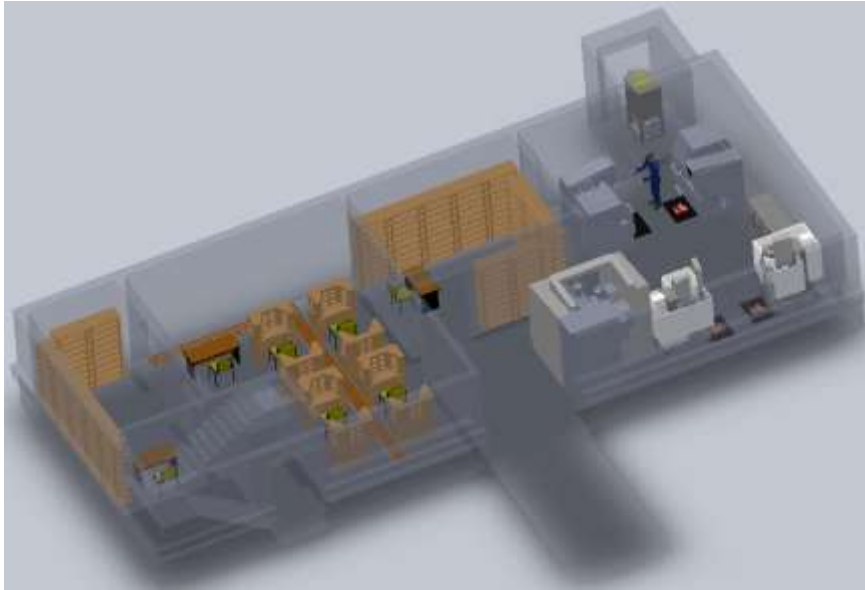


Fig. 5.22 Planificarea și programarea resurselor de fabricație

5.3.8.3 Proiectarea și planificarea asamblării

În proiectarea planului general de amplasare a fabricii se ține cont și de zona de asamblare (Fig. 5.23).



Fig. 5.23 Proiectarea și planificarea asamblării

Linia de asamblare este organizată sub forma unor posturi de lucru, așezate întrun șir, iar la fiecare post de lucru se realizează asamblarea întregului produs. La fiecare post de lucru există un operator care efectuează activitatea de asamblare a produsului. Diversitatea de activități realizate la un singur post din linia de asamblare, aptitudinile și abilitățile operatorilor încadrați pe linia de asamblare, fac ca linia de asamblare să fie eficientă.

Constrângerile inițiale care sunt introduse de sistemul de asamblare sunt:

- la un post de muncă, la un moment dat, poate fi asamblat un singur produs;
- pentru fiecare reper, asamblarea se face respectând ordinea de amplasare a componentelor;
- odată începută activitatea de asamblare, ea nu se întrerupe până la finalizare.

În urma constrângerilor preliminare, posturile de lucru ale liniei de fabricație sunt concepute pentru creșterea eficienței, scăderea timpului de asamblare și recunoașterea locului unde au apărut erori în asamblare.

Constrângerile care sunt introduse în urma concepției, referitoare la criteriile de performanță, pot fi diverse, de exemplu:

- minimizarea duratei de asamblare a produsului;
- minimizarea stocurilor inter-operaționale;
- eliminarea în totalitate sau minimizarea erorilor ce pot să apară pe durata activității de asamblare.

Planificarea asamblării are rolul de a determina următoarele obiective majore:

- asigurarea coerenței procesului de asamblare;
- utilizarea eficientă a resurselor umane;
- utilizarea eficientă a suprafețelor de asamblare;
- diminuarea ponderii timpilor de așteptare;
- asigurarea unei încărcări ritmice a postului de muncă.

5.3.9 Testarea modelului de fabricație

În urma modelării procesului de fabricație (fabricație virtuală) se lansează un prim model al sistemului de producție. În activitatea de testare (prototipare virtuală a fabricației), această soluție va fi supusă la un set de teste, pentru ca în momentul în care va fi lansată în fabrica reală să nu mai fie nevoie de intervenții de optimizare.

În cadrul acestei activități vom urma etapele care au fost detaliate în modelarea ciclului de viață cu IDEF0 și vom urmări recunoașterea și introducerea în baza de date a cât mai multor constrângeri.

5.3.9.1 Testarea procesului celulelor de fabricație

Prin modelarea procesului de fabricație în secvențe, grupate anterior ca fiind un set de operații realizat pe un anumit utilaj, pentru execuția unui reper, se ajunge la concluzia că este necesară testarea procesului unei celule flexibile de fabricație (Fig. 5.24). Celula flexibilă de fabricație este considerată a fi o mașină-unealtă cu comandă numerică.

Rezultatele rulării programului NC, conceput pentru o secvență de fabricație, se referă la succesiunea fazelor ce urmează a fi executate de către celula de

fabricație, cât și parametrii de prelucrare (regim de așchiere, scule așchietoare, timp etc.), care vor introduce următoarele constrângeri:

- gradul de utilizare a capacității de producție;
- uzura sculelor așchietoare;
- coliziuni în cadrul programului NC;
- evaluarea duratei de timp;
- gradul de încărcare a utilajului.

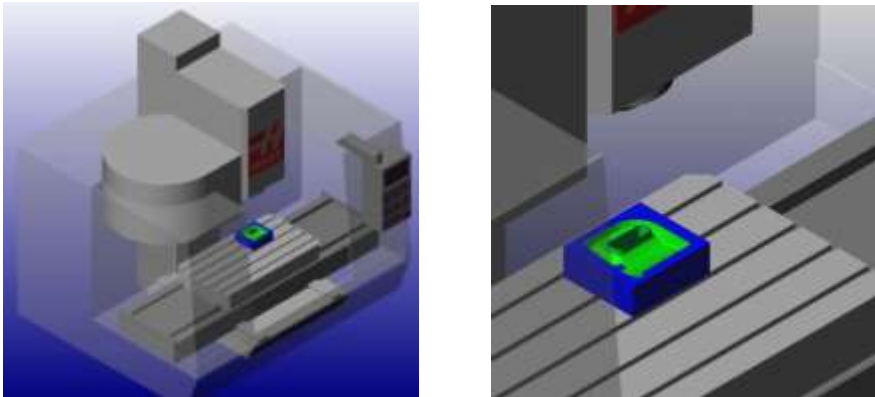


Fig. 5.24 Testarea procesului celulelor de fabricație

Pe baza acestor constrângeri, echipa de concepție poate accepta programul NC sau introduce, prin trimiterea unei notificări, un set de noi constrângeri în cadrul activității de planificare a secvențelor de fabricație, care au rezultat în urma analizei simulării procesului. Aceste constrângeri pot fi:

- modificarea tehnologiei;
- utilizarea de scule așchietoare speciale;
- modificarea încărcării utilajului;
- modificarea dispozitivelor de prindere.

5.3.9.2 Testarea procesului din punct de vedere ergonomic

Testarea procesului din punct de vedere ergonomic este necesară pentru a simula posturile de lucru și activitățile operatorului uman, pentru a crește siguranța în funcționarea/utilizarea sistemelor de muncă (simultan cu creșterea confortului în muncă) și pentru minimizarea riscurilor de accidente în muncă. În cadrul acestei cercetări ne focalizăm pe simularea efectivă a mișcărilor manechinului pentru realizarea unor sarcini de muncă manuale din sectorul de asamblare a produsului (Fig. 5.25).

În cadrul sistemului de producție propus în cadrul cercetării, posturile de lucru în care activitatea se desfășoară predominant manual, fac parte din sistemul de asamblare.

Sistemul de asamblare introduce anumite constrângeri în ceea ce privește ergonomia sistemului, și anume:

- siguranța operatorului;
- accesibilitatea operatorului;
- zona de evoluție a operatorului;
- luminozitatea locului de muncă;
- posibilitatea de accidentare.



Fig. 5.25 Ergonomia locului de muncă

În urma acestor constrângeri au fost trimise notificări către echipa de concepție care a proiectat un loc de muncă. Această alegere în proiectarea locului de muncă și a liniei de asamblare a fost luată în urma analizei notificărilor. La rândul ei, alegerea făcută introduce un set de constrângeri, și anume:

- specializarea muncitorului;
- orarul de muncă.

5.3.9.3 Testarea reconfigurării sistemelor de fabricație

Pentru tipuri de probleme de configurare și reconfigurare a fabricației cu o structură bine determinată, cu constrângeri impuse, se va folosi în cadrul cercetării metoda ramificării și limitării (*branch and bound*). Scopul acestei metode este de a reduce volumul căutărilor în spațiul soluțiilor de reconfigurare posibile. Se renunță astfel la enunțarea și evaluarea tuturor combinațiilor posibile, enumerare care conduce la simulări cu durate mari de timp.

Ideea de bază este aceea de a căuta valorarea optimă, apelând la o structură arborescentă de noduri și ramificații. Fiecare nod reprezintă o etapă în adoptarea unei decizii.

În cadrul configurării și reconfigurării liniei, pentru a se adopta decizii corecte, s-au introdus următoarele constrângeri:

- codificarea reperelor;
- codificarea locurilor de muncă;
- data livrării produsului;
- numărul de repere pe lot;
- indicele de prioritate.

În urma testării sistemului configurat și prin reconfigurarea acestuia cu elementele care sunt disponibile la un moment dat, se pot lua decizii de următoarea natură:

- mărirea capacității de producție prin încărcarea mai mare a utilajelor;

- regândirea proceselor de fabricație;
- transferarea unei părți din producție către colaboratori externi;
- achiziționarea de noi echipamente și utilaje.

Toate aceste decizii sunt luate pentru a putea respecta constrângerile impuse în momentul planificării și programării fabricației, pentru a realiza optimizarea dosarului de produs și pentru a crește profitabilitatea sistemului de fabricație, prin:

- minimizarea volumului întârzierilor față de data de livrare (*Time-to-Market, Time-to-Client*);
- maximizarea coeficientului de utilizare a fiecărui post de lucru;
- minimizarea stocurilor.

5.3.10 Validarea dosarului de produs

Lansarea în fabricație constă în transmiterea către fabrica reală a dosarului de produs. Înainte de lansarea propriu-zisă în fabricație, echipa de concepție primește o notificare cu dosarul produsului conceput pentru validarea acestuia. În urma analizării dosarului de produs echipa de concepție poate să trimită notificări pentru re-concepția unei anumite secvențe sau chiar a întregului produs (Fig. 5.26).

În cazul în care dosarul este validat, acesta este lansat în fabricație reală, moment în care se declanșează activitatea de fabricație din ciclul de viață al produsului.

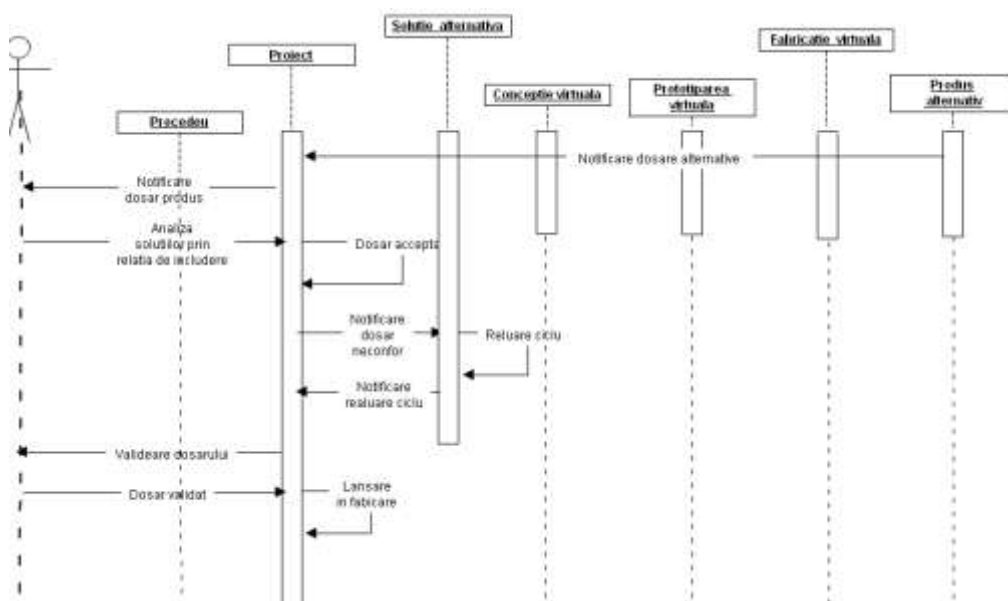


Fig. 5.26 Secvența de validare a produsului

5.4 Concluzii

Dezvoltarea aplicației web care stă la baza platformei de concepție și fabricație, oferă în primul rând un mediu colaborativ de interschimbare a informațiilor și ideilor necesare în dezvoltarea produselor. În cel de al doilea rând, aplicația web pune la dispoziție un set de module capabile de a reda imagini vectoriale, cum ar fi imaginile grafice dezvoltate de aplicațiile software specializate, prin integrarea acestora, conduce la un pas important în dezvoltarea produselor și proceselor în contextul fabricii digitale.

Unul dintre avantajele principale pe care le oferă această aplicația web dezvoltată este acela că aplicațiile software specializate vor rula on-line pe server, iar utilizatorul nu va fi nevoit să achiziționeze nici unul dintre aceste sisteme. Un alt avantaj major în utilizarea aplicației web este acela că, clientul nu va fi nevoit să investească în achiziționarea de „terminale” (calculatoare) cu o configurație specială, deoarece aplicațiile software specializate din cadrul aplicației web nu folosesc resurse informatice proprii, aplicațiile software specializate putând rula chiar și de pe un terminal mobil, singura cerință fiind de a avea o conexiune la internet de calitate și o viteză mare de transfer.

Prin implementarea acestei aplicații web, care stă la baza platformei de concepție și fabricație integrată a produsului, vor scădea simțitor problemele și costurile care apar prin implementarea de către companii a sistemelor integrate de concepție și fabricație.

În urma validării modelului metodologic prin intermediul platformei de concepție și fabricație, putem concluziona că obiectivele principale propuse în cadrul cercetării au fost îndeplinite. Pentru exemplificare, menționăm recunoașterea și integrarea constrângerilor. În plus, menționăm că prin integrarea constrângerilor s-a făcut primul pas în dezvoltarea bazei de date.

În final, putem să sintetizăm contribuțiile semnificative aduse în acest capitol:

- dezvoltarea informatică a platformei de concepție și fabricație;
- transferul metodologiei spre aplicația web, care constituie suportul platformei de concepție și fabricație a produsului;
- concepția aplicației web, pe baza ingineriei integrate și a ingineriei colaborative;
- integrarea imaginilor vectoriale în dezvoltarea produsului, folosind aplicația web;
- arhitectura deschisă de dezvoltare a platformei, prin posibilitatea de a integra noi module;
- dezvoltarea informatică a arhitecturii aplicației web, prin utilizarea celor mai noi sisteme de concepție;
- modelarea și integrarea secvențelor de fabricație, utilizând diagramele de secvențe UML, care conduce la validarea metodologiei propuse;
- modelarea secvențelor de concepție și fabricație, care conduce la validarea metodologiei printr-o privire logică asupra acesteia;
- recunoașterea și integrarea constrângerilor de concepție și fabricație în baza de date.

6 CONCLUZII GENERALE, CONTRIBUȚII ȘI PERSPECTIVE

6.1 Concluzii generale

Obiectivul general urmărit în cadrul tezei de doctorat a fost elaborarea unui model metodologic care să constituie o structură implementabilă în cadrul procesului de concepție, în contextul fabricii digitale.

Demersul de cercetare folosit are la bază modelul lui Blessing și Chakrabarti (2009), sintetizat în „*DRM, a Design Research Methodology*”. În cadrul acestui demers, în etape succesive s-au incorporat tipuri de forme logice și canonice de raționament: analiză și sinteză, divergență, convergență și transformare.

Prin cercetările întreprinse în această lucrare s-a dorit a se da răspuns unuia dintre domeniile problematice ale fabricii digitale - procesul de concepție/ dezvoltare a produsului. Astfel, concepția produsului trebuie abordată în corelare cu întregul ciclu de viață al produsului, conform principiilor ingineriei integrate, colaborative și a managementului ciclului de viață al produsului (*Product Lifecycle Management PLM*).

Cercetările au fost efectuate în etape succesive: analiza și sintetiza stadiului actual al cercetărilor în domeniul fabricii digitale; elaborarea unei metodologii de concepție a produselor, în contextul fabricii digitale; integrarea de metode și mijloace pentru dezvoltarea unei platforme integrate de concepție și fabricație digitală; validarea metodologiei în cadrul platformei integrate de concepție și fabricație digitală.

În prima etapă s-a analizat stadiul actual al cercetărilor în domeniul fabricii digitale, cunoștințele fiind sintetizate pe două direcții: conceptul de fabrică digitală și procesele care se desfășoară în fabrica digitală.

În urma analizei, concluzia este că fabrica digitală satisface nevoia de integrare a datelor/informațiilor legate de concepția produsului, fabricație, planificare, simulare, comunicare și a mijloacelor de control, la toate nivelurile de planificare și de fabricație.

Pentru termenul de fabrică digitală a fost propusă următoarea definiție: Fabrica digitală reprezintă totalitatea activităților necesare concepției, simulării și fabricației virtuale, desfășurate pentru a optimiza un produs, înaintea lansării acestuia în cadrul sistemului de fabricație reală.

În urma analizei și sintezei proceselor fabricii digitale, pentru atingerea obiectivului general al tezei, s-a propus descompunerea procesului de concepție/dezvoltare a produsului în trei categorii interconectate, și anume: concepția virtuală, prototiparea virtuală și fabricația virtuală.

Obiectivul cercetărilor întreprinse în continuare a fost acela de analiză și sinteză a modelelor de concepție a produsului, în vederea adaptării lor la contextul fabricii digitale.

În demersul de cercetare adoptat, primul raționament, de tip divergent, a permis localizarea proceselor fabricii digitale în ciclul de viață al unui produs și analiza modelelor de produs. Al doilea raționament, de tip convergent, a sintetizat modelele de concepție existente, în vederea reținerii unor modele de interes pentru

adaptarea lor la contextul fabricii digitale, precum și metodele folosite în procesul de modelare.

Astfel, s-a constatat că: ciclul de viață virtual al produsului în întreprindere corespunde ciclului fabricii digitale; demersul cel mai adecvat pentru elaborarea unui model metodologic de concepție a produsului în contextul fabricii digitale îl reprezintă cel bazat pe ingineria colaborativă; modelul de reprezentare multi-vederi este modelul care integrează ciclul de viață al produsului în faza de concepție; modelul de concepție sistematică, al lui Pahl și Beitz, bazat pe descompunerea secvențială a procesului de concepție, poate constitui baza de plecare în modelarea procesului de concepție în fabrica digitală; pentru integrarea informațiilor referitoare la proces și produs, transferul informațiilor legate de concepția produsului de la un sistem la altul, este necesară compatibilitatea sau inter-conectivitatea datelor, necesitând folosirea standardelor și limbajelor de modelare adecvate.

Pe baza concluziilor formulate până aici, s-a trecut la modelarea procesului de concepție a produsului în fabrica digitală, folosind limbajul IDEF0, elaborându-se modelul structural, apoi, utilizând diagramele de clase UML, s-a obținut modelul metodologic, care constituie obiectivul general al cercetării.

În urma modelării ciclului de viață al produsului utilizând diagramele IDEF0 au fost identificate activitățile necesare dezvoltării produsului, a fost identificat un set preliminar de constrângeri ce apar pe durata ciclului de concepție, au fost identificate metodele și mijloacele de concepție și s-a trasat o formă primară a arhitecturii de dezvoltare a metodologiei.

Analiza procesului de concepție după modelul lui Pahl și Beitz a permis trecerea progresivă de la general spre particular și recunoașterea constrângerilor care servesc elaborării modelului metodologic de concepție în contextul fabricii digitale.

Obiectivul final în demersul de cercetare a fost validarea modelului metodologic, pentru care a fost realizată o platformă informatică de concepție și fabricație digitală a produsului, în care au fost identificate și modelate secvențele de concepție a unui produs utilizând diagramele de secvențe UML.

Aplicația web care stă la baza platformei de concepție și fabricație digitală a produsului oferă un mediu colaborativ de interschimbare a informațiilor și ideilor necesare în dezvoltarea produsului. Aceasta pune la dispoziție un set de module capabile de a reda imagini vectoriale, cum ar fi imaginile grafice dezvoltate de aplicațiile software specializate, integrarea acestora constituind un pas important în dezvoltarea produselor și proceselor în contextul fabricii digitale.

În urma validării modelului metodologic prin intermediul platformei de integrate de concepție și fabricație digitală a produsului, obiectivul general ale cercetării a fost îndeplinit.

6.2 Contribuții personale

Contribuțiile aduse au fost în principal de natură teoretică și metodologică. Modelarea procesului fabricii digitale și crearea unui instrument metodologic – prin dezvoltarea unei arhitecturi de concepție și fabricație digitală – reprezintă elementul de noutate și, în același timp, reprezintă problema prioritară dezbătută în cadrul lucrării. Dezvoltarea acestei metodologii a condus la realizarea unei platforme integrate de concepție și fabricație digitală, care constituie baza pentru implementarea la nivel de prim prototip de produs.

Având în vedere obiectivul general propus, contribuțiile pe care această cercetare le aduce se referă la evaluarea stadiului actual al cunoașterii în domeniul fabricii digitale, prin realizarea unui transfer de cunoștințe de actualitate, care sunt analizate și sistematizate pentru a propune un model metodologic, care constituie o structură implementabilă în cadrul procesului de concepție în contextul fabricii digitale.

Principalele contribuții personale rezultate în urma finalizării cercetărilor sunt:

- sistematizarea globală și unitară a cunoștințelor pe două direcții – conceptul de fabrică digitală și procesele fabricii digitale;
- definirea termenului de fabrică digitală;
- analiza și sinteza literaturii de specialitate în ceea ce privește metodologia de concepție a produsului în contextul fabricii digitale;
- descompunerea ciclului de concepție în activitățile de concepție virtuală, prototipare virtuală și fabricare virtuală;
- modelarea procesului de concepție a produsului în fabrica digitală, folosind limbajul IDEF0, elaborându-se modelul structural;
- modelarea procesului de concepție a produsului în fabrica digitală, folosind limbajul UML, elaborându-se modelul metodologic;
- dezvoltarea aplicației software care stă la baza platformei integrate de concepție și fabricație digitală a produsului.

Cercetările prezentate au fost valorificate prin activități de diseminare respectiv publicare ca prim autor sau în colaborare a unui număr de 15 lucrări științifice, în volumele unor conferințe interne și internaționale indexate în baze de date internaționale.

6.3 Perspective de dezvoltare

Cercetările efectuate în cadrul tezei de doctorat creează perspective de dezvoltare pe următoarele direcții:

- validarea în mediu industrial a aplicației web care stă la baza platformei de concepție și fabricație digitală;
- dezvoltarea bazei de date prin integrarea cât mai multor constrângeri și a unui set de criterii pentru alegerea constrângerilor;
- dezvoltarea platformei pentru urmărirea fabricației;
- transferul datelor din fabrica digitală în fabrica reală.

BIBLIOGRAFIE

1. Ada Computers (2009). *Integrarea etapelor de dezvoltare, colaborarea în întreprinderea virtuală și managementul documentației tehnice despre produs*. <http://www.adacomputers.ro/compania/responsabilitatea-ada/plm-adaptor>
2. Ahmed, S., Hansen, C.T. (2002). A Decision-Making Model for Engineering Designers. In Shahin T. M. M. (ed.), *Computer based design*, EDC 2002, Cambridge, 217-227.
3. Andreasen, M. M. (1992). The Theory of Domains. *Proceedings of Workshop on Understanding Function and Function-to-Form Evolution*. Cambridge.
4. Anghel, D. C. (2007). *Contribution à l'analyse des itérations dans le processus de conception: proposition d'indicateurs d'évaluation de performances*. Thèse de l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard et de l'Université de Besançon.
5. Anghel, V., Drăghici, G. (2006). Simulation, Modelling and Optimization for Operative Maintenance. *The 5th WSEAS International Conference on Computational Intelligence, Man-Machine Systems and Cybernetics (CIMMACS '06)*, Venice, Italy, November 20-22.
6. Arkin, A. (2002). *Business process modelling language*. Technical report BPMI.org.
7. Banciu, F. V. (2011). *Dezvoltarea unui model de concepție inovantă, colaborativă a produselor*. Teză de doctorat. Editura Politehnica Timișoara.
8. Beer, G. (2008). *The Boundary Element Method with Programming: For Engineers and Scientists*. Springer.
9. Bhandarkar, M. P., Ngai, R. (2000). STEP-based feature extraction from STEP geometry for agile manufacturing. *Computer in Industry*, 41(1), 3-24.
10. Biren, P. (1996). *Concurrent Engineering Fundamentals: Integrated Product and Process Organization*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
11. Blanchard, B. (2004). *System engineering management*. 3rd ed. John Wiley & Sons, New Jersey.
12. Blessing L., Chakrabarti, A. (2009). *DRM, a Design Research Methodology*. Springer-Verlag, London Limited.
13. Bley, H., (2004), Integration of Product Design and Assembly Planning in the Digital Factory, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 53(1), 25-30.
14. Blumenau, J.-C., Wuttke, C.-C. (2005). Application of the digital factory in the ramp up of production systems by using online-data. *CIRP Journal of Manufacturing Systems*, 34(3), 241-245.

15. Bogdan, P., Bondrea, I., Marin, R. (2011). Digital factory: just another concept or a future industrial reality? *ModTech International Conference - New face of TMCR Modern Technologies, Quality and Innovation - New face of TMCR*, 25-27 May 2011, Chişinău, 865-868.
16. Bondrea, I., Petrus, R. (2011). Augmented reality applied in assembly design, *The 10th International Conference Modern Technologies in Manufacturing MTeM 2011*, Cluj Napoca, 41-44.
17. Booch G., ş.a. (1999). *The Unified Modeling Language user guide*. Reading, Addison Wesley, MA.
18. Bracht, U., Masurat, T. (2005). The Digital Factory between vision and reality. *Computers in Industry*, Vol. 56, 325-333.
19. Buede, D. (2000). *The Engineering Design of Systems-Models and Methods*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
20. Busselle, J. (2012). *Raster Images versus Vector Images*. Preluat pe 08 08, 2012, de pe signindustry: http://www.signindustry.com/computers/articles/2004-11-30-DASvector_v_raster.php3#story2012
21. But, A. (2009). *Maşini şi sisteme avansate de prelucrare*. Editura Politehnica Timişoara.
22. But, A., Ştef, D., But, E. (2010) Design and flexibility using CAD/CAM software's in programming CNC machine tools. *Quality Management in Higher Education*, Iasi, Romania, vol. 2, 385-388
23. Cao, J. Z. (2005). Distributed design process coordination based on a service event notification model. *Concurrent Engineering*, 13 (4), 301-310.
24. Chan, K., Gu, P. (1993). A STEP based generic product model for concurrent engineering. *Concurrent Engineering Methodology and Applications*, 249-275.
25. CIMdata (2011). Preluat pe Februarie 21, 2012, de pe www.cimdata.com
26. CIMdata (2011) www.cimdata.com. Preluat pe februarie 12, 2011, de pe CIMdata: www.cimdata.com
27. Coze, Y. (2009). *Virtual Concept > Real Profit with Digital Manufacturing and Simulation*. Sogeti High Tech – Dassault Systems.
28. Cozzens, R. (2009). *CATIA V5 Workbook*. Stephen Schroff, Utah.
29. Dassault Systems (2010). Delmia, Enovia. Preluat de pe www.3ds.com
30. Deelip.com (fără an). *Dassault Systems Introduces PLM 2.0*. Preluat pe 08 30, 2011, de pe www.deelip.com
31. Delli, P., Leu, M. (1995). *Unigraphics-NX for Engineering Design*. Rolla: Department of Mechanical and Aerospace Engineering, University of Missouri.
32. Dombrowski, U. T. (2001). Visionen fur die Digitale Fabrik. *Zeitschrift fur wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZwF)*, 96-115.
33. Dori, D. (2002). *Object-Process Methodology: A Holistics Systems Paradigm*. Springer

34. Dormer (2012). Preluat pe februarie 25, 2012, de pe www.dormertools.com
35. Drăghici, A. (2007). *Ergonomie*. Editura Politehnica Timișoara.
36. Drăghici, G. (1999). *Ingineria integrată a produselor*. Editura Eurobit Timișoara.
37. Drăghici, G. (2002). Modelarea produsului în ingineria integrată, *Meridian engineering*, Editura tehnica-info, nr.1/2002, Chișinău, 120-124.
38. Er Shi Qi, H. L. (2010). Research on the Relationship between Virtual Manufacturing and Digital Factory. *Advanced Materials Research*, 139-141.
39. EspritCAM (2011). *D.P. Technology*. Preluat pe Februarie 18, 2012, de pe www.dpotechnology.com
40. Eynard, B. (1997). Un modèle produit support à la conduite de processus de conception. *2ème Congrès Franco-Quebécois de Genie Industriel*, Albi, France.
41. Eynard, B. (1999). *Modélisation du produit et des activités de conception – Contribution à la conduite et à la traçabilité du processus d'ingénierie*. Thèse de l'Université Bordeaux 1, France.
42. Florica S. C., **Stef D.**, Drăghici G., Aldea C. C. (2012). About PLM and Platforms for Integrated Design and Manufacturing Process, *Proceedings of the 16th International Conference ModTech 2012*, vol. I, 24-26 May 2012, Sinaia, Romania, 385-388
43. French, M. (1985). *Conceptual Design for Engineers*. London, Springer-Verlag: The Design Council.
44. Garcia, A. B. (1993). *Virtual Prototyping, Concept to Production*. Defense System Management College, Ft. Belvoir.
45. Gausemeier, J. S. (2006). Eine Systematik zur Gestaltung der Produktion von morgen. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZwF)*, 28-34.
46. Gero, J. S. (2006). *The situated function-behaviour-structure framework*. Key Centre of Design Computing, and Cognition, University of Sydney.
47. Ghionea, I. G. (2007). *Proiectarea asistată în CATIA V5 elemente teoretice și aplicații*. Editura BREN, București.
48. Girod, M. ș.a. (2000). Activities in Collaborative Concept Selection Processes for Engineering Design. *Proceedings of ASME DETC-DTM-14548*. Baltimore.
49. Goonetillake, J. C. ș.a. (2002). An integrity constraint management framework in engineering design. *Computers in Industry*, 48 (1), 29-44.
50. Graham, P. (2004). Web 2.0. *Web 2.0 conference in 2004*, <http://www.paulgraham.com/web20.html>.
51. Grover, V., Kettinger, W. J. (2000). *Process Think: Winning Perspectives for Business Change in the Information Age*, Idea Group Publishing, Harriburg PA.
52. Gunther, N. J. (2007). *Guerrilla Capacity Planning*. Springer.

53. Guthrie, S. (2008). *Releasing the Source Code for the NET Framework*. <http://weblogs.asp.net/scottgu/archive/2007/10/03/releasing-the-source-code-for-the-net-framework-libraries.aspx>.
54. Hansen, C. T., Andreasen, M. M. (2000). Basic Thinking Patterns of Decision-Making in Engineering Design. *International Workshop on Multi-criteria Evaluation MCE 2000*, Neukirchen, 1-8.
55. Hastings, J. K. ş.a. (1985). Accuracy and Economy of Finite Element Magnetic Analysis. *33rd Annual National Relay Conference*
56. Heilala, J. ş.a. (2007). *Modelling and Simulation of Manufacturing Systems in Different Life Cycle Phases*. conference.iproms.org/sites/conference.iproms.org/files/.
57. Hicks, D. (2004). Towards multi-granular versioning support for collaborative design applications. *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design*, Vol. 2, 108–112. Xiamen, China.
58. Horner, J., Atwood, M. E. (2006). Effective Design Rationale: Understanding the Barriers, in Dutoit, A. H., McCall, R., Mistrík, I. et al., *Rationale Management in Software Engineering*, Springer Berlin Heidelberg, 73-90.
59. Hu, X. ş.a. (2000). A Survey On Design Rationale: Representation Capture And Retrieval. *Proceedings of DETC'00, 2000 ASME Design Engineering Technical Conferences*. Baltimore, Maryland.
60. Hubka, V., Eder W. E. (1992). *Engineering Design*. Heurista, Zurich.
61. ISA-SP95. (2006). Enterprise-Control System Integration. ISA.
62. ISO2005a. *Industrial Automation Systems an Integration-Product Data Representation and Exchange- Part239: Application Protocol: Product Life Cycle Support*. International organization for Standardization, ISO/CD 10303-239.
63. ISO2005b. *Cutting Tool Data Representation and Exchange- Part1: Overview, Fundamental Principles and General Information Model*. International Organization for Standardization, ISO/IS 13399-1.
64. James, C., Schaaf, J. (1997). System concept development with virtual prototyping. *Proceeding of the 1997 Winter Simulation Conference*, 941-948.
65. Janaki Ram, D. ş.a. (1997). Constraint Meta-Object: A New Object Model for Distributed Collaborative Design. *IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, 27(2), 208–221.
66. Jeantet, A. (1998). Les objets intermédiaires dans le conception, éléments pour une sociologie des processus de conception. *Sociologie du travail*, 291-316.
67. Jennings, R. (2009). *Professional ADO.NET 3.5 with Entity Framework*. Wiley Publishing, Canada.
68. Kogent Learning Solutions. (2011). *CATIA V6 essentials*.

69. Krause, F. (2001). Digitale Fabrik. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZwF)*, 84-96.
70. Krause, F., Schlingheider, J. (1993). Product modeling. *Annals of CIRP*, 42, 695-706.
71. Kuehn, W. (2006). *Digitale Fabrik, Fabriksimulation für Produktionsplaner*. Hanser, Viena.
72. Kuehn, W. (2007). Digital Factory. *I.J. of Simulation*, Vol. 7, 27-39.
73. LeVeque, R. (2002). *Finite Volume Methods for Hyperbolic Problems*. Cambridge University Press.
74. Liang, C., Guodong, J., (2006). Product modelling for multidisciplinary collaborative design, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Springer, 20(8), 589-600.
75. Liu, D. ș.a. (2004). A review of web-based product data management systems. *Computers in Industry*, 251-262.
76. Liu, Y., McMahon, C., Ramani, K., Schaefer, D. (2011). Editorial for the special issue of information mining and retrieval in design. *Advanced Engineering Informatics*, Volume 25, Issue 2, 117-118
77. Lonchamp, P. (2004). *Co-évolution et processus de conception intégrée de produits: Modèle et support de l'activité de conception*. Thèse de l'Institut National Polytechnique de Grenoble.
78. Lu, S. C.-Y., Conger, A. (2007). Supporting Participative Joint Decisions in Integrated Design and Manufacturing Teams, in *Advances in Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering*, Tichkiewitch, S., Tollenaer, M., Ray, P. (Editors), Springer, 3-22.
79. Lubell, J., Peak, R., Srinivasan, V., Waterbury, S. (2004). STEP, XML and UML: Complementary technologies. *Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering*. Proceedings of the DETC 2004, ASME, Utah.
80. Mihărtescu, A. (2011). *Integrarea cerințelor utilizatorului în faza de concepție a produselor*. Teză de doctorat. Editura Politehnica Timișoara.
81. Moisdon J.-C., Weil, B. (1992). L'invention d'une voiture: un exercice de relations sociales? Gérer et Comprendre, *Annales des Mines*, 30-41.
82. Mony, C. (1992). *Un modèle d'intégration des fonctions conception-fabrication dans l'ingénierie du produit*. Thèse de l'Ecole Centrale Paris.
83. Mori Seiki. (2012). Preluat pe februarie 25, 2012, de pe www.moriseiki.com
84. Muntoiu, O., Ștef, D. (2011). The Optimization Process of Revolution Parts Using Esprit CAD/CAM Software. *International Conference and Exhibition CNC Technologies 2011*, Bucureș ti, Vol. 1 , 41-44.
85. Nae, L., Drăghici, G., Udeanu I. (2008). Change Management in Product Lifecycle Management, *Proceedings of the International Conference on Manufacturing Systems ICMaS*, 13-14 November 2008, Bucharest, Romania, Editura Academiei Române, 415-418.

86. Niemann J. ș.a. (2009). *Design of Sustainable Product Life Cycles*. Springer Berlin.
87. Noël, F., Brissaud, D., Tichkiewitch S., (2003), Integrative Design Environment to Improve Collaboration between Various Experts, *Annals of the CIRP*, Vol. 52, Issue 1, 109-112
88. Noël, F., Roucoules, L. (2008). The PPO design model with respect to digital enterprise technologies among product life cycle. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 21(2), 139-145.
89. Ohno, T. (1989). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Productivity Press.
90. Okada, Y., Tanaka, Y. (1998). Collaborative environments of Intelligent Box for distributed 3D graphics applications. *The Visual Computer*, 14(4), 140-152.
91. O'Reilly, T. (2005). *What Is Web 2.0*. <http://www.oreillynet.com/pub/a/oreilly/tim/news/2005/09/30/what-is-web-20.html>.
92. Oriță, A. (2011). *Metodologie de concepție integrată a produselor în context PLM*. Teză de doctorat. Editura Politehnica Timișoara.
93. Pahl, G. ș.a. (2007). *Engineering Design - A Systematic Approach*, 3rd edition. Springer.
94. Pastorcici, B., Ștef, D. (2011). Comparative analysis of milling manufacturing strategies. *International Conference and Exhibition CNC Technologies 2011*, București, Vol.1, 37-40.
95. Perrin, J. (2001). Analyse de la valeur et valeur économique des biens et services. *Revue Française de Gestion Industrielle*, 20, 2.
96. Piplani, L. K. (1994). *System Acquisition Manager's Guide for the Use of Models and Simulation*. Defense System Management College, Ft. Belvoir.
97. Pîrvu, B. G. (2011). *Cercetări privind modelarea fabricii digitale și implementarea în sistemele reale de producție*. Teză de doctorat, Universitatea Lucian Blaga din Sibiu.
98. Poon, W.-H. (1994). Modelling a distributed database system. *Proceedings of the conference of the Centre for Advanced Studies on Collaborative Research*, 54.
99. Poveda, O. (2001). *Pilotage technique des projets d'ingénierie simultanée, modélisation des processus, analyse et instrumentation*. Thèse de l'INP Grenoble.
100. Pugh, S. (1991). *Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering*. Addison-Wesley, Reading.
101. Purcell, A. T. ș.a. (1994). Design Fixation and Intelligent Design Aids, in Gero J. S. and Sudweeks F. (ed.), *Artificial Intelligence in Design*, Kluwer, 483-496.
102. Putz, V., Ștef, D., Șerban, D. A. (2010). Contributions regarding the optimization of the technological process procedure of draught bars through the development and usage of computational mathematical models that

- define the manufacturing simulation. *Annals of the Oradea University. Fascicle of Management and Technological Engineering*, Volume IX (XIX), Nr.2
103. Putz, V., Ștef, D., Sîrbu, N. A. (2011). Contributions regarding the optimization process of the bench draught bar in the rolling material industry. *Annals of the Oradea University. Fascicle of Management and Technological Engineering*, Volume 10 (XX), Nr.3
104. Ravi, A., ș.a. (2011). *Managing Business Process Flows*. 3rd Edition. Prentice Hall
105. Reinhart, G. G. (1999). Virtuelle Produktion - Technologie für die Zukunft. *VDI-Z Special C-Techniken*, 26-29.
106. Reymen, I. M. (2001). *Improving design processes through structured reflection: a domain-independent approach*. Eindhoven University of Technology, Proefschrift.
107. Riboulet, V. M. (2004). A framework supporting collaborative optimization for multi professional design teams. *Proceedings of the International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering IDMME*, Bath, UK.
108. Roller, D. ș.a. (2002). Advanced database approach for cooperative product design. *Journal of Engineering Design*, 13 (1), 49-61.
109. Roozenburg, N. F. (1995). *Product Design: Fundamentals and Methods*. John Wiley & Sons, New York.
110. Ruffa, S. A. (2008). *Going Lean: How the Best Companies Apply Lean Manufacturing Principles to Shatter Uncertainty, Drive Innovation, and Maximize Profits*, AMACOM. American Management Association.
111. Sacco, M. (2007). Realitatea virtuală și realitatea augmentată, aplicate la ciclul de viață al produsului. În Drăghici A., *Ergonomie*. Editura Politehnica Timisoara, 55-65.
112. Sadeghi, M. ș.a. (2010). Development of control mechanisms to support coherency of product model during cooperative design process. *Journal of Intelligent Manufacturing*, Volume 21, Number 4, 539-554.
113. Sandvik Coromant. (2012). Preluat pe februarie 25, 2012, de pe www.coromant.sandvik.com
114. Schack, R. J. (2008). *Methodik zur bewertungsorientierten Skalierung der Digitalen Fabrik*, Dissertation Technischen Universität München, Herbert Utz Verlag · München.
115. Schmidt, D. (2012). *Graphical User Interfaces and Event-Driven Programming*. <http://people.cis.ksu.edu/~schmidt/CIS200/ch10V12.html> .
116. Schraft, R. (2003). Von der Vision zur Realität durch die Digitale Fabrik. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZwF)*, 98, 269.
117. Schuh, G. (1998). *Virtuelle Fabrik - Neue Marktchancen durch dynamische Netzwerke*. Hanser, München.

118. Schuh, G. ș.a. (2002). Integration als Grundlage der digitalen Fabrikplanung. *VDI-Z*, 144, 48-51.
119. Seiculescu, V. (2007). *Proiectarea asistată de calculator*. Editura Politehnica Timișoara.
120. Seltes, J. (1978). *A feature-based representation of parts for CAD*. BS Thesis, MIT, Mechanical Engineering Department.
121. Shah, J. J., Mantyla, M. (1995). *Parametric and Feature based CAD/CAM*. John Wiley & Sons, New York.
122. Shimomura, Y. T. (1995). Representation of design object based on the functional evolution process model. *Design Engineering Technical Conferences, ASME'95*. Vol.2, Boston, USA, 351-360.
123. Shingo, S. (1989). *A study of the Toyota Production System*. Productivity Press, 187 -194.
124. Siemens PLM (2010). *Tecnomatix*. Preluat de pe http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/tecnomatix/
125. Siemens AG (2007). *Siemens to acquire UGS Corp*.
126. Siemens PLM (2001). *Jack User Manual Version 5.1*.
127. Stark, J. (2005). *Product Lifecycle Management 21st Century Paradigm for Product Realisation*, Springer.
128. STEP (2011). *STEP TOOLS*. Preluat pe 08 03, 2011, de pe <http://www.steptools.com>
129. Suh, N. P. (1995). Designing in of Quality through Axiomatic Design. *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. 44. No. 2.
130. Suh, N. P. (2001). *Axiomatic Design-Advances and Applications*. New York: Oxford University Press.
131. **Ștef D.**, Drăghici G., Florică S. (2012). Design Process Modelling. *Proceedings of the 5th International Symposium on Industrial Engineering SIE 2012*, June 14-15, 2012, Belgrade, 47-52.
132. **Ștef D.**, Florică S., Drăghici G. (2011). Platform for Integrated Product Design and Manufacturing, *Proceedings the 5th International Conference on Manufacturing Science and Education - MSE 2011*, Vol. I, Sibiu, June 2-5, 2011, Romania, 153-156.
133. **Ștef, D.** (2010). New aspects of manufacturing on machine tools. *Proceeding of the Academy of Romanian Scientists*, Editura Academiei Oamenilor de Știință din România, București, România, Vol. 2, nr. 1, 79-87.
134. **Ștef, D.**, Florica, S. (2011). Product development in the context of digital manufacturing. *Proceeding of the Academy of Romanian Scientists*, Editura Academiei Oamenilor de Știință din România, București, România, Vol. 1.
135. Tichkiewitch, S. (1995). Un modèle multi-vues pour la conception intégrée. *Congrès International de Génie Industriel, Montréal*, 1989-1998.

136. Tichkiewitch, S. (1996). Specification on integrated design methodology using a multi-view product model. In: *Proceedings of the Joint Conference on ASME Engineering Systems Design and Analysis*, 101-108. Montpellier, France.
137. Tichkiewitch, S., Garro, O. (1996). Conception intégrée. In *Les Cahiers des Enseignements Francophones en Roumanie*, Bucarest, 1-19.
138. Tichkiewitch, S. (1999). Méthodologie et outils pour l'intégration dans la conception. In: Drăghici G. (Ed.), *Conception et fabrication de produits mécaniques*. Editura Eurobit, Timișoara, 7-42.
139. Turc, C.-G., **Ștef, D.**, Belgiu, G. (2011). An application of fuzzy logic methodology for workpieces choosing. *The 15th International Conference Modern Technologies, Quality and Innovation*, Vadul lui Voda-Chisinau, Republic of Moldova, 25-27 May 2011, Vol.3, 1109-1115.
140. Turc, C.-G., **Ștef, D.**, Nica, M. (2012). An approach on ultrasonic assisted machining. *ModTech International Conference - New face of TMCR Modern Technologies, Quality and Innovation - New face of TMCR*, 24-26 May 2012, Sinaia, Vol.2, 981-984.
141. Turc, C.-G., **Ștef, D.**, Iftode, L., Carausu, C. (2012). Fuzzy logic application on parts type bushing manufacturing. *ModTech International Conference - New face of TMCR Modern Technologies, Quality and Innovation - New face of TMCR*, 24-26 May 2012, Sinaia, Vol.2, 985-988
142. Ullman, D. G. (2002). *The Mechanical Design Process*. McGraw-Hill, Inc.
143. Ulrich, K. T. (2000). *Product Design and Development*, Second Edition. McGraw Hill International Editions.
144. VDI-4499. (2008). *Digitale Fabrik Grundlagen - Blatt1*. Verein Deutscher Ingenieure, Dusseldorf.
145. Wagner, T., Blumenau, J.-C. (2003). The digital factory, more than a planning environment. *Schriftenreihe Produktionstechnik*, Univ. de Saarlandes no. 29, 7-12.
146. Waldner, J.-B. (1992). *CIM: Principles of Computer Integrated Manufacturing*. John Wiley & Sons, Chichester.
147. Wang, G. G. (2002). Definition and Review of Virtual Prototyping. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, 2 (3), 232-241.
148. Wang, Y., Nnaji, B. O. (2004). UL-PML: constraint enabled distributed product data model. *International Journal of Production Research*, 42 (17), 3743-3763.
149. Weber, C. ș.a. (2002). A Different View on PDM and its Future Potentials. *Proceedings of DESIGN'02*. Dubrovnik, Croatia.
150. Wenzel, S., Jessen, U., Bernhard, J. (2005). Classifications and conventions structure the handling of models within the Digital Factory. *Computers in Industry* 56, 334-346.
151. Westkamper, E. B. (2003). Digitale Fabrik - nur war fur die Groben. *Werkstattstechnik online*, 93, 22-26.

-
152. WfMC. (2002). *Workflow management coalition standard: workflow process definition interface-XML process definition language, Version 1.0, Technical report*. WfMC TC-1025.
 153. Wiendahl, H. (2002). Auf dem Weg zur "Digitalen Fabrik". *Werkstattstechnik online*, 92-121.
 154. Wohlke, G. S. (2005). Digital Planning Validation in automotive industry. *Computers in Industry*, 56(4), 393-405.
 155. Wörn, D. F. (2000). Digital Factory - Planning and running enterprises of the future. *Proceedings of the 26th Annual Conference of the IEEE Electronics Society IECON-2000*, 1286-1291.
 156. Zah, M. M. (2004). Referenzmodelle für die Virtuelle Produktion. *Industrie*, 20, 52-55.
 157. Zulch, G., Grieger, T. (2005). Modelling of occupational health and safety aspects in the Digital Factory, *Computers in Industry*, Vol. 56(4), 384-392.
 158. Zulch, G., Stowasser, S. (2005). The Digital Factory: An instrument of the present and the future. *Computers in Industry*, Vol. 56(4), 323-324.